Effectiveness Of Whipping Effect in Supply Chains of the Iranian Defense Industry and Modeling the Reduction of Its Effects Based on the Method of System Dynamics in the Direction of Resistance Economics

Mohsen Darakhshani [1]

Yaghoub Alavi Matin[2]

Majid Bagherzadeh[3]

Mojtaba Ramezani[4]

ABSTRACT

Considering the high importance of supply chains and their fundamental role in defense industries, improving the effect of the amount in reducing costs and increasing the performance of the defense industry of the Islamic Republic of Iran is undeniable. The present study tries to obtain an approach to improve the performance of the supply chain. To this end, the effect of pneumatic phenomenon on multi-dimensional supply chains was calculated based on a small time series and its mathematical model was obtained. Then, on the effect of the order period, the purpose of the order and the net storage value of the target was discussed and the stable and unstable areas of the equations were obtained. Also, the effect of pneumatic phenomenon on supply chains was calculated using simulation and attitude of time series based on appropriate algorithms. To validate the problem, the results were compared with a case study. Also, the effect of pneumatic phenomenon on the current case study, optimized by optimizer software. As a result, it turned out that the use of a time series model as a demand pattern and daily inventory inspection of distributor and shipping on a daily basis for completing their inventory reduces the decrease in the pure effect in the defense industries of the Islamic Republic of Iran. In addition the findings of the research indicated that the whipping error extent is variable between 0.17 and 11/40.The average error extent for the distribution and production sections is and 7.34.

Keywords: Supply Chain, Defensive, Industries, Whipping Effect, Time Series, Simulation.

1. Ph.D. Candidate,Department of Management, Faculty of Management,Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran Mohsenderakhshani139@gmail.com
2. Corresponding Author: Assistant Professor,,Department of Management, Faculty of Management,Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran Alavimatin@iaut.ac.ir
3. Assistant Professor,,Department of Management, Faculty of Management,Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran Dr.bagherzadeh@yahoo.com
4. Assistant Professor,,Department of Management, Faculty of Management,Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran Dmramazani@gmail.com

نشریه علمی مدیریت و پژوهش‌های دفاعی، سال بیستم، شماره ۹۳، پاییز ۱۴۰۰: ۷۲ ـ ۵۵

تحلیل اثر شلاقی در زنجیره‌های تأمین صنایع دفاعی جمهوری اسلامی ایران بر مبنای روش فازی عصبی- تطبیقی

محسن درخشانی[۱]، یعقوب علوی متین[۲]، مجید باقر زاده[۳]، مجتبی رمضانی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۱۵

چکیده

با توجه به اهمیت بالای زنجیره‌های تأمین و نقش اساسی آن‌ها در صنایع دفاعی، بهبود اثر شلاقی در کاهش هزینه‌ها و افزایش عملکرد صنایع دفاعی جمهوری اسلامی ایران انکارناپذیر به نظر می‌رسد. پژوهش حاضر، سعی دارد رویکردی را برای بهبود عملکرد زنجیره‌های تأمین به دست آورد. بدین منظور ابتدا تأثیر پدیده شلاقی بر زنجیره‌های تأمین چندمحصولی، چندمرحله‌ای و چندسطحی براساس سری‌های زمانی کمّی محاسبه شد و مدل ریاضی آن به دست آمد. سپس بر روی اثر دوره زمان تدارک سفارش و مقدار ذخیره خالص هدف بحث گردید و نواحی پایدار و ناپایدار معادلات، به دست آمد. همچنین تأثیر پدیده شلاقی بر زنجیره‌های تأمین به کمک شبیه‌سازی و با نگرش سری‌های زمانی بر اساس الگوریتم‌های مناسب، محاسبه شد. برای اعتبارسنجی مسئله، نتایج با یک مطالعه موردی مقایسه گردید. نیز اثر پدیده شلاقی بر مطالعه موردی موجود، به کمک نرم‌افزار بهینه‌ساز، بهینه شده و در نتیجه معلوم گردید که استفاده از مدل سری زمانی به عنوان الگوی تقاضا و روزانه کردن بازرسی موجودی توزیع‌کنندگان و حمل محصول به صورت روزانه برای تکمیل موجودی آن‌ها، باعث کاهش مناسب اثر شلاقی در صنایع دفاعی جمهوری اسلامی ایران می‌شود. همچنین این پژوهش نشان داد که میزان خطا برای اثر شلاقی بین ۰/۱۷ و ۱۱/۴۰ درصد متغیر است. میزان خطای متوسط برای بخش توزیع ۱/۸۳ درصد و برای بخش تولید ۷/۳۴ درصد است.

کلیدواژه‌ها: زنجیره تأمین، صنایع دفاعی، اثر شلاقی، سری‌های زمانی، شبیه‌سازی.

۱. دانشجوی دکتری، گروه مدیریت، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
Mohsenderakhshani139@gmail.com
۲. نویسنده مسئول: استادیار، گروه مدیریت، دانشکده مدیریت، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
Alavimatin@iaut.ac.ir
۳. استادیار، گروه مدیریت، دانشکده مدیریت، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
Dr.bagherzadeh@yahoo.co
۴. استادیار، گروه مدیریت، دانشکده مدیریت، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
Dmramazani@gmail.com

مقدمه

یکی از زمینه‌های تحقیقاتی در زنجیره تأمین صنایع دفاعی جمهوری اسلامی ایران اثر شلاقی[1] است. اثر شلاقی یکی از دلایل اصلی ناکارآمدی زنجیره تأمین است (Ponte, et. al, 2021). در واقع تعریف اصلی اثر شلاقی با بسط مفهوم «عدم اطمینان» معنادار می‌شود. «عدم اطمینانِ یک فعالیت» را به این شکل تعریف می‌کنند: عدم اطمینان تفاوت بین مقداری از اطلاعات را شامل می‌شود که برای انجام یک فعالیت لازم است و مقداری از اطلاعات که در حال حاضر، سازمان پردازش می‌کند. این تعریف از این فرض ناشی می‌شود که عدم اطمینان نتیجه کمبود اطلاعات است (Chilmon, et. al, 2020).

از نظرگاه لجستیکی عدم اطمینان به چهار دسته تقسیم می‌شود که عبارتند از: عدم اطمینان در تقاضا، عدم اطمینان در عرضه، عدم اطمینان در فرآیند و عدم اطمینان در برنامه‌ریزی کنترل.

به واسطه وابستگی که بین هر مرحله با تقاضاکننده بعدی و عرضه‌کننده پیشین خود در زنجیره عرضه وجود دارد طی مکانیسم خاصی، تأمین‌کننده‌های مواد خام برای تولیدکننده‌ها، با عدم اطمینان‌های شدیدتری نسبت به مصرف‌کننده‌های نهایی و اعضای پایین‌دستی روبه‌رو هستند. این مکانیسم خاص در زنجیره عرضه با نام اثر شلاقی شناخته می‌شود (Yang, et. al, 2021). در واقع از زمانی که «فارستر» حدود ۴۵ سال پیش این مطلب را کشف کرد که تغییرات از مشتری تا تأمین‌کننده افزایش می‌یابد، محققان در جستجوی دلایل آن بوده‌اند. تحقیقات نشان می‌دهد، هرچه کمپانی از نظر زمان تحویل[2] از مشتری نهایی دورتر باشد، تغییرات تقاضا بزرگ‌تر خواهد بود. این تأثیر موجب ناکارآمدی در زنجیره تأمین می‌شود؛ چراکه باعث افزایش هزینه تأمین مواد و پایین آوردن توان رقابتی خواهد شد (Ma, et. al, 2019).

اثر شلاقی از سه جنبه بر زنجیره تأمین صنایع دفاعی جمهوری اسلامی ایران تأثیر منفی می‌گذارد. این موارد را می‌توان به صورت زیر برشمارد:

۱) **ظرفیت‌ها:** یک تغییر در تقاضا باعث تغییر در استفاده از ظرفیت‌ها می‌شود. در این حالت شرکت بر سر دوراهی قرار می‌گیرد؛ اگر ظرفیت خود را بر اساس میانگین تقاضا تنظیم کند، در نقاطی که تقاضا به اوج خود می‌رسد دچار مشکل می‌شود، اما اگر ظرفیت‌های خود را بر اساس پیشینه تقاضا تنظیم کند به ظرفیت اضافی و استفاده‌نشده منجر خواهد شد.

1. Bullwhip Effect
2. Lead Time

۲) **تغییر در سطح موجودی:** تغییرات تقاضا به تغییر سطح موجودی در هر بخش زنجیره تأمین منجر می‌شود. اگر یک شرکت کمتر از نیاز بخش بعدی کالا بیاورد، سطح موجودی کاهش می‌یابد. در مقابل اگر شرکت بیشتر از نیاز بخش بعدی کالا بیاورد سطح موجودی افزایش می‌یابد. سطح موجودی بالا باعث ایجاد هزینه‌های سرمایه به کار گرفته می‌شود. درحالی‌که سطح موجودی پایین قابلیت اطمینان در تحویل را با ریسک مواجه می‌کند.

۳) **سطح بالای ذخیره احتیاطی:** ذخیره احتیاطی به منظور تضمین اینکه خدمات در یک سطح کافی در مقابل تغییرات تقاضا ارائه خواهد شد لازم است. هرچه اثر شلاقی در زنجیره تأمین صنایع دفاعی جمهوری اسلامی ایران قوی‌تر باشد، ذخیره احتیاطی بیشتری مورد نیاز است.

هر عاملی که حلقه‌های یک زنجیره تأمین را به سمت بهینه‌گرایی محلی سوق دهد و یا تأخیر یا تحریف اطلاعات را منجر شود، تغییرات بین مراحل زنجیره تأمین را فزونی بخشد یک مانع در حصول هماهنگی و در نتیجه عاملی برای بروز اثر شلاقی به شمار می‌رود. اگر مدیران یک زنجیره قادر به شناسایی موانع کلیدی باشند می‌توانند اقدامات مناسبی برای حذف آن‌ها و دستیابی به هماهنگی در زنجیره‌ی تأمین انجام دهند. مشکل اندازه‌گیری اثر شلاقی از اهمیت بالایی هم از لحاظ تئوری و هم از لحاظ عملی برخوردار است. البته منشأ بحث اندازه‌گیری را می‌توان در سیستم‌های عملی جستجو کرد (He, et. al, 2020, p.1). نرخ واریانس مهم‌ترین و پرکاربردترین سنجه در اندازه‌گیری اثر شلاقی در طول سالیان بوده است (Haeussler, et. al, 2021). نرخ واریانس به صورت نسبت بین واریانس‌ها در جریان بالایی و پایینی تعریف می‌شود و اگر این نسبت در هر مرحله نسبت به مرحله قبل افزایش داشته باشد، در آن صورت در زنجیره اثر شلاقی خواهیم داشت. علاوه بر این نرخ، یک روش نرخ واریانس اصلاح‌شده نیز ارائه شده تا بتواند اثر دسته‌بندی محصولات را نمایش دهد. در واقع می‌توان گفت که به ازای تک‌تک علل اثر شلاقی، روش‌های اندازه‌گیری مختلفی نیز به وجود آمده است. از جمله این کارها تحقیقات انجام‌شده به وسیله فرانسو[1] و همکاران (Fransoo, et. al, 2000, p.78) و نیز دجنکخیره[2] و همکاران (Dejonckheere, et. al, 2003) است، اما به‌طورکلی روش‌های کلی نظیر واریانس یا انحراف معیار به علت توانایی آن‌ها در نمایش مقیاسی پدیده‌ها کاربرد بیشتری دارند. علاوه بر روش‌های مبتنی بر علل، واربورتون[3] از نسبت بین تعداد سفارش‌ها بین اجزای زنجیره استفاده کرد (Warburton, 2004,

1. Fransoo
2. Dejonckheere
3. Warburton

p.150) و یا دیزنی[1] مقدار افزایش پیک سفارش‌ها (Disney, et. al, 2003, p.78) و ریدالاس[2] و بنت[3] نرخ انحراف پیک سفارش‌ها را محاسبه کردند (Riddalls, et. al, 2001, p.159). این روش‌ها در محاسبه نقاط پیک تقاضا و تأثیر آن بر اثر شلاقی مؤثر هستند. شبان[4] و همکاران نیز تأثیر تقاضای همبسته بر عملکرد زنجیره تأمین از نظر نسبت واریانس سفارش، نسبت واریانس خالص سهام و میانگین نرخ پر شدن و همچنین تأثیر متقابل پارامترهای کلیدی زنجیره تأمین و تقاضای مرتبط را بررسی نمودند (Shaban, et. al, 2020). خلیداساری و همکاران هم با انجام تحقیقی دریافتند که گروه‌بندی تعداد درخواست‌های محصول برای هر خرده‌فروش باعث پایداری بیشتر تقاضا می‌شود و در نتیجه نسبت ضریب واریانس کمتری دارد (Kholidasari, et. al, 2019).

اما این روش‌ها برای کاربرد عملی بسیار دردسرساز هستند (Perei, et. al, 2021)؛ بنابراین برای اندازه‌گیری اثر شلاقی از معیاری سود برد که تعداد دفعاتی که واریانس تقاضا در حرکت سفارش‌ها بزرگ‌تر می‌شود را اندازه‌گیری کند. با توجه به معیار واریانس و اهمیت آن سه معیار مختلف زیر را که بر اساس نسبت واریانس و انحراف معیار کار می‌کنند می‌توان نمایش داد:

۱) انحراف معیار میزان سفارش‌ها در هر قسمت زنجیره؛

۲) نسبت واریانس تقاضا در نقطه k در زنجیره نسبت به واریانس سفارش مشتری؛

۳) نسبت واریانس تقاضا در نقطه k در زنجیره نسبت به واریانس در نقطه k-1.

بنابراین در طول این پژوهش چند هدف اصلی مد نظر است. اولین مسئله، پیشنهاد و ارائه دو راه‌حل ریاضی و شبیه‌سازی برای به دست آوردن اثر شلاقی با نگرش سری‌های زمانی برای زنجیره‌های تأمین چندمحصولی، چندسطحی و چندمرحله‌ای و دومین مسئله تعیین رویکردی برای بهبود اثر شلاقی بر اساس زنجیره‌های تأمین چندمحصولی، چندمرحله‌ای و چندسطحی خواهد بود. اهداف اصلی این پژوهش را می‌توان به صورت زیر برشمرد:

۱) تعیین رابطه ریاضی براساس سری‌های زمانی برای اندازه‌گیری اثر شلاقی در صنایع دفاعی جمهوری اسلامی ایران و بحث بر روی اثر دوره زمان تدارک سفارش و مقدار ذخیره خالص هدف[5] بر معادلات؛

1. Disney
2. Riddalls
3. Bennett
4. Shaban
5. Target Net Stock

۲) تعیین روش شبیه‌سازی براساس سری‌های زمانی برای اندازه‌گیری اثر شلاقی در صنایع دفاعی جمهوری اسلامی ایران و بیان الگوریتم‌های مربوط؛

۳) انتخاب روش پیش‌بینی مناسب و متداول برای پیش‌بینی تقاضای دوره زمان تدارک سفارش؛

٤) ارائه راهکار برای کاهش اثر شلاقی در صنایع دفاعی جمهوری اسلامی ایران.

در پایان بخش مقدمه به منظور جمع‌بندی راحت‌تر، تحقیقات انجام‌شده در این رابطه به صورت جدول ۱ نیز خلاصه‌بندی شده است.

جدول ۱: خلاصه پژوهش‌های انجام‌شده

نام محقق	عنوان پژوهش انجام‌شده یا نتیجه آن
فرانسو و دجنکخیره و همکاران	ارائه یک روش نرخ واریانس اصلاح‌شده تا به‌وسیله آن بتوان اثر دسته‌بندی محصولات را نمایش داد
واربورتون	پیشنهاد استفاده از نسبت بین تعداد سفارش‌ها بین اجزای زنجیره
دیزنی	محاسبه مقدار افزایش پیک سفارش‌ها
ریدالاس و بنت	محاسبه نرخ انحراف پیک سفارش‌ها
شبان و همکاران	بررسی تأثیر تقاضای همبسته بر عملکرد زنجیره تأمین از نظر نسبت واریانس سفارش، نسبت واریانس خالص سهام و میانگین نرخ پر شدن و بررسی تأثیر متقابل پارامترهای کلیدی زنجیره تأمین و تقاضای مرتبط
خلیداساری و همکاران	گروه‌بندی تعداد درخواست‌های محصول برای هر خرده‌فروش باعث پایداری بیشتر تقاضا می‌شود و در نتیجه نسبت ضریب واریانس کمتری دارد

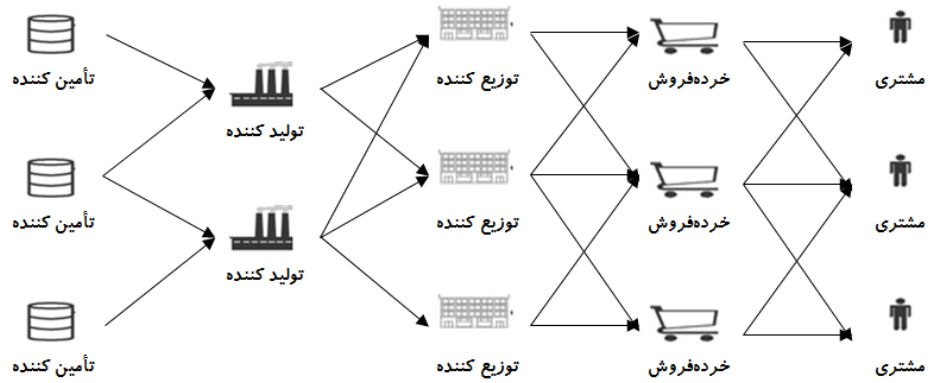
روش پژوهش

اثر شلاقی نه تنها بین اعضای زنجیره تأمین (خرده‌فروش، عمده‌فروش، توزیع‌کننده، تولیدکننده و تأمین‌کننده) اتفاق می‌افتد، بلکه بین حوزه‌های کاری سازمان‌ها که تصمیم‌گیری سفارش‌ها را به عهده دارند نیز وجود دارد. شکل ۱ شبکه‌ای از زنجیره تأمین چندمرحله‌ای[1]، چندسطحی[2] و چندمحصولی را نمایش می‌دهد و با توجه به اهمیت مدیریت زنجیره تأمین و پدیده اثر شلاقی، در زنجیره‌های تأمین چندمرحله‌ای، چندسطحی و چندمحصولی، اقدامات بسیاری برای کمی کردن تأثیر این پدیده انجام

1. Multi-Stage
2. Multi-Echelon

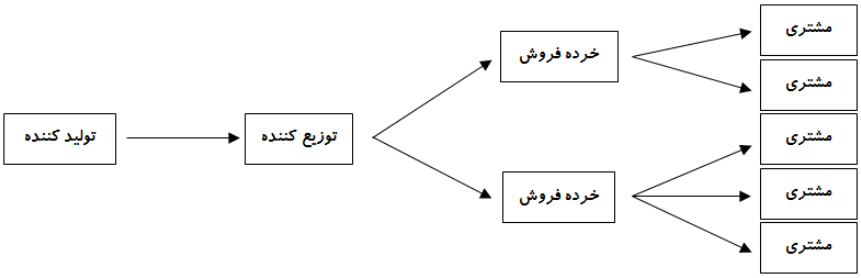
شده است که می‌توان آن‌ها را در دو گروه زیر طبقه‌بندی کرد:

- کمی کردن تأثیر پدیده شلاقی به صورت ریاضی؛
- شبیه‌سازی تأثیر پدیده شلاقی.



شکل ۱: شبکه زنجیره تأمین چندمرحله‌ای، چندسطحی و چندمحصولی
(Wangphanich, et. al, 2010, p.4501)

در تحقیق پیش‌رو روش کمّی کردن تأثیر پدیده شلاقی به هر دو صورت آمده است و در نهایت این دو روش با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در شکل ۲ نیز روند توزیع محصول A در شبکه زنجیره تأمین نشان داده شده است.



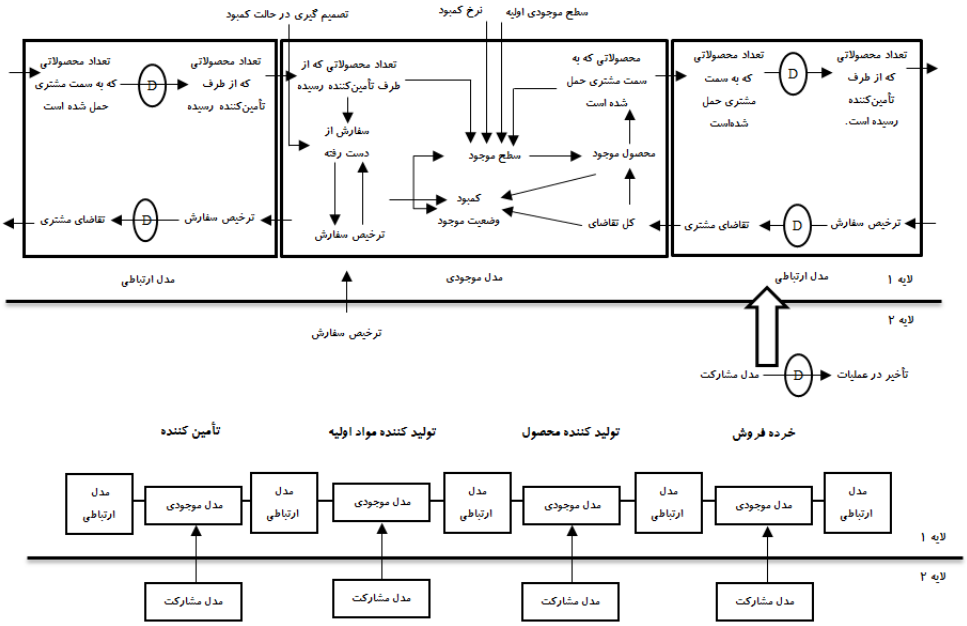
شکل ۲: روند توزیع محصول A در شبکه زنجیره تأمین (Wangphanich, et. al,, 2010, p.4501)

مدل پیشنهادی

به منظور اندازه‌گیری اثر شلاقی برای واحدهای (حوزه‌های) زنجیره تأمین صنایع دفاعی جمهوری اسلامی ایران از یک شبیه‌سازی دو لایه‌ای[1] و سه مدل عمومی استفاده می‌شود. این سه مدل عبارتند از

1. Two Layer Simulation

مدل موجودی[1]، مدل ارتباطی[2] و مدل مشارکتی[3] که در شکل ۲ نشان داده شده است. مـدل دو لایـه‌ای برای مدل‌های عمومی موجودی، ارتباطی و مشارکت نیز در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۳: مدل دو لایه‌ای برای مدل‌های عمومی موجودی، ارتباطی و مشارکت

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، لایه شبکه زنجیره تأمین (لایه ۱)، از دو مـدل ارتبـاطی و یک مدل موجودی تشکیل شده است. مدل موجودی به منظور مدل کردن بین واحدهای زنجیره تـأمین استفاده شده است. مدل مشارکتی (لایه ۲) به منظور مدل کردن فرایند سفارش و تنظـیم مجـدد زنجیـره تأمین به کار می‌رود. انتخاب چنین ساختاری، باعث می‌شود که کاربر بتوانـد زنجیـره تـأمین مربـوط بـه خود را شبیه سازی کرده و امکان کاهش اثر شـلاقی را داشـته باشـد. سـاختار مـذکور امکـان مطالعـه و بررسی زنجیره‌های تأمین پیچیده چندمرحله‌ای و چندمحصولی را فراهم می‌کند.

1. Inventory Model
2. Linkage Model
3. Contribution Model

یافته‌ها

در قسمت قبل کمی کردن تأثیر پدیده شلاقی به هر دو صورت، ریاضی و شبیه‌سازی مدلی بر پایه نگرش پویایی سیستم به منظور محاسبه اثر شلاقی در یک زنجیره‌ی تأمین چندمرحله‌ای، چندسطحی و چندمحصولی پیشنهاد گردید. برای ارزیابی این روش‌ها لازم است که دارای یک مطالعه موردی مناسب و مقایسه بین نتایج واقعی و تئوریک باشیم. به دلیل اینکه مطالعه موردی مناسبی برای تعیین اثر شلاقی در یک زنجیره‌ی تأمین چندمرحله‌ای، چندسطحی و چندمحصولی در دسترس نبود، بر آن شدیم که از منابع خارجی برای این منظور استفاده نماییم و چون پایه‌های بخش شبیه‌سازی براساس تحقیقات ونگ پانیچ بوده است و در تحقیق منتشره (Wangphanich, et. al, 2010, 4501) یک نمونه نسبتاً مناسب از تعیین اثر شلاقی در یک زنجیره تأمین چندسطحی، چندمحصولی، در دسترس بود اطلاعات زنجیره تأمین به کار رفته‌شده در آن تحقیق به دست آمد و بر اساس آن اطلاعات، یافته‌های این پژوهش به دست آمد.

مشکل اساسی در این نمونه از مطالعه موردی به دست‌آمده، استفاده از سیستم کنترل فازی– عصبی تطبیقی[1] برای پیش‌بینی فروش آتی بود که به‌غیراز بار اجرایی بخش‌های ریاضی و شبیه‌سازی، استفاده از سیستم اخیر نیز مزید بر علت گردید.

در ادامه پژوهش، چند تقسیم‌بندی صورت گرفت از جمله اینکه ابتدا مطالعه موردی به دست‌آمده، بیان شد. سپس مقدمه‌ای بر سیستم کنترل فازی–عصبی تطبیقی برای تقریب توابع مدل پویایی سیستم گفته شد و در انتها، این مطالعه موردی بر اساس کمی کردن ریاضی و شبیه‌ساز، حل گردید.

در مدل موجود زنجیره تأمین کارخانه لاستیک‌سازی صنایع دفاع، اثر شلاقی برای دوره زمانی ۹۰ روزه محاسبه (واقعی) و با مدل شبیه‌سازی‌شده (بر اساس مقاله پایه) مقایسه گردیده است. این مقایسه، به تفکیک براساس دو محصول A و B نشان داده شده است. میزان خطا برای اثر شلاقی بین صفر و ۹ درصد متغیر است. میزان خطای متوسط برای بخش توزیع ۰/۹۴ درصد و برای بخش تولید ۶/۳۵ درصد است. برآورد میزان خطاهای اثر شلاقی، براساس دو محصول A و B و محاسبه براساس شبیه‌سازی مقاله پایه در جدول ۲ ارائه شده است.

1. Adaptive Network Based Fuzzy Inference System

جدول ۲: برآورد میزان خطاهای اثر شلاقی، بر اساس دو محصول A و B و محاسبه براساس شبیه‌سازی مقاله پایه (Wangphanich, et. al, 2010, p.4501)

عامل	آیتم	محاسبه واقعی	محاسبه توسط شبیه‌سازی (مقاله پایه)	خطا (درصد)	متوسط خطا (درصد)
توزیع‌کننده ۱	محصول A	۳۰/۷۴	۳۰/۷۴	۰/۰۰	۰/۹۴
	محصول B	۲۱/۶۲	۲۱/۸۲	۰/۹۳	
توزیع‌کننده ۲	محصول A	۳۶/۲۱	۳۶/۲۱	۰/۰۰	
	محصول B	۲۸/۵۹	۲۸/۵۹	۰/۰۰	
توزیع‌کننده ۳	محصول A	۴۳/۲۷	۴۵/۰۶	۴/۱۴	
	محصول B	۲۹/۵۸	۲۹/۴۱	۰/۵۷	
تولید کننده	محصول A	۱۰/۸۲	۱۱/۴۸	۶/۱۰	۶/۳۵
	محصول B	۴/۳۳	۴/۷۲	۹/۰۱	
	مواد اولیه	۶/۵۸	۶/۳۲	۳/۹۵	

اثر شلاقی برای زنجیر تأمین کارخانه لاستیک‌سازی صنایع دفاع و برای دوره زمانی ۹۰ روزه محاسبه و با مدل سری زمانی (بر اساس تحقیق حاضر) مقایسه شده است. این مقایسه در جدول ۳ به تفکیک بر اساس دو محصول A و B نشان داده شده است. میزان خطا برای اثر شلاقی بین ۰/۵۷ و ۱۳/۱۶ درصد متغیر است. میزان خطای متوسط برای بخش توزیع ۱/۴۱ درصد و برای بخش تولید ۸/۴۵ درصد است.

جدول ۳: برآورد میزان خطاهای اثر شلاقی، براساس دو محصول A و B و محاسبه براساس سری‌های زمانی (Wangphanich, et. al, 2010, p.4501)

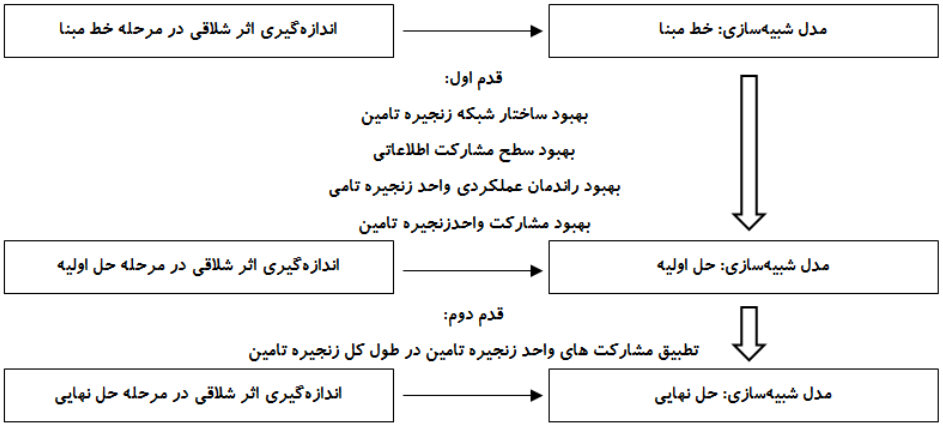
عامل	آیتم	محاسبه واقعی	محاسبه توسط سری‌های زمانی	خطا (درصد)	متوسط خطا (درصد)
توزیع‌کننده ۱	محصول A	۳۰/۷٤	۳۰/۵۵	۰/٦۲	۱/٤۱
	محصول B	۲۱/٦۲	۲۱/۰٤	۲/۷۰	
توزیع‌کننده ۲	محصول A	۳٦/۲۱	۳۵/۵٦	۱/۷۹	
	محصول B	۲۸/۵۹	۲۸/٤۳	۰/۵۷	
توزیع‌کننده ۳	محصول A	٤۳/۲۷	٤٤/۱٤	۲/۰۱	
	محصول B	۲۹/۵۸	۲۹/۳٦	۰/۷۵	
تولید کننده	محصول A	۱۰/۸۲	۱۱/۲۳	۳/۸۲	۸/٤۵
	محصول B	٤/۳۳	٤/٦۹	۸/۳۸	
	مواد اولیه	٦/۵۸	۵/۷۱	۱۳/۱٦	

در نهایت مدل طراحی‌شده برای زنجیره تأمین کارخانه لاستیک‌سازی صنایع دفاع، اثر شلاقی برای هر واحد زنجیر تأمین برای دوره زمانی ۹۰ روزه محاسبه و با مدل شبیه‌سازی (بر اساس تحقیق حاضر) مقایسه شده است. این مقایسه در جدول ۴ به تفکیک بر اساس دو محصول A و B نشان داده شده است. میزان خطا برای اثر شلاقی بین ۰/۱۷ و ۱۱/۴۰ درصد متغیر است. میزان خطای متوسط برای بخش توزیع ۱/۸۳ درصد و برای بخش تولید ۷/۳۴ درصد است.

جدول ۴: برآورد میزان خطاهای اثر شلاقی، براساس دو محصول A و B و محاسبه براساس مدل شبیه‌سازی تحقیق حاضر

عامل	آیتم	محاسبه واقعی	محاسبه به وسیله سری‌های زمانی	خطا (درصد)	متوسط خطا (درصد)
توزیع‌کننده ۱	محصول A	۳۰/۷٤	۳۰/۰۵	۲/۲۳	۱/۸۳
	محصول B	۲۱/٦۲	۲۱/۷۲	۰/٤٦	
توزیع‌کننده ۲	محصول A	۳٦/۲۱	۳۵/۳٦	۲/۳٤	
	محصول B	۲۸/۵۹	۲۷/۸۳	۲/٦۷	
توزیع‌کننده ۳	محصول A	٤۳/۲۷	٤٤/۲٦	۲/۳۰	
	محصول B	۲۹/۵۸	۲۹/۲۹	۰/۹۸	
تولید کننده	محصول A	۱۰/۸۲	۱۰/۸٤	۰/۱۷	۷/۳٤
	محصول B	٤/۳۳	۳/۸۸	۱۰/٤٤	
	مواد اولیه	٦/۵۸	۵/۸۳	۱۱/٤۰	

از مزایای عمده مدل‌های پیشنهادی امکان انجام آزمایش‌های مختلف بر پایه رایانه به گونه‌ای است که بتواند رفتار کل سیستم زنجیره تأمین را توصیف، تشریح و پیش‌بینی کند. پس از آنکه کل سیستم زنجیره تأمین، به وسیله ترکیبی مناسب از مدل‌های موجودی، ارتباطی و مشارکتی تعریف گردید، امکان اندازه‌گیری اثر شلاقی در آن میسر است. به این مرحله، در اصطلاح خط مبنا می‌گویند. حال برای بهبود اثر شلاقی، رویکردی پیاده می‌شود که مراحل آن در شکل ۴ نمایش داده شده است.



شکل ۴: رویکرد پیشنهادی برای بهبود اثر شلاقی

همان‌گونه که در شکل ۴ پیداست، رویکرد مذکور شامل دو قدم است. در قدم اول حل اولیه‌ای برای بهبود اثر شلاقی انجام می‌پذیرد و در قدم دوم و پس از تطبیق مشارکت واحد زنجیره تأمین در طول کل زنجیره تأمین شبیه‌سازی شده، اثر شلاقی بهبود یافته و محاسبه می‌شود.

طراحی حل اولیه برای بهبود اثر شلاقی

بهبود ساختار شبکه زنجیره تأمین

با آزمودن حذف تعدادی از واحدهای زنجیره تأمین در ساختار شبکه تعریف‌شده برای آن، سعی می‌شود اثر شلاقی بهبود یابد. این کار باید بر مینیمم واحدهای زنجیره تأمین اعمال شده و چنان مناسب باشد که بر اهداف اصلی شبکه خللی وارد نکند. حذف واحد یا واحدهای مناسب باعث کاهش تأخیرات زمانی (یا زمان تدارک) شده و در نتیجه از پیچیدگی اطلاعات در طول به روزرسانی فرایند تقاضا می‌کاهد. در واقع با کاهش ضربات ناشی از زمان تدارک غیر صفر و به روزرسانی فرایند تقاضا، اثر شلاقی بهبود می‌یابد.

بهبود سطح مشارکت اطلاعات[1]

با تغییر سطح اطلاعات یک زنجیره تأمین سنتی به زنجیره‌ای با مشارکت اطلاعات، می‌توان سطح مشارکت اطلاعات را بهبود بخشید. افزایش سطح مشارکت اطلاعات، باعث هماهنگی در طول زنجیره شده و می‌تواند باعث بهبود اثر شلاقی گردد (Boute, et. al, 2007, p. 121).

1. Information Sharing Level

بهبود راندمان عملکردی[1] واحد زنجیره تأمین صنایع دفاعی

با افزایش کیفیت فرآیند واحد زنجیره تأمین، می‌توان راندمان عملکردی را بهبود بخشید. منظور از افزایش کیفیت فرآیند، افزایش پایایی فرآیند و ماشین و کاهش تعداد عیوب آن‌ها است. این امر باعث کوتاه شدن زمان فرآیند به دلیل کاهش زمان تدارک می‌شود (Taylor, 2000, p.515). کیفیت فرآیند، یکی از علل بروز اثر شلاقی است (Miragliotta, 2006, p.365). روش این کار معمولاً مهندسی مجدد فرآیند به کمک اجرای برنامه مدیریت کیفیت جامع[2] است (Cachon, et. al, 2000, p.1032).

بهبود مشارکت واحد زنجیره تأمین

در این تحقیق منظور از مشارکت واحد زنجیره تأمین، رویه‌های قابل‌کنترل در مواجهه با ضربات فرآیند سفارش است که قبلاً با عناوین رویه‌های پیش‌بینی و سفارش معرفی شده‌اند. با افزایش دقت رویه پیش‌بینی و انتخاب مناسب رویه سفارش می‌توان بر بهبود اثر شلاقی اثرگذار بود.

تطبیق مشارکت‌های واحد زنجیره تأمین در طول کل زنجیره

پس از طراحی حل اولیه برای بهبود اثر شلاقی، می‌توان مجدداً آن را اندازه‌گیری کرد، اما آنچه در طراحی حل اولیه دیده نشده است، مسئله مطابقت مشارکت، بین واحدهای زنجیره‌ی تولید است. تناقض در مشارکت، بین واحدهای زنجیره‌ی تولید ممکن است باعث مهم‌تر شدن مسئله اثر شلاقی شود. به‌طور مثال، تقاضای مشتریان به هم‌ترازی سفارش خرده‌فروشان بستگی دارد. در واقع هر وقت میزان سفارش خرده‌فروشان هم‌زمان باشد، واریانس تقاضای مشتریان (اثر شلاقی) ماکزیمم است؛ زیرا سفارش خرده‌فروشان دارای همان دوره زمانی است و برای بهبود اثر فوق می‌بایست سفارش خرده‌فروشان را تراز نمود (Lee, et. al, 1997, p.93).

به منظور تطبیق مشارکت‌های واحد زنجیره تأمین در طول کل زنجیره، کافی است پارامترهای هر مرحله از مدل مشارکت به‌صورت دستی تنظیم شود تا بهبود مناسب در میزان اثر شلاقی حاصل شود. این کار می‌تواند با نرم‌افزارهای بهینه‌ساز صورت گیرد. در واقع به کمک روش مذکور امکان پیش‌بینی میزان اثر شلاقی نیز وجود خواهد داشت.

1. Operational Efficiency
2. Total Quality management Program

بهبود اثر شلاقی

به منظور بهبود اثر شلاقی در کارخانه مذکور، ابتدا داده‌های فعلی کارخانه را دریافت و به مدل معرفی کرده و بر اساس آن اثر شلاقی برای هر واحد زنجیر تأمین را به منظور داشتن خط مبنا به دست آورده‌ایم. حال رویکرد بهبود اثر شلاقی را در دو مرحله (قدم) انجام می‌دهیم. ابتدا، حل اولیه برای بهبود اثر شلاقی را انجام داده و سپس تطبیق مشارکت‌ها در واحدهای زنجیره‌های تأمین در طول کل زنجیره تأمین را به کار می‌بریم.

طراحی حل اولیه برای بهبود اثر شلاقی در کارخانه صنایع دفاعی (قدم اول)

پس از مطالعه کامل عوامل زنجیره تأمین کارخانه به این نتیجه رسیدیم که به ترتیب:

- برای بهبود ساختار شبکه زنجیره تأمین نمی‌توانستیم کاری با حذف واحد یا واحدهای مناسب زنجیره تأمین انجام دهیم؛ زیرا زنجیره‌های مذکور محدود بود و کارخانه نمی‌توانست هیچ‌کدام از توزیع‌کنندگان خود را حذف نماید یا از دست بدهد.
- برای بهبود سطح مشارکت اطلاعاتی نیز به دلیل نوع کار کارخانه، کار بیشتری امکان‌پذیر نبود.
- برای بهبود راندمان عملکردی، واحدهای زنجیره تأمین نیز به دلیل مقاومت کارخانه در تغییر کیفیت فرآیند، افزایش پایایی فرآیند و ماشین و کاهش تعداد عیوب به علت محدودیت در سرمایه‌گذاری، نیز کاری قابل انجام نبود.

در نهایت تنها کار امکان‌پذیر در این کارخانه، بخش بهبود مشارکت واحد زنجیره تأمین بود. در این مورد دو کار انجام گردید:

- سطح کیفیت اطلاعات در این کارخانه از نوع یک بود؛ یعنی اینکه هیچ اطلاعات جدیدی برای پیش‌بینی و به‌روزرسانی پارامترهای رویه سفارش استفاده نمی‌گردید و پارامترهای نقطه سفارش و سطح هدف و ذخیره اطمینان، به‌صورت دستی تنظیم می‌شد.
- تولیدکننده موظف شد تکمیل موجودی توزیع‌کنندگان را روزانه کند، همان‌طور که در ابتدای مطالعه موردی گفته شده بود، درخواست سفارش برای تکمیل موجودی توزیع‌کنندگان از طرف خود کارخانه تکمیل می‌گردید و از مرکز تصمیم‌گیری کارخانه عبور می‌کرد که بدون تغییر در این رویه، مقرر گردید عمل مذکور به وسیله کارخانه روزانه شود.

تطبیق مشارکت‌های واحد زنجیره تأمین صنایع دفاعی جمهوری اسلامی ایران در طول کل زنجیره تأمین (قدم دوم)

کافی است به منظور تطبیق مشارکت‌های واحد زنجیره تأمین در طول کل زنجیره تأمین، پارامترهای هر مرحله از مدل مشارکت را تغییر دهیم. بدین منظور از نرم‌افزار بهینه‌ساز VENSIM کمک گرفته شد. این نرم‌افزار دارای یک موتور بهینه‌ساز بر پایه الگوریتم تپه نوردی پاول[1] است. از این الگوریتم برای یافتن بهترین پاسخ یک مسئله یا برای پیدا کردن پاسخی از مسئله که به اندازه کافی مناسب و بهینه باشد، استفاده می‌شود. این نرم‌افزار به گونه‌ای تنظیم گردید که با تغییرات جزئی در مدل مشارکت به دنبال بهبود اثر شلاقی باشد. پس از انجام بهینه‌سازی، نتایج حاصل در شکل‌های ۲ و ۳ و جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵: برآورد میزان کاهش اثر شلاقی پس از انجام رویکرد بهبود (Wangphanich, et. al, 2010, p.4501)

عامل	آیتم	خط مبنا	کاهش	کاهش (درصد)	متوسط کاهش(درصد)
توزیع‌کننده ۱	محصول A	۳۰/۷۴۰	۲/۵۹۱	۹۱/۵۷	۹۲/۱۷
	محصول B	۳۷/۱۷۰	۳/۵۸۰	۹۰/۳۷	
توزیع‌کننده ۲	محصول A	۴۵/۰۶۰	۲/۲۲۲	۹۵/۰۷	
	محصول B	۲۱/۸۲۰	۲/۰۷۹	۹۰/۴۷	
توزیع‌کننده ۳	محصول A	۲۸/۵۹۰	۲/۰۲۱	۹۲/۹۳	
	محصول B	۲۹/۴۱۰	۲/۱۸۲	۹۲/۵۸	
تولید کننده	محصول A	۱۱/۴۸۰	۷/۶۵۴	۳۳/۳۳	۲۲/۳۱
	محصول B	۴/۷۱۸	۴/۶۲۵	۱/۹۷	
	مواد اولیه	۶/۳۲۳	۴/۳۲۳	۳۱/۶۳	

نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که دو تغییر شاملِ تغییر سطح کیفیت اطلاعات از حالت یک به نوع هفت که

1. Powell Hill Climbing Algorithm

استفاده از مدل سری زمانی به عنوان الگوی تقاضا بود و نیز روزانه کردن بازرسی موجودی توزیع‌کنندگان و حمل محصول به صورت روزانه برای تکمیل موجودی آن‌ها، باعث کاهش مناسب اثر شلاقی شده است. نتیجه بخش تطبیق مشارکت‌های واحد زنجیره تأمین در طول کل زنجیره تأمین نشان می‌دهد که لزومی ندارد اندازه واحدهای ارسالی محصول به توزیع‌کنندگان، در صورت کاهش موجودی آن‌ها تغییر پیدا کند و باید همان ۸۴۰ واحد برای محصول A و ۷۰۰ واحد برای محصول B باقی بماند. از طرف دیگر در بخش تولید، اندازه بچ نیز لزومی برای تغییر ندارد و همان ۱۲۰۰۰ واحد برای محصول A و ۱۰۵۰۰ واحد برای محصول B است، اما بهتر است، سفارش مواد اولیه از ۲۱۶۰۰ واحد به ۷۲۰۰ واحد کاهش یابد.

همچنین مشخص شد که برای عامل توزیع‌کنندگان، کاهش متوسط ۹۲/۱۷ درصدی دیده می‌شود که علت اصلی آن حمل روزانه محصول برای تکمیل موجودی آن‌ها است. در واقع با تکمیل میزان موجودی هر توزیع‌کننده به‌صورت متناوب، باعث کاهش سطح اثر شلاقی در حدود ۹۰ درصد شده‌ایم.

برای عامل تولیدکننده، سطح اثر شلاقی به مقدار متوسط ۲۲/۳۱ درصد کاهش یافته است که برای محصول A کاهش ۳۳/۳۳ درصدی و برای محصول B کاهش ۱/۹۷ درصدی مشاهده می‌شود. در عین اینکه به ظاهر کاهش اثر شلاقی برای 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 درصد را نشان می‌دهد، بسیار بهتر است که علت آن می‌تواند سازگاری بیشتر این محصول با مشتریان (عوامل توزیع) باشد؛ بنابراین کاهش کمتری از اثر شلاقی (۱/۹۷ درصد) در آن مشاهده می‌شود. از طرف دیگر کاهش ۳۳/۳۳ درصدی سطح اثر شلاقی محصول A بدین معناست 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 سایز بچ سفارشی و تطبیق آن با تقاضاهای بخش تولید است.

علاوه بر آنچه گفته شد، اثر پدیده شلاقی بر مطالعه موردی موجود، به کمک نرم‌افزار بهینه‌ساز، بهینه شده و به این ترتیب نیز معلوم گردید که استفاده از مدل سری زمانی به عنوان الگوی تقاضا و روزانه کردن بازرسی موجودی توزیع‌کنندگان و حمل محصول به صورت روزانه برای تکمیل موجودی آن‌ها، باعث کاهش مناسب اثر شلاقی در صنایع دفاعی جمهوری اسلامی ایران می‌شود.

کتابنامه

- Boute, R. N., Disney, S. M., Lambrecht, M. R., & Van Houdt, B. (2007). An integrated production and inventory model to dampen upstream demand variability in the supply chain. European journal of operational research, 178(1), 121-142.
- Cachon, G. P., & Fisher, M. (2000). Supply chain inventory management and the value of shared information. Management science, 46(8), 1032-1048.
- Chilmon, B., & Tipi, N. S. (2020). Modelling and simulation considerations for an end-to-end supply chain system. Computers & Industrial Engineering, 150, 106870.
- Dejonckheere, J., Disney, S. M., Lambrecht, M. R., & Towill, D. R. (2003). Measuring and avoiding the bullwhip effect: A control theoretic approach. European journal of operational research, 147(3), 567-590.
- Disney, S. M & ,.Towill, D. R. (2003). On the bullwhip and inventory variance produced by an ordering policy. Omega, 31(3), 157-167.
- Fransoo, J. C., & Wouters, M. J. F. (2000). Measuring the bullwhip effect in the supply chain. Supply Chain Management: An International Journal.
- Haeussler, S., Stefan, M., Schneckenreither, M., & Onay, A. (2021). The lead time updating trap: Analyzing human behavior in capacitated supply chains. International Journal of Production Economics, 234, 108034.
- He, L., Xue, M., & Gu, B. (2020 .(Internet-of-things enabled supply chain planning and coordination with big data services: Certain theoretic implications. Journal of Management Science and Engineering, 5(1), 1-22.
- Kholidasari, I., Bidiawati, J. A., & Sari, M. E. (2019). The evaluation of bullwhip effect on distribution system of a supply chain using centralized demand information method. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- Lee, H. L., Padmanabhan, V., & Whang, S. (1997). The bullwhip effect in supply chains. Sloan management review, 38, 93-102.
- Ma, Y., & Li, W. (2019). Application and research of fractional differential equations in dynamic analysis of supply chain financial chaotic system. Chaos, Solitons & Fractals, 130, 109417.
- Miragliotta ,G. (2006). Layers and mechanisms: A new taxonomy for the bullwhip effect. International journal of production economics, 104(2), 365-381.
- Pereira, M. M., & Frazzon, E. M. (2021). A data-driven approach to adaptive synchronization of demand and supply in omni-channel retail supply chains. International Journal of Information Management, 57, 102165.
- Ponte, B., Cannella, S., Dominguez, R., Naim, M. M., & Syntetos, A. A. (2021). Quality grading of returns and the dynamics of remanufacturing. International Journal of Production Economics, 236, 108129.
- Riddalls, C. E., & Bennett, S. (2001). The optimal control of batched production and its effect on demand amplification. International journal of production economics, 72(2), 159-168.

- Shaban, A., Shalaby, M. A ,.Di Gravio, G., & Patriarca, R. (2020). Analysis of Variance Amplification and Service Level in a Supply Chain with Correlated Demand. Sustainability, 12(16), 6470.
- Taylor, D. H. (2000). Demand amplification: has it got us beat? International Journal of Physical Distribution & Logistics Management.
- Wangphanich, P., Kara, S., & Kayis, B. (2010). Analysis of the bullwhip effect in multi-product, multi-stage supply chain systemsâ€“a simulation approach. International journal of production Research, 48(15), 4.٤٥١٧-٥٠١
- Warburton, R. D. H. (2004). An analytical investigation of the bullwhip effect. Production and operations management, 13(2), 150-160.
- Yang, Y., Lin, J., Liu, G., & Zhou, L. (2021). The behavioural causes of bullwhip effect in supply chains: A systematic literature review. International Journal of Production Economics, 236, 108120.