

## Investigating the policies to reduce the whiplash phenomenon in the country's defense industry supply chains based on the system dynamics method

Mohsen Derakhshani<sup>1</sup> | Yaqub Alavi Mateen<sup>2</sup> | Majid Bagherzadeh<sup>3</sup> | Mojtaba Ramezani<sup>4</sup>

### Abstract

Since the whiplash phenomenon is an effective and decisive factor in supply chains; Therefore, an attempt is made to improve the performance of the defence industry of the Islamic Republic of Iran by controlling and reducing it. The current research tries to obtain an approach to improve the performance of supply chains. For this purpose, the effect of the whiplash phenomenon on multi-product, multi-stage and multi-level supply chains has been quantified based on time series, and a mathematical model has been obtained for it. In addition to that, other important and effective parameters such as the amount of target net storage have been studied. Also, the impact of the whiplash phenomenon on supply chains was obtained with the help of simulation and with the perspective of time series based on appropriate algorithms. To validate the findings, the results have been compared with a case study. Also, the effect of the whiplash phenomenon on the existing case study was optimized with the help of optimizer software, and as a result, it is found that the use of the time series model as a demand model and the daily inspection of distributors' inventory and the daily transportation of products to complete their inventory will reduce the whiplash effect. in the defence industry of the Islamic Republic of Iran. In addition, it was found that the daily inspection of the distributors' inventory and the shipment of the product on a daily basis to complete their inventory will have favourable effects.

**Keywords:** Chain of Defence Industries; Whiplash Effect of Simulation Time Series

120

Vol. 31  
Autumn 2022

Research Paper

Received:  
23 September 2021  
Accepted:  
22 November 2022  
P.P: 103-122

ISSN: 1025-5087  
E-ISSN: 2654-4971



DOR: 20.1001.1.10255087.1401.31.3.4.5

1. PhD student, Department of Management, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran  
Mohsenderakhani1399@gmail.com
2. Corresponding author: Assistant Professor, Department of Industrial Management, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
3. Assistant Professor, Department of Industrial Management, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
4. Assistant Professor, Department of Business Management, Bonab Branch, Islamic Azad University, Bonab, Iran



## بررسی سیاست‌های کاهش پدیده شلاقی در زنجیره‌های تأمین صنایع دفاعی کشور بر مبنای روش پویایی سیستم

محسن درخشانی<sup>۱</sup> | یعقوب علوی متین<sup>۲</sup> | مجید باقرزاده<sup>۳</sup> | مجتبی رمضانی<sup>۴</sup>

### چکیده

از آنجا که پدیده شلاقی عاملی اثرگذار و تعیین‌کننده در زنجیره‌های تأمین می‌باشد؛ بنابراین، سعی بر آن است که با کنترل و تقلیل آن، عملکرد صنایع دفاعی جمهوری اسلامی ایران ارتقا داده شود. تحقیق حاضر، سعی دارد رویکردی را جهت بهبود عملکرد زنجیره‌های تأمین به‌دست آورد. بدین منظور ابتدا تأثیر پدیده شلاقی بر روی زنجیره‌های تأمین چندمحصولی، چندمرحله‌ای و چندسطحی بر اساس سری‌های زمانی کمی شده، و مدلی ریاضی برای آن به‌دست آمده است. علاوه بر آن، پارامترهای مهم و مؤثر دیگر مانند مقدار ذخیره خالص هدف، مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. همچنین تأثیر پدیده شلاقی بر روی زنجیره‌های تأمین به کمک شبیه‌سازی و با نگرش سری‌های زمانی بر اساس الگوریتم‌های مناسب، به‌دست آمد. جهت اعتبارسنجی یافته‌ها، نتایج با یک مطالعه موردی مقایسه گشته است. همچنین اثر پدیده شلاقی بر روی مطالعه موردی موجود، به کمک نرم‌افزار بهینه‌ساز، بهینه‌شده و در نتیجه معلوم می‌گردد که استفاده از مدل سری زمانی به‌عنوان الگوی تقاضا و روزانه کردن بازرسی موجودی توزیع‌کنندگان و حمل محصول به‌صورت روزانه برای تکمیل موجودی آن‌ها، باعث کاهش مناسب اثر شلاقی در صنایع دفاعی جمهوری اسلامی ایران می‌گردد. به‌علاوه مشخص شد که روزانه کردن بازرسی موجودی توزیع‌کنندگان و حمل محصول به‌صورت روزانه برای تکمیل موجودی آن‌ها اثرات مطلوبی به‌دنبال خواهد داشت.

واژگان کلیدی: زنجیره تأمین؛ صنایع دفاعی؛ اثر شلاقی؛ سری‌های زمانی؛ شبیه‌سازی.

۱. دانشجوی دکتری، گروه مدیریت، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

Mohsenderakhani1399@gmail.com

۲. نویسنده مسئول: استادیار گروه مدیریت صنعتی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۳. استادیار گروه مدیریت صنعتی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۴. استادیار گروه مدیریت بازرگانی، واحد بناب، دانشگاه آزاد اسلامی، بناب، ایران

## پیشگفتار

کالا به عنوان یک موجودیت حیاتی در عملیات مختلف تجاری و صنعتی دارای نقش کلیدی است. نیاز مصرف کننده به کالای مورد نظر و اعلام آن به محیطی تحت عنوان بازار باعث می‌گردد حلقه‌های مستقلی از فرایندها شروع به فعالیت نمایند (جیائو<sup>۱</sup> و دیگران، ۲۰۲۱). یکی از زمینه‌های تحقیقاتی در زنجیره تأمین صنایع دفاعی جمهوری اسلامی ایران اثر شلاقی<sup>۲</sup> است. اثر شلاقی یکی از دلایل اصلی ناکارآمدی زنجیره تأمین است (پونته<sup>۳</sup> و دیگران، ۲۰۲۱). در واقع تعریف اصلی اثر شلاقی با بسط مفهوم «عدم اطمینان» معنی دار می‌شود. «عدم اطمینان یک فعالیت» را به این شکل تعریف می‌کنند: «عدم اطمینان تفاوت بین مقداری از اطلاعات که برای انجام یک فعالیت لازم است و مقداری از اطلاعات که در حال حاضر توسط سازمان پردازش می‌شود، می‌باشد» (Chilmon, et. al, 2020). این تعریف از این فرض ناشی می‌شود که عدم اطمینان نتیجه کمبود اطلاعات است. از نظر گاه لجستیکی عدم اطمینان به چهار دسته تقسیم می‌شود که عبارت‌اند از:

- عدم اطمینان در تقاضا،
- عدم اطمینان در عرضه،
- عدم اطمینان در فرایند و
- عدم اطمینان در برنامه‌ریزی کنترل.

به واسطه وابستگی که بین هر مرحله با تقاضا کننده بعدی و عرضه کننده ماقبل خود در زنجیره عرضه وجود دارد، طی مکانیزم خاصی، تأمین کننده‌های مواد خام برای تولید کننده‌ها، با عدم اطمینان‌های شدیدتری نسبت به مصرف کننده‌های نهایی و اعضا پایین‌دستی روبه‌رو هستند. این مکانیزم خاص در زنجیره عرضه با نام اثر شلاقی شناخته می‌شود (یانگ<sup>۴</sup> و دیگران، ۲۰۲۱). در واقع از زمانی که «فارستر» حدود ۴۵ سال پیش این مطلب را کشف کرد که تغییرات از مشتری تا تأمین کننده افزایش می‌یابد، محققان در جستجوی دلایل آن بوده‌اند. تحقیقات نشان می‌دهد، هر

1. Jiao  
2. Bullwhip Effect  
3. Ponte  
4. Yang

چه کمپانی از نظر زمان تحویل<sup>۱</sup> 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 (ما<sup>۲</sup> و دیگران، ۲۰۱۹). اثر شلاقی از سه جنبه بر روی زنجیره تأمین صنایع دفاعی جمهوری اسلامی ایران تأثیر منفی می‌گذارد. این موارد را می‌توان به صورت زیر برشمارد:

**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 بیشینه تقاضا تنظیم کند به ظرفیت اضافی و استفاده نشده منجر خواهد شد.

**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. درحالی که سطح موجودی پایین قابلیت اطمینان در تحویل را با ریسک مواجه می‌کند.

**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.

چهار دلیل عمده برای ایجاد اوج تقاضا در زنجیره تأمین وجود دارد که می‌توان آن‌ها را به صورت زیر برشمرد: به هنگام کردن پیش‌بینی تقاضا، سفارش محموله‌ای، نوسان قیمت و سهمیه‌بندی و کمبود که با لحاظ کردن این موارد می‌توان مسئله را بهتر بررسی نمود.

هر عاملی که حلقه‌های یک زنجیره تأمین را به سمت بهینه‌گرایی محلی سوق دهد و یا تأخیر یا تحریف اطلاعات را منجر شود، یا 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

1. Lead Time  
2. Ma

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 (هه<sup>۱</sup> و دیگران، ۲۰۲۰: ۱). نرخ واریانس مهم‌ترین و پرکاربردترین سنجه در اندازه‌گیری اثر شلاقی در طول سالیان بوده است (هاوسلر<sup>۲</sup> و دیگران، ۲۰۲۱). نرخ واریانس به صورت نسبت بین واریانس‌ها بین مراحل 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 اصلاح شده نیز ارائه شد تا بتوان اثر دسته‌بندی محصولات را نمایش داد. در واقع می‌توان گفت که به ازای تک‌تک علل اثر شلاقی روش‌های اندازه‌گیری مختلفی نیز به وجود آمده است. از جمله این کارها تحقیقات انجام شده توسط فرانسو<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۰: ۷۸) و نیز دجنکخیره<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۳) می‌باشند. اما، به‌طور کلی روش‌های کلی نظیر واریانس یا انحراف معیار به علت توانایی آن‌ها در نمایش مقیاسی پدیده‌ها کاربرد بیشتری دارند. علاوه بر روش‌های مبتنی بر علل واربرتون<sup>۵</sup> از نسبت بین تعداد سفارش‌ها بین اجزای زنجیره استفاده کرد (واربرتون، ۲۰۰۴: ۱۵۰) و یا دیزنی<sup>۶</sup> مقدار افزایش پیک سفارش‌ها (دیزنی و دیگران، ۲۰۰۳: ۷۸) و ریدالاس<sup>۷</sup> و بنت<sup>۸</sup> نرخ انحراف پیک سفارش‌ها را محاسبه کردند (ریدالاس و دیگران، ۲۰۰۱: ۱۵۹). این روش‌ها در محاسبه نقاط پیک تقاضا و تأثیر آن بر اثر شلاقی مؤثر هستند. اما این روش‌ها برای کاربرد عملی بسیار دردسرساز می‌باشند (پرئی<sup>۹</sup> و دیگران، ۲۰۲۱). از این‌رو برای اندازه‌گیری اثر شلاقی از معیاری سود برد که تعداد دفعاتی که واریانس تقاضا در حرکت سفارش‌ها بزرگ‌تر می‌شود را اندازه‌گیری و با توجه به معیار واریانس و اهمیت آن سه معیار مختلف زیر را که بر اساس نسبت واریانس و انحراف معیار کار می‌کنند را نمایش داد:

1. He
2. Haeussler
3. Fransoo
4. Dejonckheere
5. Warburton
6. Disney
7. Riddalls
8. Bennett
9. Perei

- انحراف معیار میزان سفارش‌ها در هر قسمت زنجیره.
  - نسبت واریانس تقاضا در نقطه  $k$  در زنجیره نسبت به واریانس سفارش مشتری.
  - نسبت واریانس تقاضا در نقطه  $k$  در زنجیره نسبت به واریانس در نقطه  $k-1$ .
- لذا در طول این تحقیق چند هدف اصلی مدنظر است. اولین هدف، 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 هدف، تعیین رویکردی برای بهبود اثر شلاقی بر اساس زنجیره‌های تأمین چندمحصولی، چندمرحله‌ای و چندسطحی خواهد بود. اهداف اصلی این تحقیق را می‌توان به صورت زیر برشمرد:
- تعیین رابطه ریاضی بر اساس 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<sup>۱</sup> به‌روی معادلات
  - تعیین روش شبیه‌سازی بر اساس سری‌های زمانی برای اندازه‌گیری اثر شلاقی در صنایع دفاعی جمهوری اسلامی ایران و بیان الگوریتم‌های مربوطه
  - انتخاب روش پیش‌بینی مناسب و متداول برای پیش‌بینی تقاضای دوره زمان تدارک سفارش
  - ارائه راهکار جهت کاهش اثر شلاقی در صنایع دفاعی جمهوری اسلامی ایران

## روش تحقیق

اثر شلاقی نه تنها بین اجزاء زنجیره تأمین (خرده‌فروش، عمده‌فروش، توزیع‌کننده، تولیدکننده و تأمین‌کننده) اتفاق می‌افتد، بلکه مابین حوزه‌های کاری سازمان‌ها که تصمیم‌گیری سفارش‌ها را به عهده دارند نیز وجود دارد. شکل ۱ یک شبکه زنجیره تأمین چندمرحله‌ای<sup>۲</sup>، چندسطحی<sup>۳</sup> و چندمحصولی را نمایش می‌دهد و با توجه به اهمیت مدیریت زنجیره تأمین و پدیده اثر شلاقی، در

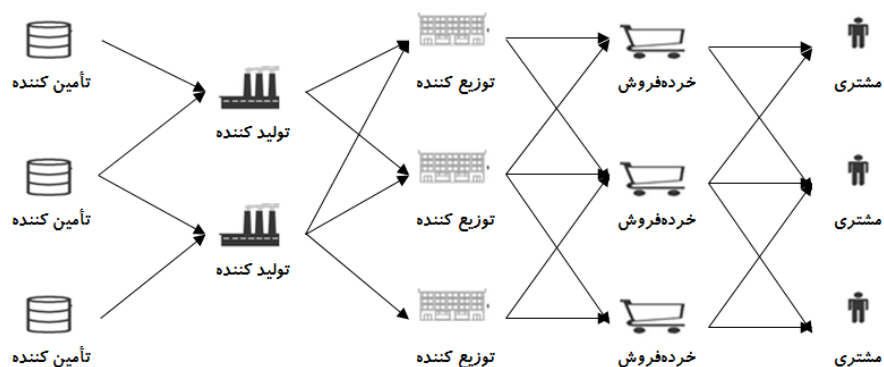
---

1. Target Net Stock  
2. Multi-Stage  
3. Multi-Echelon

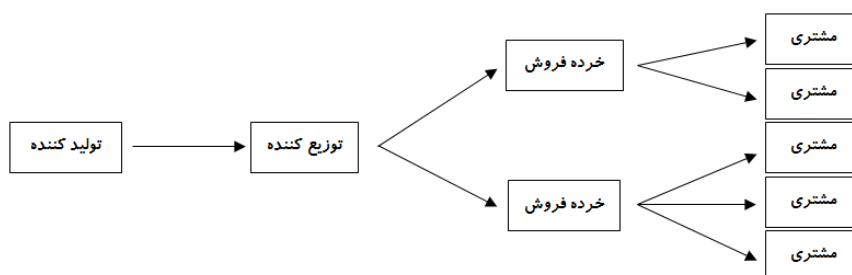
زنجیره‌های تأمین چندمرحله‌ای، چندسطحی و چندمحصولی، اقدامات بسیاری برای کمی کردن تأثیر این پدیده انجام شده است که می‌توان آن‌ها را در دو گروه زیر طبقه‌بندی کرد:

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

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



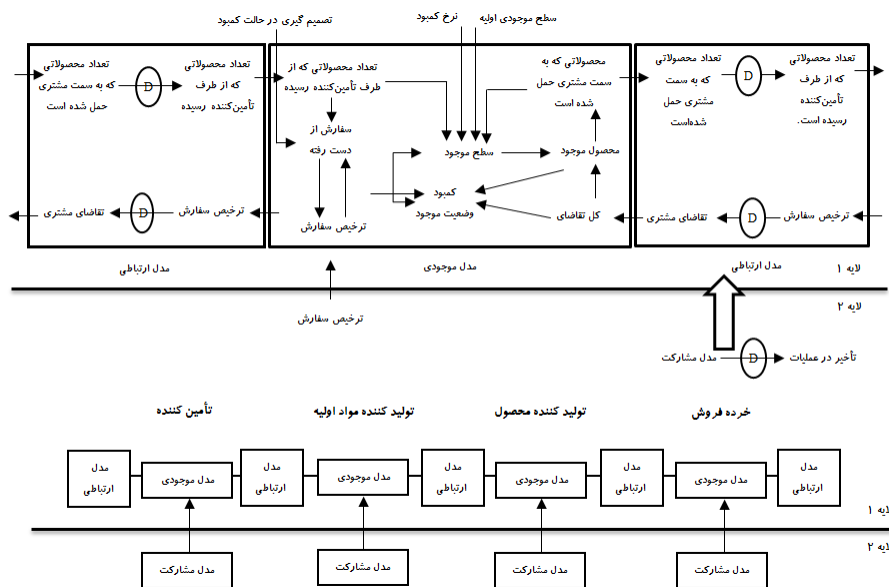
شکل ۱: شبکه زنجیره تأمین چندمرحله‌ای، چندسطحی و چندمحصولی (ونگ پانیچ<sup>۱</sup> و دیگران، ۲۰۱۰: ۴۵۰۱)



شکل ۲: روند توزیع محصول A در شبکه زنجیره تأمین (ونگ پانیچ و دیگران، ۲۰۱۰: ۴۵۰۱)

## مدل پیشنهادی

به منظور اندازه گیری اثر شلاقی برای واحدهای (حوزه های) زنجیره تأمین صنایع دفاعی جمهوری اسلامی ایران از یک شبیه سازی دولایه ای<sup>۱</sup> و سه مدل عمومی استفاده می شود. این سه مدل عبارتند از مدل موجودی<sup>۲</sup>، مدل ارتباطی<sup>۳</sup> و مدل مشارکتی<sup>۴</sup> که در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: مدل دو لایه ای برای مدل های عمومی موجودی، ارتباطی و مشارکت

همان طور که در شکل ۳ مشاهده می شود، لایه شبکه زنجیره تأمین (لایه ۱)، از دو مدل ارتباطی و یک مدل موجودی تشکیل گردیده است. مدل موجودی، به عنوان مدل زنجیره تأمین مابین واحدهای زنجیره تأمین استفاده شده است و مدل مشارکتی (لایه ۲) به عنوان مدل فرایند سفارش و تنظیم مجدد زنجیره تأمین به کار می رود. انتخاب چنین ساختاری، باعث می شود که کاربر بتواند

1. Two Layer Simulation
2. Inventory Model
3. Linkage Model
4. Contribution Model



زنجیره تأمین مربوط به خود را شبیه‌سازی کرده و امکان کاهش اثر شلاقی را داشته باشد. ساختار مذکور امکان مطالعه و بررسی زنجیره‌های تأمین پیچیده‌ی چند مرحله‌ای و چند محصولی را فراهم می‌کند.

## یافته‌ها

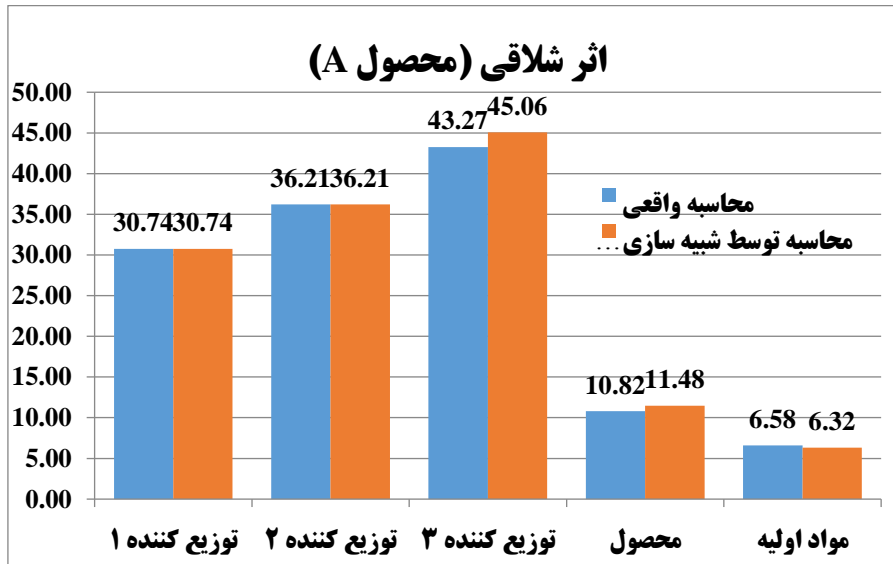
همانگونه که دیده شد، در قسمت قبل اثر شلاقی با استفاده از دو راهکار شبیه‌سازی و مدل ریاضی کمی سلری شد. روشن است که برای اعتبارسنجی نتایج حاصله باید یافته‌ها را با نتایج واقعی موجود مقایسه نمود. به دلیل اینکه مطالعه موردی مناسبی برای تعیین اثر شلاقی در یک زنجیره‌ی تأمین چند مرحله‌ای، چند سطحی و چند محصولی در دسترس نبود، بر آن شدیم که از منابع خارجی برای این منظور استفاده نماییم و چون پایه‌های بخش شبیه‌سازی بر اساس تحقیقات ونگ پانیچ بوده است و در تحقیق منتشره یک نمونه نسبتاً مناسب از تعیین اثر شلاقی در یک زنجیره تأمین چند سطحی، چند محصولی، در دسترس بود (ونگ پانیچ و دیگران، ۲۰۱۰: ۴۵۰۱). بنابراین، مکاتباتی با ایشان انجام گردید و در نتیجه اطلاعات زنجیره تأمین به کار رفته شده در آن تحقیق به دست آمد. بر اساس آن اطلاعات، قسمت فعلی رقم خورده است.

مشکل اساسی در این نمونه از مطالعه موردی به دست آمده، استفاده از سیستم کنترل فازی-عصبی تطبیقی<sup>۱</sup> برای پیش‌بینی فروش آتی بود. که به غیر از بار اجرایی بخش‌های ریاضی و شبیه‌سازی، استفاده از سیستم اخیر نیز مزید بر علت گردید.

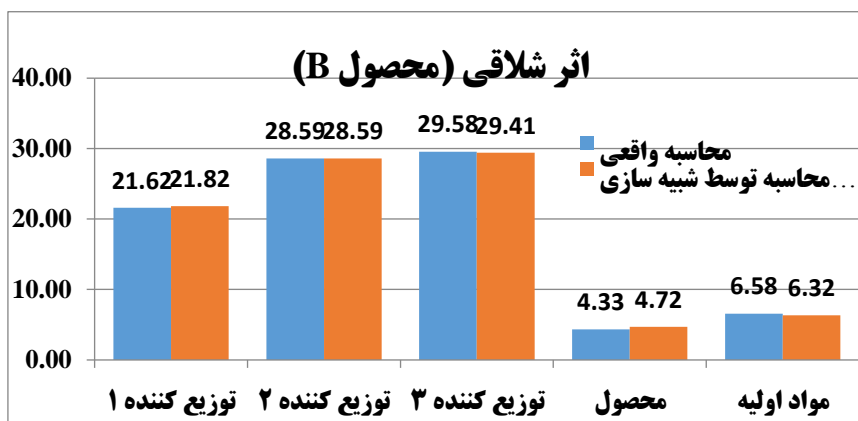
این قسمت از تحقیق به چند دسته تقسیم می‌گردد. ابتدا مطالعه موردی به دست آمده بیان شده و سپس مقدمه‌ای بر سیستم کنترل فازی-عصبی تطبیقی برای تقریب توابع مدل پویایی سیستم گفته می‌شود و در انتها، این مطالعه موردی بر اساس کمی کردن ریاضی و شبیه‌ساز حل گردیده در نهایت پیشنهادهایی برای بهبود اثر شلاقی بیان می‌گردد.

در مدل موجود زنجیره تأمین کارخانه لاستیک‌سازی صنایع دفاع، اثر شلاقی برای دوره زمانی ۹۰ روزه محاسبه (واقعی) و با مدل شبیه‌سازی شده (بر اساس مقاله پایه) مقایسه گردیده است. این مقایسه، به تفکیک بر اساس دو محصول  $A$  و  $B$  نشان داده شده 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٪ است. در مدل موجود زنجیره تأمین کارخانه لاستیک‌سازی، اثر شلاقی برای دوره زمانی ۹۰ روزه محاسبه (واقعی) و با مدل شبیه‌سازی شده (بر اساس مقاله پایه) مقایسه گردیده است. این مقایسه در شکل‌های ۴ و ۵ و جدول ۱ محاسبه اثر شلاقی، به تفکیک بر اساس دو محصول A و B نشان داده شده 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٪ است.



شکل ۴: اثر شلاقی بر اساس محصول A از زنجیره تأمین کارخانه، محاسبه بر اساس شبیه‌سازی مقاله پایه (ونگ پانیچ و دیگران، ۲۰۱۰: ۴۵۰۱)



شکل ۵: اثر شلاقی بر اساس محصول B از زنجیره تأمین کارخانه، محاسبه بر اساس شبیه‌سازی مقاله پایه (ونگ پانیچ و دیگران، ۲۰۱۰: ۴۵۰۱)

جدول ۱: برآورد میزان خطاهای اثر شلاقی، بر اساس دو محصول A و B

و محاسبه بر اساس شبیه‌سازی مقاله پایه (ونگ پانیچ و دیگران، ۲۰۱۰: ۴۵۰۱)

عامل	آیتم	محاسبه واقعی	محاسبه توسط شبیه‌سازی (مقاله پایه)	خطا (درصد)	متوسط خطا (درصد)
توزیع کننده ۱	محصول A	۳۰/۷۴	۳۰/۷۴	۰/۰۰	۰/۹۴
	محصول B	۲۱/۶۲	۲۱/۸۲	۰/۹۳	
توزیع کننده ۲	محصول A	۳۶/۲۱	۳۶/۲۱	۰/۰۰	
	محصول B	۲۸/۵۹	۲۸/۵۹	۰/۰۰	
توزیع کننده 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 زنجیره تأمین کارخانه لاستیک سازی صنایع دفاع و برای دوره زمانی ۹۰ روزه

محاسبه، با مدل سری زمانی (بر اساس تحقیق حاضر) مقایسه گردیده است. این مقایسه در جدول ۲

به تفکیک بر اساس دو محصول A و B نشان داده شده است. میزان خطا برای اثر شلاقی مابین ۰/۵۷ و ۱۳/۱۶٪ متغیر است. میزان خطای متوسط برای بخش توزیع ۱/۴۱٪ و برای بخش تولید ۸/۴۵٪ است.

جدول ۲: برآورد میزان خطاهای اثر شلاقی، بر اساس دو محصول A و B و محاسبه بر اساس سری‌های زمانی (ونگ پانیچ و دیگران، ۲۰۱۰: ۴۵۰۱)

عامل	آیتم	محاسبه واقعی	محاسبه توسط سری‌های زمانی	خطا (درصد)	متوسط خطا (درصد)
توزیع‌کننده ۱	محصول A	۳۰/۷۴	۳۰/۵۵	۰/۶۲	۱/۴۱
	محصول B	۲۱/۶۲	۲۱/۰۴	۲/۷۰	
توزیع‌کننده ۲	محصول A	۳۶/۲۱	۳۵/۵۶	۱/۷۹	
	محصول B	۲۸/۵۹	۲۸/۴۳	۰/۵۷	
توزیع‌کننده ۳	محصول A	۴۳/۲۷	۴۴/۱۴	۲/۰۱	
	محصول B	۲۹/۵۸	۲۹/۳۶	۰/۷۵	
تولید کننده	محصول A	۱۰/۸۲	۱۱/۲۳	۳/۸۲	۸/۴۵
	محصول B	۴/۳۳	۴/۶۹	۸/۳۸	
	مواد اولیه	۶/۵۸	۵/۷۱	۱۳/۱۶	

در نهایت، و پس از طراحی مدل مربوط به زنجیره تأمین کارخانه لاستیک سازی صنایع دفاع، اثر شلاقی برای هر واحد زنجیر تأمین برای دوره زمانی ۹۰ روزه محاسبه و با مدل شبیه‌سازی (بر اساس تحقیق حاضر) مقایسه گردیده‌اند. این مقایسه در جدول ۳ به تفکیک بر اساس دو محصول A و B نشان داده شده است. میزان خطا برای اثر شلاقی مابین ۰/۱۷ و ۱۱/۴۰٪ متغیر است. میزان خطای متوسط برای بخش توزیع ۱/۸۳٪ و برای بخش تولید ۷/۳۴٪ است.

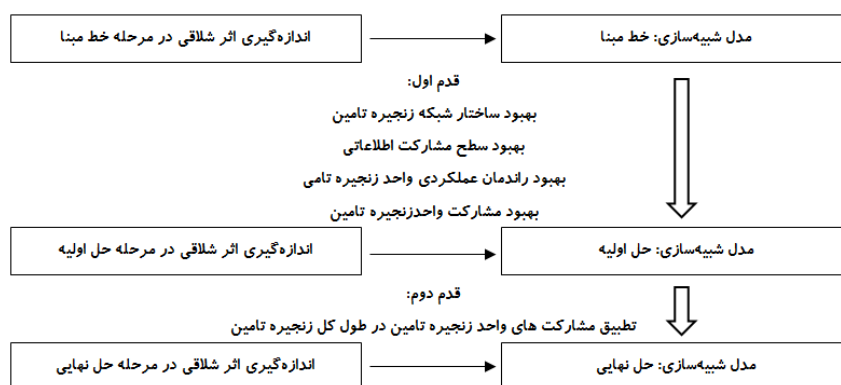
جدول ۳: برآورد میزان خطاهای اثر شلاقی، بر اساس دو محصول A و B

و محاسبه بر اساس مدل شبیه‌سازی تحقیق حاضر

عامل	آیتم	محاسبه واقعی	محاسبه توسط سری‌های زمانی	خطا (درصد)	متوسط خطا (درصد)
توزیع‌کننده ۱	محصول A	۳۰/۷۴	۳۰/۰۵	۲/۲۳	۱/۸۳
	محصول B	۲۱/۶۲	۲۱/۷۲	۰/۴۶	
توزیع‌کننده ۲	محصول A	۳۶/۲۱	۳۵/۳۶	۲/۳۴	
	محصول B	۲۸/۵۹	۲۷/۸۳	۲/۶۷	
توزیع‌کننده ۳	محصول A	۴۳/۲۷	۴۴/۲۶	۲/۳۰	
	محصول B	۲۹/۵۸	۲۹/۲۹	۰/۹۸	
تولیدکننده	محصول A	۱۰/۸۲	۱۰/۸۴	۰/۱۷	۷/۳۴
	محصول B	۴/۳۳	۳/۸۸	۱۰/۴۴	
	مواد اولیه	۶/۵۸	۵/۸۳	۱۱/۴۰	

## بحث و نتیجه‌گیری

پس از آن که کل سیستم زنجیره تأمین، توسط ترکیبی مناسب از مدل‌های موجودی، ارتباطی و مشارکتی تعریف گردید، امکان اندازه‌گیری اثر شلاقی در آن میسر است. به این مرحله، اصطلاحاً خط مبنا می‌گویند. حال برای بهبود اثر شلاقی، رویکردی پیاده می‌شود که مراحل آن در شکل ۶ نمایش داده شده است.



شکل ۶: رویکرد پیشنهادی برای بهبود اثر شلاقی

همان گونه که در شکل ۶ پیداست، رویکرد مذکور شامل دو قدم می باشد. در قدم اول حل اولیه ای برای بهبود اثر شلاقی انجام می پذیرد و در قدم دوم و پس از تطبیق مشارکت واحد زنجیره تأمین در طول کل زنجیره تأمین شبیه سازی شده، اثر شلاقی بهبود یافته، محاسبه می شود. بر اساس مدل شبیه سازی بر اساس مرحله خط مبنای حاصله از مدل های موجودی-ارتباطی-مشارکتی می توان پیشنهادات ذیل را ارائه نمود.

## طراحی حل اولیه برای بهبود اثر شلاقی

### بهبود ساختار شبکه زنجیره تأمین

با آزمون حذف تعدادی از واحدهای زنجیره تأمین در ساختار شبکه تعریف شده برای آن، سعی می شود 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 نامناسب باعث کاهش تأخیرات زمانی (یا زمان تدارک) شده و در نتیجه از پیچیدگی اطلاعات در طول به روزرسانی فرایند تقاضا می کاهد. در واقع با کاهش ضربات ناشی از زمان تدارک غیر صفر و به روزرسانی فرایند تقاضا، اثر شلاقی بهبود می یابد.

### بهبود سطح مشارکت اطلاعات<sup>۱</sup>

با تغییر سطح اطلاعات یک زنجیره تأمین سنتی به زنجیره ای با مشارکت اطلاعات، می توان سطح مشارکت اطلاعات را بهبود بخشید. افزایش سطح مشارکت اطلاعات، باعث هماهنگی در طول زنجیره شده و می تواند باعث بهبود اثر شلاقی گردد (بوت<sup>۲</sup> و دیگران، ۲۰۰۷: ۱۲۱).

### بهبود راندمان عملکردی<sup>۳</sup> واحد زنجیره تأمین صنایع دفاعی

با افزایش کیفیت فرایند واحد زنجیره تأمین، می توان راندمان عملکردی را بهبود بخشید. منظور از افزایش کیفیت فرایند، افزایش پایایی فرایند و ماشین و کاهش تعداد عیوب آن ها می باشد. این

1. Information Sharing Level

2. Boute

3. Operational Efficiency

امر باعث کوتاه شدن زمان فرایند به دلیل کاهش زمان تدارک می‌گردد (تیلور<sup>۱</sup>، ۲۰۰۰، ۵۱۵). کیفیت فرایند یکی از علل بروز اثر شلاقی است (میراگلیوتا<sup>۲</sup>، ۲۰۰۶، ۳۶۵). روش این کار معمولاً مهندسی مجدد فرایند به کمک اجرای برنامه مدیریت کیفیت جامع<sup>۳</sup> است (کشون<sup>۴</sup> و دیگران، ۲۰۰۰، ۱۰۳۲).

### بهبود مشارکت واحد زنجیره تأمین

در این تحقیق منظور از مشارکت واحد زنجیره تأمین، رویه‌های قابل کنترل در مواجهه با ضربات فرایند سفارش است که قبلاً تحت عناوین رویه‌های پیش‌بینی و سفارش معرفی شده‌اند. با افزایش دقت رویه پیش‌بینی و انتخاب مناسب رویه سفارش می‌توان بر روی بهبود اثر شلاقی اثر گذار 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، مسئله‌ی مطابقت مشارکت، مابین واحدهای زنجیره‌ی تولید است. تناقض در مشارکت مابین واحدهای زنجیره‌ی تولید ممکن است باعث مهم‌تر شدن مسئله‌ی اثر شلاقی گردد. به‌طور مثال، تقاضای مشتریان بستگی به هم‌ترازی سفارش خرده‌فروشان دارد. در واقع هر وقت میزان سفارش خرده‌فروشان هم‌زمان با شد، واریانس تقاضای مشتریان (اثر شلاقی) ماکزیمم است؛ زیرا سفارش خرده‌فروشان دارای همان دوره زمانی است و برای بهبود اثر فوق‌می‌بایست سفارش خرده‌فروشان را تراز نمود (لی و دیگران، ۱۹۹۷: ۹۳).

به‌منظور 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 توسط نرم‌افزارهای بهینه‌ساز صورت گیرد. در واقع به کمک روش مذکور امکان پیش‌بینی میزان اثر شلاقی نیز وجود خواهد داشت.

1. Taylor
2. Miragliotta
3. Total Quality management Program
4. Cachon

## 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 زنجیره 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 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:

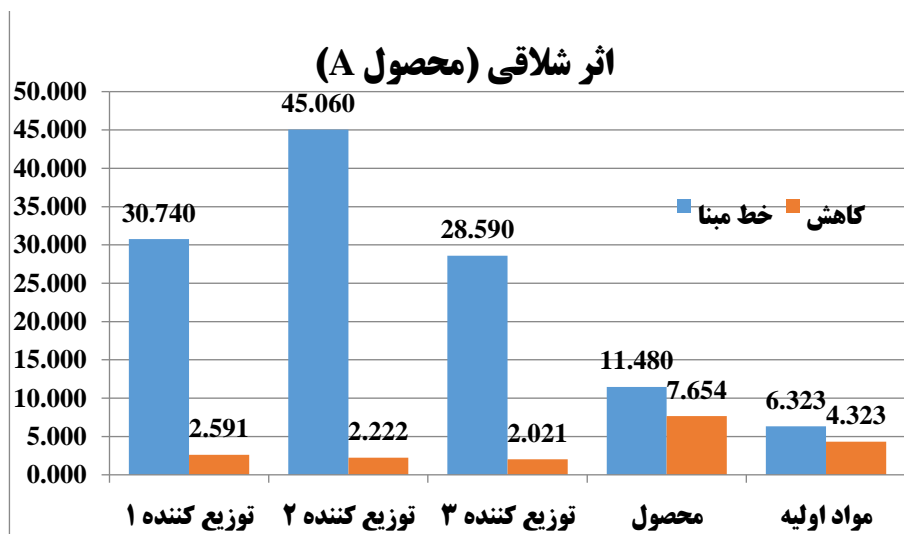
- برای بهبود ساختار شبکه زنجیره تأمین نمی‌توانستیم کاری با حذف واحد یا واحدهای مناسب زنجیره تأمین انجام دهیم؛ زیرا زنجیره‌های مذکور محدود بود و کارخانه نمی‌توانست هیچ کدام از توزیع کنندگان خود را حذف نماید یا از دست بدهد.
  - برای بهبود سطح مشارکت اطلاعاتی نیز به دلیل نوع کار کارخانه، کار بیشتری امکان پذیر نبود.
  - برای بهبود راندمان عملکردی، واحدهای زنجیره تأمین نیز به دلیل مقاومت کارخانه در تغییر کیفیت فرایند، افزایش پایایی فرایند و ماشین و کاهش تعداد عیوب به علت محدودیت در سرمایه گذاری، نیز کاری قابل انجام نبود.
- در نهایت تنها کار امکان پذیر 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، به صورت دستی تنظیم می‌شد.
  - تولیدکننده موظف گردید تکمیل موجودی توزیع کنندگان را روزانه نماید، همان‌طور که در ابتدای مطالعه موردی گفته شده بود، درخواست سفارش برای تکمیل موجودی توزیع کنندگان توسط خود کارخانه تکمیل می‌گردید و از مرکز



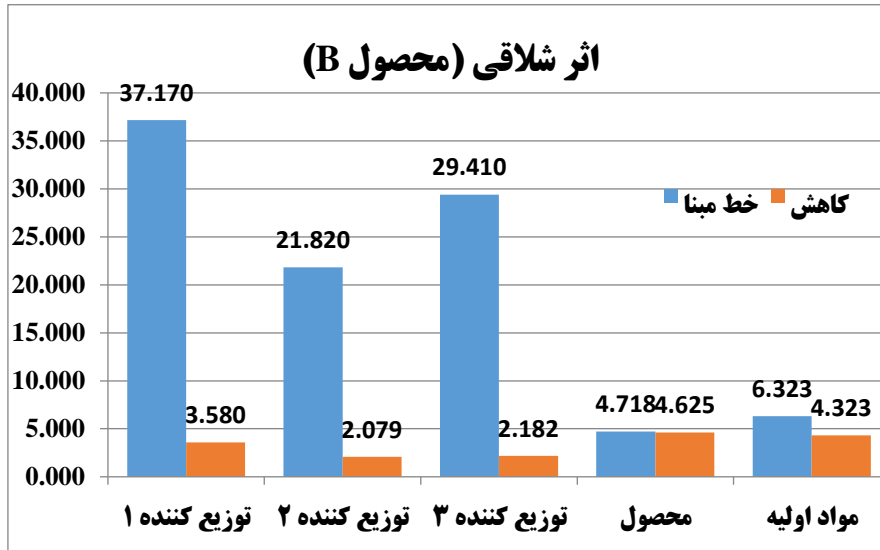
تصمیم‌گیری کارخانه عبور می‌کرد، که بدون تغییر در این رویه، مقرر گردید عمل مذکور توسط کارخانه روزانه شود.

### 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<sup>۱</sup> 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 ۷ و ۸ و جدول ۴ نشان داده شده است.



شکل ۷: بهبود اثر شلاقی بر اساس محصول A از زنجیره تأمین کارخانه، محاسبه بر اساس شبیه‌سازی مقاله پایه (ونگ پانیچ و دیگران، ۲۰۱۰: ۴۵۰۱)



شکل ۸: بهبود اثر شلاقی بر اساس محصول B از زنجیره تأمین کارخانه، محاسبه بر اساس شبیه‌سازی مقاله پایه (ونگ پانیچ و دیگران، ۲۰۱۰: ۴۵۰۱)

جدول ۴: برآورد میزان کاهش اثر شلاقی پس از انجام رویکرد بهبود (ونگ پانیچ و دیگران، ۲۰۱۰: ۴۵۰۱)

عامل	آیتم	خط مبنا	کاهش	کاهش (درصد)	متوسط کاهش (درصد)
توزیع کننده ۱	محصول A	۳۰/۷۴۰	۲/۵۹۱	۹۱/۵۷	۹۲/۱۷
	محصول B	۳۷/۱۷۰	۳/۵۸۰	۹۰/۳۷	
توزیع کننده ۲	محصول A	۴۵/۰۶۰	۲/۲۲۲	۹۵/۰۷	
	محصول B	۲۱/۸۲۰	۲/۰۷۹	۹۰/۴۷	
توزیع کننده ۳	محصول A	۲۸/۵۹۰	۲/۰۲۱	۹۲/۹۳	
	محصول B	۲۹/۴۱۰	۲/۱۸۲	۹۲/۵۸	
تولیدکننده	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 تحقیق نشان داد که دو تغییر شامل: تغییر سطح کیفیت اطلاعات از حالت یک به نوع هفت، که استفاده از مدل سری زمانی به‌عنوان الگوی تقاضا بود و نیز روزانه کردن، بازرسی موجودی توزیع‌کنندگان و حمل محصول به‌صورت 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، ولی 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٪ شده‌ایم.

برای عامل تولیدکننده، سطح اثر شلاقی به مقدار متوسط ۲۲/۳۱٪ 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  $B$  زیاد نبوده، ولی با مراجعه به بخش خط مبنا شلاقی برای محصول  $A$  در خط مبنا که ۱۱/۴۸ 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) 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 سائز بچ سفارشی و تطبیق آن با تقاضاهای بخش تولید می‌باشد.

## فهرست منابع

- Jiao, J., Huang, S. & Soares, C. G. (2021). Viscous fluid–flexible structure interaction analysis on ship springing and whipping responses in regular waves, 106, 103354.
- 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.
- 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.
- 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 systems—a simulation approach. *International journal of production Research*, 48(15), 4501-4517.
- 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.

