مدیریت صنعتی
دانشکدهٔ مدیریت دانشگاه تهران
دورهٔ ۹، شمارهٔ ۱
بهار ۱۳۹۶
صص. ۵۸- ۴۳

Journal of Industrial Management
DOI: 10.22059/imj.2017.223681.1007173

تحلیل حساسیت اثر شلاق چرمی در زنجیرهٔ تأمین چهارسطحی با استفاده از روش میانگین متحرک برای برآورد تقاضا

سید علی بنی هاشمی[۱]، سید محمد حاجی مولانا[۲]

چکیده: اثر شلاقی به‌طور شایان توجهی بر عملکرد مالی شرکت‌ها و سازمان‌ها اثر می‌گذارد. این پدیده بیان می‌کند که نوسان تغییرات تقاضا از انتهای زنجیره به ابتدای زنجیره بیشتر می‌شود. دانشمندان و محققان در زمینهٔ کاهش آثار شلاقی در زنجیرهٔ تأمین، مطالعات بسیاری انجام داده و جنبهٔ خاصی را بررسی کرده‌اند. در این پژوهش به بررسی آثار ذخیرهٔ احتیاطی و تغییرات تقاضای مشتری نهایی بر اثر شلاقی کل زنجیرهٔ تأمین پرداخته شده است. به همین منظور، یک زنجیرهٔ تأمین چهارسطحی خطی شامل فروشگاه، خرده‌فروش، عمده‌فروش و کارخانه مد نظر قرار گرفت و برای پیش‌بینی تقاضا از روش میانگین متحرک استفاده شد. در این رابطه، نُه سناریوی مختلف شامل تغییرات تقاضا (کم، متوسط، زیاد) و ذخیرهٔ احتیاطی (کم، متوسط، زیاد) در نظر گرفته شد و اثر شلاقی با فاصلهٔ اطمینان ۹۵درصد و دورهٔ زمانی یک ساله به‌دست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد اگر روش برآورد تقاضا در همهٔ اعضای زنجیرهٔ تأمین با استفاده از روش میانگین متحرک باشد، با افزایش نوسان تغییرات تقاضای مشتری نهایی، اثر شلاقی کل زنجیره کاهش می‌یابد. همچنین اگر تغییرات تقاضا ثابت فرض شود، افزایش ذخیرهٔ احتیاطی در هر یک از اعضای زنجیرهٔ تأمین موجب افزایش اثر شلاقی کل زنجیرهٔ تأمین می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اثر شلاق چرمی، روش میانگین متحرک، زنجیرهٔ تأمین، سیاست سفارش تا سطح هدف.

۱. مربی گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
۲. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۰۷
تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۱۰
نویسندهٔ مسئول مقاله: سید علی بنی هاشمی
E-mail: banihashemi@pnu.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

زنجیرهٔ تأمین، شامل تمام شرکت‌کنندگانی است که برای برآوردن تقاضای مشتری نهایی تلاش می‌کنند. بنابراین مدیریت زنجیرهٔ تأمین، مجموعهٔ وسیعی از کلیهٔ فرایندهای بین تأمین‌کنندگان مواد اولیه (بالادست) و مصرف‌کنندگان در پایین (پایین‌دست) را شامل می‌شود. این فرایندها در سه گروه حمل و نقل کالا (جریان مواد پایین‌دست)، یافتن منابع (جریان اطلاعات بالادست) و فعالیت‌های داخلی (برای مثال تولید، مونتاژ، ذخیره‌سازی و نظارت) دسته‌بندی می‌شوند. یکی از مشکلاتی که امروزه زنجیره‌های تأمین را دچار اختلال می‌کند، تنوع تقاضا و تغییرات آن از سوی مشتری نهایی است که تأثیر زیادی بر زنجیرهٔ تأمین می‌گذارد (پونته، سیرا، فونته و لوزانو، ۲۰۱۷). تغییرات کوچک در تقاضا در پایین جریان (مشتری) که به تقویت تقاضا و افزایش بسیار زیاد سطح موجودی و تغییرات موجودی در سطح بالایی زنجیره منتج می‌شود را اثر شلاقی می‌گویند. اثر شلاقی به این معناست که تغییرات کوچک در تقاضای مشتری واقعی، همانند شلاق زدن تأمین‌کنندگان بالادست برای تولید بیشتر است. این اثر هنگامی رخ می‌دهد که سطح تغییرپذیری مقدار سفارش، بیش از تغییرپذیری تقاضای واقعی است (مترز، ۱۹۹۷). گسترش این انحراف بالطبع در بخش بالای زنجیره، شدت بیشتری می‌یابد. به‌طور معمول، هرچه درجه و رده بالاتر رود، انحراف بیشتر شده و دامنهٔ موج گسترده‌تر خواهد شد. وجود چنین حالتی از تقاضا به ناکارایی زنجیره منجر می‌شود. اثر شلاقی را می‌توان از طریق نشانه‌هایی همچون موجودی بیش از حد، ظرفیت‌های بیش از حد یا ناکافی، ارائهٔ خدمات ناکافی به مشتریان به‌دلیل نبود موجودی یا نداشتن محصول آماده و ناکارایی در سطح خرده‌فروشی، انباشت کالاهای نیمه‌ساخته، برنامه‌ریزی تولید متزلزل، هزینه‌های زیاد سفارش‌دهی، انبارداری، حمل و نقل و نیروی انسانی و در نهایت ناهماهنگی و عدم اطمینان میان اعضای زنجیرهٔ تأمین مشاهده کرد.

امروزه حدود دوسوم شرکت‌ها با پدیدهٔ اثر شلاقی درگیرند. به همین دلیل این موضوع همچنان به‌عنوان یکی از پدیده‌های بسیار مهم در مدیریت زنجیرهٔ تأمین در کانون توجه قرار دارد. نشان دادن وجود اثر شلاقی و علل به‌وجود آمدن آن در تحقیقات مربوط به اثر شلاقی، از مباحث مهم است. یکی از مهم‌ترین علل ریشه‌ای در ایجاد اثر شلاقی، تعداد واسطه‌های ارتباطی (تعداد اعضا) در زنجیرهٔ تأمین است که به‌عنوان یک علت ساختاری مهم مطرح می‌شود (دومینگز، کانلا و فرامینان، ۲۰۱۵). یوسفی و مهناج (۱۳۹۰) در پژوهشی، چهار عامل به‌روزرسانی پیش‌بینی تقاضا، دسته‌بندی سفارش‌ها، نوسان قیمت و جیره‌بندی را عوامل ایجادکنندهٔ اثر شلاقی معرفی کردند.

Archive of SID

www.SID.ir

هدف از اجرای این پژوهش، تحلیل حساسیت اثر شلاق چرمی در یک زنجیرهٔ تأمین چهارسطحی است. این تحلیل حساسیت با توجه به دو عامل تغییرات تقاضای مشتری و ذخیرهٔ احتیاطی هر یک از اعضای زنجیرهٔ تأمین صورت می‌گیرد. برای انجام این کار، از روش میانگین متحرک برای برآورد مقدار تقاضا و واریانس آن استفاده شده است.

در بخش اول مقاله به بررسی پیشینهٔ پژوهش و تحقیقات انجام گرفته در حوزهٔ اثر شلاقی زنجیرهٔ تأمین پرداخته شده است. در بخش بعدی، مدل‌سازی یک زنجیرهٔ تأمین چهارسطحی با توجه به سیاست موجودی سفارش تا رسیدن به سطح هدف ارائه می‌شود و در نهایت به تجزیه و تحلیل مدل با توجه به دو عامل تغییرات تقاضای مشتری نهایی و ذخیرهٔ احتیاطی اعضای زنجیرهٔ تأمین پرداخته خواهد شد.

پیشینهٔ پژوهش

در سال ۱۹۶۱، فارستر برای نخستین بار پدیدهٔ اثر شلاق چرمی را مطرح کرد. استرمن با مطرح کردن بازی نوشابه‌ای نشان داد اتخاذ تصمیمات فردی در زنجیرهٔ تأمین، موجب نارکارامدی در زنجیره و در نهایت افزایش اثر شلاق چرمی در کل زنجیرهٔ تأمین می‌شود. وی با استفاده از کار روی بازی نوشابه، چهار منبع مهم (پردازش سیگنال تقاضا، بازی سهمیه‌بندی، دسته‌بندی سفارش، نوسان قیمت) را برای تشدید تقاضا معرفی کرد (استرمن، ۱۹۸۹). موضوع اثر شلاق چرمی در دههٔ ۱۹۹۰، زمانی‌که شرکت‌های بزرگ جهان از تغییرات زیاد تقاضا، سرمایهٔ زیاد اما راکد در موجودی، سطح پایین خدمات به مشتریان، استفادهٔ نارکارامد از حمل و نقل کالا و نیاز به ظرفیت تولید بالا، دچار سردرگمی شده بودند، به‌طور چشمگیری اهمیت یافت (لی، پادمنابهان و وانگ، ۱۹۹۷). لی و همکارانش (۱۹۹۷)، اثر شلاق چرمی را این‌گونه تعریف می‌کنند: اثر شلاق چرمی، پدیده‌ای است که در آن سفارش یک کالا به تأمین‌کننده تمایل به داشتن واریانسی بیشتر از واریانس فروش آن به خریدار دارد. در نهایت آنان پیشنهاد کردند که باید خرده‌فروشان اطلاعات خود را دقیق‌تر و سریع‌تر در اختیار سطح بالادستی زنجیرهٔ تأمین قرار دهند. برخی محققان تخمین زدند که اثر مالی نشئت‌گرفته از پدیدهٔ شلاق چرمی، حدود ۳۰ درصد سود کارخانه را کاهش می‌دهد (مترز، ۱۹۹۷). لمبرکت و دجونگهیر (۱۹۹۹) در مطالعات خود یک جست‌وجوگر اثر شلاق چرمی ارائه کردند که به‌کمک آن، سیاست‌های مختلف کنترل موجودی را می‌توان بررسی کرد و سیاست بهتر را انتخاب نمود. از آن پس، کارهای بسیاری در زمینهٔ اثر شلاق چرمی انجام گرفت و بسیاری از محققان به بررسی دلایل ایجاد اثر شلاق چرمی پرداختند. عده‌ای نیز به‌منظور یافتن راه‌هایی برای کاهش آن، مطالعاتی انجام دادند و محققانی

Archive of SID

www.SID.ir

نیز تلاش کردند آسیب‌هایی که اثر شلاق چرمی بر یک زنجیرهٔ تأمین دارد را تحلیل کنند. چن، درزنر، رایان و سیمچی‌لوی (۲۰۰۰) با مطالعهٔ اثر شلاق چرمی روی مدل بسیار ساده‌ای از زنجیرهٔ تأمین، شامل یک خرده‌فروش و یک تولیدکننده، آثار تخمین تقاضا و زمان انتظار را بر اثر شلاق چرمی بررسی کردند. پس از آن نشان دادند که متمرکز کردن زنجیرهٔ تأمین می‌تواند اثر شلاق چرمی را به‌شدت کاهش دهد، اما موجب حذف کامل آن نخواهد شد. در واقع آنها نشان دادند اگر کارخانه از اطلاعات کامل خریدار که سفارش خود را به خرده‌فروش خواهد داد، اطلاع داشته باشد و در واقع میانگین و واریانس تقاضای خریداران را بداند، اثر شلاق چرمی به‌شدت کاهش می‌یابد. همین‌طور اگر انبار مرکزی از میانگین و واریانس تقاضای خرده‌فروش مطلع نباشد، لازم است آنها را تخمین بزند که این به‌شدت اثر شلاق چرمی را افزایش می‌دهد. کیم، چاتفیلد، هریسون و هایا (۲۰۰۶) سعی کردند اثر شلاقی زنجیرهٔ تأمین را کمّی کنند. آنان با استفاده از سیاست سفارش‌دهی (r, Q)، به این نتیجه رسیدند که اثر شلاقی به‌دلیل دخالت انسان و اختلالات موجود در جریان اطلاعات در زنجیرهٔ تأمین به‌وجود می‌آید. وجود زمان تحویل قطعی یا احتمالی، باعث تشدید اثر شلاقی در طول زنجیرهٔ تأمین می‌شود. آنان در این بررسی ثابت کردند که در حالت به‌اشتراک‌گذاری اطلاعات، اثر شلاقی به‌صورت یک تابع خطی و در حالت عدم به‌اشتراک‌گذاری اطلاعات به‌صورت تابع نمایی افزایش می‌یابد. ژانگ (۲۰۰۴) اثر شلاقی را براساس سه روش پیش‌بینی برای یک سیستم موجودی ساده با تقاضای ثابت بررسی کرد. نتایج تحقیق وی نشان داد روش‌های پیش‌بینی در تعیین تأثیر زمان تحویل و همبستگی تقاضا بر اثر شلاقی، نقش مهمی دارد. وی بیان کرد که در حالت کلی، افزایش زمان تحویل بدون توجه به روش پیش‌بینی، اثر شلاقی را افزایش می‌دهد، ولی اندازهٔ تأثیر به روش‌های پیش‌بینی بستگی دارد. کوستانتینو، دی‌گراویو، شابان و ترونسی (۲۰۱۵) در پژوهشی، اثر شلاق چرمی و واریانس موجودی را در یک زنجیرهٔ تأمین سه‌سطحی با استفاده از دو الگوی میانگین متحرک و هموارسازی نمایی با یکدیگر مقایسه کردند. تراپرو و پدرگال (۲۰۱۶) در پژوهشی به بررسی تأثیر تغییرات تقاضا نسبت به زمان در اثر شلاق چرمی پرداختند. سیریکاسمسوک و ترونگ‌لانگ (۲۰۱۷) اثر شلاق چرمی را در یک زنجیرهٔ تأمین دوسطحی با استفاده از روش اتورگرسیون سری زمانی برای پیش‌بینی تقاضا اندازه‌گیری کردند. ما و باو (۲۰۱۶) در یک زنجیرهٔ تأمین دوسطحی با استفاده از روش میانگین متحرک برای برآورد تقاضا، حساسیت اثر شلاقی را نسبت به پارامتر قیمت سنجیدند.

به‌طور کلی، بیشترین توجه محققان در خصوص اثر شلاقی زنجیرهٔ تأمین را می‌توان در چهار حوزهٔ زیر دسته‌بندی کرد:

Archive of SID

www.SID.ir

۱. ارائهٔ شواهد تجربی مبنی بر وجود اثر شلاقی در زنجیرهٔ تأمین،
۲. تحلیل و اثبات وجود اثر شلاقی و تأثیر آن بر زنجیرهٔ تأمین،
۳. شناسایی علل بروز اثر شلاقی در زنجیرهٔ تأمین،
۴. توسعهٔ استراتژی‌هایی برای کاهش تأثیر اثر شلاقی.

نتایج بررسی ادبیات پژوهش نشان می‌دهد، تاکنون پژوهشی برای بررسی تأثیر الگوهای مختلف تغییرات تقاضا از یک توزیع خاص و همچنین افزایش و کاهش ذخیرهٔ احتیاطی بر اثر شلاق چرمی در یک زنجیرهٔ تأمین چهارسطحی صورت نگرفته است. از همین رو، این پژوهش با رویکرد تحلیل حساسیت اثر شلاق چرمی در زنجیرهٔ تأمین و استفاده از دو متغیر تغییرات تقاضا و ذخیرهٔ احتیاطی انجام شده است.

روش‌شناسی پژوهش (مدل‌سازی زنجیرهٔ تأمین چهارسطحی)

در زنجیرهٔ تأمین چهارسطحی این پژوهش، پیش‌فرض‌های مدل به‌صورت زیر در نظر گرفته شده است:

۱. مرحلهٔ دریافت: محصول از سطح بالادست و سفارش از سطح پایین‌دست زنجیرهٔ تأمین دریافت می‌شود. محصول دریافت شده به موجودی خالص اضافه می‌شود.
۲. مرحلهٔ ارسال: سفارش دریافت‌شده از سطح پایین‌دست و پس‌افت‌های گذشته (در صورت وجود)، از موجودی خالص (موجودی در دست) کسر شده و به سطح پایین‌دست ارسال می‌شود.
۳. مرحلهٔ تصمیم‌گیری: موجودی خالص و موجودی در راه بررسی می‌شود. در صورت لزوم سفارش جدید به سطح بالادست صادر می‌شود.
۴. سیاست کنترل موجوی: سیاست موجودی بر اساس سیاست سفارش تا رسیدن به سطح هدف در موجودی است.

پس‌افت در سیاست موجودی مجاز است و محصول دریافت‌شده از سطح بالادست، با زمان تحویل یک روز به سطح پایین‌دست فرستاده می‌شود. همچنین زمان جریان اطلاعات در زنجیرهٔ تأمین، صفر در نظر گرفته شده است؛ بدین معنا که سفارش‌های صادرشده به سطح بالادست در همان لحظه دریافت می‌شود. سایر فرضیه‌های مدل به‌شرح زیر است:

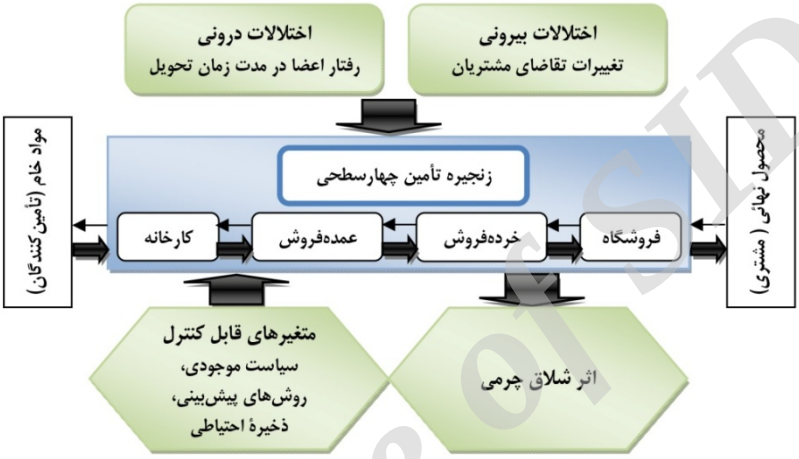
۱. ظرفیت تولید، ذخیره و حمل و نقل، نامحدود است.
۲. تأمین مواد خام در سطح اول زنجیرهٔ تأمین (کارخانه) نامحدود است؛ به این معنا که کارخانه همیشه قادر به تولید همهٔ سفارش‌های دریافت شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

۳. سفارش‌ها غیرمنفی است؛ یعنی محصول نمی‌تواند به سطح بالادست برگشت داده شود.

شکل ۱ کلیات مدل پژوهش مورد بررسی در این مقاله و متغیرهای مؤثر در زنجیرهٔ تأمین چهارسطحی را نشان می‌دهد. در این پژوهش یک زنجیرهٔ تأمین چهارسطحی (سطح اول: کارخانه؛ سطح دوم: عمده‌فروش؛ سطح سوم: خرده‌فروش؛ سطح چهارم: فروشگاه) بررسی شده است.



شکل ۱. عوامل مؤثر در یک زنجیرهٔ تأمین چهارسطحی

با توجه به شکل ۱، در یک زنجیرهٔ تأمین، متغیرهایی از قبیل سیاست کنترل موجودی اعضا، روش‌های پیش‌بینی تقاضا و ذخیرهٔ احتیاطی بر کل زنجیره تأثیر می‌گذارند که نتیجهٔ آن با استفاده از معیار اثر شلاق چرمی، کمی شده و قابل تحلیل است. به بیان دیگر، هر عضو زنجیرهٔ تأمین از سیاست خاصی مثل (r, Q) یا (s, S) استفاده می‌کند. همچنین از روش‌های متفاوتی برای پیش‌بینی تقاضا (روش ساده، روش میانگین متحرک، روش هموارسازی نمایی، روش اتورگرسیون و ...) کمک می‌گیرد. از سویی، سیاست مقدار ذخیرهٔ احتیاطی هر عضو زنجیرهٔ تأمین متفاوت از دیگری خواهد بود. علاوه بر مسائل مطرح شده، در یک زنجیرهٔ تأمین، اختلالات درونی مثل مدت زمان انتظار تحویل کالا و اختلالات بیرونی از قبیل تغییرات تقاضا، این زنجیره را تحت تأثیر قرار داده و بر آن اثر می‌گذارند.

یک عضو با رسیدن سفارش کالا، موجودی خود را بررسی می‌کند و برای سفارش‌دهی تصمیم می‌گیرد. تقاضا را پیش‌بینی کرده و مقدار هدف را برای سفارش‌دهی تعیین می‌کند.

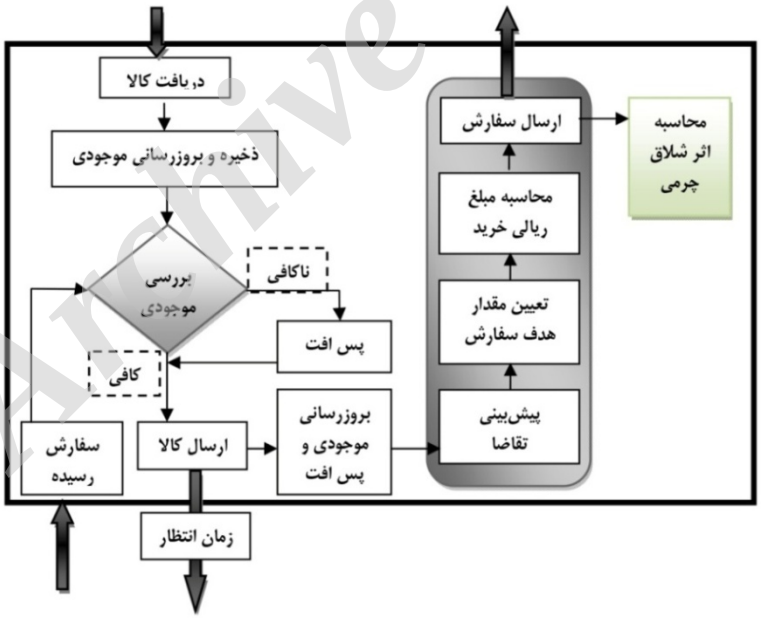
Archive of SID

www.SID.ir

گردش کار یک عضو زنجیرهٔ تأمین از زمان دریافت سفارش تا تحویل کالا در شکل ۲ نشان داده شده است و جدول ۲ نمادگذاری‌های استفاده شده در پژوهش را نمایش می‌دهد.

جدول ۲. نمادگذاری‌های پژوهش

نماد	تعریف	نماد	تعریف
n	شمارهٔ هر عضو زنجیرهٔ تأمین	N	تعداد کل اعضای زنجیرهٔ تأمین
t	دورهٔ زمانی	T	کل زمان بررسی
D_n	تقاضا (سفارش‌های رسیده)	I_n	موجودی در دست (خالص)
R_n	دریافت (تعداد کالاهای رسیده)	S_n	حمل و نقل (تعداد کالاهای ارسالی)
O_n	سفارش‌های صادر شده	B_n	پس‌افت
l	زمان انتظار	W_n	کالای در راه
F_n	تقاضای پیش‌بینی شده	Y_n	نقطهٔ سفارش تا سطح هدف
SS_n	ذخیرهٔ احتیاطی	m	تعداد دورهٔ میانگین متحرک
BE_n	اثر شلاق چرمی هر عضو	BE	اثر شلاق چرمی کل زنجیرهٔ تأمین



شکل ۲. چرخش گردش کار هر یک از اعضای زنجیرهٔ تأمین چهارسطحی

Archive of SID

www.SID.ir

رابطهٔ ۱ موجودی در دست هر مرحله را نشان می‌دهد که برابر است با تجمیع موجودی در انتهای دورهٔ قبلی و موجودی دریافتی همان دوره و کسر آن از محصول ارسال‌شده به سطح پایین‌دست در زنجیرهٔ تأمین. محصول ارسال‌شده نیز برابر است با مینیمم تقاضای دریافتی با توجه به پس‌افت دورهٔ گذشته و موقعیت موجودی که در رابطهٔ ۲ نشان داده شده است. رابطهٔ ۳ پس‌افت نهایی هر مرحله را بیان می‌کند که برابر است با جمع تقاضای دریافتی و پس‌افت‌های گذشته، و کسر آن از کالای حمل شده به سطح پایین‌دست زنجیرهٔ تأمین. در نهایت، موجودی در راه (موجودی سفارش شده‌ای که هنوز دریافت نشده) برابر است با مجموع انباشته‌ای از تفاوت سفارش صادرشده و محصول دریافتی با موجودی در راه دورهٔ قبلی (رابطهٔ ۴).

رابطهٔ ۱) $$I_n(t) = I_n(t-1) + R_n(t) - S_n(t)$$

رابطهٔ ۲) $$S_n(t) = \min\{D_n(t) + B_n(t-1), I_n(t-1) + R_n(t)\}$$

رابطهٔ ۳) $$B_n(t) = D_n(t) + B_n(t-1) - S_n(t)$$

رابطهٔ ۴) $$W_n(t) = W_n(t-1) + O_n(t-1) - R_n(t)$$

موجودی در دست و پس‌افت، همیشه یکی صفر و دیگری مثبت است. بدین صورت که اگر تقاضا کاملاً برآورده شود، موجودی در دست مثبت (یا صفر) و پس‌افت صفر خواهد بود (رابطه‌های ۵ و ۶). همچنین اگر موجودی در دست به اندازهٔ کافی نباشد، کالاهای در دست تحویل داده می‌شود و الباقی تقاضا به‌صورت پس‌افت درمی‌آید، بنابراین موجودی در دست صفر و پس‌افت مثبت خواهد بود (رابطهٔ ۷).

رابطهٔ ۵) $$D_n(t) + B_n(t-1) < I_n(t-1) + R_n(t) \rightarrow I_n(t) > 0, B_n(t) = 0$$

رابطهٔ ۶) $$D_n(t) + B_n(t-1) = I_n(t-1) + R_n(t) \rightarrow I_n(t) = 0, B_n(t) = 0$$

رابطهٔ ۷) $$D_n(t) + B_n(t-1) > I_n(t-1) + R_n(t) \rightarrow I_n(t) = 0, B_n(t) > 0$$

رابطه‌های ۱ تا ۴ چهار مفهوم اصلی (موجودی در دست، تعداد کالای ارسالی به سطح بالادستی، میزان پس‌افت، موجودی در راه) را در هر لحظه از زمان برای هر عضو از زنجیرهٔ تأمین نشان می‌دهند. در رابطه‌های ۵ تا ۷، ارتباط بین موجودی در دست و میزان پس‌افت هر عضو از زنجیرهٔ تأمین تشریح شد. در مرحلهٔ بعدی باید ارتباط بین دو عضو از زنجیرهٔ تأمین از لحاظ تبادل کالا و دریافت سفارش بررسی شود. این ارتباط به‌صورت دریافت سفارش از

Archive of SID

www.SID.ir

پایین‌دست و ارسال کالا از موجودی‌های در دست به سطح پایین‌دست خواهد بود. همچنین در صورت کسری موجودی در انبار، ارسال سفارش کالا به بالادست صادر خواهد شد. به بیان دیگر، این ارتباط بین هر دو سطح در زنجیرهٔ تأمین از طریق دو جریان خواهد بود. در جریان اول، هر سطح از زنجیرهٔ تأمین، کالاهای حمل‌شده از سطح بالادست را پس از زمان l دریافت می‌کند (رابطهٔ ۸) و در جریان دوم، تقاضا به‌صورت سفارش صادرشده از سطح پایین‌دست دریافت می‌شود (رابطهٔ ۹). در این رابطه‌ها دو نکته وجود دارد: ۱. با توجه به این که فرض کرده‌ایم کارخانه (سطح اول زنجیره) قادر به تولید هر تعداد کالای درخواستی از سطح پایین‌تر است، تقاضای رسیده به کارخانه، به همان میزان تولید شده و پس از زمان l دریافت می‌شود (رابطهٔ ۱۰)؛ ۲. تقاضای سطح چهارم زنجیرهٔ تأمین (فروشگاه) از یک توزیع یکنواخت تبعیت می‌کند (رابطهٔ ۱۱).

$$R_n(t) = S_{n-1}(t-l) \quad \text{رابطهٔ ۸)}$$

$$D_n(t) = O_{n+1}(t) \quad \text{رابطهٔ ۹)}$$

$$R_1 = S_0 \rightarrow S_0(t) = O_1(t-l) \quad \text{رابطهٔ ۱۰)}$$

$$D_4 = O_5 \rightarrow D_4(t) \sim U(a,b) \quad \text{رابطهٔ ۱۱)}$$

در این مقاله، برای سیاست سفارش تا رسیدن به سطح هدف، به‌منظور پیش‌بینی تقاضا در هر سطح از زنجیرهٔ تأمین، از روش میانگین متحرک استفاده شده است. روش میانگین متحرک، روش رایجی است که در عمل به مدیران اجازه می‌دهد مضرات اثر شلاقی را کاهش دهند. همچنین نسبت به سایر روش‌های پیش‌بینی، دقت بیشتری دارد (چن و همکاران، ۲۰۰۰؛ خسروشاهی، حسینی و مرجانی، ۲۰۱۶). دورهٔ بررسی برای تخمین تقاضا نیز سه دوره در نظر گرفته شده است. رابطه‌های ۱۲ تا ۱۴ پیش‌بینی تقاضا را با استفاده از روش میانگین متحرک بیان می‌کنند.

$$O_n(t) = \max\{Y_n(t) - [I_n(t) - B_n(t) + W_n(t)], 0\} \quad \text{رابطهٔ ۱۲)}$$

$$Y_n(t) = F_n(t) + SS_n + (l-1)F_n(t) = l.F_n(t) + SS_n \quad \text{رابطهٔ ۱۳)}$$

$$F_n(t) = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} D_n(t-i) \quad \text{رابطهٔ ۱۴)}$$

Archive of SID

www.SID.ir

اثر شلاق چرمی، معیاری برای بررسی عملکرد زنجیرهٔ تأمین است. این اثر برای هر عضو زنجیرهٔ تأمین (کارخانه، عمده‌فروش، خرده‌فروش، فروشگاه)، از تقسیم تغییرات تقاضای صادرشده به تقاضای رسیده محاسبه می‌شود (رابطهٔ ۱۵). بنابراین اثر شلاق چرمی در کل زنجیرهٔ تأمین، از حاصل‌ضرب اثر شلاق چرمی هر یک از اعضا (رابطهٔ ۱۶) به‌دست می‌آید (پونته و همکاران، ۲۰۱۷).

رابطهٔ ۱۵)
$$[BE_n]_{t=1}^{t=T} = [\frac{Var(O_n) / Avg(O_n)}{Var(D_n) / Avg(D_n)}]_{t=1}^{t=T} \cong [\frac{Var(O_n)}{Var(D_n)}]_{t=1}^{t=T}$$

رابطهٔ ۱۶)
$$[BE_{SC}]_{t=1}^{t=T} = \prod_{n=1}^{n=k} [BE_n]_{t=1}^{t=T}$$

رابطهٔ ۱۵ نشان‌دهندهٔ آن است که اثر شلاقی زنجیرهٔ تأمین با نسبت واریانس خروجی (مقدار سفارش) به واریانس ورودی (میزان تقاضا)، برابر است. اثر شلاقی از رفتار غیرمنطقی نشئت نمی‌گیرد، بلکه از رفتار کاملاً منطقی و معقول بازیگران در بستر زنجیرهٔ تأمین ناشی می‌شود (یوسفی و مهناج، ۱۳۹۰).

یافته‌های پژوهش

تجزیه و تحلیل مدل

برای تجزیه و تحلیل مدل و حساسیت آن، دو متغیر را بررسی کرده‌ایم. متغیر اول تغییرات تقاضای مشتری نهایی است که از توزیع یکنواخت با میانگین ۶۰ در سه حالت پیروی می‌کند:

۱. توزیع یکنواخت بین ۵۰ و ۷۰ (ضریب تغییرات تقاضا ۹/۶۱درصد)؛
۲. توزیع یکنواخت بین ۴۰ و ۸۰ (ضریب تغییرات تقاضا ۱۹/۳۳درصد)؛
۳. توزیع یکنواخت بین ۳۰ و ۹۰ (ضریب تغییرات تقاضا ۲۸/۸۶درصد).

متغیر دوم، میزان ذخیرهٔ احتیاطی است که با سه مقدار بررسی شده است:

۱. مقدار ۵ واحد کالا در هر سطح از زنجیرهٔ تأمین (۸/۳۳ درصد میانگین تقاضا)؛
۲. مقدار ۱۰ واحد کالا در هر سطح از زنجیرهٔ تأمین (۱۶/۶۶درصد میانگین تقاضا)؛
۳. مقدار ۱۵ واحد کالا در هر سطح از زنجیرهٔ تأمین (۲۵درصد میانگین تقاضا)؛

برای انجام تحلیل حساسیت با استفاده از دو متغیر (تغییرات تقاضا و ذخیرهٔ احتیاطی)، نُه حالت از این ترکیبات بررسی شد (جدول ۳).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳. تحلیل حساسیت مدل زنجیرهٔ تأمین

عوامل مؤثر	سطح	ویژگی	شمارهٔ آزمایش	حالت‌های آزمایش مدل	
تغییرات تقاضا	کم	توزیع یکنواخت (۷۰،۵۰)	۱	تغییرات تقاضا کم	ذخیرهٔ احتیاطی کم
	متوسط	توزیع یکنواخت (۸۰،۴۰)	۲	تغییرات تقاضا کم	ذخیرهٔ احتیاطی متوسط
	زیاد	توزیع یکنواخت (۹۰،۳۰)	۳	تغییرات تقاضا کم	ذخیرهٔ احتیاطی زیاد
ذخیرهٔ احتیاطی	کم	۵ واحد	۴	تغییرات تقاضا متوسط	ذخیرهٔ احتیاطی کم
	متوسط	۱۰ واحد	۵	تغییرات تقاضا متوسط	ذخیرهٔ احتیاطی متوسط
	زیاد	۱۵ واحد	۶	تغییرات تقاضا متوسط	ذخیرهٔ احتیاطی زیاد
			۷	تغییرات تقاضا زیاد	ذخیرهٔ احتیاطی کم
			۸	تغییرات تقاضا زیاد	ذخیرهٔ احتیاطی متوسط
			۹	تغییرات تقاضا زیاد	ذخیرهٔ احتیاطی زیاد

هر آزمایش براساس تغییرات تقاضای مشتری نهایی که از توزیع یکنواخت با میانگین ۶۰ واحد کالا پیروی می‌کند، سه بار در یک دورهٔ زمانی ۳۶۵ روز اجرا شد. پیش‌بینی تقاضا در هر یک از اعضای زنجیرهٔ تأمین با استفاده از روش میانگین متحرک (رابطهٔ ۱۴) بود، زمان انتظار کالا در جریان مواد یک روز و در جریان اطلاعات، صفر در نظر گرفته شد. در نهایت میانگین اثر شلاق چرمی هر عضو زنجیرهٔ تأمین با فاصلهٔ اطمینان ۹۵درصد به‌دست آمد و با استفاده از رابطهٔ ۱۶، اثر شلاقی کل زنجیرهٔ تأمین محاسبه شد (جدول ۴).

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، تغییرات تقاضا در سطح پایین زنجیرهٔ تأمین، اثر شلاق چرمی در سطوح بالاتر زنجیره را افزایش می‌دهد. اگر الگوی تغییرات تقاضای مشتری نهایی در هر مرحله ثابت در نظر گرفته شود (برای مثال، توزیع یکنواخت بین ۵۰ تا ۷۰ واحد کالا)، افزایش ذخیرهٔ احتیاطی از ۵ واحد کالا تا ۱۵ واحد کالا برای هر یک از اعضای زنجیرهٔ تأمین، موجب افزایش اثر شلاقی زنجیرهٔ تأمین از ۶۴/۱۸ تا ۷۱/۱ می‌شود.

همچنین اگر ذخیرهٔ احتیاطی ثابت فرض شود (برای مثال ۱۵ واحد کالا برای هر یک از اعضای زنجیرهٔ تأمین)، تغییرات تقاضای مشتری نهایی از واریانس ۳۳/۳۳ به واریانس ۱۳۳/۳۳ و در نهایت واریانس ۳۰۰، موجب افزایش اثر شلاقی زنجیرهٔ تأمین خواهد شد.

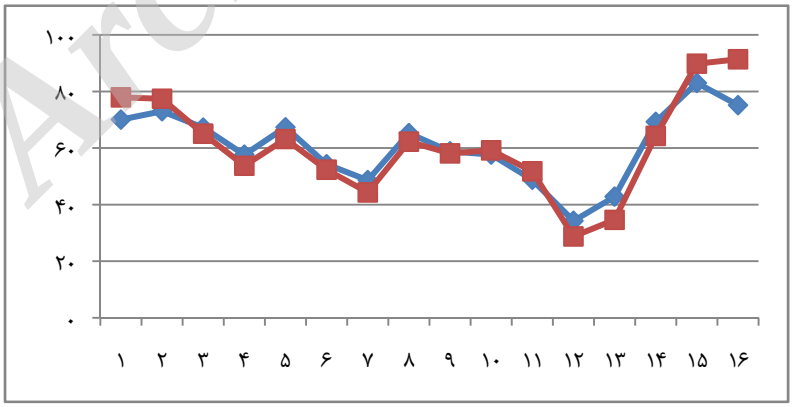
Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٤. حالت‌های آزمایش مدل

شمارهٔ آزمایش	حالت آزمایش	اثر شلاق چرمی				
		کارخانه	عمده‌فروش	خرده‌فروش	فروشگاه	کل زنجیرهٔ تأمین
۱	تغییرات تقاضا: (۷۰،۵۰) ذخیرهٔ احتیاطی: ۵ واحد	۳/۸۹±۰/۰۸	۳/۶۳±۰/۱۰	۲/۹۶±۰/۰۵	۱/۵۱±۰/۰۷	۶۴/۱۸±۱۳/۹۲
۲	تغییرات تقاضا: (۷۰،۵۰) ذخیرهٔ احتیاطی: ۱۰	۳/۹۵±۰/۰۲	۳/۷۳±۰/۱۷	۳/۱۴±۰/۲۶	۱/۵۱±۰/۱۱	۷۰/۹۲±۱۵/۱۲
۳	تغییرات تقاضا: (۷۰،۵۰) ذخیرهٔ احتیاطی: ۱۵	۳/۹۶±۰/۰۶	۳/۸۱±۰/۱۰	۳/۰۹±۰/۳۸	۱/۵۰±۰/۱۱	۷۱/۱±۱۵/۹۱
۴	تغییرات تقاضا: (۸۰،۴۰) ذخیرهٔ احتیاطی: ۵ واحد	۳/۱۸±۰/۲۵	۲/۶۵±۰/۲۹	۱/۹۸±۰/۲۶	۱/۲۵±۰/۰۸	۲۲/۰۶±۸/۸۲
۵	تغییرات تقاضا: (۸۰،۴۰) ذخیرهٔ احتیاطی: ۱۰	۳/۳۴±۰/۳۰	۲/۸۶±۰/۲۹	۲/۱±۰/۲	۱/۳۰±۰/۱۰	۲۷/۳۰±۹/۰۴
۶	تغییرات تقاضا: (۸۰،۴۰) ذخیرهٔ احتیاطی: ۱۵	۳/۰۶±۰/۲۷	۲/۶۱±۰/۲۸	۲±۰/۱۷	۱/۳۲±۰/۰۱	۲۱/۷۷±۶/۵۴
۷	تغییرات تقاضا: (۹۰،۳۰) ذخیرهٔ احتیاطی: ۵ واحد	۲/۳۷±۰/۱۷	۲/۱۶±۰/۰۹	۱/۷۷±۰/۰۴	۱/۲۷±۰/۰۳	۱۱/۵۸±۱/۳۸
۸	تغییرات تقاضا: (۹۰،۳۰) ذخیرهٔ احتیاطی: ۱۰	۲/۸۱±۰/۱۹	۲/۳۸±۰/۲۱	۱/۹۲±۰/۰۹	۱/۲۹±۰/۰۴	۱۶/۸۸±۳/۸۷
۹	تغییرات تقاضا: (۹۰،۳۰) ذخیرهٔ احتیاطی: ۱۵	۲/۸۱±۰/۲۵	۲/۴۴±۰/۱۸	۱/۸۹±۰/۱۲	۱/۲۹±۰/۰۵	۱۷/۱۵±۴/۸۳

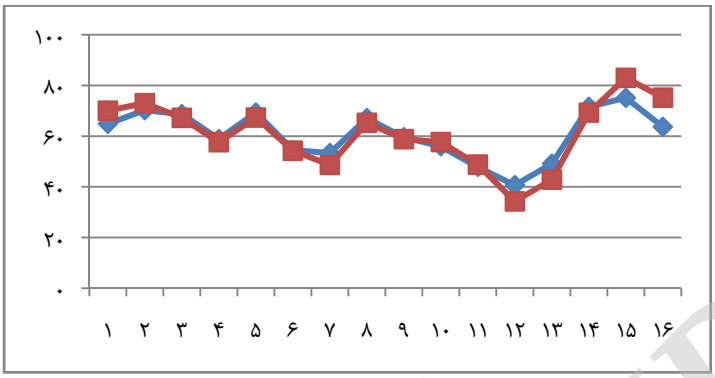
شکل‌های ۳ تا ۶ اثر شلاقی هر یک از اعضای زنجیرهٔ تأمین (کارخانه، عمده‌فروش، خرده‌فروش، فروشگاه) را در آزمایش شمارهٔ ۱ (تغییرات تقاضا دارای توزیع یکنواخت (۷۰و۵۰) و ذخیرهٔ احتیاطی ۵ واحد) نشان می‌دهد.



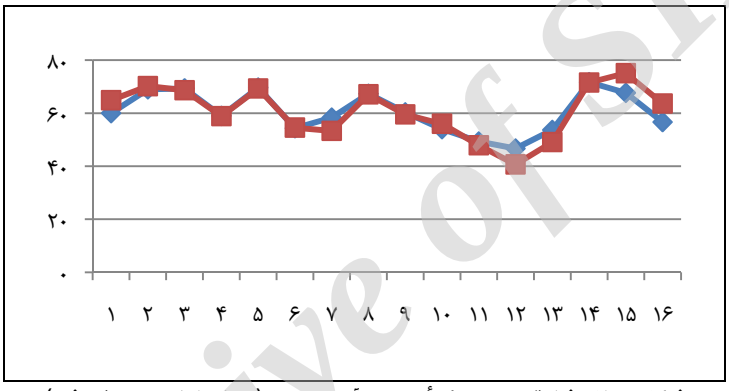
شکل ۳. اثر شلاقی زنجیرهٔ تأمین در آزمایش ۱ (سطح اول: کارخانه)

Archive of SID

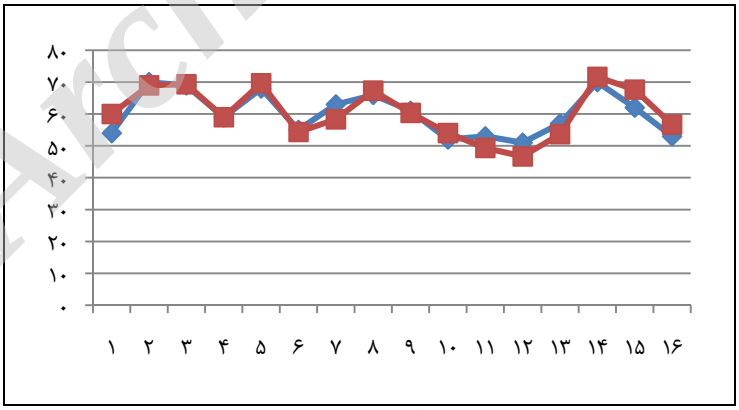
www.SID.ir



شکل ٤. اثر شلاقی زنجیرهٔ تأمین در آزمایش ۱ (سطح اول: خرده‌فروش)



شکل ۵. اثر شلاقی زنجیرهٔ تأمین در آزمایش ۱ (سطح اول: عمده‌فروش)



شکل ٦. اثر شلاقی زنجیرهٔ تأمین در آزمایش ۱ (سطح اول: فروشگاه)

Archive of SID

www.SID.ir

شکل‌های ۳ تا ۶ برای نمونه، تقاضای رسیده و سفارش صادرشده از دورهٔ زمانی ۵۰ تا ۶۵ را در هر یک از اعضای زنجیرهٔ تأمین به تصویر کشیده است. همان‌طور که در شکل نیز مشاهده می‌شود، اثر شلاقی از انتهای زنجیره تا ابتدا در حال افزایش است. البته این زمانی رخ می‌دهد که همهٔ اعضای زنجیرهٔ تأمین از روش میانگین متحرک تقاضا برای برآورد و پیش‌بینی تقاضا استفاده کنند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

استقرار رویکردهای مدیریت زنجیرهٔ تأمین، همواره با دو ویژگی اساسی یکپارچه‌سازی و هماهنگ‌سازی 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 نوسان‌های 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 زنجیرهٔ تأمین شود؛ به همین دلیل شناسایی دلایل بروز این اثر و ارائهٔ راه‌حل‌هایی برای تخفیف و کاهش آن در کانون توجه محققان قرار گرفته است.

در این پژوهش به بررسی تأثیر متغیرهای تغییرات تقاضای مشتری نهایی و میزان ذخیرهٔ احتیاطی در یک زنجیرهٔ تأمین چهارسطحی بر اثر شلاقی زنجیرهٔ تأمین پرداخته شده است. نتایج پژوهش نشان داد چنانچه هر یک از اعضای زنجیرهٔ تأمین از روش میانگین متحرک برای برآورد تقاضا استفاده کنند، اثر شلاقی از انتهای زنجیره به ابتدای آن، افزایش می‌یابد. این نتیجه با یافته‌های چن و همکاران (۲۰۰۰)، دیجونخر، دیسنی، لامبرچت و تووِیل (۲۰۰۴)، چارتفیلد، کیم، هریسون و هایا (۲۰۰۴) و چارتفیلد و پریتچارد (۲۰۱۳) همخوانی دارد. این محققان در محاسبات اثر شلاقی، از روش میانگین متحرک استفاده کرده و عوامل زمان انتظار، اشتراک‌گذاری اطلاعات و کیفیت آن را بررسی نموده‌اند. همچنین با ثابت بودن ذخیرهٔ احتیاطی هر یک از اعضای زنجیرهٔ تأمین، افزایش تغییرات در تقاضای مشتری، موجب افزایش اثر شلاقی از پایین‌دست به بالادست در زنجیرهٔ تأمین می‌شود، اما با کاهش اثر کلی شلاق چرمی همراه خواهد بود. یعنی اگر ذخیرهٔ احتیاطی ۵ واحد باشد، تغییرات تقاضای مشتری از توزیع یکنواخت (۷۰،۵۰) به توزیع یکنواخت (۸۰،۴۰) و سپس توزیع یکنواخت (۹۰،۳۰)، اثر شلاق چرمی کل زنجیرهٔ تأمین را از ۶۴ به ۲۲ و در نهایت به ۱۱ تقلیل می‌دهد. واریانس تقاضای مشتری نهایی در حالتی که تغییرات تقاضا از توزیع یکنواخت (۵۰،۷۰) پیروی می‌کند، ۳۳ است و در حالت توزیع یکنواخت (۴۰،۸۰) به ۱۳۳ و در حالت توزیع یکنواخت (۳۰،۹۰) به ۳۰۰ می‌رسد. این

Archive of SID

www.SID.ir

افزایش واریانس با حرکت به سمت بالای زنجیرهٔ تأمین با روند افزایشی همراه می‌شود. در حالت تغییرات تقاضای کم، واریانس تقاضای مشتری در کارخانه (بالادست) ۱۷ برابر سطح فروشگاه (پایین‌دست) است، ولی این نسبت در حالت تغییرات تقاضای متوسط، حدود ۴ برابر و در حالت تغییرات تقاضای زیاد، حدود ۳ برابر است. در نهایت تغییرات تقاضای مشتری از کم به زیاد در پایین‌دست، موجب کاهش اثر شلاقی در کل زنجیرهٔ تأمین می‌شود. یکی از دلایل این امر آن است که پیش‌بینی تقاضا در سطوح بعدی زنجیرهٔ تأمین براساس روش میانگین متحرک تقاضا انجام می‌گیرد و تغییرات میانگین تا حدی ثابت یا با تغییرات جزئی همراه است. همچنین اگر تغییرات تقاضای مشتری ثابت فرض شود، افزایش ذخیرهٔ احتیاطی به افزایش اثر شلاقی کل زنجیرهٔ تأمین می‌انجامد.

البته ذکر این نکته ضروری است که واکنش زنجیرهٔ تأمین در اثر شلاقی، با روش‌های متفاوت پیش‌بینی تقاضا متفاوت است که به‌عنوان موضوع پژوهش‌های آتی می‌توان آن را بررسی کرد و در هر حالت نیز هزینه‌های سفارش‌دهی، نگهداری و پس‌افت را نیز مقایسه نمود.

فهرست منابع

یوسفی زنوز، ر.، منهاج، م. ب. (۱۳۹۰). طرح یک چارچوب ترکیبی پیش‌بینی تقاضای متلاطم و کنترل پیش‌بین مدل به‌منظور کمینه‌سازی اثر شلاقی. *فصلنامهٔ مدیریت صنعتی*، ۳(۶)، ۱۹۰-۱۷۱.

Chatfield, D. C. & Pritchard, A. M. (2013). Returns and the bullwhip effect. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 49(1), 159-175.

Chatfield, D. C., Kim, J. G., Harrison, T. P. & Hayya, J. C. (2004). The bullwhip effect-impact of stochastic lead time, information quality, and information sharing: a simulation study. *Production and Operations Management*, 13(4), 340-353.

Chen, F., Drezner, Z., Ryan, J.K. & Simchi-Levi, D. (2000). Quantifying the bullwhip effect in a simple supply chain: the impact of forecasting, lead times, and information, *Management Science*, 463), 436-443.

Costantino, F., Gravio, G. D., Shaban, A. & Tronci, M. (2015). SPC forecasting system to mitigate the bullwhip effect and inventory variance in supply chains. *Expert Systems with Applications*, 42(3), 1773–1787.

Dejonckheere, J., Disney, S. M., Lambrecht, M. R., & Towill, D. R. (2004). The impact of information enrichment on the bullwhip effect in supply chains: A control engineering perspective. *European Journal of Operational Research*, 153(3), 727-750.

Archive of SID

www.SID.ir

Dominguez, R., Cannella, S. & Framinan, J. M. (2015). The impact of the supply chain structure on bullwhip effect. *Applied Mathematical Modelling*, 39(23), 7309-7325.

Forrester, J. W. (1961). *Industrial dynamics*, Camdridge, MIT Press.

Khosroshahi, H., Husseini, S. M. & Marjani, M. R. (2016). The bullwhip effect in a 3-stage supply chain considering multiple retailers using a moving average method for demand forecasting. *Applied Mathematical Modelling*, 40(21), 8934-8951.

Kim, J. G., Chatfield, D., Harrison, T. P. & Hayya, J. C. (2006). Quantifying the bullwhip effect in a supply chain with stochastic lead time. *European Journal of operational research*, 173(2), 617-636.

Lambrecht, M., Dejonckheere, J. (1999). *A bullwhip effect explorer*. Katholieke Universiteit Leuven pub.

Lee, H. L., Padmanabhan, V. & Whang, S. (1997). The Bullwhip Effect in supply chains. *Sloan Management Review Journal*, 38 (3), 93–102.

Ma, J., Bao, B. (2016). Research on bullwhip effect in energy-efficient air conditioning supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 143, 854–865.

Metters R. (1997). Quantifying the Bullwhip Effect in supply chains. *Journal of Operation Management*, 15(2), 89–100.

Ponte, B., Sierra, E., Fuente, D. D. & Lozano, J. (2017). Exploring the interaction of inventory policies across the supply chain: An agent-based approach. *Computers & Operation Research*, 78, 335-348.

Sirikasemsuk, K. & Trung Luong, H. (2017). Measure of bullwhip effect in supply chains with first-order bivariate vector autoregression time-series demand model. *Copmputer & Operations research*, 78, 59-79.

Sterman, J. D. (1989). Modeling managerial behavior: misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment. *Management Science*, 35 (3), 321–239.

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.

Yousefi Z., R. & Mehnaj, M. B. (2011). Design of a Combined Lumpy Demands Forecasting and a model Predictive Scheme for Reduction of Bullwhip Effect. *Journal of Industrial Management*, 3(6), 171-190. (*in Persian*)

Zhang, X. (2004). The impact of forecasting methods on the bullwhip effect. *International journal of production economics*, 88(1), 15-27.

Archive of SID

www.SID.ir