بررسی اثر ضربه شلاقی در زنجیره تامین تولیدکنندگان محصولات برقی فشار قوی

محسن اکبرپور شیرازی

استادیار دانشکده صنایع- دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
akbarpour@kntu.ac.ir

علیرضا مددی
کارشناس ارشد مهندسی صنایع
Omid_madadi@yahoo.com

حامد شجاعی
دانشجوی کارشناسی ارشد MBA - دانشگاه علوم و فنون مازندران

واژه‌های کلیدی :
زنجیره های تامین، اثر ضربه شلاقی، زمان تاخیر، تجهیزات برق فشار قوی.

چکیده

پدیده یا اثر ضربه شلاقی (Bullwhip) از موضوعات با اهمیتی است که باعث کاهش کارایی در زنجیره‌های تأمین می‌شود. این پدیده زمانی رخ می‌دهد که تغییرات تقاضا، در طول زنجیرهٔ تأمین با نوسانات زیادی روبرو شود. تاکنون چند عامل اساسی به عنوان دلایل ایجاد این پدیده شناخته شده است. ولی هنوز تحقیقات چندانی در زمینه چگونگی تاثیر زمان‌های انتظار و یا زمان‌های تاخیر(Lead Time) برروی این پدیده انجام نشده است. در این مقاله سعی شده است که ابتدا به مفاهیم کلی این پدیده، علل به‌وجود آمدن آن، راه‌حل‌های جلوگیری از به‌وجود آمدن این پدیده و روش‌ها و نکات اندازه‌گیری اثر ضربه شلاقی پرداخته شود. سپس با بررسی و شبیه‌سازی اثر ضربه شلاقی در زنجیره تامین یک تولیدکننده محصولات برقی فشار قوی، راهکارهایی برای افزایش کارآمدی آن واحد ارایه گردد.

مقدمه

جهت عملکرد هر چه بهتر زنجیره‌های تأمین فعالیت‌های مختلفی صورت گرفته است و از روش‌های خاصی در راستای یکپارچه‌سازی عضوهای زنجیره استفاده شده است. از جمله عوامل مهمی که بر عملکرد زنجیره‌های تأمین تأثیر به‌سزایی دارد، نوسان بر تقاضا در طول زنجیره است. این پدیده در اصطلاح اثر ضربه شلاقی (Bullwhip) نام دارد. اولین بار در حدود ۴۵ سال پیش فورستر بدون استفاده از نام اثر ضربه شلاقی و تنها با دیدگاه‌های دینامیک صنایع به این پدیده اشاره کرد[1]. پس از آن واحد تدارکات اجرایی در شرکت پروکتر-اند-گامبل، الگوهای سفارش را برای یکی از بهترین محصولات خود آزمایش کرد. در این بررسی مشخص گردید که فروش محصولات به صورت خرده فروش دارای تغییرات و نوسانات زیادی بوده که این تغییرات چندان مطمئن نبوده است. هنگامیکه نوسانات مورد بررسی قرار گرفت به علت میزان تغییرات نتایج بسیار تعجب آور بود. این تغییرات در طول زنجیره که چندان هم منطقی به نظر نمی‌رسید به پدیده اثر ضربه شلاقی شهرت پیدا کرد.. همین جریانات نیز عیناً در شرکت معتبر هیولت پاکارد پس از بررسی فروش یکی از مدل‌های چاپگر در این شرکت به چشم خورد [1].

اثر ضربه شلاقی زمانی اتفاق می‌افتد که تغییرات سفارش تقاضا در زنجیره تأمین از یک وضعیت به وضعیت دیگر زیاد شود. اطلاعات غیر واقعی که از یکی از اعضای زنجیره خارج می‌شود و به صورت تحریف شده به سایر اعضای زنجیره انتقال پیدا می‌کند، باعث به‌وجود آمدن ناکارآیی و عملکرد ضعیف در طول زنجیره می‌شود. لذا شرکت‌ها و سازمان‌ها می‌توانند به‌وسیله شناخت جنبه‌های اساسی اثر ضربه شلاقی تأثیرات آن را مهار کنند. مدیران شرکت‌ها نیز جهت هدایت اینگونه چالش‌ها بایستی به ابزارهایی چون: ۱- هماهنگ کردن سیستم‌های اطلاعاتی ۲- تعریف کردن روابط جدید سازمانی و ۳- به‌وجود آوردن انگیزه‌ها و ابتکارات جدید، روی آورند [2-1].

علل عمده پدید آمدن اثرضربه شلاقی

لی و همکارانش چهار علت اساسی به‌وجود آورنده پدیده را به صورت زیر مشخص کرده اند [3 ,2 ,1]:

- **به هنگام کردن پیش بینی تقاضا (Demand forecast updating)**

در اکثر مواقع فروشنده یا خرده فروشان مقدار دقیق تقاضای مشتری را نمی‌دانند. به همین سبب فروشنده با استفاده از روش‌های پیش‌بینی و یا با استفاده از اطلاعات قبلی تقاضا را تخمین می‌زند. به همین علت پیش‌بینی‌ها اکثراً اختلاف زیادی با یکدیگر دارند. که این موجب به‌وجود آمدن نوسان در تقاضاهای اعضای زنجیره می‌شود.

- **سفارش محموله‌ای (Order Batching)**

در یک زنجیره تأمین، هر شرکت جهت سفارش به تامین‌کنندگان پس از کنترل و بازبینی موجودی کالا اقدام می‌کند. تقاضاهای وارد شده از طرف مشتریان موجب کاهش موجودی انبار می‌شود، اما شرکت علی‌رغم پیش‌بینی کاهش موجودی ممکن است سریعاً جهت جبران این کسری به تأمین کنندگان خود سفارش ندهند. این موضوع باعث تجمع تقاضاها قبل از ارائه سفارش می‌شود. شرکتی را در نظر گیرید که سفارشات خود را به صورت روزانه دریافت کرده ولی تقاضای اقلام مورد نیاز خود را جهت برآورده شدن از سوی تأمین کننده‌اش به صورت هفتگی ارائه می‌دهد. تغییرات و نوساناتی را که این تأمین کننده با آن روبرو می‌شود بسیار بالاتر از نوساناتی است که شرکت سفارش دهنده مواجه می‌شود. این سفارشات دوره‌ای باعث تشدید نوسانات در زنجیره گشته و عامل به‌وجود آمدن اثر ضربه شلاقی می‌شود.

- **نوسان و افت و خیز قیمت (Price fluctuation)**

قیمت محصولات به علل زیادی بالا و پایین می‌شود. که این امر باعث تغییرات تقاضا می‌شود. هنگامی که قیمت محصول پایین باشد مشتری مقادیر بیشتر از نیاز خود را خریداری می‌کند و هنگامیکه قیمت‌ها بالاتر روند خرید نیز کمتر می‌شود. که این استراتژی باعث به‌وجود آمدن پدیده اثر ضربه شلاقی می‌شود.

- **سهمیه‌بندی و کمبود (Rating and Shortage gaming)**

این مورد تقریباً شبیه به نوسان قیمت است. هنگامیکه تقاضا از میزان توان تأمین کننده فراتر رود تأمین کننده مجبور به سهمیه‌بندی محصول خود بین مشتریانش می‌شود. به علت آگاهی مشتری از این مورد سفارش مشتری بیشتر از نیاز واقعی خود می‌شود. پس از رفع کمبودهای مشتری سفارشات مشتری نیز از بین می‌رود، که این نوسانات عامل دیگری برای به‌وجود آمدن پدیده اثر ضربه شلاقی می‌شود.

به غیر از موارد ذکر شده عوامل دیگری هم هستند که می‌توانند عامل به‌وجود آورنده پدیده اثر ضربه شلاقی شوند. از جمله این موارد می‌توان به تحریف اطلاعات در زنجیره، ماکزیمم کردن سود یا حداقل کردن هزینه و یا زمان‌های تأخیر اشاره کرد [4]. .همچنین تحقیقات استرمن نشان داد که رفتارهای انسانی و برداشت‌های اشتباه از موجودی و اطلاعات تقاضا نیز یکی از علل‌های به‌وجود آمدن اثر ضربه شلاقی در زنجیره‌های تأمین است[5].

چگونه با اثر ضربه شلاقی مقابله کنیم؟

آشنایی مدیران با پدیده اثر ضربه شلاقی باعث یافتن استراتژی‌های مناسب جهت مقابله با آن می‌شود. اقدامات زیادی جهت کاهش این پدیده صورت گرفته است. از جمله این اقدامات می‌توان به تسهیم اطلاعات، کارایی عملیاتی و هماهنگی بین فروش، حمل و نقل، برنامه‌ریزی موجودی و ایجاد همکاری صحیح بین بالا و پایین زنجیره است اشاره کرد [5]. به‌علاوه بر موارد ذکر شده چهار راه اساسی کاستن اثر ضربه شلاقی به شرح زیر می‌باشد [1,2,3].

- هماهنگ سازی پیش بینی تقاضا در زنجیره (Avoid Multiple Forecast Updates).
- شکستن دسته‌های سفارش (Break Order Batches)
- تثبیت قیمت‌ها (Stabilize Prices)
- از بین بردن ریسک ناشی از کسری(Eliminate Gaming in Shortage)

پست‌های فشار قوی

پست‌های فشار قوی را با در نظر گرفتن ویژگی‌ها و خصوصیات مختلف می‌توان طبقه‌بندی کرد. از نظر عملکرد پست‌های فشار قوی به شرح زیر تقسیم‌بندی می‌گردد:

۱. پست‌های نیروگاهی (Generation substation)
۲. پست‌های تبدیلی (Transformation Substation)
۳. پست‌های کلیدزنی (Switching Substation)

همچنین از ترکیب پست‌های بالا نوعی پست جدید به نام پست ترکیبی (Combined Substation) به وجود می‌آید. سطوح ولتاژی مرسوم در پست‌های فشار قوی در جدول ۱ آورده شده است. سطوح ولتاژی مرسوم در پست‌های فشار متوسط در جدول ۲ آورده شده است.

(KV)ولتاژ حداکثر	(KV)ولتاژ نامی
۷۲/۵	۶۳

۱۳۲	۱۴۵
۲۳۰	۲۴۵
۴۰۰	۴۲۰

جدول ۱- سطوح ولتاژی مرسوم در پست‌های فشار قوی

ولتاژ نامی (KV)	ولتاژ حداکثر (KV)
۲۰	۲۴
۳۳	۳۶

جدول ۲- سطوح ولتاژی مرسوم در پست‌های فشار متوسط

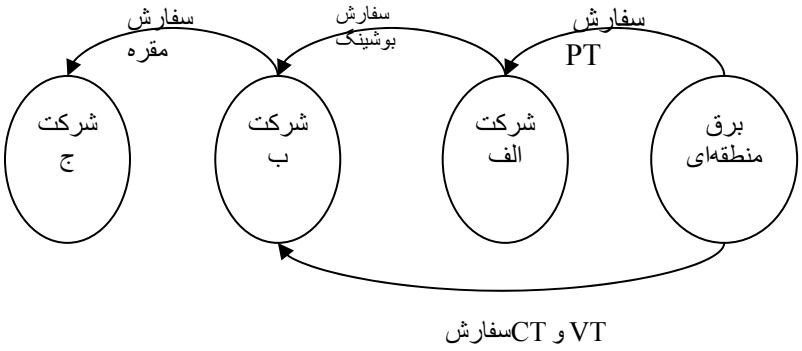
یک پست فشار قوی از محیط تجهیزات (Switch yard) ساختمان کنترل، ساختمان نگهبانی، دیزل‌خانه (یا باطری خانه)، ساختمان انبار، تعمیر گاه و جاده‌های دسترسی تشکیل می‌شود. تجهیزات مورد استفاده در پست‌های فشار قوی، در حالت کلی عبارتند از:

ترانسفورماتور قدرت (Power transformer)، کلید فشار قوی (Circuit breaker)، سکسیونر (Disconnector switch)، سکسیونر زمین (Earth disconnector)، سکسیونر مجهز به تیغه زمین (Disconnector and earth switch)، ترانسفورماتور جریان (Current transformer)، ترانسفورماتور ولتاژ خازنی (Capacitor voltage transformer)، ترانسفورماتور ولتاژ (Voltage transformer)، برق‌گیر (Surge arrester)، شمارنده برق‌گیر (Counter)، تله موج (Line trap).

تعداد و چگونگی استفاده از این تجهیزات در هر پست فشار قوی بستگی به نحوه طراحی و نوع کاربری آن پست دارد. برای نمونه، در پست ۴۰۰ کیلو ولت کارون ۳ که از پنج فیدر خط تشکیل می‌شود، برای هر فیدر سه ترانسفورماتور جریان و دو ترانسفورماتور ولتاژ خازنی طراحی شده است. در حالیکه ممکن است در شرایط مشابه به دلیل تغییر سلایق کاربری برای پست تنها دو ترانسفورماتور جریان و دو ترانسفورماتور ولتاژ خازنی در نظر گرفته شود.

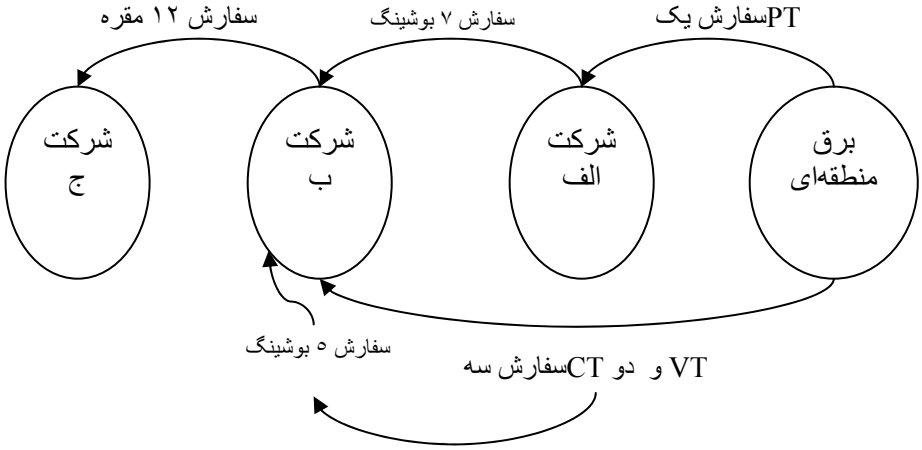
۵- زنجیره تامین در تولید اجزای پست فشار قوی

در نظر گیرید که یک شرکت برق منطقه‌ای جهت تاسیس یک پست فشار قوی به تعدادی ترانسفورماتور قدرت، جریان و ولتاژ نیاز دارد. برای این منظور اقدام به صدور سفارش ترانسفورماتور قدرت به شرکت الف (شرکت تخصصی سازنده ترانس‌های قدرت) می‌نماید. همچنین ترانس‌های جریان و ولتاژ مورد نیاز را به شرکت ب (سازنده ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ) سفارش می‌دهد. شرکت ب تولید کننده بخشی از قطعات مورد نیاز شرکت الف برای نصب در ترانسفورماتورهای قدرت می‌باشد. برای نمونه، شرکت ب به ساخت بوشینگ اشتغال دارد. بوشینگ وسیله‌ای برای اتصال ترانسفورماتور به شبکه برق است که در هر نوع ترانسفورماتوری وجود دارد (در ترانس‌های جریان و ولتاژ نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد). سر سیم‌پیچ‌های فشار قوی و فشار ضعیف ترانسفورماتورهای قدرت توسط بوشینگ‌ها به بیرون هدایت می‌گردند. بوشینگ‌ها با توجه به ردیف ولتاژ و جریان سیم‌پیچ و آلودگی محیطی انتخاب می‌شوند. بدنه هر بوشینگ از یک مقره تشکیل شده است، که این مقره نقش عایق‌ساز محیطی را برای سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور برعهده دارد. شرکت ب مقره‌های مورد نیاز خود را به شرکت ج سفارش می‌دهد. زنجیره تامین ترانس‌های مورد نیاز برای نصب در یک پست فشار قوی در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱- زنجیره تامین ترانس‌های مورد نیاز برای نصب در یک پست فشار قوی

تعداد ترانس‌های مورد نیاز برای یک پست فشار قوی وابسته به طراحی است، لذا تعداد بوشینگ و تعداد مقره‌های سفارشی نیز به طراحی پست بستگی خواهد داشت. برای مثال اگر در یک پست فشار قوی یک ترانس قدرت، سه ترانس جریان و دو ترانس ولتاژ وجود داشته باشد. به‌طور معمول برای هر ترانس قدرت ۷ بوشینگ و برای هر ترانس جریان یا ولتاژ به یک بوشینگ نیاز است، لذا برای پست فرض شده به ۱۲ بوشینگ و ۱۲ مقره نیاز است. تعداد قطعات مورد نیاز در شکل ۲ دیده می‌شود.



شکل ۲- زنجیره تامین ترانس‌های مورد نیاز برای نصب در یک پست فشار قوی

همچنین با توجه به شکل ۲ می‌توان جداول ۳ و ۴ را به صورت زیر استخراج کرد.

پست	ترانس	بوشینگ	مقره
۱	۱ (PT)	۷	۷
	۳ (CT)	۳	۳
	۲ (VT)	۲	۲
۱	۶	۱۲	۱۲

جدول ۳-تعداد تجهیزات به ازاء هر بار سفارش

زمان تاخیر بین برق منطقه‌ای و شرکت الف	زمان تاخیر بین برق منطقه‌ای و شرکت ب	زمان تاخیر بین شرکت الف و شرکت ب	زمان تاخیر بین شرکت ب و شرکت ج
(PT)۱	(CT) ۳	۷	۷
	(VT) ۲		۳
			۲
۱	۵	۷	۱۲

جدول ۴- سطوح ولتاژی مرسوم در پست‌های فشار متوسط

اندازه‌گیری پدیده ضربه شلاقی

بر اساس زنجیره فوق‌الذکر در شرایطی که تسهیم اطلاعات در زنجیره وجود نداشته باشد، فرض می‌شود که تقاضای مشتری (شرکت برق منطقه‌ای) که توسط شرکت الف دیده می‌شود به‌صورت $D_t = \mu + \varepsilon_t$ باشد، که در آن D_t تخمین میانگین تقاضا در زمان t و ε_t یک توزیع متقارن و مستقل با میانگین صفر و واریانس σ^2 می‌باشد. همچنین فرض می‌شود که هر یک از اعضای زنجیره برای صدور سفارش از سیاست سفارش تا رسیدن به حداکثر موجودی استفاده می‌نمایند که به‌صورت

$$Y_t^k = L_k . \hat{D}_t^k \qquad (۱)$$

نمایش داده می‌شود. در فرمول اخیر Y_t^k میزان مصرف از مرحله kام تا k+1ام در زمان t و L_k زمان انتظار صدور سفارش از مرحله kام تا k+1ام می‌باشد.

D_t تخمین میانگین تقاضا در زمان t به‌صورت روابط زیر تعریف می‌شود:

$$\hat{D}_t^1 = \frac{\sum_{i=1}^{P} D_{t-i}}{P} \qquad (۲)$$

$$\hat{D}_t^k = \frac{\sum_{j=0}^{P-1} q_{t-j}^{k-1}}{P} \quad \text{برای } k \geq 2 \qquad (۳)$$

که در آن q_k میزان سفارش صورت گرفته توسط عضو kام در پریود t می‌باشد(جهت اطلاعات بیشتر به مرجع شماره ۱ مراجعه شود).

با توجه به روابط ۱، ۲و۳ می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد:

$$\frac{\text{var } q^k}{\text{var } D} \geq \prod_{i=1}^{k} (1 + 2\frac{L_i}{P} + 2(\frac{L_i}{P})^2) \qquad (۴)$$

در این رابطه نسبت $\frac{\text{var } q^k}{\text{var } D}$ را مقدار و اندازه اثر ضربه شلاقی در هر عضو (K تعداد عضوهای زنجیره) می‌نامند و P تعداد مشاهدات برای تخمین میانگین تقاضا در هر دوره می‌باشد.

بررسی مدل و شبیه‌سازی اثر ضربه شلاقی

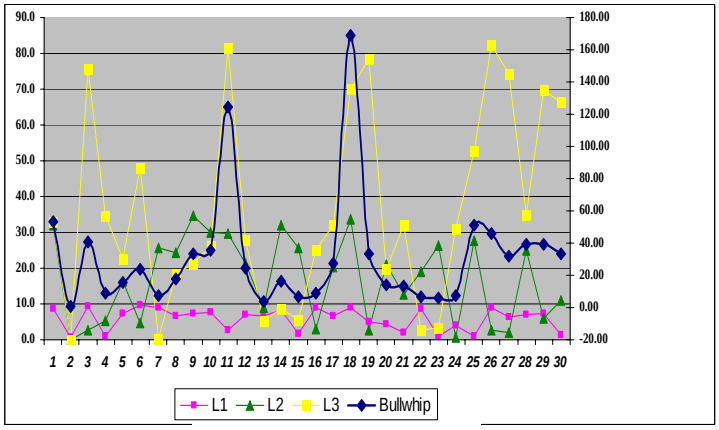
با توجه به زنجیره تامین نمایش داده شده در شکل ۲ در بخش حاضر به شبیه‌سازی اثر ضربه شلاقی در زنجیره تامین پرداخته می‌شود. در این شبیه‌سازی دو حالت مورد توجه بوده است:

حالت ۱- شرکت برق منطقه‌ای سفارشات خود را به شرکت الف ارسال کند. (زنجیره ۴ عضوی شامل برق منطقه‌ای،شرکت الف،شرکت ب و شرکت ج).

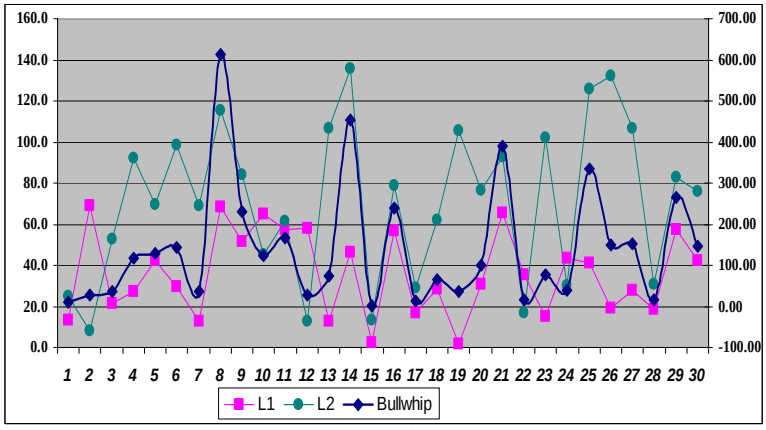
حالت ۲- شرکت برق منطقه‌ای سفارشات خود را مستقیماً به شرکت ب ارسال کند. (زنجیره ۳ عضوی شامل برق منطقه‌ای،شرکت ب و شرکت ج).

شبیه‌سازی اثر ضربه شلاقی بر مبنای دو حالت یاد شده با استفاده از رابطه شماره ۴ و بر مبنای داده‌های مندرج در جدول ۴ که نشانگر زمان‌های تاخیر برای ارسال تجهیزات و قطعات سفارش داده شده است، صورت می‌گیرد. تعداد مشاهدات جهت تخمین میانگین تقاضا (P) برابر ۳۰ مشاهده در نظر گرفته شده است.

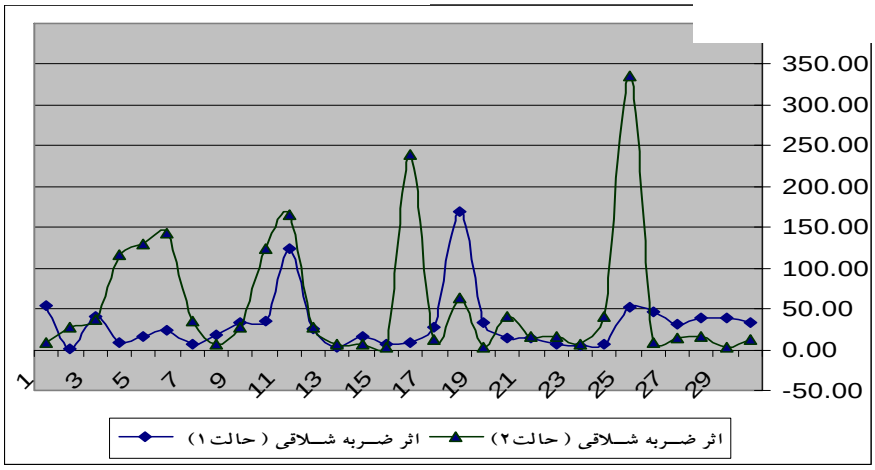
نتیجه شبیه‌سازی حالت اول در نمودار ۱ آورده شده است. از این نمودار مشخص می‌شود که اثر ضربه شلاقی در زنجیره تامین حاوی چهار عضو وجود دارد. همچنین شبیه‌سازی حالت ۲ که در نمودار ۲ ارایه شده است بیانگر وجود اثر ضربه شلاقی در زنجیره تامین سه عضوی است. از ترسیم همزمان نتایج دو نمودار اخیر مربوط به دو حالت در نظر گرفته شده، درنمودار ۳ مشاهده می‌شود که زمان‌های تاخیر چگونه موجب ایجاد نوسان بر تقاضا می‌شوند (اثر ضربه شلاقی).



نمودار ۱-حالت ۱



نمودار۲-حالت ۲



نمودار ۳- مقادیر اثر ضربه شلاقی در دوحالت ۱و۲

همچنین با توجه به نمودارهای ۱ و ۲ استنباط می‌گردد که در دوره‌هایی که بیشترین زمان تاخیر وجود داشته است، نوسانات به بالاترین حد خود می‌رسد (اثر ضربه شلاقی حداکثر مقدار خود را دارا است). همچنین هرچه زمان‌های تاخیر عضوهای بالادستی زنجیره مقدار بیشتری را داشته باشند، اثر ضربه شلاقی نیز به بالاترین حد خود خواهد رسید.

نتیجه‌گیری

اثر ضربه شلاقی پدیده‌ای بسیار رایج در زنجیره‌های تأمین شده است. این پدیده می‌تواند مسافت‌های زیادی را طی کند. اغلب زمان زیادی جهت شناسایی این پدیده صرف می‌شود. شناخت این پدیده و محاسبه آن در طول زنجیره تأمین با توجه به اثرات فراوانی که بر روی عملکرد و کارایی زنجیره دارد می‌تواند برای سازمان‌ها و مدیران آن‌ها بسیار سودمند باشد. در این مقاله سعی شد علاوه بر مرور کلی مفاهیم به بررسی تاثیرات زمان‌های تاخیر بر روی مقادیر اثر ضربه شلاقی پرداخته شود. با توجه به نمودارهای حاصل از شبیه‌سازی صورت گرفته (نمودارهای ۱ و ۲) می‌توان دریافت که بیشترین مقادیر اثر ضربه شلاقی در هر دو حالت ۱ و۲ هنگامی است که زمان‌های تاخیر در حداکثر مقدار خود قرار داشته باشند. برعکس حداقل مقادیر اثر ضربه شلاقی را می‌توان در کمترین زمان‌های تاخیر جستجو کرد. همچنین در مدل مورد بحث فرض شد که تسهیم اطلاعات در زنجیره وجود ندارد. این امر خود عامل مهمی در افزایش زمان‌های تاخیر و نهایتاً اثر ضربه شلاقی خواهد بود. لذا شرکت‌ها می‌توانند با درنظرگرفتن استفاده از یک منبع اطلاعاتی واحد و همچنین تلاش در کاهش زمان‌های تاخیر، گام مثبتی را جهت کاهش پدیده یا اثر ضربه شلاقی بردارند.

منابع و مراجع

1. Vpadmanabhan, Haul lee and whang, Seungjin. **The Bullwhip Effect in Supply Chains**, Sloan Management Review, Volume 38, Issue 3, (1997), pp.93-102.
2. McCullen, Peter and Towill, Denis. **Diagnosis and reduction of bullwhip in supply chains**, Supply Chain Management: An International Journal, Volume 7, Number 3, (2002), pp. 164-179.
3. Fransoo, Jan C. and Wouters, Marc.J.F. **Measuring the Bullwhip Effect in The Supply Chain**, Supply Chain management: An International Journal, Volume 5, Number 2, (2000), pp.78-89.
4. Kuncova, Martina. **Optimization Methods and Bullwhip Effect, University of Economics**, Prague, Czech Republic, (2000).
5. McCullen, Peter and Towill, Denis. **Diagnosis and reduction of bullwhip in supply chains**, Supply Chain Management: An International Journal, Volume 7, Number 3, (2002), pp. 164-179.