

# تحلیل نقش عوامل مالی در "اثر شلاقی" در زنجیره تأمین دو رده‌ای

یاسر موحدی<sup>1</sup>، روح... ذوالفقاری<sup>1</sup> و فریبرز جولای<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> کارشناس ارشد مهندسی صنایع - دانشگاه صنعتی امیر کبیر

<sup>2</sup> استاد گروه مهندسی صنایع - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت 89/5/6، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده 90/2/18، تاریخ تصویب 90/6/30)

## چکیده

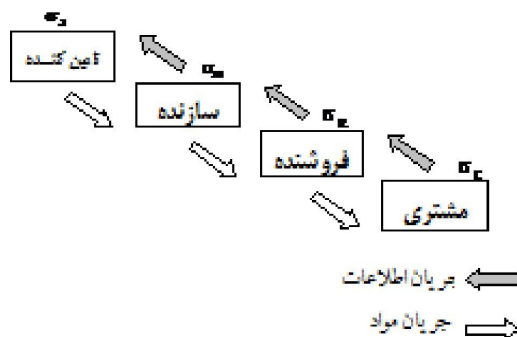
یکی از مهم‌ترین مسایل در مدیریت زنجیره تأمین، مقابله با پدیده‌ای به نام "اثر شلاقی" است. چنانچه در یک زنجیره تأمین، تقاضای انتقال یافته از مشتری نهایی به تأمین‌کننده اولیه با حرکت به ابتدای زنجیره، نوسان بیشتری داشته باشد، در اصطلاح به آن اثر شلاقی در زنجیره اطلاق می‌شود. تا کنون بررسی‌های گوناگونی برای دلایل بروز این اثر و همچنین ارائه راهکارهایی برای برطرف‌سازی آن انجام گرفته است. نتایج تحقیق حاضر نمایانگر آن است که یکی از دلایل تشدید اثرات شلاقی، عامل تغییرات ارزش پولی در طی زمان است. بررسی مطالعات انجام شده در این حوزه، نشان می‌دهد که این عامل با وجود اهمیت آن، خارج از محدوده پژوهش‌های قبلی قرار گرفته است. در این مقاله ابتدا فعالیت‌های انجام شده در زمینه بررسی این اثر در زنجیره تأمین تحلیل شده و پس از آن، نقش عامل ارزش زمانی پول (TVM)<sup>1</sup> و به صورت خاص، موضوع تورم در تشدید آن، مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

## واژه‌های کلیدی: اثر شلاق چرمی، زنجیره تأمین دو رده‌ای، ارزش زمانی پول

## مقدمه

در مطالعات انجام شده بر مدیریت زنجیره تأمین، یک ساختار خطی برای آن در نظر گرفته می‌شود. مشخص‌ترین ویژگی این ساختار، برقراری جریان مواد از سمت اعضای بالادستی (رده تأمین‌کنندگان) به طرف اعضای پایین زنجیره (رده مشتریان) و همچنین جریان اطلاعات در جهت عکس آن است (شکل شماره 1). در این ساختار هر عنصر فقط امکان برقراری ارتباط با اعضای بی‌واسطه قبل و بعد از خود را دارد. یکی از اولین بررسی‌ها در زمینه اثر شلاق چرمی توسط فورستر در سال‌های 1958 و 1961 [1 و 2] انجام شده است. وی نشان داد که تصمیم‌گیری شرکای زنجیره تأمین بر مبنای روابط خطی، می‌تواند بستری برای ایجاد اثر شلاقی در زنجیره تأمین باشد. این اثر به معنای افزایش نوسان تقاضا در طول زنجیره تأمین از سمت اعضای پایین دستی زنجیره به طرف بالا دست آن است.

در سال‌های بعد، این پدیده توجه بسیاری از تحقیقات دانشگاهی در زمینه مدیریت زنجیره تأمین را به خود جلب کرد و تمرکز زیادی بر شیوه‌های کاهش تأثیر نامطلوب آن پیشنهاد شد [3 و 4].



شکل 1: جریان اطلاعات و مواد در زنجیره تأمین

به طور کلی، راه حل عمومی ارائه شده در این مطالعات برای جلوگیری از بروز این پدیده و یا کاهش اثرات مترتب بر آن، پرهیز از تصمیم‌گیری‌های محلی توسط اعضای زنجیره و به جای آن، حاکم شدن دیدگاه سیستمی بر ساختار زنجیره تأمین است [5 و 6]. مهم‌ترین ابزار در این زمینه، فراهم آوردن بستری مناسب برای دسترسی همه اعضای زنجیره تأمین به اطلاعات جاری در کل زنجیره، از طریق ساختار اطلاعاتی آن است. با وجود اینکه استفاده از این گونه ساختارها تا حدی منجر به تضعیف اثر شلاقی در زنجیره‌های تأمین شده است، ولی همچنان عوامل دیگری در این زمینه مؤثر بوده که حتی با به‌کارگیری چنین رویکردهایی، نمی‌توان اثرات نامطلوب آن بر زنجیره

توجه به تأثیر عوامل مالی پرداخته می‌شود. در بخش سوم به کمی‌سازی این اثر در زنجیره تأمین پرداخته و پس از آن با وارد کردن عوامل مالی در مدل حاصله، تأثیر این گونه عوامل مورد بررسی دقیق‌تری قرار می‌گیرد. در انتها نیز با جمع‌بندی نتایج حاصل از این مطالعه، فرصت‌های مطالعاتی موجود در این حوزه به علاقمندان معرفی می‌شود.

### مروری بر ادبیات اثر شلاقی

اولین بررسی‌ها در زمینه اثر شلاقی، توسط فورستر [1 و 2] انجام شده است. وی ریشه اصلی نوسانات تقاضا را نبود شفافیت تقاضای مشتری، تحریف اطلاعات و تنظیم ناهماهنگ سطح موجودی‌ها دانسته که تحت تأثیر تأخیر در تحویل سفارشات تشدید می‌شود. راهکار ارائه‌شده برای کاهش این اثر، کاهش لایه‌های غیر ضروری زنجیره و همچنین کاهش تأخیرها در تبادل اطلاعات است. پس از آن در تحقیقات متعدد دیگری، مفاهیم مرتبط با وجود اثر شلاقی در زنجیره تأمین و دلایل بروز آن، مورد بررسی قرار گرفته که از آن جمله می‌توان به مراجع [7]، [8]، [9] و [10] اشاره کرد.

مشهوریت پدیده اثر شلاقی بیشتر مربوط به کارهایی است که در حوزه مدیریت موجودی، توسط استرمن [11] انجام شده است. استرمن مشاهدات خود را از اثر شلاقی، با نام "بازی توزیع نوشابه" گزارش کرد. نتایج حاصله نشان داد که در یک زنجیره تأمین چند سطحی که تصمیم‌گیرندگان هر سطح آن بدون مشورت با تصمیم‌گیرندگان سایر سطوح تصمیمات لازم را می‌گیرند، واریانس سفارشات دریافت شده با حرکت در زنجیره تأمین افزایش یافته که این افزایش از پایین به بالای زنجیره تشدید می‌شود.

لی و همکاران [5] در تحقیقات خود پنج دلیل عمده بروز اثر شلاقی را شامل پیش‌بینی تقاضا (به جای تقاضای قطعی)، زمان انتظار غیر صفر برای تحویل کالا، کمبود در تأمین، سفارش‌دهی دسته‌ای و همچنین نوسانات قیمت معرفی کردند.

چن و همکاران [12] به کمی‌کردن اثر شلاقی در یک زنجیره دو عضوی پرداخته‌اند که در مدل آن‌ها، تأثیر عامل پیش‌بینی، زمان انتظار برای دریافت سفارشات و جریان اطلاعات به عنوان عوامل مؤثر بر اثر شلاقی، مورد

تأمین را کاهش داد که از آن جمله می‌توان به عوامل مالی و نیز عوامل مرتبط با آن اشاره کرد که در این مقاله به آن پرداخته می‌شود.

جریان مالی در هر زنجیره تأمین، یکی از سه جریان مهم و تأثیرگذار بر فرایند تصمیم‌گیری در زنجیره (در کنار جریان کالا و اطلاعات) است. این جریان اغلب از تخصیص اعتبار برای سرمایه‌گذاری‌ها و تأمین ارقام مورد نیاز در زنجیره آغاز شده و با حصول درآمد از مشتریان و بازگشت سرمایه پایان می‌یابد. نکته مهم و تأثیرگذار در این جریان، موضوع تقدم و تأخر زمانی در این جریان بوده که به عنوان نمونه می‌توان به فاصله زمانی بین سرمایه‌گذاری روی یک پروژه تا کسب درآمدهای حاصل از اجرای آن اشاره کرد. همزمان با این تأخیرات زمانی، تغییراتی در ارزش زمانی پول، ایجاد شده که به نوبه خود می‌تواند منجر به ایجاد تغییراتی در نتایج حاصل از فرایند تصمیم‌گیری شود. در زنجیره‌های تأمین نیز با توجه به اینکه از زمان دریافت سفارش مشتری نهایی توسط پایین‌ترین عضو زنجیره تا زمان انعکاس آن به اعضای بالا دستی و در نهایت تأمین‌کنندگان زنجیره، بازه زمانی نسبتاً طولانی وجود دارد، بنابراین در نظر گرفتن تغییرات در ارزش زمانی پول، می‌تواند درستی تصمیمات گرفته شده در زنجیره را بدون در نظر گرفتن نقش چنین عواملی مورد شک قرار دهد. ایجاد نوسان در تقاضای مشتری نهایی زنجیره و به دنبال آن نوسان در ارزش مالی این تقاضا، می‌تواند به نوسانات بیشتر و شدیدتری در لایه‌های بالایی زنجیره منجر شده که از نظر ماهیت، شباهت زیادی به اثر شلاقی در زنجیره‌های تأمین دارد. بنابراین همان‌گونه که اشاره شد، ایجاد نوسان در ارزش مالی تقاضاهای ارائه‌شده به هر یک از اعضای زنجیره تأمین، می‌تواند به عنوان یک عامل مهم در بروز اثری مشابه با اثر شلاقی، مورد شناسایی قرار گیرد. در این مقاله پس از بررسی ادبیات موضوعی مرتبط با اثر شلاقی در زنجیره‌های تأمین و دلایل کلاسیک شناسایی‌شده برای رخداد آن، به تبیین و بررسی اثر حاصل از تغییرات ارزش پول ناشی از گذر زمان در زنجیره‌های تأمین پرداخته می‌شود.

بخش‌های بعدی این مقاله به این ترتیب است: در بخش دوم به مروری بر تحقیقات انجام‌شده و ادبیات موجود در زمینه اثر شلاقی با تعاریف کلاسیک آن، بدون

گیری و همکاران [19] 10 اصل را برای کاهش اثر شلاقی در زنجیره معرفی می‌کند که عبارتند از: اصل سیستم کنترل<sup>2</sup>، اصل متراکم‌سازی زمان<sup>3</sup>، اصل شفافیت اطلاعات<sup>4</sup>، اصل حذف سطوح زنجیره<sup>5</sup>، اصل همگام‌سازی<sup>6</sup>، اصل ضریب افزایش سرمایه<sup>7</sup>، اصل پیش‌بینی تقاضا، اصل دسته‌بندی سفارشات<sup>8</sup>، اصل نوسانات قیمت‌ها و اصل بازی<sup>9</sup>.

در مطالعات مختلف، چندین علت برای بروز اثر شلاقی شناسایی شده است که از آن جمله می‌توان به طولانی‌بودن دوره تأمین، به‌کارگیری ابزارهای مختلف پیش‌بینی، نوسانات قیمتی و حجم و هزینه‌های حمل و نقل اشاره کرد [20 و 21]. دیپهایری و چبچوب [22] اساسی‌ترین عوامل مؤثر در بروز این اثر را در قالب این موارد دسته‌بندی کرده‌اند:

- به روزآوری پیش‌بینی تقاضا
- تدابیر کمبود و جیره‌بندی<sup>10</sup>
- نوسانات قیمت
- دسته‌بندی سفارشات
- زمان انتظار برای تأمین

ایجاد اثر شلاقی در زنجیره تأمین، تغییرات نامشهودی را در فعالیت‌های سازمانی و رفتار کارکنان ایجاد می‌کند. کارلسون [23] رخدادهایی را که در اثر بروز اثر شلاقی منجر به کاهش کارایی یا اثربخشی زنجیره می‌شود، به این شرح معرفی می‌کند:

- سرمایه‌گذاری فزاینده روی موجودی‌ها در همه اعضای زنجیره تأمین، به نحوی که خرده‌فروشان، توزیع‌کنندگان، تولیدکنندگان و غیره مجزا از یکدیگر به دنبال مقابله با نوسانات تقاضا هستند.
- کاهش سطح خدمت به مشتریان به دلیل نبود پوشش - دهی مناسب همه نوسانات تقاضا در برخی اقسام به دلیل سرمایه‌گذاری‌های بیش از حد بر نگهداری سایر اقسام.
- درآمدهای از دست رفته به دلیل کمبودهای ناشی از نبود پاسخ‌گویی به نوسانات تقاضا.
- کاهش بازدهی سرمایه‌گذاری به پایین‌تر از حدود قابل قبول به دلیل کاهش سود عملیاتی.
- در پیش گرفتن تصمیمات بر اساس نقاط حداکثری تقاضا در شرایطی که این شرایط، احتمال رخداد

بررسی قرار گرفته است. کیم و همکاران [13] تشدید واریانس را در حالتی که مدت زمان انتظار از یک توزیع گاما برخوردار است، کمی کرده‌اند.

دیزنی و همکاران [14] مدلی خاص برای زمان-بندی تولید یا توزیع و مدل دینامیکی و نمودار علی و معلولی آن را ارائه می‌دهد و در پایان، ملاحظات مدیریتی و عمومی برای تصمیم‌سازی ارائه می‌کنند. دژونکهایر [15] طی مقاله خود ادعا می‌کند آنچه بیشتر از هر چیز اثر شلاقی را ایجاد می‌کند، سیاست موجودی، صرف‌نظر از روش پیش‌بینی، است. متدولوژی این مقاله بر پایه تئوری کنترل است.

ماچوکا [16] از یک شبیه‌ساز بر پایه شبکه استفاده می‌کند تا اثر جابه‌جایی داده‌ها و اطلاعات را بر مدیریت زنجیره تأمین نشان دهد. وی اثر جابه‌جایی داده‌ها و اطلاعات را بر میانگین هزینه موجودی، میزان سفارشات لغوشده یا جابه‌جاشده توسط مشتری، هزینه تجمعی و میزان موجودی انبارشده بررسی می‌کند و نشان می‌دهد که در همه موارد کاهش چشمگیری وجود دارد.

دیزنی و همکاران [17] به بررسی پیچیدگی فرایند تصمیم‌گیری در زنجیره تأمین پرداخته و در خلال این بررسی به این نتیجه می‌رسد که گاهی تبادل حجیم اطلاعات باعث افزایش این پیچیدگی می‌شود و این پیچیدگی به نوبه خود منجر به کاهش بازدهی زنجیره تأمین می‌شود. ایشان [18] همچنین در مقاله‌ای دیگر 10 مورد واقعی معرفی می‌کند که پدیده اثر شلاقی بر آن‌ها تأثیرگذار است و با استفاده از مهندسی دوباره زنجیره تأمین، می‌توان این اثر را کاهش داد. در این مطالعه افق زمانی، نامحدود در نظر گرفته شده و موجودی یک زنجیره تأمین دو سطحی را بررسی می‌کند. در این بررسی نشان داده شده است که تصمیمات بهینه پی در پی، الزاماً تصمیم بهینه کلی برای زنجیره تأمین نیست.

میراگلیوتا [6] دو هدف را در مقاله خود پی می‌گیرد. اول، مطالعه ادبیات و یکی کردن دانش موجود در زمینه اثر شلاقی. دوم، ارائه یک چارچوب جدید برای دسته‌بندی عوامل ایجاد این اثر. وی در این مقاله نشان می‌دهد که چگونه می‌توان با استفاده از به اشتراک گذاشتن سریع اطلاعات، اثر شلاقی را به مقدار چشم‌گیری کاهش داد. لونگ [4] روشی را برای اندازه‌گیری اثر شلاقی با مدل‌های پیچیده‌تر تقاضا ارائه می‌دهد.

همان گونه که در بخش مرور ادبیات مشخص شد، تا کنون بررسی‌های متعددی روی اثر شلاقی در زنجیره تأمین انجام شده است، با وجود این در هیچ یک از این بررسی‌ها، تأثیر عوامل مالی در تقویت این اثر در نظر گرفته نشده است. در این بخش به بررسی این موضوع در یک زنجیره تأمین دو رده‌ای پرداخته می‌شود. در مدل‌های موجود در ادبیات، همواره مقادیر عددی تقاضا و سفارش مورد توجه قرار گرفته است و هیچگاه پول، به عنوان عاملی تأثیرگذار در این محاسبات دخیل نبوده است. در واقع اگر بخواهیم تأثیرات اثر شلاقی را با مقیاس‌های مالی و پول بسنجیم، متوجه خواهیم شد که این تأثیرات بیشتر از آن است که به صورت معمول محاسبه شده‌اند.

یک زنجیره تأمین ساده را در نظر بگیرید که شامل یک خرده‌فروش و یک تولیدکننده باشد. خرده‌فروش سطح موجودی خود را مورد بررسی قرار داده و مقدار  $q_t$  را به تولیدکننده سفارش می‌دهد. پس از صدور سفارش، خرده‌فروش اقدام به برآورده کردن تقاضای مشتریان خود در طول دوره  $(D_t)$  می‌کند و تقاضاهایی که برآورده نمی‌شوند، به صورت پس‌افت در نظر گرفته می‌شود. فرض بر آن است که مدت زمانی که از صدور سفارش تا تحویل آن طول می‌کشد، ثابت است؛ به طوری که سفارش صادرشده در دوره  $t$  در دوره  $t+L$  به دست خرده‌فروش می‌رسد.

تقاضای مشتریان که به خرده‌فروش رسیده و مورد بررسی قرار می‌گیرد  $(D_t)$  را به صورت زیر در نظر می‌گیریم:

$$D_t = \mu + \rho D_{t-1} + \varepsilon_t \quad (1)$$

که در آن  $\mu$  ثابتی غیر منفی،  $\rho$  پارامتر همبستگی که عددی بین  $-1$  و  $+1$  است و  $\varepsilon_t$  عامل خطاست که متغیر i.i.d (مستقل و هم توزیع) از توزیعی با میانگین صفر و واریانس  $\sigma^2$  است. به سادگی می‌توان نشان داد که میانگین و واریانس تقاضای مشتری در هر زمان، از روابط زیر پیروی می‌کند:

$$E(D_t) = \mu/(1-\rho) \quad (2)$$

$$\text{Var}(D_t) = \sigma^2/(1-\rho^2) \quad (3)$$

فرایند تقاضا با چنین ویژگی‌هایی در گذشته توسط چندین نفر از نویسندگان که تحقیقاتی در زمینه

کمتری داشته و با سازماندهی دوباره زنجیره تأمین، می‌توان آن‌ها را حذف کرد.

• تأثیرات منفی نوسانات تقاضا بر ناوگان لجستیکی طراحی شده که در نهایت منجر به افزایش سطح هزینه‌های حمل و نقل زنجیره می‌شود.

رایت و یوان [24] تأثیر خط مشی‌های سفارش موجودی و روش‌های مختلف پیش‌بینی را بر شدت بروز اثر شلاقی بررسی کرده و بر اساس نتایج حاصل از این بررسی‌ها، روشی را برای کاهش این اثر در زنجیره تأمین پیشنهاد داده که بر این دو عامل متمرکز شده است.

آگراوال و همکاران [25] در یک زنجیره تأمین دو رده‌ای متشکل از انبار و خرده‌فروش، تأثیر به اشتراک‌گذاری اطلاعات و زمان تحویل سفارش را بر اثر شلاقی و میزان موجودی در دست، بررسی کرده‌اند. نتایج این بررسی نشانگر آن بوده که میزان تأثیر کاهش زمان تحویل دهی سفارشات در مقایسه با عامل به اشتراک‌گذاری اطلاعات درون زنجیره تأمین، قابل توجه‌تر است.

اویانگ و لی [26] به بررسی اثر شلاقی در یک زنجیره تأمین شبکه‌ای پرداخته که در آن الگوی سفارش‌دهی به صورت خطی و ثابت بوده که همین موضوع منجر به تشدید اثر و در نتیجه آن، کاهش میزان اثربخشی فرایند تولید محصول در زنجیره می‌شود. نتایج بررسی‌های کمی ایشان نیز مؤید تأثیرگذاری این عامل در تشدید اثر شلاقی است.

بروز اثر شلاقی در زنجیره تأمین، همه برنامه‌ریزی‌های انجام‌شده در سطوح مختلف زنجیره را تحت تأثیر شرایطی قرار داده که در واقعیت هیچ یک از آن‌ها رخ نداده و فقط منجر به تحمیل هزینه‌های بیشتر به زنجیره می‌شود. آنچه که با مرور ادبیات این حوزه مشخص است، در بخش عمده‌ای از تحقیقات انجام‌شده در این حوزه، عوامل مالی تأثیرگذار بر تشدید اثر شلاقی مورد توجه قرار نگرفته است.

## کمی‌سازی اثر شلاقی

از آن جا که اثر شلاقی، مشکلی متداول در همه سازمان‌های فعال در قالب زنجیره‌های تأمین است، بنابراین در اولین گام برای حذف و یا تعدیل اثرات منفی ناشی از آن، شناسایی و کمی‌سازی آن در هر زنجیره تأمین، ضروری است.

بنابراین، در این رویکرد علاوه بر در نظر گرفتن تخمین تعداد واحد تقاضا در  $p$  دوره قبل، تخمینی از تغییرات ناشی از ارزش زمانی پول نیز در نظر گرفته شده و بر اساس آن اقدام می‌شود. با توجه به اینکه عوامل تبدیل ارزش زمانی پول در گذشته به حال، مقداری بزرگ‌تر از یک دارد، بنابراین این موضوع می‌تواند منجر به تشدید اختلاف‌هایی بین ارزش مالی معادل برای سفارش - دهی در دوره  $t$  با ارزش مالی معادل با تخمین تقاضای رسیده به خرده‌فروش در این دوره شود.

در رویکرد دوم، تأثیرات ارزش زمانی پول فقط بر  $L$  دوره‌ای در نظر گرفته می‌شود که از زمان ارائه سفارش توسط خرده‌فروش تا دریافت آن سپری می‌شود. یعنی در واقع تأثیرات پول روی برآورد تقاضا در دوره  $t$  بررسی نمی‌شود و فرض می‌کنیم سفارش بر مبنای مقادیر کالا برآورد شود و تأثیرات پولی آن را در طول دوره تأمین<sup>12</sup> در نظر می‌گیریم.

## 1- بررسی ارزش زمانی پول در تخمین ارزش مالی تقاضای برآورد شده در طول $p$ دوره

در این حالت که بیشتر با رویکردهای تخصیص اعتبار همخوانی دارد، تخمین تقاضای وارد شده به خرده‌فروش در دوره  $t$  بر اساس ارزش مالی تقاضاهای ارائه شده به او در  $p$  دوره قبل انجام می‌شود. در این حالت، مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر صدور سفارش توسط خرده‌فروش، میزان میانگین ساده متحرک تقاضا است که خرده‌فروش در  $p$  دوره گذشته در طول مدت تحویل سفارش مشاهده کرده است. برای در نظر گرفتن ارزش پول و گذشت زمان، همه تقاضاهای گذشته که بر مبنای آنها تصمیم‌گیری می‌شود را به پول تبدیل کرده و ارزش زمانی آن‌ها را در نقطه سفارش (زمان  $t$ ) به دست می‌آوریم و میانگین متحرک ساده را بر اساس مبالغ محاسبه شده به دست آورده و تأثیرات ناشی از آن را در اثر شلاقی بررسی می‌کنیم.

مشابه مدل قبل، فرض می‌کنیم که تخمین تقاضا در دوره  $t$  بر اساس سوابق موجود از تقاضای مربوط به  $p$  دوره قبل از دوره  $t$  انجام گیرد. فرض می‌کنیم که این تقاضاها بر اساس شکل (2) رخ داده باشند:

اثر شلاقی انجام داده‌اند، مورد بررسی قرار گرفته است که از این جمله می‌توان به لی و همکاران [27] و کان [3] اشاره کرد. باید توجه کرد که چنانچه  $\rho$  برابر با صفر در نظر گرفته شود، معادله شماره 1 بیانگر این است که تقاضا یک متغیر تصافی i.i.d با میانگین  $\mu$  و واریانس  $\sigma^2$  است.

فرض می‌کنیم خرده‌فروش از سیاست حداکثر موجودی<sup>11</sup> استفاده می‌کند که در آن نقطه حداکثر موجودی  $y_t$  بر اساس تقاضای مشاهده شده به شکل زیر تخمین زده می‌شود:

$$y_t = \hat{D}_t^L + z\hat{\sigma}_{et}^L \quad (4)$$

که در آن  $\hat{D}_t^L$  تخمینی از میانگین تقاضا در مدت تحویل سفارش،  $\hat{\sigma}_{et}^L$  تخمینی از انحراف استاندارد خطای پیش‌بینی در طی  $L$  دوره و  $z$  ثابتی است که برای برآورده شدن سطح خدمت در نظر گرفته شده انتخاب می‌شود. به خوبی می‌توان تشخیص داد که خطمشی حداکثر موجودی، بهترین خطمشی موجودی برای تقاضاهای i.i.d از یک توزیع نرمال است.

باید توجه داشت که نقطه حداکثر موجودی بر اساس انحراف استاندارد خطای پیش‌بینی در طی  $L$  دوره  $(\sigma_e^L)$  محاسبه می‌شود که با  $\hat{\sigma}_{et}^L$  تخمین زده می‌شود. در این محاسبات از عامل انحراف استاندارد تقاضا در طول مدت تحویل،  $\sigma^L$  که با  $\hat{\sigma}_t^L$  تخمین زده می‌شود، استفاده نمی‌شود. از آنجا که رابطه ساده  $\sigma_e^L = c\sigma^L$  به ازای  $c \geq 1$  بین این دو مقدار وجود دارد، توسط هاکس و کاندیا [28] نشان داده شده است که تعیین خطمشی موجودی بر اساس متغیر اول  $(\sigma_e^L)$  مناسب‌تر است.

ارزش زمانی پول را می‌توان در دو بخش از محاسبات اثر شلاقی به طور جداگانه تأثیر داد. در حالت اول که اغلب با رویکرد تخصیص اعتبار تطابق دارد، فرض می‌کنیم که ملاک بررسی ارزش پولی تخمین تقاضا در دوره  $t$  قرار می‌گیرد. میزان ارزش پولی تقاضاهای ارائه شده در  $p$  دوره قبل از دوره  $t$  مورد محاسبه قرار گرفته و بر اساس ارزش زمانی آن‌ها در زمان  $t$ ، میزان اعتبار مورد نیاز برای برآورده کردن تقاضای تخمینی در زمان  $t$ ، برآورد شده و تخصیص اعتبار لازم بر این اساس انجام می‌یابد.

موضوع مهمی که وجود دارد، این است که در صورت وابسته کردن مقدار سفارش ( $q$ ) به تقاضاهای مشاهده شده، اثر شلاقی با در نظر گرفتن عوامل مالی بیش از آن چیزی است که در غیاب این عوامل به نظر می رسد و این مقدار، از چشم سفارش دهنده پنهان مانده است؛ یعنی نسبت واریانس ارزش زمانی سفارش صادر شده به ارزش زمانی تقاضای مشاهده شده در مدت تحویل سفارش، بزرگ تر از نسبت واریانس سفارش صادر شده به واریانس تقاضای مشاهده شده در مدت تحویل بوده که این مطلب با فرمول زیر نشان داده شده است:

$$\frac{Var(vq_t)}{Var(vD_t)} > \frac{Var(q_t)}{Var(D_t)} \quad (9)$$

همچنین فرض می کنیم که حداقل نرخ بازده قابل قبول ( $MARR^{13}$ )، در همه دوره ها ثابت و به مقدار  $n > 0$  درصد باشد. فرض می کنیم خرده فروش از میانگین ساده متحرک برای محاسبه  $VD_t^L$  و  $\hat{\sigma}_{vet}^L$  بر اساس تقاضای مشاهده شده طی  $p$  دوره قبل استفاده کند. در این صورت:

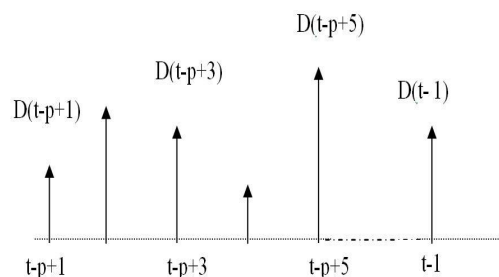
$$VD_t^L = L \frac{\sum_{i=1}^p VD_{t-i} (1+n)^i}{p} \quad (10)$$

$$= L \frac{\sum_{i=1}^p VD_{t-i} (F/P, n\%, i)}{p}$$

$$\hat{\sigma}_{vet}^L = C_{L,p} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^p [ve_{t-i} (1+n)^i]^2}{p}} \quad (11)$$

$$= C_{L,p} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^p [ve_{t-i} (F/P, n\%, i)]^2}{p}}$$

در این روابط، عامل  $(1+n)^i$  همان عامل  $(F/P; n; i)$  در مباحث اقتصاد مهندسی است. برای محاسبه واریانس ارزش پولی مقدار سفارش ( $vq_t$ ) بر اساس واریانس ارزش زمانی تقاضایی که خرده فروش مشاهده می کند ( $VD_t$ ) به این صورت عمل می کنیم:



شکل 2: نمودار تقاضای واقعی در طی  $p$  دوره قبل از دوره  $t$

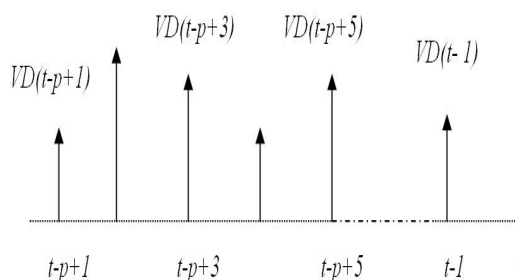
برای این هدف، حجم نقدینگی که در زمان  $t$  برای سفارش تخصیص می یابد را با  $vq_t$  نشان داده و معادل پولی تقاضای مشاهده شده توسط خرده فروش در زمان  $t$  را با  $VD_t$  نشان می دهیم. یکی از فرض های ساده سازی که برای ساده و قابل حل کردن این مدل در نظر می گیریم، این است که ارزش هر واحد تقاضا ( $A$ ) در طول زمان ثابت در نظر گرفته شود. با توجه به این فرض می توان چنان نشان داد که:

$$VD_t = A * D_t \quad (5)$$

و بنابراین  $VD_t$  به توزیعی i.i.d با میانگین و واریانس زیر متعلق است:

$$E(VD_t) = A\mu/(1-\rho) \quad (6)$$

$$Var(VD_t) = A^2\sigma^2/(1-\rho^2) \quad (7)$$



شکل 3: ارزش پولی تقاضاها

با منطقی مشابه می توان نشان داد که خطای پیش بینی را نیز می توان همان طور که در زیر نشان داده شده است، به معادل پولی آن تبدیل کرد:

$$\hat{\sigma}_{vet}^L = A * \hat{\sigma}_{et}^L \quad (8)$$

در این جا و با در نظر داشتن نقش عامل ارزش زمانی پول انجام می‌دهیم. به این منظور از داده‌های استاندارد استفاده شده توسط ایشان بهره‌برداری شده و فقط عامل ارزش زمانی پول را در آن تأثیر خواهیم داد. برای این منظور فرض می‌کنیم که حداقل نرخ بازدهی قابل قبول در هر دوره به میزان 10 درصد باشد. این فرض بیشتر برای اقلامی قابل استفاده است که دوره تأمین آن‌ها به صورت سالانه باشد. نتایج حاصل از این شبیه‌سازی در شکل زیر نمایش داده شده است.

همان طور که انتظار می‌رفت و نتایج حاصل از شبیه‌سازی نیز مؤید آن است، در نظر گرفتن عامل ارزش زمانی پول، تأثیری تشدیدکننده در اثر شلاقی دارد. تفاوتی که در این زمینه مشاهده می‌شود آن است که در حالت عادی که عوامل مالی در زنجیره تأمین در نظر گرفته نمی‌شود، با زیاد شدن دوره تخمین تقاضا (p) میزان اثر شلاقی تا حد زیادی تخفیف می‌یابد. این درحالی است که در حالتی که عوامل مالی در نظر گرفته می‌شود، این کاهش خیلی کم‌رنگ‌تر می‌شود. دلیل این موضوع نیز آن است که با افزایش تعداد دوره‌ها، میزان تأثیرات ناشی از تغییرات ارزش زمانی پول نیز افزایش یافته و در نتیجه اثر شلاقی کمتر کاهش می‌یابد.

## 2- بررسی تغییرات ارزش پولی سفارشات در اثر مدت انتظار برای تحویل سفارش (L)

در مدلی ساده‌تر، می‌توان تقاضاها را به همان صورت سنتی یعنی برآورد بر مبنای مقدار موجودی در نظر گرفت و هنگامی که مقدار سفارش ( $q_t$ ) برآورد شد، محاسبات مالی را در مسئله دخیل کرد. به این منظور همه محاسبات مطابق با فرمول‌های قبلی انجام می‌شوند و مبنای محاسبات مالی، L دوره آینده‌ای است که طول می‌کشد تا سفارش به دست خرده‌فروش برسد. مقادیر سفارش در لحظه صدور سفارش به معادل مالی آن‌ها تبدیل می‌شود که در قالب این فرمول‌ها بیان شده‌اند:

$$VD_t^L = A * \hat{D}_t^L \quad (16)$$

$$Vq_t = A * q_t \quad (17)$$

$$\begin{aligned} vq_t &= \hat{VD}_t^L - \hat{VD}_{t-1}^L + z(\hat{\sigma}_{vet}^L - \hat{\sigma}_{vet,t-1}^L) + VD_{t-1} \\ &= L \left( \frac{VD_{t-1}^L(1+n) - VD_{t-p-1}^L(1+n)^{p+1}}{p} \right) + VD_{t-1}^L(1+n) \\ &\quad + z(\hat{\sigma}_{vet}^L - \hat{\sigma}_{vet,t-1}^L) \\ &= (1+L/p)VD_{t-1}^L(1+n) - (L/p)VD_{t-p-1}^L(1+n)^{p+1} \\ &\quad + z(\hat{\sigma}_{vet}^L - \hat{\sigma}_{vet,t-1}^L) \end{aligned} \quad (12)$$

که واریانس به این شرح دارد:

$$\begin{aligned} Var(vq_t) &= (1+L/p)^2(1+n)Var(VD_{t-1}^L) \\ &\quad - 2(L/p)(1+L/p)(1+n)^{p+2}Cov(VD_{t-1}^L, VD_{t-p-1}^L) \\ &\quad + (L/p)^2(1+n)^{2p+2}Var(VD_{t-p-1}^L) \\ &\quad + z^2Var(\hat{\sigma}_{vet}^L - \hat{\sigma}_{vet,t-1}^L) \\ &\quad + 2z(1+n)(1+2L/p)Cov(VD_{t-1}^L, \hat{\sigma}_{vet}^L) \end{aligned} \quad (13)$$

همان‌طور که ذکر شد، در محاسبات مربوط به مقدار تقاضا و سفارشات صادرشده، تساوی زیر برقرار است:

$$Cov(D_{t-i}, \hat{\sigma}_{et}^L) = 0 \quad \text{for all } i = 1, 2, \dots, p. \quad (14)$$

و با توجه به اینکه تنها تغییرات انجام‌گرفته در تبدیل کردن مقدار تقاضا به معادل پولی آن بوده است، می‌توان به روشی مشابه نشان داد که تساوی زیر نیز برای همه دوره‌هایی که میانگین متحرک برای آن‌ها محاسبه می‌شود، برقرار است.

$$Cov(VD_{t-i}^L, \hat{\sigma}_{vet}^L) = 0 \quad \text{for all } i = 1, 2, \dots, p. \quad (15)$$

همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، با مقایسه بین  $vq_t$  در زنجیره‌ای که در آن عوامل مالی در نظر گرفته نمی‌شود، با زنجیره‌ای که عوامل مالی به عنوان یک عامل مهم در زنجیره در نظر گرفته می‌شود، مشخص است که برخی از جملات تشکیل‌دهنده واریانس در حالت دوم در توابعی از  $(1+n)$  ضرب شده‌اند. از آنجا که همواره در محاسبات مربوط به اقتصاد مهندسی حداکثر نرخ بازدهی قابل قبول، عوامل مثبت در نظر گرفته می‌شود، بنابراین مشخص است که مقدار واریانس سفارشات ارائه‌شده توسط خرده‌فروش در حالت دوم به مراتب بیشتر از مقدار واریانس این عامل در حالت اول است. برای اینکه بتوانیم این دو مقدار را با هم به صورت ملموس‌تری بررسی کنیم، شبیه‌سازی که توسط چین و همکاران [29] انجام شد را

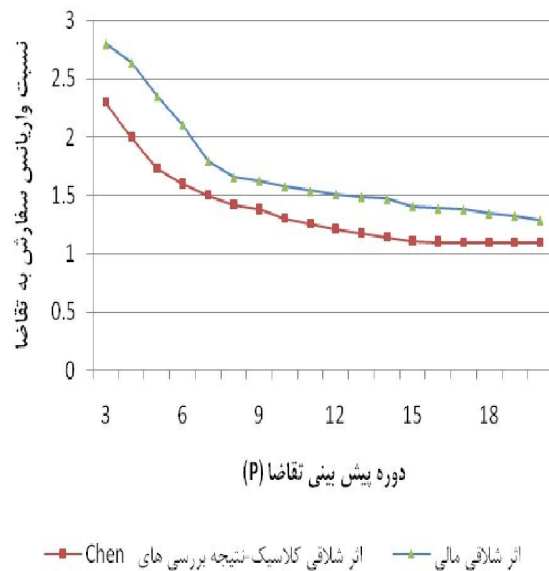
### جمع بندی و نتیجه گیری

استقرار رویکردهای مدیریت زنجیره تأمین، همواره با دو ویژگی اساسی یکپارچه سازی و هماهنگ سازی اجزای حاضر در زنجیره همراه بوده که مزیت های حاصل از این رویکرد در دهه های اخیر منجر به گرایش مطالعات زیادی به این حوزه شده است. با این وجود، این ویژگی ها منجر به بروز مشکلاتی در ساختار زنجیره تأمین و مدیریت آن شده است.

یکی از مهم ترین این عارضه ها که در قالب تشدید نوسانات تقاضا از پایین به بالای زنجیره خودنمایی می کند، اثر شلاقی یا اثر شلاق چرمی است. صرف نظر کردن از این اثر تا حدی می تواند کارآیی مدیریت زنجیره تأمین را دچار خدشه کند؛ از این رو این موضوع مورد توجه محققان این حوزه قرار گرفته است.

شناسایی دلایل بروز این اثر و ارائه راه حل هایی برای تخفیف آن در مقالات متعددی بررسی شده که در ابتدای این مقاله به آن پرداخته شد. آنچه که به نظر می رسد در مطالعات انجام شده در این زمینه کمتر به آن پرداخته شده و به نحوی از چشم محققان به دور مانده است. تأثیر در نظر گرفتن عوامل مالی ناشی از تغییر ارزش زمانی پول در اثر گذر زمان و به دلیل وجود پدیده هایی نظیر تورم است. نتایج حاصل از بررسی های انجام گرفته در این تحقیق، نشانگر آن است که درباره آن دسته از کالاهایی که مبنای تخصیص اعتبار برای تأمین آن ها در دوره های بعد میانگین اعتبار تخصیصی طی چندین دوره قبل است، در صورتی که حداقل نرخ سرمایه گذاری قابل قبول و یا نرخ تورم قابل توجه باشد، صرف نظر کردن از عامل ارزش زمانی پول در محاسبات قابل انجام نخواهد بود. تأثیر این موضوع در جوامعی که در آن ها نرخ تورم در هر دوره زمانی قابل چشم پوشی نباشد، به وضوح قابل ملاحظه است.

حالت دیگری را که می توان در آن تأثیر عوامل مالی را مشاهده کرد، موردی بوده که طی آن کالای سفارش داده شده پس از یک زمان انتظار نسبتاً طولانی، تحویل شده و این موضوع در یک شرایط اقتصادی تورمی اتفاق بیافتد. بررسی نتایج در چنین محیطی به همراه ترکیب آن با حالتی که در این پژوهش مورد بررسی دقیق قرار گرفته است می تواند به عنوان موضوع تحقیقات بعدی در این



شکل 4: مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی اثر شلاقی همراه با در نظر گرفتن اثر تغییرات ارزش پولی با  $n=10$ ،  $L=1$  و  $z=2$  و بدون در نظر گرفتن آنها

با توجه به اینکه عامل  $(F/p, n\%, L)$  برای مقادیر مثبت  $n$  همواره عاملی بزرگ تر از یک است، می توان نتیجه گرفت که فرمول های نسبت واریانس ارزش سفارش به واریانس ارزش تقاضای مشاهده شده، با در نظر گرفتن عامل ارزش زمانی پول، به صورتی که در زیر نشان داده شده است، تغییر می یابد. این نسبت هنگام در نظر گرفتن ارزش زمانی پول بیشتر از زمانی است که این عامل را در نظر نگیریم:

$$\frac{Var(Vq_i * (F / P, n\%, L))}{Var(VD_i)} = (F / P, n\%, L)^2 \frac{Var(Vq_i)}{Var(VD_i)} > \frac{Var(Vq_i)}{Var(VD_i)} \quad (18)$$

کاربرد این مدل در مواردی است که نگرش به مسئله به صورت بودجه ای محض نبوده، اما در نظر گرفتن عوامل مالی نیز اهمیت دارد و مبنای به وجود آمدن آن، توجه به این موضوع است که سفارش صادر شده در طول دوره آینده به دست خریده فروش می رسد و در نظر گرفتن ارزش زمانی پول می تواند مقدار واقعی هزینه ها را برای او مشخص کرده و مبنای بهتری برای تصمیم گیری باشد. به عنوان مثال در شرایطی با نرخ بهره بالا و دوره تأمین سفارش طولانی مدت، باید به گزینه های جایگزین از قبیل تعویض شرکای تجاری، تغییر اندازه سفارش و یا هر روش بهبودی جایگزین پرداخت.



و چند رده‌ای<sup>14</sup> نیز می‌تواند موضوع مطالعات بعدی در این زمینه مورد توجه علاقمندان قرار گیرد. همچنین بررسی اثر شلاقی با رویکرد مالی در زنجیره‌های تأمین پیچیده‌تر زمینه قرار گیرد.

## مراجع

- 1- Forrester, J.W. (1958). Industrial dynamics – a major break-through for decision making. Harvard Business Review 36 (4), PP. 37–66.
- 2- Forrester, J. (1961). *Industrial Dynamics*, MIT Press, Cambridge MA.
- 3- Kahn, J.(1987). Inventories and the volatility of production. American Economics Review 77, PP. 667–679.
- 4- Luong, H.T. (2007). “Measure of bullwhip effect in supply chains with autoregressive demand process.” *European Journal of Operational Research*, 180, PP. 1086–1097.
- 5- Lee, H.L., Padmanabhan, V. and Whang, S., Spring (1997). The bullwhip effect in supply chains. Sloan Management Review, 38 (3), PP. 93–102.
- 6- Miragliotta, G. (2006) “Layers and mechanism: A new taxonomy for the bullwhip effect.” *International Journal of Production Economics*, 104 (2), PP. 365-381.
- 7- Blanchard, O.J. (1981). “The production and inventory behavior of American automobile industry.” *Journal of Political Economy*, 91, PP. 365–400.
- 8- Blinder, A.S. (1982). “Inventories and sticky prices: More on the microfoundations of macroeconomics.” *American Economic Review* 72, PP.334–348.
- 9- Burbidge, J.L. (1984). Automated production control with a simulation capability. IFIP Working Paper, WG 5(7), Copenhagen.
- 10- Caplin, A.S. (1985). The variability of aggregate demand with (S, s) inventory policies. *Econometrica* 53, PP. 1396–1409.
- 11- Sterman, J. (1989). “Modeling managerial behavior: Misperceptions of feedback in a dynamic decision-making experiment.” *Management Science*, 35 (3), PP. 321–339.
- 12- Chen, F., Drezner, Z., Ryan, J.K. and Simchi-Levi, D.(2000). “Quantifying the bullwhip effect in a simple supply chain” *Management Science*, 46 (3), PP. 436–443.
- 13- Kim, J.G., Chatfield, D., Harrison, T.P. and Hayya, J.C. (2000). “Quantifying the bullwhip effect in a supply chain with stochastic lead time.” *European Journal of Operational Research*, 173 (2), PP. 617–636.
- 14- Disney, S.M. and Towill, D.R.. (2002). “A discrete transfer function model to determine the dynamic stability of a vendor managed inventory supply chain.” *International Journal of Production Research*, 40 (1), PP. 179–204.
- 15- Dejonckheere, J., Disney, S.M., Lambrecht, M. and Towill, D.R. (2003) “Measuring and avoiding the bullwhip effect: A control theoretic perspective.” *European Journal of Operational Research*, 147, PP. 567–590.
- 16- Machuca, J.A.D., Barajas, R.P., 2004, The impact of electronic data interchange on reducing bullwhip effect and supply chain inventory costs. *Transportation Research, Part E* 40, pp. 209-228.
- 17- Disney, S.M., Towill, D.R. and Van de Velde, W.(2004). “Variance amplification and the golden ratio in production inventory control systems.” *International Journal of Production Research*, 90 (3), PP. 295–309.

- 18- Disney, S.M., Farasyn, I., Lambrecht, M., Towill, D.R. and de Velde, W.V. (2006). "Taming the bullwhip effect whilst watching customer service in a single supply chain echelon." *European Journal of Operational Research*, 173, PP. 151–172.
- 19- Geary, S., Disney, S.M. and Towill, D.R. (2006). "On bullwhip in supply chains-historical review, present practice and expected future impact." *International Journal of Production Economics*, 101, PP.2–18.
- 20- Cooper, M.C., Lambert, D.M. and Pagh, J.D. (1997). "Supply chain management: More than a new name for logistics." *International Journal of Logistics Management*, 8 (1).
- 21- Edifice, (2000). Forecast & Inventory Management Business and Information Model Guideline. Issue 1.
- 22- Dhahri, I. and Chabchoub, H. (2007). "Nonlinear goal programming models quantifying the bullwhip effect in supply chain based on ARIMA parameters,." *European Journal of Operational Research*, No.177. PP. 1800–1810
- 23- Carlson, C. and Fuller, R. (2000). A fuzzy approach to the bullwhip effect, Cybernetics and Systems '2000, In: Proceedings of the Fifteenth European Meeting on Cybernetics and Systems Research, Vienna, April 25–28.
- 24- Wright, D. and Yuan, X. (2008). "Mitigating the bullwhip effect by ordering policies and forecasting methods." *International Journal of Production Economics*, 113 (2), PP. 587-597.
- 25- Agrawal, S., Sengupta, R., N. and Shanker, K. (2009). "Impact of information sharing and lead time on bullwhip effect and on-hand inventory,." *European Journal of Operational Research* 192 (2), PP. 576-593.
- 26- Ouyang, Y. and Li, X. (2010). "The bullwhip effect in supply chain networks." *European Journal of Operational Research*, 201 (3), PP. 799-810.
- 27- Lee, H.L., Padmanabhan, V. and Whang, S. (1997). Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect. *Management Science*, 43(3), PP. 546–558.
- 28- Hax, A.C. and Candeia, D. (1984). *Production and Inventory Management*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- 29- Chen, F., Drezner, Z., Ryan, J.K. and Simchi-Levi, D. (1998). Quantifying The Bullwhip effect: The Impact of Forecasting, Lead Times and Information, Working Paper, Department of IE/MS Northwestern University, Evanston, IL. And School of Industrial Engineering, Purdue University, Lafayette, IN.

### واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1- Time Value of Money
- 2- Control System Principle
- 3- Time Comparison Principle
- 4- Information Transparency Principle
- 5- Echelon Elimination Principle
- 6- Synchronization Principle
- 7- Multiplier Principle
- 8- Order Batching Principle
- 9- Gaming Principle
- 10- Rationing and Shortage Gaming
- 11- Order Up to
- 12- Lead Time
- 13- Minimum Attractive Rate of Return
- 14- Multi-echelon Supply Chain