مجله‌ی علمی و پژوهشی شریف
مرداد ۱۳۸۸، شماره‌ی چهل و نهم، ص. ۱۵-۲۳

بررسی تأثیر خط‌مشی‌های موجودی، روش‌های پیش‌بینی و برآورد بر روی اثر شلاقی

مجید رفیعی (دانشجوی دکتری)
محمدرضا اکبری جوکار (دانشیار)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف

یکی از پدیده‌هایی که در زنجیره‌های عرضه مشاهده می‌شود «اثر شلاقی» است. این اثر بر افزایش نوسانات تقاضا به‌سمت بالای زنجیره (از مشتری نهایی به سمت تولیدکننده) اشاره دارد. در این نوشتار قصد داریم در یک زنجیره‌ی عرضه‌ی دوسطحی (شامل یک خرده‌فروش و یک تولیدکننده) به بررسی تأثیر الگوهای مدیریت موجودی بر پدیده‌ی اثر شلاقی بپردازیم و روشی برای انتخاب سیاستی خوب (نه لزوماً بهینه) ارائه کنیم. در این مطالعه ضمن ارائه‌ی دلایل ایجاد اثر شلاقی به مقایسه‌ی میزان اثر شلاقی در ۸ سناریوی مختلف پرداخته‌ایم. این سناریوها شامل دو نوع خط‌مشی سیستم موجودی ـ شامل مرور دائم و مرور دوره‌یی، دو نوع روش پیش‌بینی شامل میانگین متحرک و هموارسازی نمایی، و دو برآوردکننده ـ است. اثر شلاقی در هرکدام از راهکارها بدون در نظرگرفتن موجودی اطمینان به‌صورت روابط ریاضی نشان داده شده است. با مقایسه‌ی حالت‌های مختلف ثابت شده است که سناریوهایی که در آنها تقاضا به‌روش هموارسازی نمایی پیش‌بینی می‌شود و توسط برآوردکننده‌ی اول برآورد شود، نسبت به سایر سناریوها اثر شلاقی را به‌میزان بیشتری کاهش می‌دهد. نمودارها و تحلیل هرکدام از سناریوها به‌منظور سنجش میزان تأثیر پارامترهای موجود بر اثر شلاقی ارائه شده است.

واژگان کلیدی: مدیریت زنجیره‌ی عرضه، اثر شلاقی، مدیریت موجودی، مدت‌زمان تحویل.

ma`rafiee@mehr.sharif.edu
reza.akbari@sharif.edu

مقدمه

هر یک از اجزای زنجیره‌ی عرضه[۱] می‌توانند منشأ نوسان و بی‌ثباتی در یک زنجیره شوند. تأخیر در تحویل جنس توسط عرضه‌کننده، نوسان در فرایند تولید، و تغییرات پیش‌بینی نشده‌ی تقاضا از جمله‌ی عواملی هستند که می‌توانند باعث نوسانات پیچیده درکل شبکه‌ی زنجیره‌ی عرضه شوند.[۱و۲] یکی از مهم‌ترین رفتارهای مشاهده‌شده در زنجیره‌ی عرضه «اثر شلاقی[۲]» است. این واژه بیانگر این موضوع است که سفارشات تأمین‌کنندگان، از آن چیزی که به خریداران فروخته می‌شود، دارای تغییرات بیشتری است. این انحراف به‌طور پیاپی و به‌شدت به‌سمت بالای زنجیره افزایش می‌یابد. به‌گفته‌ی عموم هرچه به‌سمت بالای زنجیره حرکت می‌کنیم انحراف به‌صورت موج‌گونه تقویت می‌شود. اثر شلاقی درواقع افزایش نوسان و تغییرات درتقاضا و سفارش هنگام حرکت به‌سمت بالای زنجیره (از خرده‌فروش به عمده‌فروش و تولیدکننده) است.[۳]

اثر شلاقی

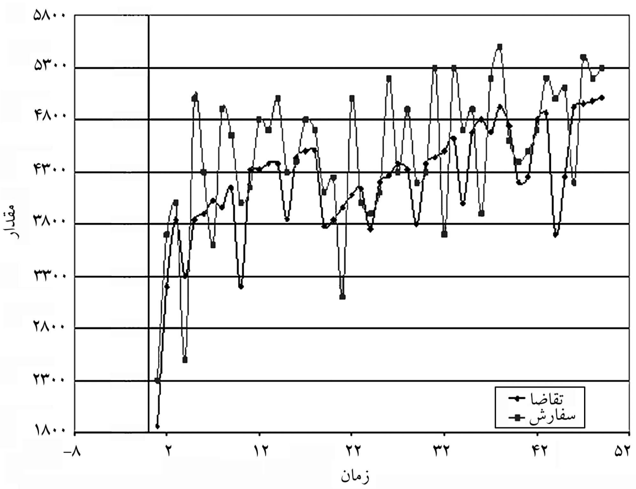
اثر «شلاقی» اشاره به شرایطی دارد که در آن سفارشات داده‌شده به تولیدکننده در مقایسه با فروش توسط خریدار از نوسان بالایی برخوردار است (یعنی همان تحریف تقاضا) که در این‌صورت تحریف رو به بالا و در حال افزایش خواهد بود (یعنی افزایش واریانس).[۴و۵] این رفتار در بسیاری از زنجیره‌های تولیدی و حتی قسمت‌های خدماتی مشاهده شده است. افزایش نوسانات و عدم اطمینان سبب بروز مشکلات در برنامه‌ریزی مناسب، و نیز موجب افزایش هزینه‌ها و کاهش سودآوری شده و بر ارتباطات اجزای زنجیره اثرات منفی می‌گذارد. اثر شلاقی واژه‌ی جدیدی است اما یک پدیده‌ی جدید نیست، همچنان که در ادبیات موضوع در چهار دهه‌ی اخیر نیز مورد بحث قرارگرفته است.[۱] شکل ۱ میزان فروش یک محصول توسط خرده‌فروش و همچنین میزان سفارشات وی را به تولیدکننده نشان می‌دهد. (شایان ذکر است که شکل به‌دلیل محرمانه‌بودن کمی دست‌کاری شده، اما مبتنی بر اطلاعات واقعی است.) شکل موجود به‌وضوح تحریف در اطلاعات تقاضا را به‌تصویر می‌کشد. سفارشات خرده‌فروش با میزان فروش واقعی او هماهنگی ندارند.

عوامل ایجاد اثر شلاقی

بیشتر تحقیقات قبلی غالباً تمرکزشان بر این مطالب بوده است:

- ارائه‌ی اثبات‌های تجربی در حمایت از وجود اثر شلاقی؛

تاریخ: دریافت ۱۳۸۶/۱/۲۵، داوری ۱۳۸۶/۱۰/۲۶، پذیرش ۱۳۸۷/۲/۱۶.



شکل ۱. مقایسه روند تغییرات تقاضا و سفارش یک خرده‌فروش.

- ارائه‌ی اثبات‌های ریاضی برای نشان‌دادن اثر شلاقی؛
- مشخص‌کردن دلایل ایجاد اثر شلاقی؛
- توسعه‌ی راهکارهایی برای کاهش اثر شلاقی.

با توجه به وجود تحقیقات کافی در راستای اثبات موجودیت اثر شلاقی از دوباره‌کاری دوری می‌جوییم. همچنین از آنجا که بیشتر مقالات در خصوص عواملی که باعث ایجاد این اثر می‌شوند با هم اتفاق نظر دارند، به ارائه‌ی دلایل و راهکارهای منطقی می‌پردازیم.

دلایل اصلی ایجاد اثر شلاقی

دلایل ایجاد اثر شلاقی در زنجیره‌های عرضه را می‌توان به چهار دسته‌ی عمده دسته‌بندی کرد:[۱]

الف) سیاست‌های سفارش‌دهی و پیش‌بینی تقاضا؛

ب) سفارش دسته‌یی؛

ج) نوسانات قیمت و تخفیف‌ها؛

د) جیره‌بندی و تقاضاهای متورم.

هرکدام از چهار عامل بالا در تصمیم‌گیری‌های یک زنجیره‌ی عرضه می‌توانند عامل ایجاد اثر شلاقی باشند.

الف) سیاست‌های سفارش‌دهی و پیش‌بینی تقاضا

هر شرکت در یک زنجیره‌ی عرضه، تقاضاهای محصول خود را برای برنامه‌ریزی زمان‌بندی تولید، برنامه‌ریزی ظرفیت، کنترل موجودی و برنامه‌ریزی احتیاجات مواد پیش‌بینی می‌کند. پیش‌بینی اغلب مبتنی بر سفارش گذشته‌ی مشتریان است. برای مثال، اگر شما مدیری باشید که میزان سفارش از تأمین‌کنندگان توسط شما مشخص می‌شود، شما از یک روش ساده برای پیش‌بینی تقاضا (مثلاً هموارسازی نمایی) استفاده می‌کنید.

سفارشی که شما برای تأمین‌کننده می‌فرستید باید پاسخ‌گوی تقاضای مشتریان و موجودی اطمینان مورد نیاز شما باشد. تقاضاهای بعدی و موجودی اطمینان مربوط به‌آن در روش هموارسازی دائماً به‌روز می‌شود. در زنجیره‌ی عرضه‌یی که زمان تحویل آن طولانی است، خیلی غیر معقول نیست که موجودی اطمینان برای مصرف چند هفته را نگه‌داری کنیم. نتیجه‌ی این امر ایجاد تغییرات زیاد در طول مدت‌زمان تحویل[۳] است.[۶]

از آنجا که میزان موجودی اطمینان در ایجاد اثر شلاقی تأثیرگذار است پرواضح است که هرچه زمان تحویل طولانی‌تر باشد تغییرات و نوسانات در منحنی میزان سفارش سایر اجزای زنجیره نسبت به مشتری بیشتر است و هرچه از مشتری به سمت تولیدکننده پیش می‌رویم این نوسانات بیشتر می‌شود.[۷]

ب) سفارش دسته‌یی[۴]

به‌علت صرفه‌ی اقتصادی و با توجه به هزینه‌های ثابت سفارش‌دهی از قبیل حمل‌ونقل، کار سفارش‌دهی به‌صورت دسته‌یی انجام می‌گیرد. سفارش دسته‌یی ممکن است باعث نوسان و تحریف تقاضا شود.

ج) نوسانات قیمت و تخفیف‌ها

در زمان حراج، با توجه به ارزان‌بودن قیمت و به‌علت خرید پیشاپیش، تقاضاها بیشتر می‌شود. در واقع تقاضاهای زمان‌های مختلف در یک زمان صورت می‌پذیرد. تقاضای قابل انعطافی را در نظر بگیرید؛ در این حالت موقتاً سفارشات افزایش می‌یابد تا زمانی که مشتریان از این فرصت منفعت برده و به ادامه‌ی فروش یا انبار خود می‌پردازند. بنابراین این موضوع بر پویایی زنجیره‌ی عرضه تأثیر جدی دارد. زمانی که قیمت از حراج ایجادشده رها می‌شود، تقاضا به‌شدت افت می‌کند و یک نیاز قابل تغییر برای تخفیف‌های بعدی به‌منظور شبیه‌سازی تقاضا ایجاد می‌شود.

د) جیره‌بندی و تقاضاهای متورم

هنگام کمبود کالایی که تقاضای آن بیش از عرضه است، تولیدکننده برای جواب‌گویی به فروشندگان معمولاً قسمتی از تقاضای هر یک از آنها را برآورده می‌سازد. فروشندگان با آگاهی از این مطلب، برای رسیدن به میزان تقاضای مورد نظر خود، بیش از اندازه واقعی و به‌صورت متورم سفارش می‌دهند. پس تولیدکننده عرضه‌ی محصول را جیره‌بندی می‌کند تا بتواند پاسخ‌گوی سفارشات مشتریان باشد. درواقع مشتری و فروشنده به این ترتیب وارد یک بازی می‌شوند. در این‌صورت مشتریان موجودی اطمینان خود را در یک حلقه‌ی خطرناک افزایش می‌دهند که باعث انحراف تقاضا در این حلقه می‌شود و در نهایت منجر به افزایش اثر شلاقی می‌شود. توجه داشته باشید که پیش‌بینی تقاضا و سیاست‌های سفارش‌دهی و دسته‌بندی سفارشات با هم مرتبط‌اند چرا که هر دو بازده الگوهای مدیریت موجودی[۵] از طریق سنتی در مرحله‌ی خرده فروشی هستند.

جیره‌بندی در بازارهای تولید، هنگام رشد در دوره‌ی چرخه‌ی حیات محصول ـ یعنی زمانی که تقاضا بیشتر از عرضه باشد ـ متداول است. همچنین افزایش قیمت در مراحل حساب‌شده‌ی تولید شایع بوده و منعکس‌کننده‌ی عملکرد تولیدکنندگان در مبارزه‌ی سهم در بازار هستند. همچنین توجه داشته باشید که اثرات جیره‌بندی و نوسان قیمت با هم مرتبط‌اند، به‌گونه‌یی که عکس‌العمل اعضای کانال یا زنجیره را به نیروی بازار به تصویر می‌کشند. از آنجا که در واقعیت دسته‌یی از ترکیبات این اثرات، موقعیت بازار را مشخص می‌سازند، این‌که هرکدام از فعالان در زنجیره‌ی عرضه به اهمیت این عوامل پی برده و سعی در بهبود همکاری بین اعضای زنجیره‌ی خود کنند، از اهمیت شایانی برخوردار است. ما در این تحقیق به بررسی تأثیر خط‌مشی‌های موجودی، روش‌های پیش‌بینی و برآورد تقاضا می‌پردازیم. واضح است که این اثرات بیشتر مربوط به مورد اول، یعنی الگوهای مدیریت موجودی از طریق سنتی است.

بررسی تأثیر خط‌مشی‌های سیستم موجودی و روش‌های پیش‌بینی براثر شلاقی

محاسبه‌ی اثر شلاقی:

بسیاری از نویسندگان از روش‌های آماری برای اندازه‌گیری اثر شلاقی استفاده کرده‌اند. ما نیز از همان رابطه‌ی معروفی که تاکنون برای محاسبه‌ی اثر شلاقی به‌کار رفته است[۸و۹] استفاده می‌کنیم.

$$Bullwhip = \text{واریانس تقاضا/واریانس سفارشات} = \frac{Var(Q)}{Var(D)}$$

همان‌طور که می‌دانیم هرچه در رابطه‌ی فوق واریانس سفارشات به واریانس تقاضا نزدیک‌تر باشد، بهتر است. همچنین در این رابطه سفارشات در هر سطح نسبت به واریانس تقاضای مشتری نهایی مورد مقایسه قرار می‌گیرد. از آنجاکه در جهان واقعی داشتن اطلاعات دقیق از تقاضای مشتری شامل میانگین و واریانس تقاضا کار آسانی نیست، ناچار به پیش‌بینی تقاضا هستیم. برای نشان‌دادن افزایش واریانس از خرده‌فروش به سازنده، یک زنجیره‌ی عرضه‌ی ساده‌ی دوسطحی با یک خرده‌فروش و یک تولیدکننده را در نظر می‌گیریم. سپس نشان می‌دهیم که خط‌مشی‌های موجودی، روش‌های پیش‌بینی تقاضا، و نیز مدت‌زمان تحویل در ایجاد اثر شلاقی تأثیرگذارند. همچنین هرکدام از حالت‌های یادشده را مقایسه می‌کنیم. پس باید واریانس سفارشات (Q_t) را نسبت به واریانس تقاضا (D_t) تعیین کنیم. واریانس سفارشات بستگی به خط‌مشی و سیاست کنترل موجودی دارد.[۱۰] در صورتی‌که تقاضای مشتری در زمان مناسب در دسترس باشد، میزان سفارش‌دهی برابر با تقاضای مشتری است؛ در غیر این‌صورت باید نسبت به پیش‌بینی تقاضا اقدام کنیم و برای تخمین آن از روش‌های پیش‌بینی استفاده کنیم.

فرضیه‌ها:

قبل از شروع بیان فرضیه‌ها ضرورت دارد:

۱. نرخ تقاضا در دوره‌های مختلف $D_1, D_2, \ldots, D_t$ و ... با میانگین نامعلوم μ_D و واریانس نامعلوم σ_D^2 است. (تقاضا در دوره‌های مختلف مستقل و هم‌توزیع ($i.i.d$) هستند).

۲. یک زنجیره‌ی تأمین ساده‌ی دوسطحی شامل یک خرده‌فروش و یک تولیدکننده را در نظر می‌گیریم که در آن، خرده‌فروش تقاضای مشتری را پیش‌بینی کرده و بر اساس آن اقدام به صدور سفارش می‌کند.

۳. در هر دوره‌ی t، خرده‌فروش موقعیت موجودی خود را بررسی می‌کند و سفارش Q_t را به یک تولیدکننده صادر می‌کند. پس ازصدور سفارش تقاضای دوره‌ی t (D_t) وارد سیستم می‌شود وخرده‌فروش نسبت به تأمین تقاضا اقدام می‌کند.

۴. تقاضا پس‌افت می‌شود.

۵. میزان سفارش (Q_t) ممکن است منفی شود. فرض می‌کنیم که این موجودی اضافی می‌تواند بدون هیچ هزینه‌یی برگشت داده شود.

۶. فاصله‌ی زمانی تحویل ثابت است.

۷. اطلاعات مربوط به تقاضای دوره‌های قبل به‌صورت نامحدود در دسترس است.

همان‌طورکه در فرضیه‌ها اشاره شده است میانگین و واریانس تقاضا نامعلوم‌اند؛ پس ناچار به برآورد آنها، و پیش‌بینی با یکی از روش‌های موجود هستیم.[۱۱و۱۲] در ادامه به بررسی اثر شلاقی در ۸ حالت ـ دو نوع خط‌مشی سیستم موجودی شامل مرور دوره‌یی و مرور دائم، دو نوع روش پیش‌بینی شامل میانگین متحرک و هموارسازی نمایی، و همچنین دو روش برآورد میانگین تقاضا در مدت زمان تحویل ـ می‌پردازیم. بنابراین به‌طور خلاصه ۸ نوع راهکار مورد بررسی قرار می‌گیرد:

۱. خط‌مشی مرور دوره‌یی ـ پیش‌بینی‌کننده‌ی میانگین متحرک ـ برآوردکننده‌ی اول؛

۲. خط‌مشی مرور دوره‌یی ـ پیش‌بینی‌کننده‌ی میانگین متحرک ـ برآوردکننده‌ی دوم؛

۳. خط‌مشی مرور دوره‌یی ـ پیش‌بینی‌کننده‌ی هموارسازی نمایی ـ برآوردکننده‌ی اول؛

۴. خط‌مشی مرور دوره‌یی ـ پیش‌بینی‌کننده‌ی هموارسازی نمایی ـ برآوردکننده‌ی دوم؛

۵. خط‌مشی مرور دائم ـ پیش‌بینی‌کننده‌ی میانگین متحرک ـ برآوردکننده‌ی اول؛

۶. خط‌مشی مرور دائم ـ پیش‌بینی‌کننده‌ی میانگین متحرک ـ برآوردکننده‌ی دوم؛

۷. خط‌مشی مرور دائم ـ پیش‌بینی‌کننده‌ی هموارسازی نمایی ـ برآوردکننده‌ی اول؛

۸. خط‌مشی مرور دائم ـ پیش‌بینی‌کننده‌ی هموارسازی نمایی ـ برآوردکننده‌ی دوم.

پیش از آن‌که به بررسی راهکارهای مختلف بپردازیم، حالتی که در سیستم مرور دوره‌یی اتفاق می‌افتد قابل تأمل است:

بیشینه‌ی موجودی مطلوب در دوره‌های مختلف ثابت و معلوم است.

در این‌صورت میزان سفارش در هر دوره برابر تقاضای دوره‌ی قبل است.

$$Q_i = D_{i-1}$$

$$Var(Q) = Var(D_{i-1}) \Rightarrow Var(D_1) = Var(D_2) \ldots =$$

$$Var(D_1) = Var(D) \Rightarrow Var(Q) = Var(D) \Rightarrow BullWhip = \frac{Var(Q)}{Var(D)} = 1$$

یعنی واریانس سفارشات با واریانس تقاضا برابر است و اثر شلاقی در این‌صورت وجود ندارد. بدیهی است در صورتی‌که ما میانگین و واریانس تقاضا در مدت زمان تحویل را داشته باشیم می‌توانیم R را محاسبه کنیم. پس به‌طور خلاصه، زمانی‌که خرده‌فروش میانگین و واریانس تقاضا در مدت‌زمان تحویل را داشته باشد اثر شلاقی وجود ندارد. در غیر این‌صورت، Riهای مختلف داریم و باید آنها را پیش‌بینی کنیم.

راهکار اول: خط‌مشی مرور دوره‌یی ـ پیش‌بینی‌کننده‌ی میانگین متحرک ـ برآوردکننده‌ی اول

از آنجاکه Riها در دوره‌های مختلف متفاوت‌اند، ناچاریم آنها را تخمین بزنیم: همان‌طور که می‌دانیم بیشینه‌ی موجودی مطلوب برابر مجموع میانگین تقاضا در مدت‌زمان تحویل و موجودی اطمینان است. یعنی در اینجا:

$$R_i = \widehat{\mu}(T+L) + SS$$

اگر تعداد دوره‌های تخمین را P در نظر بگیریم داریم:

$$R_i = \overline{X}_i + SS$$

$$X_i = \sum_{j=0}^{L+T-1} D_{i+j} \qquad , \overline{X}_i = \frac{\sum_{j=0}^{L+T-1} \sum_{k=1}^{p} D_{i-k+j}}{P}$$

$$Q_i = R_i - R_{i-1} + D_{i-1}$$

پس با صرف‌نظرکردن از SS داریم:

$$Q_i = \overline{X}_i - \overline{X}_{i-1} + D_{i-1}$$

و

$$= \frac{1}{P}\left[X_{i-1} - X_{i-P-1}\right] = \frac{1}{P}[D_{i-1} + D_i + ... + D_{i+L-2} - D_{i-P-1} - D_{i-P} - ... - D_{i-P+L-2}] + D_{i-1}$$

$$if \quad P \geq (L+T) \Rightarrow Var(Q_i) = \frac{2(L+T)Var(D)}{P^2} + Var(D) + \frac{2}{P}Cov[(D_{i-1} + D_i + ... + D_{i+L-2} - D_{i-P-1} - D_{i-P} - ...D_{i-P+L-3} - D_{i-P+L-2}), D_{i-1}]$$

$$= \frac{2(L+T)Var(D)}{P^2} + Var(D) + \frac{2}{P}Var(D)$$

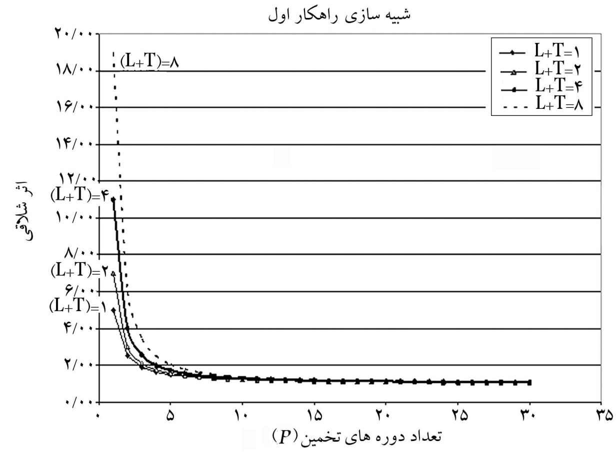
$$= \left[1 + \frac{2}{P} + \frac{2(L+T)}{P^2}\right]Var(D) \quad for \quad P \geq (L+T)$$

$$if \quad P < (L+T) \Rightarrow Then\ Var(Q_i) = \frac{2P\,Var(D)}{P^2} + Var(D) = \left[1 + \frac{2}{P}\right]Var(D) \quad for \quad p < (L+T)$$

$$\frac{Var(Q_i)}{Var(D)} = \begin{cases} \left[1 + \frac{2}{P} + \frac{2(L+T)}{P^2}\right] & for \quad P \geq (L+T) \\ \left[1 + \frac{2}{P}\right] & for \quad P < (L+T) \end{cases} \quad (1)$$

همان‌طور که مشاهده می‌کنیم در این حالت اثر شلاقی به سه پارامتر L, T, P وابسته است؛ با L, T رابطه‌ی مستقیم دارد (یعنی با افزایش آنها اثر شلاقی افزایش می‌یابد) و با پارامتر P رابطه‌ی معکوس دارد. شکل ۲ گویای این مطلب است.

همان‌طورکه در شکل ۲ می‌بینیم با افزایش P اثر شلاقی در حالت‌های مختلف $(L+T)$ بسیار به هم نزدیک می‌شوند. یعنی افزایش P در مقایسه با کاهش $(L+T)$ تأثیر بیشتری در کاهش اثر شلاقی دارد. مثلاً اگر $P = 30$، میزان اثرشلاقی به‌ازای $L+T = 1$ برابر ۱٫۰۷ و به‌ازای $L+T = 8$ برابر ۱٫۰۸ است؛ یعنی ۸ برابر شدن $L+T$ تنها ۱٪ در افزایش اثر شلاقی تأثیرگذار است.



شکل ۲. مقایسه تاثیر مدت زمان تحویل (L+T) و تعداد دوره های تخمین (P) بر اثر شلاقی.

جدول ۱. اثر شلاقی به‌ازای مدت زمان تحویل (L+T) و تعداد دوره‌های تخمین (P).

P	L+T=۸	L+T=۴	L+T=۲	L+T=۱
۱	۱۹٫۰۰	۱۱٫۰۰	۷٫۰۰	۵٫۰۰
۵	۲٫۰۴	۱٫۷۲	۱٫۵۶	۱٫۴۸
۱۰	۱٫۳۶	۱٫۲۸	۱٫۲۴	۱٫۲۲
۱۵	۱٫۲۰	۱٫۱۷	۱٫۱۵	۱٫۱۴
۲۰	۱٫۱۴	۱٫۱۲	۱٫۱۱	۱٫۱۱
۲۵	۱٫۱۱	۱٫۰۹	۱٫۰۹	۱٫۰۸
۳۰	۱٫۰۸	۱٫۰۸	۱٫۰۷	۱٫۰۷

این در حالی است که به‌ازای $P = 2$ میزان اثر شلاقی برای $L+T$های ۱و۸ به ترتیب ۲٫۵ و ۶ است. به‌عبارت دیگر با وجود کاهش $L+T$ به عدد ۱ همچنان اثر شلاقی عدد ۲٫۵ است و واریانس سفارشات در این حالت حداقل ۲٫۵ برابر واریانس تقاضا خواهد بود، آن‌هم در یک سطح از سطوح زنجیره. همان‌طورکه در رابطه‌ی ۱ مشاهده می‌کنیم، حتی اگر $L+T$ به سمت صفر میل کند، چنانچه P عدد کوچکی باشد، بازهم اثر شلاقی بسیار بزرگی خواهیم داشت. این در حالی است که اگر عدد P به‌سمت بی‌نهایت میل کند، $L+T$ هرچه باشد، اثر شلاقی به‌سمت عدد ۱ که بسیار مطلوب ماست نزدیک می‌شود. به‌عبارت دیگر، اگر فقط تقاضاهای اخیر در پیش‌بینی‌ها لحاظ شوند نوسان و بی‌ثباتی، و درنتیجه تحریف اطلاعات در زنجیره افزایش می‌یابد ولی اگر بتوانیم از داده‌های گذشته‌ی دور در پیش‌بینی‌ها استفاده کنیم به‌مراتب در کاهش اثر شلاقی و هزینه‌های مترتب آن در زنجیره نقش داشته‌ایم. جدول ۱ که حاوی برخی از اعداد است، مؤید توضیحات فوق است (اعداد داخل جدول میزان اثر شلاقی مطابق رابطه‌ی ۱ است).

راهکار دوم: خط‌مشی مرور دوره‌یی ـ پیش‌بینی‌کننده‌ی میانگین متحرک ـ برآوردکننده دوم

$$R_i = (L+T)\overline{D}_i + SS$$

$$\overline{D}_i = \frac{\sum_{k=1}^{p} D_{i-k}}{P}$$

$$Q_i = R_i - R_{i-1} + D_{i-1} + SS$$

موقتاً از SS صرف‌نظر می‌کنیم؛ پس داریم:

$$Q_i = R_i - R_{i-1} + D_{i-1}$$

$$Q_i = (L+T)\left[\frac{D_{i-1} - D_{i-P-1}}{P}\right] + D_{i-1}$$

$$Var(Q_i) = \frac{2(L+T)^2}{P^2}Var(D) + Var(D) + \frac{2(L+T)}{P}Var(D)$$

$$= \left[1 + \frac{2(L+T)}{P} + \frac{2(L+T)^2}{P^2}\right]Var(D)$$

در نهایت:

$$\frac{Var(Q_i)}{Var(D)} = \left[1 + \frac{2(L+T)}{P} + \frac{2(L+T)^2}{P^2}\right] \quad (۲)$$

همان‌طورکه مشاهده می‌کنیم در این حالت نیز مشابه حالت قبل، اثر شلاقی به سه پارامتر L, T, P وابسته است و با L, T رابطه‌ی مستقیم دارد. یعنی با افزایش آنها اثر شلاقی افزایش می‌یابد و با پارامتر P رابطه‌ی معکوس دارد. در شکل ۳ اثرات آنها مقایسه شده است.

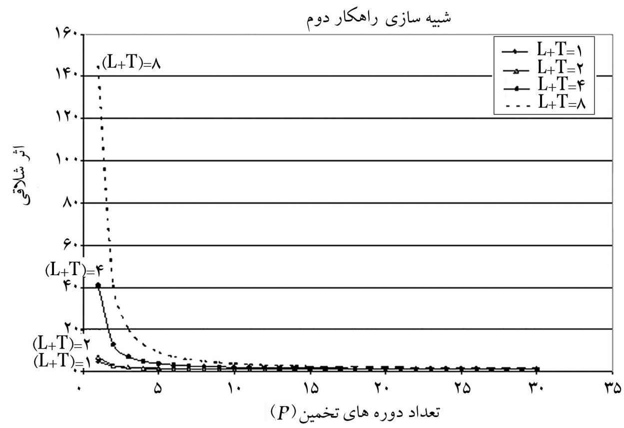
همان‌طورکه در شکل ۳ مشخص است $(L+T)$ نسبت به راهکار اول تأثیر بیشتری بر اثر شلاقی دارد. در رابطه‌ی ۲ اگر $L+T$ به‌سمت صفر، و عدد P به‌سمت بی‌نهایت میل کند، در هردو حالت اثر شلاقی به‌سمت ۱ میل می‌کند و این یعنی این‌که نسبت به راهکار اول در این حالت $L+T$ اثر بیشتری بر اثر شلاقی دارد. مثلاً اگر $P = ۳۰$، آنگاه میزان اثر شلاقی به‌ازای $L+T = ۱$ برابر ۱٫۰۷ و به‌ازای $L+T = ۸$ برابر ۱٫۶۸ است؛ یعنی هشت‌برابر شدن $L+T$ اثر شلاقی را به‌میزان ۰٫۶ افزایش داده است. این در حالی است که به‌ازای $P = ۲$ میزان اثر شلاقی برای $L+T$های ۱و۸ به ترتیب ۲٫۵ و ۴۱ است. به‌عبارت دیگر با وجود کاهش $L+T$ به عدد ۱ همچنان اثر شلاقی عدد ۲٫۵ است و واریانس سفارشات در این حالت حداقل ۲٫۵ برابر واریانس تقاضا خواهد بود (آن‌هم در یک سطح از سطوح زنجیره). از مقایسه‌ی جدول‌های ۱ و ۲ درمی‌یابیم که $(L+T)$ نسبت به راهکار اول تأثیر بیشتری بر اثر شلاقی دارد. اعداد ارائه شده در جدول ۲، که نشان‌گر میزان اثر شلاقی مطابق رابطه‌ی ۲ هستند، مؤید توضیحات فوق است.

راهکار سوم: خط‌مشی مرور دوره‌یی - پیش‌بینی‌کننده‌ی هموارسازی نمایی - برآوردکننده‌ی اول

$$X_i = \sum_{j=0}^{L+T-1} D_{i+j}$$

$$R_i = \overline{X}_i + SS$$

$$\overline{X}_i = \alpha D_{i-1} + (1-\alpha)\overline{X}_{i-1}$$



شکل ۳. مقایسه تأثیر مدت زمان تحویل (L+T) و تعداد دوره های تخمین (P) بر اثر شلاقی.

جدول ۲. اثر شلاقی به ازای مدت زمان تحویل (L+T) و تعداد دوره‌های تخمین (P).

P	L+T=۸	L+T=۴	L+T=۲	L+T=۱
۱	۱۴۵٫۰۰	۴۱٫۰۰	۱۳٫۰۰	۵٫۰۰
۵	۹٫۳۲	۳٫۸۸	۲٫۱۲	۱٫۴۸
۱۰	۳٫۸۸	۲٫۱۲	۱٫۴۸	۱٫۲۲
۱۵	۲٫۶۴	۱٫۶۸	۱٫۳۰	۱٫۱۴
۲۰	۲٫۱۲	۱٫۴۸	۱٫۲۲	۱٫۱۱
۲۵	۱٫۸۴	۱٫۳۷	۱٫۱۷	۱٫۰۸
۳۰	۱٫۶۸	۱٫۳۰	۱٫۱۴	۱٫۰۷

$$\overline{X}_i = \sum_{j=0}^{L+T-1} \sum_{k=1}^{t} \alpha(1-\alpha)^{j-1} D_{i-k+j}$$

$$Q_i = R_i - R_{i-1} + D_{i-1}$$

پس با صرف‌نظر کردن ازSS داریم:

$$Q_i = \overline{X}_i - \overline{X}_{i-1} + D_{i-1}$$

$$\overline{X}_i - \overline{X}_{i-1} = \alpha \left[\begin{array}{c} D_{i+L-2}+(1-\alpha)D_{i+L-3}+(1-\alpha)^2 D_{i+L-4}+\cdots+ \\ (1-\alpha)^{j-1}D_{i+L-J-1}-D_{i-2}-(1-\alpha)D_{i-3}- \\ (1-\alpha)^2 D_{i-4}-\cdots-(1-\alpha)^{j-1}D_{i-j-1} \end{array} \right]$$

$$Var(Q_i) = Var(\overline{X}_i - \overline{X}_{i-1} + D_{i-1})$$

چنانچه فرض کنیم که اطلاعات مربوط به تقاضای دوره‌های بسیار زیادی ازگذشته در دسترس باشد، یعنی بتوانیم t را به‌سمت بی‌نهایت میل‌دهیم، داریم:

$$\frac{Var(Q_i)}{Var(D)} = \frac{2\alpha^2}{2\alpha - \alpha^2} + 1 = \frac{2\alpha}{2-\alpha} + 1 \quad (۳)$$

مطابق رابطه‌ی ۳ میزان $L+T$ در اثر شلاقی جایگاهی ندارد و تنها ضریب هموارسازی نمایی در ایجاد اثر شلاقی مؤثر است و با افزایش آن اثر شلاقی افزایش می‌یابد.

راهکار چهارم: خط‌مشی مرور دوره‌یی - پیش‌بینی کننده‌ی هموارسازی نمایی - برآوردکننده‌ی دوم

$$R_i = (L+T)\overline{D}_i + SS$$

$$Q_i = R_i - R_{i-1} + D_{i-1}$$

$$R_i = (L+T)\overline{D_i} + SS$$

اگر از SS صرف‌نظر کنیم، داریم:

$$Q_i = \overline{X}_i - \overline{X}_{i-1} + D_{i-1}$$

$$\overline{X}_i = \alpha D_{i-1} + (1-\alpha)\overline{X}_{i-1}$$

$$= \alpha D_{i-1} + (1-\alpha)(\alpha D_{i-2} + (1-\alpha)\overline{X}_{i-2})$$

$$= \ldots$$

$$= \alpha \sum_{j=1}^{\infty} (1-\alpha)^{j-1} D_{t-j}$$

$$Q_i = (L+T)(\overline{X}_i - \overline{X}_{i-1}) + D_{i-1}$$

$$Var(Q_i) = Var\left[(L+T)(\overline{X}_i - \overline{X}_{i-1}) + D_{i-1}\right]$$

$$= Var\Big[(L+T)(\alpha D_{i-1} + (1-\alpha)\overline{X}_{i-1}) -$$

$$(L+T)\overline{X}_{i-1} + D_{i-1}\Big]$$

$$= Var\left[(1+(L+T))D_{i-1} - \alpha(L+T)\overline{X}_{i-1}\right]$$

$$= (1+(L+T))^2 Var(D_{i-1}) + \alpha^2(L+T)^2 Var(\overline{X}_{i-1}) -$$

$$2\alpha(L+T)(1+(L+T))Cov(D_{i-1}, \overline{X}_{i-1})$$

$$Var(\overline{X}_{i-1}) = Var(\alpha \sum_{j=1}^{\infty}(1-\alpha)^{j-1} D_{t-j-1})$$

$$= \alpha^2 Var(D_{i-1} + (1-\alpha)D_{i-2} + (1-\alpha)^2 D_{i-3} + \ldots)$$

$$= \alpha^2 Var(D_{i-1}) \sum_{k=0}^{\infty}(1-\alpha)^{2k}$$

$$= \frac{\alpha^2}{1-(1-\alpha)^2} Var(D_{i-1}) = \frac{\alpha}{2-\alpha} Var(D_{i-1})$$

$$Cov(D_{i-1}, \alpha D_{i-2} + \alpha(1-\alpha)D_{i-3} +$$

$$\alpha(1-\alpha)^2 D_{i-4} + \ldots) = 0$$

پس داریم:

$$Var(Q_i) = (1+\alpha(L+T))^2 Var(D_{i-1}) +$$

$$\frac{\alpha^3(L+T)^2}{2-\alpha} Var(D_{i-1}) = Var(D_{i-1})\Big[1 + (L+T)^2\alpha^2 +$$

$$2\alpha(L+T) + \frac{\alpha^3(L+T)^2}{2-\alpha}\Big]$$

$$= Var(D_{i-1})\left[1 + 2\alpha(L+T) + \frac{2(L+T)^2\alpha^2}{2-\alpha}\right]$$

و در نهایت:

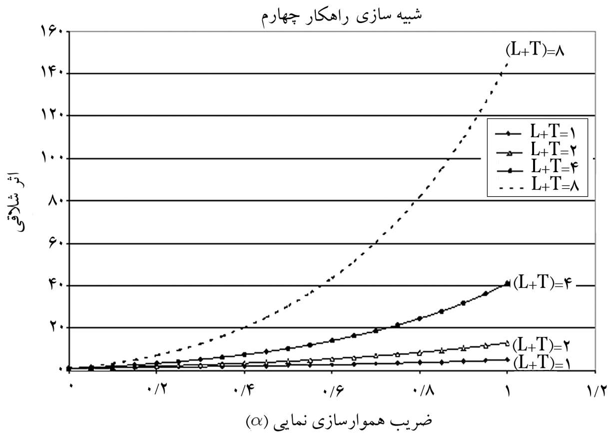
$$\frac{Var(Q_i)}{Var(D_i)} = \left[1 + 2\alpha(L+T) + \frac{2(L+T)^2\alpha^2}{2-\alpha}\right] \qquad (۴)$$

رابطه‌ی ۴ مشخص می‌کند که ضریب هموارسازی نمایی و $(L+T)$ در اثر شلاقی مؤثرند، به این صورت که با افزایش $(L+T)$ و α اثر شلاقی افزایش می‌یابد. در رابطه‌ی ۴، اگر $L+T$ یا عدد α به‌سمت صفر میل کنند، در هردو حالت اثر شلاقی به‌سمت ۱ میل می‌کند. مثلاً چنانچه $\alpha = 0{,}05$ باشد میزان اثرشلاقی به‌ازای $L+T = 1$ برابر ۱٫۱۰ و به‌ازای $L+T = 8$ برابر ۱٫۹۶ است؛ یعنی هشت‌برابر شدن $L+T$ اثر شلاقی را به‌میزان ۰٫۸۶ افزایش داده است. این در حالی است که به ازای $\alpha = 1$ میزان اثر شلاقی برای $L+T$های ۱ و ۸ به‌ترتیب برابر ۵ و ۱۴۵ است. به‌عبارت دیگر با وجود کاهش $L+T$ به عدد ۱ همچنان اثر شلاقی عدد ۵ است و واریانس سفارشات در این حالت حداقل ۵ برابر واریانس تقاضا خواهد بود، آن‌هم در یک سطح از سطوح زنجیره.

اطلاعات ارائه شده در جدول ۳ و شکل ۴ که نشان‌گر میزان اثر شلاقی مطابق رابطه‌ی ۴ است، مؤید توضیحات فوق هستند.

جدول ۳. میزان اثر شلاقی به ازای مدت زمان تحویل (L+T) و ضریب هموارسازی نمایی (α).

α	L+T=۸	L+T=۴	L+T=۲	L+T=۱
۰٫۰۵	۱٫۹۶	۱٫۴۴	۱٫۲۱	۱٫۱۰
۰٫۲۵	۹٫۵۷	۴٫۱۴	۲٫۲۹	۱٫۵۷
۰٫۴۵	۲۴٫۹۲	۸٫۷۸	۳٫۸۵	۲٫۱۶
۰٫۶۵	۵۱٫۴۶	۱۶٫۲۱	۶٫۱۰	۲٫۹۳
۰٫۸۵	۹۵٫۰۲	۲۷٫۹۰	۹٫۴۳	۳٫۹۶
۱	۱۴۵٫۰۰	۴۱٫۰۰	۱۳٫۰۰	۵٫۰۰



شکل ۴. مقایسه تأثیر مدت زمان تحویل (L+T) و ضریب هموارسازی نمایی (α) بر اثر شلاقی.

راهکار پنجم: خط‌مشی مرور دائم ـ پیش‌بینی‌کننده‌ی میانگین متحرک ـ برآوردکننده‌ی اول

از آنجاکه روش سفارش‌دهی مبتنی بر حداکثر موجودی مطلوب است، نحوه‌ی محاسبات نیز مانند قبل است با این تفاوت که در مرور دائم بیشینه‌ی موجودی مطلوب برابر مجموع میانگین تقاضا در مدت زمان تحویل و موجودی اطمینان است؛ یعنی:

$$R_i = \mu(L) + SS$$

بنابراین با جایگزینی L به جای $(L+T)$ در رابطه‌ی ۱ داریم:

$$\frac{Var(Q_i)}{Var(D)} = \begin{cases} \left[1 + \frac{2}{P} + \frac{2L}{P^2}\right] & for \quad P \geq L \\ \left[1 + \frac{2}{P}\right] & for \quad p < L \end{cases} \qquad (۵)$$

با افزایش P اثر شلاقی در حالت‌های مختلف L بسیار به‌هم نزدیک می‌شوند. یعنی افزایش P در مقایسه با کاهش L به‌شدت درکاهش اثر شلاقی مؤثر است. به‌دلیل این‌که شرایط این راهکار مشابه راهکار اول است ـ با جایگزینی L به‌جای $(L+T)$ ـ از ارائه‌ی مثال شبیه‌سازی شده صرف‌نظر می‌شود.

راهکار ششم: خط‌مشی مرور دائم ـ پیش‌بینی‌کننده‌ی میانگین متحرک ـ برآوردکننده‌ی دوم

از آنجاکه بیشینه‌ی موجودی مطلوب برابر مجموع میانگین تقاضا در مدت زمان تحویل و موجودی اطمینان است، یعنی:

$$R_i = \mu(L) + SS$$

و همچنین چون مطابق رابطه‌ی ۲ اثر شلاقی با مدت زمان رابطه‌ی مستقیم تحویل دارد، پس:

$$\frac{Var(Q_i)}{Var(D)} = \left[1 + \frac{2L}{P} + \frac{2L^2}{P^2}\right] \qquad (۶)$$

به دلیل این که شرایط این راهکار مشابه راهکار دوم است ـ با جایگزینی L به‌جای $(L+T)$ ـ از ارائه‌ی مثال شبیه‌سازی شده صرف‌نظر می‌شود.

راهکار هفتم: خط‌مشی مرور دائم ـ پیش‌بینی‌کننده‌ی هموارسازی نمایی ـ برآوردکننده‌ی اول

از آنجاکه در رابطه‌ی ۳ مدت‌زمان تحویل جایگاهی ندارد، پس این رابطه بدون هیچ تغییری در اینجا تکرار می‌شود. یعنی نتیجه‌ی مربوط به راهکار سوم و هفتم کاملاً مشابه است و در هردو آنها اثر شلاقی به ضریب هموارسازی نمایی وابسته است؛ لذا:

$$\frac{Var(Q_i)}{Var(D)} = \frac{2\alpha^2}{2\alpha - \alpha^2} + 1 = \frac{2\alpha}{2-\alpha} + 1 \qquad (۷)$$

راهکار هشتم: خط‌مشی مرور دائم ـ پیش‌بینی‌کننده‌ی هموارسازی نمایی ـ برآوردکننده‌ی دوم

در اینجا نیز با اعمال L به‌جای $(L+T)$ در رابطه‌ی ۴، به رابطه‌ی ۸ دست خواهیم یافت:

$$\frac{Var(Q_i)}{Var(D_i)} = \left[1 + 2\alpha L + \frac{2L^2\alpha^2}{2-\alpha}\right] \qquad (۸)$$

یعنی اثر شلاقی در این حالت به ضریب هموارسازی نمایی و مدت‌زمان تحویل L وابسته است و با افزایش هرکدام اثر شلاقی افزایش می‌یابد. در رابطه‌ی ۸ چنانچه L یا عدد α به‌سمت صفر میل کنند، در هردو حالت اثر شلاقی به‌سمت ۱ میل می‌کند. از آنجاکه شرایط این راهکار مشابه راهکار چهارم است ـ با جایگزینی L به‌جای $(L+T)$ ـ از ارائه‌ی مثال شبیه‌سازی شده صرف‌نظر می‌شود.

مقایسه‌ی سیستم مرور دائم و مرور دوره‌یی

از آنجاکه در بیشتر روابط اثر شلاقی با فاصله‌ی زمانی تحویل رابطه‌ی مستقیم دارد، یعنی افزایش آن باعث افزایش اثر شلاقی می‌شود (به‌جز حالت‌های هفتم و سوم که در آنها فاصله‌ی زمانی تحویل جایگاهی ندارد)، پس در آنها استفاده از سیستم مرور دوره‌یی ـ در مقایسه با مرور دائم ـ اثر شلاقی بیشتری خواهد داشت. در دو موردی که فاصله‌ی زمانی تحویل در روابط حضور ندارد، اثر شلاقیِ هر دو سیستم برابر است. بنابراین استفاده از سیستم مرور دائم عمدتاً باعث کاهش اثر شلاقی خواهد شد. هرچه T (فاصله‌ی بین دوره‌ی سفارش‌دهی) کم‌تر باشد، کاهش اثر شلاقی را در برخواهد داشت.

یادآور می‌شود که همیشه نمی‌توان از سیستم مرور دائم استفاده کرد و این روش محدودیت‌های خاص خود را دارد، ولی نزدیک‌تر شدن به‌آن به‌منظور کاهش اثر شلاقی مثمر ثمر خواهد بود.

بحث راجع به موجودی اطمینان

با توجه به این‌که در تمام راهکارهای فوق موجودی اطمینان لحاظ نشده است، بد نیست نگاهی کلی به تأثیر آن در اثر شلاقی داشته باشیم. می‌دانیم که موجودی اطمینان باید جواب‌گوی تغییرات تقاضا در مدت زمان تحویل باشد؛ یعنی:

SS (مرور دائم) $\sim$ Var (تقاضا در L)

SS (مرور دوره‌یی) $\sim$ Var (تقاضا در $L+T$)

SS (مرور دائم) $<$ SS (مرور دوره‌یی)

با توجه به مطالب فوق درمی‌یابیم که اثر شلاقی در سیستم مرور دائم کوچک‌تر یا مساوی سیستم مرور دوره‌یی است.

مقایسه‌ی روش‌های پیش‌بینی

اگر فرض کنیم که در تمامی موارد از L به‌عنوان فاصله‌ی زمانی تحویل استفاده شده است (استفاده از سیستم مرور دائم)، آنگاه:

برآوردکننده‌ی اول

الف) پیش‌بینی میانگین متحرک

$$\frac{Var(Q_i)}{Var(D)} = \begin{cases} \left[1 + \frac{2}{P} + \frac{2L}{P^2}\right] & for \quad P \geq L \\ \left[1 + \frac{2}{P}\right] & for \quad p < L \end{cases} \qquad (۵)$$

ب) پیش‌بینی هموارسازی نمایی

$$\frac{Var(Q_i)}{Var(D)} = \frac{2\alpha^2}{2\alpha - \alpha^2} + 1 = \frac{2\alpha}{2-\alpha} + 1 \qquad (۷)$$

می توان نشان داد که چنانچه تعداد پریودهای مورد استفاده در روش میانگین متحرک P باشد، آنگاه رابطه‌ی P با α عبارت است از:

$$\alpha \approx \frac{2}{P+1}$$

حال با جایگزینی α، رابطه‌ی ۷ به رابطه‌ی ۹ تبدیل می‌شود:

$$\frac{Var(Q_i)}{Var(D)} = \left[1 + \frac{2}{P}\right] \qquad (۹)$$

از مقایسه‌ی این رابطه با رابطه‌ی ۵ نتیجه می‌گیریم که:

- چنانچه $P < L$ باشد، اثر شلاقی در هردو روش پیش‌بینی میانگین متحرک و هموارسازی نمایی برابر است.
- چنانچه $P \geq L$ باشد، روش هموارسازی نمایی اثر شلاقی کم‌تری خواهد داشت.

برآوردکننده‌ی دوم

الف) پیش‌بینی میانگین متحرک

$$\frac{Var(Q_{MA})}{Var(D)} = 1 + \frac{2L}{P} + \frac{2L^2}{P^2} \tag{6}$$

ب) پیش‌بینی هموارسازی نمایی

$$\frac{Var(Q_{EX})}{Var(D)} = \left[1 + 2\alpha L + \frac{2L^2\alpha^2}{2-\alpha}\right] \tag{8}$$

با جایگزین کردن α با $\frac{2}{P+1}$ در رابطه‌ی ۸:

$$\frac{Var(Q_{EX})}{Var(D)} = \left[1 + \frac{4L}{P+1} + \frac{8L^2}{(2-\frac{2}{P+1})(P+1)^2}\right]$$

$$= \left[1 + \frac{4L}{P+1} + \frac{4L^2}{P(P+1)}\right]$$
$$= \left[1 + (\frac{2L}{P} + \frac{2L^2}{P^2})(\frac{2P}{P+1})\right] \succ 1 + \frac{2L}{P} + \frac{2L^2}{P^2} = \frac{Var(Q_{MA})}{Var(D)}$$

محاسبات فوق نشان می‌دهد که در این حالت برای $P \geq 1$ اثر شلاقی به روش هموارسازی نمایی بزرگ‌تر از روش پیش‌بینی میانگین متحرک است.

مقایسه برآوردکننده‌ها

اگر فرض کنیم که در تمامی موارد از L به‌عنوان فاصله‌ی زمانی تحویل استفاده شده است، یعنی چنانچه از سیستم مرور دائم استفاده شده باشد، آنگاه:

پیش‌بینی میانگین متحرک

الف) برآوردکننده‌ی اول

$$\frac{Var(Q_{MA_1})}{Var(D)} = \begin{cases} \left[1 + \frac{2}{P} + \frac{2L}{P^2}\right] & for \quad P \geq L \\ \left[1 + \frac{2}{P}\right] & for \quad p < L \end{cases} \tag{5}$$

ب) برآوردکننده‌ی دوم

$$\frac{Var(Q_{MA_2})}{Var(D)} = 1 + \frac{2L}{P} + \frac{2L^2}{P^2} \tag{6}$$

از مقایسه دو رابطه‌ی ۵ و ۶ نتیجه می‌گیریم که در هر دو حالت، یعنی $P < L$ و $P \geq L$، برآوردکننده‌ی اول اثر شلاقی کم‌تری دارد (برای $L > 0$).

جدول ۴. انتخاب راهکار براساس نوع خط مشی و برآورد کننده.

خط‌مشی / برآوردکننده	مرور دائم	مرور دوره‌یی
برآوردکننده‌ی اول	هموارسازی نمایی	هموارسازی نمایی
برآوردکننده‌ی دوم	میانگین متحرک	میانگین متحرک

پیش‌بینی هموارسازی نمایی

الف) برآوردکننده‌ی اول

$$\frac{Var(Q_{EX_1})}{Var(D)} = \frac{2\alpha^2}{2\alpha - \alpha^2} + 1 = \frac{2\alpha}{2-\alpha} + 1 \tag{7}$$

ب) برآوردکننده‌ی دوم

$$\frac{Var(Q_{EX_2})}{Var(D)} = \left[1 + 2\alpha L + \frac{2L^2\alpha^2}{2-\alpha}\right] \tag{8}$$

از مقایسه‌ی دو رابطه‌ی ۷ و ۸ داریم:

$$\frac{Var(Q_{EX_2})}{Var(D)} = \left[1 + 2\alpha L + \frac{2L^2\alpha^2}{2-\alpha}\right] =$$
$$\left[1 + \frac{2\alpha}{2-\alpha}(2L^2) + 2\alpha L\right] \geq 1 + \frac{2\alpha}{2-\alpha} = \frac{Var(Q_{EX_1})}{Var(D)}$$

پس در این حالت هم برآوردکننده‌ی اول دارای اثر شلاقی کم‌تری است.

از آنجا که در هر صورت برآوردکننده‌ی اول اثر شلاقی کم‌تری دارد و با توجه به نتایج قبلی، می‌توان نتیجه گرفت: راهکار هفتم و راهکار سوم راهکارهای بهینه‌اند. البته قابل ذکر است که در اینجا فرضیه‌هایی اعمال شده است، مانند:

- اطلاعات مربوط به تقاضای دوره‌های قبل به‌صورت نامحدود در دسترس است؛
- موجودی اطمینان در نظر گرفته نشده است.

لازم به‌ذکر است که شرایط هر بنگاه برای انتخاب خط‌مشی موجودی، روش‌های پیش‌بینی و برآورد متفاوت است و اگر در بعضی موارد الزام و اجباری وجود داشته باشد بین گزینه‌های موجود بهترین را انتخاب می‌کنیم.

جدول ۴ راهنمای خوبی برای انتخاب بهترین راهکار است. به‌عنوان مثال، اگر ناچار به انتخاب خط‌مشی مرور دوره‌یی و برآوردکننده‌ی دوم باشیم، بهتر است از روش میانگین متحرک پیش‌بینی کنیم.

نتیجه‌گیری

۱. در این نوشتار نشان داده شد که دراکثر موارد مدت‌زمان تحویل L یا $(L+T)$ بر اثر شلاقی مؤثر است و با اثر شلاقی رابطه‌ی مستقیم دارد؛ یعنی با افزایش آن اثر شلاقی افزایش می‌یابد. پس می‌توان برای کاهش اثر شلاقی مدت زمان تحویل را کاهش داد.

۲. در حالت‌هایی که از روش هموارسازی نمایی استفاده می‌شود، هرچه α بزرگ‌تر باشد اثر شلاقی بزرگ‌تر است؛ یعنی افزایش α به‌منزله‌ی این است که به داده‌های اخیر توجه بیشتری می‌شود. بنابراین هرچه α را کاهش‌دهیم در اصل به داده‌های گذشته اهمیت بیشتری داده‌ایم و اثر شلاقی را کاهش داده‌ایم.

۳. در روش پیش‌بینی میانگین متحرک افزایش تعداد دوره‌های پیش‌بینی (P) یقینا باعث کاهش اثر شلاقی می‌شود.

۴. راهکار سوم و راهکار هفتم با وجود فرضیه‌های ارائه‌شده بهینه هستند.

۵. برآوردکننده‌ی اول، چنانچه اطلاعات مربوط به تقاضای گذشته دور در دسترس باشد، بهتر از برآوردکننده‌ی دوم است.

۶. به‌کارگرفتن سیستم‌هایی از قبیل مرور دائم و یا نزدیک به‌آن در بیشتر موارد کاهش اثر شلاقی را به دنبال خواهد داشت.

۷. به‌طور کلی روش‌های پیش‌بینی، برآورد و همچنین خط‌مشی‌های موجودی در پدیده‌ی اثر شلاقی مؤثرند. بنابراین بسته به شرایط می‌توان حالتی را انتخاب کرد که این انحرافات در تقاضا را کم‌تر نشان دهد.

پانوشت

1. supply chain
2. bullwhip effect
3. lead time
4. batch order
5. inventory management

منابع

1. Lee, H.; Padmanabhan, P., and Whang, S. “The bullwhip effect in supply chains”, *Sloan Management Rev,* **38**, pp. 93-102 (1997a).
2. Chatfield, D.; Kim, J.; Harrison, T., and Hayya, J. “The bullwhip effect in supply chain-impact of stochastic lead times, information quality, and information sharing: a simulation study”, *Production and Operations Management,* **13**(4), pp. 340-353 (2004).
3. Chopra, S., and Meindl, P. “Obstacles to coordination in a supply chain”, In:Chopra, S., Meindl, P. (Eds.), Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operations, Prentice Hall, New Jersey, pp. 361-368 (2001).
4. Lee, H.; So, K.C.,and Tang, C.S. “The value of information sharing in a two level supply chain”, *Management Science,* **46**(5), pp. 628-643 (2000)
5. Dejonckheere, J.; Disney, S.M.; Lambrecht, M.R., and Towill, D.R. “The impact of information enrichment on the bullwhip effect in supply chains, A control theoretic approach”, *European Journal of Operational Research,* **153**(3), pp. 727-750 (2004).
6. Bagchi, U.; Hayya, J.C., and Ord , J.K. “Modeling demand during lead time”, *Decision Science,* **15**(2), pp. 157-176 (1984).
7. Bagchi, U.; Hayya, J.C., and Chu, C. H. “The effect of lead-time variability: the case of independent demand”, *Journal of Operations Management,* **6**(2), pp. 159-177 (1986).
8. Dejonckheere, J.; Disney, S.M.; Lambrecht, M.R., and Towill, D.R. “Measuring and avoiding the bullwhip effect: a control theoretic approach”, *European Journal of Operational Research,* **147**(3), pp. 567-590 (2003).
9. Chen, F.; Drezner, Z.; Ryan, J., and Simchi-Levi, D. “Quantifying the bullwhip effect in a simple supply chain: the impact of forecasting, lead times, and information”, *Management Science,* **46**(3), pp. 436-443 (2000).
10. Cachon, G.P., and Fisher, M. “Supply chain inventory management and the value of shared information”, *Management Sience,* **46**(8), pp. 1032-1048 (2000).
11. Kendall, M., and Stuart, A. The Advanced Theory of Statistics, **1**,
MacMillan Publishing Co., London (1977).
12. Mood, A.M.; Graybill, F.A., and Boes, D.C. Introduction to the theory of Statistics, Third ed., MacGraw-Hill, New York (1974).