

محاسبه‌ی اثر شلاقی در زنجیره‌ی تأمین دوسطحی با استفاده از مدل مارکف - سوئیچینگ برای پیش‌بینی تقاضا

مرتضی صالحی سرریزن (دانشجوی دکتری)

پروانه سمویی* (استادیار)

گروه مهندسی صنایع، دانشکده‌ی فنی و مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

مهندسی صنایع و مدیریت شریف، تابستان ۱۴۰۰ (دوره ۱-۳۷، شماره ۱، ص. ۳۷-۵۷)، پژوهشی

«اثر شلاقی» منجر به نوساناتی همچون موجودی اضافی و سفارشات عقب افتاده در طول زنجیره‌ی تأمین می‌شود. در این میان پیش‌بینی مناسب می‌تواند از طریق از بین بردن اثر شلاقی تا حدود زیادی این نوسانات را مرتفع سازد. پژوهش حاضر به پیش‌بینی تقاضای خرده‌فروش، تأمین‌کننده و محاسبه‌ی اثر شلاقی در زنجیره‌ی تأمین دوسطحی می‌پردازد. برای پیش‌بینی تقاضای خرده‌فروش از مدل مارکف - سوئیچینگ و تأمین‌کننده از مدل‌های اتورگرسیو و میانگین متحرک استفاده می‌شود. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که هنگام استفاده از سیستم سیاست سفارش‌دهی بهر به بهر، مقدار اثر شلاقی کم یا اصلاً صفر می‌شود. همچنین، وقتی که از سیاست سیستم سفارش‌دهی نقطه‌ی سفارش (q_0, Q_m) استفاده شود در هر دو سطح زنجیره‌ی تأمین، اثر شلاقی وجود دارد.

واژگان کلیدی: زنجیره‌ی تأمین، اثر شلاقی، پیش‌بینی، مدل مارکف - سوئیچینگ، مدل اتورگرسیو، میانگین متحرک.

m.salehisarbijan@eng.basu.ac.ir
p.samouei@basu.ac.ir

۱. مقدمه

زنجیره‌ی تأمین، شامل تمام شرکت‌هایی است که برای برآوردن تقاضای مشتری نهایی تلاش می‌کنند. مدیریت زنجیره‌ی تأمین، مجموعه‌ی وسیعی از کلیه‌ی فرایندهای بین تأمین‌کنندگان و مصرف‌کنندگان در پایین دست را شامل می‌شود. این فرایندها در سه گروه حمل و نقل، یافتن منابع و فعالیت‌های داخلی دسته‌بندی می‌شود. یکی از مشکلاتی که امروزه زنجیره‌ی تأمین را دچار اختلال می‌کند، تنوع تقاضا و تغییرات آن از سوی مشتری نهایی است که تأثیر زیادی بر زنجیره‌ی تأمین می‌گذارد.^[۱] تغییرات کوچک تقاضا در پایین جریان (مشتری) را، که به تقویت تقاضا و افزایش بسیار زیاد سطح موجودی و تغییرات موجودی در سطح بالایی زنجیره منجر می‌شود، «اثر شلاقی»^[۲] می‌گویند. عنوان اثر شلاقی را اولین بار لی و همکاران در مقالات خود به کار بردند؛ آنها اثر شلاقی را چنین تعریف کردند: «پدیده‌ی است که در آن سفارش یک کالا به تأمین‌کننده، تمایل به داشتن واریانسی بیشتر از واریانس فروش آن به خریدار دارد.» آنها پنج دلیل عمده‌ی بروز این اثر را عبارت می‌دانند: از پیش‌بینی تقاضا به جای تقاضای قطعی، زمان انتظار غیر صفر برای تحویل کالا، کمبود در تأمین، سفارش‌دهی دسته‌ی و همچنین نوسانات قیمت.^[۳] پیش‌بینی روند تقاضای متغیر برای اتخاذ سیاست‌های مقتضی و مناسب اهمیت فراوانی دارد. به دلیل روند پرنوسان و غیرخطی تقاضا و متغیرهای مؤثر بر آن، قابلیت روش‌های پیش‌بینی به

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۹/۲/۲۳، اصلاحیه ۱۴۰۰/۱/۱۶، پذیرش ۱۴۰۰/۳/۱۰.

DOI:10.24200/J65.2021.54638.2065

استفاده از روش میانگین متحرک پرداختند. نقوی و همکاران^[۸] به بررسی اثر شلاقی در زنجیره‌ی تامین سه‌سطحی شیر و فرآورده‌های آن در کارخانه پگاه کرمان پرداختند. در این مطالعه از روش پیش‌بینی میانگین متحرک و از داده‌های دوره زمانی مربوط به سال‌های ۱۳۹۴ - ۱۳۷۳ برای محاسبه‌ی اثر شلاقی استفاده کردند. بنی‌هاشمی و حاجی‌مولانا^[۹] به بررسی اثرات ذخیره احتیاطی و تغییرات تقاضای مشتریان نهایی بر اثر شلاقی و هزینه‌های کل زنجیره‌ی تامین پرداختند. حسین و همکاران^[۱۰] اثر روش‌های پیش‌بینی بر روی اثر شلاقی را با تقاضای مشتری (۱) AR و سیاست موجودی OUT بررسی کردند. بابایی و همکاران^[۱۱] به بررسی اندازه‌گیری اثر شلاقی برای زنجیره‌ی تامین دوسطحی با استفاده از (۱, ۱, ۰) ARIMA پرداختند. چو و لی^[۱۲] تجزیه و تحلیل اثر شلاقی در زنجیره‌ی تامین چندمرحله‌ی با استفاده از اطلاعات تقاضای روندهای SARIMA را مطالعه کردند. جای پوریا و ماهاپاترا^[۱۳] برای پیش‌بینی تقاضا یک رویکرد تجزیه و تحلیل یک پارچه‌ی تبدیل موجک گسسته و شبکه‌ی عصبی ارائه دادند. کوستانتینو و همکاران^[۱۴] از رویکرد پیش‌بینی براساس نمودارهای کنترل کیفیت آماری برای کاهش اثر شلاقی و نوسانات تقاضا در کوتاه مدت استفاده کردند. چیانگ و همکاران^[۱۵] اثر دقت پیش‌بینی، پیش‌بینی ادغامی و پیش‌بینی واکنشی بر اثر شلاقی را با استفاده از سری‌های زمانی در صنعت خودروسازی ایالات متحده بررسی کردند. ما و باو^[۱۶] در یک زنجیره‌ی تامین دوسطحی با استفاده از روش میانگین متحرک برای برآورد تقاضا، حساسیت اثر شلاقی را نسبت به پارامتر قیمت سنجیدند. خسروشاهی و همکاران^[۱۷] به اندازه‌گیری اثر شلاقی در یک زنجیره‌ی تامین سه‌مرحله‌ی با وجود چند خرده‌فروش در حالت عدم قطعیت تقاضا پرداختند. سینگ و چالا^[۱۸] به بررسی کاهش اثر شلاقی با استفاده از مدل‌های ANN و ANFIS پرداختند. ما و همکاران^[۱۹] برای یک زنجیره‌ی تامین دوسطحی در حالتی که تقاضا به قیمت حساس و دارای فرایند (۱) AR بود، را بررسی کردند. در مطالعه‌ی دیگر ما و همکاران^[۲۰] اثر شلاقی در دو زنجیره‌ی تامین موازی با یک خرده‌فروش و تولیدکننده را اندازه‌گیری کردند. ما و مکس^[۲۱] اندازه‌گیری اثر شلاقی با توجه به رقابت بازار بین دو خرده‌فروش را با استفاده از مدل تقاضای (۱) AR و روش پیش‌بینی میانگین متحرک برای زنجیره‌ی تامین دوسطحی محاسبه کردند. سیریکاسموسک و لیونگ^[۲۲] به اندازه‌گیری اثر شلاقی با استفاده از مدل خودهمبسته برداری دومتغیره‌ی مرتبه‌ی اول (VAR(۱)) پرداختند. لی و همکاران^[۲۳] به تأثیر تقاضای مشتری و زمان انتظار بر روی اثرات شلاقی و ضد شلاقی در یک زنجیره‌ی تامین دوسطحی با استفاده از مدل ARMA و سیاست سفارش‌دهی OUT پرداختند. ناگاجا و الوری^[۲۴] مدل‌های VAR, VMA و SARMA را برای پیش‌بینی تقاضا استفاده کردند. کدیور و شیرازی^[۲۵] مدل ARMA را برای پیش‌بینی تقاضا و محاسبه‌ی اثر شلاقی به کار بردند. نکهده و آنیاما^[۲۶] تأثیر پارامترهای پیش‌بینی روش میانگین متحرک وزنی و توزیع زمان انتظار تصادفی بر روی اثر شلاقی را با استفاده از نتایج عددی مطالعه کردند. پاستوره و همکاران^[۲۷] اثر شلاقی را در یک زنجیره‌ی تامین دوسطحی و تک‌محصوله با استفاده از روش اتورگرسیو مرتبه‌ی اول، (۱) AR، مطالعه کردند. میچنا و همکاران^[۲۸] اثر زمان‌های انتظار تصادفی را بر روی اثر شلاقی با استفاده از روش‌های پیش‌بینی اتورگرسیو و میانگین متحرک برای تقاضای نهایی بررسی کردند. در جدول ۱ خلاصه مقالات بررسی شده و تحقیقات انجام شده در حوزه‌ی اندازه‌گیری اثر شلاقی آورده شده است. چنان که در مطالعات نویسندگان مشاهده شد، یکی از عوامل ایجاد اثر شلاقی پیش‌بینی تقاضای آن محصول است. در این منابع از مدل‌های پیش‌بینی رایج مانند میانگین متحرک، هموارسازی نمایی، اتورگرسیو و اتورگرسیو میانگین متحرک استفاده کرده‌اند. اما از آنجا که نوسانات تقاضا شدید است روش‌های خطی که در یک سطح وسیع برای مدل‌سازی متغیرهای

۲. متدولوژی تحقیق

در این تحقیق زنجیره‌ی تامین دوسطحی شامل خرده‌فروش و تامین‌کننده در نظر گرفته شده است و فرض می‌شود که خرده‌فروش به تقاضای مشتری دسترسی دارد. پس با توجه به تقاضای مشتری پیش‌بینی و با توجه به پیش‌بینی تقاضای مشتری و هریک از سیستم‌های سفارش‌دهی بهر به بهره و نقطه‌ی سفارش مقدار سفارش را تعیین می‌کند. تامین‌کننده به سفارشات صادر شده از خرده‌فروش دسترسی دارد و با توجه به سفارشات پیش‌بینی می‌کند و از روی پیش‌بینی با توجه به سیستم سفارش‌دهی مقدار سفارشات را تعیین می‌کند. مقدار اثر شلاقی به صورت نسبت واریانس سفارش تامین‌کننده به واریانس تقاضا خرده‌فروش و از رابطه‌ی ۱ محاسبه می‌شود.^[۲۹]

$$BW = \frac{Var(D)}{Var(q)} \quad (۱)$$

که در آن، BW مقدار اثر شلاقی، $Var(D)$ واریانس سفارش تامین‌کننده و $Var(q)$ واریانس تقاضای خرده‌فروش را نشان می‌دهد.

۱.۲. سیستم سفارش‌دهی

در این پژوهش از سیستم نقطه‌ی سفارش ثابت استفاده می‌شود. در سیستم نقطه‌ی سفارش ثابت که همان سیستم سفارش بهر به بهره نامیده می‌شود، دقیقاً به اندازه پیش‌بینی تقاضای خرده‌فروش به تامین‌کننده سفارش داده می‌شود. سیستم نقطه‌ی سفارش (Q_m و q_0)، حد پائین سطح موجودی (نقطه‌ی سفارش مجدد) و Q_m حد بالای سطح موجودی (بیشترین مقدار موجودی) و Q_m است. نقطه‌ی سفارش مجدد سطحی از موجودی است که به محض آن که مقدار موجودی به آن حد برسد یک سفارش جدید صادر می‌شود. بنابراین، در هر دوره برای مقدار Q طبق رابطه‌ی ۲ خواهیم داشت:

$$\begin{cases} Q = Q_m - Q_e & Q_e \leq q_0 \\ Q = 0 & Q_e > q_0 \end{cases} \quad (۲)$$

برای محاسبه‌ی Q_m و q_0 از رابطه‌های ۳ تا ۸ استفاده می‌شود.

$$\mu_{T+L} = \bar{D}(L + T) \quad (۳)$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2CD}{h}} * \sqrt{\frac{h+s}{s}} \quad (۴)$$

جدول ۱. مرور پژوهش‌های حاضر در حوزه اندازه‌گیری اثر شلاتی.

سیاست سفارش دهی	الگوی تقاضا	ساختار زنجیره تأمین	مرجع
سیاست سفارش دهی موجودی پایه	MA,ES,AR	سه سطحی	رضوی حاجی آقا و همکاران [۶]
OUT	MA	سه سطحی	خسروشاهی و همکاران [۷]
OUT	MA	سه سطحی	نقوی و همکاران [۸]
OUT	MA	چهار سطحی	بنی‌هاشمی و حاجی مولانا [۹]
OUT	AR	یک مرحله‌یی	حسین و همکاران [۱۰]
OUT	ARIMA	دو سطحی	بابایی و همکاران [۱۱]
OUT تعمیم یافته	SARMA	چند مرحله‌یی	چو و لی [۱۲]
OUT	AR, MA, ARMA, ARIMA, DWT – ANN	دو سطحی	جای پوریا و ماهاپاترا [۱۳]
OUT	AR	چهار سطحی	کوستانتینو و همکاران [۱۴]
OUT	SRIMA	دو سطحی	چیانگ و همکاران [۱۵]
OUT	MA	دو سطحی	ما و باو [۱۶]
OUT	AR	سه مرحله‌یی	خسروشاهی و همکاران [۱۷]
OUT	AR	چند سطحی	سینگ و چالا [۱۸]
OUT	تقاضای حساس به قیمت با (۱) AR	دو سطحی	ما و همکاران [۱۹]
OUT	تقاضای حساس به قیمت با AR	زنجیره تأمین موازی و دو سطحی	ما و همکاران [۲۰]
بر اساس سطح موجودی انبار	AR	دو سطحی	ما و مکس [۲۱]
OUT	VAR	دو سطحی	سیریکاسمسوک و لیونگ [۲۲]
OUT	ARMA,AR	چند مرحله‌یی	لی و همکاران [۲۳]
OUT	SARMA,VMA,VAR	دو سطحی	ناگاراچا و الوری [۲۴]
OUT	ARMA	سه سطحی	کدیور و شیرازی [۲۵]
بر اساس سطح موجودی انبار	WMA	دو سطحی	نکده و آنیاما [۲۶]
OUT	AR	دو سطحی	پاستوره و همکاران [۲۶]
OUT	MA,AR	دو سطحی	میچنا و همکاران [۲۸]
OUT	MA, AR - سوئیچینگ، ترکیب مارکف - سوئیچینگ	دو سطحی	پژوهش حاضر

۱.۲.۲. مدل مارکف - سوئیچینگ

همیلتون در سال ۱۹۸۹ اولین کسی بود که از مدل مارکف - سوئیچینگ (مدل تغییر رژیم تصادفی) برای مدل‌سازی سیکل‌های تجاری استفاده کرد. او این مدل را برای داده‌های GNP واقعی آمریکا برای دوره‌های ۱۹۵۱-۱۹۸۴ با یک مدل دورژیمه و درجه‌ی اتورگرسیو ۴ مطابق رابطه‌ی ۹ برای کمک به تاریخ‌گذاری و پیش‌بینی نقاط بازگشتی سیکل‌های تجاری پیشنهاد داد: [۲۱]

$$y_t - \mu_{s_t} = \varphi_1(y_{t-1} - \mu_{s_{t-1}}) + \varphi_2(y_{t-2} - \mu_{s_{t-2}}) + \varphi_3(y_{t-3} - \mu_{s_{t-3}}) + \varphi_4(y_{t-4} - \mu_{s_{t-4}}) + \varepsilon_t \quad (9)$$

$$\varepsilon_t \sim \text{IID}(0, \sigma^2)$$

$$S_t = 0 \text{ or } 1$$

که در آن، y_t متغیر رشد اقتصادی است؛ اگر $S_t = 0$ باشد در رژیم اقتصادی رکود قرار داریم و اگر $S_t = 1$ باشد در رژیم اقتصادی رونق هستیم. S_t به‌عنوان یک متغیر تصادفی که فقط مقادیر صحیح به خود می‌گیرد، تعریف می‌شود. احتمال این که S_t برابر مقدار خاص z باشد فقط به مقدار دوره‌ی قبل بستگی دارد. در این صورت:

$$P \{s_t = z | s_{t-1} = i, s_{t-2} = k, \dots\} = P \{s_t = z | s_{t-1} = i\} = P_{iz} \quad (10)$$

$$Q_s = Q^* * \frac{h}{h+s} \quad (5)$$

$$I(\gamma) = \frac{Q_s}{\sigma} \quad (6)$$

$$q_0 = \gamma \cdot \sigma + \frac{\bar{D} \cdot T}{\gamma} + \mu \quad (7)$$

$$Q_m = Q^* + (q_0 + \frac{\bar{D} \cdot T}{\gamma}) \quad (8)$$

در این روابط \bar{D} متوسط تقاضای مشتری، مدت زمان تحویل کالا برابر با صفر، T فاصله زمانی بین سفارشات، S هزینه‌ی مواجهه با کسری برحسب واحد پول، h هزینه‌ی نگه‌داری برحسب واحد پول، C هزینه‌ی سفارش دهی بر حسب واحد پول، σ انحراف معیار تقاضا و γ مقدار پارامتر نرمال استاندارد هستند. توزیع‌کننده تقاضای خود را بر اساس سفارشات مشتری نهایی پیش‌بینی می‌کند و هر یک از سطوح بالاتر، بر اساس میزان سفارش سطح بعدی به پیش‌بینی اقدام می‌کنند. [۳۰]

۲.۲. روش پیش‌بینی

برای محاسبه‌ی واریانس تقاضای خرده‌فروش و واریانس سفارشات تأمین‌کننده باید از پیش‌بینی استفاده شود. در این تحقیق از مدل مارکف - سوئیچینگ برای پیش‌بینی سفارش خرده‌فروش و از طریق روش‌های اتورگرسیو و میانگین متحرک برای پیش‌بینی سفارشات تأمین‌کننده استفاده می‌شود.

$$D_t = \mu(S_t) + \sum_{i=1}^p \alpha_i(S_t)(D_{t-i} - \mu(S_{t-i})) + \varepsilon_t \quad (15)$$

$$\varepsilon_t \sim \text{IID}(\circ, \sigma^2)$$

۴. مارکف - سوئیچینگ با میانگین، ضرایب متغیرها و واریانس خطاها وابسته به رژیم و اتورگرسیو (MSMAH-AR): در این مدل هم ضرایب پارامترها و هم واریانس‌ها در طی رژیم‌ها نیز در حال تغییرند (رابطه‌ی ۱۶):

$$D_t = \mu(S_t) + \sum_{i=1}^p \alpha_i(S_t)(D_{t-i} - \mu(S_{t-i})) + \varepsilon_t \quad (16)$$

$$\varepsilon_t \sim \text{IID}(\circ, \sigma^2(S_t))$$

ب) مدل‌های مارکف - سوئیچینگ با عرض از مبدأ

اگر مبنا بر تغییرات در عرض از مبدأ باشد در نتیجه مدل‌های دیگر هم قابل تخمین است که مدل‌های مارکف - سوئیچینگ با عرض از مبدأ (MSI) نامیده می‌شود.

۱. مارکف - سوئیچینگ با عرض از مبدأ و اتورگرسیو (MSI-AR): عمومی‌ترین نوع مدل این حالت است و در آن $C(S_t)$ عرض از مبدأ فرایند در طی رژیم‌هاست (رابطه‌ی ۱۷):

$$D_t = C(S_t) + \sum_{i=1}^p \alpha_i D_{t-i} + \varepsilon_t \quad (17)$$

$$\varepsilon_t \sim \text{IID}(\circ, \sigma^2)$$

۲. مارکف - سوئیچینگ با عرض از مبدأ و واریانس خطاهای وابسته به رژیم و اتورگرسیو (MSH-AR): در این حالت، که واریانس‌ها در طی رژیم‌ها در حال تغییر باشند، رابطه‌ی ۱۸ به دست می‌آید:

$$D_t = C + \sum_{i=1}^p \alpha_i D_{t-i} + \varepsilon_t \quad (18)$$

$$\varepsilon_t \sim \text{IID}(\circ, \sigma^2(S_t))$$

۳. مارکف - سوئیچینگ با عرض از مبدأ و ضرایب متغیرها وابسته به رژیم و اتورگرسیو (MSA-AR): اگر ضرایب متغیر در حال تغییر باشد، رابطه‌ی ۱۹ به دست می‌آید:

$$D_t = C + \sum_{i=1}^p \alpha_i(S_t) D_{t-i} + \varepsilon_t \quad (19)$$

$$\varepsilon_t \sim \text{IID}(\circ, \sigma^2)$$

۴. مارکف - سوئیچینگ با عرض از مبدأ، ضرایب متغیرها و واریانس خطاها وابسته به رژیم و اتورگرسیو (MSIAH-AR): در این حالت ضرایب متغیر، واریانس خطاها و عرض از مبدأ همه در حال تغییر است (رابطه‌ی ۲۰):

$$D_t = C(S_t) + \sum_{i=1}^p \alpha_i(S_t) D_{t-i} + \varepsilon_t \quad (20)$$

$$\varepsilon_t \sim \text{IID}(\circ, \sigma^2(S_t))$$

در این مطالعه با برآزش هر یک از مدل‌های الف و ب برای داده‌های متغیر تقاضا و مقایسه‌ی آنها با یکدیگر بهترین مدل انتخاب می‌شود.

۳. نتایج تحقیق

این بخش به بررسی داده‌ها، انتخاب مدل پیش‌بینی و محاسبه‌ی اثر شلاقی طی سناریوهای مختلف می‌پردازد.

چنین فرایندی به عنوان یک زنجیره‌ی مارکف با N رژیم با احتمال گذار P_{ij} توضیح داده می‌شود؛ که P_{ij} احتمال این که رژیم i ، رژیم j را به دنبال داشته باشد را بیان می‌کند (رابطه‌ی ۱۱). [۳۳، ۳۴]

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix}$$

$$\sum_{j=1}^N P_{ij} = 1 \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, N \text{ and } 0 \leq P_{ij} \leq 1 \quad (11)$$

با قرار دادن متغیر تقاضا در دوره t (D_t) به جای متغیر y_t و مقدار وقفه برابر با n ، رابطه‌ی ۹ به رابطه‌ی ۱۲ تبدیل می‌شود:

$$D_t - \mu_{s_t} = \varphi_1(D_{t-1} - \mu_{s_{t-1}}) + \varphi_2(D_{t-2} - \mu_{s_{t-2}}) + \dots + \varphi_n(D_{t-n} - \mu_{s_{t-n}}) + \varepsilon_t \quad (12)$$

$$\varepsilon_t \sim \text{i.i.d.} N(\circ, \sigma^2)$$

$$S_t = 1 \text{ or } \dots$$

مدل‌های مارکف - سوئیچینگ، با توجه به این که کدام قسمت مدل اتورگرسیو وابسته به رژیم باشد و تحت تأثیر آن انتقال یابد، به دو نوع مختلف طبقه‌بندی می‌شود. آنچه در مطالعات اقتصادی بیشتر مورد توجه است، شامل دو حالت مدل‌های مارکف - سوئیچینگ با میانگین (MSM) و عرض از مبدأ (MSI) هستند. [۳۴]

۲.۲.۲. مدل پیشنهادی

در این مطالعه با پیروی از مطالعات پیشین [۳۴] مدل‌های مختلف برای پیش‌بینی تقاضا پیشنهاد می‌شود:

الف) مارکف - سوئیچینگ با میانگین (MSM)

در این حالت فرض می‌شود میانگین متغیر تقاضا با توجه به رژیم‌ها در حال تغییر است. انواع این مدل‌ها عبارت خواهد بود از:

۱. مارکف - سوئیچینگ با میانگین و اتورگرسیو (MSM-AR): مطابق رابطه‌ی ۱۳ حالتی است که فقط میانگین تقاضا در حال تغییر و انحراف معیار در طی رژیم‌ها ثابت باشد:

$$D_t = \mu(S_t) + \sum_{i=1}^p \alpha_i(D_{t-i} - \mu(S_{t-i})) + \varepsilon_t \quad (13)$$

$$\varepsilon_t \sim \text{IID}(\circ, \sigma^2)$$

۲. مارکف - سوئیچینگ با میانگین و واریانس خطاهای وابسته به رژیم و اتورگرسیو (MSMH-AR): در این حالت نیز میانگین در حال تغییر و واریانس خطاها وابسته به رژیم است و از رابطه‌ی ۱۴ تبعیت می‌کند:

$$D_t = \mu(S_t) + \sum_{i=1}^p \alpha_i(D_{t-i} - \mu(S_{t-i})) + \varepsilon_t \quad (14)$$

$$\varepsilon_t \sim \text{IID}(\circ, \sigma^2(S_t))$$

$$S_t = 1 \text{ or } \dots$$

۳. مارکف - سوئیچینگ با میانگین و ضرایب متغیرها وابسته به رژیم و اتورگرسیو (MSMA-AR): مطابق رابطه‌ی ۱۵، این حالت زمانی رخ می‌دهد که ضرایب تخمینی متغیرهای مدل هم در طی تغییر رژیم‌ها در حال تغییر باشند:

جدول ۲. نتایج تخمین مدل بهینه متغیر دستمال توالی (TP) (AR(۴) - MSMA (۳)).

متغیر	ضرایب	انحراف معیار	آماره t (مقدار احتمال)
عرض از مبدأ رژیم ۰ (تقاضای متوسط)	۸۳/۸۷	۴,۰۵۹	۲۰,۷(۰/۰۰۰)
عرض از مبدأ رژیم ۱ (تقاضای کم)	۵۰/۲۱	۳,۲۹۹	۱۵,۲(۰/۰۰۰)
عرض از مبدأ رژیم ۲ (تقاضای زیاد)	۱۲۰/۸۹	۲,۴۳	۴۹,۷(۰/۰۰۰)
log-likelihood		-۱۷۵۱,۵۳	
AIC		۹,۳۴	
SC		۹,۵۵	
Normality Test		$Chi^2(2) = 1,92[0,38]$	
ARCH Test		$Chi^2(12) = 1,85[0,3947]$	
Linearity LR-test		$Chi^2(14) = 82/8[0,00]$	

از رابطه‌های ۲۲ و ۲۳ به دست می‌آید:

$$MSE = \sqrt{\frac{\sum(Y_t - \hat{Y}_t)^2}{n}} \quad (22)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y} \right| * 100 \quad (23)$$

Y_t و \hat{Y}_t به ترتیب مقادیر سری و مقدار پیش‌بینی شده در زمان t است و همچنین n تعداد نمونه است. روند مقایسه‌ی مدل‌ها به این شکل است که برای مدل‌هایی که عرض از مبدأ در حال تغییر باشد بیشینه وقفه‌ی متغیر AR معادل ۱۲ و مقادیر رژیم‌ها برابر ۲ و ۳ فرض شده است. همچنین برای حالت‌هایی که میانگین در حال تغییر است، از آن‌جا که از وقفه‌ی ۴ معیارها بدتر شده‌اند بیشترین وقفه‌ی متغیر AR برابر ۵ و مقادیر رژیم‌ها ۲ و ۳ قرار داده شده است و همه‌ی مدل‌ها با هم مقایسه شده‌اند.^[۳۷] نتایج نشان داد که بهترین مدل برای متغیر TP (دستمال توالی) مدلی است سه رژیمه و وقفه‌ی متغیر ۴ در حالتی که میانگین، ضرایب متغیرها در حال تغییر هستند (AR(۴) - MSMA(۳)) همچنین برای متغیر PT (دستمال کاغذی) بهترین مدل پیش‌بینی مدل مارکف - سوئیچینگ با میانگین، ضرایب و واریانس در حال تغییر و درجه وقفه بهینه متغیر AR برابر ۲ (AR(۲) - MSMAH(۳)) انتخاب شد.

۲.۲.۳. تخمین پارامترهای مدل بهینه متغیر TP

همان‌طور که در بخش قبل اشاره شد، مدل انتخابی برای متغیر TP مدل AR(۴) - MSMA(۳) است. نتایج تخمین این مدل در جدول ۲ آورده شده است. نتایج حاصل از تخمین پارامترهای مربوط به مدل حاکی از آن است که در دوره‌ی مورد مطالعه، متغیر تقاضای TP قابل تفکیک به سه حالت تقاضای کم (رژیم ۱)، تقاضای متوسط (رژیم ۰) و تقاضای زیاد (رژیم ۲) است (عرض از مبدأ ۰، ۱ و ۲)، به طوری که رژیم ۱ با میانگین تقاضا ۵۰/۲۱ نشان‌گر دوران دارای تقاضای کم و رژیم صفر و ۲ با میانگین تقاضاهای ۸۳/۸۷ و ۱۲۰/۸۸ نشان‌گر دوره‌های دارای تقاضای متوسط و زیاد است. با توجه به آماره‌های t مشاهده می‌شود که ضرایب میانگین‌ها از لحاظ آماری معنادار هستند. نتایج آزمون LR که در جدول ۲ نشان داده شده برای این است که وجود رابطه‌ی غیرخطی و همچنین توانایی مدل مارکف - سوئیچینگ در تعیین تفکیک به رژیم‌های مختلف را نمایش دهد، که نشان از رد فرضیه خطی است. پس با این شرایط می‌توان از مدل مارکف - سوئیچینگ استفاده کرد. در مورد آماره‌های تشخیصی با توجه به مقادیر بحرانی در جدول ۲ به ترتیب فرضیه صفر غیر نرمال بودن و خودهمبسته بودن خطاها با توجه

۱.۳. توصیف داده‌ها

داده‌های تقاضا مورد استفاده در این تحقیق مربوط به داده‌های دو محصول دستمال توالی (TP) و دستمال کاغذی (PT) طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۴ در عمده‌فروشی شماره ۱۱۲ در شیکاگو برای ۳۸۳ هفته است که از مرکز بازاریابی کیلتس وابسته به دپارتمان کسب و کار دانشگاه شیکاگو.^[۳۵] استخراج شده است. آمار توصیفی این داده‌ها نشان می‌دهد برای محصول دستمال توالی کم‌ترین تقاضا برابر ۲ و بیشترین آن برابر ۱۹۰ و نیز برای دستمال کاغذی به ترتیب ۱۰ و ۲۰۴ است. برای تمام موارد تخمین مدل‌ها و پیش‌بینی‌ها از نرم افزارهای EVIEWS ۸، OX - Metrics و SPSS استفاده شده است.

۲.۳. پیش‌بینی

در این تحقیق پیش‌بینی سفارش خرده‌فروش با استفاده از مدل مارکف - سوئیچینگ و از آنجا که تعداد دوره‌های پیش‌بینی سفارش خرده‌فروش ۲۰ دوره را شامل می‌شود این تعداد برای پیش‌بینی کم است. بنابراین پیش‌بینی سفارشات تأمین‌کننده هم از طریق اتورگرسیون، AR(۱)، با درجه تأخیر ۱ و میانگین متحرک ۲ استفاده شده است.

۱.۲.۳. انتخاب بهترین مدل برای پیش‌بینی با توجه به داده‌های تقاضا

به هنگام مدل‌سازی (برازش) و نیز پس از فرایند برازش باید عملکرد مدل ارزیابی شود. معیار آکائیک (AIC)،^۸ آماره‌ی بیشینه درست‌نمایی (LL) و معیارهای خطا مانند جذر میانگین مجموع مربعات خطا (RMSE) و میانگین قدرمطلق درصد خطا (MAPE) برای مقایسه‌ی مدل‌های مختلف پیشنهاد شده است.^[۳۴] در این مطالعه برای مقایسه‌ی مدل‌های مختلف از کم‌ترین مقدار معیار آکائیک، معیارهای خطای RMSE و MAPE استفاده می‌شود. معیار آکائیک از رابطه‌ی ۲۱ به دست می‌آید:

$$AIC = \ln\left(\frac{SSE}{n}\right) + \frac{2K}{n} \quad (21)$$

که در آن، k تعداد پارامتر و بخش اول مربوط به انطباق مدل و بخش دوم مربوط به اعمال جریمه روی تعداد پارامترهاست. هرچه این مقدار جریمه کم‌تر باشد مدل برای تخمین مناسب‌تر است. همچنین معیارهای خطای RMSE و MAPE به ترتیب

جدول ۳. نتایج تخمین مدل بهینه متغیر دستمال کاغذی (PT) (AR(۲) – MSMAH (۳)).

متغیر	ضرایب	انحراف معیار	آماره t (مقدار احتمال)
عرض از مبدأ رژیم ۰ (تقاضای زیاد)	۸۴٫۰۲	۳٫۲۴	۲۴٫۹(۰٫۰۰)
عرض از مبدأ رژیم ۱ (تقاضای کم)	۵۰٫۲۶	۱٫۳۶	۳۶٫۹(۰٫۰۰)
عرض از مبدأ رژیم ۲ (تقاضای متوسط)	۷۱٫۰۶	۱۵٫۲۵	۴٫۶۶(۰٫۰۰)
log-likelihood		-۱۵۲۷٫۵۵	
AIC		۸٫۰۹۷	
SC		۸٫۲۵	
Normality Test		$Chi^2(2) = ۱٫۳۲[۰٫۵۱۶۴]$	
ARCH Test		$Chi^2(12) = ۱٫۴[۰٫۴۹۵۱]$	
Linearity LR-test		$Chi^2(11) = ۲۰۹٫۰۱[۰٫۰۰]$	

جدول ۴. حالت‌های مختلف سناریوی اول با در نظر گرفتن سیاست سفارش‌دهی بهر به بهر.

سیستم سفارش‌دهی بهر به بهر			
پیش‌بینی خرده‌فروش	مارکف - سوئیچینگ بدون در نظر گرفتن رژیم‌ها (۱)	مارکف - سوئیچینگ با داده‌های موجود در رژیم صفر (۲)	مارکف - سوئیچینگ با داده‌های موجود در رژیم یک (۳)
پیش‌بینی تأمین‌کننده حالت اول	اتورگرسیو	اتورگرسیو	اتورگرسیو
پیش‌بینی تأمین‌کننده حالت دوم	میانگین متحرک	میانگین متحرک	میانگین متحرک

به سمت گره‌های بالادستی در زنجیره‌ی تأمین»^[۲] روش سنتی سنجش اثر شلاقی، استفاده از نسبت واریانس سفارشات ایجاد شده (خروجی) به واریانس تقاضا (ورودی) است. در مطالعات مختلف اثر شلاقی را با در نظر گرفتن عواملی مثل خطا در پیش‌بینی تقاضا، سیاست‌های موجودی، سیاست‌های سفارش‌دهی، تغییرات قیمت، مدت زمان تحویل، تعداد سطوح زنجیره‌ی تأمین، محدودیت ظرفیت، در دسترس بودن اطلاعات سفارشات و ... محاسبه کرده‌اند. از این رو در این مطالعه تأثیر روش‌های مختلف پیش‌بینی و سیاست‌های سفارش‌دهی در یک زنجیره‌ی تأمین دوسطحی بر مقدار اثر شلاقی مورد بررسی قرار می‌گیرد. از آنجا که زنجیره‌ی تأمین دوسطحی است، ابتدا از روی داده‌های تقاضا با استفاده از مدل مارکف - سوئیچینگ پیش‌بینی انجام شده و سپس با در نظر گرفتن مقادیر پیش‌بینی کلی، پیش‌بینی در رژیم‌های مختلف در دو سناریو اثر شلاقی محاسبه می‌شود.

۱.۳.۳. سناریوی اول: در نظر گرفتن سیستم سفارش‌دهی بهر به بهر (LFL)

حالت‌های مختلف این سناریو در جدول ۴ آورده شده و در ادامه برای هر دو محصول این سناریو اجرا می‌شود.

الف) محاسبه‌ی اثر شلاقی با در نظر گرفتن سیاست سفارش‌دهی بهر به بهر برای محصول TP

پیش‌بینی تقاضای خرده‌فروش با استفاده از مدل مارکف - سوئیچینگ در چهار حالت مختلف برای ۲۰ دوره انجام شد. با فرض سیستم سفارش‌دهی بهر به بهر، همان اندازه مقدار پیش‌بینی به تأمین‌کننده سفارش داده شد. از ۲۰ نمونه‌ی پیش‌بینی شده برای تقاضای نهایی خرده‌فروش فقط ۱۰ نمونه برای تخمین استفاده شد و

به آماره چ‌ی دو رد شده و همچنین با توجه به آماره‌های تشخیصی آزمون ARCH فرضیه صفر ناهمسانی رد می‌شود.

۳.۲.۳. تخمین پارامترهای مدل بهینه متغیر PT

مدل انتخابی برای متغیر PT مدل AR(۲) – MSMAH (۳) است. نتایج تخمین این مدل در جدول ۳ آورده شده است. نتایج حاصل از تخمین پارامترهای مربوط به مدل حاکی از آن است که در دوره‌ی مورد مطالعه متغیر تقاضای TP قابل تفکیک به سه حالت تقاضای کم (رژیم ۱)، تقاضای متوسط (رژیم ۲) و تقاضای زیاد (رژیم ۰) است (عرض از مبدأ ۰، ۱ و ۲)، به طوری که رژیم ۱ با میانگین تقاضا ۵۰٫۲۶ نشان‌گر دوران دارای تقاضای کم و رژیم دوم و صفر با میانگین تقاضاهای ۷۱٫۰۶ و ۸۴٫۰۲ نشان‌گر دوره‌های دارای تقاضای متوسط و زیاد است. با توجه به آماره‌های t مشاهده می‌شود که ضرایب میانگین‌ها در سطح ۵ درصد از لحاظ آماری معنادارند. نتایج آزمون LR در جدول ۳ برای بررسی وجود رابطه‌ی غیرخطی و همچنین توانایی مدل مارکف - سوئیچینگ در تعیین تفکیک به رژیم‌های مختلف است. نتایج حاکی از رد فرضیه خطی است، پس می‌توان از مدل مارکف - سوئیچینگ استفاده کرد. در مورد آماره‌های تشخیصی با توجه به مقادیر بحرانی در جدول به ترتیب فرضیه‌ی صفر غیر نرمال بودن و خودهمبسته بودن خطاها با توجه به آماره چ‌ی دو رد شده و همچنین با توجه به آماره‌های تشخیصی آزمون ARCH فرضیه صفر ناهمسانی نیز رد می‌شود.

۳.۳. محاسبه‌ی اثر شلاقی

اثر شلاقی عبارت است از: «تشدید نوسانات تقاضا در حرکت از گره‌های پایین‌دستی

جدول ۵. محاسبه‌ی اثر شلاقی برای سناریوی سیاست سفارش‌دهی بهر به بهر برای دستمال توالت (TP).

سیستم سفارش‌دهی بهر به بهر				
(۴)	(۳)	(۲)	(۱)	
۲۶۲۲/۶۶	۸/۱۳	۱۰۸/۵۰	۲۸/۵۸	پیش‌بینی خرده‌فروش
۵۹۵/۳۲	۰/۱۳	۰/۲	۰/۳۹	واریانس تقاضا خرده‌فروش
۲۱۳۵/۳۶	۱۰/۴۳	۱۲۹/۷۰۵	۳۲/۴۲	واریانس تأمین‌کننده (اتورگرسیو)
۰/۲۳	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۱۸	۰/۰۱	واریانس تأمین‌کننده (میانگین متحرک)
۰/۸۱	۱/۲۸	۱/۱۹	۱/۱۳	اثر شلاقی (اتورگرسیو)
				اثر شلاقی (میانگین متحرک)

جدول ۶. نتایج آزمون فرض برابری میانگین و واریانس اثر شلاقی سیاست سفارش‌دهی بهر به بهر برای دستمال توالت (TP).

فرض	F برای آزمون واریانس در سطح ۹۹٪	آماره t برای آزمون برابری میانگین در سطح ۹۹٪
BW(MA)- واریانس‌ها برابرند	۰/۹۲۲(۰/۳۷۴)	۸/۹۱۹(۰/۰۰۰)
BW(AR) واریانس‌ها برابر نیستند		۸/۹۱۹(۰/۰۰۰)

جدول ۷. محاسبه‌ی اثر شلاقی برای سناریوی سیاست سفارش‌دهی بهر به بهر برای دستمال توالت (PT).

سیستم سفارش‌دهی بهر به بهر				
(۴)	(۳)	(۲)	(۱)	
۰/۷۶	۰/۴۳	۵۲/۲۷	۱/۷۸	پیش‌بینی خرده‌فروش
۰/۰۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۰۱۶	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۰۰۴۱	واریانس تقاضا خرده‌فروش
۰/۹۸	۰/۵۹۵۸	۶۸/۱۸	۲/۱۲	واریانس تأمین‌کننده (اتورگرسیو)
۰/۰۰۰۰۱۵	۰/۰۰۰۰۳۷	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۲۳۲	واریانس تأمین‌کننده (میانگین متحرک)
۱/۲۹	۱/۳۸	۱/۳۰	۱/۱۹	اثر شلاقی (اتورگرسیو)
				اثر شلاقی (میانگین متحرک)

جدول ۸. نتایج آزمون فرض برابری میانگین و واریانس اثر شلاقی سیاست سفارش‌دهی بهر به بهر برای دستمال توالت (PT).

فرض	F برای آزمون واریانس در سطح ۹۹٪	آماره t برای آزمون برابری میانگین در سطح ۹۹٪
BW(MA)- واریانس‌ها برابرند	۳/۶۳۹(۰/۱۰۵)	۳۳/۱۱۸(۰/۰۰۰)
BW(AR) واریانس‌ها برابر نیستند		۳۳/۱۱۸(۰/۰۰۰)

نیز در این ۱۰ نمونه داده‌ها به شکل خطی هستند و مدل مارکف - سوئیچینگ نسبت به حجم داده‌های کم جواب مناسبی به دست نمی‌دهد؛ لذا در این حالت تأمین‌کننده با استفاده از دو روش پیش‌بینی میانگین متحرک (با فرض دو دوره) و (۱) AR مقدار سفارشات خود را پیش‌بینی می‌کند و به همان اندازه پیش‌بینی سفارش می‌دهد. مقادیر واریانس هر دو روش پیش‌بینی محاسبه شد و با توجه به مقادیر واریانس تقاضای خرده‌فروش، مقدار اثر شلاقی به دست آمد (جدول ۴). به دلیل این که هیچ‌گونه تأخیری ایجاد نمی‌شود و جریان اطلاعات هم وجود دارد در نتیجه انتظار می‌رود اثر شلاقی ایجاد نشود یا حداقل کم باشد. نتایج در جدول ۵ نشان می‌دهد در حالتی که سیستم سفارش‌دهی بهر به بهر باشد اطلاعات از خرده‌فروش به تأمین‌کننده می‌رسد و بر مبنای همان اطلاعات پیش‌بینی انجام می‌شود، پس اثر شلاقی زیادی مشاهده نشد. اما همیشه این حالت وجود ندارد؛ با وجود تأخیر در سفارشات دسته‌بندی سفارشات منجر به ایجاد اثر شلاقی می‌شود. در ادامه تحقیق به آزمون این فرض پرداخته شد که «آیا میانگین اثر شلاقی در دو حالت تفاوت معناداری با هم دارند یا خیر؟» اگر میانگین اثر شلاقی پیش‌بینی حالت اول و دوم باشد برای آزمون فرض فوق با توجه به داده‌ها از نرم افزار spss استفاده شد و نتایج

آن در جدول ۶ آورده شد. همان‌طور که نتایج برابری میانگین نشان می‌دهد فرض صفر برابری میانگین اثر شلاقی در دو حالت در سطح اطمینان ۹۹٪ پذیرفته نشد و می‌توان گفت اختلاف معناداری میان دو حالت وجود دارد ولی با توجه به آماره F فرض برابری واریانس‌های دو حالت رد نشد و می‌توان گفت واریانس دو حالت یکسان است. پس نوع روش پیش‌بینی نیز در محاسبه‌ی اثر شلاقی تأثیر دارد.

ب) محاسبه‌ی اثر شلاقی با در نظر گرفتن سیاست سفارش‌دهی بهر به بهر
برای محصول PT
 برای محصول PT نیز مانند محاسبه‌ی اثر شلاقی برای محصول TP با در نظر گرفتن سیستم سفارش‌دهی بهر به بهر محاسبه و نتایج در جدول ۷ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در این حالت نیز اثر شلاقی وجود ندارد یا کمینه است. همچنین آزمون فرض برابری میانگین و واریانس اثر شلاقی برای دو روش پیش‌بینی اتورگرسیو و میانگین متحرک در جدول ۸ آمده است. همان‌طور که نتایج برابری میانگین نشان می‌دهد فرض صفر برابری میانگین اثر شلاقی در دو حالت در سطح اطمینان ۹۹٪ پذیرفته نمی‌شود و می‌توان گفت اختلاف معناداری میان دو حالت وجود دارد. ولی با توجه به آماره F فرض برابری واریانس‌های دو حالت رد نمی‌شود؛ می‌توان گفت

جدول ۹. محاسبه‌ی اثر شلاقی برای سناریوی سیاست سفارش‌دهی نقطه سفارش برای دستمال توال (TP).

سیستم سفارش‌دهی نقطه سفارش (q_0 و Q_m)				
(۴)	(۳)	(۲)	(۱)	پیش‌بینی خرده‌فروش
۲۶۲۲,۶۶	۸,۱۳	۱۰۸,۵۰	۲۸,۵۸	واریانس تقاضا خرده‌فروش
۱۴۵۶,۰۲	۶۲۷,۷۹	۴۰۵,۹۸	۵۷۴,۳۶	واریانس تأمین‌کننده (اتورگرسیو)
۱۴۶۶,۵۴	۲۹۴۸,۴۲	۵۴۶,۴۹	۱۶۳۸,۳۷	واریانس تأمین‌کننده (میانگین متحرک)
۰,۵۵	۷۷,۲۱	۳,۷۴	۲۰,۰۹	اثر شلاقی (اتورگرسیو)
۰,۵۵۹	۳۶۲,۶۵	۵,۰۳۶	۵۷,۳۲	اثر شلاقی (میانگین متحرک)

جدول ۱۰. نتایج آزمون فرض برابری میانگین و واریانس اثر شلاقی سیاست سفارش‌دهی نقطه سفارش (q_0 و Q_m) دستمال توال (TP).

فرض	آماره t برای آزمون	
	F برای آزمون واریانس	برابری میانگین در سطح ۹۹٪
BW(MA)-	واریانس‌ها برابرند	۰,۹۱۸ (۰,۳۹۴)
BW(AR)	واریانس‌ها برابر نیستند	۰,۹۱۸ (۰,۴۲۱)

سفارش‌دهی محاسبه شده و نتایج آن در جدول ۹ آمده است. با توجه به مقادیر به دست آمده برای اثر شلاقی با در نظر گرفتن سیستم سفارش‌دهی مشاهده شد، اثر شلاقی شدید و این اثر در حالتی که پیش‌بینی در رژیم یک برای خرده‌فروش و وقتی از پیش‌بینی میانگین متحرک برای عمده‌فروش استفاده کرده، نسبت بقیه حالت‌ها بیشتر بود. همچنین در رژیم ۲ قرار اثر شلاقی ایجاد نشد. وجود سیستم سفارش‌دهی برای هر دو سطح زنجیره‌ی تأمین منجر به اثر شلاقی شد. از راه‌های کنترل این حالت می‌توان به کاهش زمان‌های انتظار و جریان اطلاعات به موقع در صدور سفارشات اشاره کرد. همچنین آزمون فرض برابری میانگین اثر شلاقی برای دو روش پیش‌بینی اتورگرسیو و میانگین متحرک در جدول ۱۰ آورده شده است. چنان که نتایج برابری میانگین نشان می‌دهد فرض صفر برابری میانگین اثر شلاقی در دو حالت در سطح اطمینان ۹۹٪ پذیرفته شد و می‌توان گفت اختلاف معناداری میان دو میانگین اثر شلاقی وجود ندارد.

واریانس دو حالت یکسان است. پس اگر جریان اطلاعاتی وجود داشته باشد اثر شلاقی ایجاد نمی‌شود. به دلیل وجود مدت زمان تحویل و سیاست سفارش‌دهی و نبود جریان اطلاعاتی حتما اثر شلاقی روی می‌دهد.

۲.۳.۳. سناریوی دوم: در نظر گرفتن سیستم سفارش‌دهی نقطه‌ی سفارش (q_0 و Q_m)

سیاست سفارش‌دهی با توجه به موجودی در دسترس می‌تواند نسبت به سیاست بهر به بهر فرق کند. از این رو در ادامه‌ی تحقیق با در نظر گرفتن سیستم سفارش‌دهی نقطه سفارش (q_0 و Q_m) حالت‌های مختلف در نظر گرفته شد. الف) محاسبه‌ی اثر شلاقی با در نظر گرفتن سیاست سفارش‌دهی نقطه سفارش (q_0 و Q_m) برای محصول TP

در این حالت از سیستم سفارش‌دهی نقطه سفارش (q_0 , Q_m) استفاده می‌کنیم و با در نظر گرفتن یکسری مفروضات، متوسط تقاضای مشتری و انحراف معیار تقاضا، مقادیر کمیته و بیشینه مقدار سفارش به دست آمد.

$T = 1$ ، $L = 0$ زمان تحویل کالا، $D = 65,3499$ متوسط تقاضای مشتری، $S = 4$ هزینه‌ی مواجهه با کسری برحسب واحد پول، $h = 2$ هزینه‌ی نگهداری بر حسب واحد پول برای هر دوره، $C = 3$ هزینه‌ی سفارش‌دهی بر حسب واحد پول، $\sigma = 71,31$ انحراف معیار تقاضا. سیستم نقطه‌ی سفارش (q_0 و Q_m) برای تقاضای محصول TP (۱۶,۵۹) و به دست آمد. در این حالت ابتدا پیش‌بینی خرده‌فروش مطابق روش مارکف - سوئیچینگ انجام و میزان سفارشات با در نظر گرفتن نقطه سفارش انجام گرفت و دو حالت در زمان سفارش‌دهی وجود دارد:

۱. اگر حاصل تقاضای موجودی ابتدای دوره و تقاضا بزرگتر یا مساوی q_0 باشد، در این حالت سفارشی داده نمی‌شود و موجودی انتهای دوره برابر است با تقاضای موجودی ابتدای دوره و تقاضا؛

۲. اگر حاصل تقاضای موجودی ابتدای دوره و تقاضا کم‌تر از q_0 باشد در این حالت به اندازه $Q_m - Q_e$ سفارش داده می‌شود. برای پیش‌بینی تقاضای خرده‌فروش از روش مارکف - سوئیچینگ و برای تأمین‌کننده نیز از میانگین متحرک و اتورگرسیو استفاده شد. در این حالت مقدار سفارش با توجه به سیستم

$$\begin{aligned} \mu_{T+L} &= \bar{D}(L+T) = 65,3499 \times (0+1) = 65,3499 \\ Q^* &= \sqrt{\frac{TC\bar{D}}{h}} * \sqrt{\frac{h+s}{s}} = \sqrt{\frac{2 \times 3 \times 65,3499}{2}} * \sqrt{\frac{2+2}{2}} = \\ &= 14 * 1,22 = 17,14 \\ Q_s &= Q^* * \frac{h}{h+s} = 17,14 * \frac{2}{2+2} = 5,71 \\ I(\gamma) &= \frac{Q_s}{\sigma} = \frac{5,71}{71,31} = 0,18 \rightarrow \gamma = 0,56 \\ q_0 &= \gamma * \sigma + \frac{\bar{D} * T}{T} + \mu = \\ &= 0,56 * 71,31 + 65,3499 * 1/2 + 65,3499 = 115,78 \\ Q_m &= Q^* + (q_0 + \frac{\bar{D} * T}{T}) = \\ &= 17,14 + (115,78 + 65,3499/2) = 165,59 \end{aligned}$$

ب) محاسبه‌ی اثر شلاقی با در نظر گرفتن سیاست سفارش‌دهی نقطه‌ی سفارش (q_0 , Q_m) برای محصول PT

برای محصول PT مشابه محصول TP از سیستم سفارش‌دهی نقطه سفارش (q_0 و Q_m) استفاده شد و مقادیر کمیته و بیشینه مقدار سفارش به دست آمد. $T = 1$ ، $L = 0$ زمان تحویل کالا، $D = 60,7389$ متوسط تقاضای مشتری، $S = 4$ هزینه‌ی مواجهه با کسری برحسب واحد

جدول ۱۱. محاسبه‌ی اثر شلاقی برای سناریوی سیاست سفارش دهی برای دستمال توالت (PT).

سیستم سفارش دهی نقطه سفارش (q_0 و Q_m)				
(۴)	(۳)	(۲)	(۱)	پیش‌بینی خرده‌فروش
۰,۷۶	۰,۴۳	۵۲,۲۷	۱,۷۸	واریانس تقاضا خرده‌فروش
۲۶۴,۷۴	۴۳۴,۰۸	۲۰۶,۸۴	۴۱۹,۲۹	واریانس تأمین‌کننده (اتورگرسیو)
۳۱۶,۳۸	۵۱۸,۶۱	۲۷۴,۱۳	۵۰۱,۵۷	واریانس تأمین‌کننده (میانگین متحرک)
۳۴۶,۶۱	۱۰۰۸,۸۷	۳,۹۵۶	۲۳۴,۶۴	اثر شلاقی (اتورگرسیو)
۴۵۶,۰۶	۱۲۰۶,۰۶	۵,۲۴	۲۸۱,۷۸	اثر شلاقی (میانگین متحرک)

جدول ۱۲. نتایج آزمون فرض برابری میانگین و واریانس اثر شلاقی سیاست سفارش دهی نقطه سفارش (q_0 و Q_m) دستمال توالت (PT).

فرض	آماره t برای آزمون	
	F برای آزمون واریانس	برابری میانگین در سطح ۹۹٪
BW(MA)-	واریانس‌ها برابرند	۰,۲۶۵(۰,۸)
BW(AR)	واریانس‌ها برابر نیستند	۰,۲۶۵(۰,۸)

- در نظر گرفتن رژیم‌های اقتصادی شامل رکود، رشد متوسط و رونق برای متغیر تقاضای خرده‌فروش در اندازه‌گیری اثر شلاقی اثر داشت؛
- سیاست‌های سفارش دهی بر اندازه اثر شلاقی تأثیر داشت. همان‌طور که از نتایج دو محصول TP و PT مشاهده گردید اثر شلاقی و واریانس تأمین‌کننده در سیاست سفارش دهی به‌ر کم‌تر از روش نقطه سفارش (q_0 , Q_m) بوده است؛
- انتخاب نوع مدل پیش‌بینی در اندازه‌گیری اثر شلاقی تأثیر داشت. از آن‌جا که یکی از عوامل مهم در انتخاب مدل‌های پیش‌بینی میزان تأخیرات متغیرها است در نتیجه تأخیر یکی از عوامل تأثیرگذار بر «اثر شلاقی» است.

۵. نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر به بررسی تأثیر روش‌های متفاوت پیش‌بینی در سطوح مختلف زنجیره‌ی تأمین بر اثر شلاقی آن اختصاص داشت. هدف این مطالعه پیش‌بینی تقاضای خرده‌فروش و تأمین‌کننده و محاسبه‌ی اثر شلاقی در زنجیره‌ی تأمین دوسطحی بود. در این راستا برای پیش‌بینی تقاضای خرده‌فروش و تأمین‌کننده در دو سناریوی سیستم سفارش دهی به‌ر و به‌ر و سیستم سفارش دهی نقطه سفارش (q_0 و Q_m) به ترتیب از مدل مارکف - سوئیچینگ و اتورگرسیو و میانگین متحرک استفاده شد. اثر شلاقی نیز با تقسیم واریانس تقاضای تأمین‌کننده بر واریانس تقاضای خرده‌فروش محاسبه شد. نتایج تحقیق نشان داد در حالتی که از سیستم سیاست سفارش دهی به‌ر به‌ر استفاده شود عملاً مقدار اثر شلاقی کم یا اثر شلاقی وجود ندارد زیرا در این حالت اطلاعات خرده‌فروش مستقیماً به دست تأمین‌کننده می‌رسد و تأمین‌کننده می‌تواند به اندازه نیاز خرده‌فروش سفارش دهد و عملاً زنجیره با نوسانات همراه نیست. اما در حالتی که سفارش دهی نقطه سفارش (q_0 و Q_m) وجود داشت، در این حالت برای همه‌ی حالت‌ها اثر شلاقی رخ داد. با توجه به داده‌های تحقیق، وقتی که تأمین‌کننده از روش پیش‌بینی اتورگرسیو نسبت به روش میانگین متحرک استفاده کرد، مقدار اثر شلاقی کم‌تری به‌دست آمد. از آنجا که نوسانات دوکالای TP و PT شبیه هم است می‌توان برای تحقیقات آتی از سیستم دو محصولی و از روش پیش‌بینی مدل مارکف سوئیچینگ خودهمبسته برداری برای برآورد تقاضای سمت خرده‌فروش استفاده کرد.

پول، $h = 2$ هزینه‌ی نگه‌داری برحسب واحد پول برای هر دوره، $C = 3$ هزینه‌ی سفارش دهی برحسب واحد پول، $\sigma = 22,2253$ انحراف معیار تقاضاست:

$$\mu_{T+L} = \bar{D}(L+T) = 60,7389 \times (0+1) = 60,7389$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2CD}{h}} * \sqrt{\frac{h+s}{s}} = \sqrt{\frac{2 \times 3 \times 60,7389}{2}} * \sqrt{\frac{2+2}{2}} = 13,498 * 1,41 = 16,46$$

$$Q_s = Q^* * \frac{h}{h+s} = 16,46 * \frac{2}{2+2} = 5,489$$

$$I(\gamma) = \frac{Q_s}{\sigma} = \frac{5,489}{22,2253} = 0,24699 \rightarrow \gamma = 0,35$$

$$q_0 = \gamma * \sigma + \frac{D * T}{T} + \mu =$$

$$0,35 * 22,2253 + 60,7389 * 1/2 + 60,7389 = 98,88$$

$$Q_m = Q^* + (q_0 + \frac{D * T}{T}) =$$

$$16,46 + (98,88 + 60,7389/2) = 145,71$$

مقدار سیستم نقطه سفارش (۹۸,۸۸ و ۱۴۵,۷۱) به دست آمد. با در نظر گرفتن سیاست سفارش دهی برای متغیر PT خلاصه نتایج در جدول ۱۱ آورده شد و مانند محصول TP برای این متغیر نیز مشاهده شد که اثر شلاقی ایجاد شده است و این اثر برای رژیم دوم بیشتر است. همان‌طور که مشاهده می‌شود اثر شلاقی در همه‌ی موارد برای روش پیش‌بینی تأمین‌کننده در حالتی که از روش اتورگرسیو استفاده شد کم‌تر از روش میانگین متحرک به‌دست آمد. همچنین آزمون فرض برابری میانگین اثر شلاقی برای دو روش پیش‌بینی اتورگرسیو و میانگین متحرک در جدول ۱۲ آمده است. چنان که نتایج برابری میانگین نشان می‌دهد فرض صفر برابری میانگین اثر شلاقی در دو حالت در سطح اطمینان ۹۹٪ پذیرفته می‌شود و می‌توان گفت اختلاف معناداری میان دو میانگین اثر شلاقی وجود ندارد.

۴. یافته‌های مدیریتی

به‌طور کلی هدف این مطالعه ارائه پیش‌بینی مناسب در مورد نحوه‌ی انتخاب سیستم‌های پیش‌بینی و پارامترهای مناسب برای اندازه‌گیری اثر شلاقی در زنجیره‌ی تأمین دوسطحی بود. در ادامه تحلیل حساسیت و برخی از پیش‌بینی‌های مدیریتی آمده است.

پانوشتها

1. bullwhip effect
2. moving average
3. exponential smoothing
4. autoregressiv
5. autoregressive moving average
6. weighted moving average
7. vector autoregressive
8. akaike information criterion
9. log-likelihood
10. root mean square error
11. median absolute percentage error

منابع (References)

1. Ponte, B., Sierra, E., de la Fuente, D. and et al. "Exploring the interaction of inventory policies across the supply chain: An agent-based approach", *Computers & Operations Research*, **78**, pp. 335-348 (2017).
2. Metters, R. "Quantifying the bullwhip effect in supply chains", *Journal of operations management*, **15**(2), pp. 89-100 (1997).
3. Lee, H.L., Padmanabhan, V. and Whang, S. "Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect", *Management Science*, **43**(4), pp. 546-558 (1997).
4. Syntetos, A.A., Babai, Z., Boylan, J.E. and et al. "Supply chain forecasting: theory, practice, their gap and the future", *European Journal of Operational Research*, **252**(1), pp. 1-26. (2016).
5. Sadeghian, R. "Dynamic inventory planning with unknown costs and stochastic demand", *International Journal of Industrial Engineering & Production Research*, **27**(2), pp. 179-187 (2016).
6. Razavi haji agha, S.H., Akrami, H. and Olfat, L. "Effect of combination of forecasts based multilevel bullwhip effect in supply chains. Improve management", *Management Improvement*, **4**(18), pp. 96-113 (In Persian) (2012).
7. Khosroshahi, H., Moattarhuseini, S.M. and Marjani, M.R. "Measuring bullwhip effect in a pipeline 3-stage supply chain using moving average method for demand forecasting", *Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems (IERPS)*, **2**(4), pp. 21-37, (In Persian) (2015).
8. Naghavi, S., Karbasi, A., Daneshvar kakhki, M. and et al. "An investigation into bullwhip effect in 3-stage milk and its products supply chain and the application of system models for estimating the demand", *Agricultural Economics*, **11**(2), pp. 115-133 (In Persian) (2017).
9. Banihashemi, S.A. and Haji molana, S.M. "Analysis of the effect of demand variables and safety stock on costs and bullwhip effect of the supply chain", *Iranian Journal of Trade Studies (ijts)*, **89**, pp. 177-205, (In Persian) (2019).
10. Hussain, M., Shome, A. and Lee, D.M. "Impact of forecasting methods on variance ratio in order-up-to level policy", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **59**(1-4), pp. 413-420 (2012).
11. Babai, M.Z., Ali, M.M., Boylan, J.E. and et al. "Forecasting and inventory performance in a two-stage supply chain with ARIMA (0, 1, 1) demand: theory and empirical analysis", *International Journal of Production Economics*, **143**(2), pp. 463-471 (2013).
12. Cho, D.W. and Lee, Y.H. "The impact of demand information in a supply chain with a seasonal ARIMA process", *Information-an International Interdisciplinary Journal*, **16**(2A), pp. 1215-1224 (2013).
13. Jaipuria, S. and Mahapatra, S. "An improved demand forecasting method to reduce bullwhip effect in supply chains", *Expert Systems With Applications*, **41**(5), pp. 2395-2408 (2014).
14. Costantino, F., Di Gravio, G., Shaban, A. and et al. "SPC forecasting system to mitigate the bullwhip effect and inventory variance in supply chains", *Expert Systems with Applications*, **42**(3), pp. 1773-1787 (2015).
15. Chiang, C.-Y., Lin, W.T. and Suresh, N.C. "An empirically-simulated investigation of the impact of demand forecasting on the bullwhip effect: evidence from US auto industry", *International Journal of Production Economics*, **177**, pp. 53-65 (2016).
16. Ma, J. and Bao, B. "Research on bullwhip effect in energy-efficient air conditioning supply chain", *Journal of Cleaner Production*, **143**, pp. 854-865 (2017).
17. Khosroshahi, H., Huseini, S.M. and Marjani, M. "The bullwhip effect in a 3-stage supply chain considering multiple retailers using a moving average method for demand forecasting", *Applied Mathematical Modelling*, **40**(21-22), pp. 8934-8951 (2016).
18. Singh, L.P. and Challa, R.T. "Integrated forecasting using the discrete wavelet theory and artificial intelligence techniques to reduce the bullwhip effect in a supply chain", *Global Journal of Flexible Systems Management*, **17**(2), pp. 157-169 (2016).
19. Ma, Y., Wang, N., Che, A. and et al. "The bullwhip effect on product orders and inventory: a perspective of demand forecasting techniques", *International Journal of Production Research*, **51**(1), pp. 281-302 (2013).
20. Ma, Y., Wang, N., He, Z. and et al. "Analysis of the bullwhip effect in two parallel supply chains with interacting price-sensitive demands", *European Journal of Operational Research*, **243**(3), pp. 815-825 (2015).
21. Ma, J. and Ma, X. "Measure of the bullwhip effect considering the market competition between two retailers", *International Journal of Production Research*, **55**(2), pp. 313-326 (2017).
22. Sirikasemsuk, K. and Luong, H.T. "Measure of bullwhip effect in supply chains with first-order bivariate vector autoregression time-series demand model", *Computers & Operations Research*, **78**, pp. 59-79 (2017).
23. Li, G., Yu, G., Wang, S. and et al. "Bullwhip and anti-bullwhip effects in a supply chain", *International Journal of Production Research*, **55**(18), pp. 5423-5434 (2017).
24. Nagaraja, C.H. and McElroy, T. "The multivariate bullwhip effect", *European Journal of Operational Research*, **267**(1), pp. 96-106 (2018).

25. Kadivar, M. and Shirazi, M.A. "Analyzing the behavior of the bullwhip effect considering different distribution systems", *Applied Mathematical Modelling*, **59**, pp. 319-340 (2018).
26. Nakade, K. and Aniyama, Y. "Bullwhip effect of weighted moving average forecast under stochastic lead time", *IFAC-PapersOnLine*, **52**(13), pp. 1277-1282 (2019).
27. Pastore, E., Alfieri, A., Zotteri, G. and et al. "The impact of demand parameter uncertainty on the bullwhip effect", *European Journal of Operational Research*, **283**(1), pp. 94-107 (2020).
28. Michna, Z., Disney, S.M. and Nielsen, P. "The impact of stochastic lead times on the bullwhip effect under correlated demand and moving average forecasts", *Omega*, **93**, pp. 1-26 (2020).
29. Chen, F., Drezner, Z., Ryan, J.K. and et al. "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).
30. Chan, F.T. and Chan, H.K. "Effects of cascade information sharing in inventory and service level in multi-echelon supply chains", *International Journal of Business Performance and Supply Chain Modelling*, **1**(1), pp. 1-7 (2009).
31. Hamilton, J.D. "A new approach to the economic analysis of nonstationary time series and the business cycle", *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, pp. 357-384 (1989).
32. Hamilton, J. "Time series econometrics", In.: Princeton University Press Princeton, NJ (1994).
33. Chauvet, M. and Hamilton, J.D. "Dating business cycle turning points", *Contributions to Economic Analysis*, **276**, pp. 1-54 (2006).
34. Krolzig, H.-M. and Autoregressions, M.-S.V. "Modelling, statistical inference and application to business cycle analysis", *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, Springer, New York. (1997).
35. Marketing, K.C.F. "The university of chicago booth school for business dominick's database", <https://research.chicagobooth.edu/kilts/marketing-databases/dominicks>.
36. Garcia, R. "Asymptotic null distribution of the likelihood ratio test in Markov switching models", *International Economic Review*, pp. 763-788 (1998).
37. Psaradakis, Z. and Spagnolo, N. "On the determination of the number of regimes in Markov-switching autoregressive models", *Journal of Time Series Analysis*, **24**(2), pp. 237-252 (2003).