مهندسی صنایع و مدیریت شریف
دوره‌ی ۱ - ۲۹، شماره‌ی ۱، ص. ۶۳-۷۰

Original Article

تجزیه و تحلیل پویایی زنجیره‌ی تأمین در بازی توزیع نوشیدنی

مقصود امیری* **(دانشیار)**
دانشکده‌ی مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبایی

امیر حسن‌زاده (دانشجوی دکتری)
دانشکده‌ی مدیریت، دانشگاه تهران

علی زارع‌شاهی (کارشناس ارشد)
دانشکده‌ی علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه مازندران

تغییرپذیری در سفارشات یا موجودی‌های زنجیره‌های تأمین به‌طورکلی توسط عوامل خارجی ــ مانند عدم اطمینان در تقاضای مشتری یا زمان انتظار ــ ایجاد می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد که حتی اگر این عوامل قطعی باشند، سفارشات یا موجودی‌ها مقداری تغییرپذیری را نشان می‌دهند. در این نوشتار، نشان می‌دهیم که در یک زنجیره‌ی تأمین کلاسیک توزیع نوشیدنی چگونه این تغییرپذیری ممکن است به‌صورت هزینه‌ی کل و اثر شلاقی اتفاق بیفتد، و به‌منظور مدیریت بهتر عامل‌ها برای کاهش پویایی پیشنهاداتی ارائه خواهد شد. در این مدل مشاهده می‌شود پویایی‌های زنجیره تحت تأثیر عامل‌های گوناگونی همچون: الگوی تقاضا، سیاست سفارش‌دهی، به اشتراک گذاشتن اطلاعات تقاضا و زمان انتظار قرار دارد. بررسی تأثیرات این عامل‌ها بر پویایی زنجیره، با استفاده از طرح فاکتوریلی، نشان می‌دهد «سیاست سفارش‌دهی» مهم‌ترین عامل در پویایی زنجیره محسوب می‌شود و با توجه به نوع الگوی تقاضا می‌توان با انتخاب نوع سیاست سفارش‌دهی شاهد کاهش پویایی زنجیره بود.

واژگان کلیدی: مدیریت زنجیره‌ی تأمین، بازی توزیع نوشیدنی، پویایی سیستم، اثر شلاقی، طرح فاکتوریل.

amiri@atu.ac.ir
a.hassanzadeh@ut.ac.ir
ali.zareshahi81@gmail.com

۱. مقدمه

«زنجیره‌ی تأمین» سیستم پیچیده‌یی شامل چندین موجودیت است، که فعالیت‌های انتقال کالاها و افزودن ارزش از مرحله‌ی مواد اولیه تا مرحله‌ی تحویل نهایی را در بر می‌گیرد. در طول زنجیره، سه نوع عدم اطمینان ــ عدم اطمینان در تقاضا، عدم اطمینان در تولید و عدم اطمینان در تحویل ــ وجود دارد.[۱] تصمیمات مربوط به مقدار و زمان بازپرسازی، اغلب تعاملاتی بین موجودیت‌های سیستم برقرار می‌کند که ممکن است منجر به سیستم غیرخطی شود. در بسیاری از فرایندهای زنجیره‌ی تأمین، عوامل بازخورد، تعامل و تأخیر زمانی تشکیل‌دهنده‌ی یک سیستم پویا هستند.[۲] به‌عنوان مثال، دو سیاست بازپرسازی موجودی که وسیعاً کاربردگسترده دارند، سیاست بازنگری مستمر و سیاست بازنگری دوره‌یی است[۳] که یک سازوکار بازخورد منفی دارند. در سیاست بازنگری مستمر، موجودی به‌طور پیوسته بازنگری می‌شود و زمانی که مقدار موجودی به نقطه‌ی سفارش مجدد می‌رسد، برای رسیدن به همان سطح موجودی به‌اندازه‌ی Q واحد سفارش داده می‌شود. علاوه بر بازخورد و تعامل، تأخیرهای زمانی بین علت و معلول نیز غالباً تعامل بین موجودیت‌های سیستم را پیچیده‌تر می‌کند. تأخیر زمانی وقتی ایجاد می‌شود که بین اتخاذ یک تصمیم و رؤیت آن فاصله‌ی زمانی وجود داشته باشد، که این به‌نوبه‌ی خود تعاملات بین موجودیت‌ها را پیچیده‌تر می‌کند. به‌طورکلی بازخورد، تعامل و تأخیر زمانی منجر به بروز تغییرپذیری، بی‌ثباتی و رفتارهای پیچیده می‌شود و به‌نوعی مدیریت زنجیره‌ی تأمین را به تکاپو می‌اندازد.

در این نوشتار قصد داریم به بررسی اثرات عوامل پویایی در زنجیره‌ی تأمین بپردازیم. در این راستا از یک زنجیره‌ی تأمین چهارسطحی که توسط مدل معروف توزیع نوشیدنی ارائه شده[۴] استفاده می‌کنیم، و با توجه به عوامل گوناگون در زنجیره‌ی تأمین ــ مانند الگوی تقاضا، سیاست سفارش‌دهی، به اشتراک گذاشتن اطلاعات تقاضا و زمان انتظار ــ پویایی زنجیره‌ی تأمین مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای اندازه‌گیری پویایی سیستم، حالت‌های مختلف ترکیب عوامل با استفاده از بازی توزیع نوشیدنی در غالب هزینه‌ی کل (هزینه‌ی نگه‌داری و هزینه‌ی کمبود) و تقویت واریانس سفارش (اثر شلاقی) بررسی شده است. مواردی که در ادامه‌ی این نوشتار بررسی می‌شود عبارت‌اند از: الف) چگونگی اثرگذاری این عوامل بر پویایی زنجیره‌ی تأمین؛ ب) پیشنهاد الگویی برای مدیریت مؤثر زنجیره‌های تأمین.

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۸۹/۹/۹، اصلاحیه ۱۳۹۰/۱۱/۵، پذیرش ۱۳۹۰/۱۱/۸.

در این راستا، سازمان‌دهی نوشتار حاضر چنین است: در بخش ۲ ادبیات مختصری ارائه شده و در بخش ۳ مدل‌سازی مسئله تشریح شده است. در بخش ۴ تجزیه و تحلیل آماری پویایی زنجیره، از دو بعد هزینه‌ی کل و اثر شلاقی، مورد بررسی قرار می‌گیرد و در نهایت در بخش ۵، نتیجه‌گیری مطالب گفته‌شده ارائه می‌شود.

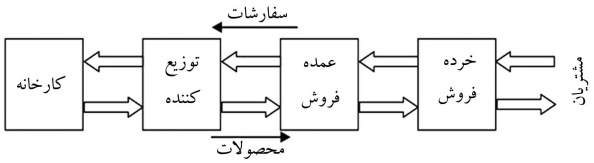
۲. مرور ادبیات

مطالعات نشان داده که الگوی تقاضا، سیاست سفارش‌دهی، زمان انتظار، و به اشتراک‌گذاری اطلاعات مستقیماً بر عملکرد زنجیره‌های تأمین اثرگذار است. از بین موارد اشاره شده، «کاهش زمان انتظار» بسیار سودمند است و می‌تواند تغییرپذیری تقاضا و موجودی را کاهش، و پاسخ‌گویی و خدمت به مشتری را بهبود بخشد.[۵-۹] اثر شلاقی (اثر پیشنهادی فارستر[1] پدیده‌ی جالبی است که در بسیاری از زنجیره‌های تأمین مشاهده شده است.[۱۰و۱۱] و عبارت است از افزایش تغییرپذیری مقدار سفارشات، زمانی که از مشتری نهایی به سوی تأمین‌کنندگان مواد اولیه در حرکتیم.[۵و۶] این اثر معمولاً از طریق زمان‌های انتظار طولانی، عدم شفافیت اطلاعات در سراسر سطوح یک زنجیره‌ی تأمین، یا ترکیبی از بازخورد، تأخیرهای زمانی و تعاملات (چنان که در مقدمه اشاره شد) ایجاد می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد که مزایای به اشتراک گذاشتن اطلاعات ممکن است به کاهش موجودی، تحویل با اطمینان بیشتر، نرخ پاسخ‌گویی بیشتر به سفارش، کاهش هزینه و کاهش تقویت تقاضا کمک کند.[۵-۷و۱۲-۱۴] محققین با استفاده از بازی توزیع نوشیدنی اثرات به اشتراک‌گذاری اطلاعات را بر کاهش اثر شلاقی مورد بررسی قرار دادند[۱۵] و نشان دادند به اشتراک گذاشتن داده‌های پایانه‌ی فروش[2] و سطوح موجودی در سطوح متفاوت زنجیره، اثر شلاقی را کاملاً حذف نمی‌کند. از این بازی برای بررسی اثرات تغییر در چرخه‌ی سفارش و تحویل، اشتراک‌گذاری داده‌های پایانه‌ی فروش و الگوهای تقاضا بر هزینه‌های زنجیره‌ی تأمین استفاده شد.[۱۶] در این خصوص نشان داده شد که کاهش زمان چرخه مفید است، اما به اشتراک‌گذاری داده‌های پایانه‌ی فروش ضرورتاً این‌طور نیست. به‌عبارت دیگر، به اشتراک‌گذاری تحت تأثیر الگوی تقاضا قرار می‌گیرد. بیشتر ادبیات موجود در زمینه‌ی پویایی زنجیره‌ی تأمین بر وجود و طبقه‌بندی رفتارهای بی‌نظم /فوق بی‌نظم تمرکز می‌کند که از طریق مدل کلاسیک بازی توزیع نوشیدنی ارائه شده است.[۱۷-۱۹] این مطالعات معمولاً تصمیمات سفارش‌دهی را مطابق راهکار ابتکاری استرمن[۱۱] تعدیل و تنظیم می‌کند. به‌طور خلاصه، مطالعات اشاره شده نشان‌گر اثرات منفی رفتارهای بی‌نظم بر مدیریت مؤثر سیستم‌های زنجیره‌ی تأمین است. از آنجا که هیچ‌یک از مطالعات اشاره‌شده به بررسی همزمان عوامل مؤثر بر پویایی زنجیره‌ی تأمین نپرداخته، این مطالعه شکاف تحقیقاتی را پوشش می‌دهد.

۳. مدل‌سازی مسئله

۱.۳. مدل توزیع نوشیدنی

زنجیره‌ی تأمین مورد بررسی توسط مدل توزیع نوشیدنی[۴] مشخص شده، و مطابق شکل ۱ شامل چهار سطح: کارخانه، توزیع‌کننده، عمده‌فروش، و خرده‌فروش است. مدل توزیع نوشیدنی یک زنجیره‌ی چندسطحی را به تصویر می‌کشد که واقعی‌تر از زنجیره‌های تأمین دوسطحی است. هدف این سیستم توزیع متوالی، دست‌یابی به یک بازار گسترده است. در این سیستم، سفارشات از مشتری به سوی کارخانه ارسال می‌شود، به‌این‌صورت که خرده‌فروش تقاضای مشتری را تخمین می‌زند و



شکل ۱. مدل توزیع نوشیدنی.

سفارشی را به عمده‌فروش منطقه‌یی ارسال می‌کند، سپس عمده‌فروش درمورد مقدار سفارش به توزیع‌کننده تصمیم‌گیری می‌کند، عمده‌فروش نیز به‌نوبه‌ی خود سفارشی را به کارخانه ارسال می‌کند و کارخانه برمبنای سفارش توزیع‌کننده و دیگر اطلاعات مرتبط، تصمیم به تولید خواهد گرفت. به‌طور معکوس، کالاها از کارخانه به سوی خرده‌فروش ارسال می‌شود. به‌این‌صورت که، اگر کارخانه موجودی کافی داشته باشد کالاها را به توزیع‌کننده ارسال می‌کند؛ توزیع‌کننده کالاها را دریافت و آن‌ها را به عمده‌فروش انتقال می‌دهد. عمده‌فروش نیز کالاها را پس از دریافت به خرده‌فروش تخصیص می‌دهد، و مشتریان نهایی کالاها را از خرده‌فروش خریداری می‌کنند. مقداری موجودی در هر سطح زنجیره‌ی تأمین نگه‌داری می‌شود. در این مدل صرفاً به بررسی یک نوع محصول پرداخته می‌شود. در این مدل، تولید و ارسال کالاها دارای تأخیرهای زمانی است. زمان تولید دو (در زمان انتظار کوتاه) یا سه دوره (در زمان انتظار بلند)، و ظرفیت تولید نامحدود در نظر گرفته شده است. تأخیر در انتقال سفارش و ارسال کالا بین دو سطح متوالی یک دوره است. تقاضای مشتری از دو الگوی قطعی و احتمالی پیروی می‌کند. تقاضای قطعی به‌صورت یک تابع پله‌یی است، به‌این‌صورت که تقاضا تا چهار دوره‌ی اول چهار واحد و از دوره‌ی پنجم به بعد به هشت واحد افزایش می‌یابد. درصورتی که تقاضای احتمالی از یک تابع توزیع نرمال $N(6,2)$ تبعیت می‌کند. قوانینی که مدل از طریق آن‌ها کنترل می‌شود عبارت‌اند از: ۱. اگر موجودی کافی وجود داشته باشد، سفارشات باید تأمین شود؛ ۲. سفارشات تأمین‌نشده به‌صورت پس‌افت در سیستم ذخیره می‌شود و زمانی تأمین می‌شود که موجودی کافی در دسترس باشد؛ ۳. سفارشات ارسال شده نمی‌تواند لغو شود و محموله‌های ساخته‌شده مرجوع نمی‌شود.

تنها متغیر تصمیم برای همه‌ی سطوح زنجیره‌ی تأمین، تعداد واحدهای سفارش شده در هر دوره است. این تصمیم برمبنای اطلاعاتی مانند سطوح موجودی واقعی و مطلوب، پس‌افت، سفارشات مورد انتظار و غیرمنتظره، محموله‌های آتی، و دسترسی موضعی به تصمیم‌گیرندگان اتخاذ می‌شود. در هر سطح زنجیره‌ی تأمین، به‌منظور کمینه‌کردن هزینه‌های نگه‌داری و دوری از وضعیت‌های کمبود، موجودی‌ها مدیریت می‌شود. هزینه‌ی نگه‌داری موجودی نصف هزینه‌های کمبود است، و در حالت سنتی هیچ اطلاعاتی از تقاضا در سیستم به اشتراک گذاشته نمی‌شود. در این حالت هر بخش از وضعیت بخش‌های دیگر اطلاعی ندارد و تصمیم‌گیرندگان نمی‌دانند چگونه تأخیرهای زمانی و ساختار سیستم بر پویایی‌ها تأثیر می‌گذارد. با توجه به مدل کلاسیک توزیع نوشیدنی، عوامل دیگر زنجیره‌ی تأمین را ــ مانند الگوی تقاضا، سیاست سفارش‌دهی، زمان انتظار و به اشتراک گذاشتن اطلاعات که اثر مستقیمی بر پویایی زنجیره دارد ــ برای بررسی وضعیت‌های جامع‌تر درگیر کردیم.

۲.۳. طراحی آزمایش‌ها

طرح‌های فاکتوریلی ابزاری بسیار سودمندند که به‌صورت روزافزون در تحقیقات صنعتی به‌شکل طراحی آزمایش‌ها، مورد استفاده قرار می‌گیرند. مزیت این ابزار ساختاردهی مراحل آزمایشی و عددی به‌منظور کمینه‌کردن تعداد آزمایش‌هاست.

روش‌های طرح آزمایش در بسط فرایند و تعیین علت آشفتگی فرایند به‌منظور اصلاح عملکرد نقش عمده دارند. به‌طور کلی، گام‌های طراحی آزمایش‌ها عبارت است از:[۲۰]

گام ۱. طراحی و انجام مجموعه‌یی از آزمایش‌ها با توجه به عوامل و پاسخ‌ها؛

گام ۲. یافتن مجموعه‌ی بهینه‌یی از پارامترهایی که بیشترین یا کم‌ترین مقدار پاسخ را تولید کند؛

گام ۳. ارائه‌ی اثرات مستقل یا تعاملی پارامترهای فرایند از طریق جدول تجزیه و تحلیل واریانس.

از طرفی در محیط‌های تصمیم‌گیری چندهدفه، مسئله‌ی انتخاب مجموعه‌یی از متغیرهای ورودی مطرح می‌شود که به‌طور همزمان منجر به تولید پاسخ‌های مطلوب شود. در این راستا، محققین تابع مطلوبیتی برای بهینه‌سازی چندین پاسخ ارائه کردند:[۲۱]

$$d_i(Y_i) = \begin{cases} ۰ & Y_i < l_i \\ \left(\frac{Y_i - l_i}{t_i - l_i}\right)^s & l_i \le Y_i \le t_i \\ \left(\frac{Y_i - u_i}{t_i - u_i}\right)^t & t_i \le Y_i \le u_i \\ ۰ & Y_i > u_i \end{cases} \quad (۱)$$

که در آن توابع پاسخ Y_i به دو صورت یک‌طرفه و دو طرفه، به تابع مطلوبیت $d_i(Y_i)$ تبدیل می‌شوند. تبدیل یک‌طرفه زمانی کاربرد دارد که Y_i بیشینه یا کمینه است، و کاربرد تبدیل دوطرفه زمانی است که Y_i برابر مقدار هدف باشد. در تبدیل دوطرفه l_i و u_i به‌ترتیب حدود پایین و بالا و t_i مقدار هدف پاسخ Y_i است. دراین رابطه توان s و t چگونگی سختی مقدار هدف را تعیین می‌کند. سپس میانگین هندسی مطلوبیت‌ها مطابق رابطه‌ی ۲ به‌عنوان معیار تصمیم‌گیری مطرح می‌شود.

$$D = \sqrt[k]{d_۱(y_۱) \times d_۲(y_۲) \times ... \times d_k(y_k)} \quad (۲)$$

۳.۳. عامل‌های پویایی زنجیره‌ی تأمین و تعیین سطوح آن‌ها

چهار عامل اصلی زنجیره‌ی تأمین ــ الگوی تقاضا، سیاست سفارش‌دهی، به اشتراک‌گذاری اطلاعات سفارش و زمان انتظار ــ مستقیماً بر پویایی زنجیره‌ی تأمین تأثیر دارد. در مدل اشاره شده این عوامل مورد بررسی قرارگرفته است:

۱. **الگوی تقاضا ($x_۱$)**: الگوی تقاضا بعد از مشاهده‌شدن توسط خرده‌فروش نهایی به‌صورت جریان اطلاعات سفارش به بالای جریان زنجیره هدایت می‌شود. در اینجا دو نوع الگوی تقاضای قطعی[۳] و احتمالی با توزیع نرمال[۴] مورد بررسی قرارگرفته است.

۲. **سیاست سفارش‌دهی ($x_۲$)**: این عامل مشخص می‌کند که چگونه سفارشات در طول سطوح زنجیره‌ی تأمین ارسال می‌شود. در اینجا دوتا از رایج‌ترین سیاست‌های سفارش‌دهی مستمر[۳] به‌نام سیاست‌های (s, S) و (s, Q) مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳. **به اشتراک‌گذاری اطلاعات تقاضا ($x_۳$)**: در مدل کلاسیک توزیع نوشیدنی، هیچ اطلاعاتی به اشتراک گذاشته نمی‌شود.[۴] با پیشرفت تکنولوژی اطلاعات، به اشتراک‌گذاری اطلاعات آسان‌تر و کم‌هزینه‌تر شده است. در مدیریت زنجیره‌ی تأمین جهانی، اهمیت و ارزش به اشتراک‌گذاری اطلاعات را نمی‌توان نادیده گرفت.

بنابراین، برای انعکاس این واقعیت و بررسی کارایی به اشتراک‌گذاری اطلاعات تقاضا، دو وضعیتِ بدون /با اشتراک گذاشتن اطلاعات مورد بررسی قرار می‌گیرد. به اشتراک‌گذاری اطلاعات به اعضای زنجیره‌ی تأمین اجازه می‌دهد تا با استفاده از متوسط تقاضای پیش‌بینی شده توسط خرده‌فروش، سطوح موجودی هدف خود را تعیین کنند. این در حالی است که در عدم اشتراک‌گذاری اطلاعات هریک از اعضای زنجیره‌ی تأمین باید براساس سفارشات دریافت‌شده از عضو پایین‌دستی، تقاضا را پیش‌بینی و سطح هدف موجودی را تعیین کنند.

۴. **زمان انتظار ($x_۴$)**: در مدل توزیع نوشیدنی دوگزینه‌ی زمان انتظار کوتاه‌مدت و بلندمدت بررسی می‌شود. زمان انتظار بین دو سطح متوالی شامل تأخیر در انتقال سفارشات و ارسال محصولات است. تأخیر در انتقال سفارشات بین دو سطح متوالی در یک دوره در نظرگرفته شده است. این دوگزینه در طول تأخیر ارسال متفاوت‌اند. به‌عبارتی، یک دوره برای گزینه‌ی زمان انتظار کوتاه‌مدت و دو دوره برای گزینه‌ی زمان انتظار بلندمدت است. بنابراین زمان انتظار بین دو سطح متوالی، دوسوم زمان تولید برای گزینه‌ی زمان انتظار کوتاه‌مدت است؛ این زمان برابر با زمان تولید برای گزینه‌ی زمان انتظار بلندمدت است.

۴.۳. انتخاب متغیر پاسخ

از آنجا که هدف این نوشتار بررسی پویایی زنجیره‌ی تأمین و کاهش آن است، می‌توان پویایی را از دو بعد مورد بررسی قرار داد:

۱. هزینه‌ی کل ($y_۱$)

هزینه‌ی کل خرده‌فروش (R)، عمده‌فروش (W)، توزیع‌کننده (D) مطابق رابطه‌ی ۳ و هزینه‌ی کل کارخانه (F) مطابق رابطه‌ی ۴ به‌صورت هزینه‌های پس‌افت و موجودی محاسبه و به مجموع هزینه‌های انباشته‌شده از دوره‌های پیشین اضافه می‌شود. موجودی کل تسهیلات و موجودی در حال انتقال به سوی تسهیلات پایین‌دستی بعدی در هزینه‌ی نگه‌داری ۰٫۵ دلار است در حالی که کل سفارش‌های پس‌افت در هزینه‌ی کمبود ۱ دلار ضرب می‌شود. بنابراین هزینه‌ی کل زنجیره برابر است با مجموع هزینه‌ی کل تک‌تک سطوح زنجیره در زمان t.

$$TC_t = TC_{t-۱} + ۰٫۵(I + d_۱ + d_۲) + ۱(b) \quad (۳)$$

$$TC_t^{(F)} = TC_{t-۱}^{(F)} + ۰٫۵(I + d_۱ + d_۲ + d'_۱ + d'_۲)^{(F)} + ۱(b)^{(F)} \quad (۴)$$

که در آن، TC_t هزینه‌ی کل در زمان t، I مقدار موجودی، $d_۱$ تأخیر در هفته‌ی اول، $d_۲$، تأخیر در هفته‌ی دوم، b سفارش‌های پس‌افت.

تأخیرهای $d_۱$ و $d_۲$ در رابطه‌ی ۳ به تأخیرهای دریافت کالا از عضو بالادستی اشاره دارد؛ در صورتی که تأخیرهای کارخانه مطابق رابطه‌ی ۴ به دو دسته تأخیر دریافت مواد اولیه‌ی $d'_۱$ و $d'_۲$ و تأخیر در ارسال کالای ساخته شده $d_۱$ و $d_۲$ اشاره دارد.

۲. تقویت واریانس سفارشات (اثر شلاقی)، ($y_۲$)

از آنجا که بسیاری از نویسندگان از معیارهای آماری برای اندازه‌گیری اثر شلاقی استفاده کردند،[۵-۷] در این مقاله نیز از رابطه‌ی ۵ برای محاسبه‌ی اثر شلاقی استفاده شده است. در این رابطه μ_q و $Var(q)$ به‌ترتیب میانگین و واریانس سفارش و μ_D و $Var(D)$ به‌ترتیب میانگین و واریانس تقاضاست.

$$Bullwhip = \frac{Var(q)/\mu_q}{Var(D)/\mu_D} \quad (۵)$$

۵.۳. طرح آزمایشی

گام مهم دیگر، انتخاب طرحی برای آزمایش است. برازش و تحلیل سطح‌های پاسخ با انتخاب صحیح طرح آزمایش بسیار ساده است. از آنجا که عوامل تحت بررسی کیفی‌اند، از طرح فاکتوریلی در دو سطح بالا (+) و پایین (-) استفاده می‌شود. بنابراین تعداد آزمایش‌ها برابر است با 2^k یا کسری از آن، که در اینجا k تعداد متغیرهای مستقل (ورودی و خروجی) است. عوامل و سطوح آن‌ها به‌طور خلاصه در جدول ۱ ارائه شده است. این طرح با استفاده از نرم‌افزار Design Expert ۶/۰/۶ اجرا شده است. پاسخ‌ها و متغیرها (به‌صورت کدشده) با استفاده از طراحی آزمایش‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. کیفیت برازش آزمایش‌های حاصل، از طریق ضریب تعیین R^2 مشخص و منابع تغییر برمبنای مقدار p- با سطح اطمینان ۹۵٪ انتخاب یا رد، و در نهایت پاسخ‌ها با استفاده از تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) تحلیل می‌شوند. از آنجا که طرح مورد نظر شامل چهار عامل است، باید ۱۶ آزمایش انجام شود. اما برای بررسی اثر تصادفی بودن الگوی تقاضا (سطح بالا)، طرح با ۲ تکرار (I,II) انجام می‌گیرد. نتیجه‌ی هر آزمایش بعد از ۵۰ دوره (هفته) بررسی و هزینه‌ی کل و مقدار اثر شلاقی زنجیره‌ی تأمین محاسبه می‌شود. توجه داشته باشید آزمایش‌های انجام‌شده با فرضیات اولیه‌ی بازی توزیع نوشیدنی صورت گرفته است. نتایج آزمایش‌ها در جداول ۲ (هزینه‌ی کل) و ۳ (اثر شلاقی) ارائه شده است.

جدول ۱. عوامل مؤثر بر پویایی و سطوح آن‌ها.

ردیف	عامل‌ها	سطح پایین (-)	سطح بالا (+)
۱	الگوی تقاضا	قطعی	احتمالی
۲	سیاست سفارش‌دهی	(s, S)	(s, Q)
۳	به اشتراک‌گذاری اطلاعات	بدون اطلاعات	با اطلاعات
۴	زمان انتظار	کوتاه	بلند

جدول ۲. نتایج آزمایش برحسب هزینه‌ی کل.

اجرا	x_1	x_2	x_3	x_4	ترکیب‌های تیماری	تکرار I	تکرار II
۱	−	−	−	−	(۱)	۲۵۲۵	۲۵۲۵
۲	+	−	−	−	a	۲۵۸۵	۲۴۷۲
۳	−	+	−	−	b	۴۳۰۹	۴۳۰۹
۴	+	+	−	−	ab	۲۴۰۰	۲۴۱۹
۵	−	−	+	−	c	۲۶۰۰	۲۶۰۰
۶	+	−	+	−	ac	۲۳۶۱	۲۵۹۹
۷	−	+	+	−	bc	۴۱۱۱	۴۱۱۱
۸	+	+	+	−	abc	۲۳۳۵	۲۳۶۰
۹	−	−	−	+	d	۳۳۳۶	۳۳۳۶
۱۰	+	−	−	+	ad	۳۰۳۳	۲۹۴۲
۱۱	−	+	−	+	bd	۶۴۶۵	۶۴۶۵
۱۲	+	+	−	+	abd	۵۴۳۱	۳۴۷۲
۱۳	−	−	+	+	cd	۳۳۳۶	۳۳۳۶
۱۴	+	−	+	+	acd	۲۹۲۸	۳۰۰۴
۱۵	−	+	+	+	bcd	۷۹۸۳	۷۹۸۳
۱۶	+	+	+	+	$abcd$	۳۸۶۲	۳۱۸۷

جدول ۳. نتایج آزمایش برحسب مقدار اثر شلاقی.

اجرا	x_1	x_2	x_3	x_4	ترکیب‌های تیماری	تکرار I	تکرار II
۱	−	−	−	−	(۱)	۱/۵۲	۱/۵۲
۲	+	−	−	−	a	۱/۷۲	۱/۵۴
۳	−	+	−	−	b	۱/۳۳	۱/۳۳
۴	+	+	−	−	ab	۱/۰۴	۱/۰۹
۵	−	−	+	−	c	۱/۳۴	۱/۳۴
۶	+	−	+	−	ac	۱/۵	۱/۷۳
۷	−	+	+	−	bc	۱/۲۱	۱/۲۱
۸	+	+	+	−	abc	۱/۰۴	۱/۰۹
۹	−	−	−	+	d	۱/۳۴	۱/۳۴
۱۰	+	−	−	+	ad	۱/۸۴	۱/۶۳
۱۱	−	+	−	+	bd	۱/۳۳	۱/۳۳
۱۲	+	+	−	+	abd	۱/۰۴	۱/۰۹
۱۳	−	−	+	+	cd	۱/۳۴	۱/۳۴
۱۴	+	−	+	+	acd	۱/۵۷	۱/۵۴
۱۵	−	+	+	+	bcd	۱/۲۱	۱/۲۱
۱۶	+	+	+	+	$abcd$	۱/۰۴	۱/۰۸

۴. تجزیه و تحلیل آماری

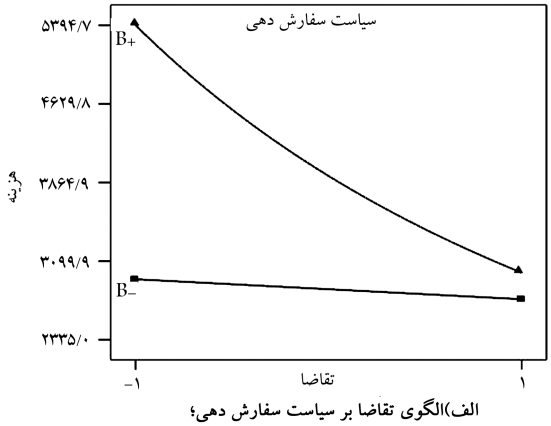
۱.۴. پویایی زنجیره‌ی تأمین از جهت هزینه‌ی کل

نتایج تجزیه و تحلیل واریانس هزینه‌ی کل مطابق جدول ۴ نشان می‌دهد که مدل هزینه‌ی کل از نظر آماری معنادار است (P value: < ۰/۰۰۰۱)، در صورتی که عدم برازش معنی‌دار نیست (P> ۰/۰۵). این موارد نشان می‌دهد که مدل طرح به‌قدر کافی روی داده‌های آزمایش برازش دارد. از طرفی ضریب تعیین (R^2 = ۰/۹۳۸۳) نشان می‌دهد که تنها ۶/۱۷٪ هزینه‌ی کل توسط عامل‌های مورد نظر تفسیر نمی‌شود. برمبنای ارزش P مشخص می‌شود که عوامل الگوی تقاضا (x_1)، سیاست سفارش‌دهی (x_2)، زمان انتظار (x_4)، تعامل الگوی تقاضا و سیاست سفارش‌دهی (x_1x_2)، تعامل سیاست سفارش‌دهی و زمان انتظار هزینه (x_2x_4) بر هزینه‌ی کل اثر می‌گذارد. اما عامل به اشتراک گذاشتن اطلاعات (x_3) به‌علت معنی‌دار نبودن (P=۰/۶۳۳۵) هیچ اثری بر هزینه‌ی کل ندارد، و لذا از جدول ۴ حذف شده است. از طرفی با توجه به ستون ضریب تعیین جزیی، سهم نسبی هر عامل مشخص شده است. به این‌صورت که در محاسبه‌ی هزینه‌ی کل زنجیره‌ی تأمین به‌ترتیب عامل‌های سیاست سفارش‌دهی، زمان انتظار، الگوی تقاضا حائز اهمیت‌اند.

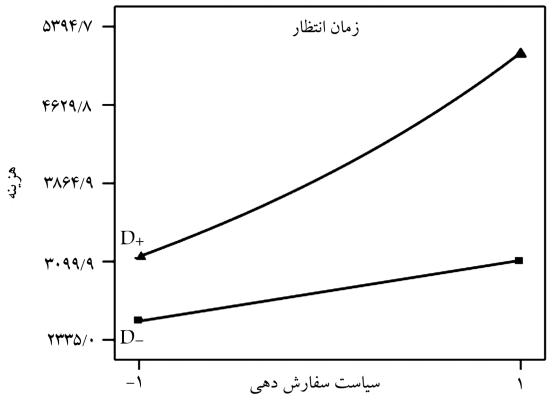
در شکل ۲الف با توجه به تعامل عوامل الگوی تقاضا و سیاست سفارش‌دهی مشخص می‌شود زمانی که الگوی تقاضا در سطح پایین (قطعی) باشد، با فرض عدم اعمال دو عامل دیگر، انتخاب نوع سیاست سفارش‌دهی در کاهش هزینه‌ی کل بسیار بحرانی است. به این معنا که اگر سیاست سفارش‌دهی (s, Q) باشد، هزینه‌ی کل برابر ۵۳۹۴/۷۴ و اگر (s, S) باشد، هزینه‌ی کل برابر ۲۹۱۰/۸۵ خواهد شد. اما الگوی تقاضا در سطح بالا (احتمالی) نسبت به نوع سیاست سفارش‌دهی چنین حساسیتی را ندارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در مواقعی که تقاضا قطعی یا احتمالی باشد برای کاهش هزینه‌ی کل زنجیره‌ی تأمین، تمامی اعضای زنجیره

جدول ۴. تجزیه و تحلیل واریانس هزینه‌ی کل.

منبع تغییر	مجموع مربعات	درجات آزادی	میانگین مربعات	مقدار- F	Prob>F	ضریب تعیین جزئی
x_1	۰٫۰۰۰۰۵	۱	۰٫۰۰۰۰۵	۱۰۸٫۰۲	< ۰٫۰۰۰۱	۰٫۲۰۱۴
x_2	۰٫۰۰۰۰۶	۱	۰٫۰۰۰۰۶	۱۲۸٫۳۲	< ۰٫۰۰۰۱	۰٫۲۷۶۱
x_4	۰٫۰۰۰۰۷	۱	۰٫۰۰۰۰۷	۱۴۰٫۹۳	< ۰٫۰۰۰۱	۰٫۲۳۰۷
x_1x_2	۰٫۰۰۰۰۳	۱	۰٫۰۰۰۰۳	۶۳٫۰۰	< ۰٫۰۰۰۱	۰٫۱۴۴۸
x_2x_4	۰٫۰۰۰۰۰۰۷	۱	۰٫۰۰۰۰۰۰۷	۱۴٫۶۷	۰٫۰۰۰۷	۰٫۰۷۶۴
مدل	۰٫۰۰۰۲	۵	۰٫۰۰۰۰۴	۹۰٫۹۹	< ۰٫۰۰۰۱	
عدم برازش	۰٫۰۰۰۰۰۵	۱۰	۰٫۰۰۰۰۰۰۵	۱٫۲	۰٫۳۵۷۵	
باقیمانده	۰٫۰۰۰۰۱	۲۶	۰٫۰۰۰۰۰۰۵			
خطای محض	۰٫۰۰۰۰۰۷	۱۶	۰٫۰۰۰۰۰۰۴			
کل	۰٫۰۰۰۲۵	۳۱				



الف)الگوی تقاضا بر سیاست سفارش دهی؛



ب)سیاست سفارش دهی بر زمان انتظار.

شکل ۲. اثر تعاملی عامل‌ها.

باید از سیاست (s, S) استفاده کنند. این تحلیل نشان می‌دهد، اگر تقاضا ثابت باشد و بعد از مدتی به‌صورت پله‌یی افزایش یابد نسبت به حالتی که تقاضا متغیر باشد (توزیع نرمال) زنجیره‌ی تأمین را از نظر هزینه بیشتر تهدید می‌کند.

از طرفی در شکل ۲ب با توجه به تعامل عامل‌های سیاست سفارش‌دهی و زمان انتظار مشخص می‌شود زمانی که تمامی اعضای زنجیره‌ی تأمین از سیاست سفارش‌دهی (s, Q) به‌جای (s, S) استفاده کنند، هزینه‌ی کل زنجیره نسبت به زمان انتظار بسیار بحرانی می‌شود. به‌این معنا که اگر زمان انتظار در سطح بالا (بلند) انتخاب شود، هزینه‌ی کل برابر ۵۱۳۸٫۳۱ و اگر در سطح پایین (کوتاه) انتخاب شود،

جدول ۵. نتایج هزینه‌ی کل حاصل از تعاملات عامل‌ها.

عامل		سیاست سفارش‌دهی	
		(s, S)	(s, Q)
الگوی تقاضا	قطعی	۲۹۱۰٫۸۵	۵۳۹۴٫۷۴
	احتمالی	۲۷۲۳٫۴	۲۹۸۷٫۳۱
زمان انتظار	کوتاه	۲۵۳۱٫۴۹	۳۰۹۹٫۹۹
	بلند	۳۱۴۸٫۴۵	۵۱۳۸٫۳۱

هزینه‌ی کل برابر ۳۰۹۹٫۹۹ خواهد شد. اما انتخاب سیاست (s, S) چنین حساسیتی را ندارد و بنابراین می‌توان نتیجه گرفت، در مواقعی که سیاست سفارش‌دهی (s, S) یا (s, Q) باشد برای کاهش هزینه‌ی کل باید زمان انتظار کاهش یابد. یا اگر زمان انتظار به‌علت عدم موجودی کالا افزایش یابد بهترین گزینه جهت کاهش هزینه‌ی کل استفاده از سیاست سفارش‌دهی (s, S) است. نتایج بحث و تحلیل به‌صورت خلاصه در جدول ۵ ارائه شده است.

۲.۴. پویایی زنجیره‌ی تأمین از جهت اثر شلاقی

نتایج تجزیه و تحلیل واریانسِ اثر شلاقی مطابق جدول ۶ نشان می‌دهد که مدل اثر شلاقی از نظر آماری معنادار است (P value: < ۰٫۰۰۰۱)، در صورتی که عدم برازش معنی‌دار نیست (P> ۰٫۰۵). این موارد نشان می‌دهد که مدل طرح به‌قدرکافی روی داده‌های آزمایش برازش دارد. از طرفی ضریب تعیین ($R^2 = ۰٫۹۶۱۴$) نشان می‌دهد که تنها ۳٫۸۶٪ اثر شلاقی توسط عوامل مورد نظر تفسیر نمی‌شود. برمبنای ارزش P مشخص می‌شود که عوامل الگوی تقاضا (x_1)، سیاست سفارش‌دهی (x_2)، به اشتراک‌گذاری اطلاعات (x_3)، تعامل الگوی تقاضا و سیاست سفارش‌دهی (x_1x_2)، تعامل الگوی تقاضا و به اشتراک‌گذاری اطلاعات (x_1x_3) بر اثر شلاقی مؤثر است. اما عاملِ زمان انتظار (x_4) به‌علت معنی‌دار نبودن ($P = ۰٫۳۷۰۳$) بر اثر شلاقی بی‌تأثیر است، لذا از جدول ۶ حذف شده است.

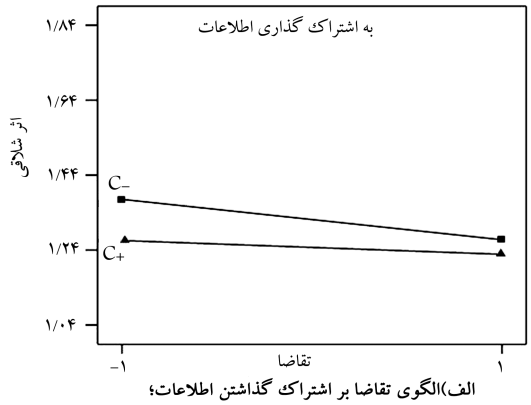
از طرفی با توجه به ستون ضریب تعیین جزیی، سهم نسبی هر عامل مشخص می‌شود. به‌این صورت که در محاسبه‌ی اثر شلاقیِ زنجیره‌ی تأمین، به‌ترتیب عامل‌های سیاست سفارش‌دهی، به اشتراک‌گذاری اطلاعات و الگوی تقاضا حائز اهمیت‌اند. در شکل ۳الف تعامل دو عامل الگوی تقاضا و به‌اشتراک‌گذاری اطلاعات نشان می‌دهد زمانی که تقاضا قطعی باشد، برای کاهش اثر شلاقی باید اطلاعات تقاضا

جدول ۶. تجزیه و تحلیل واریانس اثر شلاقی.

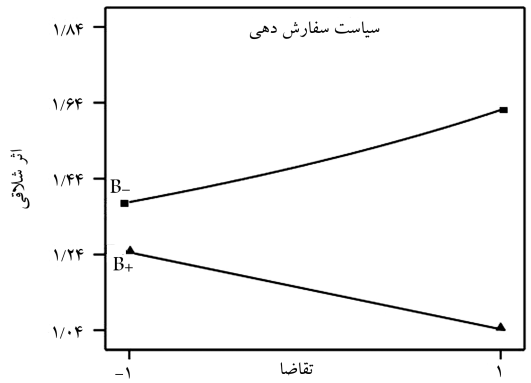
منبع تغییر	مجموع مربعات	درجات آزادی	میانگین مربعات	مقدار- F	Prob>F	ضریب تعیین جزئی
x_1	۰/۰۴۹	۱	۰/۰۴۹	۲۲/۷۲	< ۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۲۵
x_2	۰/۹۰	۱	۰/۹۰	۴۱۴/۸۸	< ۰/۰۰۰۱	۰/۶۳۹۶
x_3	۰/۰۳۰	۱	۰/۰۳۰	۱۳/۶۹	۰/۰۰۱۰	۰/۰۳۲۷
x_1x_2	۰/۴۲	۱	۰/۴۲	۱۹۱/۶۹	< ۰/۰۰۰۱	۰/۲۸۲۲
x_1x_3	۰/۰۱۱	۱	۰/۰۱۱	۵/۱۵	۰/۰۳۱۸	۰/۰۰۴۱
مدل	۱/۴۱	۵	۰/۲۸	۱۲۹/۶۳	< ۰/۰۰۰۱	
عدم برازش	۰/۰۲۵	۱۰	۰/۰۰۲۵	۱/۲۹	۰/۳۱۴۲	
باقیمانده	۰/۰۵۷	۲۶	۰/۰۰۲۱			
خطای محض	۰/۰۳۱	۱۶	۰/۰۰۱۹			
کل	۱/۴۷	۳۱				

جدول ۷. نتایج اثر شلاقی حاصل از تعاملات عامل‌ها.

عامل		الگوی تقاضا	
		قطعی	احتمالی
سیاست سفارش‌دهی	(s, S)	۱/۳۷۷	۱/۶۲۱
	(s, Q)	۱/۲۶۴	۱/۰۶۲
به اشتراک‌گذاری اطلاعات	با اطلاعات	۱/۲۶۹	۱/۲۳۳
	بدون اطلاعات	۱/۳۷۲	۱/۲۵۳



الف)الگوی تقاضا بر اشتراک گذاشتن اطلاعات؛



ب)الگوی تقاضا بر سیاست سفارش دهی.

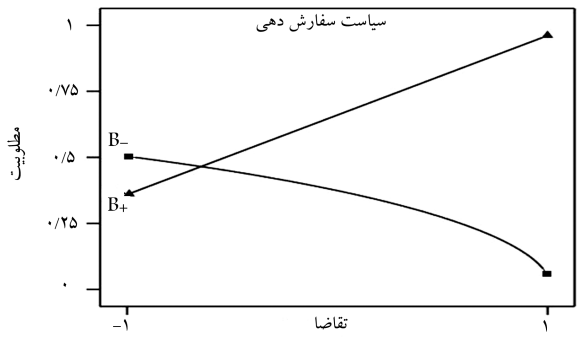
شکل ۳. اثر تعاملی عامل‌ها.

در بین تمام اعضای زنجیره به اشتراک گذاشته شود. اما زمانی که تقاضا احتمالی باشد، به اشتراک‌گذاری اطلاعات در بین سطوح، تأثیر بسیار اندکی بر کاهش اثر شلاقی دارد. بنابراین می‌توان به‌نوعی نتیجه گرفت که استفاده از اتحادهای راهبردی مانند مدیریت موجودی توسط فروشنده[5] زمانی که تقاضا پله‌یی باشد، مؤثرتر است. از طرفی دیگر تعامل الگوی تقاضا با سیاست سفارش‌دهی در شکل ۳ب نشان می‌دهد زمانی که تقاضا قطعی باشد، تعیین نوع سیاست سفارش‌دهی در کاهش اثر شلاقی چندان مؤثر نیست؛ در صورتی که اگر تقاضا احتمالی باشد، تعیین نوع سیاست سفارش‌دهی در کاهش اثر شلاقی بسیار بحرانی است. به‌این معنا که اگر سیاست (s, S) توسط همه‌ی اعضای زنجیره‌ی تأمین مورد استفاده قرار گیرد، اثر شلاقی برابر ۱/۶۲ و اگر (s, Q) باشد، اثر شلاقی برابر ۱/۰۶ خواهد شد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در مواقعی که تقاضا قطعی یا احتمالی باشد برای کاهش اثر شلاقی، تمامی اعضای زنجیره باید از سیاست سفارش‌دهی (s, Q) استفاده کنند. این تصمیم مخالف زمانی است که اعضای زنجیره برای کاهش هزینه‌ی کل باید از سیاست سفارش‌دهی (s, S) پیروی کنند. این تحلیل نشان می‌دهد اگر تقاضا متغیر (توزیع نرمال) باشد، نسبت به حالتی که تقاضا پله‌یی است زنجیره‌ی تأمین را از نظر اثر شلاقی بیشتر تهدید می‌کند. نتایج بحث و تحلیل به‌صورت خلاصه در جدول ۷ ارائه شده است.

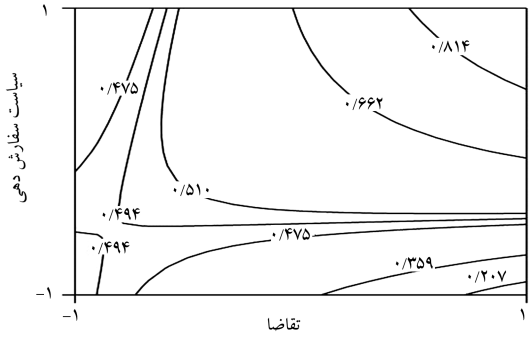
۳.۴. تجزیه و تحلیل حساسیت

چنان که پیش‌تر گفته شد، کاهش پویایی زنجیره‌ی تأمین در گرو کاهش همزمان هزینه‌ی کل و اثر شلاقی است، درصورتی که نتایج حاصل از کاهش هزینه‌ی کل (تعامل الگوی تقاضا و سیاست سفارش‌دهی) با کاهش اثر شلاقی هم‌جهت نیستند. بنابراین در زنجیره‌ی تأمین، عوامل باید به‌گونه‌یی انتخاب شوند که در راستای کاهش پویایی، دو هدف هزینه‌ی کل و اثر شلاقی به‌طور همزمان کاهش یابند. در این راستا با ثابت در نظرگرفتن عامل زمان انتظار در سطح پایین (صرفاً تأثیرگذار در کاهش هزینه‌ی کل) و به اشتراک‌گذاری اطلاعات در سطح بالا (صرفاً تأثیرگذار در کاهش اثر شلاقی) می‌توان ترکیباتی از عامل‌ها را در نظرگرفت، به‌گونه‌یی که مطابق رابطه‌ی ۲، با در نظرگرفتن اهمیت یکسان در کاهش همزمان هزینه‌ی کل و اثر شلاقی، و حدود کمینه و بیشینه‌ی آن‌ها با توجه به اعداد جداول ۲ و ۳، میزان مطلوبیت آن‌ها بیشینه شود.

با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود زمانی‌که الگوی تقاضا در سطح پایین (قطعی) باشد، بیشترین میزان مطلوبیت زنجیره زمانی است که سیاست سفارش‌دهی



الف)نمودار تعاملی؛



ب) نمودار کنتور.

شکل ۴. میزان مطلوبیت تعامل الگوی تقاضا و سیاست سفارش‌دهی.

جدول ۸. نتایج مطلوبیت، هزینه‌ی کل و اثر شلاقی حاصل از ترکیبات عوامل.

عامل		سیاست سفاش‌دهی	زمان انتظار	به اشتراک‌گذاری اطلاعات	میزان مطلوبیت	هزینه‌ی کل	اثر شلاقی
الگوی تقاضا	قطعی	(s, S)	کوتاه	با اطلاعات	۰٫۵۰۴	۲۶۷۰٫۴	۱٫۳۲۱
		(s, Q)	کوتاه	با اطلاعات	۰٫۳۶۵	۴۱۴۱٫۵	۱٫۲۲۳
	احتمالی	(s, Q)	کوتاه	با اطلاعات	۰٫۹۶۵	۲۳۴۵٫۵	۱٫۰۵۷
		(s, S)	کوتاه	با اطلاعات	۰٫۰۵۵	۲۴۱۰٫۳	۱٫۵۹۶

توسط اعضای زنجیره (s, S) انتخاب شود. این در حالی است که اگر تقاضا در سطح بالا (احتمالی) باشد، بیشترین میزان مطلوبیت زنجیره زمانی است که سیاست سفارش‌دهی توسط اعضای زنجیره (s, Q) انتخاب شود. در جدول ۸ خلاصه‌یی از میزان مطلوبیت، هزینه‌ی کل و اثر شلاقی در حالت‌های مختلف ارائه شده است.

۵. نتیجه‌گیری

در این تحقیق، آثار عوامل الگوی تقاضا، زمان انتظار، سیاست سفارش‌دهی و به اشتراک‌گذاری اطلاعات بر پویایی زنجیره‌ی تأمین چهارسطحی مورد بررسی قرار گرفت. این زنجیره‌ی چندسطحی توسط مدل بسیار معروف توزیع نوشیدنی مشخص شده است. در این راستا بعد از جمع‌آوری اطلاعات حاصل از انجام بازی، در تجزیه و تحلیل واریانس مشخص شد که عامل‌های به اشتراک‌گذاری اطلاعات در هزینه‌ی کل و زمان انتظار در اثر شلاقی هیچ تأثیری ندارد. لذا می‌توان به‌منظور رسیدن به هر دو هدف، عامل‌های به اشتراک‌گذاری اطلاعات در سطح بالا برای کاهش اثر شلاقی، و زمان انتظار در سطح پایین برای کاهش هزینه‌ی کل را ثابت در نظرگرفت. از طرفی نتایج تجزیه و تحلیل‌ها نشان می‌دهد کاهش همزمان هزینه‌ی کل و اثر شلاقی منجر به اتخاذ عوامل در سطوحی می‌شود که با هم سازگاری ندارند. بنابراین با محاسبه‌ی مطلوبیت حاصل از ترکیبات مختلف عوامل در راستای کاهش همزمان هزینه‌ی کل و اثر شلاقی مشخص شد، زمانی که الگوی تقاضا قطعی یا احتمالی باشد برای کاهش همزمان دو هدف با بیشترین مطلوبیت، اعضای زنجیره باید به‌ترتیب از سیاست سفارش‌دهی (s, S) و (s, Q) استفاده کنند. از طرف دیگر، مطابق جدول ۸ با مقایسه‌ی نوع تقاضا در دو سیاست سفارش‌دهی، مشخص می‌شود زمانی که الگوی تقاضا قطعی باشد پویایی زنجیره به سوی کاهش هزینه‌ی کل هدایت می‌شود؛ یعنی در این نوع تقاضا، هزینه اهمیت بالاتری نسبت به اثر شلاقی دارد. در صورتی که اگر تقاضا احتمالی باشد پویایی زنجیره به سوی کاهش اثر شلاقی هدایت می‌شود که در این نوع تقاضا، اثر شلاقی اهمیت بالاتری نسبت به هزینه‌ی کل دارد.

پانوشت‌ها

1. Forrester Effect
2. POS
3. deterministic
4. random normal
5. vendor managed inventory

منابع (References)

1. Simchi-Levi, D., Kaminsky, P. and Simchi-Levi, E., *Designing and Managing the Supply Chain*, McGraw-Hill, New York (2003).

2. Brian Hwarng, H. and Xie, N. "Understanding supply

chain dynamics: A chaos perspective", *European J. of Operational Research,* **184**, pp. 1163-1178 (2008).

3. Zipkin, P.H., *Foundations of Inventory Management*, McGraw-Hill, New York, USA (2000).
4. Jarmain, W.E., *Problems in Industrial Dynamics*, MIT Press, Cambridge (1963).
5. Lee, H.L., Padmanabhan, V. and Whang, S.J. "Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect", *Management Science,* **43**, pp. 546-558 (1997a).
6. Lee, H.L., Padmanabhan, V. and Whang, S.J. "The bullwhip effect in supply chains", *Sloan Management Review,* **38**, pp. 93-102 (1997b).
7. Chen, F., Drezner, Z., Ryan, J.K. and Simichi-Levi, D. "Quantifying the bullwhip effect in a single supply chain: The impact of forecasting, lead times, and information", *Management Science,* **46**, pp. 436-443 (2000).
8. Treville, S., Shapiro, R.D. and Hameri, A.P. "From supply chain to demand chain: The role of lead time reduction in improving demand chain performance", *J. of Operations Management,* **21**, pp. 613-627 (2004).
9. Oke, A. and Szwejczewski, M. "The relationship between UK manufacturers' inventory levels and supply, internal and market factors", *Int. J. of Production Economics,* **93-94**, pp. 151-160 (2005).
10. Forrester, J.W., *Industrial Dynamics*, MIT Press, Cambridge (1961).
11. Sterman, J.D. "Modeling managerial behavior: Misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment", *Management Science*, **35**, pp. 321-339 (1989).
12. Simchi-Levi, D. and Zhao, Y. "The value of information sharing in a two-stage supply chain with production capacity constraints", *Naval Research Logistics,* **50**, pp. 888-916 (2003).
13. Zhao, X.D., Xie, J.X. and Leung, J. "The impact of forecasting model selection on the value of information sharing in a supply chain", *European J. of Operational Research,* **142**, pp. 321-344 (2002).
14. Steckel, J.H., Gupta, S. and Banerji, A. "Supply chain decision making: Will shorter cycle times and shared point-of-sale information necessarily help?", *Management Science,* **50**, pp. 458-464 (2004).
15. Croson, R. and Donohue, K. "The impact of POS data sharing on supply chain management: An experimental study", *Production and Operations Management,* **12**, pp. 1-11 (2003).
16. Steckel, J.H., Sunil, G. and Anirvan, B. "Supply chain decision making: Will shorter cycle times and shared point-of-sale information necessarily help?", *Management Science,* **50**, pp. 458-464 (2004).
17. Thomsen, J.S., Mosekilde, E. and Sterman, J.D. "Hyperchaotic phenomena in dynamic decision making", *System Analysis and Modeling Simulation,* **9**, pp. 137-156 (1992).
18. Sosnovtseva, O. and Mosekilde, E. "Torus destruction and chaos–chaos intermittency in a commodity distribution chain", *Int. J. of Bifurcation and Chaos,* **7**, pp. 1225-1242 (1997).
19. Lorenz, E.N. "Deterministic non periodic flow", *J. of the Atmospheric Sciences,* **20**, pp. 130-141 (1963).
20. Montgomery, D.C., *Design and Analysis of Experiments*, 4th edn, Wiley, New York (1997).
21. Derringer, G. and Suich, R. "Simultaneous optimization of several response variables", *J. of Quality Technology,* **12**, pp. 214-219 (1980).