مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (تابستان ۱۳۹۸)
دوره‌ی ۱-۳۵، شماره‌ی ۱/۱، ص. ۸۱-۹۰

Original Article

شبیه‌سازی زنجیره‌ی تأمین چندسطحی کسب و کارهای دارای محصولات زوال‌پذیر با در نظرگرفتن اثر وفاداری مشتریان

شیرین کریمی (کارشناسی ارشد)
سید محمد حاجی مولانا * (استادیار)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه علوم تحقیقات، تهران
سید مجتبی سجادی (دانشیار)
دانشکده‌ی کار آفرینی، دانشگاه تهران

در دنیای امروز هدف نهایی بسیاری از کسب و کارها کاهش هزینه‌هاست. در سیستم زنجیره‌ی تأمین نیز کمینه کردن هزینه‌ها مورد توجه است. تعیین وزن اولیه‌ی مناسب برای بسته‌بن دی کالاهای زوال پذیر و تعیین سطح موجودی مناسب در زنجیره‌ی تأمین چندسطحی برای کمینه کردن هزینه‌ها، متغیرهای تصمیم این مسئله هستند. کالای مورد بررسی، بسته‌یی زوال پذیر تدریجی است که توسط تأمین کننده با مقداری بیش از واحد ارسال می‌شود. این پژوهش بر اساس مطالعه‌ی موردی داده‌های یک شرکت مواد شوینده است. برای یافتن نقاط بهینه از روش جستجوی همسایه و نیز زیر برنامه‌ی بهینه‌سازی نرم‌افزار ARENA استفاده و به بررسی رفتار متغیرهای تصمیم پرداخته شده است. با استفاده از طول دوره و تعداد تکرار بهینه، سطح‌های بهینه برای خرده‌فروش‌ها و توزیع کننده و مقدار مازاد محاسبه شد. در نهایت کمترین هزینه برای یک واحد کالا و مقدار اضافی مورد نیاز برای کالا با در نظرگرفتن فرض‌های مشخص محاسبه شده‌اند.

واژگان کلیدی: شبیه‌سازی، زنجیره‌ی تأمین چندسطحی، کالای زوال پذیر، کمبود، وفاداری مشتریان.

shirinkarimi@srbiau.ac.ir
molana@srbiau.ac.ir
msajadi@ut.ac.ir

۱. مقدمه

تلاش برای کنترل و مدیریت سیستم‌های موجودی منجر به پیدایش مدل‌ها و تحلیل‌های گوناگونی شده است. از سوی دیگر دغدغه‌های مربوط به هزینه‌های سیستم‌های موجودی در دنیای واقعی از جانب صاحبان صنایع باعث سوق علوم ریاضی، اقتصاد و مهندسی برای حل بهینه‌ی این‌گونه مدل‌ها شده است. با توجه به نیاز دنیای امروز بررسی مدل‌های موجودی با فرض تغییرپذیری ماهیت فیزیکی و شیمیایی مواد بسیار مهم است. موادی که در گذر زمان از لحاظ کیفی یا کمی دچار زوال می‌شوند. در این قسمت به بررسی پژوهش‌های موجود در دو بخش پژوهش‌های تحلیلی و پژوهش‌های شبیه‌سازی پرداخته می‌شود.

۱.۱. پژوهش‌های تحلیلی

با توجه به اهمیت موضوع مدیریت زنجیره‌های تأمین، پژوهش‌های گوناگونی تاکنون صورت گرفته است. پژوهش‌های موجود با فرض‌های گوناگون برای ایجاد شرایط دنیای واقعی انجام شده است. لی و همکارانش[۱] پژوهش‌های انجام شده‌ی گذشته را بررسی کرده و توسعه داده‌اند. صدرآبادی و همکاران[۲] یک مدل کنترل موجودی دوسطحی ارائه دادند که سیاست (R, Q) را در هر سطح برای هر قطعه یدکی غیرتعمیری در نظر می‌گیرد. سرکار و همکاران[۳] به بررسی مدل تولید - موجودی با در نظرگرفتن زوال احتمالی در مدیریت زنجیره‌ی تأمین دوسطحی پرداختند. آنها برای یافتن کمترین هزینه از روشی جبری استفاده کردند. الشمرانی[۴] به بررسی کنترل بهینه‌ی مدلی تصادفی از موجودی - تولید با کالاهای زوال پذیر با نرخ زوال قطعی پرداخت. وی در مدلش از فرایند وینر که یک فرایند تصادفی زمان پیوسته است، استفاده کرد.

علیزاده و همکاران[۵] یک سیستم موجودی را با اقلام فسادپذیر، با زمان تدارک غیرصفر و تقاضای تصادفی راکه در آن کمبود مجاز و تقاضای برآورده نشده به صورت انباشته است، بررسی کردند. قیامی و همکاران[۶] مدل موجودی - تولید دوسطحی را برای اقلام زوال پذیر با چند خریدار بررسی کردند. در سیستم موجودی -تولید تولیدکننده اقلام را با نرخی تولید می‌کند و سفارش‌های مشتریان را در فواصل

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۶/۱/۱۹، اصلاحیه ۱۳۹۶/۷/۹، پذیرش ۱۳۹۶/۷/۱۸.
DOI:10.14200/J65.2019.6985.1639

زمانی مشخص ارسال می‌کند. مازاد موجودی برای تحویل‌های بعدی ذخیره می‌شود. طالعی زاده و همکاران[۷] سیستمی را بررسی کردند که در آن زمان مراجعه نماینده‌ی فروش به خریدار یک متغیر تصادفی است. در واقع مدل میزان سفارش اقتصادی تحت سه شرط تصادفی بودن مدت تحویل، لحاظ کردن سیاست پرداخت معوقه و فسادپذیری کالا توسعه یافت. تعیین سقف موجودی خرید به لحاظ بیشینه کردن سود هدف بررسی آنها بود.

مولانا[۸] برای کمینه کردن هزینه‌های مورد انتظار و تعیین سود سیستم موجودی دوسطحی، از طریق حل ریاضی توانست پارامترهای بهینه‌ی موجودی و اندازه‌ی مورد نیاز بسته‌ی زوال پذیر را بر اساس داده‌های یک شرکت مواد شوینده مشخص کند. از سوی دیگر سجادی و همکاران[۹] با استفاده از روش بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی به بررسی چگونگی کنترل تولید پرداختند.

۲.۱. پژوهش‌های شبیه‌سازی

از طرفی پژوهش‌های شبیه‌سازی نیز به بررسی این گونه سیستم‌ها پرداخته‌اند. طبق گفته‌ی فرین[۱۰] یک مدل حالت کوچکی از یک سیستم پیچیده‌ی واقعی با مفهوم حقیقی است. هدف اصلی مدل‌های شبیه‌سازی فراهم آوردن بنیانی برای پیش‌بینی رفتار سیستم است. به طور کلی شبیه‌سازی زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که به علت پیچیدگی سیستم مورد نظر استفاده از روش‌های تحلیلی غیرعملی است.

شبیه‌سازی در حقیقت آزمایش کردن یک سیستم واقعی با مدل است. زیرا آزمایش کردن روی یک سیستم واقعی مشکلات زیادی در پی دارد.[۱۱] ویرا[۱۲] ایده‌هایی را برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی با استفاده از ارنا ارائه کرد. او اثر شلاق چرمی را در زنجیره‌ی تأمین، که ناشی از تغییرات تقاضا از نقطه‌ی فروش به تأمین‌کننده است، بررسی کرد. این پدیده ابتدا در مطالعات جی فارستر[۱۳] بررسی شد و به همین علت با عنوان اثر فارستر نیز شناخته می‌شود. شبیه‌سازی با ارنا مؤثرترین فنّاوری در عرصه‌ی فنّاوری جهان برای مدل‌های شبیه‌سازی سیستم‌های تولید، حمل‌ونقل، تدارکات، انبارداری و پردازش کسب و کار است.[۱۴]

وانگ[۱۵] مدل‌سازی مبتنی بر ماژولِ سیستم‌های تولید و توزیع را با توجه به حمل‌ونقل بررسی کرد. وی روش مدل‌سازی مبتنی بر ماژول را برای تجزیه و تحلیل سیستم‌های تولید - توزیع با استفاده از شبیه‌سازی گسسته - پیشامد با ARENA ارائه کرد. وان جی[۱۶] به شبیه‌سازی برای بهینه‌سازیِ سیستم موجودی با استفاده از ARENA و OptQuest پرداخت. وی مسئله‌ی بهینه‌سازی شبیه‌سازی را برای سیستم موجودی که دارای سیاست (s, S) و زمان تدارک تصادفی و محدودیت سطح خدمات است، بررسی کرد.

جک هیا[۱۷] به بررسی ارتباط هزینه‌ها در سیستم‌های موجودی احتمالی پرداخت. وی مدل شبیه‌سازی با سیاست موجودی پایه و مرور دوره‌یی را بررسی کرد.

جیانگ و روزتی[۱۸] به بررسی تأثیر صف، مقدار تأمین نشده‌ی کالا و حجم انبار در شبکه‌ی موجودی چندسطحی پرداختند. این مطالعه بر جریان‌های حجم سفارش‌های عقب افتاده و حجم انباری که بازپرسازی را انجام می‌دهد، تمرکز دارد.

تی-سای و چنگ[۱۹] الگوریتم بهینه‌ی شبیه‌سازی را برای حل موضوع با محدودیت موجودی ارائه کردند. هدف از مطالعه‌ی آنها تصمیم‌گیری در مورد انتخاب بهترین سطح موجودی برای کمینه کردن هزینه‌های سرمایه‌ی موجودی با لحاظ زمان پاسخ مورد انتظار در هر سطح خدمت است. بتس[۲۰] با استفاده از مدل شبیه‌سازی ترکیبی هزینه‌های یک سیستم تولیدی تک‌کالایی با محدودیت ظرفیت را کاهش داد. یونفی چو و همکارانش[۲۱] چارچوبی برای شبیه‌سازی با رویکرد بهینه‌سازی برای سیستم‌های توزیع موجودی چندسطحی واگرا با لحاظ عدم قطعیت تقاضا و سیاست سفارش‌دهی (R, Q) ارائه کرده‌اند. پرسش بهینه‌سازی به وسیله‌ی الگوریتم صفحه‌ی برش حل شده است.

در این پژوهش به بررسی یک سیستم موجودی چندسطحی که شامل تأمین کننده‌ها، توزیع‌کننده‌ها و خرده‌فروش‌هاست، پرداخته شده است. کالاهای مورد بررسی زوال پذیر تدریجی هستند و در طول زمان حمل و ذخیره‌سازی دچار زوال می‌شوند. تعیین مقدار اضافی بسته، یکی از چالش‌های پیش‌روی سیستم زنجیره‌ی تأمین است. متغیرهای تصمیم در این مطالعه شامل تعیین وزن ابتدایی کالا برای مدیریت تعهد تحویل واحد و تعیین سطح موجودی مناسب برای مدیریت مناسب هزینه‌های زنجیره تأمین هستند. حل ریاضی و تحلیلی این سیستم با داده‌های یک شرکت مواد شوینده وجود دارد.[۲۲] با توجه به محدودیت‌های مدل‌های ریاضی امکان تغییر در پارامترهای مدل لزوم ایجاد مدل جدید را ایجاب می‌کند. اما در شبیه‌سازی ایجاد تغییرات به بازنویسی مجدد مدل نیازمند نیست.

در این مطالعه از طریق شبیه‌سازی به بررسی رفتار متغیرهای تصمیم با توجه به تابع هدف که به کمینه‌کردن هزینه‌های کل سیستم است، پرداخته شده است. با توجه به مثال عددی موجود در این زمینه پارامترها، زمان‌های حمل و نرخ ورودهای مثال عددی مشخص هستند. همچنین با توجه به انعطاف شبیه‌سازی، بررسی و مطالعه‌ی حالت‌هایی که از طریق مدل‌سازی ریاضی بسیار پیچیده‌اند، امکان‌پذیر شده است. نتیجه‌های شبیه‌سازی حاصل شده از طریق نرم‌افزار استفاده شده بهینه‌سازی شده است. این تحقیق به لحاظ کاربرد شبیه‌سازی برای بررسی حالت‌های خاص در نظر گرفته شده دارای اهمیت است. از طرفی در این مطالعه به‌کارگیری عدم قطعیت و نیز حالت فروش ازدست رفته بررسی شده است. اثر اعمال سیاست وفاداری مشتریان به خرده‌فروش‌ها و سیستم ارزیابی شد و در نهایت کمترین هزینه برای یک واحد کالا و مقدار اضافی مورد نیاز برای کالا با در نظرگرفتن فرض‌های مشخص محاسبه و نتیجه گیری‌های لازم به دست آمده است.

۲. بیان مسئله

یکی از مهم‌ترین موضوع‌ها در مدیریت زنجیره‌ی تأمینِ کالاهای زوال پذیر انتخاب وزن اولیه‌ی مناسب برای بسته‌بندی کالاهاست تا بتوان از ایجاد مشکل کسر از واحد که منجر به تحمیل هزینه‌های مازاد به سیستم می‌شود، جلوگیری کرد. در این راستا مطالعه‌های انجام شده حاکی از آن است که مدل ریاضی مشخصی در این زمینه موجود است. اما با توجه به محدودیت‌هایی که مدل‌های ریاضی را در بر می‌گیرند، انتخاب و استفاده از روشی کارامد که هم بتواند محدودیت‌های حالت‌ها را برای مدل کردن سیستم کاهش دهد و هم سیستم را در حالت‌های گوناگونی از عدم قطعیت بالا بررسی کند، مهم به نظر می‌آید. در این مطالعه زنجیره‌ی تأمین دوسطحی مد نظر است. سیستمی که شامل تأمین‌کننده، توزیع‌کننده، و خرده‌فروش‌هاست. کالا به میزان نامحدود در اختیار تأمین‌کننده قرار دارد. توزیع‌کننده نیز مانند واسطه‌یی عمل می‌کند که کالاها را از تأمین‌کننده به خرده‌فروش‌ها منتقل می‌کند. کالاها در دو سطح شامل سطح توزیع‌کننده و خرده‌فروش‌ها انبار می‌شوند. به عبارتی سیستم مورد بررسی دوسطحی است. مشتری‌ها برای تأمین کالاهای خود به خرده‌فروش‌ها مراجعه می‌کنند. نرخ ورود مشتری‌های تصادفی و با احتمال مشخص پواسون تعریف می‌شود. الگوی ورود مشتری‌های از تابع توزیع تصادفی مشخص نمایی استفاده می‌کند. بر اساس سیاست سفارش‌دهی مورد بررسی،

سیاست موجودی پایه یا همان سیاست $(S-1,S)$، به محض ورود یک مشتری خرده‌فروش دو کار انجام می‌دهد. یکی این‌که به بالادستی خود یعنی توزیع‌کننده سفارش کالا می‌دهد و دیگر این‌که کالای مورد نیاز مشتری را تأمین می‌کند. در صورت وجود کالا خرده‌فروش تقاضای موجود را پاسخ می‌دهد. هزینه‌هایی که در این حالت به سیستم تحمیل می‌شود شامل هزینه‌ی نگه‌داری و احتمالاً کسر از واحد کالاست. اگر سطح موجودی برای پاسخگویی به نیاز مشتری کافی نبود، تقاضای موجود پس‌افت[1] می‌شود و مشتری تا زمان رسیدن کالا منتظر می‌ماند. کالاهای پس‌افت شده با توجه به زمان حمل هرسطح پس از مدت زمانی به خرده‌فروش می‌رسند. در این حالت خرده‌فروش با توجه به سیاست اولین - وارد شونده، اولین - خارج شونده تقاضای مشتری‌های را پاسخ می‌دهد. اما با توجه به مدت انتظاری که مشتری برای دریافت کالای خود منتظر مانده است با ضریب مشخصی از خرده‌فروش خسارت دریافت می‌کند. در سطح توزیع‌کننده نیز زمانی که سفارشی از خرده‌فروش می‌رسد در صورت امکان تأمین، هم‌زمان سفارشی به بالادستی آن یعنی تأمین‌کننده ارسال می‌شود. در صورتی که سطح موجودی توزیع‌کننده پاسخگوی نیاز خرده‌فروش نباشد، سفارش خرده‌فروش تا زمانی که امکان ارسال و تحویل آن ایجاد شود، باقی می‌ماند. به محض افزایش سطح موجودی توزیع‌کننده سفارش پس‌افت شده‌ی خرده‌فروش‌ها به ترتیب پاسخ داده می‌شود. با توجه به سطح نامحدود موجودی تأمین‌کننده تقاضای توزیع‌کننده به سرعت ارسال می‌شود. نکته‌ی دارای اهمیت در این سیستم وجود نرخ‌های متفاوت زوال در سطح‌های گوناگون است. به این معنی که زوال در زمان‌های حمل از انبار تأمین‌کننده به توزیع‌کننده و از توزیع‌کننده به خرده‌فروش‌ها و در زمان‌های انبارش در انبارهای توزیع‌کننده و خرده‌فروش‌ها روی می‌دهد. نرخ زوال در نظر گرفته شده برای هر سطح متفاوت اما ثابت است.

۳. مدل شبیه‌سازی

با این‌که در این رابطه مدل ریاضی توسعه یافته است، ضرورت افزایش عدم قطعیت و بررسی حالت‌های گوناگون از جمله سیاست وفاداری مشتریان برای ایجاد وضعیتی نزدیک‌تر به دنیای واقعی وجود دارد. با توجه به وجود نیاز به فرض‌های محدودکننده در روش حل ریاضی، می‌توان با استفاده از شبیه‌سازی برای گسترش مدل‌های موجود اقدام کرد. در این مطالعه مدل مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی ARENA بررسی و گسترش یافت.

۱.۳. فرض‌های شبیه‌سازی

- در پژوهش شبیه‌سازی فرض‌هایی با توجه به کارکرد مدل شبیه‌سازی با نرم‌افزار ارنا در نظر گرفته شده است. نرخ زوال ثابت در نظر گرفته می‌شود. تقاضای مشتری‌های در خرده‌فروش به صورت تصادفی است و عدم قطعیت را ایجاد می‌کند.
- یک توزیع‌کننده که کالای خود را از یک تأمین‌کننده‌ی خارجی سیستم بدون محدودیت کالا تأمین می‌کند.
- سه خرده‌فروش کالای خود را از یک توزیع‌کننده با سطح موجودی مشخص تأمین می‌کنند.
- سیاست سفارش‌دهی مورد استفاده درسطح خرده‌فروش‌ها و توزیع‌کننده $(S-1,S)$ است.
- کالا در محل تأمین‌کننده در بسته‌هایی با وزن واحد بسته‌بندی می‌شود و توزیع‌کننده اجازه‌ی تغییر بسته‌بندی را ندارد.
- زمان تدارک در نظر گرفته نشده است و به محض دریافت سفارش، در صورت موجود بودن کالا سفارش ارسال خواهد شد.
- الگوی ورود مشتری‌های تابع توزیع نمایی در نظر گرفته شده است.
- درصدی از تقاضا در صورت عدم‌تأمین توسط یک خرده‌فروش به خرده‌فروش‌های دیگر ارجاع داده می‌شود.
- درصدی از کمبود کالا به صورت فروش از دست رفته لحاظ می‌شود.
- خدمت رسانی به مشتری‌های به صورت FCFS[2] است و کالا از انبار با سیاست FIFO [3] خارج می‌شود.
- موجودی اولیه‌ی انبارها برابر با سطح موجودی آن‌هاست.
- مقدار موجودی اولیه‌ی کالاهای موجود در انبار توزیع‌کننده فقط با زوال حمل از انبار تأمین‌کننده تا توزیع‌کننده مواجه است و هیچ زوال انبارشی برای موجودی‌های اولیه در لحظه‌ی صفر در نظر گرفته نشده است.
- مقدار موجودی اولیه‌ی کالاهای موجود در انبار خرده‌فروش فقط با زوال حمل از انبار تأمین‌کننده تا خرده‌فروش مواجه است و هیچ زوال انبارشی برای موجودی‌های اولیه در لحظه‌ی صفر در نظر گرفته نشده است.
- موقعیت موجودی برای سیستم ثابت فرض شده است.
- به محض سفارش کالا به بالادستی صرف‌نظر از موجود یا عدم موجود بودن کالا، موجودی در راه یک واحد افزایش می‌یابد.
- هزینه به ازای واحد کالا به صورت نسبت هزینه‌ی کل به تعداد سفارش‌های خارج شده از سیستم محاسبه می‌شود.
- هزینه‌ی پس‌افت پس از تحویل کالا به مشتری محاسبه می‌شود. هزینه‌ی زوال به ازای تمام کالاهای خارج شده از سیستم محاسبه می‌شود.
- از زمان و هزینه‌ی تدارک در سیستم صرف‌نظر شده است.
- در سطح تأمین‌کننده از زوال و هزینه‌ی انبارش صرف‌نظر شده است.
- واحد زمانی در نظر گرفته شده در شبیه‌سازی، برای افزایش دقت، دقیقه است.
- هزینه‌ی فروش ازدست رفته به صورت ۲۰ درصدِ قیمت کالا در نظر گرفته شده است.

متغیرهای تصمیم مسئله عبارت اند از:

β مقدار اضافه در بسته

S سطح موجودی

پارامترهای مسئله به صورت زیر هستند:

δ_i نرخ زوال در مدت حمل از انبار تأمین کننده تا انبار توزیع‌کننده و نیز در مدت حمل از انبار توزیع‌کننده تا انبار خرده‌فروش‌ها

θ_i در مدت انبارش در انبار توزیع‌کننده و خرده‌فروش‌ها

l_0 زمان حمل کالا از انبار تأمین کننده به انبار توزیع‌کننده

l_i زمان حمل کالا از انبار توزیع‌کننده به انبار خرده‌فروش‌ها

λ نرخ فرایند پواسون مراجعه‌ی مشتری‌ها در زمان تصادفی به خرده‌فروش‌ها

جدول ۱. مقدار پارامترهای مثال عددی.

پارامتر / اندیس انبار	li	λi	hi	δi	θi	P	ω_1	ω_2
۰	۳	-	۰/۱۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱۳	۱۰۰	۱۵	۷۰
۱	۰/۵	۵	۰/۴	۰/۰۰۶۵	۰/۰۰۳			
۲	۲	۳	۰/۲	۰/۰۰۸۵	۰/۰۰۵			
۳	۱	۲	۰/۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲			

ω_1 ضریب غرامت به مشتری به ازای هر واحد زمان انتظار برای سفارش‌های پس‌افت

ω_2 ضریب غرامت خرده‌فروش به ازای وزن کسر از واحد به مشتری

h هزینه‌ی انبارش هر بسته کالا در واحد زمان در انبار خرده‌فروش

p قیمت خرید هر واحد کالا از توزیع‌کننده واحد

i شمارنده‌ی خرده‌فروش

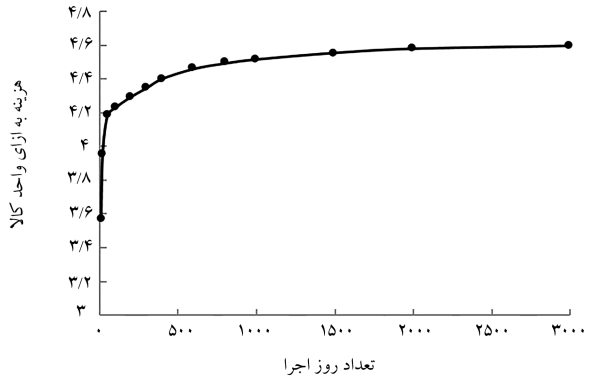
C_D هزینه‌ی زوال کالا

C_s هزینه انبارش کالا در انبار

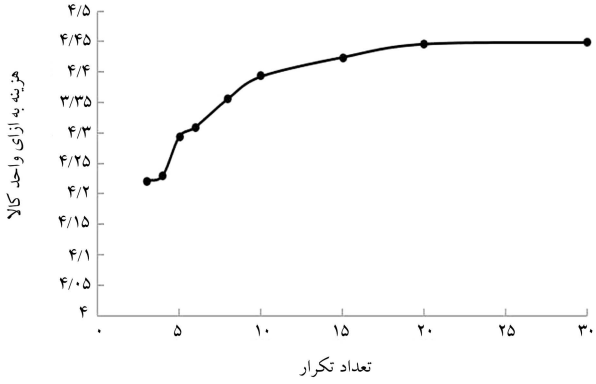
C_T هزینه‌ی کمبود کالا و پس‌افت

C_C هزینه‌ی غرامت کسر از واحد کالا

C_L هزینه‌ی فروش از دست رفته



شکل ۱. اثر تعداد روزهای اجرا بر مقدار هزینه به ازای یک واحد کالا.



شکل ۲. اثر تعداد تکرار بر روی تابع هزینه‌ی واحد کالا.

۲.۳. یافتن پارامترهای بهینه شبیه‌سازی

۱.۲.۳. بررسی تأثیر تعداد روز اجرا بر روی هزینه

در این قسمت اثر تعداد روزهای اجرا بر روی مقدار هزینه به ازای یک واحد کالا بررسی می‌شود. حاصل این قسمت ارائه‌ی کمترین زمان لازم برای از بین بردن اثر تعداد روز اجرا بر روی نتیجه‌ها خواهد بود. تعداد روز قابل قبول، نقطه‌یی است که در آن نتیجه‌های حاصل برای هزینه به سمت عدد ثابتی میل می‌کند و افزایش تعداد روزهای اجرا دیگر تأثیری بر روی تابع هزینه نداشته باشد. تعداد تکرار در تمام اجراها ۵ در نظر گرفته شده است. شکل ۱ تغییر هزینه به ازای واحد را با افزایش تعداد روزهای اجرا برای میل کردن به عدد ثابت را به تصویر می‌کشد. همان طور که در نمودار مشاهده می‌شود می‌توان با اغماض تعداد روز ۱۰۰۰ را مقداری مناسب برای دست‌یابی به نتیجه‌ی معتبر و قابل قبول در نظر گرفت.

۲.۲.۳. اثر تعداد تکرار اجراها بر روی هزینه

در این قسمت اثر تعداد تکرار بر روی هزینه به ازای واحد بررسی می‌شود. به دلیل تصادفی بودن ورود مشتری‌ها، هر چه تعداد تکرار آزمایش‌ها افزایش یابد، نتیجه‌های به دست آمده قابلیت اعتماد بیشتری خواهند داشت. تغییرهای هزینه به نسبت تعداد تکرار در شکل ۲ به تصویر کشیده شده است. داده‌های نمودار نشان می‌دهد که با عبور تعداد تکرار از ۱۵، اثر تعداد تکرار از بین خواهد رفت.

۳.۳. صحت‌سنجی

اعتبارسنجی مدل شبیه‌سازی به وسیله‌ی مقایسه‌ی نتیجه‌های پژوهش ریاضی و شبیه‌سازی عددی بررسی می‌شود. با در نظر گرفتن مقداری خطا نزدیک بودن این نتیجه‌ها صحت مدل شبیه‌سازی فراهم شده را تأیید می‌کند. ضریب‌های در نظر گرفته شده برای ثابت‌های مدل ریاضی در جدول ۱ ارائه شده است.

با استفاده از روش بهینه‌سازی محلی برای مثال عددی فوق جواب‌های نزدیک به بهینه برابر $S_0^* = ۱۴$ ، $S_1^* = ۱۸$ ، $S_2^* = ۱۶$ ، $S_3^* = ۱۰$ ، $\beta^* = ۰/۰۲۱۶$ حاصل شد.

تابع‌های هزینه به ازای هر بسته تحویلی از خرده‌فروش و همچنین هزینه‌ی کلی حاصل از حل ریاضی در جدول ۲ ارائه شده است.

در قدم بعد ضریب‌های جدول ۲ به مدل شبیه‌سازی وارد شده و نتیجه‌های حاصل از آن در جدول ۳ ارائه شده است. درگام بعد نتیجه‌های حاصل از دو روش مقایسه می‌شود. تفاوت میان دو روش با در نظرگرفتن تصادفی بودن ورودی‌های و تفاوت در طول دوره‌ها قابل پذیرش است. اختلاف بین دو روش در جدول ۴ ارائه شده است.

این نتیجه‌ها نشان دهنده‌ی دقت قابل قبول نتیجه‌های شبیه‌سازی است. در مرحله‌های بعد با استفاده از این مدل مقادیر بهینه محاسبه و به گسترش مدل پرداخته می‌شود.

جدول ۲. محاسبه‌ی هزینه‌ها در روش ریاضی.

تابع هزینه			انبارش				کل هزینه‌ی
اندیس خرده‌فروش	$E(I^{\beta}, SO, Si)$	زوال	توزیع‌کننده	خرده فروش	کمبود	غرامت	بسته
۱	۱/۰۰۲	۲/۱۶	۰/۰۰۰۰۱	۰/۶۰	۰/۱۸	۰/۰۱	۲/۹۵
۲	۰/۹۸۴	۲/۱۶		۰/۳۶	۰/۶۹	۲/۷۸	۵/۹۹
۳	۱/۰۰۰	۲/۱۶		۰/۷۳	۰/۳۲	۰/۴۶	۳/۶۷
میانگین وزنی کل سیستم	۰/۹۹۶	۲/۱۶		۰/۵۵	۰/۳۶	۰/۹۳	۴/۰۱

جدول ۳. محاسبه‌ی هزینه‌ها در روش شبیه‌سازی.

هزینه‌ی کل	β	نام واحد	سطح موجودی	هزینه‌ی کمبود	غرامت	هزینه‌ی انبار داری	زوال
		$R1$	۱۸	۰/۱۰۱۷	۰/۲۰۶۶	۰/۶۷۸۱	۲/۱۶
		$R2$	۱۶	۰/۵۵۸۴	۲/۸۴۱۴	۰/۴۰۲۱	۲/۱۶
۴/۰۷۷۳	۰/۰۲۱۶	$R3$	۱۰	۰/۲۰۰۹	۰/۲۳۸۴	۰/۶۰۰۷	۲/۱۶
		$R0$	۱۴	-	-	۰/۰۴۰۶	۲/۱۶
		Total	-	۰/۳۲۴۵	۰/۹۹۹۸	۰/۵۶۳۴	۲/۱۶

جدول ۴. بررسی اختلاف نتیجه‌های مدل ریاضی و شبیه‌سازی.

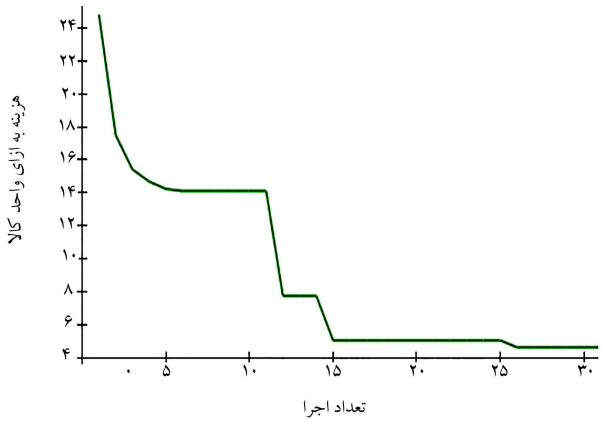
	هزینه‌ی		غرامت	هزینه‌ی انبار داری	زوال
	کل	کمبود			
مدل‌سازی	۴/۰۱	۰/۳۶	۰/۹۳	۰/۵۵	۲/۱۶
شبیه‌سازی	۴/۰۷۷۳	۰/۳۲۴۵	۰/۹۹۹۸	۰/۵۶۳۴	۲/۱۶
درصد اختلاف	۶/۷۳	۹/۸۶	۷/۵	۲/۴۳	۰

جدول ۵. مقدارهای بهینه برای زوال و سطح موجودی‌ها.

هزینه‌ی کل	β	نام واحد	سطح موجودی	هزینه‌ی کمبود	غرامت	هزینه‌ی انبار داری	زوال
		$R1$	۱۰	۰/۱۶۸۳	۰/۱۱۱۴	۰/۵۲۶۲	۲/۰۸
		$R2$	۱۴	۰/۷۹۷۸	۳/۴۷۹۱	۰/۴۷۴۱	۲/۰۸
۴/۳۳۸۳	۰/۰۲۰۸	$R3$	۸	۰/۴۲۴۱	۰/۴۷۱۳	۰/۷۷۵۸	۲/۸
		$R0$	۳۴	-	-	۰/۰۸۲۳۳۷۲	-
		Total	-	۰/۴۱۹۲	۱/۲۰۰۲	۰/۵۵۷۲	۲/۰۸

۴.۳. بهینه‌سازی به روش جستجوی همسایه

به دلیل پیچیدگی مدل، امکان پیش‌بینی تغییرهای هزینه به ازای واحد کالا نسبت به متغیرهای S_i وβ وجود نداشته است. از این رو برای یافتن مقدارهای بهینه برای این پارامترها، روند تغییرهای هزینه به ازای واحد برای هر پارامتر به صورت جدا محاسبه شده است. بررسی مثال‌های فراوان حاکی از این است که در بیشتر موارد تابع هزینه نسبت به تغییرهای β و نیز هریک از S_i ها به طور مجزا رفتار یکنواختی دارد. پس مقدار نزدیک به بهینه‌ی β به ازای یک مجموعه از S_i به روش جستجوی همسایه محاسبه شد و همچنین مقدارهای نزدیک به بهینه‌ی S_i ها نیز با همین روش محاسبه شده است. الگوریتم جستجوی همسایه از یک نقطه‌ی اولیه‌ی معین شروع می‌شود. در هر تکرار جواب فعلی با یک جواب همسایه که تابع هدف را افزایش می دهد، جایگزین می‌شود. در زمانی که تمام جواب‌های کاندید همسایه از جواب فعلی بدتر باشند (یعنی با رسیدن به بهینه‌ی محلی) الگوریتم متوقف می‌شود. هدف اصلی از راهبرد همسایگی محدود شده افزایش سرعت جستجو است. جواب به دست آمده از این روش لزوماً جواب بهینه نیست اما به دلیل ذکر شده مبنی بر رفتار تقریباً یکنواخت متغیرها در تابع هدف می‌تواند جواب نزدیک به بهینه محسوب شود. در ادامه برای دستیابی به بهینه‌ترین حالت مرحله‌ها تکرار می‌شود. بهترین نتیجه با انتخاب پارامترهای ارائه شده در جدول ۵ به‌دست می‌آید.



شکل ۳. نمودار بهترین مقدار تابع هزینه در اجراهای متوالی.

جدول ۶. نتایج بهینه‌سازی توسط زیر برنامه‌ی آپت کوئست.

پارامتر	مقدار بهینه
وزن بسته	۱٫۰۲۰۳۵۳
سطح موجودی توزیع‌کننده	۳۷
سطح موجودی خرده‌فروش ۱	۸
سطح موجودی خرده‌فروش ۲	۱۴
سطح موجودی خرده‌فروش ۳	۸
هزینه‌ی واحد کالا	۴٫۲۶۶۰۲۹

۵.۳. بهینه‌سازی به کمک OptQuest

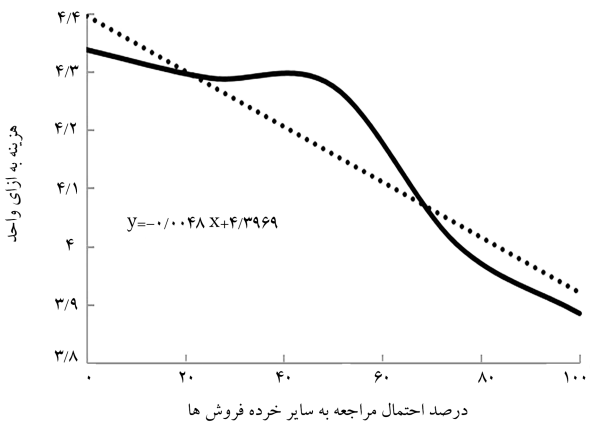
در این بخش برای یافتن مقدارهای بهینه از برنامه‌ی کاربردی آپت‌کوئست (بسته بهینه سازی مبتنی بر شبیه‌سازی) استفاده می‌شود. در این برنامه متغیرهایی به سیستم معرفی و حدود بالا و پایین برای آنها در نظر گرفته می‌شود. مقدار و نوع تغییر در این بازه تعریف و مقداری برای شروع فرایند بهینه‌سازی پیشنهاد می‌شود. این مقدار پیشنهادی برای رسیدن به نتیجه‌های بهتر نزدیک مقدار بهینه‌ی یافته شده در قسمت قبل در نظر گرفته می‌شود. پارامتر خروجی مورد نیاز به نرم‌افزار معرفی و تابعی برای حالت بهینه‌ی آن در نظر گرفته می‌شود. در این مثال تابع هدف ما کمینه‌شدن هزینه به ازای واحد است. فرایند بهینه‌سازی در حالت خودکار تا تعداد اجرایی که به تشخیص نرم‌افزار نزدیک به حالت بهینه است، ادامه می‌یابد. در صورت نیاز می‌توان آزمایش‌ها را برای اطمینان از صحت نتیجه‌ها ادامه داد.

۱.۵.۳. بهینه‌سازی هزینه

در مرحله‌ی اول برای یافتن مقدار بهینه، پارامترها و دامنه برای هرکدام از پارامترها در نظر گرفته می‌شود. برای بررسی اثر مقدار پیشنهادی از مقدارهایی که فاصله‌ی زیادی تا حالت بهینه دارند نیز استفاده شد که نشان داد زمانی که از مقدارهای پیشنهادی در اطراف مقدارهای بهینه استفاده شود، نتیجه‌های بهتری حاصل خواهد شد. فرایند بهینه‌سازی در شکل ۳ و نتایج حاصل از آن در جدول ۶ ارائه شده است.

۴. گسترش مدل

گسترش مدل در دو قسمت انجام می‌پذیرد. در قسمت اول برای مدل عدم وفاداری مشتری به خرده‌فروش و مراجعه‌ی او به سایر خرده‌فروش‌ها و در قسمت دوم عدم وفاداری مشتری به سیستم بررسی و اثر آن بر روی هزینه بحث می‌شود.



شکل ۴. نسبت تغییر هزینه‌ی واحد به ازای تغییر درصد احتمال مراجعه‌ی مشتری به سایر خرده‌فروش‌ها و پس‌افت شدن در انتها.

۱.۴. مراجعه به سایر خرده‌فروش‌ها

تقاضا پس از تأمین نشدن در یک خرده‌فروش، به سایر خرده‌فروش‌ها ارسال می‌شود. در مراجعه‌ی اول به سایر خرده‌فروش‌ها احتمال رسیدن به هرکدام ۵۰ درصد است. در این حالت ۳ سناریو پیش رو خواهد بود. در سناریوی اول، کالا توسط یکی از خرده‌فروش‌ها تأمین و از سیستم خارج می‌شود. در سناریوی دوم، تقاضا توسط هیچ‌کدام از خرده‌فروش‌ها تأمین نمی‌شود و ۲ حالت متفاوت رخ خواهد داد. در حالت اول تقاضا به پس‌افت تبدیل می‌شود و در حالت دوم تقاضا از دست خواهد رفت.

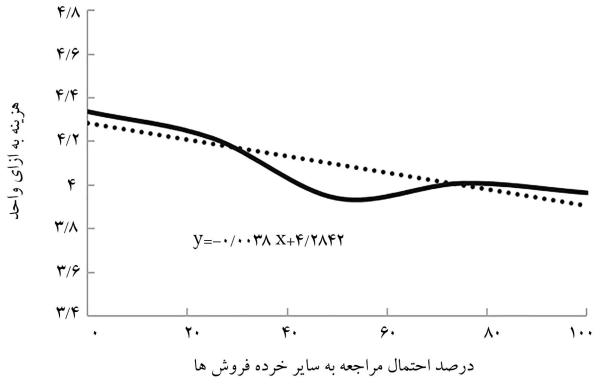
۱.۱.۴ تغییر سیاست وفاداری از مشتری به سیستم

به دلیل وفاداری مشتری به سیستم، پس از تأمین نشدن تقاضا مشتری در آخرین خرده‌فروشی که از آن تقاضای کالا کرده است، به انتظار رسیدن کالا می‌ماند. برای بررسی اثر مراجعه‌ی مشتری به سایر خرده‌فروش‌ها، میزان مراجعه به سایر خرده‌فروش‌ها به صورت احتمالی از ۰ تا ۱۰۰ درصد تغییر می‌کند. با افزایش درصد مراجعه به سایر خرده‌فروش‌ها از احتمال پس‌افت شدن آنها در مرحله‌ی اول، کاسته می‌شود. نتیجه‌های مربوط به تغییر هزینه در تبدیل شدن احتمال پس‌افت به مراجعه به سایر خرده‌فروش‌ها در شکل ۴ ارائه شده است. در این حالت با هدایت مشتری به سایر خرده‌فروش‌ها هزینه ۱۰٫۴۳ درصد کاهش می‌یابد.

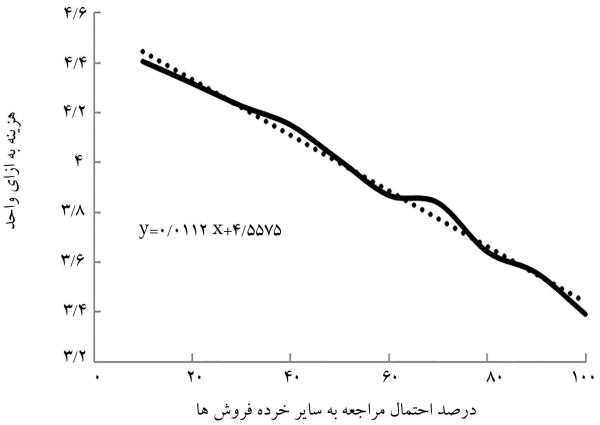
۲.۱.۴. تغییر سیاست از وفاداری به مشتری به عدم وفاداری به سیستم

به دلیل عدم وفاداری مشتری به سیستم پس از تأمین نشدن تقاضا در آخرین خرده‌فروشی که مشتری به آن مراجعه می‌کند، سفارش از سیستم خارج می‌شود. تأثیر این اتفاق در سطح‌های گوناگون تبدیل شدن پس‌افت به مراجعه به سایر خرده‌فروش‌ها بر هزینه‌ی واحد در شکل ۵ به تصویر کشیده شده است.

بررسی معادله‌ی خط روند در این دو حالت نشان می‌دهد که تأثیر تغییر احتمال پس‌افت به مراجعه به سایر خرده‌فروش‌ها در حالتی که مشتری به سیستم وفادار است، بیشتر خواهد بود. با تغییر درصد احتمال پس‌افت شدن در مراجعه به سایر خرده‌فروش‌ها، مقدارهای انتخابی برای سطح موجودی و مقدار مازاد دیگر بهینه نخواهند بود. برای وارد کردن اثر این موضوع از زیر برنامه‌ی آپت‌کوئیست استفاده شده و هم‌زمان با تغییر احتمال مراجعه به سایر سطح‌های بهینه محاسبه شده و هزینه‌ی واحد به ازای آنها به دست آمده است. نتیجه نشان می‌دهد که با هدایت مشتری به سایر خرده‌فروش‌ها



شکل ۵. نسبت تغییر هزینه‌ی واحد به‌ازای تغییر درصد احتمال مراجعه‌ی مشتری به سایر خرده‌فروش‌ها و خارج شدن از سیستم.



شکل ۶. تغییر هزینه‌ی واحد به ازای احتمال‌های گوناگون در مراجعه به سایر در حالتی که متغیرهای مدل بهینه باشد.

می‌توان حالت بهتری را برای کاهش موجودی به دست آورد. کاهش هزینه در حالت بهینه نشده ۸٫۶ درصد و در حالت بهینه شده ۲۳ درصد است(شکل ۶).

۲.۴. در نظرگرفتن فروش از دست رفته

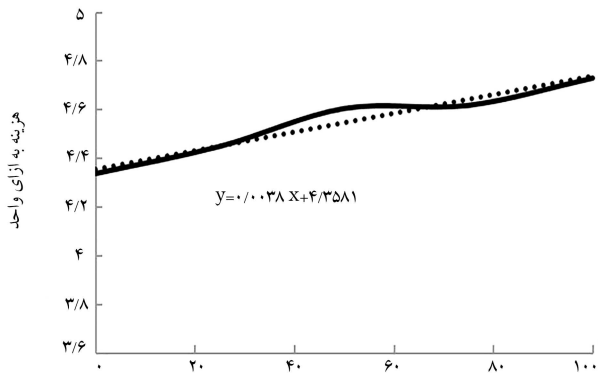
در این قسمت احتمال آن‌که پس از برآورده نشدن تقاضا مشتری از سیستم خارج شود نیز به مدل افزوده می‌شود.

۱.۲.۴. تبدیل پس‌افت به فروش از دست رفته در خرده‌فروش

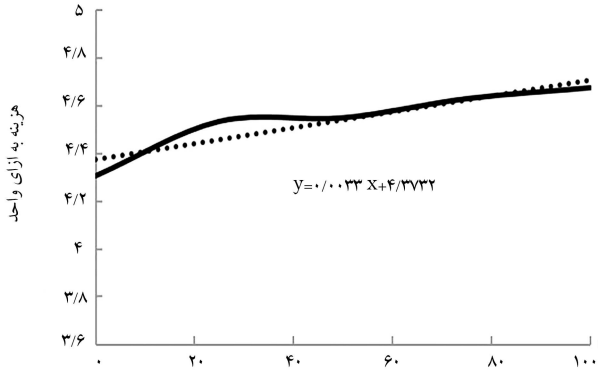
برای بررسی اثر از دست رفتن سفارش در سیستم سطح‌هایی برای تبدیل احتمال پس‌افت شدن سفارش به احتمال خروج مشتری از سیستم تعریف می‌شود. نتیجه‌های به دست آمده از این سطح‌ها در شکل ۷ نشان داده شده است. با تبدیل درصد احتمال پس‌افت شدن به از دست رفتن سفارش، هزینه به ازای واحد افزایش پیدا می‌کند. مقدارهای بهینه برای سطح موجودی و مازاد در سطح‌های متفاوت نسبت پس‌افت شدن به از دست رفتن سفارش، محاسبه شده و در شکل ۸ به تصویر کشیده شده است.

۲.۲.۴. عدم پس‌افت در مرحله‌ی نخست مراجعه به خرده‌فروش

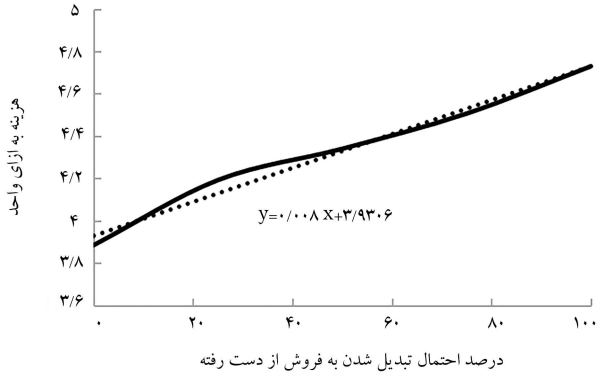
در این قسمت حالتی که مشتری به خرده‌فروش وفاداری ندارد و در صورت برآورده نشدن سفارش از خرده‌فروش خارج می‌شود، بررسی می‌گردد. احتمال مراجعه به سایر خرده‌فروش‌ها کاهش و احتمال از دست رفتن سفارش افزایش می‌یابد. در این حالت ۲ اتفاق متصور خواهد بود.



شکل ۷. نسبت هزینه‌ی واحد به تغییر احتمال پس‌افت شدن سفارش به احتمال خروج مشتری از سیستم.



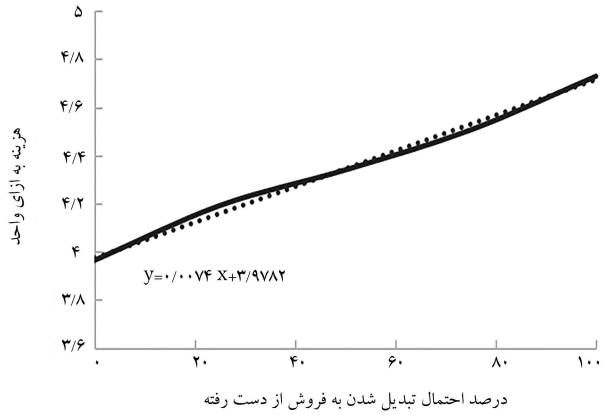
شکل ۸. نسبت هزینه‌ی واحد به تغییر احتمال پس‌افت شدن سفارش به احتمال خروج مشتری از سیستم در سطح‌های بهینه‌ی سطح موجودی و مازاد.



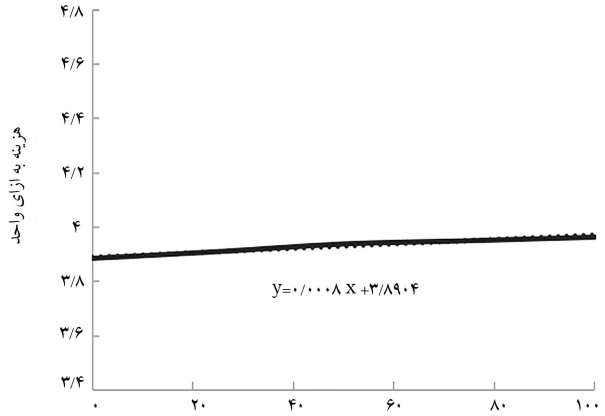
شکل ۹. تغییر هزینه‌ی واحد در تبدیل شدن احتمال مراجعه به سایر به از دست رفتن فروش برای مشتری‌هایی که به سیستم وفادار هستند.

الف) مشتری وفادار به سیستم

در صورت عدم تأمین سفارش مشتری در ۳ خرده‌فروش، وی به سیستم وفادار می‌ماند و در آخرین خرده‌فروشی‌یی که به آن مراجعه کرده است به انتظار رسیدن کالا می‌ماند. نتیجه‌های مربوط به این حالت در شکل ۹ نشان داده شده‌است. با تغییر احتمال وفاداری به سیستم به معنی مراجعه به سایر خرده فروش‌ها، به فروش از دست رفته، افزایش هزینه به ازای واحد کالا کاملا مشهود است.



شکل ۱۰. تغییر هزینه‌ی واحد در تبدیل شدن احتمال مراجعه به سایر به از دست رفتن فروش برای مشتری‌هایی که به سیستم وفادار نیستند.



شکل ۱۱. تغییر هزینه‌ی واحد در تبدیل شدن احتمال پس‌افت به فروش از دست رفته پس از برآورده نشدن سفارش در ۳ خرده‌فروش.

ب) عدم وفاداری مشتری به سیستم

در صورت عدم تأمین سفارش مشتری در ۳ خرده‌فروش، وی به سیستم وفادار نمی‌ماند و از آخرین خرده‌فروشی که به آن مراجعه کرده از سیستم خارج می‌شود. شکل ۱۰ نتایج حاصل از این سناریو را ارائه می‌کند. بررسی این نتایج نشان می‌دهد که در حالت عدم وفاداری مشتری به سیستم، نرخ افزایش هزینه‌ها کمتر خواهد بود. در حالت اول افزایش هزینه ۲۱/۷۸ درصد و در حالت دوم ۱۹/۳۴ درصد است.

۳.۲.۴. تأثیر تبدیل شدن پس‌افت به فروش از دست رفته در مرحله‌ی دوم

در آخرین سناریو حالتی بررسی می‌شود که تمام سفارش‌هایی که توسط خرده فروش‌ها تامین نشده‌اند، به سایر خرده فروش‌ها هدایت شوند. با هدایت به سایر خرده‌فروش‌ها ۲ حالت قابل بررسی خواهد بود.

-- پس‌افت شدن در انتها

-- از دست رفتن سفارش

با در نظرگرفتن سطح‌ها حالتی که تمام سفارش‌ها پس‌افت شوند، به حالتی که همه‌ی سفارش‌ها از سیستم خارج شوند، تبدیل می‌شود. نتیجه‌های این سطح‌ها در شکل ۱۱ دیده می‌شود. در صورتی که نمودار هزینه به ازای واحد بر حسب تبدیل شدن پس‌افت به فروش از دست رفته رسم شود، مشاهده می‌شود که شیب نمودارهای حاصل بسیارکم است (شکل ۱۱). این شیب کم نشان دهنده‌ی تأثیر اندک تبدیل شدن پس‌افت به فروش از دست رفته در این حالت می‌باشد.

۵. نتیجه‌گیری

در این مطالعه سعی شد تا با استفاده از قابلیت‌های بالای نرم‌افزار به کاربرده شده حالت‌های گوناگونی که دنیای واقعی را بهتر ترسیم می‌کنند، درنظرگرفته شود تا با لحاظ عدم قطعیت بیشتر بتوان به نتیجه‌های بهتری از دنیای بیرون رسید. بر اساس مطالعه‌ها و پژوهش‌های انجام شده در این تحقیق و با جمع‌بندی نتیجه‌های زیر به دست می‌آید:

- مقایسه‌ی نتیجه‌های شبیه‌سازی و ریاضی صحت مدل شبیه‌سازی شده را تأئید می‌کند.
- بررسی اثر طول دوره‌ی اجرا و تعداد تکرار به معرفی نقاطی انجامید که با برگزیدن آن‌ها می‌توان نتیجه‌های مورد اعتمادی را استخراج کرد.
- با استفاده از طول دوره و تعداد تکرار به دست آمده سطح‌های بهینه برای خرده‌فروش‌ها و توزیع‌کننده و مقدار مازاد توسط روش جستجوی همسایه محاسبه شد.
- با استفاده از زیر برنامه‌ی آپت کوئیست با انتخاب مقدار مناسب برای تعداد اجرا مقدارهای بهینه برای خرده‌فروش‌ها و توزیع‌کننده و مقدار مازاد محاسبه شد. این روش بسیار ساده‌تر است و زمان حل کمتری نیاز دارد و نتیجه‌های قابل قبولی را ارائه می‌دهد.
- بررسی اثر مراجعه‌ی مشتری‌ها به سایر خرده‌فروش‌ها در صورتی که مشتری کامل به سیستم وفادار باشد، بررسی شد. در این حالت با اعمال سیاست هدایت مشتری به سایر خرده‌فروش‌ها هزینه ۱۰/۴۳ درصد کاهش می‌یابد.
- اثر مراجعه‌ی مشتری‌ها به سایر خرده‌فروش‌ها نیز در صورتی که مشتری به سیستم وفادار نباشد و پس از عدم تأمین تقاضایش توسط ۳ خرده‌فروش از سیستم خارج شود نیز بررسی شد. درصد کاهش هزینه در حالت بهینه نشده ۸/۶ درصد و در حالت بهینه‌شده ۲۳ درصد است. مقایسه‌ی اثر مراجعه‌ی مشتری‌ها به سایر خرده‌فروش‌ها در دو حالت نشان می‌دهد که تأثیر این امر در کاهش هزینه بر حالت اول بیشتر خواهد بود.

در ادامه‌ی گسترش مدل، فروش از دست رفته در خرده‌فروش نیز در نظرگرفته شد. در این حالت پس از برآورده نشدن تقاضا، مشتری از سیستم خارج می‌شود. سطح‌هایی برای تبدیل احتمال پس‌افت شدن سفارش به احتمال خروج مشتری از سیستم تعریف شده و در حالت بهینه نیز تأثیر این مورد بر روی هزینه بررسی شده است.

- در بخش دیگری حالتی که مشتری به خرده‌فروش وفاداری ندارد و در صورت برآورده نشدن سفارش از خرده‌فروش خارج می‌شود، بررسی شد. دو حالت در نظرگرفته شد:

۱. در صورت عدم تأمین سفارش مشتری در ۳ خرده‌فروش، وی به سیستم وفادار می‌ماند و در آخرین خرده‌فروشی که به آن مراجعه کرده به انتظار رسیدن کالا می‌نشیند. تغییر هزینه، در تبدیل شدن احتمال مراجعه به سایر به فروش از دست رفته بیان می‌دارد که با افزایش احتمال فروش از دست رفته، هزینه به ازای واحد نیز افزایش می‌یابد. افزایش هزینه در این حالت ۲۱/۷۸ درصد خواهد بود.

۲. در صورت عدم تأمین سفارش مشتری در ۳ خرده‌فروش، به سیستم وفادار نمی‌ماند و از آخرین خرده‌فروشی که به آن مراجعه کرده است از سیستم خارج می‌شود. بررسی این نتایج نشان دادکه در حالت عدم وفاداری مشتری به سیستم،

نرخ افزایش هزینه‌ها کمتر خواهد بود. افزایش هزینه در این حالت ۱۹٫۳۴ درصد خواهد بود.

- در سناریوی دیگری تمام سفارش‌هایی که توسط یک خرده‌فروش تأمین نشده‌اند به سایر خرده‌فروش‌ها هدایت می‌شوند. با هدایت به سایر خرده‌فروش‌ها ۲ حالت بررسی شده است.

۱. پس‌افت شدن در انتها

۲. از دست رفتن سفارش

مشاهده می‌شود که شیب نمودارهای حاصل (۲٫۰۴ درصد) بسیار کم است. این شیب کم نشان دهنده‌ی تأثیر اندک تبدیل شدن پس‌افت به فروش از دست رفته در این حالت است.

- تأثیرگذارترین هزینه بر هزینه به ازای واحد هزینه‌ی زوال است که حدود ۵۰ درصد هزینه‌ی آن را تشکیل داده است.
- پس از هزینه‌ی زوال بالاترین سهم هزینه‌ها متعلق به هزینه‌ی غرامت است که به دلیل کسر از واحد کالا در زمان تحویل به سیستم تحمیل می‌شود. این هزینه در حالت بهینه در حدود ۲۷ درصد هزینه‌ی کل را تشکیل می‌دهد. برای کاهش هزینه‌ی غرامت لازم است تمهیداتی در بسته‌بندی کالاها و شرایط و زمان حمل در نظر گرفته شود.

پانوشت‌ها

1. Backloy
2. first come, first served
3. first in, first out

منابع (References)

1. Li, R., Lan, H. and Mawhinney, J.R. "A review on deteriorating inventory study", *Journal of Service Science and Management*, **3**(01), pp. 117-129 (2010).
2. Sadrabadi, M.R., Boxma, O. and Van Woensel, T. "Integrated vehicle routing and inventory control for perishable items with stochastic demand", Master's thesis, Department of Mathematics and Computer Science Eindhoven University of Technology, (2010).
3. Sarkar, B. "A production-inventory model with probabilistic deterioration in two-echelon supply chain management", *Applied Mathematical Modelling*, **37**(5), pp. 3138-3151 (2013).
4. Alshamrani, A.M. "Optimal control of a stochastic production-inventory model with deteriorating items", *Journal of King Saud University-Science*, **25**(1), pp. 7-13 (2013).
5. Alizadeh, M., Eskandari, H. and Sajadifar, S. "A modified (S-1,S) inventory system for deteriorating items with Poisson demand and non-zero lead time", *Applied Mathematical Modelling*, **38**(2), pp. 699-711 (2014).
6. Ghiami, Y. and Williams, T. "A two-echelon production-inventory model for deteriorating items with multiple buyers", *International Journal of Production Economics*, **159**, pp. 233-240 (2015).
7. Taleizadeh, A. and Salehi, A. "Inventory control model with stochastic replenishment period length and delayed payment for deteriorating item", *Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems*, **6**(3), pp. 13-25 (2016).
8. Molana, S., Davoudpour, H. and Minner, S. "An (r, nQ) inventory model for packaged deteriorating products with compound Poisson demand", *Journal of the Operational Research Society*, **63**(11), pp. 1499-1507 (2012).
9. Sajadi, S. M., Esfahani, M. M. S. and Sörensen, K. "Production control in a failure-prone manufacturing network using discrete event simulation and automated response surface methodology", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **53**(1-4), pp. 35-46 (2011).
10. Ferrin, D.M., Muthler, D. and Miller, M.J. "Simulation of customer-focused business processes: Six Sigma and simulation, so what's the correlation", *Proc. of the 34th conf. of Informs Computing Society*, San Diego, CA, USA (2002).
11. Shannon, R. "Systems simulation, the art and science", **2**, Arab, A., pp. 460-465, IUP, Tehran (2003).
12. Vieira, G.E. "Ideas for modeling and simulation of supply chains with Arena", *Proc. of the 2004 Winter conf. of Simulation , Washington*, D.C. USA (2004).
13. Forrester, J.W. "Industrial dynamics: a major breakthrough for decision makers", *Harvard Business Review*, **36**(4), pp. 37-66 (1958).
14. Kelton, W.D., Sadowski, R.P. and Sadowski, D.A. "Simulation with ARENA", **3**, pp. 154-163, McGraw-Hill, New York, USA (2002).
15. Wang, X. and Takakuwa, S. "Module-based modeling of production-distribution systems considering shipment

consolidation", *Proc. Of the 2006 Winter conf. of Simulation Monterey*, California, USA (2006).

16. Wan, J. and Li, L. "Simulation for constrainted optimization of inventory system by using arena and optQuest", *Int. Conf. on Computer Science and Software Engineering*, Wuhan, China (2008).
17. Hayya, J.C., Bagchi, U. and Ramasesh, R. "Cost relationships in stochastic inventory systems: A simulation study of the (S, S- 1, t= 1) model", *International Journal of Production Economics*, **130**(2), pp. 196-202 (2011).
18. Xiang, Y. and Rossetti, M.D. "The effect of backlog queue and load-building processing in a multi-echelon inventory network", *Simulation Modelling Practice and Theory*, **43**, pp. 54-66 (2014).
19. Tsai, S.C. and Zheng, Y.-X. "A simulation optimization approach for a two-echelon inventory system with service level constraints", *European Journal of Operational Research*, **229**(2), pp. 364-374 (2013).
20. Betts, J.M. "Minimizing inventory costs for capacity-constrained production using a hybrid simulation model", *Procedia Computer Science*, **29**, pp. 759-768 (2014).
21. Chu, Y., You, F., Wassick, J.M. and et al."Simulation-based optimization framework for multi-echelon inventory systems under uncertainty", *Computers & Chemical Engineering*, **73**, pp. 1-16 (2015).
22. Molana, S.M.H., "An (r, nQ) inventory model for packaged deteriorating products with compound Poisson demand", Master's Thesis, Department of Industrial Engineering, Amirkabir University of Technology, (2010).