مدیریت تولید و عملیات، دوره چهارم، پیاپی(۷)، شماره (۲)، پاییز و زمستان ۱۳۹۲
دریافت: ۹۰/۱۰/۱۳ پذیرش: ۹۱/۹/۱۸
صص: ٥٤- ٤١

کاربرد روش‌شناسی سطح پاسخ در بهینه‌سازی یک سیستم موجودی سه سطحی

سید حسین رضوی حاجی‌آقا[1*]، مقصود امیری[2]، مهدی سیف برقی[3]، لعیا الفت[2]

۱- استادیار موسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی
۲- دانشیار دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبایی
۳- استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه الزهرا

چکیده

کنترل موجودی یکی از مسائل حائز اهمیت در مدیریت زنجیره‌های تامین است. در این مقاله یک سیستم تولید، توزیع، موجودی سه سطحی شامل یک تولید کننده مرکزی، دو عمده فروش و تعدادی خرده فروش در نظر گرفته شده است. تقاضای مشتریان در خرده فروشان از یک فرآیند پواسون مرکب پیروی کرده و سیاست کنترل موجودی سطوح از نوع سیاست مرور مستمر (R, Q) است. در این تحقیق، با در نظر گرفتن ساختار استاندارد هزینه در یک مدل موجودی، نسبت به برآورد تابع هزینه این سیستم با استفاده از روش‌شناسی سطح پاسخ، به صورت ترکیبی از آزمایش‌های طراحی شده، شبیه‌سازی، تحلیل رگرسیون و بهینه‌سازی اقدام شده است. روش به کار رفته در این مقاله می‌تواند به عنوان روشی نوین در بهینه‌سازی سیاست موجودی زنجیره‌های تامین استفاده شود؛ ضمن آنکه بهینه‌سازی همزمان پارامترهای موجودی، شامل نقطه سفارش مجدد و اندازه دسته سفارش، یکی دیگر از مزایای مدل پیشنهادی به شمار می‌رود.

واژه‌های کلیدی: زنجیره تامین؛ سیستم موجودی چند سطحی؛ فرآیند پواسون مرکب؛ روش‌شناسی سطح پاسخ؛ بهینه‌سازی.

* نویسنده مسؤول: s.hossein.r@gmail.com

۱. مقدمه

سابقه کنترل موجودی و اهمیت آن به دوران شکل‌گیری نخستین کارخانه‌ها و حتی کسب و کارهای خانوادگی باز می‌گردد. فورد ویتمان هریس نخستین مدل ریاضی کنترل موجودی را در سال ۱۹۱۳ ارائه نمود (رواخ، ۲۰۰۵). با تغییر فعالیت سازمان‌های صنعتی و خدماتی از مدیریت مالکانه و انحصاری و روابط برد – باخت به مدیریت اشتراکی و روابط برد – برد، در کنار شکل‌گیری و توسعه مفاهیم رقابت و جایگاه مشتری به تدریج سازمان‌ها گرایش به تشکیل شبکه‌های کسب و کار یافته‌اند. سابقه مدیریت زنجیره تامین به مباحثی نظیر لجستیک باز می‌گردد که تا حدود زیادی در فعالیت‌های نظامی ریشه دارد. ارتش‌های پیشرفته لجستیک و زنجیره تامین را به عنوان بخشی از استراتژی‌های زنجیره تامین خود به کار گرفتند. امروزه زنجیره تامین موضوعی جدایی ناپذیر از هر سازمان تجاری است. تعاریف ارائه شده در خصوص زنجیره‌های تامین را می‌توان در دو گروه تقسیم‌بندی نمود: گروهی که بر فرآیندهای مرتبط با تامین، تولید و توزیع تمرکز داشته‌اند و گروهی که بر نهادهای زنجیره تمرکز داشته‌اند (اووربک، ۲۰۰۹). با این وجود اغلب در نگرش عمومی تصوری که از زنجیره‌های تامین می‌رود، با نگرش نهادگرا همخوانی دارد. بر اساس دیدگاه نهادگرا، واکر (۲۰۰۵) به نقل از ویرایش دهم *لغتنامه انجمن تولید و موجودی آمریکا* زنجیره تامین را به صورت "شبکه جهانی مورد استفاده برای تحویل محصولات و خدمات از مواد اولیه به مصرف کنندگان نهایی از طریق جریان طراحی شده‌ای از اطلاعات، توزیع فیزیکی و پول" تعریف می‌کند.

صرف نظر از تعریف زنجیره تامین، صاحبنظران این عرصه چالش‌های اساسی در زمینه مدیریت زنجیره‌های تامین را ذکر کرده‌اند. نظریه پردازان در بیان چالش‌های مهم زنجیره تامین، ابعاد زمانی و تاثیرات آنها بر عملکرد زنجیره را مورد توجه قرار داده‌اند. بر اساس این نظریه‌ها، مدیریت موجودی یکی از مسائل و تصمیمات کلیدی در مدیریت زنجیره‌های تامین است (چوپرا و مندل ، ۲۰۰۷؛ ویسنر و همکاران ، ۲۰۰۸؛ سیمچی لوی و همکاران ، ۲۰۰٤ و چندرا و کامرانی، ۲۰۰٤). تمامی این نظریه‌ها حاکی از آن است که مسأله مدیریت موجودی و سیاست‌های آن جزو مسائل اساسی در زنجیره‌های تامین به شمار می‌رود. با وجود این، بررسی مسائل موجود در زمینه مدیریت موجودی در زنجیره‌های عرضه از پیچیدگی‌های بسیاری برخوردار است که بسیاری از محققان به بررسی انواع مختلفی از این مسأله در شرایط گوناگون و تحت عنوان سیستم‌های موجودی چند سطحی پرداخته‌اند. در واقع، مسأله سیستم‌های موجودی چند سطحی در زنجیره‌های تامین را می‌توان تعمیمی بر مدل‌های کلاسیک موجودی در نظر گرفت. شکل کلاسیک مدل‌های کنترل موجودی عمدتاً یک انبار را به تنهایی در نظر گرفته و تحت شرایط و فرضیات مشخص نسبت به بهینه‌سازی سیستم موجودی آن اقدام می‌کنند. طبق این مباحث هر مسأله مدیریت موجودی با دو سؤال اصلی مواجه است: زمان و مقدار سفارش کالاها به گونه‌ای که هزینه‌های انبار حداقل شده و همزمان تقاضاهای آن برآورده شوند. مدل‌های موجودی چند سطحی در واقع تعمیمی از این مدل‌های کلاسیک هستند که در آنها تعدادی پایگاه مختلف، برای مثال، شامل تعدادی خرده

فروش، عمده فروش و ... با یکدیگر در قالب یک زنجیره همکاری دارند و مدل‌های موجودی چند سطحی سعی در پاسخگویی به سؤال‌های مدیریت موجودی در چنین سیستم‌هایی دارند.

تحقیق پیرامون سیستم‌های موجودی چند سطحی به دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ باز می‌گردد. یکی از مشهورترین کارهای اولیه در زمینه سیستم‌های موجودی چند سطحی را کلارک و اسکارف (۱۹۶۰) انجام دادند که در بیشتر مقالات و تحقیقات سیستم‌های چند سطحی به عنوان پایه‌گذاران این شاخه شناخته می‌شوند. آنها با تاکید بر مفهوم "موجودی سطحی" به تحلیل تابع هزینه سیستم‌های چند سطحی پرداختند. شربروک (۱۹۶۸) در مقاله خود روش METRIC را برای بهینه‌سازی یک سیستم موجودی دو سطحی ارائه داده است.

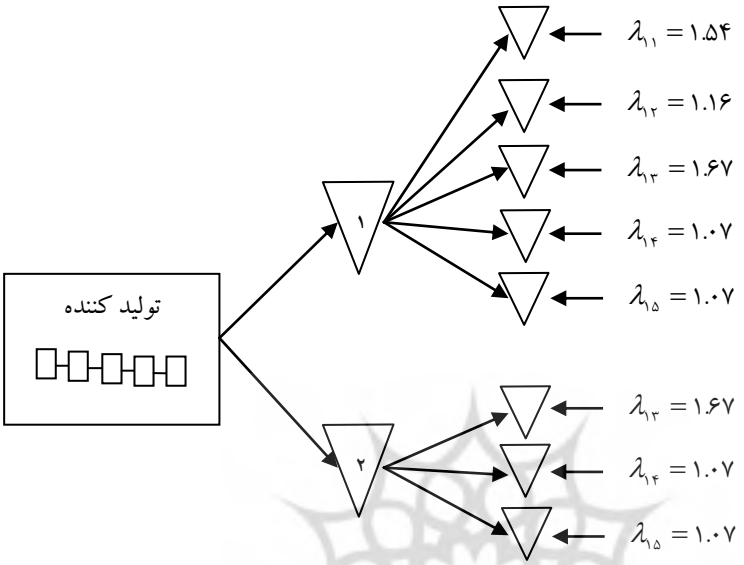
گومس و گونری (۲۰۰۷) در مطالعه مروری خود به بررسی تحقیقات انجام شده در زمینه سیستم‌های موجودی چند سطحی پرداخته و انواع روش‌های رایج در این مطالعات را شناسایی نمودند. بر این اساس، بسیاری از محققان نسبت به بررسی سیستم‌های موجودی تقاضا از طریق مبانی فرآیندهای تصادفی پرداخته‌اند (دوئرمیر و شوارتز، ۱۹۸۱؛ گراوس، ۱۹۸۵؛ معین زاده و لی، ۱۹۸۶a، ۱۹۸۶b؛ آکساتر، ۱۹۹۰، ۱۹۹۳، ۱۹۹۸، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۲، کاچون، ۲۰۰۱؛ سیف‌برقی و اکبری جوکار، ۲۰۰۶؛ ژائو، چن و ژانگ، ۲۰۰۸؛ امیری و همکاران، ۲۰۱۲). دسته دیگری از تحقیقات در این زمینه با استفاده از روش‌های شبیه‌سازی و رگرسیون به بررسی مسأله پرداخته‌اند (کوئچل و نیلاندر، ۲۰۰۵؛ گائو و وانگ، ۲۰۰۸؛ سیف‌برقی و همکاران، ۱۳۸۷).

با وجود گستردگی مطالعات صورت گرفته در این زمینه، تنوع ساختار و فرضیات سیستم‌های موجودی چند سطحی از یک سو و ضرورت، اهمیت و نقش این مسأله در هماهنگ‌سازی و بهینه‌سازی عملکرد زنجیره‌های تامین از سوی دیگر، بررسی انواع مختلف این مسائل را برای مدیران و محققان به مسأله‌ای مهم و حائز اهمیت تبدیل نموده است. بر اساس این ضرورت، در تحقیق حاضر با استفاده از دیدگاه روش‌شناسی سطح پاسخ[1]، با نگاهی نوین نسبت به تحلیل مسأله تعیین سیاست موجودی بهینه در یک زنجیره تامین سه سطح اقدام شده است.

۲. بیان مسأله

پیش از پرداختن به ساز و کار حل و بررسی مسأله، ارائه تعریفی دقیق از آن ضرورت دارد. شکل ۱ نمایی از سیستم مورد بررسی در تحقیق حاضر را نشان می‌دهد. همان طور که ملاحظه می‌شود، این سیستم سه سطحی شامل یک تولید کننده مرکزی است که کالاهای خود را برای دو عمده فروش ارسال می‌کند. هر یک از این عمده فروشان نیز کالاهای دریافتی از تولید کننده را بر اساس سفارش برای تعدادی خرده فروش ارسال می‌کنند. خرده فروشان سطح سوم سیستم نیز با تقاضاهای مشتریان مواجه هستند که از یک فرآیند پواسون مرکب پیروی می‌کند. اعداد نشان داده شده در مقابل هر یک از خرده فروشان نرخ ورود مشتریان به آنهاست که بر حسب یک توزیع یکنواخت در فاصله [۲، ۰,۵] تولید شده است. هر یک از نهادهای هر سطح تنها با یک نهاد سطح بالاتر از خود در ارتباط است و ارتباطی میان نهادهای هر سطح وجود ندارد. همچنین، فرض می‌شود که عناصر هر سطح از سیاست مرور مستمر

(R, Q) استفاده می‌کنند که در آن با رسیدن سطح موجودی به مقدار R یا کمتر از آن، تعدادی سفارش در دسته‌های به انداز Q صادر می‌شود؛ به گونه‌ای که سطح موجودی مجدداً به بالاتر از R برسد. همچنین، به منظور یکسان‌سازی و تعادل در زنجیره، هر یک از سطوح خرده فروشان و عمده فروشان از سیاست موجودی یکسانی پیروی می‌کنند.



شکل ۱. سیستم موجودی سه سطحی و چند لایه مورد بررسی

در خصوص میزان هماهنگی فرضیات فوق با شرایط واقعی می‌توان به این نکته اشاره نمود که اولاً ماهیت ورود مشتریان به یک سیستم موجودی، تشابه بسیاری با ویژگی‌های حاکم بر فرآیندهای پواسون داشته و ثانیاً اغلب تحقیقات گذشته با فرضی مشابه به مدل‌سازی سیستم‌های موجودی پرداخته‌اند که نشان دهنده پذیرفته بودن این فرض است. در خصوص سیستم موجودی حاکم نیز به طور کل دو سیستم موجودی (R، Q) و (s، S) در دو حالت مرور مستمر و دائم در سیستم‌های موجودی تعریف شده که سیاست مورد نظر در این تحقیق نیز بر این اساس است (آکساتر، ۲۰۰۶). در صورت نقض هر یک از فرضیات فوق، قطعاً تابع هزینه سیستم دچار تغییر خواهد شد، با وجود این، با استفاده از فرآیند تحلیل پیشنهادی در تحقیق حاضر می‌توان نسبت به تحلیل سیستمی با فرضیات مختلف نیز اقدام نمود. این انعطاف‌پذیری در مدل‌سازی انواع فرضیات مختلف مزیت اصلی روش مورد استفاده در این تحقیق نسبت به روش‌های مبتنی بر مدل‌سازی تحلیلی است.

متغیرهای مجهول مسأله را می‌توان به صورت زیر تعریف نمود:

Q_0: اندازه دسته تولیدی تولید کننده مرکزی

Q_1: اندازه دسته سفارش عمده فروشان ۱ و ۲

R_1: نقطه سفارش مجدد عمده فروشان ۱ و ۲

Q_2: اندازه دسته سفارش خرده فروشان

R_2: نقطه سفارش مجدد خرده فروشان

در ادامه مسأله روش‌شناسی به کار رفته برای تحلیل سیستم فوق بررسی شده است

روش‌شناسی سطح پاسخ

در این تحقیق، به منظور برآورد تابع هزینه موجودی و تعیین سیاست بهینه سیستم سه سطحی مورد بررسی از روش‌شناسی سطح پاسخ استفاده شده است. در این بخش، مروری مختصر بر ابزارها و روشهای مورد استفاده تحقیق ارائه شده است.

روش شناسی سطح پاسخ خانواده‌ای از روش‌های آماری و ریاضی برای توسعه، بهبود و بهینه‌سازی فرآیندهاست. یک فرآیند را می‌توان ساز و کاری برای تبدیل مجموعه‌ای از ورودی‌ها به مجموعه‌ای از خروجی‌ها، متغیرهای پاسخ، تعریف نمود. روش‌شناسی سطح پاسخ، شیوه‌ای است که به برآورد رابطه میان یک یا تعدادی متغیر پاسخ با تعدادی متغیر مستقل، از طریق مجموعه‌ای از آزمایش‌های طراحی شده و روش‌های تحلیل رگرسیون اختصاص دارد (خلوری، ۲۰۰۶؛ می‌یرز و مونتگومری، ۲۰۰۹). اصولاً روش‌شناسی سطح پاسخ شامل گام‌های زیر است: (الف) آزمایش‌های دو عاملی برای غربالگری متغیرهای ورودی مؤثر؛ (ب) تجزیه و تحلیل رگرسیون برای برآورد تابع برازش خروجی‌ها بر حسب ورودی‌ها؛ و (ج) بهینه‌سازی به منظور تعیین سطوح بهینه متغیرهای ورودی.

۱-۳- آزمایش‌های دو عاملی برای غربالگری متغیرهای ورودی

بررسی و تحلیل بسیاری از فرآیندها مشتمل بر مطالعه تعداد زیادی متغیرهای تاثیرگذار بر آنها است که بررسی کامل نیازمند تعداد آزمایش‌های بسیاری است. زمانی که انجام تعداد زیاد آزمایش‌ها به هزینه و زمان بالایی نیاز دارد، در چنین شرایطی و برای بررسی اثر توام عوامل بر پاسخ، طرح‌های عاملی به شکل گسترده‌ای استفاده می‌شوند. دسته خاصی از طرح‌های عاملی که در زمینه غربالگری متغیرهای اولیه کاربرد دارند، طرح‌های دو عاملی هستند که در آنها هر یک از متغیرهای تاثیرگذار بر متغیر پاسخ در دو سطح بالا (مثبت) و پایین (منفی) تنظیم شده و با تحلیل آماری، متغیرهای تاثیرگذار شناخته می‌شوند. در صورت وجود k متغیر (عامل) تحت بررسی، این طرح‌های دو عاملی به 2^k آزمایش نیاز دارند که با افزایش تعداد عوامل، تعداد این آزمایش‌ها نیز افزایش می‌یابند. در چنین شرایطی، از طرح‌های دو عاملی کسری استفاده می‌شود که تنها مستلزم انجام کسری از تمام آزمایش‌های لازم در طرح کامل 2^k است. شیوه تجزیه و تحلیل این آزمایش‌ها نیز نظیر تحلیل واریانس و مبتنی بر تجزیه تغییرپذیری به عوامل آن است (شفه، ۱۹۹۸؛ مونتگومری، ۲۰۰۸؛ می‌یرز و مونتگومری، ۲۰۰۹).

در طرح حاضر و پس از طراحی آزمایش‌های آماری، به منظور تولید داده‌های مورد نیاز از شبیه‌سازی استفاده شده است. شبیه‌سازی مورد استفاده در این تحقیق، یک شبیه‌سازی گسسته پیشامد است که به بررسی رفتار سیستم موجودی تحت بررسی به ازای ترکیبات مختلف متغیرها طبق آزمایش‌های طراحی شده می‌پردازد (بنکس، ۲۰۰۴). این شبیه‌سازی در نهایت مقادیر متغیر خروجی تابع هزینه به ازای هر ترکیب طرح آزمایشی را نشان می‌دهد.

۲-۳- تجزیه و تحلیل رگرسیون برای برآورد تابع برازش خروجی‌ها بر حسب ورودی‌ها

با به دست آمدن مقادیر متغیرهای خروجی حاصل از ترکیبات مختلف آزمایشی در گام قبل، در این مرحله

نسبت به برازش یک تابع رگرسیون اقدام می‌گردد. این تابع رگرسیون در واقع هزینه موجودی را به صورت تابعی از متغیرهای موجود در طرح آزمایشی بیان می‌کند.

۳-۳- بهینه‌سازی

با برازش تابع رگرسیون، که برآوردی از تابع هزینه موجودی سیستم مورد نظر است، نسبت به کمینه‌سازی این تابع به عنوان تابع هدف و تعیین مقادیر بهینه متغیرهای مدل اقدام می‌گردد.

مراحل ۱-۳ تا ۳-۳ به ترتیب گام‌هایی هستند که در روش‌شناسی سطح پاسخ برای تحلیل یک مسأله به کار می‌روند.

مدل‌سازی تابع هزینه موجودی

در این بخش، گام‌های طی شده به منظور برآورد مدل مربوط به هزینه موجودی سیستم سه سطحی نشان داده شده در شکل ۱، به عنوان متغیر پاسخ بررسی شده است.

۱-٤- انتخاب عوامل ورودی و طرح آزمایش

همان طور که در بیان مسأله ذکر گردید، هدف از مطالعه حاضر برآورد مدلی به منظور تعیین سیاست بهینه کنترل موجودی در یک زنجیره تامین سه سطحی، با ساختار همانند شکل ۱ است. عوامل ورودی انتخاب شده در این طرح شامل پنج متغیر Q_0، Q_1، R_1، Q_2 و R_2 مطابق تعریف ارائه شده در فوق است. در تعیین طرح آزمایش برای بررسی این مسأله، از یک طرح باکس -بنکن[۲] استفاده شده است. این طرح را باکس و بنکن (۱۹٦۰) ارائه نموده‌اند که هر طرح را می‌توان به صورت ترکیبی از یک طرح عاملی دو سطحی و یک طرح بلوک ناقص در نظر گرفت (اریکسون و همکاران، ۲۰۰۸). طرح مورد استفاده در تحقیق حاضر، یک طرح پنج عاملی با ده بلوک و چهار نقطه در هر بلوک، به همراه پنج مشاهده اضافی برای نقاط مرکزی است که مجموعاً شامل ٤٦ آزمایش می‌گردد. جدول ۱ سطوح بالا، پایین و مرکزی تعریف شده برای هر یک از عوامل را نشان می‌دهد.

نگاره ۱. عوامل مورد نظر در طرح آزمایشی و سطوح آنها

کد	عامل	سطح بالا (۱+)	مرکز (۰)	سطح پایین (۱-)
Q_0	اندازه دسته تولیدی تولید کننده مرکزی	٤۰	۳۰	۲۰
Q_1	نقطه سفارش مجدد عمده فروشان	۳۰	۱۵	۰
R_1	اندازه دسته سفارش عمده فروشان	۲۰	۱۵	۱۰
Q_2	نقطه سفارش مجدد خرده فروشان	۲۰	۱۰	۰
R_2	اندازه دسته سفارش خرده فروشان	۱۵	۱۰	۵

جدول ۲ طرح باکس - بنکن طراحی شده برای این آزمایش را نشان می‌دهد. این طرح یکی از متداول‌ترین طرح‌های مورد استفاده به منظور برازش توابع غیر خطی در کاربردهای مختلف است (وینینگ و کوالسکی، ۲۰۱۰).

۲-۳- شبیه‌سازی

پس از تعیین طرح آزمایشی، و به منظور برآورد مدل نسبت به شبیه‌سازی سیستم موجودی مورد نظر با استفاده از نرم افزار ARENA اقدام شده است. بر این اساس، در گام نخست مدل منطقی سیستم در نرم

افزار طراحی شده است. در طراحی مدل منطقی زمان تدارک کلیه سطوح برابر یک در نظر گرفته شده است، زیرا نوسان مقادیر تقاضا در طول زمان تدارک از طریق تغییرپذیری نرخ‌های ورود مشتریان پوشش داده شده است. از سوی دیگر، هزینه‌های نگهداری و کمبود خرده فروشان، عمده فروشان و هزینه نگهداری تولید کننده نیز همگی برابر ۱ واحد پولی فرض شده‌اند؛ ضمن آن که زمان آماده‌سازی تولید نیز برابر یک واحد و ظرفیت پردازش هر یک از ایستگاه‌های کاری معادل ۵۰ واحد در هر واحد زمانی تعریف شده است. پس از طراحی مدل منطقی، هزینه هر یک از ترکیب‌های مختلف آزمایشی با استفاده از ابزار Process Analyzer نرم افزار محاسبه و مقادیر آن در جدول ۱ و در مقابل هر طرح آزمایشی نشان داده شده است.

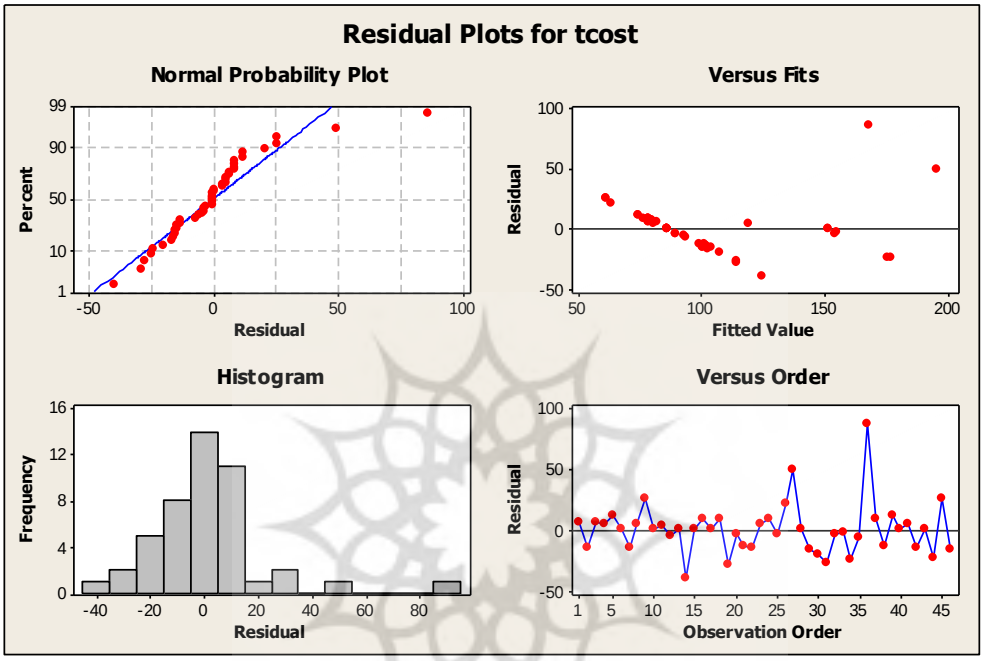
نگاره ۲. طرح باکس ° بنکن پنج عاملی با نقاط مرکزی افزوده

هزینه	Q_0	Q_1	R_1	Q_2	R_2	اجرا	هزینه	Q_0	Q_1	R_1	Q_2	R_2	اجرا
۸۶,۸۳۳	۰	۰	-۱	۰	۱	۲۴	۸۶,۶۷۳	۰	۱	-۱	۰	۰	۱
۸۵,۹۱۶	۰	۰	-۱	-۱	۰	۲۵	۸۵,۷۲۴	۰	-۱	۱	۰	۰	۲
۸۴,۷۴۴	-۱	۱	۰	۰	۰	۲۶	۸۶,۶۷۳	۰	۱	۱	۰	۰	۳
۲۴۵,۸۹۵	۰	۰	۰	-۱	-۱	۲۷	۸۴,۰۶۱	۱	۰	-۱	۰	۰	۴
۸۶,۰۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۸	۸۶,۶۸۱	۰	۰	۱	۱	۰	۵
۸۶,۴۵۱	۰	-۱	۰	۰	۱	۲۹	۸۶,۰۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶
۸۷,۴۵۶	۰	۰	۰	۱	۱	۳۰	۸۷,۵۹۱	-۱	۰	۱	۰	۰	۷
۸۷,۴۸۹	-۱	۰	۰	-۱	۰	۳۱	۸۴,۰۶۱	۱	۰	۱	۰	۰	۸
۸۵,۹۱۶	۰	۰	۱	-۱	۰	۳۲	۸۶,۶۱۵	۱	-۱	۰	۰	۰	۹
۱۵۲,۷۵۵	۰	۱	۰	۰	-۱	۳۳	۸۶,۰۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰
۱۵۱,۷۴۰	۰	-۱	۰	۰	-۱	۳۴	۱۲۳,۵۹	۰	۰	۰	۱	-۱	۱۱
۸۶,۵۷۱	۰	۱	۰	-۱	۰	۳۵	۸۷,۴۸۹	۱	۰	۰	-۱	۰	۱۲
۲۵۴,۸۰۵	-۱	-۱	۰	۰	۰	۳۶	۱۵۲,۱۲۲	۰	۰	-۱	۰	-۱	۱۳
۸۶,۸۳۳	۰	۰	۱	۰	۱	۳۷	۸۴,۷۷۴	۱	۱	۰	۰	۰	۱۴
۸۸,۱۲۶	-۱	۰	۰	۱	۰	۳۸	۸۶,۰۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۵
۸۶,۶۸۱	۰	۰	-۱	۱	۰	۳۹	۸۷,۳۳۵	۰	۱	۰	۱	۰	۱۶
۸۶,۰۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴۰	۱۵۲,۱۲۲	۰	۰	۱	۰	-۱	۱۷
۸۴,۸۷۴	۱	۰	۰	۰	۱	۴۱	۸۴,۷۱۳	۱	۰	۰	۱	۰	۱۸
۸۷,۵۹۱	-۱	۰	-۱	۰	۰	۴۲	۸۵,۵۳۹	۰	-۱	۰	-۱	۰	۱۹
۸۶,۰۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴۳	۱۵۰,۱۶۳	۱	۰	۰	۰	-۱	۲۰
۱۵۳,۶۴۳	-۱	۰	۰	۰	-۱	۴۴	۸۵,۹۱۲	۰	-۱	۰	۱	۰	۲۱
۸۶,۷۱۶	۰	۰	۰	-۱	۱	۴۵	۸۵,۷۱۴	۰	-۱	-۱	۰	۰	۲۲
۸۸,۴۱۱	-۱	۰	۰	۰	۱	۴۶	۸۷,۴۸۶	۰	۱	۰	۰	۱	۲۳

۳-۳- تحلیل واریانس و برآورد مدل

با انجام مطالعات شبیه‌سازی و برآورد هزینه سیستم تحت ترکیبات مختلف آزمایشی، نسبت به تحلیل آماری طرح آزمایشی و برآورد مدل رگرسیون مسأله اقدام شده است. پس از ورود داده‌ها به نرم افزار MINITAB و انجام تحلیل واریانس، نمودارهای

مانده‌ها مطابق شکل ۲ حاصل گردید. بر اساس شکل ۲ نمودار احتمال نرمال از وضعیت مناسبی برخوردار است. با وجود این، هیستوگرام مانده‌ها در گوشه پایین سمت چپ نشان دهنده یک توزیع چاوله به راست است. این وضعیت لزوم نوعی تبدیل پایدارسازی در داده‌ها را نشان می‌دهد. تبدیل پایدرسازی زمانی لازم است که واریانس مشاهدات ثابت نبوده، با استفاده از این تبدیل، سعی در رسیدن به ثبات در واریانس مشاهدات است (مونتگومری، ۲۰۰۸).



شکل ۲. نمودارهای مانده‌ها برای متغیر پاسخ هزینه کل

در تحقیق حاضر به منظور به دست آوردن پارامتر λ تبدیل در داده‌های پاسخ به شکل $y^{*}=y^{\lambda}$ از روش تحلیلی باکس و کاکس (۱۹٦٤) استفاده شده است. آنها نشان داده‌اند که پارامتر λ را می‌توان همزمان با پارامترهای دیگر مدل با استفاده از روش درستنمایی ماکزیمم برآورد نمود. روش عبارت است از انجام تحلیل واریانس استاندارد برای مقادیر مختلف λ مربوط به:

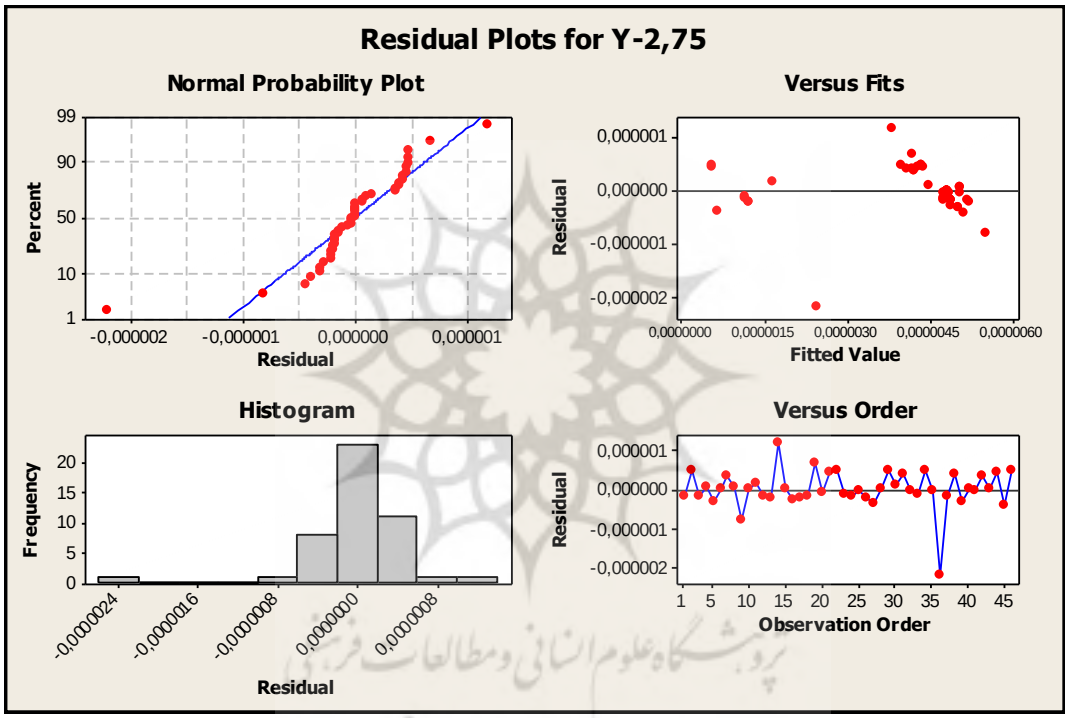
$$y^{(\lambda)}=\begin{cases}\dfrac{y^{\lambda}-1}{\lambda y_{\bullet}^{\lambda-1}} & \lambda\neq 0\\ y_{\bullet}\ln y & \lambda=0\end{cases} \qquad (1)$$

که در آن $y_{\bullet}=\ln^{-1}\left[(1/n)\sum\ln y\right]$ میانگین هندسی مشاهدات است. برآورد درستنمایی ماکزیمم λ مقداری است که مجموع مربعات خطا را حداقل و یا مقدار ضریب تعیین رگرسیون برآوردی را حداکثر نماید. بر این اساس، به ازای مقادیر مختلف λ از ۳- تا ۱,۵، مقدار بهینه پارامتر تبدیل مشخص شده است. نگاره ۳ مقادیر مختلف ضریب تعیین به ازای مقادیر مختلف λ را نشان می‌دهد. بر اساس این نگاره، مقدار بهینه پارامتر تبدیل داده‌ها $\lambda=-2.75$ انتخاب می‌شود که به ازای این تبدیل، ضریب تعیین معادل ۹۰,۳۲٪ محاسبه می‌شود.

نمودارهای مانده‌ها به ازای متغیر پاسخ $y^* = y^{-2.75}$ نیز در شکل ۳ ارائه شده است. در این شکل، نمودار احتمال نرمال مانده‌ها همچنان از وضعیت مناسبی برخوردار است. از سوی دیگر هیستوگرام مانده‌ها نیز وضعیت از چولگی کمتری برخوردار بوده، به یک توزیع متقارن شباهت بیشتری یافته است. ضریب تعیین مدل برآوردی نیز افزایش یافته است.

نگاره ۳. مقادیر ضریب تعیین حاصل از برازش مدل به ازای مقادیر مختلف پارامتر تبدیل

λ	ضریب تعیین	λ	ضریب تعیین	λ	ضریب تعیین
۱,۵	٪۶۷,۸۸	۰	٪۸۰,۰۸	−۱,۷۵	٪۸۸,۲۱
۱,۲۵	٪۷۰,۰۹	−۰,۲۵	٪۸۱,۶۹	−۲	٪۸۸,۸۷
۱	٪۷۲,۲۷	−۰,۵	٪۸۳,۱۴	−۲,۲۵	٪۸۹,۴۳
۰,۷۵	۷۴,۳۹	−۱	٪۸۵,۵۸	−۲,۵	٪۸۹,۹۱
۰,۵	۷۶,۴۲	−۱,۲۵	٪۸۶,۵۸	−۲,۷۵	٪۹۰,۳۲
۰,۲۵	۷۸,۳۲	−۱,۵	٪۸۷,۴۵	−۳	٪۸۳,۹۶



شکل ۳. نمودارهای مانده‌ها برای متغیر پاسخ تبدیل یافته $y^{-2.75}$

در نتیجه، با تبدیل داده‌های متغیر پاسخ به صورت $y^* = y^{-2.75}$، تابع رگرسیون زیر برای برآورد تابع هزینه موجودی سیستم به دست می‌آید. در رابطه (۲)، TC بیانگر تابع هزینه سیستم موجودی به ازای متغیر پاسخ تبدیل یافته است. در خصوص محدودیت‌های اضافه شده به مدل نیز، محدودیت‌های $R_1 \le Q_1$ و $R_2 \le Q_2$ بر اساس این فرض اضافه شده که هر خرده فروش یا عمده فروش در هر لحظه از زمان نباید بیش از یک سفارش در راه داشته باشد. همچنین، در صورتی که محدودیت $R_1 \ge -3Q_2$ نقض شود، عمده فروش ۲ هرگز به نقطه سفارش خود نخواهد رسید و نقض محدودیت $R_1 \le 3Q_2$ به معنای آن است که این عمده فروش همواره دارای موجودی مازاد خواهد بود. محدودیت آخر در خصوص $Q_1 \ge 2Q_2$ نیز از آن روست که اندازه دسته تولیدی تولید کننده به گونه‌ای باشد که حداقل پاسخگوی سفارش‌های عمده فروشان در یک دوره زمانی باشد.

$$TC = 4.784687\times10^{-6} + 4.15488\times10^{-7}Q_0 + 2.62179\times10^{-7}Q_1 - 9.68665\times10^{-11}R_1 + 8.38021\times10^{-8}Q_2 + 1.82656\times10^{-6}R_2 - 2.72356\times10^{-7}Q_0^2 - 2.76086\times10^{-7}Q_1^2 + 9.60696\times10^{-8}R_1^2 + 2.9278\times10^{-8}Q_2^2 - 1.84734\times10^{-6}R_2^2 - 4.06255\times10^{-7}R_2Q_2 - 6.44153\times10^{-22}R_1R_2 - 3.33373\times10^{-8}Q_1R_2 + 1.1603\times10^{-7}Q_0R_2 - 3.54388\times10^{-22}Q_2R_1 - 1.36105\times10^{-8}Q_1Q_2 + 1.28416\times10^{-7}Q_0Q_2 + 3.87466\times10^{-10}R_1Q_1 + 2.52498\times10^{-22}Q_0R_1 - 1.11333\times10^{-6}Q_1Q_0 \quad (۲)$$

S.T.

$$R_2 \le Q_2,\ R_1 \le Q_1,\ R_1 \ge -3Q_2,\ R_1 \le 3Q_2,\ Q_0 \ge 2Q_2$$

$$Q_0, Q_1, Q_2 \ge 0$$

$$R_1, R_2 \in R$$

۳. بهینه‌سازی

تابع (۲) برآوردی از تابع هزینه سیستم موجودی مورد بررسی را نشان می‌دهد که حدود ۹۰٫۳٪ از مقادیر هزینه سیستم موجودی را پوشش می‌دهد. با توجه به هدف مسأله در خصوص کمینه‌سازی هزینه‌های موجودی سیستم به منظور تعیین سیاست موجودی بهینه آن، در این بخش نسبت به بهینه‌سازی این تابع اقدام شده است. با توجه به تبدیل متغیر اعمال شده، کمینه‌سازی هزینه‌ها به معنای بیشینه‌سازی تابع TC طبق رابطه (۲) است. از این رو، نسبت به بیشینه‌سازی تابع هزینه اقدام شده است. با استفاده از نرم افزار Lingo، جواب بهینه این تابع به صورت $y^* = ۰.۵۳۱۳۰۰۵ \times ۱۰^{-۵}$ محاسبه می‌گردد. پس از معکوس‌سازی تبدیل اعمال شده بر روی متغیرهای پاسخ، مقدار بهینه هزینه سیستم موجودی معادل $y^* = ۸۲.۰۸$ محاسبه می‌گردد. مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم نیز به شرح زیر هستند:

$$Q_0 = ۳۶ \qquad R_2 = ۱۴$$

$$R_1 = ۱۸ \qquad Q_2 = ۱۸$$

$$Q_1 = ۱۶$$

در نتیجه، نقطه سفارش مجدد بهینه خرده فروشان معادل ۱٤ و اندازه دسته سفارش بهینه آنها ۱۸ واحد محاسبه می‌گردد. در سطح عمده فروشان نقطه سفارش مجدد بهینه برابر ۱۸ و اندازه دسته سفارش بهینه ۱٦ واحد خواهد بود. اندازه دسته تولیدی بهینه تولید کننده مرکزی نیز برابر ۳٦ واحد محاسبه می‌گردد.

٤. اثبات بهینگی جواب

پس از برآورد تابع هزینه سیستم مورد بررسی نسبت به بهینه‌سازی آن اقدام شده است. در مرحله بهینه‌سازی دامنه گسترده‌ای از روش‌های قطعی و ابتکاری موجود است. در خصوص فضای جواب تابع برآوردی، با توجه به خطی بودن روابط، این محدودیت‌ها یک چند وجهی محدب را تشکیل می‌دهند که همواره مجموعه‌ای محدب است (بازارا و همکاران، ۲۰۱۰). برای اطمینان از آنکه جواب به دست آمده برای این تابع بهینه مطلق است، باید محدب/ مقعر بودن آن را بررسی نمود. شایان ذکر است که اگرچه کاربرد روش‌های ابتکاری به این بررسی نیازی ندارد، با وجود این، نقطه ضعف اساسی این روش‌ها آن است که تضمینی بر بهینگی جواب‌های به دست آمده نداشته؛ حتی میزان فاصله جواب به دست آمده از جواب بهینه را نیز نشان نمی‌دهند (طلبی، ۲۰۰۹). از سوی دیگر، نرم افزار Lingo نیز تضمینی بر ارائه جواب بهینه مطلق برای توابع غیر خطی ارائه نمی‌دهد. از این رو، در این بخش نسبت به بررسی تحدب تابع هزینه اقدام شده

است. در خصوص تابع TC، با توجه به این که هدف بیشینه‌سازی این تابع است، به منظور اطمینان از آن که یک جواب محلی به دست آمده جواب بیشینه مطلق آن نیز هست، نسبت به بررسی مقعر بودن این تابع اقدام شده است. برای بررسی مقعر (اکید) بودن تابع TC باید نشان داد که ماتریس هشین H یک ماتریس معین (نیمه معین) منفی است (بازارا و همکاران، ۲۰۰۶). برای این منظور، ماتریس هشین این تابع نسبت به متغیرهای موجود به صورت زیر به دست می‌آید (ترتیب متغیرهای از سطر اول تا پنجم و ستون‌های اول تا پنجم به صورت Q_0، R_1، Q_1، R_2 و Q_2 است).

$$H=\begin{bmatrix} -1.284616\times10^{-7} & -1.16003\times10^{-7} & -1.111333\times10^{-6} & 2.052498\times10^{-22} & -5.447112\times10^{-7} \\ -3.054388\times10^{-22} & -6.44153\times10^{-22} & 3.874666\times10^{-10} & 19.21392\times10^{-8} & 2.052498\times10^{-22} \\ -1.361105\times10^{-8} & -3.333373\times10^{-8} & -5.521172\times10^{-7} & 3.874666\times10^{-10} & -1.111333\times10^{-6} \\ -4.062555\times10^{-7} & -3.694668\times10^{-6} & -3.333373\times10^{-8} & -6.44153\times10^{-22} & 1.16003\times10^{-7} \\ -5.85556\times10^{-8} & -4.062555\times10^{-7} & -1.361105\times10^{-8} & -3.054388\times10^{-22} & 1.284616\times10^{-7} \end{bmatrix}$$

برای بررسی معین (نیمه معین) منفی بودن ماتریس هشین از معیار سیلوستر[3] استفاده شده است. بر اساس این معیار، یک ماتریس را معین مثبت گویند اگر دترمینان تمامی زیر ماتریس‌ها (کهادهای) آن عددی مثبت باشد (برینکویس و تیخومیروف، ۲۰۰۵). حال برای بررسی معین (نیمه معین) منفی بودن ماتریس کافی است دترمینان کهادهای آن همگی عددی منفی باشند. بر این اساس، دترمینان تمامی کهادهای ماتریس هشین به ترتیب زیر محاسبه شده‌اند:

- زیر ماتریس ۱×۱ از گوشه سمت چپ (P_{11})؛
- زیر ماتریس ۲×۲ از گوشه سمت چپ (P_{22})؛
- زیر ماتریس ۳×۳ از گوشه سمت چپ (P_{33}) ؛
- زیر ماتریس ٤×٤ از گوشه سمت چپ (P_{44})؛
- دترمینان کل ماتریس.

برای محاسبه مقادیر این دترمینان‌ها، این مقادیر دترمینان با ورود ماتریس هشین به نرم افزار MATLAB وارد و دترمینان پنج زیر ماتریس فوق به شرح زیر محاسبه شده‌اند.

$$det(P_{11}) = -5.44712\times10^{-7}$$
$$det(P_{22}) = -1.0466\times10^{-13}$$
$$det(P_{33}) = -18037\times10^{-19}$$
$$det(P_{44}) = -2.023339\times10^{-25}$$
$$det(P_{55}) = -1.36696\times10^{-32}$$

با توجه به منفی بودن تمامی مقادیر دترمینان فوق، ماتریس هشین یک ماتریس معین منفی و تابع هزینه TC تابعی اکیداً مقعر است. با توجه به تقعر این تابع، هر جواب بهینه محلی برای آن یک جواب بهینه مطلق است. در نتیجه، جواب به دست آمده برای این تابع توسط نرم افزار نیز یک جواب بهینه قطعی است.

۵. نتیجه‌گیری

مدل‌های موجودی چند سطحی از زمینه‌های تحقیقاتی پرکاربرد در حوزه مدیریت زنجیره‌های تامین هستند که با مسأله تعیین سیاست بهینه موجودی در ساختارهای چند سطحی، نظیر زنجیره‌های تامین، ارتباط دارند. پس از ارائه مدل‌های موجودی تک سطحی در دهه ۱۹۱۰، محققان در حدود دهه ۱۹۶۰ به تحقیق در زمینه مدل‌های چند سطحی پرداخته و از آن زمان تاکنون مطالعات بسیاری در زمینه توسعه مدل‌های موجودی چند سطحی به انجام رسیده است. تحقیق حاضر نیز در راستای توسعه مدل‌های موجودی چند سطحی به بررسی یک سیستم موجودی شامل یک تولید کننده، دو عمده فروش (توزیع کننده) و تعدادی خرده فروش مرتبط با هر یک از عمده فروشان پرداخته است. مدل توسعه داده شده نسبت به بهینه‌سازی زنجیره تامین سه سطحی در حالتی پرداخته که تقاضای ارائه شده مشتریان به خرده فروشان از نوع پواسون محض و سیاست موجودی آنها از نوع مرور مستمر (R, Q) است. این تحقیق، همچنین از منظر روش‌شناسی، نوعی نوآوری در خصوص بهره‌گیری از روش‌شناسی سطح پاسخ در بررسی مسائل موجودی چند سطحی به شمار می‌رود. بر این اساس، با استفاده از مجموعه‌ای از آزمایش‌های طراحی شده طبق طرح باکس – بنکن، ٤٦ آزمایش مختلف برای سیستم مورد نظر طراحی و شبیه‌سازی گردید. سپس نسبت به برآورد تابع هزینه سیستم موجودی با استفاده از روش رگرسیون اقدام و جواب بهینه مطلق تابع محاسبه گردید. روش پیشنهادی در این مقاله می‌تواند در بررسی مسائل مختلف سیستم‌های موجودی چند سطحی با فرضیات و ساختارهای گوناگون به کار رود. همچنین، یکی از مزایای روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های مدل‌سازی ریاضی، بهینه‌سازی همزمان پارامترهای سیاست موجودی است. در حالی که بسیاری از روش‌های مدل‌سازی مبتنی بر سیستم‌های صف، یک مقدار از قبل تعیین شده را برای پارامتر اندازه دسته سفارش در نظر گرفته، سپس نسبت به تعیین مقدار بهینه نقطه سفارش مجدد اقدام می‌کنند. در نتیجه، روش پیشنهادی در تحقیق حاضر، تعمیمی بر مدل‌های پیشین از منظر روش‌شناسی و نتیجه‌گیری به شمار می‌رود.

منابع:

سیف برقی، مهدی؛ امیری، مقصود، حیدری، مصطفی. (۱۳۸۷). "تخمین تابع هزینه سیستم موجودی دو سطحی در حالت فروش از دست رفته با استفاده از رگرسیون". *مجله مهندسی صنایع*، ۱، ۱-۱۰.

Amiri, M., Seif barghy, M., Olfat, L., Razavi Hajiagha, S.H. (2012). "Determination of a desirable inventory policy in a three echelon multilayer supply chain with normal demand". *International Journal of Industrial Engineering and Production Research*, 23(1): 65-72.

Axsater, S. (1990). Simple Solution Procedure for a Class of Two-Echelon Inventory Problem". *Operations Research*, 38(1): 64-69.

Axsater, S. (1993). Exactand approximate evaluation of batch-ordering polices for two-level inventory systems". *Operations Research*, 41(4): 777-785.

Axsater, S. (1998). "Evaluation of Installation Stock Based (R, Q)-Policies for Two-Level Inventory Systems with Poisson Demand". *Operations Research*, 46(3): 135-145.

Axsater, S. (2000). "Exact Analysis of Continuous Review (R, Q) Policies in

Multilevel Production/Inventory Control Systems: Theory and Practice, Elsevier Science Ltd.

Eriksson, L., Johansson, E., Kettaneh-Wold, N., Wikstrom, C., Wold, S. (2008). Design of Experiment: Principles and Applications. 3rd edition, Umetrics Academiy.

Gao, J., Wang, W.D. (2008). Simulation-based optimization and its application in multi-echelon network stochastic inventory system .7th International Conference on System Simulation and Scientific Computing, 10-12 October, China, Beijing, 1302-1307.

Graves, S.C. (1985). A Multi-Echelon Inventory Model for a Repairable Item with One-for-One Replenishment . *Management Science*, 31(10): 1247-1256.

Gumus, A.T., Guneri, A.F. (2007). Multi-echelon inventory management in supply chains with uncertain demand and lead times: literature review from an operational research perspective . *Proceedings - Institution of Mechanical Engineers Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 221(10): 1553-1570

Kochel, P., Nielander, U. (2005). Simulation-based optimisation of multi-echelon inventory systems .*International Journal of Production Economics*. 93-94(1): 505-513.

Khuri, A.I. (2006). Response Surface Methodology and Related Topics. Singapore: World Scientific Publishing Co.

Moinzadeh, K., Lee, H.L. (1986). Batch Size and Stocking Levels in Multi-Echelon Repairable Systems . *Management Science*, 32(12): 1567-1581.

Montgomery, D.C. (2008). Design and Analysis of Experiments. 7th edition, New York: John Wiley & Sons.

Myers, R.H., Montgomery, D.C., Anderson-Cook, C.M. (2009). Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Two-Echelon Inventory Systems with Compound Poisson Demand*". Operations Research*, 48(5): 686-696.

Axsater, S. (2002). "Approximate optimization of a two-level distribution inventory system*". International Journal of Production Economics*, 81-82: 545-553.

Axsater, S. (2006). Inventory Control, 2nd edition, New York: Spriner.

Banks, J., Carson, J., Nelson, B.L., Nicol, D. (2004). Discrete-Event System Simulation. 4th Edition, New Jersey: Prentice Hall.

Bazaraa, M.S., Sherali, H.D., Shetty, C.M. (2006). Nonlinear Programming. 3rd edition, New Jersey: John Wiley & Sons.

Bazaraa, M.S., Jarvis, J.J., Sherali, H.D. (2010). Linear Programming and Network Flows. 3rd edition, New Jersey: John Wiley & Sons.

Box, G., Cox, D.R. (1964). An Analysis of Transformations", Journal of the Royal Statistical Society, Series B(26): 211˚243.

Brinkhuis, J., Tikhomirov V.M. (2005). Optimization: insights and applications. New Jersey: Princeton University Press.

Cachon, G.P. (2001). *"Exact* Evaluation of Batch-Ordering Inventory Policies in Two-Echelon Supply Chains with Periodic *Review"*. Operations Research: 49(1): 79-98.

Chandra, C., Kamrani, A.K. (2004). Mass customization: a supply chain approach. New York: Kluwer Academic Publishers.

Chopra, S., Meindel, P. (2007). Supply Chain Management. 3rd edition, New York: Prentice Hall.

Clark, A.J., Scarf, H. (1960). Optimal policies for a multi-echelon inventory problem . Management Science, 6(4): 475˚490

Deuermeyer, B.L., Schwarz, L.B. (1981). A model for the analysis of system service level in warehouse-retailer distribution systems: the identical retailer case . Presented in: Schwarz, L.B. (1981).

Definitive Guide for the Business Professional. New York: Mc-Graw Hill.

Talbi, E.G. (2009). Metaheuristics: from design to implementation. New Jersey: John Wiley & Sons.

Vining, G., Kowalski, S.M. (2010). Statistical Methods for Engineering. 3rd edition. Boston: CENGAGE Learning.

Walker, W.T. (2005). Supply chain architecture: a blueprint for networking the flow of material, Information and Cash. Florida: CRC Press.

Wisner, J.D., Tan, K.C., Leong, G.K. (2008). Principles of Supply Chain Management: A Balanced Approach. Ohio: South-Western Cengage Learning.

Zhao, Q.H., Chen, S., Zang, C.X. (2008). Model and algorithm for inventory/routing decision in a three-echelon logistics system . *European Journal of Operational Research*, 191(3): 623-635.

Experiments. 3rd edition, New Jersey: John Wiley and Sons.

Overbeck, S. (2009). Supply Chain Management - A Critical Analysis. Duisburg: GRIN Verlag.

Roach. B. (2005). Originof the Economic Order Quantity formula: transcription or transformation*?". Management Decision*. 43(9): 1262-1268.

Seifbarghy, M., Akbari Jokar, M.R. (2006). Cost evaluation of a two-echelon inventory system with lost sales and approximately Poisson demand . *International Journal of Production Economics*, 102(2): 244-254.

Scheffe, H. (1998). The Analysis of Variance. New York: John Wiley & Sins.

Sherbrook, C.C. (1968). Metric: A Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control . *Operations Research*, 16(1): 122-141.

Simchi˚ Levi, D., Kaminsky, P., Simchi˚ Levi, E. (2004). Managing the Supply Chain: the

پی‌نوشت:

[1] Response Surface Methodology
[2] . Box ˚ Behnken Design
[3] . Sylvester's Criterion

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی