مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (تابستان ۱۳۹۶)
دوره‌ی ۱-۳۳، شماره‌ی ۱/۲، ص. ۱۰۱-۱۱۲

Original Article

ارائه‌ی یک مدل موجودی در زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی با در نظر گرفتن تقاضای احتمالی

رامین صادقیان* **(استادیار)**
گلناز طالبی لنگرودی (دانشجوی کارشناسی ارشد)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور

در این پژوهش، یک زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی شامل چندین فروشنده[1]، چندین خرده‌فروش[2] و یک انبار مرکزی[3] برای مدیریت موجودی فروشنده[4] به‌منظور پشتیبانی فروشندگان در نظر گرفته می‌شود، به‌طوری که تعداد کل سفارشات سالیانه و فضای انبارش انبار مرکزی محدود است و تقاضای خرده‌فروشان احتمالی نیز با تابع توزیع نرمال در نظر گرفته شده است. هدف این مقاله، کمینه‌سازی کل هزینه‌های زنجیره‌ی تأمین ــ شامل هزینه‌های سفارش‌دهی و نگه‌داری خرده‌فروشان، فروشندگان و انبار مرکزی ــ است که از مشخص شدن مقدار سفارش خرده‌فروش اول که توسط فروشنده‌ی iام تأمین می‌شود و همچنین نرخ بازپرسازی[5] خرده‌فروشان و فروشندگان با توجه به محدودیت‌های مدل به دست می‌آید. مسئله به‌صورت یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح[6] با تقاضاهای احتمالی ایجاد می‌شود و توسط نرم‌افزار CPLEX حل و توسط روش تاگوچی بهترین ترکیب از تقاضاها برای مسئله‌ی تولید شده مشخص می‌شود.

واژگان کلیدی: زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی، مدیریت موجودی، انبار مرکزی، تقاضای احتمالی، روش تاگوچی.

sadeghian@pnu.ac.ir
g_talebi101@yahoo.com

۱. مقدمه

در حالت ایده‌آل، تصمیم‌گیری در یک زنجیره‌ی تأمین می‌تواند تحت کنترل یک تصمیم‌گیرنده‌ی مرکزی برای بهینه‌شدن عملکرد سیستم صورت پذیرد که به آن زنجیره‌ی تأمین متمرکز اطلاق می‌شود. با این وجود، در حالت کلی نه فروشنده و نه خرده‌فروش‌ها نمی‌توانند کل زنجیره‌ی تأمین را کنترل کنند. هرکدام از اعضای زنجیره‌ی تأمین اهداف و اولویت‌های خاص خود را دارند و قبل از آن که به بهینه شدن عملکرد کلی سیستم توجه کنند، به‌دنبال بهینه‌سازی عملکرد فردی خود هستند. در واقع، هرگاه اعضای زنجیره‌ی تأمین مستقل و جدا از هم باشند، به‌طور مستقل برای بهینه شدن عملکردشان تلاش می‌کنند. در این حالت زنجیره‌ی تأمین را غیرمتمرکز می‌نامیم؛ ساختار غیرمتمرکز زنجیره‌ی تأمین منجر به «اثر شلاق چرمی[7]» می‌شود که در نهایت عملکرد زنجیره‌ی تأمین را تضعیف می‌کند. مدیریت موجودی توسط فروشنده یکی از استراتژی‌هایی است که در دو دهه‌ی اخیر مورد استفاده‌ی بسیاری از شرکت‌ها برای یک‌پارچه‌سازی اعضای زنجیره‌ی تأمین قرار گرفته است. مدیریت موجودی توسط فروشنده سطح بالایی از مشارکت بین فروشنده و خرده‌فروش را نشان می‌دهد که در آن فروشنده تصمیم‌گیرنده‌ی اصلی درمورد کنترل موجودی است. تحت این رویکرد، فروشنده درمورد سطوح مناسب موجودی هرکدام از محصولات و رویکرد مناسب برای کنترل این سطح تصمیم‌گیری می‌کند. به‌عبارت دیگر، مدیریت موجودی توسط فروشنده فرایند پیوسته‌یی است که در آن مسئولیت مدیریت موجودی خرده‌فروش به فروشنده واگذار می‌شود و ایده‌ی اصلی آن حذف فرایند سفارشی است که بین خرده‌فروش و فروشنده صورت می‌گیرد. در این روش، خرده‌فروش فروشنده را با اطلاعات ضروری برای در نظرگرفتن کالای کافی به‌منظور رفع نیاز و تقاضای مشتری نهایی تغذیه می‌کند. این امر فروشنده را قادر می‌سازد که مقدار کالای تولیدی خود را بهتر و دقیق‌تر تخمین بزند. در این شرایط فروشنده دید مستقیمی از مدل‌های تقاضای مشتری نهایی دریافت می‌کند که می‌تواند از آنها در پیش‌بینی استفاده کند. خرده‌فروش از هزینه‌های موجودی کم‌تر برخوردار شده و این امر منجر به‌کاهش سطوح موجودی در انبار خرده‌فروش می‌شود. مدیریت موجودی توسط فروشنده، یکی از موفق‌ترین روش‌ها در زمینه‌ی بهبود یکپارچه‌سازی زنجیره‌ی تأمین است، که می‌توان از آن جهت پوشش‌دهی برخی از ابعاد و اهداف زنجیره‌ی تأمین استفاده کرد. ساختار مفهومی اولیه‌ی مدیریت موجودی توسط فروشنده در سال ۱۹۵۸ توسط ماگی، جهت پاسخ دادن به سوال «چه‌کسی باید مسئول کنترل موجودی‌ها باشد؟» معرفی شد.[1] گسترش مدل‌های مدیریت موجودی توسط فروشنده توسط محققین عمدتاً از دهه‌ی ۹۰ آغاز شد. یک نمونه‌ی موفقیت‌آمیز از اجرای این رویکرد به همکاری بین دو شرکت وال ـ مارت به‌عنوان خرده‌فروش و پروکتر و گمبل به‌عنوان تأمین‌کننده برمی‌گردد. در سال ۱۹۸۵ مشارکت بین این دو شرکت، تحویل‌های به‌موقع شرکت

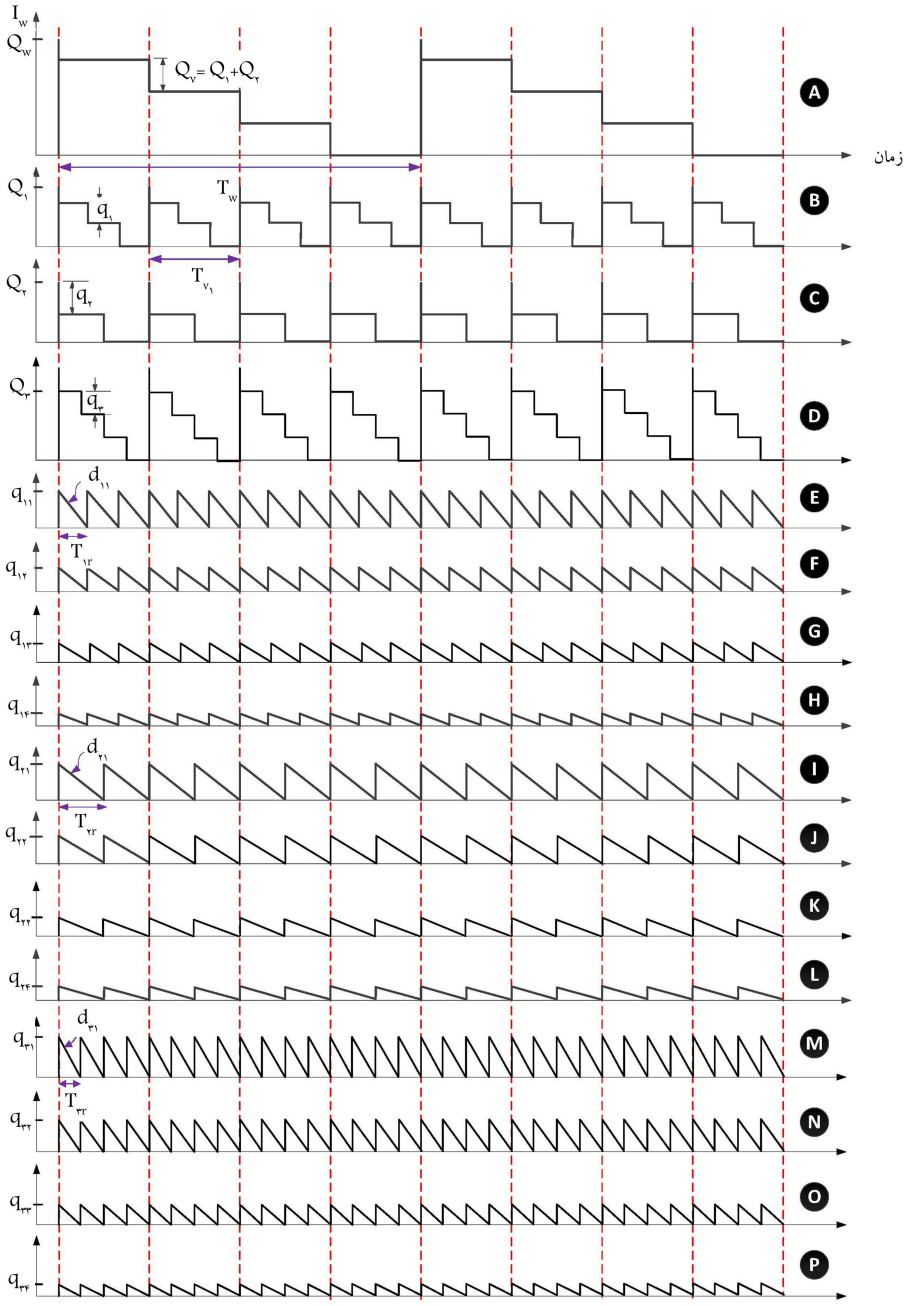
* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۳/۱۲/۲۷، اصلاحیه ۱۳۹۴/۶/۷، پذیرش ۱۳۹۴/۷/۱۸.

پروکتر و گمبل، و فروش وال ـ مارت را به‌میزان قابل توجهی افزایش داد و گردش موجودی هر دو ۳۳٪ افزایش یافت.[۲-۴] در این مدل خرده‌فروشان اطلاعاتی نظیر فروش و سطوح موجودی خود را در اختیار تأمین‌کنندگان قرار می‌دهند و در مقابل، تأمین‌کنندگان مقدار هر سفارش و همچنین تعداد بازپرسازی در هر دوره‌ی زمانی را مشخص می‌کنند. به‌عبارت دیگر، تأمین‌کنندگان با در نظرگرفتن هزینه‌های موجودی خود که برابر با کل هزینه‌های موجودی زنجیره‌ی تأمین است، زمان و مقدار بازپرسازی سفارشات در هر دوره زمانی را مشخص می‌کنند.[۵] در محیط تولیدی، یکی از اولین تحقیقات توسط گویال، روی یک فروشنده و یک خرده‌فروش صورت پذیرفت.[۶] سپس گویال با توسعه‌ی مدل پیشنهادی خود ــ شامل چند خریدار ــ اثبات کرد که متوسط موجودی، متأثر از نرخ تولید است.[۷] یائو، یک مدل مدیریت موجودی توسط فروشنده را با در نظرگرفتن سیستم موجودی براساس مقدار سفارش اقتصادی[۸] و قطعی بودن تقاضا، برای کاهش کل هزینه‌های سیستم معرفی کرد.[۸] درویش و اوداه، یک سیستم مدیریت موجودی توسط فروشنده مبنی بر یک فروشنده و چند خرده‌فروش در نظرگرفته‌اند که در آن فروشنده متعهد به‌پرداخت جریمه در قبال تجاوز از تعداد سفارشات تعیین شده می‌شود و همچنین تقاضا قطعی در نظرگرفته شده است.[۹] آنها یک الگوریتم کارا جهت حل مدل و یافتن جواب بهینه ارائه دادند. یئو و همکاران نیز سیستم مدیریت موجودی توسط فروشنده را برای محصولات زوال‌پذیر و مواد خام در نظرگرفتند، سپس مدل پیشنهادی را توسط الگوریتم ژنتیک[۹]، نیوتن رافسون[۱۰] و برنامه‌ریزی پویا[۱۱] حل کردند.[۱۰]

پسندیده و همکاران یک زنجیره‌ی تأمین شامل یک فروشنده و چندین خرده‌فروش با چندین محصول با تقاضاهای قطعی در نظر گرفته‌اند.[۱۱] در این مدل حالت کمبود پس‌افت به‌همراه محدودیت ظرفیت انبارش تأمین‌کننده و همچنین کل تعداد سفارشات برای تمامی محصولات لحاظ شده بود. آنها مدل مدیریت موجودی توسط فروشنده را به‌صورت یک مدل غیرخطی عدد صحیح مدل‌سازی و سپس توسط الگوریتم ژنتیک آن را حل کردند. صادقی و همکاران یک مدل مدیریت موجودی توسط فروشنده، شامل یک فروشنده و یک خریدار با چندین محصول و با تقاضاهای قطعی، پیشنهاد دادند و در نهایت مدل را توسط یک الگوریتم ژنتیک حل کردند.[۱۲] در این مدل تعداد سفارشات سالیانه، فضای انبارش کالا برای تأمین‌کننده و همچنین حد بالای سطح موجودی تأمین‌کننده به‌عنوان محدودیت فرض شده است. صادقی و همکاران نیز با توسعه‌ی مدل فوق و با در نظرگرفتن یک زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی ــ شامل چند فروشنده، چند خرده‌فروش و یک انبار مرکزی ــ مدلی جدید در حوزه‌ی مدیریت موجودی توسط فروشنده معرفی کردند.[۱۳] در این تحقیق تقاضا قطعی در نظرگرفته شده و تعداد سفارشات سالیانه و فضای انبارش انبار محدود فرض شده است. به‌همین منظور برای حل مدل، الگوریتم بهینه‌یابی ازدحام ذرات[۱۲] معرفی شده است. روزبه‌نیا و همکاران، یک مدل مدیریت موجودی توسط فروشنده حافظ محیط زیست برای یک تأمین‌کننده و یک خرده‌فروش و چندین کالا با در نظرگرفتن سیستم موجودی مقدار اقتصادی سفارش، کمبود تأمین کالاها، فضای انبارش کالاها در انبار، زمان تحویل، مقدار سفارش و تعداد پالت را مورد بررسی قرار دادند.[۱۴] آنها برای حل مدل از الگوریتم فراابتکاری امپرالیسم استفاده کردند. اخیراً نیز تحقیقاتی روی مدیریت موجودی توسط فروشنده با در نظرگرفتن تقاضاهای فازی صورت گرفته است. در این راستا، صادقی و همکاران یک مدل مدیریت موجودی توسط فروشنده با در نظرگرفتن تقاضاهای فازی برای یک تأمین‌کننده و چندین خرده‌فروش در نظرگرفته‌اند.[۱۵] در این مدل محدودیت حمل‌ونقل محموله‌ها همراه با فضای در دسترس برای انبارش کالا توسط خرده‌فروشان، متوسط موجودی و حداکثر تعداد بازپرسازی در نظرگرفته شده است. همچنین روزبه‌نیا و همکاران، یک مدل مدیریت موجودی توسط فروشنده چندکالایی با تقاضاهای فازی را بررسی کردند که در این مدل زنجیره‌ی تأمین شامل یک تأمین‌کننده و یک خرده‌فروش با در نظرگرفتن محدودیت‌های کسری تأمین کالا، فضای انبارش کالاها در انبار، زمان تحویل، مقدار سفارش و تعداد پالت است.[۱۶]

اخیراً روزبه‌نیا و همکاران نیز یک مدل موجودی توسط فروشنده را با در نظر گرفتن یک خرده‌فروش، یک فروشنده و چندین محصول ارائه کرده‌اند.[۱۷] در مدل موجودی مذکور، از سیستم مقدار سفارش اقتصادی با احتساب کمبود استفاده شده است؛ محدودیت‌های مدل شامل محدودیت فضای انبارش خرده‌فروشان، زمان‌های انتظار دریافت کالا، مقادیر سفارش و تعداد پالت است. سپس مدل فوق توسط الگوریتم ترکیبی فراابتکاری ژنتیک و امپراطوری[۱۳] حل شده است. از دیگر روش‌های ارزیابی مدل مدیریت موجودی توسط فروشنده می‌توان به نظریه‌ی بازی‌ها اشاره کرد. رسایی و همکاران، یک زنجیره‌ی تأمین دوسطحی شامل یک فروشنده و چندین خرده‌فروش با فرض یک محصول در نظرگرفتند. در این تحقیق تابع تقاضا به‌صورت تابعی کاهشی از قیمت براساس تابع کوب ـ داگلاس معرفی شده است. مسئله‌ی پیشنهادی را طبق نظریه‌ی بازی استاکلبرگ مدل‌سازی کردند. در این مدل فروشنده نقش رهبر و خرده‌فروشان نقش پیرو را ایفا می‌کردند. آنها روش فوق را برای زنجیره‌ی تأمین متمرکز و غیرمتمرکز به‌کار برده و با یکدیگر قیاس کردند.[۱۸] از دیگر روش‌های حل در حوزه‌ی مدیریت موجودی توسط فروشنده می‌توان به‌روش شبیه‌سازی براساس سیستم‌های دینامیک اشاره کرد. در این راستا اخباری و همکاران، یک زنجیره‌ی تأمین دوسطحی شامل یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش را شبیه‌سازی کردند. هدف این مدل ترکیب بیشینه‌سازی تجمعی هزینه‌های زنجیره‌ی تأمین است در حالی که هزینه‌های مدیریت موجودی را کمینه می‌کند. این سیستم دینامیک به‌گونه‌یی شبیه‌سازی شده که اثر متقابل دینامیکی بین متغیرها و پارامترهای تولیدکننده و خرده‌فروش در سیستم مدیریت موجودی توسط فروشنده محاسبه می‌شود. آنها از روش نزدیک‌ترین Kامین همسایگی پیوسته برای پیش‌بینی بهترین نرخ تولید استفاده کردند.[۱۹] اخیراً نیز مُعبد و مهرجردی یک مدل مفهومی جهت مشارکت بین زنجیره‌ی تأمین معکوس و مدیریت موجودی توسط فروشنده پیشنهاد دادند؛ در این مدل ابتدا عناصر و فرضیات مورد نیاز مدل تشریح می‌شود. آنها سپس فرایندی مشارکتی برای جمع‌بندی و مسیریابی بین عناصر زنجیره‌ی تأمین توسط یک روش ابتکاری که براساس جست‌وجوی ممنوعه عمل می‌کرد برای یافتن بهترین مسیر معرفی کردند. با استفاده از روش ابتکاری فوق، نتایج حاصل از اجرای مجزای آن روی زنجیره‌ی تأمین معکوس با زمان مشارکتی موجود بین زنجیره‌ی تأمین معکوس و روش مدیریت موجودی توسط فروشنده، مقایسه شد.[۲۰]

با توجه به این که مدیریت موجودی توسط فروشنده مقوله‌یی جدید در حوزه‌ی زنجیره‌ی تأمین محسوب می‌شود، محققین در این حوزه کم‌تر توجهی به پارامترهای احتمالی و در نظرگرفتن چند سطح در زنجیره‌ی تأمین و همچنین چندین فروشنده و خرده‌فروش در مدل‌های معرفی شده در ادبیات موضوع شده است. لذا در نظر گرفتن تقاضاهای احتمالی و انبار مرکزی به‌عنوان سطح سوم زنجیره‌ی تأمین جهت انبارش کالا به‌دلیل تشابه بیشتر مدل با دنیای واقعی ضروریت دارد. در این پژوهش به توسعه‌ی مدل مدیریت موجودی توسط فروشنده آقای صادقی و همکاران، برای یک زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی که شامل چند فروشنده، چند خرده‌فروش و یک انبار مرکزی همراه با محدودیت‌های حداکثر سفارشات سالیانه و فضای انبارش کالا و تقاضاهای احتمالی است، پرداخته شده است. عمده تفاوت این تحقیق با تحقیقات مشابه، در نظر گرفتن تقاضای احتمالی در مدل و همچنین به دست آوردن ترکیب بهینه‌ی پارامتر احتمالی مدل با استفاده از روش تاگوچی است. هدف این تحقیق، یافتن میزان



شکل ۱. نرخ بازپرسازی پیشنهادی مدل مدیریت موجودی توسط فروشنده.[۱۳]

موجودی خرده‌فروشان، فروشندگان و انبار مرکزی همراه با نرخ بازپرسازی فروشنده و انبارمرکزی است که در نهایت منجر به‌کمینه‌سازی کل هزینه‌های زنجیره می‌شود. متغیرهای تصمیم در مدل مذکور عبارت است از: مقدار سفارشات خرده‌فروشان، تعداد سفارشات سالیانه‌ی خرده‌فروشان و فروشندگان به‌همراه نرخ بازپرسازی موجودی آنها. در این روش تقاضاها به‌صورت تصادفی با توزیع احتمال نرمال به‌تعداد معلوم به‌ازای هر مسئله تولید شده، و در مدل مدیریت موجودی توسط فروشنده قرار داده می‌شود؛ مسائل مربوطه نیز با استفاده از نرم‌افزار CPLEX حل می‌شود. بدین‌ترتیب به‌ازای هر تقاضا برای هر مسئله تابع هدفی مشخص می‌شود. سپس با استفاده از روش‌های آماری ازجمله روش تاگوچی به تحلیل حساسیت تقاضاهای تولید شده روی تابع هدف مسئله‌ی مدیریت موجودی توسط فروشنده پرداخته و در نهایت برای هر مسئله بازه تقاضای پیش‌بینی شده مشخص می‌شود. همچنین تحلیل حساسیت سیستم مدیریت موجودی توسط فروشنده با ارائه‌ی جداول و نمودارهای لازم انجام گرفته است. با در نظر گرفتن شکل ۱ به‌تعریف برخی مفاهیم پایه‌یی برای مدل پیشنهادی می‌پردازیم که شامل ۴ خرده‌فروش، ۳ فروشنده و یک انبار مرکزی است. در این شکل نمودارهای E، F، G و H به‌ترتیب مقدار سفارش، نوسانات تقاضا و نرخ بازپرسازی خرده‌فروش اول، دوم، سوم و چهارم نسبت به‌فروشنده‌ی اول (B) نشان داده شده است. از طرفی نمودارهای I، J، K و L نیز به‌طور مشابه مقدار سفارش، نوسانات تقاضا و نرخ بازپرسازی خرده‌فروش اول، دوم، سوم و چهارم را نسبت به‌فروشنده‌ی دوم (C) و نمودارهای M، N، O و P نیز به‌طور مشابه مقدار سفارش، نوسانات تقاضا و نرخ بازپرسازی خرده‌فروش اول، دوم، سوم و چهارم نسبت

به‌فروشنده‌ی سوم (D) نشان داده شده است. به‌همین ترتیب برای انبار مرکزی (A)، مقدار سفارش، نوسانات تقاضا و نرخ بازپرسازی برای پشتیبانی فروشنده‌ی اول (B)، فروشنده‌ی دوم (C) و فروشنده‌ی سوم (D) در شکل ۱ نشان داده شده است.[۱۳]

درواقع در شکل ۱ نحوه‌ی بازپرسازی و مقدار سفارش کلیه‌ی اعضای زنجیره‌ی تأمین در سه سطح نشان داده شده است. بدین‌صورت که تقاضای احتمالی مشتریان بر مقدار سفارش و نرخ بازپرسازی خرده‌فروشان تأثیرگذار بوده و اثرات این تقاضا تا سطح سوم زنجیره‌ی تأمین (انبار مرکزی) را نشان می‌دهد. به‌تبع مقدار سفارش فروشندگان از مقدار سفارش خرده‌فروشان تأثیر می‌پذیرد و این اثر تا انبار مرکزی منتقل می‌شود. در ادامه‌ی این نوشتار، در بخش ۲ نمادها، فرضیات مدل و مدل‌سازی ریاضی معرفی می‌شود. در بخش ۳ روش حل مدل پیشنهادی به‌ازای مسئله‌ی تولید شده و همچنین محاسبه‌ی هزینه‌های زنجیره‌ی تأمین به‌ازای تقاضاهای متفاوت تشریح می‌شود. در بخش ۴ بهترین ترکیب از سطوح تقاضا در قبال کم‌ترین هزینه‌ی زنجیره‌ی تأمین توسط روش تاگوچی مورد ارزیابی قرار گرفته و در نهایت تحلیل حساسیت رفتار مدل در برابر مقادیر متفاوت واریانس تقاضا و همچنین عملکرد روش پیشنهادی در مقابل روش‌های حل صادقی و همکاران سنجیده می‌شود. نهایتاً در بخش ۵ نتیجه‌گیری ارائه خواهد شد.

۲. مدل‌سازی ریاضی

در مدل مورد بررسی یک مدل مدیریت موجودی توسط فروشنده در یک زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی شامل سه فروشنده، چهار خرده‌فروش و یک انبار مرکزی برای مدیریت موجودی فروشنده جهت پشتیبانی فروشندگان در نظرگرفته می‌شود. به‌طوری که تعداد کل سفارشات سالیانه و فضای انبارش انبار مرکزی محدود بوده و تقاضای خرده‌فروشان احتمالی نیز با تابع توزیع نرمال در نظرگرفته شده است. مسئله به‌صورت یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح با تقاضاهای احتمالی بوده و مفروضات و پارامترهای مدل عبارت‌اند از:

۱.۲. مفروضات

- مدل موجودی براساس مقدار سفارش اقتصادی در نظرگرفته می‌شود.
- جهت دپوی محصول بین فروشندگان و خرده‌فروشان یک انبار در نظرگرفته می‌شود.
- محدودیت انبارش در فضای انبار لحاظ می‌شود.
- مدت زمان در راه سفارشات صفر در نظرگرفته می‌شود و سفارشات برای خرده‌فروشان و فروشندگان به‌صورت آنی ایجاد می‌شود.
- خرده‌فروشان تمامی محصولات دریافتی از فروشندگان را می‌فروشند.
- دوره‌ی زمانی سفارش‌دهی و نرخ مصرف برای خرده‌فروشانی که از فروشنده‌ی iام کالا دریافت می‌کنند، برابر است.
- تقاضای سالیانه‌ی محصول برای فروشنده‌ی i از مجموع تقاضای خرده‌فروشان که توسط فروشنده‌ی iام تأمین می‌شود به دست می‌آید.
- تقاضای خرده‌فروشان از تابع توزیع نرمال تبعیت می‌کند.
- تعداد سفارشات اخذشده توسط انبار مرکزی محدود و در یک بازه مشخص قرار می‌گیرد.

۲.۲. پارامترهای مدل

i: مشخصه‌ی یک فروشنده $(i = ۱, ۲, ..., v)$؛

j: شاخص یک خرده‌فروش $(j = ۱, ۲, ..., r)$؛

r: تعداد خرده‌فروشان؛

V: تعداد فروشندگان؛

$\hat{\mu}d_{ij}$: برآورد میانگین تقاضای سالیانه‌ی خرده‌فروش jام که توسط فروشنده iام تأمین می‌شود (احتمالی)؛

d_i: تقاضای سالیانه‌ی فروشنده‌ی iام $d_i = \sum_{j=۱}^{r} \hat{\mu}d_{ij}$ (احتمالی)؛

D: کل تقاضای سالیانه‌ی خرده‌فروشان $D = \sum_{i=۱}^{v} d_i$ (احتمالی)؛

A_{ij}: هزینه‌ی سفارش‌دهی خرده‌فروش jام که توسط فروشنده‌ی iام تأمین می‌شود؛

A_{vi}: هزینه‌های سفارش‌دهی فروشنده‌ی iام؛

A_w: هزینه‌های سفارش‌دهی انبار؛

h_{ij}: هزینه‌های نگه‌داری یک واحد محصول jام خرده‌فروش که توسط فروشنده‌ی iام در هر سال تأمین می‌شود؛

H_i: هزینه‌ی نگه‌داری یک واحد از فروشنده‌ی iام در هر سال؛

H_w: هزینه‌ی نگه‌داری یک واحد محصول در انبار در هر سال؛

q_i: تعداد کل ارسالی‌ها از یک فروشنده روی تمامی خرده‌فروش‌ها $(q_i = \sum_{j=۱}^{r} q_{ij})$؛

Q_i: مقدار سفارش iامین فروشنده به‌انبار $Q_i = n_i \times q_i$؛

Q_v: مقدار سفارش کل فروشندگان $Q_v = \sum_{i=۱}^{v} Q_i$؛

Q_w: مقدار سفارش کل انبار؛

f: فضای مورد نیاز انبارش برای یک واحد ازکالا؛

F: فضای انبار؛

K: بیشترین تعداد سفارشات برای انبار؛

TC: کل هزینه‌های موجودی یک سیستم مدیریت موجودی توسط فروشنده؛

T_{ir}: زمان چرخه‌ی خرده‌فروشان که توسط فروشنده‌ی iام تأمین می‌شود؛

T_v: زمان چرخه‌ی فروشنده.

۳.۲. متغیرهای تصمیم

n_i: تعداد سفارش سالیانه‌ی خرده‌فروشان که توسط فروشنده‌ی iام تأمین می‌شود (متغیر تصمیم)؛

m: تعداد سفارش سالیانه فروشندگان که توسط انبار مرکزی تأمین می‌شود (متغیر تصمیم)؛

q_{ij}: مقدار سفارش خرده‌فروش jام که توسط فروشنده‌ی iام تأمین می‌شود (متغیر تصمیم).

۴.۲. مدل ریاضی

با توجه به شکل ۱، دوره‌ی سفارش (مصرف) برای تمام خرده‌فروشانی که توسط یک فروشنده‌ی خاص تأمین می‌شود عبارت است از:

$$T_{ij} = T_{ir}; \quad i \in (۱, ۲, ..., v); \quad j \in (۱, ۲, ..., r)$$

همچنین، تکرار سفارش خرده‌فروشانی که توسط iامین فروشنده تأمین می‌شوند برابر است با $n_i; \ i \in (۱, ۲, ..., v)$. به‌عنوان مثال در شکل ۱ فرض شده است:

$n_1 = 3$ و $n_2 = 2$. از سوی دیگر، سفارش خرده‌فروشان برای iامین فروشنده در یک بازه منحصر به‌فرد چنین تعریف می‌شود:

$$T_{ir} = \frac{q_{ij}}{\hat{\mu}.d_{ij}} = \frac{q_{i1}}{d_{i1}} \Rightarrow q_{ij} = \frac{\hat{\mu}.d_{ij} \times q_{i1}}{d_{i1}} \quad (1)$$

در اینجا q_{i1} و d_{i1} به‌ترتیب بیان‌گر مقدار سفارش و تقاضای اولین خرده‌فروش است که از iامین فروشنده تأمین می‌شود. به‌عنوان مثال برای T_{13} خواهیم داشت:

$$T_{13} = \frac{q_{13}}{d_{13}} = \frac{q_{11}}{d_{11}} \Rightarrow q_{13} = \frac{d_{13} \times q_{11}}{d_{11}}$$

ضمناً مقدار سفارشات فروشنده‌ی iام برای تمامی خرده‌فروشانی که توسط آن فروشنده تأمین می‌شود برابر است با: $q_i = \sum_{j=1}^{r} q_{ij}\ ; \forall i$. بنابراین مقدار iامین سفارش فروشنده برابر است با $Q_i = n_i \times q_i$ و خرده‌فروشان در هر دوره‌ی T_{ij} توسط بسته‌های سفارش با اندازه‌ی q_i تأمین می‌شوند. با توجه به روابط فوق، مقدار کل سفارشات تمامی فروشندگان برابر است با:

$$Q_v = \sum_{i=1}^{v} Q_i \equiv \sum_{i=1}^{v} n_i \times q_i \quad (2)$$

بنابراین مقدار سفارش انبار برابر است با:

$$Q_w = m \times Q_v \quad (3)$$

که در آن m بیان‌گر تکرار سفارش فروشندگانی است که توسط انبار مرکزی تأمین می‌شوند و در مثال فوق $m = 4$ در نظرگرفته شده است. با توجه به تعاریف ارائه شده، کل هزینه‌های موجودی (TC) در مدل مدیریت موجودی توسط فروشنده تحت شرایط کل هزینه‌های سفارش‌دهی خرده‌فروشان (TOC_R)، کل هزینه‌های نگه‌داری خرده‌فروشان (THC_R)، کل هزینه‌های سفارش‌دهی فروشندگان (TOC_V)، کل هزینه‌های نگه‌داری فروشندگان (THC_V)، کل هزینه‌های سفارش‌دهی انبار (TOC_W) و کل هزینه‌های نگه‌داری انبار (THC_W) به دست می‌آید.

$$TC = TOC_R + THC_R + TOC_V + THC_V + TOC_W + THC_W \quad (4)$$

با توجه به‌مفروضات مطرح شده، کل هزینه‌های سفارش‌دهی تمامی خرده‌فروشان برای iامین فروشنده در یک دوره چنین محاسبه می‌شود:

$$TOC_{R_i} = n_i \times \sum_{j=1}^{r} A_{ij} \quad (5)$$

بنابراین کل هزینه‌ی سفارش‌دهی خرده‌فروشان برای تمامی فروشندگان در هر دوره برابر است با:

$$TOC_{R_i} = m \times \sum_{i=1}^{v} n_i \times \sum_{j=1}^{r} A_{ij} \quad (6)$$

درنتیجه هزینه‌ی سالیانه‌ی سفارش‌دهی خرده‌فروشان با توجه به سیکل ارسال سالیانه سفارشات از انبار تأمین‌کنندگان $\frac{D}{Q_w}$، از رابطه‌ی ۷ محاسبه می‌شود:

$$TOC_R = \left(\frac{m \times D}{Q_w}\right) \times \sum_{i=1}^{v} \sum_{j=1}^{r} n_i \times A_{ij} \quad (7)$$

از طرفی، متوسط موجودی jامین خرده‌فروش که توسط iامین فروشنده تأمین شده است برابر است با: $\frac{q_{ij}}{2}$. بنابراین کل هزینه‌های سالیانه‌ی نگه‌داری خرده‌فروش از رابطه‌ی ۸ محاسبه می‌شود:

$$THC_R = \sum_{i=1}^{v} \sum_{j=1}^{r} \frac{h_{ij} \times q_{ij}}{2} \quad (8)$$

از این‌رو، کل هزینه‌های سفارش‌دهی فروشندگان از رابطه‌ی ۹ محاسبه می‌شود:

$$TOC_V = \left(\frac{m \times D}{Q_w}\right) \times \sum_{i=1}^{v} A_{v_i} \quad (9)$$

از آنجا که متوسط موجودی‌های انبار مرکزی و فروشندگان مشابه خرده‌فروشان نیست، بنابراین برای محاسبه‌ی هزینه‌ی نگه‌داری سالیانه‌ی فروشندگان و انبار مرکزی، ابتدا باید متوسط موجودی هریک از آنها را جداگانه محاسبه کرد. با توجه به‌شکل فوق، موجودی فروشنده فقط توسط یک بسته‌ی سفارشی از محصولاتی که در بازه‌های زمانی گسسته توسط خرده‌فروشان ثبت می‌شود کاهش می‌یابد.

سطح موجودی فروشنده، زمانی که محموله‌ی q_i به‌خرده‌فروشان ارسال می‌شود به‌اندازه‌ی $(Q_i - q_i)$ کاهش می‌یابد. همچنین موجودی فروشندگان پس از کاهش در آخرین دوره مجدداً در سطح Q_i بازپرسازی می‌شود. به‌عبارت دیگر در یک دوره زمانی کامل مصرف موجودی برای فروشندگان، متوسط موجودی آنها عبارت است از:

$$I_{v_i} = \left(\frac{(Q_i - q_i) + ... + (Q_i - (n_i - 1)q_i) + 0}{n_i}\right) \quad (10)$$

ضمناً عبارت ۱۰ را می‌توانیم چنین ساده‌سازی کنیم:

$$I_{v_i} = \frac{n_i \times Q_i}{n_i} - \frac{q_i}{n_i} \times \sum (1 + 2 + ...(n_i - 1)) \quad (11)$$

$$I_{v_i} = Q_i - \frac{q_i}{n_i} \times \frac{(n_i - 1) \times n_i}{2} \quad (12)$$

بنابراین:

$$I_{v_i} = Q_i - \left[\frac{n_i - 1}{2}\right] \times q_i \quad (13)$$

در نهایت متوسط موجودی فروشنده iام چنین محاسبه می‌شود:

$$I_{v_i} = \left[\frac{n_i + 1}{2}\right] \times q_i \quad (14)$$

با در نظرگرفتن روابط فوق، کل هزینه‌های نگه‌داری سالیانه‌ی فروشندگان چنین محاسبه می‌شود:

$$THC_V = \sum_{i=1}^{v} \frac{H_i \times (n_i + 1) \times q_i}{2} \quad (15)$$

کل هزینه‌های سفارش‌دهی انبار مرکزی نیز عبارت است از:

$$TOC_W = \frac{A_w \times D}{Q_w} \quad (16)$$

ضمناً مشابه مورد فروشندگان، متوسط موجودی انبار برابر است با:

$$I_w = \frac{Q_v \times (m + 1)}{2} \quad (17)$$

درنتیجه کل هزینه‌های نگه‌داری سالیانه انبار مرکزی برابر است با:

$$THC_W = \frac{H_w \times Q_v \times (m+1)}{2} \quad (18)$$

با توجه به‌مفروضات در نظر گرفته شده، انبار مرکزی مقید به دو محدودیت است، اول اینکه فضای انبارش به‌اندازه F محدود است، ثانیاً کل تعداد سفارشات سالیانه حداکثر برابر K است. بنابراین دو محدودیت به‌صورت ذیل محاسبه می‌شوند:

$$f \times Q_w \leq F \quad (19)$$

$$\frac{D}{Q_w} \leq K \quad (20)$$

با در نظرگرفتن هزینه‌های زنجیره‌ی تأمین محاسبه شده در قسمت فوق، و اعمال محدودیت‌های ۱ و ۲ عملکرد بهینه‌ی سیستم را می‌توان براساس مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح زیر فرموله کرد:

$$\begin{aligned}\text{Min } TC = &\sum_{i=1}^{v}\sum_{j=1}^{r}\left(\frac{A_{ij}d_{i1}}{q_{i1}} + \frac{h_{ij}\hat{\mu}d_{ij}q_{i1}}{2d_{i1}}\right)\\ &+\sum_{i=1}^{v}\left(\frac{A_{v_i}d_{i1}}{n_i q_{i1}} + \frac{h_i d_i q_{i1}(n_i+1)}{2d_{i1}}\right)\\ &+\frac{A_w}{m}\times\sum_{i=1}^{v}\left(\frac{d_{i1}}{n_i q_{i1}}\right)\\ &+\frac{H_w(m+1)}{2}\times\sum_{i=1}^{v}\left(n_i\times\sum_{j=1}^{r}\frac{q_{i1}\hat{\mu}d_{ij}}{d_{i1}}\right)\end{aligned} \quad (21)$$

s.t.

$$f \times m \times \sum_{i=1}^{v} n_i \sum_{j=1}^{r}\left(\frac{q_{i1}\hat{\mu}d_{ij}}{d_{i1}}\right) \leq F \quad (22)$$

$$\frac{D}{m \times \sum_{i=1}^{v} n_i \sum_{j=1}^{r}\left(\frac{q_{i1}\hat{\mu}d_{ij}}{d_{i1}}\right)} \leq K \quad (23)$$

$$\text{Integer}: \ q_{i1};\ n_i;\ m \quad (24)$$

تابع هدف مدل مدیریت موجودی توسط فروشنده‌ی فوق هزینه‌های کل سیستم را کمینه می‌کند. محدودیت اول یک محدودیت منطقی است که فضای انبارش در انبار مرکزی را محدود می‌کند. محدودیت دوم تضمین می‌کند که تعداد کل سفارشات سالیانه حداکثر برابر K باشد. و سرانجام محدودیت آخر $q_{i1}; n_i; m$ را به‌صورت عدد صحیح تعریف می‌کند. در فصل بعد به‌حل مدل مدیریت موجودی توسط فروشنده پیشنهادی پرداخته و با تولید مثال مختلف مدل فوق را توسط نرم‌افزار CPLEX حل می‌کنیم.

۳. روش حل

در این بخش نتایج آزمایشات کامپیوتری حاصل از اجرای روش دقیق برای مسئله مدیریت موجودی توسط فروشنده برای زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی را نشان می‌دهیم. مدل ریاضی مدیریت موجودی توسط فروشنده پیشنهادی، توسط نرم‌افزار برنامه نویسی CPLEX ۱۲٫۰ کدگذاری شده و اجرای آن برای یک مسئله جامع بر روی کامپیوتری با قدرت پردازش ۲٫۲۶ GHz و حافظه ۴ GB انجام شده است.

جدول ۱. اطلاعات پایه‌ی مسئله پیشنهادی.

پارامترها	خرده‌فروشان	فروشندگان		
		$i=1$	$i=2$	$i=3$
A_{ij}	$j=1$	۲۵	۴۲	۷۴
	$j=2$	۱۶	۶۰	۶۵
	$j=3$	۸۵	۹۱	۱۸
	$j=4$	۸۴	۴۹	۶۴
H_{ij}	$j=1$	۱۵	۱۷	۱۸
	$j=2$	۱۳	۱۵	۱۳
	$j=3$	۱۸	۱۹	۱۷
	$j=4$	۱۶	۱۸	۱۰
$A_{v1}=7,\quad A_{v2}=9,\quad A_{v3}=7,$				
$H_1=7,\quad H_2=8,\quad H_3=9$				

در این تحقیق، مسئله‌یی با ۳ فروشنده و ۴ خرده‌فروش مطابق اطلاعات جدول ۱ با فرض $f=3$، $K=36$، $F=64000$، $A_w=4$، $H_w=5$ در نظر گرفته می‌شود. تقاضای سالیانه‌ی خرده‌فروش jام که توسط فروشنده iام تأمین می‌شود، در سه سطح مورد بررسی قرار می‌گیرد. در هر سطح به‌ازای هر d_{ij} با استفاده از توزیع نرمال، ۱۰۰ عدد تصادفی به‌ترتیب با میانگین‌های ۱۵۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۵۰۰ و واریانس‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ تولید می‌شود. از آنجا که برآوردکننده‌ی میانگین در توزیع نرمال برابر میانگین نمونه‌هاست ($\hat{\mu}=\hat{X}$)، برای هر d_{ij} در هر سطح مقدار برآورد میانگین آن را مطابق جدول ۲ قرار می‌دهیم.

با توجه به‌جدول ۲، از ترکیب هر سطح تقاضا برای فروشنده‌ی iام و خرده‌فروش jام پس از اجرای روش دقیق، یک جواب به دست می‌آید. لذا یافتن بهترین ترکیب از تقاضاهای احتمالی تولید شده‌ی فوق جهت مشخص شدن جواب بهینه‌ی مدل پیشنهادی بسیار حائز اهمیت است. به‌همین منظور روش‌های مختلفی برای بررسی عملکرد ترکیبات مختلف و شناخت بهترین ترکیب از پارامترهای یک مدل ارائه شده است. از مهم‌ترین ابزارهای موجود، می‌توان به‌طراحی آزمایشات اشاره کرد که می‌تواند ترکیبات بهینه پارامترهای یک مدل را شناسایی کند، اما طراحی آزمایشات دامنه‌ی وسیعی از روش‌های طراحی و تجزیه و تحلیل داده‌ها را پوشش می‌دهد. هرچه داده‌های مورد نیاز در یک طرح آزمایشی کم‌تر باشد، هزینه و زمان کم‌تری برای اجرای آن صرف خواهد شد. داده‌ی مورد نیاز یک طرح آزمایش، تابعی از تعداد وضعیت‌های آزمایش و نیز تعداد داده مورد نیاز در هر وضعیت است. همواره فرایندها با سیستم‌های مورد مطالعه تحت تأثیر عوامل قابل کنترل و غیرقابل کنترل مختلفی قرار دارند که ترکیبات مختلف این عوامل منتج به‌خروجی‌هایی می‌شود که یک یا چند پاسخ قابل مشاهده دارند. طرح آزمایش دنباله‌یی از آزمون‌هاست که در آنها تغییرات مورد نظر در متغیرهای ورودی فرایند یا سیستم اعمال می‌شود، به‌قسمی که می‌توانیم علل تغییرات در پاسخ را مشاهده و مشخص کنیم که کدام متغیرها بیشترین تأثیر را بر پاسخ یا پاسخ‌ها دارند.[۲۱]

۴. روش تاگوچی

روش تاگوچی رویکردی است که عمدتاً برای دست‌یابی به‌یک طرح قابل قبول مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش کیفیت آزمون را با استفاده از نسبت سیگنال به

جدول ۲. تقاضاهای احتمالی تولید شده توسط تابع توزیع نرمال.

پارامتر احتمالی	خرده‌فروش/ فروشنده	سطوح تولیدشده با توزیع نرمال	$j=۱$	$j=۲$	$j=۳$	$j=۴$
d_{ij}	$i=۱$	$L=۱$	$\hat{\mu}=۱۵۱۴$	$\hat{\mu}=۱۴۹۹$	$\hat{\mu}=۱۵۰۶$	$\hat{\mu}=۱۴۹۵$
		$L=۲$	$\hat{\mu}=۲۰۰۴$	$\hat{\mu}=۱۹۶۶$	$\hat{\mu}=۱۹۹۶$	$\hat{\mu}=۱۹۹۲$
		$L=۳$	$\hat{\mu}=۳۴۸۸$	$\hat{\mu}=۳۴۵۵$	$\hat{\mu}=۳۵۲۱$	$\hat{\mu}=۳۴۸۷$
	$i=۲$	$L=۱$	$\hat{\mu}=۱۴۸۹$	$\hat{\mu}=۱۵۲۱$	$\hat{\mu}=۱۵۱۰$	$\hat{\mu}=۱۴۸۷$
		$L=۲$	$\hat{\mu}=۱۹۷۸$	$\hat{\mu}=۱۹۸۳$	$\hat{\mu}=۱۹۸۱$	$\hat{\mu}=۱۹۶۳$
		$L=۳$	$\hat{\mu}=۳۴۹۳$	$\hat{\mu}=۳۴۹۰$	$\hat{\mu}=۳۵۵۲$	$\hat{\mu}=۳۴۶۹$
	$i=۳$	$L=۱$	$\hat{\mu}=۱۵۱۸$	$\hat{\mu}=۱۴۹۳$	$\hat{\mu}=۱۵۰۸$	$\hat{\mu}=۱۴۹۷$
		$L=۲$	$\hat{\mu}=۱۹۷۶$	$\hat{\mu}=۲۰۰۶$	$\hat{\mu}=۱۹۹۵$	$\hat{\mu}=۲۰۱۲$
		$L=۳$	$\hat{\mu}=۳۴۵۱$	$\hat{\mu}=۳۴۶۶$	$\hat{\mu}=۳۵۳۵$	$\hat{\mu}=۳۴۸۸$

اختلال (S/N) ارزیابی می‌کند. ترکیب بهینه‌ی به‌دست آمده از یک طرح آزمون توسط روش تاگوچی، میانگین متغیر پاسخ را به‌مقدار تابع هدف نزدیک می‌کند و از طرف دیگر واریانس آن را کاهش می‌دهد. در بیشتر مسائل با بیش از یک متغیر پاسخ سروکار داریم و بهبود هم‌زمان آنها از اهمیت ویژه‌یی برخوردار است. مشکل معمول در بهینه‌سازی هم‌زمان متغیرهای پاسخ، متفاوت و گاهاً متضاد بودن جهت بهینگی آنهاست.

تاگوچی از طرح‌های آرایه‌یی متعامد[۱۴] برای طرح پارامترها استفاده کرد. بعضی از این طرح‌ها ساختار هم‌اثری بسیار پیچیده‌یی دارند. از بارزترین خصوصیات آرایه‌های متعامد این است که با تعداد آزمایش‌های کم‌تر نتایج مورد نیاز را به دست می‌آورد. از طرفی از لحاظ آماری نیازی نیست که همه‌ی ترکیبات سطوح عوامل را مورد آزمایش قرار دهیم. به‌همین جهت از طرح‌های آرایه‌های متعامد (تکرارهای سطری) کمک می‌گیریم.

پس از مشخص کردن آرایه‌های متعامد مناسب برای مسئله، آزمایشات مورد نظر را با توجه به سطوح متفاوت پارامترها انجام می‌دهیم. به‌همین منظور برای مسئله‌ی پیش رو، تعداد سطوح (L_i) هر d_{ij} در جدول ۲ را، سطح و تعداد کل d_{ij} را به‌عنوان عامل (فاکتور) در نظر می‌گیریم. برای ایجاد آرایه‌های متعامد از استانداردهای موجود در نرم‌افزار Minitab ۱۶ بهره می‌گیریم. به‌همین منظور برای ۳ سطح و ۱۲ فاکتور طرح $L_{۲۷}(۳^{۱۲})$ به‌عنوان آرایه‌ی متعامد استاندارد انتخاب و در جدول ۳ ارائه شده است.

طرح آزمایش $L_{۲۷}(۳^{۱۲})$ شامل ۲۷ آزمایش با ترکیبات متفاوت تقاضاست که برای هر آزمایش می‌بایست یک‌بار مدل پیشنهادی را توسط نرم‌افزار اجرا و مقدار تابع هدف را محاسبه کرد. تاگوچی تحلیل میانگین پاسخ را برای هر اجرا و همچنین تحلیل تغییرات را با استفاده از نسبت سیگنال به اختلال (S/N) که به‌طور مناسب انتخاب شده است، به‌عنوان متغیرهای پاسخ معرفی می‌کند. همچنین ایشان نسبت سیگنال به‌اختلال (S/N) را به‌عنوان یک شاخص عملکرد مناسب برای دست‌یابی به یک آزمون نیرومند معرفی کرد. به‌طوری که با بیشینه‌سازی این نسبت، ترکیبی شدنی از پارامترهای فرایند که تغییرپذیری مقادیر خروجی را کمینه و مقدار متغیر پاسخ را به تابع هدف نزدیک‌تر می‌کند به‌دست می‌آید. نسبت‌های سیگنال به‌کار گرفته شده در این تحقیق چنین محاسبه می‌شود:

$$\mathrm{S/N} = -۱۰ \times \log \times \left(\frac{۱}{n}\right) \sum_{i=۱}^{n} y_{ij}^{۲} \qquad (۲۵)$$

در اینجا n معرف تعداد تکرار و $y_{ij}^{۲}$ بیانگر مقدار متغیر پاسخ مشاهده شده است. ضمناً با توجه به تابع هدفه مسئله که ماهیت بیشینه‌سازی دارد، هرچه مقدار نسبت سیگنال به‌اختلال (S/N) فوق بیشتر باشد، مناسب‌تر است. بنابراین می‌توان با استفاده از پارامترهای مدل، متغیرهای پاسخ را برای هر آزمایش به دست آورد.

در این طرح، نسبت سیگنال به‌اختلال (S/N) برای هر ترکیب (آزمایش) از سطوح مختلف به‌عنوان متغیر پاسخ در نظر گرفته شده است (مطابق جدول ۳). برای مشاهده‌ی میزان اثرات سطوح عوامل مختلف بر S/N از نمودار اثرات عوامل استفاده می‌شود. برای هر عامل، نمودار S/N متغیر پاسخ ترسیم و سطوحی که S/N بیشتری دارند اثرات معنی‌داری بیشتری نسبت به مابقی سطوح داشته و در نقطه‌ی بهینه قرار می‌گیرند. به‌عبارت دیگر، نقاطی که نسبت سیگنال به‌اختلال آنها در سطوح مشخص شده از ارزش بالاتری برخوردار است اثرات معنی‌دار بیشتری نسبت به سطوح دیگر در آن عامل خاص داشته و به‌تبع نقطه‌یی مناسب‌تر نسبت به‌سطوح دیگر محسوب می‌شوند. به‌عنوان مثال برای عامل $d_{۱۱}$، سه سطح مطابق جدول ۲ در نظر گرفته شده است. بنابراین پس از آزمایشات صورت گرفته مطابق آرایه‌های متعامد مندرج در جدول ۳، ارزشی به‌عنوان نسبت سیگنال به اختلال برای هر سه سطح محاسبه می‌شود که در واقع اثرات متقابل معنی‌دار سه سطح را در هر آزمایش می‌آزماید. سطحی که دارای اثرات معنی‌دار بیشتری نسبت به سطوح دیگر است، از ارزش «سیگنال به‌اختلال» بیشتری برخوردار است. به‌همین منظور نتایج مشخص شده در شکل ۲ بیانگر حالت بهینه‌ی سطح مذکور نسبت به دیگر سطوح آزمون است. برای مثال به‌ازای عامل $d_{۱۱}$، سطح سوم در شرایط مناسب‌تری نسبت به‌دیگر سطوح قرار می‌گیرد؛ یعنی به‌ازای هر عامل هریک از سطوح می‌تواند در وضعیت مناسب‌ترین باشد و به‌ازای میزان تقاضاهای مختلف، وضعیت هر سطح ممکن است متغیر باشد. نتایج سطوح بهینه در جدول ۴ مشخص شده است.

در نهایت برای کسب اطمینان از عدم برابری اثرات معنی‌داری و استقلال عوامل از یکدیگر، از روش تحلیل واریانس با سطح معنی‌داری $\alpha = ۰/۰۵$ برای این منظور استفاده می‌کنیم. بنابراین، تحلیل واریانس برای آزمون استقلال میانگین فاکتورها (فرض صفر) مطابق جدول ۵ بررسی می‌شود. با توجه به این که مقدار P-Value در جدول تحلیل واریانس برای تمامی عوامل، بزرگ‌تر از سطح معنی‌داری α است ($\mathrm{P-Value} > \alpha$)، بنابراین فرض صفر رد نمی‌شود. لذا استقلال میانگین تمامی عوامل با توجه به‌آزمون فوق به‌اثبات رسیده است و بنابراین، سطوح بهینه‌ی به دست آمده در $\gamma ۹۵ = ۱ - \alpha$ موارد قابل استناد است.

جدول ۳. طرح آزمایش آرایه‌های متعامد استاندارد ($L_{۲۷}(۳^{۱۳})$).

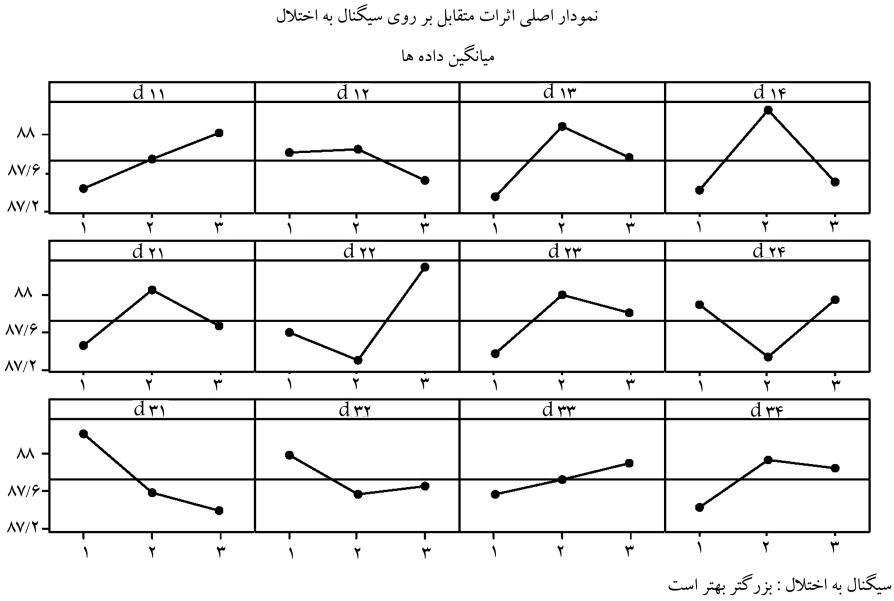
شماره‌ی آزمایش	$d_{۱۱}$	$d_{۱۲}$	$d_{۱۳}$	$d_{۱۴}$	$d_{۲۱}$	$d_{۲۲}$	$d_{۲۳}$	$d_{۲۴}$	$d_{۳۱}$	$d_{۳۲}$	$d_{۳۳}$	$d_{۳۴}$	تابع هدف	نسبت سیگنال به‌اختلال
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۸۶۲۵	۸۵٫۴۰۱۹
۲	۱	۱	۱	۱	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲۲۴۸۶	۸۷٫۰۳۸۲
۳	۱	۱	۱	۱	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۲۵۱۸۰	۸۸٫۰۲۱۱
۴	۱	۲	۲	۲	۱	۱	۱	۲	۲	۲	۳	۳	۲۴۵۸۶	۸۷٫۸۱۳۸
۵	۱	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۳	۳	۳	۱	۱	۲۲۰۰۴	۸۶٫۸۵۰۰
۶	۱	۲	۲	۲	۳	۳	۳	۱	۱	۱	۲	۲	۳۴۱۰۶	۹۰٫۶۵۶۶
۷	۱	۳	۳	۳	۱	۱	۱	۳	۳	۳	۲	۲	۲۱۹۸۷	۸۶٫۸۴۳۳
۸	۱	۳	۳	۳	۲	۲	۲	۱	۱	۱	۳	۳	۲۷۹۰۴	۸۸٫۹۱۳۳
۹	۱	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۲	۲	۲	۱	۱	۱۸۴۹۲	۸۵٫۳۳۹۷
۱۰	۲	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۲۴۶۸۱	۸۷٫۸۴۷۳
۱۱	۲	۱	۲	۳	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۲۲۴۹۰	۸۷٫۰۳۹۸
۱۲	۲	۱	۲	۳	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲۸۱۸۴	۸۹٫۰۰۰۱
۱۳	۲	۲	۳	۱	۱	۲	۳	۲	۳	۱	۳	۱	۲۲۱۵۲	۸۶٫۹۰۸۳
۱۴	۲	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۳	۱	۲	۱	۲	۲۸۹۴۲	۸۹٫۲۳۰۶
۱۵	۲	۲	۳	۱	۳	۱	۲	۱	۲	۳	۲	۳	۲۱۳۰۶	۸۶٫۵۷۰۰
۱۶	۲	۳	۱	۲	۱	۲	۳	۳	۱	۲	۲	۳	۲۱۴۴۲	۸۶٫۶۲۵۳
۱۷	۲	۳	۱	۲	۲	۳	۱	۱	۲	۳	۳	۱	۲۶۸۰۱	۸۸٫۵۶۳۰
۱۸	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۲	۳	۱	۱	۲	۲۴۷۰۴	۸۷٫۸۵۵۳
۱۹	۳	۱	۳	۲	۱	۲	۳	۱	۳	۲	۲	۳	۲۹۴۳۹	۸۹٫۳۷۸۵
۲۰	۳	۱	۳	۲	۲	۳	۱	۲	۱	۳	۳	۱	۲۸۷۶۴	۸۹٫۱۷۷۰
۲۱	۳	۱	۳	۲	۳	۱	۲	۳	۲	۱	۱	۲	۲۳۵۰۳	۸۷٫۴۲۲۵
۲۲	۳	۲	۱	۳	۱	۲	۲	۳	۱	۲	۳	۲	۲۳۴۲۸	۸۷٫۳۹۴۷
۲۳	۳	۲	۱	۳	۲	۱	۳	۳	۲	۳	۱	۳	۲۶۹۳۶	۸۸٫۶۰۶۷
۲۴	۳	۲	۱	۳	۳	۲	۱	۱	۳	۱	۲	۱	۲۱۳۲۸	۸۶٫۵۷۹۰
۲۵	۳	۳	۲	۱	۱	۳	۲	۳	۲	۲	۱	۲	۲۸۱۰۷	۸۸٫۹۷۶۳
۲۶	۳	۳	۲	۱	۲	۱	۳	۱	۳	۳	۲	۳	۲۲۵۲۶	۸۷٫۰۵۳۷
۲۷	۳	۳	۲	۱	۳	۲	۱	۲	۱	۳	۳	۱	۲۳۷۷۱	۸۷٫۵۲۰۹

جدول ۴. سطوح بهینه‌ی به دست آمده توسط روش تاگوچی برای تقاضای احتمالی.

فاکتورها	$d_{۱۱}$	$d_{۱۲}$	$d_{۱۳}$	$d_{۱۴}$	$d_{۲۱}$	$d_{۲۲}$	$d_{۲۳}$	$d_{۲۴}$	$d_{۳۱}$	$d_{۳۲}$	$d_{۳۳}$	$d_{۳۴}$
بهترین سطح	۳	۲	۲	۲	۲	۳	۲	۳	۱	۱	۳	۲
بهترین مقدار برآوردی	۳۴۸۸	۱۹۶۶	۱۹۹۶	۱۹۹۲	۱۹۷۸	۳۴۹۰	۱۹۸۱	۳۴۶۹	۱۵۱۸	۱۴۹۳	۳۵۳۵	۲۰۱۲

۱.۴. نتایج محاسباتی

در این قسمت نتایج حاصل از مدل پیشنهادی را روی مسائل نمونه‌ی تولید شده مورد بررسی قرار می‌دهیم. به‌همین منظور، مجموعه‌ی مسائل نمونه به‌صورت تصادفی برای سنجش عملکرد روش پیشنهادی با پارامترهای $A_{vi} \in [۱۵, ۴۵]$، $H_i \in [۳, ۱۲]$، $A_{ij} \in [۳۰, ۱۲۰]$، $H_{ij} \in [۸, ۲۵]$، $f = ۲۰$، $K = ۷۰$، $F = ۱۴۰۰۰۰$، $A_w = ۲۵$ و $H_w = ۱۰$ در نظرگرفته‌می‌شود. سپس مطابق توضیحات مطرح‌شده در بخش قبل، به تولید ۵۰۰ تقاضای احتمالی سالیانه‌ی خرده‌فروش jام که توسط فروشنده iام تأمین می‌شود با استفاده از توزیع احتمال نرمال و در سه سطح به‌ترتیب با میانگین‌های ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ و واریانس‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ می‌پردازیم. در نهایت با استفاده از روش تاگوچی بهترین ترکیب از سطوح تقاضا را مشخص و تابع هدف مسئله را مد نظر قرار می‌دهیم. در این راستا برای حل مدل از نرم‌افزار CPLEX بهره می‌بریم. نتایج محاسبات در جدول ۶ آورده شده است. چنان که مشاهده می‌شود، با افزایش ابعاد مسئله، متوسط زمان حل افزایش می‌یابد.



شکل ۲. مقادیر سطوح مختلف پارامترها در نسبت سیگنال به اختلال.

جدول ۵. نتایج تحلیل واریانس.

فاکتور	درجه آزادی	مجموع مربعات خطا	مجموع مربعات خطا تنظیم شده	میانگین مربعات خطا تنظیم شده	آزمون فیشر	P-Value
d_{11}	۲	۱٫۵۲۱۹	۱٫۵۲۱۹	۰٫۷۶۰۹	۰٫۰۹	۰٫۹۱۴
d_{12}	۲	۰٫۵۷۵۷	۰٫۵۷۵۷	۰٫۲۸۷۹	۰٫۰۴	۰٫۹۶۶
d_{13}	۲	۲٫۴۸۳۶	۲٫۴۸۳۶	۱٫۲۴۱۸	۰٫۱۵	۰٫۸۶۷
d_{14}	۲	۳٫۸۷۹۰	۳٫۸۷۹۰	۱٫۹۳۹۵	۰٫۲۴	۰٫۸۰۶
d_{21}	۲	۱٫۶۰۶۱	۱٫۶۰۶۱	۰٫۸۰۳۰	۰٫۱۰	۰٫۹۱۰
d_{22}	۲	۴٫۶۴۴۳	۴٫۶۴۴۳	۲٫۳۲۲۱	۰٫۲۹	۰٫۷۷۷
d_{23}	۲	۱٫۷۹۸۶	۱٫۷۹۸۶	۰٫۸۹۹۳	۰٫۱۱	۰٫۹۰۰
d_{24}	۲	۲٫۰۰۹۹	۲٫۰۰۹۹	۱٫۰۰۴۹	۰٫۱۲	۰٫۸۸۹
d_{31}	۲	۳٫۳۴۵۷	۳٫۳۴۵۷	۱٫۶۷۲۸	۰٫۲۱	۰٫۸۲۸
d_{32}	۲	۰٫۸۶۴۶	۰٫۸۶۴۶	۰٫۴۳۲۳	۰٫۰۵	۰٫۹۴۹
d_{33}	۲	۰٫۵۲۰۳	۰٫۵۲۰۳	۰٫۲۶۰۱	۰٫۰۳	۰٫۹۶۹
d_{34}	۲	۱٫۲۹۸۱	۱٫۲۹۸۱	۰٫۶۴۹۱	۰٫۰۸	۰٫۹۲۶
باقی‌مانده خطا	۲	۱۶٫۱۵۳۵	۱۶٫۱۵۳۵	۸٫۰۷۶۷		
جمع کل	۲۶	۴۰٫۷۰۱۰				

جدول ۶. نتایج محاسباتی.

شماره‌ی مسئله	تعداد فروشنده	تعداد خرده‌فروش	بهترین تابع هدف	بدترین تابع هدف	درصد بهبود تابع هدف	متوسط زمان محاسباتی (ثانیه)
VMI_1	۴	۸	۴۳۲۸۷	۵۲۹۸۴	۱۸	۳۲
VMI_2	۵	۱۰	۶۷۲۱۹	۸۱۲۳۰	۱۷	۵۰
VMI_3	۶	۱۲	۸۲۶۸۱	۹۱۲۲۱	۹	۸۴
VMI_4	۷	۱۴	۱۱۲۸۵۴	۱۱۹۷۵۳	۶	۱۷۸
VMI_5	۸	۱۸	۱۵۲۳۷۱	۱۶۲۵۳۹	۶	۳۷۹

جدول ۷. مسئله ارائه شده توسط صادقی و همکاران.

پارامترها	فروشنده	خرده‌فروش									
		$j=۱$	$j=۲$	$j=۳$	$j=۴$	$j=۵$	$j=۶$	$j=۷$	$j=۸$	$j=۹$	$j=۱۰$
A_{ij}	$i=۱$	۲۵	۱۶	۸۵	۸۴	۳۹	۶۰	۴۵	۵۶	۶۶	۳۲
	$i=۲$	۴۲	۶۰	۹۱	۴۹	۷۴	۱۲	۵۰	۳۳	۹۴	۹۸
	$i=۳$	۷۴	۶۵	۱۸	۶۴	۹۰	۱۲	۶۴	۷۲	۶۲	۸۹
H_{ij}	$i=۱$	۱۵	۱۳	۱۸	۱۶	۱۹	۱۹	۱۸	۱۹	۱۷	۱۳
	$i=۲$	۱۷	۱۵	۱۹	۱۸	۲۰	۲۰	۲۰	۱۰	۱۹	۱۴
	$i=۳$	۱۸	۱۳	۱۷	۱۰	۱۳	۱۲	۱۰	۱۰	۱۷	۱۷

$A_{v۱}=۷,\quad A_{v۲}=۹,\quad A_{v۳}=۷,\quad A_w=۴,\quad H_۱=۷,\quad H_۲=۸,\quad H_۳=۹,\quad H_w=۴,\quad f=۳,\quad F=۶۴۰۰۰,$
$O=۳۶$

جدول ۸. نتایج محاسباتی.

تعداد تکرار	تابع هدف				زمان محاسباتی		
	روش پیشنهادی	PSO (Sadeghi)	GA (Sadeghi)	٪DR* (CPLEX-PSO)	٪DR* (CPLEX-GA)	روش پیشنهادی	PSO (Sadeghi)	GA (Sadeghi)
Run ۰۱	۲۲۸, ۴۱۹	۲۸۲, ۴۴۴	۳۰۱, ۳۸۳	۲۴	۳۲	۹۲		
Run ۰۲	۲۳۲, ۶۹۱	۲۸۳, ۱۹۹	۳۲۹, ۶۸۰	۲۲	۴۲	۱۲۱		
Run ۰۳	۲۳۸, ۱۴۳	۲۸۳, ۴۰۲	۲۹۸, ۸۷۴	۱۹	۲۶	۱۰۵		
Run ۰۴	۲۲۵, ۶۳۸	۲۸۳, ۱۶۷	۳۲۰, ۲۲۱	۲۵	۴۲	۹۴		
Run ۰۵	۲۳۰, ۱۳۰	۲۸۳, ۲۹۶	۳۰۳, ۹۶۸	۲۳	۳۲	۱۱۱	۴۰٫۵۰	۶۴٫۱۳
Run ۰۶	۲۳۱, ۲۰۱	۲۸۳, ۴۳۹	۲۸۷, ۳۵۹	۲۳	۲۴	۸۹		
Run ۰۷	۲۲۶, ۷۷۴	۲۸۲, ۸۵۷	۳۲۹, ۱۱۰	۲۵	۴۵	۹۶		
Run ۰۸	۲۲۹, ۸۳۷	۲۸۳, ۲۱۵	۳۳۱, ۲۱۰	۲۳	۴۴	۱۰۲		
Run ۰۹	۲۳۰, ۲۰۷	۲۸۲, ۸۲۴	۳۱۴, ۳۶۲	۲۳	۳۷	۱۰۷		
میانگین	۲۳۰, ۳۳۸	۲۸۳, ۰۹۴	۳۱۲, ۹۰۷	۲۳	۳۶	۱۰۲	۴۰٫۵۰	۶۴٫۱۳

* نرخ اختلاف

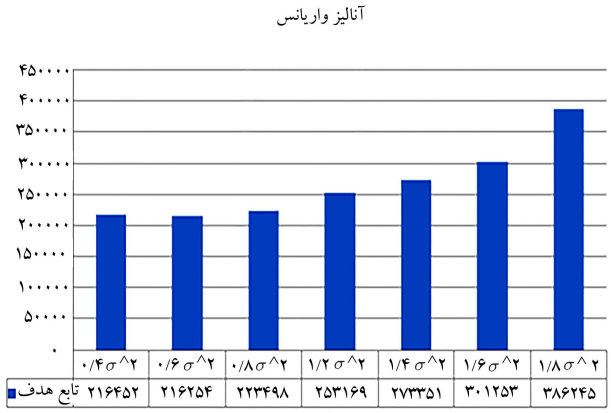
۲.۴. اعتبارسنجی مدل

برای اعتبارسنجی مدل پیشنهادی، مسئله‌ی ارائه‌شده توسط صادقی و همکاران[۱۲] را با استفاده از روش پیشنهادی مورد ارزیابی قرار می‌دهیم. بنابراین با توجه به‌جدول ۷ و با ایجاد تقاضاهای احتمالی، با میانگین‌های ۲۰۰، ۳۰۰۰ و ۵۵۰۰ و با واریانس‌های ۱۰، ۱۵ و ۲۰، مدل را توسط روش پیشنهادی در این نوشتار حل می‌کنیم. مسئله‌ی مذکور ۹ بار توسط نرم‌افزار CPLEX اجرا شده و نتایج تابع هدف به دست آمده با نتایج الگوریتم‌های ارائه شده توسط صادقی مقایسه شد. نتایج این آزمون در جدول ۸ ارائه شده که بیان‌گر بهبود تابع هدف در روش پیشنهادی است. ضمناً به‌دلیل استفاده از روش دقیق برای حل مدل زمان محاسباتی حل بیشتر از روش‌های ارائه شده توسط صادقی و همکاران است. در نهایت برای تحلیل اثر تقاضای احتمالی بر تابع هدف مدل پیشنهادی، از رویکرد تحلیل حساسیت روی واریانس تقاضاها استفاده شده و اثرات تغییرات واریانس تقاضا بر روی مقادیر سفارش و همچنین در نهایت روی تابع هدف ارزیابی می‌شود. به‌همین منظور، با تغییر مقادیر واریانس‌های تقاضا بر مسئله‌ی ارائه شده، تابع هدف مسئله برای هر تغییر محاسبه می‌شود.

۳.۴. تحلیل حساسیت

در نهایت برای تحلیل اثر تقاضای احتمالی بر تابع هدف مدل پیشنهادی، از رویکرد تحلیل حساسیت بر واریانس تقاضاها استفاده شده و اثرا تغییرات واریانس تقاضا برروی مقادیر سفارش و همچنین در نهایت برروی تابع هدف ارزیابی می‌شود. به‌همین منظور، با تغییر مقادیر واریانس‌های تقاضا برروی مسئله ارائه شده فوق، تابع هدف مسئله برای هر تغییر محاسبه می‌شود.

در شکل ۳ نتایج حاصل از تغییرات واریانس تقاضا بر تابع هدف مدل پیشنهادی



شکل ۳. تحلیل حساسیت برروی مقادیر متفاوت واریانس تقاضا.

نشان داده شده است. با توجه به‌نتایج حاصله، با افزایش نرخ واریانس تقاضا، تابع هدف مدل افزایش می‌یابد که بیانگر ارتباط معنی‌دار نرخ واریانس تقاضا با مقادیر سفارش و درنتیجه تابع هدف مسئله است. سرانجام می‌توان مدل پیشنهادی فوق را برای شرکت‌هایی که زنجیره‌ی تأمین آنها سازگاری و شباهت زیادی با پارامترهای مدل دارد به کارگرفت. لذا با توجه به‌ماهیت مدل، این مسئله قابل تعمیم و به‌کارگیری در شرکت‌های صنایع غذایی و پخش مانند شرکت کاله، گلستان و گلرنگ است و با استفاده از داده‌های واقعی نتایج قابل قبولی حاصل خواهد شد.

۵. نتیجه‌گیری

در این پژوهش یک مدل ریاضی مدیریت موجودی توسط فروشنده در یک زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی، شامل چند خرده‌فروش، چند فروشنده و یک انبار مرکزی جهت پشتیبانی فروشندگان با فرض تقاضاهای احتمالی به‌دلیل سازگاری بیشتر مدل پیشنهادی با دنیای واقعی ارائه شد. همچنین محدودیت‌های فضای انبارش و تعداد سفارشات سالیانه در این مسئله لحاظ شد. به‌همین منظور مسئله به‌صورت یک مدل ریاضی برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مدل‌سازی شد. سپس تقاضاهای احتمالی توسط تابع توزیع نرمال تولید شده و از آنجا که بهترین برآوردکننده‌ی میانگین در توزیع نرمال، میانگین نمونه‌هاست، بنابراین برای تخمین تقاضای خرده‌فروشان، برآورد میانگین تقاضای آنها مد نظر قرار گرفت. به‌همین منظور، برای هر فروشنده نسبت به تمامی خرده‌فروشان، مقدار ۱۰۰ عدد تصادفی در ۳ سطح متفاوت برای هر تقاضا مشخص شد. حال این سوال مطرح است که چه ترکیبی از سطوح ایجاد شده منجر به‌کم‌ترین هزینه در زنجیره‌ی تأمین می‌شود؟ برای پاسخ به سؤال فوق و برای توصیف استراتژی پیشنهادی، یک مثال عددی شامل ۳ فروشنده، ۴ خرده‌فروش و یک انبار مرکزی در نظر گرفته شد و مسئله‌ی مذکور توسط نرم‌افزار CPLEX برای سطوح متفاوت حل شد. در این راستا از روش طراحی آزمایشات (روش تاگوچی) برای مشخص کردن بهترین ترکیب از برآورد میانگین تقاضاهای تولید شده خرده‌فروشان استفاده شده است که جزئیات آن در بخش فوق توضیح داده‌شد. همچنین در نهایت برای حصول اطمینان از عدم برابری اثرات معنی‌داری میانگین فاکتورهای مورد آزمون (برای استقلال عوامل از یکدیگر)، از روش تحلیل واریانس با سطح معنی‌داری $\alpha = ۰/۰۵$ برای این منظور استفاده می‌کنیم. نتایج نهایی حاکی از عملکرد مناسب روش پیشنهادی در ۹۵٪ موارد، برای حل مدل پیشنهادی است.

برای مطالعات آتی در این زمینه می‌توان چندین انبار مرکزی در مسئله‌ی مدیریت موجودی توسط فروشنده، باکنترل هزینه‌های حمل‌ونقل بین سطوح زنجیره در نظر گرفت. همچنین می‌توان چندین محصول با هزینه‌های خرید و زمان‌های ارسال متفاوت در نظر گرفت.

پانوشت‌ها

1. vendor
2. retailer
3. warehouse
4. vendor management inventory
5. replenishment quantity
6. integer non linear programing
7. bullwhip effect
8. economic order quantity
9. genetic algorithm
10. Newton-Raphson method
11. dynamic programming
12. particle swarm optimization (PSO)
13. Empire
14. orthogonal array design

منابع (References)

1. Haji, R. and Sajadifar, S.M. "Deriving the exact cost function for two-level inventory system with information sharing", *Journal of Industrial and Systems Engineering*, **2**(1), pp. 41-50 (2008).

2. Dong, Y. and Xu, K. "A supply chain model of vendor managed inventory", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **38**(2), pp. 75-95 (2002).

3. Çetinkaya, S. and Lee, C. "Stock replenishment and shipment scheduling for vendor-managed inventory systems", *Management Science,* **46**(2), pp. 217-232 (2000).
4. Haisheng, Y., Amy, Z.Z. and Lindu, Z. "Analyzing the evolutionary stability of the vendor – managed inventory supply chains", *Computer & Industrial Engineering*, **56**, pp. 274-282 (2009).
5. Hill, R.M. and Omar, M. "Another look at the single-vendor single-buyer integrated production-inventory problem", *International Journal of Production Research*, **44**, pp. 791-800 (2006).
6. Goyal, S.K. "A joint economic-lot-size model for purchaser and vendor: A comment", *Decision Sciences*, **19**, pp. 236-241 (1988).
7. Goyal, S.K. "A one-vendor multi-buyer integrated inventory model: A comment", *European Journal of Operational Research*, **82**, pp. 209-210 (1995).
8. Yao, Y., Evers, P.T. and Dresner, M.E. "Supply chain integration in vendor-managed inventory", *Decision Support Systems*, **43**, pp. 663-674 (2007).
9. Darwish, M.A. and Odah, O.M. "Vendor managed inventory model for single-vendor multi-retailer supply chains", *European Journal of Operational Research,* **204**, pp. 473-484 (2010).
10. Yu, Y., Wang, Z. and Liang, L. "Vendor managed inventory supply chain with deteriorating raw materials and products", *International Journal of Production Economics*, **136**(2), pp. 266-274 (2012).
11. Pasandideh, S.H.R., Niaki, S.T.A. and Roozbeh Nia, A. "A genetic algorithm for vendor managed inventory control system of multi-product multi-constraint economic order quantity model", *Expert Systems with Applications*, **38**, pp. 2708-2716 (2011).
12. Sadeghi, J., Sadeghi, A. and Saidi-Mehrabad, M. "A parameter-tuned genetic algorithm for vendor managed inventory model for a case single-vendor single-retailer with multi-product and multi-constraint", *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, **4**, pp. 57-67 (2011).
13. Sadeghi, J., Mousavi, S.M., Niaki, S.T.A. and Sadeghi, S. "Optimizing a multi-vendor multi retailer vendor managed inventory problem: Two tuned meta heuristic algorithms", *Knowledge-Based Systems*, **50**, pp. 159-170 (2013).
14. Roozbeh Nia, A., Hemmati Far, M. and Niaki, S.T.A. "A hybrid genetic and imperialist competitive algorithm for green vendor managed inventory of multi-item multi-constraint EOQ model under shortage", *Applied Soft Computing*, **30**, pp. 353-364 (2015).
15. Sadeghi, J., Sadeghi, S. and Niaki, S.T.A. "Optimizing a hybrid vendor-managed inventory and transportation problem with fuzzy demand: An improved particle swarm optimization algorithm", *Information Sciences,* **272**, pp. 126-144 (2014).
16. Roozbeh Nia, A., Hemmati Far, M., Niaki, S.T.A. "A fuzzy vendor managed inventory of multi-item economic order quantity model under shortage: An ant colony optimization algorithm", *International Journal of Production Economics*, **155**, pp. 259-271 (2014).
17. Roozbeh Nia, A., Hemmati Far, M. and Niaki, S.T.A. "A hybrid genetic and imperialist competitive algorithm for green vendor managed inventory of multi-item multi-constraint EOQ model under shortage", *Applied Soft Computing*, **30**, pp. 353-364 (2015).
18. Rasay, H., Mehrjerdi, Y.Z. and Fallahnejad, M.S. "Vendor managed inventory system in state of one vendor and multiple retailers", *International Journal of Industrial Engineering & Production Management,* **24**(3), pp. 269-282 (2013).
19. Akhbari M., Mehrjerdi Y.Z., Khademi Zare H., Makui A. "A novel continuous KNN prediction algorithm to improve manufacturing policies in a VMI supply chain", *International Journal of Engineering; TRANSACTIONS B: Applications,* **27**(11), pp. 1681-1690 (2014).
20. Moubed, M. and Mehrjerdi, Y.Z. "A conceptual model for VMI in reverse supply chains", *International Journal of Management, Accounting and Economics*, **1**(3), pp. 186-200 (2014).
21. Montgomery, D.C., *Design and Analysis of Experiments*, 5 ed. John Wiley and Sons, New York, NY USA, 684 p. (2001).