

## تعیین سیاست بازپرسازی موجودی و انتخاب تأمین‌کننده در زنجیره تأمین یکپارچه کالای فاسدشدنی

آریان مُزدگیرمُبرهن<sup>۱</sup>، هیبت اله صادقی<sup>۲\*</sup>، سمین اربابی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۲. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۳. دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

### خلاصه

انتخاب تأمین‌کننده و همچنین تعیین سیاست مناسب بازپرسازی، همواره یکی از دغدغه‌های اصلی در سیستم‌های تولیدی و زنجیره تأمین است. در این مقاله یک زنجیره تأمین یکپارچه خریدار-تأمین‌کننده برای کالای فاسدشدنی مورد بررسی قرار می‌گیرد. خرده‌فروش، محصول مورد نیاز خود از تولیدکنندگان مختلف تأمین می‌کند. محصول خریداری شده از تولیدکنندگان از نوع محصولات فسادپذیر است و نرخ فساد آن به صورت درصد ثابتی از سطح موجودی خرده‌فروش و تولیدکنندگان بیان می‌شود. در چنین شرایطی، انتخاب تأمین‌کنندگان و تعیین میزان خرید از هر تأمین‌کننده تأثیر به‌سزایی در بهینه‌سازی زنجیره تأمین دارد. خرده‌فروش براساس تقاضای مشخص و ثابت مشتریان نهایی سعی می‌کند سیاست بهینه‌ی بازپرسازی خود را تعیین کند و براساس این سیاست بهینه، فرآیند خرید مواد اولیه از تولیدکنندگان و همچنین زمان خرید و حجم خرید از هر تولیدکننده مشخص خواهد شد. در این میان آن دسته از تأمین‌کنندگانی که توانایی تأمین محصول با کمترین هزینه در زمان مقرر را دارند، انتخاب می‌شوند. هدف اصلی در این مقاله انتخاب تأمین‌کنندگان و تعیین سیاست بازپرسازی به‌گونه‌ای که کل هزینه‌های زنجیره تأمین شامل هزینه‌های خرده‌فروش و تأمین‌کنندگان حداقل شود. در این مدل از رویکرد برنامه‌ریزی خطی مختلط عدد صحیح استفاده شده است. در نهایت این مدل با یک مثال عددی بررسی شد.

### اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۴۰۰/۷/۲۱

پذیرش ۱۴۰۰/۱۲/۸

(مقاله پژوهشی)

کلمات کلیدی:

انتخاب تأمین‌کننده

کالای فاسدشدنی

زنجیره تأمین یکپارچه

سیاست بازپرسازی

### ۱. مقدمه

تأمین‌کنندگان یکی از مهم‌ترین مسائل مربوط به تصمیم‌گیری‌های شرکت‌ها است. با توجه به اینکه هزینه‌ی مواد اولیه، بخش عمده‌ای از هزینه‌ی نهایی محصول را شامل می‌شود لذا انتخاب تأمین‌کننده مناسب تأثیر به‌سزایی در هزینه‌های سیستم دارد و انتخاب تأمین‌کنندگان مناسب به‌طور قابل توجهی باعث کاهش هزینه‌های خرید در شرکت‌های تولیدی می‌شود [۲]. فرآیند انتخاب تأمین‌کننده مناسب که قادر به فراهم کردن نیاز خریدار از نظر محصولات باکیفیت، با قیمت مناسب و در یک زمان مناسب باشد، یکی از ضروری‌ترین فعالیت‌ها برای ایجاد زنجیره تأمین مناسب است [۳]. در جهان امروز

یکی از مسائل اساسی بشر تأمین نیازهای غذایی است، به‌گونه‌ای که امنیت غذایی و افزایش کیفیت را به‌همراه داشته باشد [۴]. تأمین مواد غذایی باکیفیت در مواردی که شرایط ویژه‌ای دارند مانند مواد فاسدشدنی از اهمیت به‌سزایی برخوردار است [۵]. زنجیره تأمین برای کالاهایی با عمر کوتاه و فاسدشدنی بیش‌ترین چالش‌ها را برای مدیریت زنجیره تأمین به‌وجود می‌آورد [۶]. کالاهای فاسدشدنی به مرور زمان ارزش خود را از دست می‌دهند، مانند دارو، میوه و سبزیجات و غیره [۷]. در چنین شرایطی انتخاب یک زنجیره تأمین مناسب یک فاکتور کلیدی برای موفقیت در بازار رقابتی امروز می‌باشد [۸]. موضوع بسیار مهمی که در موجودی مورد توجه قرار گرفته است،

\* نویسنده مسئول: هیبت اله صادقی

تلفن: ۰۷۳-۳۳۶۶۰۰۷۳-۰۸۷، پست الکترونیکی: [h.sadeghi@uok.ac.ir](mailto:h.sadeghi@uok.ac.ir)

زمانی پول و اعتبارات تجاری تأمین‌کنندگان مختلف و در حالت مجاز نبودن کمبود را بررسی کرد. صادقی و همکاران [۱۲] یک مدل یکپارچه تولید-موجودی بهینه با تحویل گسسته و دریافت چندگانه را برای مدیریت موجودی در تحویل چندمرحله‌ای به خرده‌فروشان پیشنهاد می‌کند. هدف اصلی این مدل تعیین مقادیر بهینه سفارش و سفارش برای به دست آوردن حداقل هزینه کل است. یک استراتژی هموارسازی جدید و یک الگوریتم ابتکاری اصلی برای مقابله با غیرخطی بودن مدل و حل آن معرفی شده‌اند. تایال و همکاران [۱۳] در پژوهش خود یک محصول فاسدشدنی را برای خریدار تأمین می‌کنند، سپس یک مدل موجودی یکپارچه‌ی تولید را با فرض موجود نبودن کمبود برای این محصول فاسدشدنی ارائه کردند. در این مدل ارائه شده نرخ تقاضا نمایی و نرخ تولید تابعی از نرخ تقاضا است. همچنین هزینه نگهداری با زمان تغییر می‌کند. چان و همکاران [۱۴] به بررسی تأثیر نرخ تولید بر هزینه کل سیستم پرداختند و روشی را برای یافتن نرخ تولید بهینه در مدل‌های تولید توسعه دادند. آن‌ها یک مدل یکپارچه‌ی یک خریدار-یک فروشنده برای اقلام فاسدشدنی به صورت تابع نمایی ارائه کردند که در آن تولید بدون توقف و نرخ تولید به عنوان یکی از متغیرهای تصمیم‌گیری در نظر گرفته شده است. دابسون و همکاران [۱۵] مدیریت و کنترل موجودی را برای کالای فاسدشدنی با فرض قطعی بودن تقاضای قطعی مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها کیفیت ارزیابی شده توسط مصرف‌کنندگان را در طول عمر محصولات در نظر گرفتند و فرض کردند که نرخ تقاضا یک تابع خطی نزولی از سن محصولات است. یانسن و همکاران [۱۶] روند تعیین سیاست بازسازی موجودی را برای کالای فاسدشدنی با طول عمر ثابت در یک سیستم مرور دوره‌ای با فرض تقاضای تصادفی را بررسی کردند. تیواری و همکاران [۱۷] یک مدل موجودی را برای اقلام فاسدشدنی با در نظر گرفتن اعتبار تجاری دومرحله‌ای با فرض مجاز بودن کمبود توسعه دادند. هدف اصلی آن‌ها، یافتن مقدار بهینه قیمت فروش، زمان چرخه‌ی بازسازی و طول هر سیکل بوده است. خان و همکاران [۱۸] زنجیره‌ی تأمین اقلام فاسدشدنی با فرض وابسته بودن تقاضای محصول به قیمت و در نظر گرفتن کمبود ارائه کردند. چن و همکاران [۱۹] مدیریت موجودی یک محصول فاسدشدنی با چرخه عمر کوتاه را مورد بررسی قرار دادند. مدل ارائه شده در این مطالعه دارای افق برنامه‌ریزی محدود، تقاضای وابسته به سطح موجودی با مدت زمان‌های مختلف و وابسته به قیمت است. هدف از ارائه‌ی این مدل حداکثرکردن سود متوسط در هر دوره از طریق تعیین سیاست بازسازی و قیمت‌گذاری مناسب بوده است. آزادی و همکاران [۲۰] یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای با هدف انتخاب تأمین‌کنندگان، شناسایی یک برنامه‌ی بازسازی موجودی با تقاضا و عرضی نامشخص، تعیین زمان‌بندی و کاهش قیمت به‌منظور به حداکثر رساندن سود خرده‌فروش ارائه کرده است.

لشگری و همکاران [۲۱] با در نظر گرفتن انتخاب تأمین‌کنندگان بهینه، یک مدل مقدار سفارش اقتصادی را برای اقلام فاسدشدنی

کنترل و نگهداری موجودی است. کنترل موجودی به دلیل نقش پررنگ خود در کاهش هزینه‌ها مورد توجه‌ی سازمان‌ها قرار گرفته است. در واقع کنترل موجودی جریانی است که تضمین می‌کند اقلام موجود در سازمان از نظر زمان، هزینه، کیفیت، تعداد در بخش‌های تولید و فروش در دسترس باشند. تصمیم‌گیری بهینه در ارتباط با زمان تولید، مقدار تولید و زمان‌های حمل‌ونقل یکی از دغدغه‌های مدیران است. تأمین‌کنندگان و خرده‌فروشان به دنبال کاهش هزینه‌های خود هستند. تأمین‌کننده‌ای مناسب است که علاوه بر حداقل کردن هزینه‌ها، کالای موردنظر را در زمان مقرر، بدون تأخیر و بدون مواجه شدن با کمبود برای خریدار تأمین کند.

نوع سیاست ارسال برای بازسازی خریدار حائز اهمیت است. سیاست دسته به دسته اولین سیاست در این حیطه است. در این سیاست، اندازه‌ی حجم تولید فروشنده و اندازه‌ی سفارش خرید در تمام سیکل‌ها یکسان است. با استفاده از این سیاست یک زنجیره‌تأمین متمرکز بین فروشندگان و خریداران ایجاد می‌گردد و خریدار یک نوع محصول را از تأمین‌کنندگان خریداری می‌کند.

در این مقاله، یک زنجیره‌تأمین دوسطحی شامل خریداران و تأمین‌کننده برای محصولات فاسدشدنی مورد بررسی قرار می‌گیرد. هدف این زنجیره‌تأمین دستیابی به سیاست بازسازی مناسب باتوجه به فاسدشدنی بودن کالاها، ایجاد یکپارچگی بین تأمین‌کنندگان و تولیدکنندگان برای کاهش هزینه‌ها، جلوگیری از تأخیرها، تخصیص سفارش‌ها به هر تأمین‌کننده و تعیین مقدار آن و میزان بازسازی خریدار است. در این راستا پیشینه پژوهش گسترده‌ای وجود دارد که در بخش دوم به آن پرداخته شده است. در بخش سوم و چهارم به ترتیب به مدل‌سازی، نتایج و تحلیل حساسیت پرداخته شده است. در انتها در بخش پنجم به جمع‌بندی مباحث پرداخته شده است.

## ۲. مرور پیشینه پژوهش

در این بخش به بررسی پژوهش‌های پیشین که تاکنون در زمینه انتخاب تأمین‌کننده، کالاهای فاسدشدنی، سیاست‌های بازسازی موجودی، تحویل سفارشات گسسته و زنجیره‌تأمین یکپارچه صورت گرفته است، پرداخته می‌شود.

چانگ و لین [۹] یک رویکرد جریان نقدی با در نظر گرفتن تخفیف برای بررسی سیاست بازسازی موجودی برای اقلام فاسدشدنی و با در نظر گرفتن ارزش زمانی پول در یک افق زمانی ثابت را ارائه کردند. آنها مسأله را با فرض مجاز بودن کمبود به صورت پس‌افت کامل و بدون پس‌افت توسعه دادند و براساس اصل بهینگی سراسری جواب مسأله را تعیین کردند. تنگ و چانگ [۱۰] یک مدل تولید اقتصادی برای اقلام فاسدشدنی با نرخ تقاضای وابسته به سطح موجودی و قیمت فروش را پیشنهاد کردند. سپس شرایط لازم برای تعیین یک راه‌حل بهینه که سود را برای مدل پیشنهادی به حداکثر می‌رساند، فراهم کردند. بلخی [۱۱] یک مدل سفارش اقتصادی با افق زمانی محدود برای یک مدل موجودی با اقلام فاسدشدنی در حالت تورمی و با در نظر گرفتن ارزش

برنامه‌ریزی پویا جواب مسأله را تعیین کردند. در جدول (۱) مروری بر گزیده‌ای از مطالعات پیشین با مطالعه‌ی حاضر گردآوری شده است.

باتوجه به مرور ادبیات پیشین و جدول (۱)، فقدان مدلی که بتواند

نوآوری‌های زیر را می‌توان در نظر گرفت

- ✓ ارائه‌ی مدل یکپارچه‌ی فروشنده و خریدار
- ✓ انتخاب تأمین‌کننده در مسأله زنجیره‌تأمین دوسطحی کالای فاسدشدنی
- ✓ تعیین مقدار سیاست بازپرسازی و میزان خرید از هر تأمین‌کننده
- ✓ خرید کالا در زمان مناسب با قیمت مناسب با در نظر گرفتن انتخاب تأمین‌کننده
- ✓ افق برنامه‌ریزی نامحدود است.

در جدول (۱) خلاصه از تحقیقات اصلی در ادبیات موضوع دسته‌بندی شده است. در این تحقیق یک زنجیره‌تأمین دوسطحی یکپارچه تولیدکننده-خریدار برای یک کالای فاسدشدنی با هدف تعیین سیاست بازپرسازی موجودی، به گونه‌ای که کل هزینه‌ای خریدار و تولیدکنندگان حداقل گردد، مورد بررسی قرار گرفته است.

در این مقاله یک مدل ریاضی با هدف حداقل کردن کل هزینه سالیانه زنجیره مورد بررسی و لحاظ نمودن مفاهیم انتخاب تأمین‌کننده، فاسدشدنی بودن کالاها و غیره ارائه گردید. به عبارت دیگر مدل ارائه شده در این مطالعه یک نوع مسأله تصمیم‌گیری است، که در آن خرده‌فروش باتوجه به معیار هزینه تأمین‌کنندگان پیشنهادی را انتخاب و سپس خرده‌فروش به هر کدام از آن‌ها سفارش خود را تخصیص خواهد داد.

از سوی دیگر خرده‌فروش باید کالای فاسدشدنی مدنظرش را در انبار نگهداری می‌کند و در نهایت براساس نیاز مشتریان نهایی برای آن‌ها ارسال می‌کند. خرده‌فروش در این زنجیره‌تأمین نقش یک واسطه را بین تأمین‌کنندگان و مشتریان نهایی ایفا می‌کند. همچنین هم خرده‌فروش و هم تأمین‌کنندگان به دنبال حداقل کردن هزینه‌های خود هستند، بنابراین با یک مسأله حداقل‌سازی هزینه روبه‌رو خواهیم بود.

### ۳. تعریف مسأله و مدل‌سازی

در مطالعه حاضر، یک زنجیره‌تأمین یکپارچه خریدار-تأمین‌کننده مورد بررسی قرار گرفته شده است. خرده‌فروش در یک زنجیره‌تأمین متمرکز مایل به خرید محصول موردنیاز خود از تولیدکنندگان مختلف است. یک بنگاه وظیفه‌ی مدیریت زنجیره‌ی تأمین و ارتباط بین تأمین‌کنندگان و خریدار را برعهده دارد. در شکل (۱) وضعیت خریدار، تأمین‌کنندگان و بنگاه در یک زنجیره‌تأمین متمرکز دوسطحی به صورت شماتیک نشان داده شده است. در مسأله مورد بررسی، محصول خریداری شده، از نوع فسادپذیر است و روند فاسد شدن آن به صورت درصد ثابتی از سطح موجودی خرده‌فروش و تولیدکنندگان بیان می‌گردد. خرده‌فروش براساس تقاضای مشخص و ثابت مشتریان نهایی، فرآیند خرید مواد اولیه از تولیدکنندگان و همچنین زمان خرید و حجم خرید از هر تولیدکننده مشخص خواهد شد. در این میان آن

توسعه‌دادند. نظر آن‌ها این بود که همواره بهینه‌سازی مسأله چندمحصولی-چنددوره‌ای با انتخاب تأمین‌کننده برای محصولات فاسدشدنی، هنگامی که شرایط اقتصادی آینده نامعلوم باشد، به طور مستقیم بر شرایط مسأله تأثیر می‌گذارد. بر این اساس، یک مدل برنامه‌ریزی مختلط عددصحيح را معرفی کردند و سپس بهینه‌سازی استوار را از طریق یک رویکرد مبتنی بر سناریوی دو فازی ایجاد نمودند. تابع هدف مدل آن‌ها حداقل کردن هزینه‌هایی همچون هزینه سفارش‌دهی، هزینه کمبود، هزینه خرید، هزینه نگهداری و هزینه حمل‌ونقل بود. یانگ و همکاران [۲۲] نرخ فساد را به عنوان یکی از متغیرهای قابل کنترل تعریف کردند و مدیریت موجودی اقلام فاسدشدنی را به وسیله‌ی این شاخص برای کنترل کردن نرخ فساد در نظر گرفتند.

رجبی و همکاران [۲۳] نیز مسأله برنامه‌ریزی و کنترل موجودی دو دوره‌ای با تقاضای احتمالی مورد بررسی قرار می‌گیرد. آن‌ها فرض کرده‌اند که فقط در اول دوره امکان سفارش‌دهی وجود دارد. همچنین در مسأله مورد بررسی فرض شده است که قیمت خرید محصولات در اول دوره یک فرآیند تصادفی و وابسته به زمان است. آن‌ها برای مسأله پیشنهادی خود یک مدل ریاضی ارائه کرده و سپس براساس برنامه‌ریزی پویای احتمالی جواب بهینه مسأله را تعیین کرده‌اند. امیری و همکاران [۲۴] با استفاده از سیاست موجودی مدیریت فروشنده مدلی را برای تعیین سطح بهینه فروش محصولات فاسدشدنی در یک زنجیره‌تأمین دوسطحی که شامل یک فروشنده و چند خریدار بود، ارائه کردند. تابع هدف مدل آن‌ها، بهینه‌سازی مقدار فروش در دوره‌های مختلف بود که منجر به حداکثر کردن سود حاصل از فروش اقلام فاسدشدنی می‌شد. مسأله آن‌ها به صورت یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی بوده و سه روش فرا ابتکاری کارآمد از جمله بهینه‌سازی ازدحام ذرات، الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی ازدحام ذرات توأم تکاملی و نیز نرم‌افزار گمز را برای حل دقیق آن مورد استفاده قرار دادند. عبدی و همکاران [۲۵] مسأله مکان‌یابی تسهیلات-موجودی-تخصیص افزونگی را به طور هم‌زمان بررسی کردند. آن‌ها فرض کردند که تقاضای خرده‌فروش احتمالی بوده و از توزیع نرمال پیروی می‌کند. همچنین از ادغام ریسک برای مقابله با نوسانات تقاضا استفاده کرده‌اند. در این راستا یک مدل ریاضی عدد صحیح غیرخطی باهدف حداقل کردن هزینه‌های کل زنجیره‌تأمین و قابلیت اطمینان ارائه دادند.

صادقی [۲۶] یک مدل تولید اقتصادی با سیاست مقدار سفارش دوره‌ای (POQ)، قابلیت اطمینان محصول و تقاضای دوره‌ای را ارائه داد و فرض کرده است که نرخ محصولات معیوب باتوجه اینکه ماشین در طول زمان از حالت اولیه خارج می‌شود، با گذشت زمان افزایش می‌یابد. رجبی و همکاران [۲۷] مسأله چند دوره‌ای با تقاضای احتمالی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها فرض کردند فقط در اول دوره امکان سفارش وجود دارد و تقاضا در طول دوره تصادفی و از توزیع مشخصی پیروی می‌کند و همچنین قیمت خرید از یک فرآیند تصادفی پیروی می‌کند. آن‌ها مسأله را مدل‌سازی و با استفاده از رویکرد حل

دسته از تأمین‌کنندگانی که توانایی تأمین محصول با کمترین هزینه در زمان مقرر را دارند، انتخاب می‌شوند. بازپرسی خرید فروسه آنی بوده و بلافاصله پس از تولید انجام می‌گیرد که در ادامه سایر مفروضات مسأله بیان می‌شود.

✓ کالای فاسدشدنی بوده و روند فسادپذیر آن به‌صورت درصد ثابتی از سطح موجودی بیان می‌شود.

✓ نرخ تولید هر تأمین‌کنندگان محدود و ثابت است.

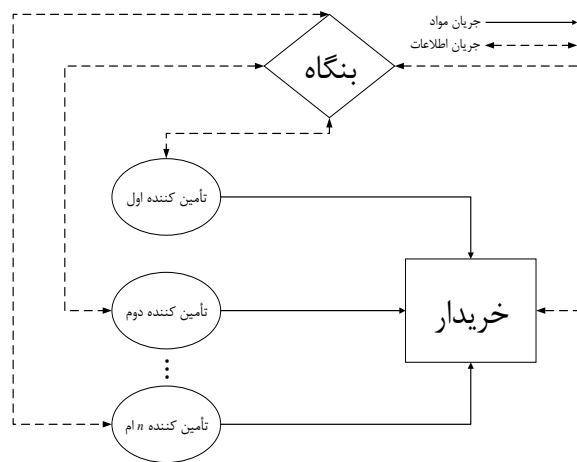
✓ خریدار می‌تواند مواد اولیه موردنیاز خود را از چندین تأمین‌کننده تهیه می‌کند.

جدول (۱): مروری بر گزینه‌های از مطالعات پیشین

نویسنده	سال انتشار	انتخاب تأمین‌کننده	فاسدشدنی بودن کالاها	یکپارچگی زنجیره تأمین	سیاست بازسازی بهینه موجودی	زنجیره تأمین چندسطحی	تخصیص سفارش	حداقل کردن هزینه‌ها
قدسی پور و اوبراین [۲۸]	۲۰۰۱	✓			✓	✓	✓	✓
چانگ و لین [۹]	۲۰۰۱		✓		✓			✓
تنگ و چانگ [۱۰]	۲۰۰۵		✓					✓
شیا و وو [۲۹]	۲۰۰۷	✓		✓		✓	✓	✓
رضایی و داودی [۳۰]	۲۰۰۸	✓				✓		
خلجانی و همکاران [۳۱]	۲۰۰۹	✓		✓	✓	✓	✓	✓
بلخی [۱۱]	۲۰۱۱		✓		✓			✓
تایال و همکاران [۱۳]	۲۰۱۵		✓		✓	✓		✓
حاجیان حیدری و همکاران [۳۲]	۲۰۱۵		✓		✓	✓	✓	✓
چان و همکاران [۱۴]	۲۰۱۷		✓	✓				✓
اتابکی و محمدی [۳۳]	۲۰۱۷	✓		✓	✓			✓
جوهر و پنت [۳۴]	۲۰۱۷	✓		✓	✓			✓
دابسون و همکاران [۱۵]	۲۰۱۷		✓		✓			✓
یانسن و همکاران [۱۶]	۲۰۱۸		✓		✓			✓
آلفارس و تورنادی [۳۵]	۲۰۱۸	✓			✓			✓
سرکار و همکاران [۳۶]	۲۰۱۸	✓		✓				✓
اسماعیلی و قبادی [۳۷]	۲۰۱۸	✓				✓		✓
گورن [۳۸]	۲۰۱۸	✓		✓			✓	✓
تیواری و همکاران [۱۷]	۲۰۱۸		✓		✓	✓		✓
خان و همکاران [۱۸]	۲۰۱۹		✓		✓			✓
چن و همکاران [۱۹]	۲۰۱۹		✓		✓			✓
آزادی و همکاران [۲۰]	۲۰۱۹	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
یوسفی و همکاران [۳۹]	۲۰۱۹	✓		✓		✓	✓	✓
داباس و همکاران [۴۰]	۲۰۱۹	✓		✓				✓
لشگری و همکاران [۲۱]	۲۰۱۹	✓	✓					✓
یانگ و همکاران [۲۲]	۲۰۲۰		✓					✓
گوبیندن و همکاران [۴۱]	۲۰۲۰	✓		✓			✓	✓
امیری و همکاران [۲۴]	۲۰۲۰		✓			✓		✓
آلخو-ریس و همکاران [۴۲]	۲۰۲۱	✓			✓		✓	✓
گل‌پیرا و همکاران [۴۳]	۲۰۲۱			✓	✓			✓
پژوهش حاضر	۲۰۲۱	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

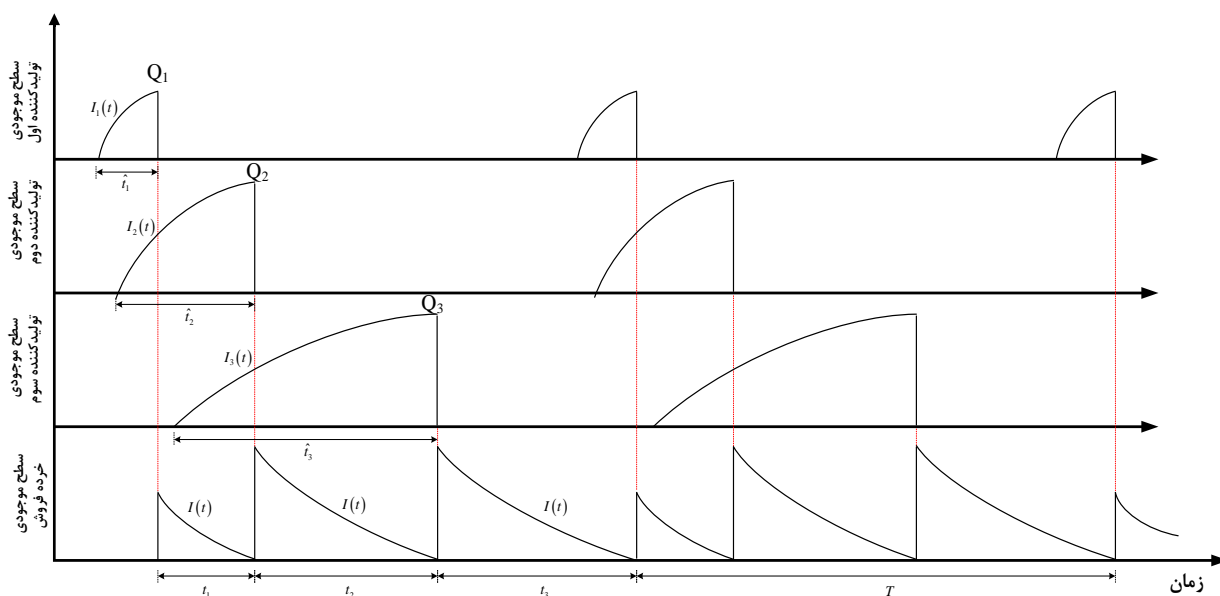
تأمین‌کنندگان است. هزینه‌های خریدار شامل هزینه خرید، هزینه ثابت سفارش‌دهی، هزینه نگهداری موجودی خریدار و هزینه کالای فاسد شده و دورریز آن‌ها است. هزینه‌های تأمین‌کنندگان نیز شامل هزینه تولید هر واحد محصول، هزینه راه‌اندازی سیستم خط تولید، هزینه نگهداری موجودی تولیدکنندگان و هزینه کالای فاسد شده و دورریز آن‌ها است. پیش از محاسبه‌ی هزینه‌های فوق باید سطوح موجودی را برای خریدار و تأمین‌کنندگان به صورت مستقل از یکدیگر محاسبه نمود، سپس به محاسبه‌ی هزینه‌های خریدار و تأمین‌کنندگان پرداخته شود.

شکل (۲) نمودار سطوح موجودی یک خریدار و سه نوع تولیدکننده مختلف به صورت شماتیک نشان می‌دهد. براساس شکل (۲) خرده‌فروش در مقاطع زمانی مختلف با توجه به نرخ محدود تولیدکنندگان، مقادیر مختلفی از آن‌ها را خریداری می‌کند و براساس نرخ تقاضای ثابت وارده آن‌ها را به فروش می‌رساند.



شکل (۱): نمایی از یک زنجیره تأمین متمرکز با یک خریدار و  $n$  تأمین‌کننده مختلف

هزینه‌های سیستم شامل تمام هزینه‌های خریدار و هزینه‌های



شکل (۲): نمودار سطوح موجودی-زمان برای سه نوع تولیدکننده و یک خرده‌فروش

$I(t)$  سطح موجودی خرده‌فروش در لحظه  $t$   
 $I_i(t)$  سطح موجودی تولیدکننده  $i$ ام در لحظه  $t$ , ( $i = 1, 2, \dots, n$ )  
 $Q_i$  میزان سفارش خرده‌فروش به تولیدکننده  $i$ ام ( $i = 1, 2, \dots, n$ )  
 $\theta_i$  نرخ فساد اقلام تولیدکننده  $i$ ام, ( $i = 1, 2, \dots, n$ )  
 $\beta$  نرخ فساد خرده‌فروش  
 $\mu$  هزینه ثابت نگهداری هر واحد محصول در انبار تولیدکننده به‌ازای هر واحد محصول، در هر سیکل تولید  
MHC کل هزینه نگهداری اقلام در انبار تولیدکنندگان در هر سیکل تولید  
ACIH هزینه سالیانه‌ی نگهداری تولیدکنندگان  
MPC کل هزینه هر سیکل اقلام فاسد شده‌ای برای تولیدکننده  
AMPC هزینه سالیانه‌ی اقلام فاسدشده‌ی تولیدکنندگان

در ادامه به معرفی اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای مدل پرداخته خواهد شد:  
**۳-۱. اندیس‌ها، متغیرها و پارامترها**  
 اندیس‌ها:  
 $i$  اندیس تولیدکننده ( $i = 1, 2, \dots, n$ )  
 پارامترها:  
 $t_i$  مدت زمان لازم برای فروش (مصرف) اقلام تولید شده تولیدکننده  $i$ ام توسط خرده‌فروش ( $i = 1, 2, \dots, n$ )  
 $\hat{t}_i$  طول هر سیکل تولیدکننده  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ )  
 $T$  طول هر سیکل زنجیره در نظر گرفته شده  
 $p_i$  نرخ تولید مربوط به تولیدکننده  $i$ ام ( $i = 1, 2, \dots, n$ )  
 $D$  تقاضای تجمیع یافته مشتریان نهایی

نیز افزایش می‌یابد. تغییرات سطح موجودی نسبت به زمان توسط رابطه (۱) در نظر گرفته شده است:

$$\frac{\partial I_i(t)}{\partial t} = p_i - \theta_i \times I_i(t), \quad (1)$$

$0 \leq t \leq \hat{t}_i, \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad 0 \leq \theta_i \leq 1$   
با حل رابطه (۱) با در نظر گرفتن شرط اولیه  $I_i(t = 0) = 0$  نتیجه آن به صورت رابطه (۲) محاسبه خواهد شد:

$$I_i(t) = \frac{p_i}{\theta_i} (1 - e^{-\theta_i \times t}), \quad (2)$$

$0 \leq t \leq \hat{t}_i, \quad (i = 1, 2, \dots, n)$   
باتوجه به پیچیدگی رابطه (۳) در حل بهینه‌سازی، این رابطه براساس تخمین دوجمله‌ی اول سری تیلور حول نقطه‌ی صفر (که اصطلاحاً به این نوع تخمین بسط مک‌لورن نیز می‌گویند). نسبت به  $t$ ، ساده‌سازی می‌گردد.

$$I_i(t) = p_i t - \frac{1}{2} p_i \theta_i t^2, \quad (3)$$

براساس شکل (۲) تولیدکننده‌ی  $i$ ام در مدت زمان  $\hat{t}_i$  به اندازه  $Q_i$  واحد محصول سالم تولید می‌کند، سطح موجودی تأمین‌کننده در زمان  $\hat{t}_i$  برابر  $Q_i$  خواهد بود. در این صورت مقدار  $Q_i$  را می‌توان برحسب زمان تولید ( $\hat{t}_i$ ) به صورت رابطه (۴) تعیین نمود:

$$I_i(t = \hat{t}_i) = Q_i \Rightarrow Q_i = p_i \hat{t}_i - \frac{1}{2} p_i \theta_i \hat{t}_i^2; \quad (4)$$

براساس رابطه (۴)، مدت‌زمان تولید تولیدکننده‌ی  $i$ ام ( $\hat{t}_i$ ) برحسب  $Q_i$  قابل محاسبه بوده و نتیجه آن به صورت رابطه (۵) خواهد بود.

$$Q_i = p_i \hat{t}_i - \frac{1}{2} p_i \theta_i \hat{t}_i^2 \quad (5)$$

$$\Rightarrow \hat{t}_i = \frac{p_i \pm \sqrt{p_i \sqrt{p_i} - 2 Q_i \theta_i}}{p_i \theta_i}; \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

باتوجه به پیچیدگی رابطه (۵) در حل بهینه‌سازی، این رابطه براساس تخمین دوجمله‌ی اول بسط مک‌لورن نسبت به  $Q_i$  نوشته می‌شود. مقدار ساده‌سازی شده‌ی آن به صورت رابطه (۶) تعیین می‌گردد:

$$\hat{t}_i = \frac{Q_i}{p_i} + \frac{\theta_i Q_i^2}{2 p_i^2}; \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

در هر دوره، همواره مقداری کالا در انبار هر تولیدکننده فاسد می‌شود. تعداد اقلام فاسد شده در انبار تولیدکننده‌ی  $i$ ام ( $\Gamma_i$ ) براساس رابطه (۷) قابل محاسبه است:

$$\Gamma_i = p_i \hat{t}_i - Q_i; \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

در این مطالعه در تمامی روابط به جهت ساده‌سازی و یکپارچه‌سازی مدل مقدار  $Q_i$  به کار رفته در هر رابطه را برحسب حاصل ضرب «متغیر تصمیم درصد تقاضای برآورده شده‌ی خرده‌فروش از تولیدکننده‌ی  $i$ ام ( $\alpha_i$ )» در «متغیر تصمیم میزان کل سفارش خرده‌فروش در هر سیکل ( $Q$ )» نوشت و به صورت رابطه (۸) بیان کرد:

$\Gamma_i$	تعداد اقلام فاسد شده در انبار تولیدکننده‌ی $i$ ام ( $i = 1, 2, \dots, n$ )
$Y_i$	متغیر صفر و یک برای تعیین تولیدکننده‌ی $i$ ام از جانب خریدار جهت خرید محصول ( $i = 1, 2, \dots, n$ )
$G_i$	هزینه راه‌اندازی تولیدکننده‌ی $i$ ام ( $i = 1, 2, \dots, n$ )
$SC$	کل هزینه راه‌اندازی هر سیکل برای تولیدکنندگان
$Z_i$	هزینه متغیر تولید به‌ازای هر واحد محصول تولید شده توسط تولیدکننده‌ی $i$ ام ( $i = 1, 2, \dots, n$ )
$CP$	هزینه یک سیکل تولید برای تولیدکنندگان
$ACP$	هزینه تولید سالیانه تولیدکنندگان
$SAC$	کل هزینه‌های سالیانه تولیدکنندگان
$\rho$	هزینه نگهداری اقلام در انبار خرده‌فروش به‌ازای هر واحد محصول در واحد زمان
$RHC$	هزینه نگهداری اقلام در انبار خرده‌فروش
$AIHC$	هزینه نگهداری سالیانه خرده‌فروش
$RP$	تعداد اقلام فاسد شده در انبار خرده‌فروش در طول هر سیکل
$RPC$	هزینه اقلام فاسد شده در انبار خرده‌فروش
$ARPC$	هزینه سالیانه اقلام فاسد شده‌ی خرده‌فروش
$A_i$	هزینه ثابت سفارش‌دهی خرده‌فروش از تولیدکننده‌ی $i$ ام ( $i = 1, 2, \dots, n$ )
$c_i$	قیمت فروش هر واحد محصول تولیدکننده $i$ ام ( $i = 1, 2, \dots, n$ )
$OC$	کل هزینه هر سیکل سفارش‌دهی خرده‌فروش
$AOC$	هزینه سفارش‌دهی سالیانه‌ی خرده‌فروش
$PC$	هزینه خرید خرده‌فروش در هر سیکل
$APC$	هزینه خرید سالیانه‌ی خرده‌فروش
$BAC$	کل هزینه‌های سالیانه خریدار (خرده‌فروش)
$ASC$	هزینه راه‌اندازی سالیانه تأمین‌کنندگان
$ASCT$	کل هزینه سالیانه زنجیره‌ی تأمین

متغیرها:

$Q$	میزان سفارش خرده‌فروش در هر سیکل
$\alpha_i$	درصد تقاضای برآورده شده‌ی خرده‌فروش از تولیدکننده $i$ ام ( $i = 1, \dots, n$ )

### ۳-۲. فرموله‌بندی

در این بخش ابتدا فرمول‌بندی مسأله در دو بخش تولیدکنندگان و خرده‌فروش به صورت جداگانه محاسبه می‌شود و سپس تابع هزینه‌ی یکپارچه به دست می‌آید و براساس آن سعی در تعیین مقادیر بهینه‌ی متغیرهای تصمیم براساس مباحث تحقیق در عملیات و بهینه‌سازی می‌گردد.

در این مطالعه فرض بر این است که تولیدکننده  $i$ ام با نرخ ثابت تولید  $p_i$  شروع به تولید می‌کند، اما محصولات تولیدی فاسدشدنی بوده است و با افزایش میزان سطح موجودی، میزان فساد پذیری آن‌ها

در این پژوهش متغیر باینری  $Y_i$  جهت تعیین تکلیف تخصیص یافتن یا نیافتن هر تولیدکننده از جانب خریدار جهت خرید محصول معرفی می‌شود. ضرورت تعریف متغیر  $Y_i$  به این دلیل است که تأمین‌کننده‌ای که اندازه‌ی انباشته  $(Q_i)$  ندارد، هرگز توسط مدل انتخاب نگردد. لذا داریم:

$$Y_i = \begin{cases} 0 & Q_i \leq 0; \quad (i = 1, 2, \dots, n) \\ 1 & Q_i > 0; \quad (i = 1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (۱۵)$$

هزینه راه‌اندازی خط تولید یک سیکل تولید برای تولیدکنندگان توسط رابطه (۱۶) تعیین می‌شود:

$$SC = \sum_{i=1}^n G_i Y_i \quad (۱۶)$$

هزینه راه‌اندازی سالیانه تأمین‌کنندگان از رابطه (۱۷) محاسبه می‌گردد:

$$ASC = \frac{SC}{T} \quad (۱۷)$$

هزینه یک سیکل تولید تأمین‌کنندگان از طریق رابطه (۱۸) محاسبه می‌گردد، که در این فرمول  $p_i$  نرخ تولید مربوط به تولیدکننده  $i$ ام،  $Q_i$  میزان تأمین سفارش خرده‌فروش توسط تولیدکننده  $i$ ام و  $Z_i$  هزینه متغیر تولید به‌ازای هر واحد محصول تولید شده توسط تولیدکننده  $i$ ام می‌باشند:

$$CP = \sum_{i=1}^n Q_i Z_i \quad (۱۸)$$

هزینه‌ی تولید سالیانه تأمین‌کنندگان از طریق رابطه (۱۹) محاسبه می‌گردد.

$$ACP = \frac{CP}{T} \quad (۱۹)$$

کل هزینه‌های سالیانه تأمین‌کنندگان برابر با جمع همه هزینه‌های سالیانه تولیدکنندگان است که از طریق مجموع روابط (۱۲)، (۱۴)، (۱۷) و (۱۹) محاسبه می‌گردد؛ در این فرمول‌ها به‌جهت ساده‌سازی، از عبارت  $1/T$  فاکتورگیری شده است و به‌صورت رابطه (۲۰) به‌دست می‌آید:

$$SAC = ACIH + AMPC + ASC + ACP \\ = \frac{1}{T}(MHC + MPC + SC + CP) \quad (۲۰)$$

در این پژوهش، کل سفارش‌های خرده‌فروش از چندین تأمین‌کننده تأمین می‌شود. فرض بر این است که محصولات دریافتی از خرده‌فروش فاسدشدنی هستند و در هر لحظه به‌اندازه‌ی  $\beta$  درصد از سطح موجودی خرده‌فروش فاسد می‌شود. اگر سطح موجودی خرده‌فروش در زمان  $t$  با  $I(t)$  و نرخ تقاضا با  $D$  نمایش داده شود، در این صورت تغییرات سطح موجودی خرده‌فروش نسبت به زمان توسط رابطه‌ی (۲۱) محاسبه می‌گردد:

$$\frac{\partial I(t)}{\partial t} = -(D + \beta \times I(t)); \quad (۲۱) \\ 0 \leq t \leq t_i, \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad 0 \leq \beta \leq 1$$

با حل رابطه (۲۱) با در نظر گرفتن شرط اولیه  $I(t=0) = Q_i$  سطح موجودی خرده‌فروش به‌صورت رابطه‌ی (۲۲) خواهد بود.

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1, \quad Q = \sum_{i=1}^n Q_i \Rightarrow Q_i = \alpha_i Q; \quad (۸) \\ (i = 1, 2, \dots, n)$$

با جای‌گذاری روابط (۶) و (۸) در رابطه (۷) و انجام ساده‌سازی، مقدار  $\Gamma_i$  به‌صورت رابطه (۹) محاسبه می‌گردد:

$$\Gamma_i = \frac{Q^2 \alpha_i^2 \theta_i}{2p_i}; \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (۹)$$

هزینه‌های تولیدکنندگان شامل هزینه‌نگهداری اقلام و هزینه اقلام فاسد شده در انبار تولیدکنندگان، هزینه راه‌اندازی خط تولید و هزینه تولید اقلام برای تولیدکنندگان است. هرکدام از این هزینه‌ها شامل یک هزینه در هر سیکل و یک هزینه در طول سال است. هرکدام از هزینه‌ها به‌صورت مجزا محاسبه می‌گردد و سپس کل هزینه‌های سالیانه تولیدکنندگان نیز محاسبه خواهند شد.

با استفاده از رابطه (۳) سطح موجودی تولیدکننده  $i$ ام محاسبه شد. اگر هزینه ثابت نگهداری اقلام در انبار تولیدکننده  $i$ ام به‌ازای هر واحد محصول تولید شده در واحد زمان با  $\mu$  نشان داده شود و مدت زمان تولید برای تولیدکننده  $i$ ام با  $\hat{t}_i$  نشان داده شود، در این صورت کل هزینه نگهداری اقلام در انبار تولیدکنندگان در هر سیکل تولید را می‌توان به‌صورت رابطه (۱۰) محاسبه نمود:

$$MHC = \mu \sum_{i=1}^n \int_0^{\hat{t}_i} I_i(t) dt \\ = \mu \sum_{i=1}^n \int_0^{\hat{t}_i} \left( p_i t - \frac{1}{2} p_i \theta_i t^2 \right) dt \quad (۱۰) \\ = \mu \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{2} p_i \hat{t}_i^2 - \frac{1}{6} p_i \hat{t}_i^3 \theta_i \right)$$

باتوجه به شکل (۲) مدت‌زمان یک سیکل کامل در این پژوهش، برابر با  $T$  در نظر گرفته شده است، که به‌صورت رابطه (۱۱) محاسبه می‌گردد:

$$T = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{D}, \quad Q_i = \alpha_i Q, \quad (۱۱) \\ \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1 \Rightarrow T = \frac{Q}{D}$$

هزینه سالیانه نگهداری تأمین‌کنندگان با استفاده از رابطه (۱۲) تعیین می‌گردد:

$$ACIH = \frac{MHC}{T} \quad (۱۲)$$

هزینه اقلام فاسدشده در هر سیکل تولید در هر انبار تولیدکننده به‌ازای  $\lambda$  واحد پولی با استفاده از رابطه (۱۳) محاسبه می‌گردد:

$$MPC = \lambda \times \sum_{i=1}^n \Gamma_i = \lambda \times \sum_{i=1}^n \frac{Q^2 \alpha_i^2 \theta_i}{2p_i} \quad (۱۳)$$

هزینه سالیانه اقلام فاسد شده‌ی مربوط به تأمین‌کنندگان از رابطه (۱۴) محاسبه می‌گردد:

$$AMPC = \frac{MPC}{T} \quad (۱۴)$$

با استفاده از رابطه (۲۴)، تابع سطح موجودی خرده‌فروش محاسبه می‌گردد. اگر هزینه ثابت نگهداری در انبار هر خرده‌فروش به‌ازای هر واحد محصول در هر سیکل بازپرسی و فروش با  $\rho$  نشان داده شود، در این صورت هزینه نگهداری اقلام در انبار خرده‌فروش در هر سیکل بازپرسی و فروش را می‌توان به‌صورت رابطه (۲۸) محاسبه می‌شود.

$$RHC = \rho \sum_{i=1}^n \int_0^{t_i} I(t) dt$$

$$= \rho \sum_{i=1}^n \int_0^{t_i} \frac{1}{4} \left( \frac{2 D t(-2 + t \beta)}{p_i \hat{t}_i(-2 + \hat{t}_i \theta_i)} - (2 - 2 t \beta + t^2 \beta^2) \right) dt \quad (28)$$

$$= \rho \sum_{i=1}^n \frac{1}{12} t_i \left( \frac{-6 D t_i + 2 D \beta t_i^2 - p_i(6 + \beta t_i(-3 + \beta t_i))}{\hat{t}_i(-2 + \hat{t}_i \theta_i)} \right)$$

هزینه نگهداری سالیانه خرده‌فروش با استفاده از رابطه (۲۹) محاسبه می‌گردد.

$$AIHC = \frac{RHC}{T} \quad (29)$$

با استفاده از رابطه (۲۷) تعداد کالای فاسد شده در انبار خرده‌فروش محاسبه می‌گردد. در این صورت هزینه کالای فاسد شده در انبار خرده‌فروش به‌ازای  $\lambda$  واحد پولی به‌صورت رابطه‌ی (۳۰) محاسبه می‌گردد.

$$RPC = \lambda \times RP = \lambda \times \sum_{i=1}^n \frac{Q^2 \beta \alpha_i^2}{2 D} \quad (30)$$

هزینه‌سالیانه اقلام فاسد شده تأمین‌کنندگان با استفاده از رابطه (۳۱) محاسبه می‌گردد:

$$ARPC = \frac{RPC}{T} \quad (31)$$

هزینه هر سیکل سفارش‌دهی خرده‌فروش از تأمین‌کنندگان با استفاده از رابطه (۳۲) محاسبه می‌گردد.

$$OC = \sum_{i=1}^n A_i Y_i \quad (32)$$

هزینه سفارش‌دهی سالیانه خرده‌فروش با استفاده از رابطه‌ی (۳۳) محاسبه می‌گردد:

$$AOC = \frac{OC}{T} \quad (33)$$

هزینه هر سیکل خرید خرده‌فروش از تأمین‌کنندگان با استفاده از رابطه (۳۴) محاسبه می‌گردد. در این رابطه  $c_i$  قیمت خرید هر واحد محصول تولیدشده از تأمین‌کننده نام توسط خرده‌فروش و  $D$  نیز نرخ کلی تقاضا خرده‌فروش توسط تأمین‌کننده نام و  $\alpha_i$  درصد تقاضا برآورده شده خرده‌فروش از تولیدکننده نام می‌باشد:

$$PC = D \sum_{i=1}^n \alpha_i c_i \quad (34)$$

هزینه خرید سالیانه خرده‌فروش با استفاده از رابطه (۳۵)

$$I(t) = \frac{e^{-t\beta} (D - D e^{t\beta} + \beta Q_i)}{\beta}; \quad (22)$$

$$(i = 1, 2, \dots, n)$$

مقدار  $Q_i$  محاسبه شده از رابطه (۴) محاسبه شده است با جایگذاری آن در رابطه (۲۲) مقدار سطح موجودی خرده‌فروش تعیین می‌شود. پس از ساده‌سازی فرمول نهایی محاسبه سطح موجودی خرده‌فروش در بازه زمانی  $t$  به‌صورت رابطه (۲۳) به‌دست می‌آید:

$$I(t) = -\frac{D}{\beta} + \frac{e^{-t\beta} \left( D + \beta p_i \hat{t}_i - \frac{1}{2} \beta p_i \hat{t}_i^2 \theta_i \right)}{\beta}; \quad (23)$$

$$0 \leq t \leq t_i, (i = 1, 2, \dots, n)$$

باتوجه به پیچیدگی رابطه (۲۳) در حل بهینه‌سازی، این رابطه براساس تخمین دوجمله‌ی اول سری تیلور حول نقطه‌ی صفر (یا همان بسط مک‌لورن) نسبت به  $t$ ، به‌صورت رابطه (۲۴) ساده‌سازی می‌شود.

$$I(t) = \frac{1}{4} \left( \frac{2 D t(-2 + t \beta)}{p_i \hat{t}_i(-2 + \hat{t}_i \theta_i)} - (2 - 2 t \beta + t^2 \beta^2) \right); \quad (24)$$

$$0 \leq t \leq t_i, (i = 1, 2, \dots, n)$$

باتوجه به رابطه (۲۴) و بر طبق شکل (۲)، نشان‌دهنده طول سیکل تولیدکننده نام توسط خرده‌فروش است. همان‌طور که مشخص است، مقدار تابع  $I(t)$  در لحظه  $t_i$  برابر صفر خواهد بود. لذا با جای‌گذاری مقدار  $t_i$  در رابطه (۲۴) و برابر صفر قرار دادن آن، مقدار  $t_i$  محاسبه می‌گردد. با جای‌گذاری رابطه (۶) در این معادله و با استفاده از تخمین دوجمله‌ی اول سری تیلور حول نقطه‌ی صفر نسبت به  $Q_i$ ، مقدار ساده شده قابل قبول برای  $t_i$  به‌صورت رابطه (۲۵) محاسبه خواهد شد:

$$t_i = \frac{Q_i}{D} - \frac{\beta Q_i^2}{2 D^2}; \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (25)$$

باتوجه به فسادپذیر بودن کالا، همواره مقداری کالا در انبار فاسد خواهد شد. تعداد اقلام فاسد شده در انبار خرده‌فروش با استفاده از رابطه (۲۶) محاسبه می‌گردد.

$$RP = \sum_{i=1}^n (Q_i - D \times t_i) \quad (26)$$

با جای‌گذاری روابط (۸) و (۲۵) در رابطه (۲۶) و انجام ساده‌سازی، مقدار ساده شده‌ی  $RP$  به‌صورت رابطه (۲۷) محاسبه می‌گردد.

$$RP = \sum_{i=1}^n \frac{Q^2 \beta \alpha_i^2}{2 D} \quad (27)$$

هزینه‌های خرده‌فروش شامل هزینه نگهداری اقلام و هزینه اقلام فاسد شده در انبار خرده‌فروش، هزینه سفارش‌دهی و هزینه خرید اقلام از تولیدکنندگان توسط خرده‌فروش است. هرکدام از هزینه‌های معرفی‌شده شامل یک هزینه در هر سیکل و در طول سال است. هرکدام از این هزینه‌ها یک به یک محاسبه و سپس هزینه‌های سالیانه خرده‌فروش محاسبه خواهد شد.



$$Min F = \left\{ \begin{array}{l} \frac{D \sum_{i=1}^n A_i + D \sum_{i=1}^n G_i + D^2 \sum_{i=1}^n c_i \alpha_i}{Q} \\ + D \sum_{i=1}^n Z_i \alpha_i + \frac{1}{2} \left( \frac{\beta \lambda \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 + \rho \sum_{i=1}^n \alpha_i^2}{+ D \mu \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i^2}{p_i} + D \lambda \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i^2 \theta_i}{p_i}} \right) Q \end{array} \right\} \quad (۴۰)$$

تابع هدف مسأله حاضر از نوع هزینه است، لذا باید محدب بودن آن ثابت شود. شرط محدب بودن تابع (۴۰) این است که مشتق دوم آن مقداری نامنفی باشد. بعد از اثبات محدب بودن، مشتق اول برابر صفر قرار داده خواهد شد، از حل آن مقدار  $Q$  بهینه محاسبه می‌گردد. در نهایت مقدار  $Q^*$  بهینه در رابطه (۴۰) جای‌گذاری می‌گردد.

$$\frac{\partial F}{\partial Q} = - \frac{D \sum_{i=1}^n A_i + D \sum_{i=1}^n G_i + D^2 \sum_{i=1}^n c_i \alpha_i}{Q^2} \quad (۴۱)$$

$$+ \frac{1}{2} \left( \beta \lambda \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 + \rho \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 + D \mu \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i^2}{p_i} + D \lambda \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i^2 \theta_i}{p_i} \right) \quad (۴۲)$$

$$\frac{\partial^2 F}{\partial Q^2} = \frac{2(D \sum_{i=1}^n A_i + D \sum_{i=1}^n G_i + D^2 \sum_{i=1}^n c_i \alpha_i)}{Q^3} \quad (۴۳)$$

باتوجه به رابطه (۴۲) صورت کسر از جنس هزینه است و هزینه‌ها همواره مقداری مثبت را دارا هستند و در مخرج کسر باتوجه به اینکه  $Q$  همواره مقداری مثبت خواهد داشت، این رابطه به‌ازای هر مقدار از  $Q$  همواره اکیداً مثبت است، لذا  $\frac{\partial^2 F}{\partial Q^2} > 0$  بنابراین  $F$  یک تابع محدب است.

همچنین باتوجه به رابطه (۴۱)، از حل معادله  $\frac{\partial F}{\partial Q} = 0$  دو جواب برای  $Q$  محاسبه خواهد شد.

$$Q \rightarrow - \frac{\sqrt{2} \sqrt{D \sum_{i=1}^n A_i + D \sum_{i=1}^n G_i + D^2 \sum_{i=1}^n c_i \alpha_i}}{\sqrt{\beta \lambda \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 + \rho \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 + D \mu \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i^2}{p_i} + D \lambda \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i^2 \theta_i}{p_i}}} \quad (۴۴)$$

$$Q \rightarrow \frac{\sqrt{2} \sqrt{D \sum_{i=1}^n A_i + D \sum_{i=1}^n G_i + D^2 \sum_{i=1}^n c_i \alpha_i}}{\sqrt{\beta \lambda \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 + \rho \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 + D \mu \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i^2}{p_i} + D \lambda \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i^2 \theta_i}{p_i}}}$$

که جواب اول غیر قابل قبول و جواب دوم قابل قبول است. یعنی:

$$Q = \frac{\sqrt{2} \sqrt{D \sum_{i=1}^n A_i + D \sum_{i=1}^n G_i + D^2 \sum_{i=1}^n c_i \alpha_i}}{\sqrt{\beta \lambda \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 + \rho \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 + D \mu \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i^2}{p_i} + D \lambda \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i^2 \theta_i}{p_i}}} \quad (۴۵)$$

اکنون رابطه (۴۳) در رابطه (۳۹) جای‌گذاری می‌شود و پس از ساده‌سازی، مدل به‌صورت رابطه (۴۵) محاسبه می‌گردد:

$$F = D \sum_{i=1}^n Z_i \alpha_i + \sqrt{2} \sqrt{D \sum_{i=1}^n A_i + D \sum_{i=1}^n G_i + D^2 \sum_{i=1}^n c_i \alpha_i} \times \sqrt{\beta \lambda \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 + \rho \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 + D \mu \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i^2}{p_i} + D \lambda \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i^2 \theta_i}{p_i}} \quad (۴۵)$$

همان‌طور که از رابطه (۴۵) مشخص است، مسأله مورد بررسی این پژوهش از نوع مسائل برنامه‌ریزی غیرخطی مختلط عدد صحیح است. اکنون مجدداً متغیر باینری  $Y_i$  وارد مدل می‌شود و پس از

محاسبه می‌گردد:

$$APC = \frac{PC}{T} \quad (۳۵)$$

هزینه‌های سالیانه خریدار (خرده‌فروش) شامل مجموع هزینه‌های سالیانه خریدار (خرده‌فروش) است. این مقدار از مجموع روابط (۲۹)، (۳۱)، (۳۳) و (۳۵) محاسبه خواهد شد. به‌جهت ساده‌سازی از عبارت  $1/T$  فاکتورگیری شده است و به‌صورت رابطه (۳۶) محاسبه می‌گردد.

$$BAC = AIHC + ARPC + AOC + APC = \frac{1}{T} (RHC + RPC + OC + PC) \quad (۳۶)$$

با استفاده از مباحث گفته شده هزینه سالیانه زنجیره تأمین با استفاده از رابطه (۳۷) محاسبه می‌گردد.

$$F = SAC + BAC = (ACIH + AMPC + ASC + ACP) + (AIHC + ARPC + AOC + APC) = \frac{1}{T} (MHC + MPC + SC + CP) + (RHC + RPC + OC + PC) \quad (۳۷)$$

اکنون با استفاده از رابطه (۳۷) تابع هدف مدل به‌صورت رابطه‌ی

$$Min F = \left\{ \frac{1}{T} (MHC + MPC + SC + CP) + (RHC + RPC + OC + PC) \right\} \quad (۳۸)$$

پس از جای‌گذاری مقادیر هرکدام از عبارات در رابطه (۳۸) و ساده‌سازی آن، تابع هدف مدل محاسبه خواهد شد.

با استفاده از رابطه (۳۹) و با ساده‌سازی، تابع هدف همچنان پیچیده است و حل آن نیز دشوار است. لذا برای رسیدن به تابع هدف ساده‌تر و قابل قبول، یافتن تخمین جمله‌ی اول سری تیلور حول نقطه صفر (سری مک‌لورن) نسبت به متغیر  $Q$  برای رابطه (۳۹) ضروری است. در این‌صورت تابع هدف به رابطه (۴۰) تبدیل می‌گردد. در این رابطه مقدار  $Y_i$  برابر یک در نظر گرفته شده است.

$$Min F = Min \left\{ \begin{array}{l} \frac{D}{Q} \sum_{i=1}^n A_i Y_i + \frac{D}{Q} \sum_{i=1}^n G_i Y_i + \frac{D^2}{Q} \sum_{i=1}^n c_i \alpha_i + D \sum_{i=1}^n \alpha_i Z_i \\ + \frac{\lambda Q \beta}{2} \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 + \frac{D \lambda Q}{2} \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i^2 \theta_i}{p_i} + \mu \frac{D Q}{2} \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i^2}{p_i} \\ + \mu \frac{D Q^2}{3} \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i^3}{p_i^2} - \mu \frac{D Q^3}{8} \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i^4 \theta_i^2}{p_i^3} \\ - \mu \frac{D Q^4}{8} \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i^5 \theta_i^3}{p_i^4} - \mu \frac{D Q^5}{48} \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i^6 \theta_i^4}{p_i^5} \\ + \rho \frac{Q}{2} \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 - \rho \frac{Q^2}{3D} \sum_{i=1}^n \alpha_i^3 + \rho \frac{Q^3 \beta^5}{384D^5} \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i^{10} \theta_i^3}{p_i^3} \\ + \rho Q^3 \sum_{i=1}^n \left( \frac{7\beta^2 \alpha_i^4}{24D^2} - \frac{\alpha_i^4 \theta_i^2}{2p_i^2} \right) + \\ \rho Q^4 \sum_{i=1}^n \left( - \frac{\beta^3 \alpha_i^5}{4D^3} + \frac{\beta \alpha_i^5 \theta_i^2}{2D p_i^2} - \frac{\alpha_i^5 \theta_i^3}{8p_i^3} \right) + \\ \rho Q^5 \sum_{i=1}^n \left( \frac{5\beta^4 \alpha_i^6}{48D^4} - \frac{\beta^2 \alpha_i^6 \theta_i^2}{3D^2 p_i^2} + \frac{\beta \alpha_i^6 \theta_i^3}{8D p_i^3} \right) \\ + \rho Q^6 \sum_{i=1}^n \left( - \frac{\beta^5 \alpha_i^7}{48D^5} + \frac{3\beta^3 \alpha_i^7 \theta_i^2}{16D^3 p_i^2} - \frac{\beta^2 \alpha_i^7 \theta_i^3}{12D^2 p_i^3} \right) + \\ \rho Q^7 \sum_{i=1}^n \left( - \frac{\beta^4 \alpha_i^8 \theta_i^2}{16D^4 p_i^2} + \frac{3\beta^3 \alpha_i^8 \theta_i^3}{64D^3 p_i^3} \right) + \\ \rho Q^8 \sum_{i=1}^n \left( \frac{\beta^5 \alpha_i^9 \theta_i^2}{96D^5 p_i^2} - \frac{\beta^4 \alpha_i^9 \theta_i^3}{64D^4 p_i^3} \right) \end{array} \right\} \quad (۳۹)$$

ساده سازی، مدل نهایی به دست می آید.

$$Min\{ASCT\} = \left\{ \begin{aligned} & D \sum_{i=1}^n Z_i \alpha_i + \sqrt{2} \sqrt{D \sum_{i=1}^n (A_i + G_i) Y_i + D^2 \sum_{i=1}^n c_i \alpha_i} \\ & \times \sqrt{(\beta \lambda + \rho) \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 + D \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i^2 (\mu + \lambda \theta_i)}{p_i}} \end{aligned} \right\}$$

(۴۶)

s. t.

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1 ;$$

$$\alpha_i \leq \frac{p_i}{D} ; i \in S, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$\alpha_i \geq \varepsilon ; i \in S, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$\alpha_i = 0 ; i \notin S, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$\alpha_i \geq 0 ; i = 1, 2, \dots, n$$

$$Y_i = 0 \text{ or } 1 ; i = 1, 2, \dots, n$$

در رابطه (۴۶)، مقدار  $Y_i$  به این صورت تعیین می شود که داده های مسأله باید در محدودیت های مدل صدق کنند؛ به بیان ساده تر ابتدا مقادیر نسبت  $p_i/D$  برای هر تأمین کننده باید تعیین گردد، سپس تمام حالتی که جمع این مقادیر بزرگتر یا مساوی ۱ باشند، به عنوان حالت های انتخابی وارد مدل می گردد. اگر  $n$  تعداد کل تأمین کنندگان باشد، تعداد کل حالات موجود برابر  $2^n$  است از تعداد کل حالات موجود، چند حالت انتخاب و به عنوان ورودی به مدل بیان شده داده می شود. حالت اول به صورت انتخاب کل تأمین کنندگان در نظر می گیرد، حالت های بعدی به عنوان مثال انتخاب یک یا چند تأمین کننده به صورت تأمین کننده اول با دوم، اول با سوم، دوم با سوم و حالات متعدد دیگر باشند. در نتیجه شدنی بودن این مدل و وجود حالات مختلف برای انتخاب هر تأمین کننده، به مقادیر پارامترهای  $p_i$  و  $D$  بستگی خواهد داشت. بعد از انتخاب حالات ممکن و حل مدل در هر کدام از حالت های انتخاب شده، باید تصمیم گیری گردد که کدام حالت انتخاب گردد. در این مرحله، حالتی به عنوان تصمیم نهایی انتخاب می شود که کمترین هزینه را برای کل زنجیره تأمین در بر داشته باشد. لذا حالتی که مقدار تابع هدف آن از بقیه کوچکتر باشد، به عنوان حالت نهایی انتخاب خواهد شد و سفارش های خریدار به تأمین کنندگان طبق درصد های تخصیص  $(\alpha_i)$  به دست آمده براساس همین حالت انتخابی، تعیین خواهد شد. همچنین در محدودیت های مدل فوق، نماد  $i \in S$  به معنی تأمین کنندگان انتخاب شده است و نماد  $i \notin S$  به معنی تأمین کنندگانی است که انتخاب نشده اند و در فضای شدنی محدودیت های مدل قرار ندارند.

باتوجه به رابطه (۴۴)، مقدار بهینه ی کل سفارش خرده فروش  $(Q^*)$  برای تخصیص سفارش به تأمین کنندگان انتخاب شده پس از ساده سازی به صورت رابطه (۴۷) خواهد بود:

$$Q^* = \sqrt{2} \sqrt{\frac{D \sum_{i=1}^n (A_i + G_i) Y_i + D^2 \sum_{i=1}^n c_i \alpha_i}{(\beta \lambda + \rho) \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 + D \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i^2 (\mu + \lambda \theta_i)}{p_i}}} \quad (۴۷)$$

همان طور که بیان شد، تابع هدف رابطه ی (۴۵) براساس تخمین جمله ی اول سری مک لورن ساده سازی شده است در نتیجه مقداری که از حل مدل به دست می آید نیز مقداری تخمینی است ولی به دلیل

اینکه اختلاف مقدار دقیق و تخمینی بسیار ناچیز است، می توان از آن چشم پوشی کرد. اکنون اگر مقدار هزینه سالیانه ی خرده فروش و تأمین کنندگان باتوجه به روابط (۲۰) و (۳۶) به صورت جداگانه محاسبه شود، باید جمع این دو هزینه برابر با مقدار هزینه سالیانه ی زنجیره تأمین باشد، اما جمع این دو هزینه، مقداری بیشتر یا کمتر از مقدار هزینه سالیانه ی زنجیره تأمین است؛ دلیل آن هم این است که تابع هدف، تخمین زده شده است و طبعاً مقدار آن نیز با مجموع هزینه های سالیانه خرده فروش و تأمین کنندگان به صورت ناچیزی تفاوت دارد. برای اینکه جمع هزینه های سالیانه خرده فروش و تأمین کنندگان دقیقاً برابر با هزینه سالیانه زنجیره تأمین باشد، باید تابع هدف رابطه (۴۶) تفکیک گردد و مشخص شود که کدام بخش مربوط به هزینه سالیانه خرده فروش و کدام بخش مربوط به هزینه سالیانه تأمین کنندگان است. برای اینکه این تفکیک آسان تر صورت گیرد، تخمین جمله ی اول سری مک لورن برای روابط (۲۰) و (۳۶) محاسبه می شود. جمع این دو رابطه دقیقاً برابر با همان مقدار هزینه سالیانه ی زنجیره تأمین خواهد شد؛ به این ترتیب تابع هدف رابطه (۴۶) تفکیک و به صورت رابطه (۴۸) و (۴۹) محاسبه می گردد.

$$SAC = \frac{D \sum_{i=1}^n G_i Y_i}{Q^*} + D \sum_{i=1}^n Z_i \alpha_i \quad (۴۸)$$

$$+ \frac{1}{2} \left( D \mu \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i^2}{p_i} + D \lambda \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i^2 \theta_i}{p_i} \right) Q^*$$

$$BAC = \frac{D \sum_{i=1}^n A_i Y_i + D^2 \sum_{i=1}^n c_i \alpha_i}{Q^*} \quad (۴۹)$$

$+ \frac{1}{2} \left( \rho \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 + \lambda \sum_{i=1}^n \beta \alpha_i^2 \right) Q^*$   
 اکنون ملاحظه می شود که مجموع روابط (۴۸) و (۴۹) دقیقاً برابر با تابع هدف رابطه (۴۵) خواهد بود.

#### ۴. نتایج عددی

در این بخش ابتدا یک مثال عددی ارائه و به تحلیل کلی مدل پرداخته می شود. سپس با تغییر در داده های مثال عددی، پارامترهای مدل نسبت به متغیرها و تابع هدف تحلیل حساسیت می گردد. در نهایت با رسم نمودارهای مختلف، رفتار متغیرها و تابع هدف به ازای تغییرات عددی پارامترها مشخص می شود.

با فرض اینکه سه تأمین کننده مختلف و یک خرده فروش در یک زنجیره تأمین یکپارچه وجود داشته باشند، داده های عددی مثال بیان شده مطابق جدول (۲) است.

جدول (۲): داده های مثال عددی

$P_1 = 30$	$P_r = 67$	$P_r = 58$
$\theta_1 = 0.15$	$\theta_2 = 0.13$	$\theta_3 = 0.17$
$C_1 = 3$	$C_2 = 4$	$C_3 = 5$
$A_1 = 20$	$A_2 = 12$	$A_3 = 8$
$G_1 = 18$	$G_2 = 24$	$G_3 = 15$
$Z_1 = 1000$	$Z_2 = 2000$	$Z_3 = 3000$
$\beta = 0.23$	$\beta = 5$	$\rho = 7$
$\lambda = 3$	$n = 3$	$D = 100$

فقط دو حالت وجود دارد که جمع مقادیر نسبت‌ها با هم بزرگتر یا مساوی ۱ است؛ حالت اول انتخاب هر سه تأمین‌کننده و حالت دوم انتخاب تأمین‌کنندگان دوم و سوم است. بدین ترتیب دو مدل با محدودیت‌هایی که دارای فضای شدنی است، وجود دارد.

باتوجه به داده‌های مسأله، سیاست بهینه بازپرسازی به صورت زیر تعیین می‌شود. حل: ابتدا نسبت  $\frac{p_i}{D}$  به‌ازای  $(i = 1, 2, 3)$  محاسبه می‌شود و سپس تمام حالت‌هایی که جمع این نسبت‌ها بزرگتر یا مساوی از ۱ است، مشخص می‌گردد. که نسبت نرخ تولید به تقاضا به صورت  $\frac{p_1}{D} = 0.3$ ,  $\frac{p_2}{D} = 0.67$ ,  $\frac{p_3}{D} = 0.58$  است. باتوجه به این نسبت‌ها،

## مدل اول

$$\text{Min}\{ASCT\} = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} 100000\alpha_1 + 200000\alpha_2 + 300000\alpha_3 \\ + \\ \sqrt{2} \sqrt{3800(1) + 3600(1) + 2300(1) + 30000\alpha_1 + 40000\alpha_2 + 50000\alpha_3} \\ \times \\ \sqrt{100(0.181667\alpha_1^2 + 0.0804478\alpha_2^2 + 0.095\alpha_3^2) + 7.69(\alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2)} \end{array} \right\}$$

s. t.

$$\begin{aligned} \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 &= 1, \\ \alpha_1 &\leq 0.3, \\ \alpha_2 &\leq 0.67, \\ \alpha_3 &\leq 0.58, \\ \alpha_1 &\geq 0.00001, \\ \alpha_2 &\geq 0.00001, \\ \alpha_3 &\geq 0.00001, \\ \alpha_i &\geq 0 \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

## مدل دوم

$$\text{Min}\{ASCT\} = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} 100000\alpha_1 + 200000\alpha_2 + 300000\alpha_3 \\ + \\ \sqrt{2} \sqrt{3800(0) + 3600(1) + 2300(1) + 30000\alpha_1 + 40000\alpha_2 + 50000\alpha_3} \\ \times \\ \sqrt{100(0.181667\alpha_1^2 + 0.0804478\alpha_2^2 + 0.095\alpha_3^2) + 7.69(\alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2)} \end{array} \right\}$$

s. t.

$$\begin{aligned} \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 &= 1, \\ \alpha_1 &= 0, \\ \alpha_2 &\leq 0.67, \\ \alpha_3 &\leq 0.58, \\ \alpha_2 &\geq 0.00001, \\ \alpha_3 &\geq 0.00001, \\ \alpha_i &\geq 0 \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

همان‌طور که از نتایج حل دو مدل فوق مشخص است، مقدار تابع هدف برای مدل اول و دوم به ترتیب ۱۷۳۹۴۰ و ۲۳۳۹۳۸ به دست آمده است. اگر داده‌های مثال عددی در رابطه (۳۸) جای‌گذاری شود، مقدار دقیق تابع هدف برای حالت اول و دوم به ترتیب برابر ۱۷۳۹۴۲ و ۲۳۳۹۳۵ به دست می‌آید. همان‌طور که مشخص است، مقدار دقیق تفاوت ناچیزی با مقدار تخمینی خواهد داشت. بنابراین می‌توان به تخمین استفاده شده در ساخت مدل اعتماد کرد.

باتوجه به نتایج فوق، در مدل اول یعنی حالتی که هر سه تأمین‌کننده با هم انتخاب شوند، هزینه سالیانه‌ی زنجیره‌ی تأمین به مقدار قابل توجهی کاهش خواهد یافت. بنابراین حالت اول به‌عنوان گزینه‌ی نهایی انتخاب خواهد شد و خرده‌فروش از هر سه تأمین‌کننده به اندازه‌ی درصد به دست آمده از هر کدام، محصولات خود را خریداری خواهد کرد.

مدل‌های فوق با استفاده از نرم‌افزار Wolfram Mathematica

12.0 حل شده‌اند که جواب‌های آن‌ها به صورت زیر خواهند بود:

$$\begin{aligned} ASCT &= 173940, \\ BAC &= 620, \\ SAC &= 173320, \\ \alpha_1 &= 0.3, \\ \alpha_2 &= 0.67, \\ \alpha_3 &= 0.03, \\ Q^* &= 100 \end{aligned}$$

نتایج حل مدل اول

$$\begin{aligned} ASCT &= 233938, \\ BAC &= 657, \\ SAC &= 233281, \\ \alpha_1 &= 0, \\ \alpha_2 &= 0.67, \\ \alpha_3 &= 0.33, \\ Q^* &= 105 \end{aligned}$$

نتایج حل مدل دوم

به منظور بررسی رفتار متغیر  $Q^*$  از تکنیک‌های هم‌ارزی پرتوان استفاده شده است. در تکنیک هم‌ارزی پرتوان از مقدار متغیر  $Q^*$  در حالتی که  $Q^*$  به سمت بی‌نهایت میل داده شود، حد گرفته می‌شود. سپس با استفاده از تکنیک هم‌ارزی پرتوان تقریبی متغیر  $Q^*$  را به‌ازای تغییرات هر پارامتر تعیین می‌شود. سپس در بخش تحلیل عددی با اعمال تغییرات عددی مختلف در هر یک از پارامترها و حل دقیق آن، درستی این هم‌ارزی ثابت خواهد شد. در این جا وضعیت دو پارامتر به‌عنوان نمونه بررسی شده است که نتایج آن به شرح ذیل است:

$$1) \lim_{D \rightarrow \infty} Q^* = \lim_{D \rightarrow \infty} \sqrt{2} \sqrt{\frac{D \sum_{i=1}^n (A_i + G_i) Y_i + D^2 \sum_{i=1}^n c_i \alpha_i}{(\beta \lambda + \rho) \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 + D \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i^2 (\mu + \lambda \theta_i)}{p_i}}}$$

$$= \lim_{D \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{D + D^2}{D}} = \lim_{D \rightarrow \infty} \sqrt{1 + D} = \lim_{D \rightarrow \infty} \sqrt{D} = \infty$$

$$\Rightarrow D \uparrow = Q^* \uparrow, D \downarrow = Q^* \downarrow$$

$$2) \lim_{\beta \rightarrow \infty} Q^* = \lim_{\beta \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{1}{\beta}} = 0$$

$$\Rightarrow \beta \uparrow = Q^* \downarrow, \beta \downarrow = Q^* \uparrow$$

باتوجه به نتایج فوق، پارامترهای  $A_i, G_i$  و  $c_i$ ، نتیجه‌ای مشابه وضعیت پارامتر  $D$  را دارند؛ یعنی رابطه مستقیم با  $Q^*$  دارند. همچنین پارامترهای  $\lambda, \rho, \mu$  و  $\theta_i$  نیز وضعیتی مشابه وضعیت پارامتر  $\beta$  را داشته و در واقع رابطه عکس با  $Q^*$  دارند. ضمناً درباره‌ی پارامتر  $p_i$  از هم‌ارزی پرتوان استفاده نمی‌شود. زیرا این پارامتر در مخرج کسر قرار گرفته است و از سوی دیگر آن پارامتر در مخرج کسر دیگری قرار گرفته است و امکان خطر وجود دارد. همچنین در ارتباط با پارامتر  $Z_i$  به دلیل عدم حضور این پارامتر در رابطه  $Q^*$  نمی‌توان درباره آن اظهار نظر نمود؛ بنابراین این دو پارامتر فقط از طریق تحلیل عددی نتیجه‌ی درست آن اتخاذ می‌گردد.

#### ۴-۳. تحلیل عددی مدل

باتوجه به داده‌های مثال عددی، تغییرات برخی از پارامترها به صورت جداگانه اعمال شده است. با استفاده از نرم‌افزار Wolfram Mathematica ۱۲.۰ به منظور تحلیل دقیق رفتار تابع هدف و متغیرها نتایج حاصل از هر مدل به صورت نموداری و جدولی نشان داده است. در اینجا اکثر پارامترهای اندیس دار فقط اندیس اول آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است، زیرا پارامترهای اندیس دار با یکدیگر جمع می‌گردند و فرقی نمی‌کند که کدامیک مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند. به این منظور نتایج حاصل از تغییرات پارامترهای  $P_1$  و  $D$  مورد بررسی قرار گرفت. در مثال مورد بررسی فقط حالت اول کم‌ترین هزینه را برای کل زنجیره تأمین دربر خواهد داشت. در نهایت تغییرات پارامترهای تحلیل شده بر روی نمودار نمایش داده خواهد شد. همه‌ی تغییرات برای پارامترهای مثال عددی در بازه‌ی  $[-50\%, +50\%]$  به فاصله‌ی ۱۰٪ مورد بررسی قرار گرفته است.

همچنین می‌توان با جای‌گذاری نتایج مدل اول در روابط مربوط به هر قسمت در بخش قبل، موارد خواسته شده را محاسبه کرد؛ مثلاً باتوجه به رابطه (۱۱)، یک سیکل کامل به صورت رُند شده برابر با  $T = \frac{Q^*}{D} = \frac{100}{100} = 1$  واحد زمانی خواهد بود. به همین ترتیب بقیه‌ی موارد نیز قابل محاسبه هستند.

#### ۴-۱. تحلیل حساسیت مدل

در این بخش، تعدادی از پارامترهای مثال عددی به صورت جداگانه تغییر خواهند یافت تا رفتار تابع هدف و متغیرهای مدل مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد. باتوجه به رابطه‌ی (۴۶) پارامترهای  $P_i$  و  $D$  تعیین‌کننده‌ی تعداد حالات انتخابی تأمین‌کنندگان خواهند بود و تغییر در این دو پارامتر احتمال اینکه تعداد حالات انتخابی را زیاد یا کم کند، وجود دارد. از سوی دیگر تغییر در سایر پارامترها (غیر از این دو پارامتر) تعداد حالات انتخابی را زیاد یا کم نمی‌کند و نتیجه‌ی انتخاب نهایی را تغییر نمی‌دهد. به عبارت دیگر اگر هر پارامتری غیر از پارامترهای  $p_1, p_2, p_3$  و  $D$  تغییر کند، مجدداً انتخاب هر سه تأمین‌کننده به‌عنوان تصمیم‌گیری نهایی انتخاب خواهد شد.

در این بخش دو روش «تحلیل کلی» و «تحلیل عددی» برای تحلیل پارامترهای مدل استفاده شده است، که هر کدام یک به یک مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

#### ۴-۲. تحلیل کلی مدل

اکنون این سؤال مطرح می‌گردد که تغییر در مقدار هر یک از پارامترهای مدل چه تأثیری بر مقدار تابع هدف خواهد داشت؟ باتوجه به رابطه (۴۶) تابع هدف مدل عبارت است از:

$$Min\{ASCT\} = \left\{ \begin{array}{l} D \sum_{i=1}^n Z_i \alpha_i \\ + \sqrt{2} \sqrt{D \sum_{i=1}^n (A_i + G_i) Y_i + D^2 \sum_{i=1}^n c_i \alpha_i} \\ \times \sqrt{(\beta \lambda + \rho) \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 + D \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i^2 (\mu + \lambda \theta_i)}{p_i}} \end{array} \right\}$$

باتوجه به رابطه (۴۶)، تغییر در مقدار همه پارامترها غیر از پارامتر  $p_i$ ، رابطه مستقیمی با مقدار تابع هدف خواهد داشت؛ یعنی افزایش هر یک از آن‌ها باعث افزایش مقدار تابع هدف و کاهش آن‌ها موجب کاهش مقدار تابع هدف شد. پارامتر  $P_i$  به دلیل قرار گرفتن در مخرج کسر رابطه‌ی عکس با مقدار تابع هدف دارد. به عبارت دیگر افزایش آن موجب کاهش تابع هدف و کاهش آن موجب افزایش مقدار تابع هدف خواهد شد.

در ارتباط با پارامترهای  $P_i$  و  $D$  به دلیل وجود محدودیت‌های مدل امکان محاسبه دقیق و جداگانه‌ی مقادیر این پارامترها وجود ندارد. لذا این امکان وجود ندارد تا این پارامترها در محدودیت‌های مدل صدق نکنند. درباره‌ی رفتار متغیر  $\alpha_i$  نمی‌توان به صورت شهودی اظهار نظر کرد. در این مورد باید تغییرات را در مدل اعمال نمود و مدل در هر حالت حل گردد تا رفتار این متغیر تعیین گردد.

مقدار تابع هدف، افزایش مقدار متغیر  $\alpha_1$  و کاهش مقدار متغیرهای  $\alpha_2$  و  $\alpha_3$  شده و کاهش مقدار پارامتر  $P_1$  باعث افزایش مقدار تابع هدف، کاهش مقدار متغیر  $\alpha_1$  و افزایش مقدار متغیرهای  $\alpha_2$  و  $\alpha_3$  خواهد شد. افزایش مقدار پارامتر  $Q^*$  برای تغییرات پارامتر  $P_1$  ابتدا این متغیر به میزان کمی کاهش و سپس افزایش خواهد یافت. در هنگام کاهش پارامتر  $P_1$  مقدار این متغیر همواره افزایش خواهد داشت. این رفتار کاملاً غیر قابل پیش‌بینی بود.

هنگام تغییر هر پارامتر، سایر پارامترها ثابت در نظر گرفته می‌شود و دقیقاً همان مقادیر مثال عددی است.

#### ۳-۴. نتایج حاصل از تحلیل جداول (۳) و (۴)

تغییر در مقدار پارامتر  $P_1$  در همه‌ی حالات به‌جز حالت انتخاب تأمین‌کنندگان دوم و سوم، در مقدار تابع هدف و مقدار متغیرها تأثیر خواهد داشت. برای همه‌ی حالات (به‌جز حالات انتخاب تأمین‌کننده‌ی دوم و سوم) افزایش مقدار پارامتر  $P_1$  موجب کاهش

#### جدول (۳): نتایج حاصل از تغییرات پارامتر $P_1$ برای حالت‌های مختلف انتخاب تأمین‌کنندگان

حالت‌های انتخاب تأمین‌کنندگان	تأمین‌کنندگان ۱ و ۲	تأمین‌کنندگان ۱ و ۳	تأمین‌کنندگان ۱ و ۲ و ۳	تأمین‌کنندگان ۲ و ۳
مقدار فعلی پارامتر $P_1$	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
ACST	پارامتر $P_1$ بدون تغییر	۱۷۳۹۴۰	نشدنی	نشدنی
$\alpha_1$	پارامتر $P_1$ بدون تغییر	۰/۳	نشدنی	نشدنی
$\alpha_2$	پارامتر $P_1$ بدون تغییر	۰/۶۷	نشدنی	نشدنی
$\alpha_3$	پارامتر $P_1$ بدون تغییر	۰/۰۳	نشدنی	نشدنی
$Q^*$	پارامتر $P_1$ بدون تغییر	۹۹/۹۶۸۶	نشدنی	نشدنی
مقدار فعلی پارامتر $P_1$	۳۳	۳۳	۳۳	۳۳
ACST	افزایش پارامتر $P_1$ (۱۰ درصد)	۱۶۷۹۵۰	۱۶۷۹۲۵	نشدنی
$\alpha_1$	افزایش پارامتر $P_1$ (۱۰ درصد)	۰/۳۳	۰/۳۳	نشدنی
$\alpha_2$	افزایش پارامتر $P_1$ (۱۰ درصد)	۰/۶۶۹۹۹	۰/۶۷	نشدنی
$\alpha_3$	افزایش پارامتر $P_1$ (۱۰ درصد)	۰/۰۰۰۱	۰	نشدنی
$Q^*$	افزایش پارامتر $P_1$ (۱۰ درصد)	۹۷/۸۱۵۹	۹۵/۳۵۹۶	نشدنی
مقدار فعلی پارامتر $P_1$	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷
ACST	کاهش پارامتر $P_1$ (۱۰ درصد)	۱۷۹۹۳۴	نشدنی	نشدنی
$\alpha_1$	کاهش پارامتر $P_1$ (۱۰ درصد)	۰/۲۷	نشدنی	نشدنی
$\alpha_2$	کاهش پارامتر $P_1$ (۱۰ درصد)	۰/۶۷	نشدنی	نشدنی
$\alpha_3$	کاهش پارامتر $P_1$ (۱۰ درصد)	۰/۰۶	نشدنی	نشدنی
$Q^*$	کاهش پارامتر $P_1$ (۱۰ درصد)	۱۰۱/۹۶۱	نشدنی	نشدنی

#### جدول (۴): نتایج حاصل از تغییرات پارامتر $D$ برای حالت‌های مختلف انتخاب تأمین‌کنندگان

حالت‌های انتخاب تأمین‌کنندگان	تأمین‌کنندگان ۱ و ۲	تأمین‌کنندگان ۱ و ۳	تأمین‌کنندگان ۱ و ۲ و ۳	تأمین‌کنندگان ۲ و ۳
مقدار فعلی پارامتر $D$	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
ACST	پارامتر $D$ بدون تغییر	۱۷۳۹۴۰	نشدنی	نشدنی
$\alpha_1$	پارامتر $D$ بدون تغییر	۰/۳	نشدنی	نشدنی
$\alpha_2$	پارامتر $D$ بدون تغییر	۰/۶۷	نشدنی	نشدنی
$\alpha_3$	پارامتر $D$ بدون تغییر	۰/۰۳	نشدنی	نشدنی
$Q^*$	پارامتر $D$ بدون تغییر	۹۹/۹۸۸۶	نشدنی	نشدنی
مقدار فعلی پارامتر $D$	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰
ACST	افزایش پارامتر $D$ (۱۰ درصد)	۲۰۳۹۸۳	نشدنی	نشدنی
$\alpha_1$	افزایش پارامتر $D$ (۱۰ درصد)	۰/۲۷۲۲۲۷	نشدنی	نشدنی
$\alpha_2$	افزایش پارامتر $D$ (۱۰ درصد)	۰/۶۰۹۰۹۱	نشدنی	نشدنی
$\alpha_3$	افزایش پارامتر $D$ (۱۰ درصد)	۰/۱۱۸۱۸۲	نشدنی	نشدنی
$Q^*$	افزایش پارامتر $D$ (۱۰ درصد)	۱۱۶/۳۷۱	نشدنی	نشدنی
مقدار فعلی پارامتر $D$	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰
ACST	کاهش پارامتر $D$ (۱۰ درصد)	۱۵۰۸۴۷	۱۵۰۸۲۳	نشدنی
$\alpha_1$	کاهش پارامتر $D$ (۱۰ درصد)	۰/۳۳۳۳	۰/۳۳۳۳	نشدنی
$\alpha_2$	کاهش پارامتر $D$ (۱۰ درصد)	۰/۶۶۶۶۵۷	۰/۶۶۶۶۷	نشدنی
$\alpha_3$	کاهش پارامتر $D$ (۱۰ درصد)	۰/۰۰۰۰۱	۰	نشدنی
$Q^*$	کاهش پارامتر $D$ (۱۰ درصد)	۹۰/۸۷۷۲	۸۸/۳۹۴۸	نشدنی

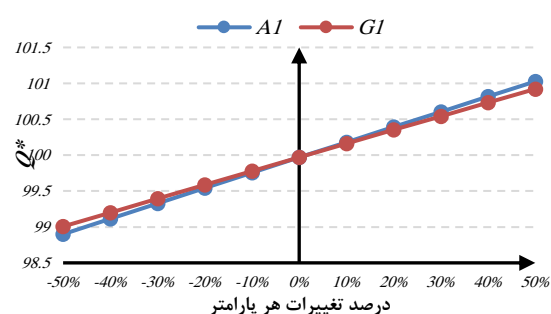
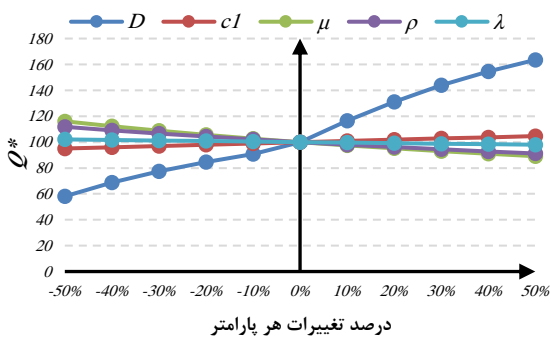
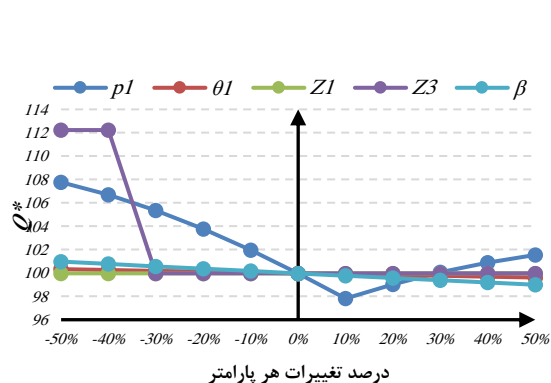
۲-۳-۴. تحلیل نمودارها

در شکل‌های (۴) و (۵)، برخی از پارامترها (مثل  $A_1$  و  $G_1$ ) در بازه‌هایی از درصد تغییرات با یکدیگر هم‌پوشانی دارند. همچنین به دلیل نشدنی بودن مدل به‌ازای برخی از درصد تغییرات پارامترهای  $p_1$  و  $D$ ، از ترسیم نمودارهای حالات دیگر انتخاب تأمین‌کنندگان چشم‌پوشی شده و فقط به ترسیم نمودارهای مربوط به حالت اول یعنی حالت انتخاب همه‌ی تأمین‌کنندگان بسنده شده است.

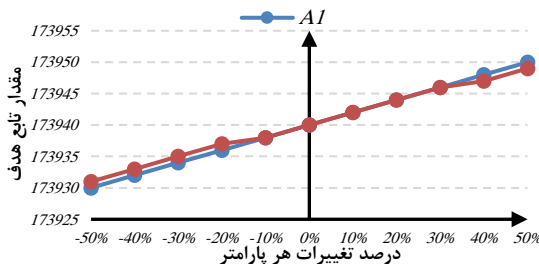
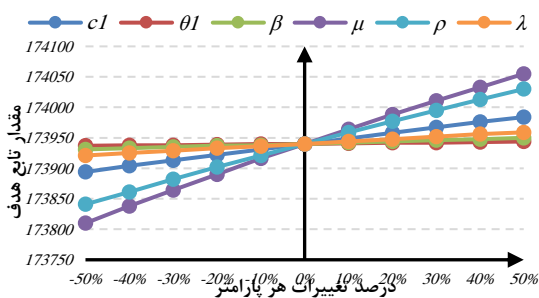
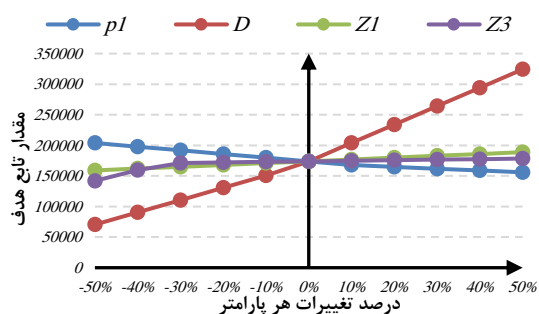
❖ علت تفکیک نمودارها در شکل‌های (۴) و (۵) به سه بخش این است که مقدار تغییرات تابع هدف و مقدار تغییرات  $Q^*$  در برخی از پارامترها خیلی کم و در برخی خیلی زیاد است؛ به همین منظور آن‌ها را تفکیک نموده تا به‌صورت واضح‌تر و جدا از هم قابل مشاهده باشند.

$Z_i$  است. (در شرایط خاص، تغییرات  $Z_i$  به‌طور غیرمستقیم بر مقدار  $Q^*$  تأثیر خواهد گذاشت که در ادامه به آن پرداخته خواهد شد).

❖ نتیجه جالبی که از تحلیل نمودارهای فوق به‌دست می‌آید این است با تغییرات هر پارامتر از مدل غیر از پارامترهای  $p_i$  و  $D$ ، با اینکه مقادیر  $Q^*$  تغییر می‌کنند اما مقادیر  $\alpha_i$ ها ثابت و بدون تغییر باقی می‌مانند. اگر از منظر کاربردی به آن توجه شود، مزیت دانستن این نتیجه آن است که در صورت تغییر برخی پارامترها مثل هزینه راه‌اندازی، هزینه سفارش‌دهی و ... (به‌جز هزینه‌تولید) حتی در صورت تغییر هم‌زمان همه هزینه‌ها، درصدهای تخصیص سفارش ( $\alpha_i$ ) هیچ‌گونه تغییری نمی‌کنند و خرده‌فروش بدون نیاز به محاسبه و تحلیل، می‌تواند مثل همیشه به‌اندازه‌ی همان درصدهای همیشگی به تأمین‌کنندگان سفارش دهد.



شکل (۵): نمودار درصد تغییرات هر پارامتر نسبت به  $Q^*$  در حالت انتخاب همه تأمین‌کنندگان

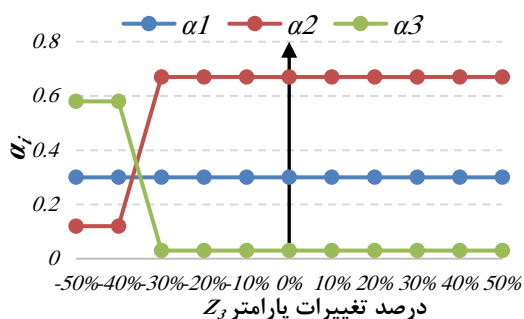


شکل (۴): نمودار درصد تغییرات هر پارامتر نسبت به تابع هدف در حالت انتخاب همه تأمین‌کنندگان

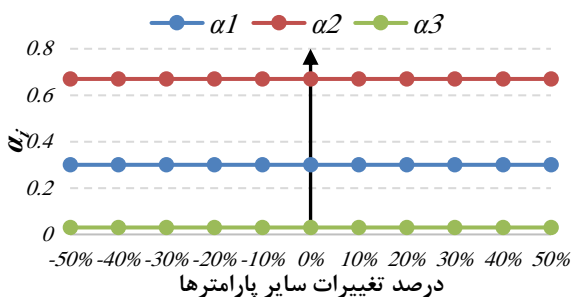
باتوجه به شکل‌های (۶) و (۷) می‌توان گفت که تغییرات پارامترها و تأثیر آن‌ها در رفتار تابع هدف مطابق «بخش تحلیل کلی مدل» است؛ یعنی همگی (به‌جز  $p_1$ ) رابطه مستقیم با مقدار تابع هدف دارند و تأثیر تغییرات آن‌ها در رفتار متغیر  $Q^*$  مطابق بحث هم‌ارزی پُرتوان است که در «بخش تحلیل کلی مدل» بررسی شد. همچنین پارامتر  $Z_i$  به‌خاطر عدم حضور در فرمول  $Q^*$ ، تغییرات آن در رفتار  $Q^*$  به‌طور مستقیم بی‌تأثیر بوده و مقدار متغیر  $Q^*$  همان مقدار قبل از تغییرات

البته نتیجه‌ی فوق شامل پارامترهایی می‌شود که آن پارامترها در داخل رابطه  $Q^*$  قرار داشته باشند. تنها پارامتری که در فرمول  $Q^*$

شده‌است، یعنی همین که  $Z_3$  اکنون با این کاهش، دیگر بزرگترین  $Z_i$  نیست (یعنی از  $Z_2$  کوچکتر شده‌است) و  $p_3$  هم از کوچکترین  $p_i$ ها یعنی از  $p_1$  خیلی بزرگتر است، پس  $\alpha_3$  بزرگتر از  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$  خواهد بود.



شکل (۸): نمودار درصد تغییرات پارامتر  $Z_3$  نسبت به  $\alpha_i$  در حالت انتخاب همه تأمین‌کنندگان



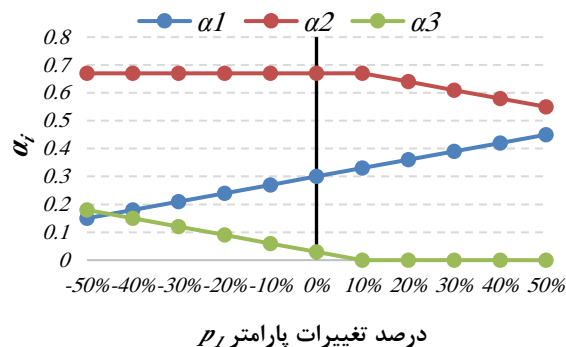
شکل (۹): نمودار درصد تغییرات سایر پارامترها نسبت به  $\alpha_i$  در حالت انتخاب همه تأمین‌کنندگان

با تغییر پیدا کردن مقادیر  $\alpha_i$  و جای‌گذاری آن در فرمول  $Q^*$ ، مقدار  $Q^*$  نیز به‌طور غیرمستقیم تغییر پیدا کرده و طبق شکل (۸) در کاهش ۴۰ تا ۵۰ درصدی این پارامتر، مقدار  $Q^*$  افزایش می‌یابد؛ به‌عبارتی می‌توان این‌طور بیان کرد که «اگر تغییرات  $Z_i$  در شرایط گزاره شرطی صدق کند، آنگاه تغییرات  $Z_i$  به‌طور غیرمستقیم بر مقدار  $Q^*$  تأثیر خواهد گذاشت و ممکن است آن را افزایش یا کاهش دهد.» در اینجا باتوجه به نتایج به‌دست آمده از تحلیل نمودارها، می‌توان دو رویکرد مدیریتی را عنوان کرد:

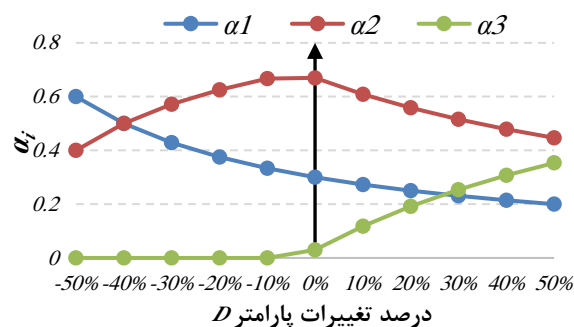
(۱) تغییر در همه‌ی هزینه‌ها به‌جز هزینه‌ی تولید در صورت تغییر نکردن تعداد تولیدکنندگان و ثابت ماندن نرخ‌های تولید و تقاضا، می‌تواند خرده‌فروش را بر آن دارد تا بدون تحلیل و محاسبه مجدد بتواند به هر تولیدکننده به اندازه همان درصد‌های قبل از تغییر هزینه‌ها، سفارش‌های خود را صادر کند.

(۲) هر تولیدکننده با افزایش مقدار نرخ تولید خود متناسب با نرخ تقاضا خرده‌فروش، می‌تواند محدودیت ارسال برای خرده‌فروش را به نوبه خود کاهش دهد؛ به عبارت دیگر هر تأمین‌کننده با این کار می‌تواند حجم محصولات بیشتری را به خریدار تحویل دهد

حضور ندارد پارامتر  $Z_i$  است که مربوط به هزینه تولید است؛ پس در حالت عمومی نتیجه فوق شامل حال این پارامتر نمی‌شود.



شکل (۶): نمودار درصد تغییرات پارامتر  $p_1$  نسبت به  $\alpha_i$  در حالت انتخاب همه تأمین‌کنندگان



شکل (۷): نمودار درصد تغییرات پارامتر  $D$  نسبت به  $\alpha_i$  در حالت انتخاب همه تأمین‌کنندگان

اکنون باتوجه به نتیجه‌گیری فوق این سؤال پیش می‌آید که چرا پارامتر  $Z_3$  مثل پارامتر  $Z_1$  و مثل سایر پارامترهای مدل نبوده و کاهش آن در مقادیر  $\alpha_i$  تأثیر دارد. برای پاسخ به این سؤال باتوجه به بررسی دقیق نمودارها، می‌توان این‌طور استنباط کرد که در حالت کلی مقادیر  $\alpha_i$  که از حل مدل به‌دست می‌آید، متأثر از مقادیر  $Z_i$  و  $p_i$  است؛ به بیان ساده‌تر می‌توان گزاره‌ی شرطی زیر را بیان کرد: گزاره‌ی شرطی: اگر تأمین‌کننده‌ای مقدار  $Z_i$  آن از بقیه  $Z_i$ ها اکیداً بزرگتر باشد، آنگاه  $\alpha_i$  آن از بقیه اکیداً کوچکتر خواهد بود و اگر تأمین‌کننده‌ای  $Z_i$  آن از بقیه کوچکتر باشد در صورتی که  $p_i$  آن از کوچکترین  $p_i$ ها خیلی بزرگتر باشد، آنگاه  $\alpha_i$  آن اکیداً بزرگتر از بقیه خواهد بود.

باتوجه به گزاره فوق و شکل‌های (۸) و (۹)، در بررسی تغییرات  $Z_1$  با اینکه مقدار این پارامتر از  $Z_2$  و  $Z_3$  کوچکتر است اما به‌دلیل اینکه  $p_1$  کوچکترین مقدار را در بین  $p_i$ ها دارد، بنابراین شرط لازم برای گزاره فوق را نداشته و مقدار  $\alpha_1$  تغییری نمی‌کند و در این مورد مشاهده شد که وقتی یکی از  $\alpha_i$ ها تغییر نکند، بقیه  $\alpha_i$ ها نیز تغییر نخواهند کرد. همچنین در بررسی تغییرات  $Z_3$ ، با کاهش ۴۰ تا ۵۰ درصدی این پارامتر چون که شرایط گزاره فوق تا حدودی رعایت

✓ در نظر گرفتن خرابی ماشین در سطح تأمین‌کننده  
 ✓ بررسی تأثیر نرخ تورم بر هزینه‌های زنجیره تأمین و انتخاب تأمین‌کننده

### مراجع

- [1] J.C. Ho, M.K. Shalishali, T.-L.B. Tseng, D.S. Ang,(2022), "Opportunities in green supply chain management", *The Coastal Business Journal*, 8: 2.
- [2] A.J. Deshmukh, H. Vasudevan,(2014), "Emerging supplier selection criterion in the context of traditional vs green supply chain management", *International Journal of Managing Value and Supply Chains*, 5: 19.
- [3] N. Aissaoui, M. Haouari, E. Hassini,(2007), "Supplier selection and order lot sizing modeling: A review", *Computers & operations research*, 34: 3516-3540.
- [4] M.S. Pishvae, M. Rabbani,(2011), "A graph theoretic-based heuristic algorithm for responsive supply chain network design with direct and indirect shipment", *Advances in Engineering Software*, 42: 57-63.
- [5] E. Morganti, J. Gonzalez-Feliu,(2015), "City logistics for perishable products. The case of the Parma's Food Hub", *Case Studies on Transport Policy*, 3: 120-128.
- [6] S. Khodaparasti, M.E. Bruni, P. Beraldi, H. Maleki, S. Jahedi,(2018), "A multi-period location-allocation model for nursing home network planning under uncertainty", *Operations Research for Health Care*, 18: 4-15.
- [7] N. Khanlarzade, B. Yegane, I. Kamalabadi, H. Farughi,(2014), "Inventory control with deteriorating items: A state-of-the-art literature review", *International journal of industrial engineering computations*, 5: 179-198.
- [8] M. Musavi, A. Bozorgi-Amiri,(2017), "A multi-objective sustainable hub location-scheduling problem for perishable food supply chain", *Computers & Industrial Engineering*, 113: 766-778.
- [9] K.-J. Chung, C.-N. Lin,(2001), "Optimal inventory replenishment models for deteriorating items taking account of time discounting", *Computers & Operations Research*, 28: 67-83.
- [10] J.-T. Teng, C.-T. Chang,(2005), "Economic production quantity models for deteriorating items with price-and stock-dependent demand", *Computers & Operations Research*, 32: 297-308.
- [11] Z.T. Balkhi,(2011), "Optimal economic ordering policy with deteriorating items under different supplier trade credits for finite horizon case", *International Journal of Production Economics*, 133: 216-223.
- [12] H. Sadeghi, H. Golpîra, S.A.R. Khan,(2021), "Optimal integrated production-inventory system considering shortages and discrete delivery orders", *Computers & Industrial Engineering*, 156: 107233.
- [13] S. Tayal, S. Singh, R. Sharma, A.P. Singh,(2015), "An EPQ model for non-instantaneous deteriorating item with time dependent holding cost and exponential demand rate", *International Journal of Operational Research*, 23: 145-162.
- [14] C.K. Chan, W.H. Wong, A. Langevin, Y. Lee,(2017), "An integrated production-inventory model for deteriorating items with consideration of optimal production rate and deterioration during delivery", *International Journal of Production Economics*, 189: 1-13.
- [15] G. Dobson, E.J. Pinker, O. Yildiz,(2017), "An EOQ model for perishable goods with age-dependent demand rate", *European Journal of Operational Research*, 257: 84-88.

که این امر باعث افزایش میزان سفارش بهینه و کاهش کل هزینه‌های سالیانه زنجیره تأمین خواهد شد و به تبع آن، سودآوری کل زنجیره تأمین و راندمان آن نیز افزایش خواهد یافت. این امر را نیز می‌توان به این صورت تفسیر کرد که اگر مدیریت در انتخاب تأمین‌کنندگان، تعداد تأمین‌کنندگان بیشتری را در نظر بگیرد، می‌تواند به کاهش محدودیت تعداد محصولات ارسالی کمک کند که این امر می‌تواند موجب بهبود سودآوری کل زنجیره تأمین نیز شود. همچنین باتوجه به رابطه (۶) این افزایش نرخ تولید منجر به کاهش مدت زمان تولید برای هر تولیدکننده می‌شود و به این ترتیب هر تولیدکننده می‌تواند سریع‌تر کالای فاسدشدنی مورد نظر را تولید کند.

### ۵. نتیجه و جمع‌بندی

در این پژوهش، مسأله‌ی تولید کننده-خریدار به صورت یکپارچه برای کالای فاسدشدنی با فرض مشخص و ثابت بودن تقاضا مورد بررسی قرار گرفت. همچنین انتخاب تأمین‌کنندگان به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که اولاً مدل دچار کمبود نشود و ثانیاً کل هزینه زنجیره مورد نظر به حداقل برسد. براساس مبانی رویکرد کنترل موجودی، یک مدل ریاضی مناسب برای مدل پیشنهادی ارائه شده است. برای ساده‌سازی و تعیین جواب بهینه‌ی مدل پیشنهادی از تخمین سری تیلور، استفاده شده است و براساس اصل بهینگی سراسری جواب بهینه مسأله تعیین گردید. در نهایت یک مثال عددی بیان شد و نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. باتوجه به نتایج حاصل شده، می‌توان چهار دیدگاه مدیریتی را بیان نمود. براساس نتایج حاصل شده از مسأله مورد بررسی می‌توان بیان کرده که به منظور بهبود سودآوری و بازدهی کل زنجیره تأمین، کاهش مدت زمان تولید و کاهش هزینه سالیانه‌ی زنجیره‌ی تأمین، تولیدکنندگان اقلام فاسدشدنی حتی المقدور نرخ تولید را به طور هماهنگ با خرده‌فروش افزایش دهند. همچنین تولیدکنندگان می‌توانند در مباحث کلان مدیریتی خود به دنبال کاهش هزینه‌های راه‌اندازی، سفارش‌دهی و قیمت محصول باشند که نتیجه آن هزینه سالیانه‌ی زنجیره تأمین کاهش می‌یابد. علاوه بر این کاهش هزینه‌ها موجب کاهش مدت زمان تولید و مدت زمان فروش در هر سیکل می‌شود؛ و تبع آن مقدار بهینه سفارش‌دهی (مقدار اندازه انباشته در هر سیکل) کاهش خواهد یافت. در نهایت می‌توان بیان کرد که تولیدکنندگان و خرده‌فروشان بهتر است که با هماهنگی یکدیگر با مدیریت مناسب موجودی راهکارهای مناسب برای کاهش میزان فساد محصولات را کاهش دهند که نتیجه آن کل هزینه‌ی سالیانه زنجیره تأمین کاهش و بهره‌وری سیستم زنجیره تأمین افزایش خواهد یافت. در این راستا همچنین می‌توان پیشنهادها را در جهت بهبود و توسعه مدل پیشنهادی در نظر گرفت.

- ✓ در نظر گرفتن کمبود موجودی برای تولیدکنندگان  
 ✓ در نظر گرفتن نرخ تقاضای خرده‌فروش به صورت تصادفی



- constraint”, International journal of production economics, 73: 15-27.
- [29] W. Xia, Z. Wu,(2007), “Supplier selection with multiple criteria in volume discount environments”, Omega, 35: 494-504.
- [30] J. Rezaei, M. Davoodi,(2008), “A deterministic, multi-item inventory model with supplier selection and imperfect quality”, Applied Mathematical Modelling, 32: 2106-2116.
- [31] J.G. Kheljani, S. Ghodsypour, C. O’Brien,(2009), “Optimizing whole supply chain benefit versus buyer’s benefit through supplier selection”, International Journal of Production Economics, 121: 482-493.
- [32] M. Hajian Heidary, S. Fatemi Ghomi, B. Karimi,(2015), “Supply chain network design for deteriorating items with discount on transportation cost”, Scientia Iranica, 22: 2634-2643.
- [33] M.S. Atabaki, M. Mohammadi,(2017), “A genetic algorithm for integrated lot sizing and supplier selection with defective items and storage and supplier capacity constraints”, International Journal of Operational Research, 28: 183-200.
- [34] S.K. Jauhar, M. Pant,(2017), “Integrating DEA with DE and MODE for sustainable supplier selection”, Journal of computational science, 21: 299-306.
- [35] H.K. Alfares, R. Turnadi,(2018), “Lot sizing and supplier selection with multiple items, multiple periods, quantity discounts, and backordering”, Computers & Industrial Engineering, 116: 59-71.
- [36] S. Sarkar, D.K. Pratihari, B. Sarkar,(2018), “An integrated fuzzy multiple criteria supplier selection approach and its application in a welding company”, Journal of Manufacturing Systems, 46: 163-178.
- [37] M. Esmaili, S.N. Ghobadi,(2018), “A game theory model for pricing and supplier selection in a closed-loop supply chain”, International Journal of Procurement Management, 11: 472-494.
- [38] H.G. Gören,(2018), “A decision framework for sustainable supplier selection and order allocation with lost sales”, Journal of Cleaner Production, 183: 1156-1169.
- [39] S. Yousefi, M.J. Rezaee, M. Solimanpur,(2019), “Supplier selection and order allocation using two-stage hybrid supply chain model and game-based order price”, Operational Research, DOI: 1-36.
- [40] I. Dobos, G. Vörösmarty,(2019), “Inventory-related costs in green supplier selection problems with Data Envelopment Analysis (DEA)”, International Journal of Production Economics, 209: 374-380.
- [41] K. Govindan, H. Mina, A. Esmaili, S.M. Gholami-Zanjani,(2020), “An integrated hybrid approach for circular supplier selection and closed loop supply chain network design under uncertainty”, Journal of Cleaner Production, 242: 118317.
- [42] A. Alejo-Reyes, A. Mendoza, E. Olivares-Benitez,(2021), “A heuristic method for the supplier selection and order quantity allocation problem”, Applied Mathematical Modelling, 90: 1130-1142.
- [43] H. Golpîra, H. Sadeghi, S. Bahramara,(2021), “Electricity supply chain coordination: Newsvendor model for optimal contract design”, Journal of Cleaner Production, 278: 123368.
- [16] L. Janssen, A. Diabat, J. Sauer, F. Herrmann,(2018), “A stochastic micro-periodic age-based inventory replenishment policy for perishable goods”, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 118: 445-465.
- [17] S. Tiwari, L.E. Cárdenas-Barrón, M. Goh, A.A. Shaikh,(2018), “Joint pricing and inventory model for deteriorating items with expiration dates and partial backlogging under two-level partial trade credits in supply chain”, International Journal of Production Economics, 200: 16-36.
- [18] M.A.-A. Khan, A.A. Shaikh, G.C. Panda, I. Konstantaras, A.A. Taleizadeh,(2019), “Inventory system with expiration date: Pricing and replenishment decisions”, Computers & Industrial Engineering, 132: 232-247.
- [19] L. Chen, X. Chen, M.F. Keblis, G. Li,(2019), “Optimal pricing and replenishment policy for deteriorating inventory under stock-level-dependent, time-varying and price-dependent demand”, Computers & Industrial Engineering, 135: 1294-1299.
- [20] Z. Azadi, S.D. Eksioglu, B. Eksioglu, G. Palak,(2019), “Stochastic optimization models for joint pricing and inventory replenishment of perishable products”, Computers & industrial engineering, 127: 625-642.
- [21] M. Lashgari, S.J. Sadjadi, M. Sahihi,(2019), “A multi-product, multi-period model to select supplier for deteriorating products while considering uncertainty as well as backorder”, Journal of Industrial Engineering International, 15: 93-101.
- [22] Y. Yang, H. Chi, W. Zhou, T. Fan, S. Piramuthu,(2020), “Deterioration control decision support for perishable inventory management”, Decision Support Systems, 134: 113308.
- [۲۳] رجبی، زهرا، صادقی، هیبت‌الله، و محمودی، انور. (۱۳۹۹). تعیین سیاست بهینه سفارش‌دهی در مدل چنددوره‌ای احتمالی با در نظر گرفتن قیمت خرید تصادفی. نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۸(۱۶)، ۹۵-۱۱۱. DOI: 10.22084/ier.2020.20328.1909.
- [24] S.A.H.S. Amiri, A. Zahedi, M. Kazemi, J. Soroor, M. Hajiaghahi-Keshteli,(2020), “Determination of the optimal sales level of perishable goods in a two-echelon supply chain network”, Computers & Industrial Engineering, 139: 106156.
- [۲۵] عبدی، فرید، فاروقی، هیوا، صادقی، هیبت‌الله، و ارکات، جمال. (۱۳۹۹). مکان‌یابی- موجودی- تخصیص افزونگی چند هدفه در زنجیره تأمین تک‌دوره‌ای با تقاضای احتمالی. نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۸(۱۶)، ۹۵-۱۱۱. DOI: 10.22084/ier.2021.3925.
- [26] H. Sadeghi,(2019), “A forecasting system by considering product reliability, POQ policy, and periodic demand”, Journal of Quality Engineering and Production Optimization, 4: 133-148.
- [27] Z. Rajabi, H. Sadeghi, A. Mahmoodi,(2020), “Determining The Optimal Ordering Policy In A Multi-Period Stochastic Model With The Uncertainty Purchase Price”, Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems, 8: 95-111.
- [28] S.H. Ghodsypour, C. O’Brien,(2001), “The total cost of logistics in supplier selection, under conditions of multiple sourcing, multiple criteria and capacity



DOI: 10.22084/IER.2023.25048.2050

## Determining the Replenishment Policy and Supplier Selection in Integrated Supply Chain for Deteriorating Products

A. Mozdgir Mobbarhan<sup>1</sup>, H. Sadeghi<sup>2\*</sup>, S. Arbabi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> M.A. Master's student in Industrial Engineering, Faculty of Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

<sup>3</sup> Ph.D. Student, Industrial Engineering, Faculty of Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received: 2021/10/13

Accepted: 2022/02/27

#### Keywords:

Supplier Selection  
Deteriorating Products  
Integrated Supply Chain  
Replenishment Policy

### ABSTRACT

Supplier selection and determining appropriate replenishment policies is one of the major concerns in production systems and supply chains. This paper describes the supply chain of integrated buyers and suppliers of perishable product. The retailer supplies the product it needs from different manufacturers. Products purchased by manufacturers are perishable products, and their Perishable rate is expressed as a fixed percentage of retailers' and manufacturers' inventories. In this situation, the selection of suppliers and the determination of the quantity to purchase from each supplier have a great impact on the optimization of the supply chain.

Based on the fixed demand of the end customers, the retailer tries to determine its optimal replenishment policy, and based on this optimal policy, the process of purchasing raw materials from manufacturers, as well as the time and amount of purchase from each manufacturer will be determined. Among these, the supplier that can deliver the product within the specified time and at the lowest cost will be selected. The main purpose of this paper is to select suppliers and determine replenishment policies in a way that minimizes the total cost of this chain of supply, including retailer and supplier costs. This model uses a mixed-integer linear programming approach. Finally, this model was checked with a numerical example.

\* Corresponding author. H. Sadeghi

Tel.: 087-33660073; E-mail address: [h.sadeghi@uok.ac.ir](mailto:h.sadeghi@uok.ac.ir)