چشم‌انداز مدیریت صنعتی
سال هشتم، شماره ۳۱، پاییز ۱۳۹۷
شاپای چاپی: ۹۸۷۴-۲۲۵۱، شاپای الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵
ص‌ص ۱۹۴ – ۱۶۷

ارائه یک مدل چندهدفه فازی جهت طراحی شبکه چندسطحی تأمین با درنظرگرفتن وقوع اختلال در سطوح مختلف و حل آن با رویکرد ε-Constraint

فاطمه فاضلی*، مسعود صیدی**

چکیده

امروزه به دلیل اثرات بسیار زیاد طراحی شبکه‌ی تأمین در منافع اقتصادی سازمان‌ها، کیفیت ارائه خدمات مناسب و رضایت مشتریان، مسئله طراحی شبکه یکی از مسائل موردعلاقه و جذاب پژوهشگران حوزه تحقیق در عملیات و علوم مدیریت محسوب می‌شود که پیشرفت‌های زیادی نیز در این زمینه حاصل شده است. در این پژوهش، یک شبکه تأمین تولیدی مطابق دنیای واقعی طراحی شده است. ساختار این زنجیره تأمین بدین صورت است که محصول بعد از تولید در کارخانه‌های تولیدی در انبارهای مربوطه نگهداری شده و سپس به خرده‌فروش‌ها منتقل می‌شود. درنهایت مشتریان با مراجعه به خرده‌فروشی‌ها نیاز خود را برطرف می‌کنند. برای نزدیک‌شدن به واقعیت، عدم‌قطعیت فازی در پارامترهای مدل در نظر گرفته شده و اختلالاتی از قبیل آتش‌سوزی یا قطع برق و غیره در کارخانه‌ها و انبارها به‌صورت همزمان لحاظ شده است؛ همچنین مسئله دارای افق زمانی چنددوره‌ای و دو هدف حداقل‌کردن هزینه و حداکثرکردن سطح پوشش مناطق مشتریان است که برای حل آن از حل‌کننده CPLEX نرم‌افزار GAMS و رویکرد ε-Constraint استفاده شده است.

کلیدواژه‌ها: طراحی شبکه؛ چندهدفه؛ فازی؛ اختلال؛ ε-Constraint.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۳۰، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۹/۱۵.

* دانشجوی کارشناسی ارشد، ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بین‌المللی خلیج فارس، خرمشهر.
** استادیار، دانشگاه ایلام (نویسنده مسئول).
Email: M.seidi@ilam.ac.ir

۱. مقدمه

امروزه شیوه‌های تولید گذشته که یکپارچگی کمتری را در فرآیندهایشان دنبال می‌کردند کارایی خود را از دست داده‌اند و مدیریت زنجیره تأمین به‌عنوان یک رویکرد یکپارچه برای مدیریت مناسب جریان مواد، کالا، اطلاعات و مالی، توانایی پاسخگویی به شرایط را دارد. در راستای اجرای این فلسفه، ابزارها و روش‌های مختلفی مانند مدل‌سازی ریاضی یاری‌کننده هستند. ارتباط نزدیکی بین طراحی و مدیریت جریان‌های زنجیره تأمین (مواد، اطلاعات، مالی) و موفقیت زنجیره وجود دارد؛ به‌طوری‌که غالب شکست‌های تجارت الکترونیک را می‌توان به مشکلات ناشی از طراحی و مدیریت جریان‌های زنجیره تأمین نسبت داد [۸]. مدیریت زنجیره‌ی تأمین مجموعه‌ای از روش‌ها است که برای یکپارچه‌کردن مؤثر عرضه‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارها و فروشگاه‌ها به‌کار می‌رود تا محصولات موردنیاز به مقدار مشخص و در زمان معین و در مکان معین تولید شده و به مشتریان عرضه شود تا هزینه‌های کل زنجیره، حداقل شود و در ضمن نیاز مشتریان با سطح خدمات بالا برآورده شود [۲۵]. یکی از موضوع‌هایی که همواره در تصمیم‌های مربوط به زنجیره تأمین در نظر گرفته می‌شود، مکان‌یابی تسهیلات است. در سال‌های اخیر مطالعات مکان‌یابی به‌عنوان یکی از عناصر کلیدی در موفقیت و بقای مراکز صنعتی مطرح است. مطالعات مکان‌یابی هم در سطح ملّی و هم در سطح بین‌المللی بسیار مورد-توجه قرار گرفته است. در این میان شناخت اهداف از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. انجام مطالعات مکان‌یابی درست و مناسب، علاوه بر تأثیر اقتصادی بر عملکرد توسعه، اجتماعی، محیط زیستی و فرهنگی در منطقه احداث خود تأثیر خواهد داشت [۱۲].

در این پژوهش، یک زنجیره تأمین تولیدی مطابق دنیای واقعی طراحی شده است. ساختار این زنجیره تأمین بدین صورت است که محصول بعد از تولید در کارخانه‌های تولیدی، در انبارهای مربوطه نگهداری شده و سپس به خرده‌فروش‌ها منتقل می‌شود. درنهایت مشتریان با مراجعه به خرده‌فروشی‌ها نیاز خود را برطرف می‌کنند. برای نزدیک‌شدن به واقعیت، عدم‌قطعیت فازی در پارامترهای مدل در نظر گرفته شده و اختلالاتی از قبیل آتش‌سوزی یا قطع برق و غیره در کارخانه‌ها و انبارها لحاظ شده است. وجوه تمایز این پژوهش با پژوهش‌های مشابه عبارت‌اند از: ۱) طراحی زنجیره تأمین کامل تولید محصولات در حالتی که در خصوص مکان‌یابی انبارها و خرده‌فروشی‌ها، مقدار حمل‌ونقل محصولات بین سطوح مختلف و میزان نگهداری آن در انبارها به‌طور هم‌زمان تصمیم‌گیری کند؛ ۲) با توجه به فضای عدم‌قطعیت در دنیای واقعی از برنامه‌ریزی فازی برای عدم‌قطعیت پارامترهایی از قبیل هزینه‌ها و تقاضای مناطق مشتریان استفاده شده است؛ ۳) اهدافی همچون حداقل‌کردن هزینه‌ها و حداکثرکردن پوشش مناطق مشتریان توسط خرده‌فروشی‌ها در مسئله در نظر گرفته شده است؛ ۴) برای نزدیک‌ترشدن مدل به دنیای واقعی در این زنجیره اختلالاتی از نوع آتش‌سوزی یا قطع برق و غیره در کارخانه‌ها و

انبارها به‌صورت همزمان در نظر گرفته شده است؛ ۵) با توجه به اینکه تقاضای مناطق مشتریان در تمام طول افق زمانی ثابت نیست، مسئله به‌صورت چنددوره‌ای در نظر گرفته شده است.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در این بخش، مرور مبانی نظری مقاله‌های مرتبط با حوزه مکان‌یابی ـ تخصیص ارائه خواهد شد. بدین منظور ابتدا کلیاتی از مکان‌یابی ارائه می‌شود؛ سپس به مرور مبانی نظری مکان‌یابی ـ تخصیص و بعد از آن به استخراج تعدادی شاخص برای دسته‌بندی پرداخته می‌شود. در ادامه مقاله‌ها طبق شاخص‌های استخراجی دسته‌بندی شده و در یک جدول به مقایسه آن‌ها و نشان‌دادن خلأ حوزه پرداخته خواهد شد. مسائل مکان‌یابی تسهیلات از دهه ۱۹۶۰ جایگاه مهمی در مبانی نظری تحقیق در عملیات یافته است. تحلیل مسائل مکان‌یابی و تصمیم‌گیری در خصوص مکان تسهیلات از مسائل بسیار مهم در تصمیم‌گیری دولت‌ها، سازمان‌ها و شرکت‌ها محسوب می‌شود. امروزه به‌دلیل اثرات بسیار زیاد مکان‌یابی تسهیلات در منافع اقتصادی سازمان‌ها، کیفیت ارائه خدمات مناسب و رضایت مشتریان، مسئله مکان‌یابی یکی از مسائل موردعلاقه و جذاب برای پژوهشگران تحقیق در عملیات و علوم مدیریت بوده که پیشرفت‌های زیادی نیز در این زمینه حاصل شده است [۱۵]. به‌دلیل اهمیت مسائل مکان‌یابی درنظرگرفتن چند نکته در این رابطه ضروری است:

- تصمیم‌های مکان‌یابی معمولاً هنگامی اتخاذ می‌شوند که محصول جدیدی به بازار عرضه شده، محصولی قدیمی از بازار خارج می‌شود و یا ظرفیت‌ها و فناوری‌های تولیدی تغییر می‌کنند؛
- تصمیم مکان‌یابی با توجه به نحوه تملک تسهیل، استراتژیک (خرید) یا تاکتیکی (اجاره) است؛
- مکان تسهیلات بر نحوه جذب تقاضاهای جدید تأثیرگذار است؛
- مرزهای هر یک از تسهیلات (نحوه تخصیص مشتریان به تسهیلات) توسط طراح سیستم مشخص می‌شود [۱۵].

یکی از موارد مهم در حوزه مسائل مکان‌یابی، مسئله مکان‌یابی ـ تخصیص است که در آن علاوه بر تعیین محل استقرار خدمت‌دهنده‌ها برای تأمین تقاضای مشتریان، نحوه تخصیص مشتریان به خدمت‌دهندگان نیز تعیین می‌شود. در ادامه مبانی نظری این حوزه مرور شده است.

مسئله مکان‌یابی ـ تخصیص نخستین بار توسط کوپر (۱۹۶۳)، معرفی شد [۹]. لاو و موریس (۱۹۸۸)، نیز روش کاهش مجموعه و الگوریتم پی ـ میانه[1] را برای حل مسئله مکان‌یابی ـ تخصیص با فاصله پله‌ای ارائه کردند [۱۷]. سپس ارنگاک و همکاران (۱۹۹۹)، پژوهشی در حوزه برنامه‌ریزی تولید ـ توزیع یکپارچه در زنجیره تأمین با تأکید بر مکان‌یابی ـ تخصیص تسهیلات

1. P-median

انجام دادند [۱۱]. کانل و داس (۲۰۰۲)، یک مدل مکان‌یابی ـ تخصیص پویا در زنجیره تأمین چندسطحی ارائه دادند که در این مدل شرایط قطعی فرض شده است [۷]. در اغلب مسائل مکان‌یابی فرض می‌شود که تسهیلات در هر شرایطی به کار خود ادامه می‌دهد و ازکارافتادگی و خرابی برای تسهیلات در نظر گرفته نمی‌شود؛ اما در دنیای واقعی، تسهیلات به علل مختلف طبیعی از جمله سیل، زلزله، شرایط آب‌وهوایی و غیرطبیعی مانند قطعی برق، اعتصاب کارکنان، آتش‌سوزی و سایر موارد، همواره در معرض اختلال[1] هستند. در ارتباط با کنترل موجودی‌ها در زنجیره تأمین با درنظرگرفتن اختلال پژوهش‌هایی صورت گرفته است. عادلی (۲۰۱۳)، در پژوهشی از رویکرد بهینه‌سازی شبیه‌سازی برای جلوگیری از بروز اختلال در سطح موجودی‌های یک زنجیره تأمین استفاده کرد [۱].

در مقاله‌هایی با رویکرد مدیریت ریسک در زمینه مدیریت موجودی در مقابله با اختلال بحث شده است [۲۳، ۲۷]؛ اما در زمینه مکان‌یابی در حالت قابلیت اطمینان و با درنظرگرفتن اختلال، نخستین مدل مکان‌یابی قابل‌اطمینان توسط داسکین و اشنایدر (۲۰۰۵)، مطرح شد [۱۰]. برمن و همکاران (۲۰۰۷) فرض اختلال با توزیع یکنواخت را در نظر گرفتند و یک مسئله تصادفی با هزینه ثابت را به‌صورت یک مسئله عدد صحیح ترکیبی غیرخطی مدل کردند؛ سپس چندین الگوریتم حل ابتکاری ارائه دادند [۶]. چی و همکاران (۲۰۱۰)، نیز یک مسئله مکان‌یابی ـ موجودی با یک تأمین‌کننده و تعدادی خرده‌فروش و مشتری ارائه دادند که در این مسئه اختلال در تأمین‌کنندگان و خرده‌فروشان به‌صورت تصادفی مدل شده و برای حل مسئله از روش آزادسازی لاگرانژ استفاده شده است [۲۲]. مارین (۲۰۱۱) یک زنجیره تأمین شامل کارخانه‌ها و مشتریان در نظر گرفت. هدف مدل، حداقل‌کردن تفاوت بین تأمین‌کننده با بیشترین تعداد مشتری تخصیص‌یافته و تأمین‌کننده با کمترین تعداد مشتری تخصیص‌یافته بود؛ همچنین برای حل مدل از روش شاخه و کران استفاده شد [۱۸]. سیام و کوته یک زنجیره‌ی تأمین برای خدمات خاص سلامت شامل مراکز و مناطق ارائه دادند. هدف مسئله حداقل‌کردن هزینه‌ها بود و از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید برای حل استفاده شد [۲۶]. موسوی و اخوان نیاکی (۲۰۱۳)، یک مسئله مکان‌یابی ـ تخصیص با ظرفیت محدود ارائه دادند که در آن مکان‌یابی را به‌صورت تصادفی و تابع یک توزیع نرمال و تقاضا را فازی در نظر گرفتند و برای حل مدل خود از یک الگوریتم ترکیبی که در آن الگوریتم‌های سیپلکس[2]، شبیه‌سازی فازی و ژنتیک اصلاح‌شده یکپارچه‌شده استفاده کردند [۲۰]. زینل همدانی و همکاران یک مدل مکان‌یابی– تخصیص برای سیستم حمل‌و نقل‌درونی در «کارخانه فولاد مبارکه» ارائه دادند و برای حل مدل ارائه‌شده از الگوریتم‌های ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید به‌صورت یکپارچه استفاده کردند [۳۱]. حسینی‌نژاد و

1. Disruption
2. CPLEX

همکاران (۲۰۱۴) یک مسئله مکان‌یابی ـ تخصیص با ظرفیت محدود با درنظرگرفتن هزینه ثابت و ریسک اختلال ارائه دادند [۱۴]. ویدیارتی و جایاسوال (۲۰۱۴)، مسئله مکان‌یابی ـ تخصیص را برای خدمت‌دهنده‌های ثابت و دارای تقاضای تصادفی در نظر گرفتند که در این مسئله به‌طور همزمان به مکان‌یابی تسهیلات و مجهزکردن آن‌ها توسط قابلیت‌های مناسب و تخصیص تقاضای مشتری به این تسهیلات پرداخته شده و با استفاده از روش تولید محدودیت حل شد [۲۸]. حاجی‌پور و همکاران (۲۰۱۴)، یک مسئله دوهدفه مکان‌یابی ـ تخصیص را در یک سیستم صف مدل کردند که محدودیت‌های بودجه و ظرفیت نیز در این مدل در نظر گرفته و برای حل مدل از دو الگوریتم جست‌وجوی هارمونی چندهدفه و ژنتیک چندهدفه استفاده شد [۱۳]. ظهیری و همکاران (۲۰۱۴) از رویکرد بهینه‌سازی استوار برای مدل‌سازی مسئله مکان‌یابی ـ تخصیص مراکز اهدا عضو تحت عدم‌قطعیت استفاده کردند و برای حل مدل خود از نرم افزار گمز بهره گرفتند [۳۰].

رحمتی و همکاران (۲۰۱۴)، نیز یک مدل دوهدفه مکان‌یابی ـ تخصیص را برای خدمت‌دهنده‌های ثابت در قالب صف درنظر گرفتند و برای حل مدل خود از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند [۲۴]. پارک و همکاران (۲۰۱۴)، مسئله دوسطحی مکان‌یابی ـ تخصیص را در طراحی شبکه‌های فیبر نوری موردبررسی قرار دادند [۲۱]. آن‌ها در این مسئله به‌دنبال پیداکردن مکان‌های بهینه سوئیچ‌ها و تخصیص تقاضاها به گونه‌ای بودند که هزینه‌های سوئیچ و کابل فیبر حداقل شود. علیزاده و همکاران یک زنجیره تأمین شامل تسهیلات و مشتریان با درنظرگرفتن تقاضا به‌صورت تصادفی ارائه دادند. آن‌ها حداقل‌کردن هزینه‌ها را به‌عنوان تابع هدف در نظر گرفتند و برای حل آن از الگوریتم‌های ژنتیک و رقابت استعماری بهره بردند [۳]. مستره و همکاران (۲۰۱۵)، یک زنجیره تأمین برای برنامه‌ریزی شبکه بیمارستان‌ها شامل بیمارستان‌های منطقه، بیمارستان‌های مرکزی و نقاط تقاضا ارائه دادند که اهداف مدل شامل حداقل‌کردن زمان‌ها و هزینه‌ها بود و با استفاده از نرم‌افزار گمز حل شد [۱۹].

یان و همکاران (۲۰۱۷) یک زنجیره برای دوچرخه اجاره‌ای شامل ایستگاه‌ها و نقاط تقاضا ارائه دادند. هدف مدل حداقل‌کردن هزینه‌ها بود و برای حل مدل از نرم افزار C++ استفاده شد [۲۹]. در ادامه تعدادی شاخص برای طبقه‌بندی منابع یادشده در حوزه مکان‌یابی ـ تخصیص ارائه شده و توضیحاتی راجع به این شاخص‌ها داده شده است. شاخص‌های طبقه‌بندی منابع عبارت‌اند از: ۱. تعداد سطوح: با مطالعه پژوهش‌های مربوط به این حوزه می‌توان آن‌ها را به دو دسته‌ی چهارسطحی و بالاتر و سه‌سطحی و کمتر تقسیم کرد؛ ۲. شرایط مسئله: به‌طورکلی شرایطی که مسئله در آن در نظر گرفته می‌شود را می‌توان به دو دسته عادی (رخ‌ندادن اختلال یا بحران) و وقوع اختلال یا بحران (برای مثال آتش‌سوزی) دسته‌بندی کرد؛ ۳. تعداد اهداف: پژوهش‌های یادشده را از نظر شاخص تعداد اهداف می‌توان به دو دسته تک‌هدفی و دو یا چندهدفی تقسیم

کرد؛ ۴. تعداد دوره‌ها: افق زمانی پژوهش‌ها به دو دسته تک‌دوره‌ای یا فاقد افق زمانی و چنددوره‌ای تقسیم می‌شود؛ ۵. روش حل: به‌طورکلی روش حل مورداستفاده توسط پژوهشگران را می‌توان به سه دسته روش‌های ابتکاری، فراابتکاری و دقیق دسته‌بندی کرد. با توجه به شاخص‌های یادشده می‌توان پژوهش‌های مرورشده در حوزه مکان‌یابی ـ تخصیص را به‌صورت جدول ۱، طبقه‌بندی کرد.

جدول ۱. طبقه‌بندی مقالات

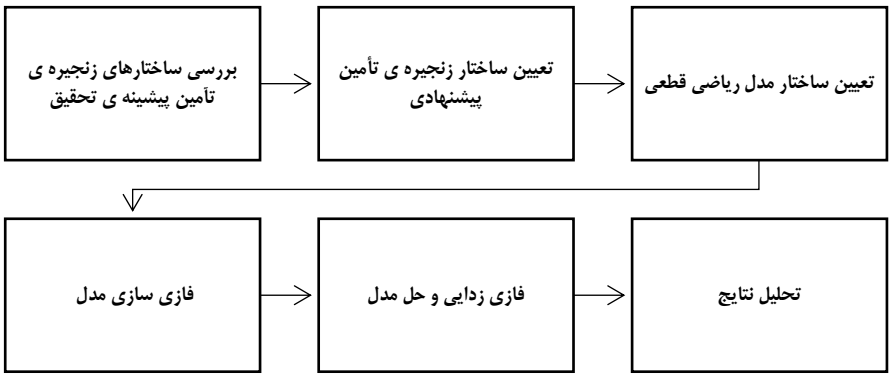
پژوهشگر	تعداد سطوح		شرایط مسئله		تعداد اهداف		تعداد دوره‌ها		روش حل		
	سه‌سطحی و کمتر	چهارسطحی و بالاتر	عادی	وقوع اختلال یا بحران	تک‌هدفی	دو یا چند هدفی	تک‌دوره‌ای یا فاقد افق زمانی	چنددوره‌ای	ابتکاری	فرا ابتکاری	دقیق
ارنگاک و همکاران (۱۹۹۹	✓		✓		✓		✓				
کانل و داس (۲۰۰۲)	✓		✓		✓			✓			
برمن و همکاران (۲۰۰۷)	✓			✓	✓		✓		✓		
چی و همکاران (۲۰۱۰)	✓			✓	✓		✓		✓		
مارین (۲۰۱۱)	✓		✓		✓		✓		✓		
سیام و کوته (۲۰۱۲)	✓		✓		✓		✓			✓	
موسوی و اخوان نیاکی (۲۰۱۳)	✓		✓		✓		✓			✓	
زینل همدانی و همکاران (۲۰۱۳)	✓		✓		✓		✓			✓	
حسینی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۴)	✓		✓		✓		✓		✓		
ویدیارتی و جایاسوال (۲۰۱۴)	✓		✓		✓		✓		✓		
حاجی‌پور و همکاران (۲۰۱۴)	✓		✓			✓	✓			✓	
ظهیری و همکاران (۲۰۱۴)		✓	✓		✓			✓			✓
رحمتی و همکاران (۲۰۱۴)	✓		✓			✓	✓			✓	
پارک و همکاران (۲۰۱۴)	✓		✓		✓		✓		✓		
علیزاده و همکاران (۲۰۱۵)	✓		✓		✓		✓			✓	
مستره و همکاران (۲۰۱۵)	✓		✓			✓	✓				✓
یان و همکاران (۲۰۱۷)	✓		✓		✓		✓		✓		
پژوهش حاضر		✓		✓		✓		✓			✓

با توجه به خلأهای مشخص‌شده در جدول ۱، در این پژوهش به طراحی زنجیره تأمین چهارسطحی و کامل تولید محصولات پرداخته شده است. اختلالاتی از قبیل قطع برق،

آتش‌سوزی، وقوع زلزله و غیره در مسئله در نظر گرفته شده است؛ همچنین مسئله تحت شرایط عدم‌قطعیت فازی بوده و دارای افق زمانی چنددوره‌ای و دو هدف حداقل‌کردن هزینه و حداکثرکردن سطح پوشش مناطق مشتریان است و برای حل آن از «حل‌کننده سیپلکس[1] نرم‌افزار گمز[2]» استفاده شده است.

۳. روش‌شناسی پژوهش

مراحل انجام پژوهش در شکل ۱، مشاهده می‌شود. پس از مرور ساختارهای موجود در پیشینه پژوهش، زنجیره تأمین پیشنهادی استخراج شده سپس با استفاده از مدل‌سازی ریاضی مدل قطعی و بعد فازی مربوطه تعیین شده است. برای جلوگیری از تکرار مطالب فقط مدل فازی در متن آمده است. به‌منظور حل، مدل ابتدا فازی‌زدایی شده و سپس حل شده است. در انتها نتایج تحلیل شده است.

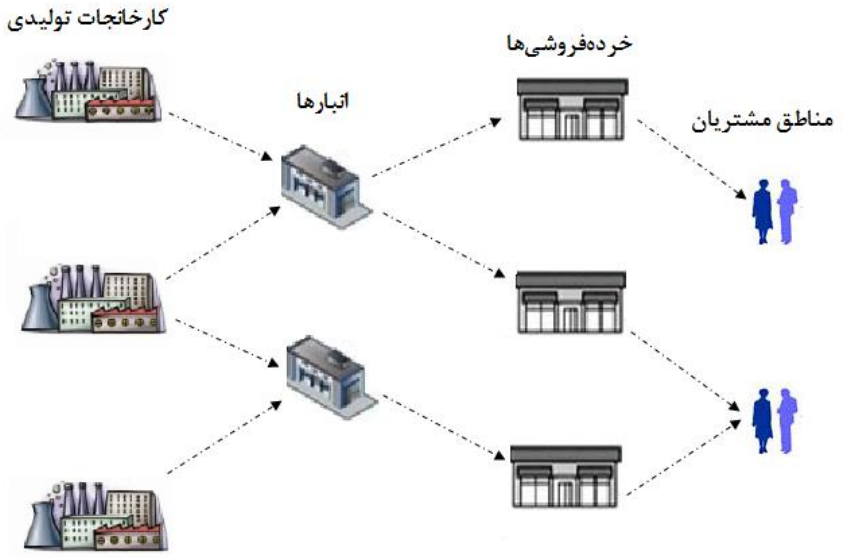


شکل ۱. روش پژوهش

ساختار زنجیره تأمین در این پژوهش به این گونه است که محصولات ابتدا در کارخانه‌های تولیدی، تولید شده و به انبار محصولات برای نگهداری منتقل می‌شود؛ سپس بر اساس نیاز خرده‌فروشی‌ها محصولات به خرده‌فروشی‌ها منتقل می‌شود و مشتریان هر منطقه با مراجعه به خرده‌فروشی‌ها کالای موردنیاز خود را خریداری می‌کنند. نکته قابل‌توجهی که در این پژوهش در نظر گرفته شده، این است که هر منطقه بر اساس سطح پوشش خرده‌فروشی‌ها به برخی از این تسهیلات که فاصله کمتری با آن‌ها دارند می‌توانند مراجعه کنند؛ همچنین امکان اختلال یا

1. CPLEX
2. GAMS

خرابی از قبیل آتش‌سوزی، زلزله و غیره در کارخانه‌ها و انبارها در نظر گرفته شده است. ساختار زنجیره تأمین این مسئله در شکل ۲، نشان داده شده است.



شکل ۲. ساختار زنجیره تأمین پیشنهادی

مفروضات مسئله

مفروضات مدل پیشنهادی به‌صورت زیر است:

۱. تقاضای مناطق مشتریان تقسیم‌پذیر است؛ به‌طوری‌که تقاضا می‌تواند در چند بخش و از چندخرده‌فروشی برآورده شود؛

۲. اگر یک کارخانه یا انباری دچار اختلال شد، موجودی آن‌ها به‌طور کامل از بین خواهد رفت؛

۳. با توجه به اهمیت بودجه و مسائل دیگر دخیل در تعداد انبارها و خرده‌فروشی‌های قابل‌احداث، یک حداکثر تعداد قابل‌احداث برای این تسهیلات در نظر گرفته شده است که این تعداد قابل‌تغییر است؛

۴. در صورتی یک منطقه مشتری از یک خرده‌فروشی می‌تواند کالا تهیه کند که در شعاع پوشش آن خرده‌فروشی قرار داشته باشد؛

۵. با توجه به فضای دنیای واقعی برای تولید محصولات در کارخانه‌ها و نگهداری موجودی در انبارها و خرده‌فروشی‌ها، ظرفیت‌های محدود در نظر گرفته شده است.

مدل‌سازی مسئله. در این بخش مدل زنجیره تأمین مسئله ارائه می‌شود. مدل به‌صورت چنددوره‌ای، دومرحله‌ای و مبتنی بر سناریو با درنظرگرفتن اختلال در کارخانه‌ها و انبارها است. ساختار مدل به‌گونه‌ای خواهد بود که در مرحله نخست در خصوص مکان‌یابی انبارها و خرده‌فروشی‌ها و در مرحله دوم در خصوص مقدار حمل‌ونقل محصولات بین سطوح مختلف، میزان نگهداری آن در انبارها و خرده‌فروشی‌ها، مقدار دریافت محصولات توسط مناطق مشتریان از خرده‌فروشان و نحوه پوشش مناطق مشتریان توسط خرده‌فروشی‌ها با توجه به اختلالات رخ داده در کارخانه‌ها و انبارها تصمیم‌گیری می‌شود. در ادامه بخش‌های مختلف مدل آورده شده است.

شناساگرها

i : محصولات

j : کارخانه‌های تولیدی

k : انبارها

l : خرده‌فروشی‌ها

m : مناطق مشتریان

t : دوره‌های زمانی

s : سناریوها

پارامترها

$\tilde{a}_{ij}$: هزینه تولید محصول i در کارخانه تولیدی j.

$\tilde{b}_{jk}$: هزینه حمل‌ونقل محصولات از کارخانه j به انبار k.

$\tilde{c}_{ik}$: هزینه نگهداری محصول i در انبار k.

$\tilde{e}_{k}$: هزینه احداث انبار k.

$\tilde{f}_{kl}$: هزینه حمل‌ونقل محصولات از کارخانه k به خرده‌فروشی l.

$\tilde{g}_{l}$: هزینه احداث خرده‌فروشی l.

$\tilde{h}_{il}$: هزینه نگهداری محصول i در خرده‌فروشی l.

$\tilde{\rho}_{i}$: هزینه تقاضای ازدست‌رفته مناطق مشتریان برای محصول i.

$\tilde{d}_{imt}$: تقاضای منطقه مشتری m از محصول i در دوره t.

$\tilde{\pi}_{ij}$: ظرفیت تولید محصول i در کارخانه تولیدی j.

$\tilde{\chi}_{ik}$: ظرفیت نگهداری محصول i در انبار k.

$\tilde{\phi}_{il}$: ظرفیت نگهداری محصول i در خرده‌فروشی l.

o_{lm} : برابر ۱ اگر منطقه‌ی مشتری m در شعاع پوشش خرده فروشی l قرار داشته باشد و در غیر اینصورت برابر صفر.

δ_m : جمعیت متقاضی منطقه m.

β^s_{jt} : برابر ۱ اگر در کارخانه تولیدی j در دوره t تحت سناریو s اختلال رخ ندهد و درغیراین‌صورت برابر صفر.

λ^s_{kt} : برابر ۱ اگر در انبار k در دوره t تحت سناریو s اختلال رخ ندهد و درغیراین‌صورت برابر صفر.

p_s : احتمال وقوع سناریو s.

N : حداکثر تعداد انبارهایی که می‌توان احداث کرد.

P : حداکثر تعداد خرده‌فروشی‌هایی که می‌توان احداث کرد.

M : یک عدد بزرگ.

متغیرهای تصمیم

r^s_{ijt} : مقدار تولید محصول i در کارخانه تولیدی j در دوره t تحت سناریو s.

u^s_{ijkt} : مقدار حمل‌شده محصول i از کارخانه تولیدی j به انبار k در دوره t تحت سناریو s.

qa^s_{ikt} : مقدار محصول نگهداری شده i در انبار k در دوره t تحت سناریو s.

v_k : برابر ۱ اگر انبار k احداث شود و در غیر این‌صورت برابر صفر.

w^s_{iklt} : مقدار حمل‌شده محصول i انبار k به خرده‌فروشی l در دوره t تحت سناریو s.

x_l : برابر ۱ اگر خرده‌فروشی l احداث شود و در غیر این‌صورت برابر صفر.

qb^s_{ilt} : مقدار محصول نگهداری‌شده i در خرده‌فروشی l در دوره t تحت سناریو s.

y^s_{ilmt} : مقدار محصول دریافت‌شده i توسط مشتری m از خرده‌فروشی l در دوره t تحت سناریو s.

θ^s_{imt} : تقاضای ازدست‌رفته منطقه مشتری m از محصول i در دوره t تحت سناریو s.

w^s_{mt} : برابر ۱ اگر منطقه مشتری m توسط حداقل یک خرده‌فروشی در دوره t تحت سناریو s تحت پوشش قرار گیرد و در غیر این‌صورت برابر صفر.

توابع هدف. یکی از رویکردهای بسیار رایج برای مدل‌سازی و سناریوبندی توابع هدف، درنظرگرفتن حالت امید ریاضی است که به‌صورت ضرب عبارت تابع هدف در احتمال وقوع سناریو است. اشکال عمده این نوع مدل‌سازی این است که حتی در صورت کم‌بودن احتمال وقوع یکی از سناریوها، مسئله با توجه به این سناریو جواب را ارائه خواهد داد که به‌گونه‌ای دید بدبینانه دارد. برای رفع این اشکال رویکردهای مختلفی ارائه شده است که یکی از این رویکردها توسط آغذف و همکاران (۲۰۱۰) به کار گرفته شد [۲].

در این رویکرد علاوه بر درنظرگرفتن حالت بدبینانه که در بالا توضیح داده شد، حداقل‌کردن بدترین حالت یا به‌عبارتی حداقل‌کردن حداکثر تأسف نیز در نظر گرفته شده است. برای درنظرگرفتن هر دو حالت بالا از یک ضریب استفاده می‌شود که میزان اهمیت هر یک از حالات را نشان می‌دهد. در این رویکرد در تابع هدف هر چقدر η بیشتر باشد، تغییرپذیری کمتر و یا به‌عبارتی حالت واقع‌بینانه برای تصمیم‌گیرنده مطلوب است و برعکس هر چقدر η کمتر باشد، ریسک پذیری کمتر و یا به‌عبارتی حالت بدبینانه برای تصمیم‌گیرنده مطلوب است.

یکی از اهداف بسیار مهم در زنجیره تأمین این مسئله حداقل‌کردن هزینه‌های شبکه است که در ادامه این هزینه‌ها و روابط مرتبط با آن‌ها ارائه می‌شود.

۱. هزینه تولید محصولات در کارخانه‌ها تولیدی:

$$\sum_{i}\sum_{j}\sum_{t}\sum_{s}\tilde{a}_{ij}r_{ijt}^{s} \qquad (۱)$$

۲. هزینه حمل‌ونقل محصولات از کارخانه‌های تولیدی به انبارها:

$$\sum_{i}\sum_{j}\sum_{k}\sum_{t}\sum_{s}\tilde{b}_{jk}u_{ijkt}^{s} \qquad (۲)$$

۳. هزینه‌ی نگهداری محصولات در انبارها:

$$\sum_{i}\sum_{k}\sum_{t}\sum_{s}\tilde{c}_{ik}qa_{ikt}^{s} \qquad (۳)$$

۴. هزینه حمل‌ونقل محصولات از انبارها به خرده‌فروشی‌ها:

$$\sum_{i}\sum_{k}\sum_{l}\sum_{t}\sum_{s}\tilde{f}_{kl}w_{iklt}^{s} \qquad (۴)$$

۵. هزینه نگهداری محصولات در خرده‌فروشی‌ها:

$$\sum_{i}\sum_{l}\sum_{t}\sum_{s}\tilde{h}_{il}qb_{ilt}^{s} \qquad (۵)$$

۶. هزینه تقاضای ازدست‌رفته مشتریان از محصولات:

$$\sum_{i}\sum_{m}\sum_{t}\sum_{s}\tilde{\rho}_{i}\theta_{imt}^{s} \qquad (۶)$$

۷. هزینه احداث انبارها:

$$\sum_{k}\tilde{e}_{k}v_{k} \qquad (۷)$$

۸. هزینه احداث خرده‌فروشی‌ها:

$$\sum_{l}\tilde{g}_{l}x_{l} \qquad (۸)$$

با توجه به هزینه‌های بالا، تابع هدف اول بر اساس رویکرد یادشه به‌صورت زیر است.

$$\begin{aligned}\mathrm{Min}Z_{1} = {} & \eta\left(\max\left(Z_{s}^{1}-Z_{s}^{(1)*}\right)\right)+(1-\eta)\left(\sum_{s}p_{s}\left(\sum_{i}\sum_{j}\sum_{t}\tilde{a}_{ij}r_{ijt}^{s}+\sum_{i}\sum_{j}\sum_{k}\sum_{t}\tilde{b}_{jk}u_{ijkt}^{s}\right.\right.\\ & +\sum_{i}\sum_{k}\sum_{t}\tilde{c}_{ik}qa_{ikt}^{s}+\sum_{i}\sum_{k}\sum_{l}\sum_{t}\tilde{f}_{kl}w_{iklt}^{s}+\sum_{i}\sum_{l}\sum_{t}\tilde{h}_{il}qb_{ilt}^{s}+\sum_{i}\sum_{m}\sum_{t}\tilde{\rho}_{i}\theta_{imt}^{s}\Big)\\ & \left.+\sum_{k}\tilde{e}_{k}v_{k}+\sum_{l}\tilde{g}_{l}x_{l}\right)\end{aligned} \qquad (۹)$$

همچنین تابع هدف دوم مسئله به‌صورت حداکثرکردن پوشش مناطق مشتریان توسط خرده‌فروشی‌ها در نظر گرفته شده است که به‌صورت زیر است.

$$\mathrm{Max}Z_{2}=\sum_{m}\sum_{t}\sum_{s}p_{s}\delta_{m}\omega_{mt}^{s} \qquad (۱۰)$$

محدودیت‌ها. محدودیت‌های مدل به‌صورت زیر است:

$$z_s^1 = \sum_i \sum_j \sum_t \tilde{a}_{ij} r_{ijt}^s + \sum_i \sum_j \sum_k \sum_t \tilde{b}_{jk} u_{ijkt}^s + \sum_i \sum_k \sum_t \tilde{c}_{ik} qa_{ikt}^s + \sum_i \sum_k \sum_l \sum_t \tilde{f}_{kl} w_{iklt}^s + \sum_i \sum_l \sum_t \tilde{h}_{il} qb_{ilt}^s + \sum_i \sum_m \sum_t \tilde{\rho}_i \theta_{imt}^s + \sum_k \tilde{e}_k v_k + \sum_l \tilde{g}_l x_l \quad \forall s \tag{۱۱}$$

$$r_{ijt}^s \le \tilde{\pi}_{ij} \cdot \beta_{jt}^s \qquad \forall i, j, t, s \tag{۱۲}$$

$$r_{ijt}^s = \sum_k u_{ijkt}^s \qquad \forall i, j, t, s \tag{۱۳}$$

$$\sum_k u_{ijkt}^s \le \tilde{\pi}_{ij} \qquad \forall i, j, t, s \tag{۱۴}$$

$$u_{ijkt}^s \le M \cdot \left(v_k \cdot \beta_{jt}^s \cdot \lambda_{kt}^s \right) \qquad \forall i, j, k, t, s \tag{۱۵}$$

$$\sum_l w_{iklt}^s \le \sum_j u_{ijkt}^s \qquad \forall i, k, t, s \tag{۱۶}$$

$$qa_{ikt}^s = qa_{ikt-1}^s + \sum_j u_{ijkt}^s - \sum_l w_{iklt}^s \qquad \forall i, k, t, s \tag{۱۷}$$

$$qa_{ikt}^s \le \tilde{\chi}_{ik} \cdot v_k \cdot \lambda_{kt}^s \qquad \forall i, k, t, s \tag{۱۸}$$

$$w_{iklt}^s \le M \cdot \left(v_k \cdot \lambda_{kt}^s \right) \qquad \forall i, k, l, t, s \tag{۱۹}$$

$$w_{iklt}^s \le M \cdot \left(x_l \right) \qquad \forall i, k, l, t, s \tag{۲۰}$$

$$\sum_k w_{iklt}^s \le \tilde{\phi}_{il} \qquad \forall i, l, t, s \tag{۲۱}$$

$$\sum_m y_{ilmt}^s \le \sum_k w_{iklt}^s \qquad \forall i, l, t, s \tag{۲۲}$$

$$qb_{ilt}^s = qb_{ilt-1}^s + \sum_k w_{iklt}^s - \sum_m y_{ilmt}^s \qquad \forall i, l, t, s \tag{۲۳}$$

$$qb_{ilt}^s \le \tilde{\phi}_{il} \cdot x_l \qquad \forall i, l, t, s \tag{۲۴}$$

$$y_{ilmt}^s \le M \cdot \left(x_l \cdot o_{lm} \right) \qquad \forall i, l, m, t, s \tag{۲۵}$$

$$\tilde{d}_{imt} = \sum_l y_{ilmt}^s + \theta_{imt}^s \qquad \forall i, m, t, s \tag{۲۶}$$

$$\sum_{k} v_k \le N \qquad (۲۷)$$

$$\sum_{l} x_l \le P \qquad (۲۸)$$

$$\omega_{mt}^{s} \le \sum_{l} o_{lm} \cdot x_l \qquad \forall m,t,s \qquad (۲۹)$$

$$r_{ijt}^{s}, u_{ijkt}^{s}, qa_{ikt}^{s}, w_{iklt}^{s}, qb_{ilt}^{s}, y_{ilmt}^{s}, \theta_{imt}^{s} \ge 0 \qquad (۳۰)$$

$$w_{mt}^{s}, v_k, x_l \in \{0,1\} \qquad (۳۱)$$

محدودیت ۱۱، مقدار تابع هدف ۹، برای هر سناریو را نشان می‌دهد که در اینجا به‌عنوان متغیر در نظر گرفته شده است. محدودیت ۱۲، نشان می‌دهد که میزان تولید هر محصول در کارخانه در صورت عدم‌اختلال یا خرابی آن کارخانه باید از ظرفیت تولید آن محصول در آن کارخانه کمتر باشد. محدودیت ۱۳، نمایانگر آن است که تمامی محصولات تولیدشده در کارخانه‌ها باید به انبارها منتقل شوند.

محدودیت ۱۴، تضمین می‌کند که میزان محصولات حمل‌شده از هر کارخانه تولیدی به انبارها باید از ظرفیت تولید محصولات در آن کارخانه کمتر باشد. محدودیت ۱۵، نشان می‌دهد در صورتی می‌توان از هر کارخانه به هر انبار محصول انتقال داد که آن انبار احداث و کارخانه و انبار مربوطه دچار اختلال یا خرابی نشده باشند. کمتربودن میزان محصولات حمل‌شده از انبارها به خرده‌فروشی‌ها از میزان محصولات حمل‌شده از کارخانه‌ها به انبارها در محدودیت ۱۶، نشان داده شده است.

تعادل موجودی در انبارها و کمتربودن موجودی هر محصول در هر انبار از ظرفیت نگهداری آن انبار به شرط احداث و عدم‌وقوع اختلال یا خرابی در آن انبار به‌ترتیب در محدودیت‌های ۱۷ و ۱۸، آورده شده است. محدودیت‌های ۱۹ و ۲۰، به‌ترتیب تضمین می‌کنند در صورتی می‌توان محصولات را از انبارها به خرده‌فروشی‌ها انتقال داد که انبار مربوطه احداث شود و دچار اختلال یا خرابی نشده و خرده‌فروشی مربوطه احداث‌شده باشد. کمتربودن میزان جریان محصولات از انبارها به هر خرده‌فروشی از ظرفیت نگهداری آن خرده‌فروشی در محدودیت ۲۱، آورده شده است. کمتربودن میزان جریان دریافتی توسط مشتریان از خرده‌فروشی‌ها از جریان محصولات از انبارها به خرده‌فروشی‌ها در محدودیت ۲۲، نشان داده شده است. تعادل موجودی در خرده‌فروشی‌ها و کمتربودن موجودی در هر خرده‌فروشی از ظرفیت نگهداری آن خرده‌فروشی در صورت احداث آن تسهیل به‌ترتیب در محدودیت‌های ۲۳ و ۲۴، نشان داده شده‌اند.

محدودیت ۲۵، تضمین می‌کند در صورتی یک منطقه مشتری می‌تواند از هر خرده‌فروشی محصول دریافت کند که در شعاع پوشش آن خرده‌فروشی قرار داشته و آن تسهیل احداث شده باشد. محدودیت ۲۶ نشان می‌دهد که تقاضای مناطق مشتریان به دو صورت عادی و یا تقاضای ازدست‌رفته خواهد بود. حداکثر تعداد انبارها و حداکثر تعداد خرده‌فروشی‌های قابل‌احداث به‌ترتیب در محدودیت‌های ۲۷ و ۲۸، آورده شده‌اند. محدودیت ۲۹، نشان می‌دهد در صورتی یک منطقه مشتری تحت پوشش یک خرده‌فروشی قرار می‌گیرد که در شعاع پوشش آن خرده‌فروشی قرار داشته و آن خرده‌فروشی احداث شده باشد. در پایان متغیرهای تصمیم مثبت و صفر و یک به‌ترتیب در محدودیت‌های ۳۰ و ۳۱، آورده شده‌اند.

خطی‌سازی و فازی‌زدایی. با توجه به غیرخطی‌بودن جزء اول تابع هدف دوم، یعنی $\max\left(Z_s - Z_s^*\right)$، با درنظرگرفتن متغیر مثبت ψ می‌توان این عبارت را به‌صورت رابطه ۳۲، خطی کرد.

$$\psi \geq Z_S - Z_S^* \quad \forall s \tag{۳۲}$$

برای تبدیل مدل غیرقطعی به قطعی از روش خیمنز استفاده شده است [۱۶]. حال فرض می‌شود که $\tilde{\xi}$ یک پارامتر فازی مثلثی به‌صورت $\left(\xi^o, \xi^m, \xi^p\right)$ و ξ^o، ξ^m و ξ^p به‌ترتیب سه نقطه خوشبینانه، محتمل و بدبینانه آن هستند. برای تبدیل مقادیر فازی تابع هدف از رابطه امید ریاضی $E\left(\tilde{\xi}\right) = \left(\xi^o + 2\xi^m + \xi^p\right)/4$ استفاده شده است؛ همچنین اگر α درجه فازی باشد برای تبدیل دو محدودیت $ax \leq \tilde{\xi}$ و $ax \geq \tilde{\xi}$ از روابط ۳۳ و ۳۴ و برای تبدیل محدودیت مساوی $ax = \tilde{\xi}$ از روابط ۳۵ و ۳۶، استفاده خواهد شد.

$$ax \leq \left[(1-\alpha)\left(\xi^m + \xi^p/2\right) + \alpha\left(\xi^o + \xi^m/2\right)\right] \tag{۳۳}$$

$$ax \geq \left[\alpha\left(\xi^m + \xi^p/2\right) + (1-\alpha)\left(\xi^o + \xi^m/2\right)\right] \tag{۳۴}$$

$$ax \geq \left[(\alpha/2)\left(\xi^m + \xi^p/2\right) + (1-\alpha/2)\left(\xi^o + \xi^m/2\right)\right] \tag{۳۵}$$

$$ax \leq \left[(1-\alpha/2)\left(\xi^m + \xi^p/2\right) + (\alpha/2)\left(\xi^o + \xi^m/2\right)\right] \tag{۳۶}$$

با توجه به روابط بالا روابط فازی، یعنی تابع هدف ۹ و محدودیت‌های ۱۲، ۱۴، ۱۸، ۲۱، ۲۴ و ۲۶، به‌ترتیب به‌صورت روابط قطعی، یعنی تابع هدف ۳۷ و محدودیت‌های ۳۹، ۴۰، ۴۱، ۴۳، ۴۷، ۵۰، ۵۳، ۵۵ و ۵۶، نوشته شده‌اند. سایر محدودیت‌ها نیز به‌دلیل نداشتن پارامتر فازی بدون تغییر آورده شده‌اند.

$$\begin{aligned}\min Z_1 = \eta\cdot\psi + (1-\eta)\cdot\Bigg(&\sum_s p_s\Bigg(\sum_i\sum_j\sum_t\left[\frac{a_{ij}^{(o)}+2a_{ij}^{(m)}+a_{ij}^{(p)}}{4}\right]r_{ijt}^s\\ &+\sum_i\sum_j\sum_k\sum_t\left[\frac{b_{jk}^{(o)}+2b_{jk}^{(m)}+b_{jk}^{(p)}}{4}\right]u_{ijkt}^s\\ &+\sum_i\sum_k\sum_t\left[\frac{c_{ik}^{(o)}+2c_{ik}^{(m)}+c_{ik}^{(p)}}{4}\right]qa_{ikt}^s\\ &+\sum_i\sum_k\sum_l\sum_t\left[\frac{f_{kl}^{(o)}+2f_{kl}^{(m)}+f_{kl}^{(p)}}{4}\right]w_{iklt}^s\\ &+\sum_i\sum_l\sum_t\left[\frac{h_{il}^{(o)}+2h_{il}^{(m)}+h_{il}^{(p)}}{4}\right]qb_{ilt}^s\\ &+\sum_i\sum_m\sum_t\left[\frac{\rho_i^{(o)}+2\rho_i^{(m)}+\rho_i^{(p)}}{4}\right]\theta_{imt}^s\Bigg)\\ &+\sum_k\left[\frac{e_k^{(o)}+2e_k^{(m)}+e_k^{(p)}}{4}\right]v_k\\ &+\sum_l\left[\frac{g_l^{(o)}+2g_l^{(m)}+g_l^{(p)}}{4}\right]x_l\Bigg)\end{aligned} \tag{۳۷}$$

$$\mathrm{Max}Z_2 = \sum_m\sum_t\sum_s p_s\delta_m\omega_{mt}^s \tag{۳۸}$$

$$\begin{aligned}Z_s^1 \ge &\sum_i\sum_j\sum_t\left[(\alpha/2)\left(a_{ij}^{(m)}+a_{ij}^{(p)}/2\right)+(1-\alpha/2)\left(a_{ij}^{(o)}+a_{ij}^{(m)}/2\right)\right]r_{ijt}^s\\ &+\sum_i\sum_j\sum_k\sum_t\left[(\alpha/2)\left(b_{jk}^{(m)}+b_{jk}^{(p)}/2\right)+(1-\alpha/2)\left(b_{jk}^{(o)}+b_{jk}^{(m)}/2\right)\right]u_{ijkt}^s\\ &+\sum_i\sum_k\sum_t\left[(\alpha/2)\left(c_{ik}^{(m)}+c_{ik}^{(p)}/2\right)+(1-\alpha/2)\left(c_{ik}^{(o)}+c_{ik}^{(m)}/2\right)\right]qa_{ikt}^s\\ &+\sum_i\sum_k\sum_l\sum_t\left[(\alpha/2)\left(f_{kl}^{(m)}+f_{kl}^{(p)}/2\right)+(1-\alpha/2)\left(f_{kl}^{(o)}+f_{kl}^{(m)}/2\right)\right]w_{iklt}^s\\ &+\sum_i\sum_l\sum_t\left[(\alpha/2)\left(h_{il}^{(m)}+h_{il}^{(p)}/2\right)+(1-\alpha/2)\left(h_{il}^{(o)}+h_{il}^{(m)}/2\right)\right]qb_{ilt}^s\\ &+\sum_i\sum_m\sum_t\left[(\alpha/2)\left(\rho_i^{(m)}+\rho_i^{(p)}/2\right)+(1-\alpha/2)\left(\rho_i^{(o)}+\rho_i^{(m)}/2\right)\right]\theta_{imt}^s\\ &+\sum_k\left[(\alpha/2)\left(e_k^{(m)}+e_k^{(p)}/2\right)+(1-\alpha/2)\left(e_k^{(o)}+e_k^{(m)}/2\right)\right]v_k\\ &+\sum_l\left[(\alpha/2)\left(g_l^{(m)}+g_l^{(p)}/2\right)+(1-\alpha/2)\left(g_l^{(o)}+g_l^{(m)}/2\right)\right]x_l \quad \forall s\end{aligned} \tag{۳۹}$$

$$
\begin{aligned}
Z_s^1 \le & \sum_i \sum_j \sum_t \left[(1-\alpha/2)\left(a_{ij}^{(m)} + a_{ij}^{(p)}/2\right) + (\alpha/2)\left(a_{ij}^{(o)} + a_{ij}^{(m)}/2\right) \right] r_{ijt}^s \\
& + \sum_i \sum_j \sum_k \sum_t \left[(1-\alpha/2)\left(b_{jk}^{(m)} + b_{jk}^{(p)}/2\right) + (\alpha/2)\left(b_{jk}^{(o)} + b_{jk}^{(m)}/2\right) \right] u_{ijkt}^s \\
& + \sum_i \sum_k \sum_t \left[(1-\alpha/2)\left(c_{ik}^{(m)} + c_{ik}^{(p)}/2\right) + (\alpha/2)\left(c_{ik}^{(o)} + c_{ik}^{(m)}/2\right) \right] qa_{ikt}^s \\
& + \sum_i \sum_k \sum_l \sum_t \left[(1-\alpha/2)\left(f_{kl}^{(m)} + f_{kl}^{(p)}/2\right) + (\alpha/2)\left(f_{kl}^{(o)} + f_{kl}^{(m)}/2\right) \right] w_{iklt}^s \\
& + \sum_i \sum_l \sum_t \left[(1-\alpha/2)\left(h_{il}^{(m)} + h_{il}^{(p)}/2\right) + (\alpha/2)\left(h_{il}^{(o)} + h_{il}^{(m)}/2\right) \right] qb_{ilt}^s \\
& + \sum_i \sum_m \sum_t \left[(1-\alpha/2)\left(\rho_i^{(m)} + \rho_i^{(p)}/2\right) + (\alpha/2)\left(\rho_i^{(o)} + \rho_i^{(m)}/2\right) \right] \theta_{imt}^s \\
& + \sum_k \left[(1-\alpha/2)\left(e_k^{(m)} + e_k^{(p)}/2\right) + (\alpha/2)\left(e_k^{(o)} + e_k^{(m)}/2\right) \right] v_k \\
& + \sum_l \left[(1-\alpha/2)\left(g_l^{(m)} + g_l^{(p)}/2\right) + (\alpha/2)\left(g_l^{(o)} + g_l^{(m)}/2\right) \right] x_l \qquad \forall s
\end{aligned} \tag{۴۰}
$$

$$r_{ijt}^s \le \left[(1-\alpha)\left(\pi_{ij}^{(m)} + \pi_{ij}^{(p)}/2\right) + \alpha\left(\pi_{ij}^{(o)} + \pi_{ij}^{(m)}/2\right) \right] \cdot \beta_{jt}^s \qquad \forall i, j, t, s \tag{۴۱}$$

$$r_{ijt}^s = \sum_k u_{ijkt}^s \qquad \forall i, j, t, s \tag{۴۲}$$

$$\sum_k u_{ijkt}^s \le \left[(1-\alpha)\left(\pi_{ij}^{(m)} + \pi_{ij}^{(p)}/2\right) + \alpha\left(\pi_{ij}^{(o)} + \pi_{ij}^{(m)}/2\right) \right] \qquad \forall i, j, t, s \tag{۴۳}$$

$$u_{ijkt}^s \le M \cdot \left(v_k \cdot \beta_{jt}^s \cdot \lambda_{kt}^s \right) \qquad \forall i, j, k, t, s \tag{۴۴}$$

$$\sum_l w_{iklt}^s \le \sum_j v_{ijkt}^s \qquad \forall i, k, t, s \tag{۴۵}$$

$$qa_{ikt}^s = qa_{ikt-1}^s + \sum_j u_{ijkt}^s - \sum_l w_{iklt}^s \qquad \forall i, k, t, s \tag{۴۶}$$

$$qa_{ikt}^s \le \left[(1-\alpha)\left(\chi_{ik}^{(m)} + \chi_{ik}^{(p)}/2\right) + \alpha\left(\chi_{ik}^{(o)} + \chi_{ik}^{(m)}/2\right) \right] \cdot v_k \cdot \lambda_{kt}^s \qquad \forall i, k, t, s \tag{۴۷}$$

$$w_{iklt}^s \le M \cdot \left(v_k \cdot \lambda_{kt}^s \right) \qquad \forall i, k, l, t, s \tag{۴۸}$$

$$w_{iklt}^s \le M \cdot \left(x_l \right) \qquad \forall i, k, l, t, s \tag{۴۹}$$

$$\sum_k w_{iklt}^s \le \left[(1-\alpha)\left(\phi_{il}^{(m)} + \phi_{il}^{(p)}/2\right) + \alpha\left(\phi_{il}^{(o)} + \phi_{il}^{(m)}/2\right) \right] \qquad \forall i, l, t, s \tag{۵۰}$$

$$\sum_m y_{ilmt}^s \le \sum_k w_{iklt}^s \qquad \forall i, l, t, s \tag{۵۱}$$

$$qb_{ilt}^s = qb_{ilt-1}^s + \sum_k w_{iklt}^s - \sum_m y_{ilmt}^s \qquad \forall i, l, t, s \tag{۵۲}$$

$$qb_{ilt}^s \le \left[(1-\alpha)\left(\phi_{il}^{(m)} + \phi_{il}^{(p)}/2\right) + \alpha\left(\phi_{il}^{(o)} + \phi_{il}^{(m)}/2\right) \right] \cdot x_l \qquad \forall i, l, t, s \tag{۵۳}$$

$$y^{s}_{ilmt} \le M \cdot \left(x_l \cdot o_{lm} \right) \qquad \forall i,l,m,t,s \tag{۵۴}$$

$$\sum_{l} y^{s}_{ilmt} + \theta^{s}_{imt} \ge \left[(\alpha/2)\left(d^{(m)}_{imt} + d^{(p)}_{imt}/2 \right) + (1-\alpha/2)\left(d^{(o)}_{imt} + d^{(m)}_{imt}/2 \right) \right] \quad \forall i,m,t,s \tag{۵۵}$$

$$\sum_{l} y^{s}_{ilmt} + \theta^{s}_{imt} \le \left[(1-\alpha/2)\left(d^{(m)}_{imt} + d^{(p)}_{imt}/2 \right) + (\alpha/2)\left(d^{(o)}_{imt} + d^{(m)}_{imt}/2 \right) \right] \quad \forall i,m,t,s \tag{۵۶}$$

$$\sum_{k} v_k \le N \tag{۵۷}$$

$$\sum_{l} x_l \le P \tag{۵۸}$$

$$\omega^{s}_{mt} \le \sum_{l} o_{lm} \cdot x_l \qquad \forall m,t,s \tag{۵۹}$$

$$r^{s}_{ijt}, u^{s}_{ijkt}, qa^{s}_{ikt}, w^{s}_{iklt}, qb^{s}_{ilt}, y^{s}_{ilmt}, \theta^{s}_{imt} \ge 0 \tag{۶۰}$$

$$w^{s}_{mt}, v_k, x_l \in \{0,1\} \tag{۶۱}$$

روش حل. روش محدودیت اپسیلون اصلاح‌شده یکی از رویکردهای شناخته‌شده برای مواجه با مسائل چندهدفه است که به انتقال تمامی توابع هدف، به جز یکی از آن‌ها در هر مرحله، به حل این نوع مسائل می‌پردازد. یکی از مزیت‌های عمده این روش نسبت به روش‌های دیگر تحت‌کنترل درآوردن تعداد جواب‌های تولیدشده و بازه‌ها با توجه به معیارهای‌تصمیم‌گیرنده و در نتیجه تولید جواب‌های پارتویی است. در این روش بر اساس بهترین تعادل جواب بین جواب‌های پارتویی بهینه، جواب بهینه توسط تصمیم‌گیرنده انتخاب می‌شود؛ بنابراین با توجه به اینکه در زنجیره تأمین فرآورده‌های نفتی تصمیم‌گیرندگان نقش مهمی را ایفا می‌کنند و نظرهای آن‌ها حائز اهمیت بسیار زیادی است؛ بنابراین از این روش استفاده شده است.

اگر تابع هدف ۱، و تابع هدف ۲، با Z_1 و Z_2نشان داده شوند، گام‌های این روش برای این مسئله به‌صورت زیر است:

۱. تابع هدف Z_1 با توجه به اهمیت بحث حداقل‌کردن هزینه‌ها در زنجیره تأمین تولید، به‌عنوان تابع هدف اصلی انتخاب می‌شود؛

۲. مسئله با توجه به تابع‌هدف Z_2 حل می‌شود و بیشترین و کمترین مقدار برای این تابع هدف به‌دست می‌آید؛

۳. تابع هدف Z_2 به‌صورت محدودیت ۶۲، در مدل نوشته می‌شود و مدل مسئله با تابع هدف اصلی حل می‌شود. بازه بین دو مقدار تابع‌هدف، به تعداد Ω قسمت تقسیم‌بندی می‌شود و یک جدول مقادیر با توجه به رابطه ۶۳، برای ε_μ به‌دست می‌آید؛

۴. هر بار مسئله با تابع هدف اصلی با هر یک از مقادیر ε_μ حل و جواب پارتویی گزارش داده‌شده و تصمیم‌گیرنده می‌تواند جواب بهینه بازه موردنظر را انتخاب کند [۴].

$$Z_2 \geq \varepsilon_\mu \qquad (۶۲)$$

$$\varepsilon_\mu = \min(Z_2) + \left(\frac{\max(Z_2) - \min(Z_2)}{\beta}\right)\mu \qquad (۶۳)$$

٤. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

در این بخش، یک مثال عددی با ابعاد نسبتاً بالا در نظر گرفته شده است. در این مثال ۴ نوع محصول، ۳ کارخانه تولیدی، ۵ انبار، ۱۰ خرده‌فروشی، ۶ منطقه مشتری، ۴ دوره زمانی و ۴ سناریو در نظر گرفته شده است. همان‌طور که گفته شد عدد فازی ذوزنقه‌ای $\tilde{\xi}$ به‌صورت (ξ^o, ξ^m, ξ^p) نشان داده می‌شود؛ بنابراین پارامترهای فازی این مثال به‌صورت جدول ۲، است. یادآوری این نکته لازم است که واحد هزینه‌های حمل و نگهداری به‌صورت تومأن بوده و به‌ازای هر واحد محصول است؛ همچنین واحد ظرفیت تسهیلات مختلف نیز به‌ازای هر واحد محصول است.

جدول ۲. مقادیر پارامترهای فازی مسئله

پارامتر فازی	مقدار	پارامتر فازی	مقدار
$\tilde{a}_{ij}$	(۱۰۰۰،۲۵۰۰،۴۰۰۰)	$\tilde{b}_{jk}$	(۱۲۵ ،۱۶۲/۵ ،۲۰۰)
$\tilde{c}_{ik}$	(۵۰۶۵۸۰)	$\tilde{e}_k$	(۱۰۰/۰۰۰/۰۰۰ ،۲۵۰/۰۰۰/۰۰۰ ،۴۰۰/۰۰۰/۰۰۰)
$\tilde{f}_{kl}$	(۱۲۵ ،۱۶۲/۵ ،۲۰۰)	$\tilde{g}_l$	(۵۰/۰۰۰/۰۰۰ ،۱۲۵/۰۰۰/۰۰۰ ،۲۰۰/۰۰۰/۰۰۰)
$\tilde{h}_{il}$	(۵۰۶۵۸۰)	$\tilde{\rho}_i$	(۲۰/۰۰۰ ،۲۵/۰۰۰ ،۳۰/۰۰۰)
$\tilde{d}_{imt}$	(۸۰۰ ،۹۰۰ ،۱۰۰۰)	$\tilde{\pi}_{ij}$	(۲/۵۰۰ ،۳/۰۰۰ ،۳/۵۰۰)
$\tilde{\chi}_{ik}$	(۱/۰۰۰ ،۱/۱۰۰ ،۱/۲۰۰)	$\tilde{\phi}_{il}$	(۹۰۰ ،۱/۰۰۰ ،۱/۱۰۰)
N	۵	P	۱۰

جمعیت متقاضی مناطق مشتریان (δ_m) نیز به‌صورت تابع توزیع یکنواخت بین ۲۰۰/۰۰۰ تا ۴۰۰/۰۰۰ در نظر گرفته شده است. پارامتر پوشش مناطق مشتریان توسط خرده‌فروشی‌ها در جدول ۳، آورده شده است.

جدول ۳. پارامتر پوشش مناطق مشتریان توسط خرده‌فروشی‌ها (o_{lm})

l \ m	۱	۲	۳	۴	۵	۶	l \ m	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۶	۱	۱	۰	۱	۱	۱
۲	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۷	۱	۱	۱	۰	۱	۰
۳	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۸	۰	۰	۱	۱	۱	۱
۴	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۹	۱	۱	۰	۰	۰	۰
۵	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۱۰	۰	۰	۱	۱	۰	۱

پارامترهای اختلال کارخانه‌های تولیدی و انبارها در هر دوره و هر سناریو در جدول‌های ۴ و ۵، آورده شده است.

جدول ۴. پارامتر اختلال کارخانه‌های تولیدی در دوره t تحت سناریو s (β^s_{jt})

j.t \ s	۱	۲	۳	۴	j.t \ s	۱	۲	۳	۴
۱.۱	۱	۱	۱	۱	۲.۳	۱	۱	۰	۱
۱.۲	۱	۰	۱	۱	۲.۴	۱	۱	۱	۱
۱.۳	۱	۱	۱	۰	۳.۱	۱	۰	۱	۱
۱.۴	۱	۱	۰	۱	۳.۲	۱	۱	۱	۰
۲.۱	۰	۱	۱	۱	۳.۳	۱	۱	۱	۱
۲.۲	۱	۱	۱	۱	۳.۴	۰	۱	۱	۰

جدول ۵. پارامتر اختلال انبارها در دوره t تحت سناریو s (λ^s_{jt})

k.t \ s	۱	۲	۳	۴	k.t \ s	۱	۲	۳	۴
۱.۱	۱	۰	۱	۱	۳.۳	۱	۱	۰	۱
۱.۲	۰	۱	۱	۱	۳.۴	۰	۰	۱	۰
۱.۳	۱	۱	۱	۱	۴.۱	۱	۱	۱	۱
۱.۴	۰	۰	۱	۱	۴.۲	۱	۰	۰	۱
۲.۱	۱	۱	۰	۱	۴.۳	۱	۱	۱	۰
۲.۲	۰	۱	۱	۰	۴.۴	۱	۱	۱	۱
۲.۳	۱	۱	۱	۱	۵.۱	۱	۱	۰	۰
۲.۴	۰	۰	۱	۰	۵.۲	۰	۰	۱	۱
۳.۱	۱	۰	۰	۱	۵.۳	۱	۱	۱	۱
۳.۲	۰	۱	۱	۰	۵.۴	۰	۱	۱	۱

احتمال وقوع سناریوها (p_s) با یکدیگر برابر و برای هر سناریو ۰/۲۵ در نظر گرفته شده است؛ سپس مسئله با استفاده از روش محدودیت اپسیلون اصلاح شده در نرم‌افزار GAMS با

حل‌کننده CPLEX 24.1 در حالات مختلف حل شده است. تابع هدف نخست، یعنی حداقل‌کردن هزینه‌ها به‌عنوان تابع هدف اصلی و تابع هدف دوم، یعنی حداکثرکردن پوشش مناطق مشتریان به عنوان تابع هدف فرعی در نظر گرفته شده‌اند. برای تابع هدف دوم، بازه ۵ ($\beta =$ ۵) در نظر گرفته شده که با توجه به محدودیت فضا، فقط بازه‌های ۳ و ۴ ($\mu =$ ۳، ۴) آورده شده است. حال مسئله به‌ازای مفروضات بالا و مقادیر α، μ/β و η مختلف حل شده و نتایج در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶. مقادیر توابع هدف ازای مقادیر α و μ/β مختلف

α	μ/β	η	تابع هدف اصلی	تابع هدف فرعی
۰/۶	۰/۶	۰/۲	۱۲۰۹۸۲۰۸۰۰	۳۱۲۲۰۳۹۰
		۰/۵	۷۸۳۴۳۲۰۰۰	۳۱۲۲۰۳۹۰
		۰/۸	۳۵۷۰۴۳۲۰۰	۳۱۲۲۰۳۹۰
	۰/۸	۰/۲	۱۲۰۹۸۲۰۸۰۰	۳۱۶۷۹۷۱۰
		۰/۵	۷۸۳۴۳۲۰۰۰	۳۱۶۷۹۷۱۰
		۰/۸	۳۵۷۰۴۳۲۰۰	۳۱۶۷۹۷۱۰
۰/۹	۰/۶	۰/۲	۱۲۳۶۴۰۳۲۰۰	۲۹۵۱۸۶۷۰
		۰/۵	۸۴۹۸۸۸۰۰۰	۲۹۵۱۸۶۷۰
		۰/۸	۴۶۳۳۷۲۸۰۰	۲۹۵۱۸۶۷۰
	۰/۸	۰/۲	۱۲۳۶۴۰۳۲۰۰	۳۰۲۵۰۱۶۰
		۰/۵	۸۴۹۸۸۸۰۰۰	۳۰۲۵۰۱۶۰
		۰/۸	۴۶۳۳۷۲۸۰۰	۳۰۲۵۰۱۶۰

با توجه به جدول ۶، هر چقدر α افزایش یابد، درجه سخت‌گیری بیشتر می‌شود و مقدار تابع هدف اصلی (حداقل‌کردن هزینه) افزایش و مقدار تابع هدف فرعی (حداکثرکردن پوشش) کاهش پیدا می‌کند؛ همچنین با افزایش μ/β مقدار تابع هدف فرعی افزایش می‌یابد و به‌دلیل اینکه این افزایش بر تابع هدف اصلی تأثیری ندارد، مقدار این تابع هدف تغییری نمی‌کند. علاوه بر این هر چقدر η زیاد شود درجه سخت‌گیری تابع هدف اول کمتر می‌شود و مقدار تابع هدف اصلی کاهش می‌یابد.

به‌دلیل اینکه این پارامتر فقط در تابع هدف اصلی وجود دارد، افزایش آن تأثیری در مقدار تابع هدف اصلی ندارد. حال یک حالت از جدول ۶، به تصادف انتخاب شده و مقادیر متغیرهای تصمیم مسئله در این حالت آورده می‌شود.

حالت ۹ جدول ۶ ($\alpha = ۰/۹$، $\mu/\beta = ۰/۶$ و $\eta = ۰/۸$) برای این امر انتخاب شده است؛ بنابراین مقدار متغیر تولید محصولات در کارخانه‌های تولیدی در دوره اول و هر سناریو (r^s_{ijt}) بعد از حل مسئله در حالت یادشده در جدول ۷، آورده شده است.

جدول ۷. متغیر تولید محصولات در کارخانه‌های تولیدی در هر دوره و هر سناریو در حالت یادشده (r^s_{ijt})

s / i.j.t	۱	۲	۳	۴	s / i.j.t	۱	۲	۳	۴	s / i.j.t	۱	۲	۳	۴
۱.۱.۱	۲۸۰۰	۲۶۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲.۲.۱	۰	۲۶۰۰	۲۶۰۰	۲۸۰۰	۳.۳.۱	۲۸۰۰	۰	۲۶۰۰	۲۸۰۰
۱.۲.۱	۰	۲۸۰۰	۲۶۰۰	۰	۲.۳.۱	۲۸۰۰	۰	۲۸۰۰	۰	۴.۱.۱	۲۶۰۰	۲۶۰۰	۲۶۰۰	۲۸۰۰
۱.۳.۱	۲۶۰۰	۰	۰	۲۶۰۰	۳.۱.۱	۲۶۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۱۷۶۰	۴.۲.۱	۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲۶۰۰
۲.۱.۱	۲۶۰۰	۲۸۰۰	۰	۲۶۰۰	۳.۲.۱	۰	۲۶۰۰	۰	۸۴۰	۴.۳.۱	۲۸۰۰	۰	۰	۰

متغیر میزان حمل محصولات از کارخانه‌ها به انبارها در دوره اول و هر سناریو (u^s_{ijkt}) در حالت فوق‌الذکر ($\alpha = ۰/۹$، $\mu/\beta = ۰/۶$ و $\eta = ۰/۸$) در جدول ۸، آورده شده است.

جدول ۸. متغیر میزان حمل محصولات از کارخانه‌های تولیدی به انبارها در دوره اول و سناریو در حالت یادشده (u^s_{ijkt})

s / i.j.k	۱	۲	۳	۴	s / i.j.k	۱	۲	۳	۴	s / i.j.k	۱	۲	۳	۴
۱.۱.۲	۲۸۰۰	۰	۰	۲۲۰۰	۲.۲.۲	۰	۰	۰	۲۲۰۰	۳.۳.۲	۲۸۰۰	۰	۰	۲۸۰۰
۱.۱.۴	۰	۲۶۰۰	۲۸۰۰	۶۰۰	۲.۲.۴	۰	۲۶۰۰	۲۶۰۰	۶۰۰	۳.۳.۴	۰	۰	۲۶۰۰	۰
۱.۲.۲	۰	۲۶۰۰	۲۶۰۰	۰	۲.۳.۲	۲۲۰۰	۰	۰	۰	۴.۱.۲	۲۶۰۰	۰	۰	۲۲۰۰
۱.۲.۴	۰	۱۲۴۰	۲۶۰۰	۰	۲.۳.۴	۶۰۰	۰	۲۸۰۰	۰	۴.۱.۴	۰	۲۶۰۰	۲۶۰۰	۶۰۰
۱.۳.۲	۲۶۰۰	۰	۰	۲۶۰۰	۳.۱.۲	۱۷۶۰	۰	۰	۱۷۶۰	۴.۲.۲	۰	۶۰۰	۰	۲۶۰۰
۲.۱.۲	۲۶۰۰	۱۵۶۰	۰	۲۶۰۰	۳.۱.۴	۸۴۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۰	۴.۲.۴	۰	۲۲۰۰	۲۸۰۰	۰
۲.۱.۴	۰	۱۲۴۰	۰	۰	۳.۲.۴	۰	۲۶۰۰	۰	۸۴۰	۴.۳.۲	۲۸۰۰	۰	۰	۰

همچنین حالت احداث انبارها (v_k) و خرده فروشی‌ها (x_l) در حالت مذکور در جدول ۹، نشان داده شده است.

جدول ۹. حالت احداث انبارها (v_k) و خرده‌فروشی‌ها (x_l)

نام تسهیل	مکان‌های انتخابی برای احداث
انبار	۲، ۴
خرده فروشی	۲، ۳، ۴، ۶، ۷، ۱۰

مقدار حمل محصولات از انبارها به خرده‌فروشی‌ها در دوره اول و هر سناریو در حالت یاشده در جدول ۱۰، آورده شده است.

جدول ۱۰. متغیر میزان حمل محصولات از انبارها به خرده‌فروشی‌ها در دوره اول و هر سناریو در حالت یادشده (w^{s}_{iklt})

s / i.k.l	۱	۲	۳	۴	s / i.k.l	۱	۲	۳	۴	s / i.k.l	۱	۲	۳	۴
۱.۲.۲	۹۶۰	۶۰۰	۰	۹۶۰	۲.۲.۷	۹۶۰	۰	۰	۰	۳.۴.۶	۰	۹۶۰	۹۶۰	۰
۱.۲.۳	۹۶۰	۹۶۰	۰	۹۶۰	۲.۲.۱۰	۹۶۰	۹۶۰	۰	۹۶۰	۳.۴.۷	۰	۶۰۰	۹۶۰	۰
۱.۲.۴	۹۶۰	۰	۰	۹۶۰	۲.۴.۲	۰	۹۶۰	۹۶۰	۰	۳.۴.۱۰	۰	۹۶۰	۶۰۰	۰
۱.۲.۶	۹۶۰	۰	۰	۹۶۰	۲.۴.۳	۶۰۰	۰	۹۶۰	۰	۴.۲.۲	۶۰۰	۶۰۰	۰	۰
۱.۲.۷	۶۰۰	۰	۰	۹۶۰	۲.۴.۴	۰	۹۶۰	۶۶۰	۰	۴.۲.۳	۹۶۰	۰	۰	۹۶۰
۱.۲.۱۰	۹۶۰	۰	۰	۰	۲.۴.۶	۰	۹۶۰	۹۶۰	۰	۴.۲.۴	۹۶۰	۰	۰	۹۶۰
۱.۴.۲	۰	۰	۶۰۰	۰	۲.۴.۷	۰	۹۶۰	۹۶۰	۶۰۰	۴.۲.۶	۹۶۰	۰	۰	۹۶۰
۱.۴.۳	۰	۰	۹۶۰	۰	۲.۴.۱۰	۰	۰	۹۰۰	۰	۴.۲.۷	۹۶۰	۰	۰	۹۶۰
۱.۴.۴	۰	۹۶۰	۹۶۰	۰	۳.۲.۲	۹۶۰	۰	۰	۹۶۰	۴.۲.۱۰	۹۶۰	۰	۰	۹۶۰
۱.۴.۶	۰	۹۶۰	۹۶۰	۰	۳.۲.۴	۹۶۰	۰	۰	۹۶۰	۴.۴.۲	۰	۰	۹۶۰	۶۰۰
۱.۴.۷	۰	۹۶۰	۹۶۰	۰	۳.۲.۶	۷۲۰	۰	۰	۹۶۰	۴.۴.۳	۰	۹۶۰	۹۶۰	۰
۱.۴.۱۰	۰	۹۶۰	۹۶۰	۶۰۰	۳.۲.۷	۹۶۰	۰	۰	۷۲۰	۴.۴.۴	۰	۹۶۰	۹۶۰	۰
۲.۲.۲	۹۶۰	۰	۰	۹۶۰	۳.۲.۱۰	۹۶۰	۰	۰	۹۶۰	۴.۴.۶	۰	۹۶۰	۹۶۰	۰
۲.۲.۳	۰	۶۰۰	۰	۹۶۰	۳.۴.۲	۰	۹۶۰	۹۶۰	۰	۴.۴.۷	۰	۹۶۰	۶۰۰	۰
۲.۲.۴	۹۶۰	۰	۰	۹۶۰	۳.۴.۳	۸۴۰	۹۶۰	۹۶۰	۸۴۰	۴.۴.۱۰	۰	۹۶۰	۹۶۰	۰
۲.۲.۶	۹۶۰	۰	۰	۹۶۰	۳.۴.۴	۰	۹۶۰	۹۶۰	۰					

در پایان مقدار محصولات دریافت‌شده توسط مشتریان از خرده‌فروشی‌ها در دوره اول و هر سناریو در حالت یادشده در جدول ۱۱، آورده شده است.

جدول ۱۱. متغیر میزان محصولات دریافت‌شده توسط مشتریان از خرده‌فروشی‌ها در دوره اول و هر سناریو در حالت یاد شده (y^{s}_{ilmt})

s / i.k.l	۱	۲	۳	۴	s / i.k.l	۱	۲	۳	۴	s / i.k.l	۱	۲	۳	۴
۱.۲.۲	۹۰۰	۰	۶۰۰	۰	۲.۴.۳	۸۴۰	۰	۰	۲۴۰	۳.۷.۱	۶۰	۶۰۰	۹۰۰	۰
۱.۲.۴	۶۰	۰	۰	۹۰۰	۲.۴.۴	۱۲۰	۶۰	۶۶۰	۷۲۰	۳.۷.۲	۹۰۰	۰	۶۰	۷۲۰
۱.۲.۵	۰	۶۰۰	۰	۶۰	۲.۴.۵	۰	۹۰۰	۰	۰	۳.۱۰.۳	۶۰	۱۲۰	۰	۶۰
۱.۳.۱	۳۰۰	۰	۸۴۰	۹۰۰	۲.۶.۱	۳۰۰	۳۰۰	۰	۰	۳.۱۰.۶	۹۰۰	۸۴۰	۶۰۰	۹۰۰
۱.۳.۲	۰	۹۰۰	۰	۶۰	۲.۶.۲	۰	۶۶۰	۹۰۰	۶۰	۴.۲.۲	۰	۰	۷۸۰	۰
۱.۳.۳	۶۶۰	۶۰	۱۲۰	۰	۲.۶.۴	۶۶۰	۰	۰	۰	۴.۲.۴	۶۰۰	۶۰۰	۰	۶۰۰
۱.۴.۳	۱۲۰	۰	۶۰	۱۲۰	۲.۶.۵	۰	۰	۶۰	۹۰۰	۴.۲.۵	۰	۰	۱۸۰	۰
۱.۴.۴	۰	۸۴۰	۹۰۰	۰	۲.۷.۲	۰	۱۲۰	۰	۰	۴.۳.۱	۶۰	۰	۰	۰
۱.۴.۵	۸۴۰	۱۲۰	۰	۸۴۰	۲.۷.۳	۶۰	۸۴۰	۸۴۰	۶۰۰	۴.۳.۲	۰	۹۰۰	۶۰	۷۲۰
۱.۶.۱	۰	۹۰۰	۰	۰	۲.۷.۵	۹۰۰	۰	۱۲۰	۰	۴.۳.۳	۰	۶۰	۹۰۰	۰
۱.۶.۲	۰	۰	۳۰۰	۶۶۰	۲.۱۰.۳	۰	۶۰	۰	۰	۴.۳.۶	۹۰۰	۰	۰	۲۴۰
۱.۶.۴	۰	۶۰	۰	۰	۲.۱۰.۴	۶۰	۰	۰	۶۰	۴.۴.۳	۰	۶۰	۰	۶۰
۱.۶.۵	۶۰	۰	۰	۰	۲.۱۰.۶	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۴.۴.۴	۶۰	۰	۸۴۰	۰
۱.۶.۶	۹۰۰	۰	۶۶۰	۳۰۰	۳.۲.۲	۰	۰	۸۴۰	۱۸۰	۴.۴.۵	۹۰۰	۹۰۰	۱۲۰	۹۰۰
۱.۷.۱	۶۰۰	۰	۶۰	۰	۳.۲.۴	۹۰۰	۹۰۰	۱۲۰	۰	۴.۶.۱	۸۴۰	۶۶۰	۹۰۰	۷۸۰
۱.۷.۲	۰	۰	۰	۱۸۰	۳.۲.۵	۶۰	۶۰	۰	۰	۴.۶.۲	۱۲۰	۰	۶۰	۱۸۰
۱.۷.۳	۰	۷۸۰	۰	۷۸۰	۳.۳.۱	۸۴۰	۰	۰	۰	۴.۶.۴	۰	۳۰۰	۰	۰
۱.۷.۵	۰	۱۸۰	۹۰۰	۰	۳.۳.۲	۰	۹۰۰	۰	۰	۴.۷.۱	۰	۲۴۰	۰	۱۲۰
۱.۱۰.۳	۱۲۰	۶۰	۷۲۰	۰	۳.۳.۳	۰	۰	۶۶۰	۸۴۰	۴.۷.۲	۷۸۰	۰	۰	۰
۱.۱۰.۴	۸۴۰	۰	۰	۰	۳.۳.۶	۰	۶۰	۳۰۰	۰	۴.۷.۳	۱۸۰	۷۲۰	۰	۸۴۰
۱.۱۰.۶	۰	۹۰۰	۲۴۰	۶۰۰	۳.۴.۳	۸۴۰	۷۸۰	۲۴۰	۰	۴.۷.۵	۰	۰	۶۰۰	۰
۲.۲.۲	۹۰۰	۱۲۰	۰	۸۴۰	۳.۴.۴	۰	۰	۰	۸۴۰	۴.۱۰.۳	۷۲۰	۶۰	۰	۰
۲.۲.۴	۶۰	۸۴۰	۲۴۰	۱۲۰	۳.۴.۵	۱۲۰	۱۸۰	۷۲۰	۱۲۰	۴.۱۰.۴	۲۴۰	۰	۶۰	۳۰۰
۲.۲.۵	۰	۰	۷۲۰	۰	۳.۶.۱	۰	۳۰۰	۰	۹۰۰	۴.۱۰.۶	۰	۹۰۰	۹۰۰	۶۶۰
۲.۳.۱	۶۰۰	۶۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۳.۶.۴	۰	۰	۷۸۰	۶۰					
۲.۳.۳	۰	۰	۶۰	۶۰	۳.۶.۵	۷۲۰	۶۶۰	۱۸۰	۰					

مقدار متغیر تقاضای ازدست‌رفته در تمامی دوره‌ها و سناریوها (θ^{S}_{imt}) نیز برابر صفر است.

در ادامه با درنظرگرفتن همان حالت قسمت قبل (حالت ۹ جدول ۶، یعنی $\alpha = ۰/۹$، ۰/۶ $= \mu/\beta$ و $\eta = ۰/۸$) تحلیل حساسیت روی برخی پارامترهای مهم انجام شده است. ابتدا با کم‌کردن ظرفیت تولید کارخانه‌ها ($\tilde{\pi}_{ij}$) و بررسی تأثیر آن بر متغیر تقاضای ازدست‌رفته مناطق مشتریان، ظرفیت مناسب تولید در جدول ۱۲، نشان داده شده است.

جدول ۱۲. کاهش ظرفیت تولید کارخانه‌ها ($\tilde{\pi}_{ij}$) و بررسی تأثیر آن بر تقاضای ازدست‌رفته مناطق مشتریان (θ^{S}_{imt})

ظرفیت تولید کارخانه‌ها ($\tilde{n}_j$)	تقاضای ازدست‌رفته وجود دارد	
	بله	خیر
(۲/۵۰۰ ،۳/۰۰۰ ،۳/۵۰۰)		*
(۲/۴۰۰ ،۲/۹۰۰ ،۳/۴۰۰)		*
(۲/۳۵۰ ،۲/۸۵۰ ،۳/۳۵۰)	*	
(۲/۳۰۰ ،۲/۸۰۰ ،۳/۳۰۰)	*	

با توجه به جدول ۱۲، حداقل ظرفیت تولید قابل‌قبول کارخانه‌ها برای جلوگیری از به‌وجودآمدن تقاضای ازدست‌رفته مناطق مشتریان برابر ۳/۴۰۰، ۲/۹۰۰ و ۲/۴۰۰ است. علاوه بر این با کاهش ظرفیت‌های نگهداری محصولات در انبارها و خرده‌فروشی‌ها در حالت یادشده و تأثیر آن‌ها بر تقاضای ازدست رفته مناطق مشتریان در جدول ۱۳، نشان داده شده است.

جدول ۱۳. کاهش ظرفیت نگهداری انبارها ($\tilde{\chi}_{ik}$) و خرده‌فروشی‌ها ($\tilde{\phi}_{il}$) و بررسی تأثیر آن بر تقاضای ازدست‌رفته مناطق مشتریان (θ^{S}_{imt})

ظرفیت نگهداری انبارها ($\tilde{\chi}_{ik}$)	تقاضای از دست رفته وجود دارد		ظرفیت نگهداری خرده‌فروشی‌ها ($\tilde{\phi}_{il}$)	تقاضای ازدست‌رفته وجود دارد	
	بله	خیر		بله	خیر
(۱/۰۰۰ ،۱/۱۰۰ ،۱/۲۰۰)		*	(۹۰۰ ،۱/۰۰۰ ،۱/۱۰۰)		*
(۹۰۰ ،۱/۰۰۰ ،۱/۱۰۰)		*	(۸۸۰ ،۹۸۰ ،۱/۰۸۰)		*
(۸۵۰ ،۸۵۰ ،۱/۰۵۰)	*		(۸۶۰ ،۹۶۰ ،۱/۰۶۰)		*
(۸۰۰ ،۹۰۰ ،۱/۰۰۰)	*		(۸۴۰ ،۹۴۰ ،۱/۰۴۰)		*
			(۸۳۰ ،۹۳۰ ،۱/۰۳۰)	*	

با توجه به جدول ۱۳، حداقل ظرفیت قابل‌قبول برای انبارها ($\tilde{\chi}_{ik}$) برابر و برای خرده-فروشی‌ها ($\tilde{\phi}_{il}$) برابر است؛ همچنین با کاهش حداکثر تعداد انبارها و خرده‌فروشی‌های قابل-احداث در حالت یاشده و تأثیر آن‌ها بر تقاضای ازدست‌رفته مناطق مشتریان، حداقل قابل‌قبول این تسهلات در جدول ۱۴، نشان داده شده است.

جدول ۱۴. کاهش حداکثر تعداد انبارها (N) و خرده‌فروشی‌ها (P) قابل‌احداث و تأثیر آن‌ها بر تقاضای ازدست‌رفته مناطق مشتریان

تقاضای ازدست‌رفته مناطق مشتریان وجود دارد		حداکثر خرده فروشی‌های قابل احداث (P)	تقاضای ازدست‌رفته مناطق مشتریان وجود دارد		حداکثر تعداد انبارهای قابل‌احداث (N)
خیر	بله		خیر	بله	
*		۱۰	*		۵
*		۶	*		۲
	*	۵		*	۱

بنابراین حداقل تعداد انبارها و خرده‌فروشی‌های قابل‌احداث به‌گونه‌ای که تقاضای ازدست‌رفته مناطق مشتریان وجود نداشته باشد به‌ترتیب برابر ۲ و ۶ است که پس از حل مدل نیز به‌دلیل تابع هدف حداقل‌کردن هزینه‌ها این تعداد به‌دست آمده بود.

۵. نتیجه گیری و پیشنهادها

در این پژوهش، یک زنجیره تأمین تولید شامل کارخانه‌های تولیدی، انبارها، خرده‌فروشی‌ها و مناطق مشتریان ارائه شد و با ارائه یک مدل جامع بر پایه اهداف حداقل‌کردن هزینه و حداکثرکردن پوشش مناطق مشتریان، تصمیم‌هایی در خصوص میزان تولید محصولات، میزان حمل‌ونقل محصولات بین سطوح مختلف، مقدار نگهداری محصولات در انبارها و خرده‌فروشی‌ها، نحوه احداث انبارها و خرده‌فروشی‌ها، تقاضای ازدست‌رفته مناطق مشتریان و نحوه پوشش این مناطق اتخاذ شد. مدل به‌صورت چنددوره‌ای، دومرحله‌ای و مبتنی بر سناریو با درنظرگرفتن اختلال در کارخانه‌ها و انبارها است. ساختار مدل به گونه‌ای طراحی شد که در ابتدا در خصوص مکان‌یابی انبارها و خرده‌فروشی‌ها و در مرحله دوم در خصوص مقدار حمل‌ونقل محصولات بین سطوح مختلف، میزان نگهداری آن در انبارها و خرده‌فروشی‌ها، مقدار دریافت محصولات توسط مناطق مشتریان از خرده‌فروشان و نحوه پوشش مناطق مشتریان توسط خرده‌فروشی‌ها با توجه به اختلالات رخداده در کارخانه‌ها و انبارها تصمیم‌گیری می‌شود؛ همچنین برای نزدیک‌ترشدن به فضای واقعیت و درنظرگرفتن عدم‌قطعیت از برنامه‌ریز فازی

استفاده شد. امکان اختلال یا وقوع بحران در کارخانه‌های تولیدی و انبارها نیز توسط برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو لحاظ شد. درنهایت از روش حل محدودیت اپسیلون اصلاح‌شده برای حل مسئله استفاده شد و پس از استخراج نتایج محاسباتی، تحلیل حساسیت‌های متفاوتی انجام شد. حل مسئله با استفاده از روش محدودیت اپسیلون اصلاح‌شده در «نرم‌افزار گمز با حل‌کننده سیپلکس» در حالات مختلف انجام شد. تابع هدف نخستی، یعنی حداقل‌کردن هزینه‌ها به‌عنوان تابع هدف اصلی و تابع هدف دوم، یعنی حداکثرکردن پوشش مناطق مشتریان به‌عنوان تابع هدف فرعی در نظر گرفته شد. برای تابع هدف دوم ۵ بازه ($\beta=$۵) در نظر گرفته شده که با توجه به محدودیت فضا فقط بازه‌های ۳ و ۴ ($\mu=$۳، ۴) آورده شده است. مسئله به‌ازای مفروضات بالا و مقادیر α، μ/β و η مختلف حل شد. ازآنجاکه اهمیت نظر تصمیم‌گیرندگان و مدیران سطوح بالا در زنجیره تأمین تولید بسیار زیاد است و در برنامه‌ریزی برای این زنجیره تأثیر بسزایی دارد، در این پژوهش نظر این افراد نیز در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه کمبود یا افزایش بیش از حد تولید ممکن است ضررهای جبران‌ناپذیری از جمله ورشکستگی تولیدکنندگان را به همراه داشته باشد، منطقی است که تصمیم‌گیرندگان و مدیران بیشتر ریسک‌گریز باشند و در نتیجه مقادیر α و μ/β بیشتر برای آن‌ها مطلوب‌تر خواهد بود.

بر اساس این پژوهش مکان خرده‌فروشی‌های موردنظر باید به گونه‌ای تعیین شود که حداکثر پوشش نیاز مناطق مشتریان را به همراه داشته باشد. در پایان برای پژوهش‌های آتی این موضوعات زیر می‌تواند جذاب باشد:

۱) طراحی یک سیستم نرم‌افزاری یکپارچه بین کارخانه‌های تولیدی، انبارها و خرده‌فروشی‌ها به‌گونه‌ای که کارخانه‌ها در هر زمان از موجودی انبارها و خرده‌فروشی‌ها اطلاع داشته باشند. این سیستم باعث خواهد شد که در شرایط بروز تقاضای ناگهانی یا وقوع اختلال یا بحران بتوان به‌صورت مناسب نیاز مشتریان را برآورده کرد. یکی دیگر از فواید این سیستم این است که از تولید بیشتر یا کمتر از حد موردنیاز که باعث ضرر می‌شود، جلوگیری کند؛

۲) لحاظ‌کردن مشتریان خارجی و بررسی نحوه ارتباط با آن‌ها؛

۳) درنظرگرفتن امکان انتقال بین سطوح زنجیره توسط وسایل نقلیه و در نتیجه مسیریابی این وسایل.

منابع

1. Adeli, M., & Zandieh, M. (2013). Presenting a simulation of optimization multiobjective approach for sourcing model and decision of integrating inventories. *Journal of Industrial Management Perspec*tive, *11,* 89-110 (In Persian).

2. Aghezzaf, E.H. , Sitompul, C. , & Najid, N. M. (2010). Models for robust tactical planning in multi-stage production systems with uncertain demands. *Computers & Operations Research*, *37,* 880-889.

3. Alizadeh, M. , Mahdavi, I. , Mahdavi-Amiri, N. , & Shiripour, S. (2015). A capacitated location-allocation problem with stochastic demands using sub-sources: An empirical study. *Applied Soft Computing*, *34,* 551-571.

4. Ara , A. L. , Kazemi, A. , Gahramani, S. , & Behshad, M. (2012). Optimal reactive power flow using multi-objective mathematical programming. *Scientia Iranica*, *19,* 1829-1836.

5. Avriel, M. (1980). A geometric programming approach to the solution of location problems. *Journal of Regional Science*, *20,* 239-246.

6. Berman, O., Krass, D., & Menezes, V. (2007). Facility reliability issues in network p-median problems: strategic centralization and co-location effects. *Operations Research*, *55,* 332-350.

7. Canel, C., & Das, S. R. (2002). Modeling global facility location decisions: integrating marketing and manufacturing decisions. *Industrial Management & Data Systems*, *102,* 110-118.

8. Chopra, S. & Meindl, P. (2007). Supply chain management. Strategy, planning & operation. *Das summa summarum des management*, 265-275.

9. Cooper, L. (1963). Location-allocation problems. *Operations research, 11*, 331-343.

10. Daskin, M. S., Snyder, L. V., & Berger, R. T. (2005). Facility location in supply chain design. *Logistics systems: Design and optimization*, 39-65.

11. Erengüç, Ş. S., Simpson, N. C. & Vakharia, A. J. (1999). Integrated production/distribution planning in supply chains: An invited review. *European journal of operational research, 115,* 219-236.

12. Forghani, A. & Pourebrahim, A. (2008).Industrial center location problemes. *Tadbir*, 49-52 (In Persian).

13. Hajipour, V., Rahmati, S. H. A. , Pasandideh, S. H. R. , & Niaki, S. T. A. (2014). A multi-objective harmony search algorithm to optimize multi-server location–allocation problem in congested systems. *Computers & Industrial Engineering*, *72*, 87-197.

14. Hosseininezhad, S. J., Jabalameli, M. S., & Naini, S. G. J. (2014). A fuzzy algorithm for continuous capacitated location allocation model with risk consideration. Applied Mathematical Modelling, *38*, 983-1000.

15. Jabalameli, M.S. & Ghaderi, A. (2005) Solving large-scale location-allocation problems using a mixed-neighborhood search algorithm. *Second International Logistics Conference*, *Iran(Tehran)*(In Persian).

16. Jiménez, M. , Arenas, M. , Bilbao, A. , & Rodrı, M. V. (2007). Linear programming with fuzzy parameters: an interactive method resolution. *European Journal of Operational Research*, 1599-1609

17. Love, R. F., & Morris, J. G. (1988). *Facilities Layout and Location:Models & Methods vol. 3*. North-Holland, New York.

18. Marín, A. (2011). The discrete facility location problem with balanced allocation of customers. *European Journal of Operational Research*, *210*, 27-38.

19. Mestre, A. M., Oliveira, M. D., & Barbosa-Póvoa, A. P. (2015). Location–allocation approaches for hospital network planning under uncertainty. *European Journal of Operational Research*, *240*, 791-806.

20. Mousavi, V., & Niaki, S. T. A.(2013). Capacitated location allocation problem with stochastic location and fuzzy demand: a hybrid algorithm. *Applied Mathematical Modelling*, *37*, 5109-5119.

21. Park, G. , Lee, Y. , & Han, J. (2014). A two-level location–allocation problem in designing local access fiber optic networks. *Computers & Operations Research*, *51*, 52-63.

22. Qi, L., Shen, Z.J. M., & Snyder, L. V. (2010). The effect of supply disruptions on supply chain design decisions. *Transportation Science*, *44*, 274-289.

23. Rabieh, M., Azar, A., Modarres Yazdi, M., Fetanatfard Haghighi, M. (2011). Designing a robust multi–objective mathematical model of sourcing: an approach to reducing supply chain risks (Case study: Iran khodro supply chain). *Journal of Industrial Management Perspective*, *1*, 57-77 (In Persian).

24. Rahmati, S. H. A., Ahmadi, A., Sharifi, M. , & Chambari, A. (2014). A multi-objective model for facility location–allocation problem with immobile servers within queuing framework. *Computers & Industrial Engineering*, *74*, 1-10.

25. Simchi-Levi, D., Simchi-Levi, E., & Kaminsky, P. (1999) *Designing and managing the supply chain: Concepts, strategies, and cases*.McGraw-Hill New York.

26. Syam, S. S., & Côté, M .J. (2012). A comprehensive location-allocation method for specialized healthcare services. *Operations Research for Health Care*, *1*, 73-83.

27. Talebi, D., Ayron, F. (2015). Identifying supply chain risks and selecting suppliers using the network analysis process (The case study: Automobile industry). Journal of Industrial Management Perspective, *17*, 31-43 (In Persian).

28. Vidyarthi, N., & Jayaswal, S. (2014). Efficient solution of a class of location–allocation problems with stochastic demand and congestion. *Computers & Operations Research*, *48*, 20-30.

29. Yan, S. , Lin, J. R., Chen, Y.C., & Xie, F.R. (2017). Rental bike location and allocation under stochastic demands. *Computers & Industrial Engineering*, 107, 1-11.

30. Zahiri, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Pishvaee, M. S. (2014). A robust possibilistic programming approach to multi-period location–allocation of organ transplant centers under uncertainty. *Computers & Industrial Engineering*, *74*, 139-148.

31. Zeinal Hamadani, A., Ardakan, M. A. , Rezvan, V., & Honarmandian, V. (2013). Location-allocation problem for intra-transportation system in a big company by using meta-heuristic algorithm. *Socio-Economic Planning Sciences*, *47*, 309-317.