مقاله پژوهشی

توسعه شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن عوامل زیست‌محیطی و تصمیمات مکان‌یابی - موجودی در شرایط عدم‌قطعیت

سپیده ملک‌پور کلبادی نژاد[1]، مهدی سیف برقی [2*]

دانشگاه الزهرا

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۱۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۴/۲۵

چکیده

بسیاری از محققین تصمیمات مکان‌یابی و موجودی را به‌صورت توأم موردبررسی قرار داده‌اند. همچنین عوامل زیست‌محیطی نیز در طراحی شبکه‌های تأمین موردبررسی قرارگرفته است. در این مقاله با الهام از زنجیره تولید، توزیع و بازیافت لاستیک خودرو یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط برای مسئله مکان‌یابی- موجودی مستقیم/معکوس با ظرفیت محدود ارائه‌شده است به‌نحوی‌که نسبت به تحقیق پایه، تعدادی مراکز توزیع با الهام از زنجیره‌های موجود در دنیای واقعی بین کارخانجات و بازارهای مصرف در نظر گرفته‌شده و تصمیمات موجودی در آن مراکز نیز به‌صورت یکپارچه در مدل مدنظر قرارگرفته است. همچنین مدل در شرایط عدم قطعیت پارامترهای کلیدی نظیر تقاضا و نرخ برگشت محصولات موردبررسی و تحلیل قرارگرفته و در راستای جامعیت بیشتر عوامل زیست‌محیطی نیز در آن نظر گرفته می‌شود. مدل توسعه داده‌شده با روش‌های مختلف حل مسائل چندهدفه موردبررسی و تحلیل قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: زنجیره تأمین، حلقه بسته، مکان‌یابی – موجودی، چندهدفه، عدم قطعیت، عوامل زیست‌محیطی

۱- مقدمه

امروزه، طراحی زنجیره تأمین برای ایجاد مدل کسب‌وکار موفق، ضروری به نظر می‌رسد. طراحی شبکه‌ی زنجیره تأمین یکی از مهم‌ترین تصمیمات استراتژیک در مدیریت زنجیره تأمین است [۱]. با توجه به اجرای مصوبه دولت، نگرانی‌های زیست‌محیطی، مسئولیت اجتماعی و آگاهی مشتری، شرکت‌ها نه‌تنها مجبور به عرضه محصولات سازگاربامحیط‌زیست شده‌اند، بلکه مسئول محصولات بازگشتی خود نیز هستند. یکی از حوزه‌هایی که طی دهه‌ی گذشته توجه تعداد زیادی از پژوهشگران را به خود جلب کرده است، طراحی شبکه‌ی لجستیک مستقیم و معکوس یکپارچه است. ازآنجاکه فعالیت‌های تاکتیکی و عملیاتی بعد از فعالیت‌های استراتژیک اجرا می‌شوند، طراحی شبکه لجستیک یک محدودیت برای تصمیم‌گیری در سطوح تاکتیکی و عملیاتی خواهد بود. با توجه به تأثیرات متقابلی که تصمیمات سطح استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی در سطح شبکه لجستیک بر یکدیگر دارند، در نظرگیری همزمان آن‌ها در مسائل طراحی شبکه در جلوگیری از به وجود آمدن جواب‌های محلی امری مهم تلقی می‌شود. علاوه بر این، ازآنجاکه باز و بسته کردن امکانات زمان‌بر و گران است، تغییر پیکربندی شبکه به‌راحتی امکان‌پذیر نیست. ازاین‌رو، پیکربندی زنجیره تأمین یک

۱*- دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران. پست الکترونیک: s.malekpour_kolbadi@yahoo.com

۲- دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران. نویسنده پاسخگو، پست الکترونیک: M.Seifbarghy@alzahra.ac.ir، نشانی پستی: تهران- خیابان ده ونک- دانشگاه الزهرا- ساختمان مرکزی- معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی

مسئله کلیدی مؤثر بر فعالیت‌های تاکتیکی / عملیاتی است و نیازمند بهینه‌سازی برای عملکرد کارآمد کل زنجیره تأمین در طولانی‌مدت است. بیشتر ادبیات موجود در زمینه طراحی شبکه‌های لجستیک، شامل مدل‌های مختلف مکان‌یابی تسهیلات بر پایه برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط است. این مدل‌ها انواع مختلفی از مدل‌های ساده نظیر مکان‌یابی تسهیلات با ظرفیت محدود تا مدل‌های پیچیده‌تر نظیر مدل‌های چند سطحی با ظرفیت یا مدل‌های چند کالایی[1] را شامل می‌شوند. همچنین الگوریتم‌های قدرتمندی بر پایه تئوری بهینه‌سازی ترکیبی[2] برای حل این مدل‌ها ارائه گشته است.

در شرایط واقعی، به‌ویژه در محیط زنجیره تأمین جهانی، تعدادی از تأمین‌کنندگان / کارخانه‌ها در خارج از کشور برای تأمین منابع جهانی استفاده می‌شود و مدت‌زمان عرضه / سفارش، طولانی و وابسته به جفت مراکز توزیع و عرضه‌کننده است. بنابراین، در این مقاله، مدل طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته با ریسک اشتراکی[3] و مدت‌زمان تحویل وابسته به جفت مراکز توزیع و کارخانه ارائه‌شده است، که در آن تصمیم‌گیری‌های طراحی شبکه ازجمله تعداد کارخانه‌ها / مراکز توزیع و جمع‌آوری، محل آن‌ها و تخصیص مشتریان (بازارهای تقاضا) / مراکز توزیع به فراهم‌کنندگان محصول آن‌ها و تصمیمات مربوط به کنترل موجودی مربوطه به‌طور همزمان تعیین می‌شوند. استراتژی ریسک اشتراکی منجر به کاهش سطح ذخیره احتیاطی در مراکز توزیع و درنتیجه کاهش موجودی در جریان می‌شود و بدین ترتیب هزینه‌های موجودی کاهش‌یافته و کیفیت بالای سطح خدمات فراهم می‌شود، به‌ویژه در شرایطی که تقاضا عدم قطعیت بالایی دارد [۳,۲]. کاربرد استراتژی «ریسک اشتراکی»، زمانی است که هزینه‌های موجودی و انبارداری درصد بزرگی از هزینه‌های زنجیره تأمین را در برمی‌گیرد.

در این مقاله مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط چندمحصولی برای مسئله مکان‌یابی- موجودی مستقیم/ معکوس با ظرفیت محدود ارائه‌شده است. همچنین دو سطح تصادفی در مدل ارائه‌شده وجود دارد: سناریوها که میانگین و واریانس تقاضاها را تعیین می‌کنند، اما هنگامی‌که سناریو مشخص شد، تقاضاها هنوز هم طبق توزیع احتمالی تعیین‌شده تصادفی هستند.

۲- مرور ادبیات

پیشوایی و همکاران [۴] شبکه لجستیک مستقیم/ معکوس یکپارچه باهدف مینیمم کردن هزینه و ماکزیمم کردن سطح پاسخگویی، در مقاله خود در نظر گرفتند و برای حل مسئله، الگوریتم ممتیک چندهدفه را پیشنهاد کردند. حسن‌زاده امین و ژانگ [۵] شبکه حلقه‌بسته چندمحصولی شامل چندین کارخانه، مراکز جمع‌آوری و بازارهای تقاضا را باهدف مینیمم کردن هزینه به‌صورت برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط مدل‌سازی کردند. این مدل با در نظر گرفتن تابع هدف محیط زیستی به یک مدل دو هدفه بسط داده شد و برای حل آن از روش‌های وزنی و حدی استفاده شد. اثر عدم قطعیت تقاضا و محصولات بازگشتی بر روی ساختار شبکه توسط برنامه‌ریزی احتمالی (بر مبنای سناریو) بررسی‌شده است. هاتفی و جولای [۶] به طراحی شبکه لجستیک مستقیم و معکوس استوار تحت قابلیت اطمینان پرداختند و شبکه پیشنهادی خود را به‌صورت برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط با محدودیت‌های p- استوار افزوده‌شده مدل کرده تا قابلیت اطمینان شبکه در طول اختلالات را کنترل کرده و درنتیجه هزینه اسمی و ریسک‌های اختلال را کاهش دهند. کیوان شکوه و همکاران [۷] رویکرد قیمت‌گذاری پویا برای محصولات بازگشتی را در طراحی شبکه لجستیک مستقیم و معکوس یکپارچه، به‌منظور تعیین قیمت خرید محصولات استفاده‌شده ایجاد کردند تا درصد محصولات بازگشتی جمع‌آوری‌شده از مناطق مشتری را به دست آورند. دویکا و همکاران [۸] شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته پایدار را با در نظر گرفتن اثرات اجتماعی، محیط‌زیستی و اقتصادی طراحی کردند و برای حل مدل پیشنهادی خود سه روش فرا ابتکاری ترکیبی بر مبنای اقتباس از الگوریتم‌های رقابت استعماری و جستجوی همسایگی متغیر، پیشنهاد دادند. رمضانی و همکاران [۹] در مقاله خود به بیان کاربرد مجموعه‌های فازی در طراحی شبکه‌ی زنجیره تأمین حلقه بسته‌ی چند دوره‌ای و چندمحصولی با سه تابع هدف ماکزیمم سازی سود، مینیمم زمان تحویل و ماکزیمم‌سازی کیفیت پرداختند. طلائی و

1- Multi commodity
2- Combinatorial Optimization
3- Risk-pooling

همکاران [۱۰] مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط فازی را برای شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته سبز معرفی کردند. آن‌ها مینیمم کردن هزینه کل و نگرانی‌های محیط‌زیستی را در مدل خود در نظر گرفتند. فتح‌الهی فرد و همکاران [۱۱] رویکردهای جدیدی را بر مبنای متاهوریستیک‌ها و روش‌های دقیق به‌عنوان روش‌های حل شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته پیشنهاد کردند. علاوه بر این، ریسک اختلال به‌عنوان یک معیار ریسک در تابع هدف قرارگرفته است. پایدار و همکاران [۱۲] فرآیند جمع‌آوری و توزیع روغن‌موتور که از یکی از با ارزش‌ترین منابع طبیعی حاصل می‌شود را در مقاله خود در نظر گرفتند و به مطالعه موردی یک شرکت پالایشگاه نفت برای بررسی کاربرد این مدل پرداختند. صفائی و همکاران [۱۳] در مقاله خود زنجیره تأمین حلقه‌بسته برای شبکه بازیافت مقوا با چند تأمین کننده را در نظر گرفتند. کاربرد مدل پیشنهادی، در دنیای واقعی نیز بررسی شده است. فتح الهی فرد و همکاران [۱۴] جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی را به‌طور همزمان در مقاله خود در نظر گرفتند. همچنین تعدادی الگوریتم فرا ابتکاری ترکیبی جدید برای ایجاد یک تعامل بهتر بین مراحل جستجو ارائه دادند. قمی اویلی و همکاران [۱۵] مدل چندهدفه را برای طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته با تقاضای وابسته به قیمت ارائه دادند، درحالی‌که اختلالات تصادفی و کمبود را نیز در مدل خود در نظر گرفتند. در این مدل فرض شده که تابع تقاضا، تابعی از قیمت پیشنهادی به مشتریان می‌باشد. بعلاوه، کاربرد مدل پیشنهادی در صنعت تولید و توزیع شیشه موردبررسی قرارگرفته است. علیزاده و همکاران [۱۶] به طراحی شبکه زنجیره تأمین روبه‌جلو و معکوس برای محصولات پزشکی مصرفی با در نظر گرفتن خطرات بیولوژیکی در مقاله خود پرداختند. مدل پیشنهادی دو هدف دارد: هدف اول، حداکثر رساندن سود و هدف دوم کاهش خطرات بیولوژیکی است. الگوی پیشنهادی در بیمارستان‌های منطقه ۴ شهرداری تهران پیاده‌سازی شده است. این موضوع دارای دو نوع محدودیت منابع و سیاست است. محدودیت‌های سیاست این مسئله قابل‌تغییر نیست.

تارک عبدالله و همکاران [۱۷] برای اولین بار در مقاله خود به طراحی زنجیره تأمین پایدار پرداختند و مدل مکان‌یابی- موجودی حلقه بسته با ظرفیت نامحدود را ارائه دادند. همچنین در این مقاله محصولات بازگشتی پس از باز ساخت به‌عنوان قطعه یدکی در بازار توزیع می‌شود. دیابت و همکاران [۱۸] در سال ۲۰۱۵ مسئله مکان‌یابی- موجودی حلقه بسته بدون محدودیت ظرفیت ارائه‌شده در مقاله تارک عبدالله و همکاران [۱۷] را که به‌صورت مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط مدل شده بود، با استفاده از الگوریتم دقیق آزادسازی لاگرانژ دومرحله‌ای حل کردند.

احمدزاده و وحدانی [۱۹] در مقاله خود تصمیمات مکان‌یابی – موجودی - قیمت‌گذاری را در شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته سه سطحی در نظر گرفتند به‌طوری‌که تقاضای مشتریان دارای همبستگی بوده و سیاست مرور دوره‌ای موجودی (R,T) و کمبود نیز در آن در نظر گرفته‌شده است. این شبکه به‌صورت مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی مدل‌سازی شده و سه الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک، رقابت استعماری و کرم شب تاب برای حل آن استفاده‌شده است. گوا و همکاران [۲۰] برای طراحی زنجیره تأمین پایدار، به مطالعه مسئله مکان‌یابی - موجودی در زنجیره تأمین حلقه بسته با نظر گرفتن فروش محصولات نو و دست‌دوم در بازارهای اولیه و ثانویه پرداختند. وحدانی و احمدزاده [۲۱] مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط را برای طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته در صنعت فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) به‌منظور حداکثر سازی سود کل حاصل از فروش محصولات جدید ICT یا جمع‌آوری محصولات استفاده‌شده ICT پیشنهاد داده‌اند. برای تحلیل عملکرد مدل پیشنهادی و رویکردهای حل، یک مورد واقعی از زنجیره تأمین حلقه بسته ICT در ایران موردبررسی قرارگرفته است.

۳- توصیف شبکه

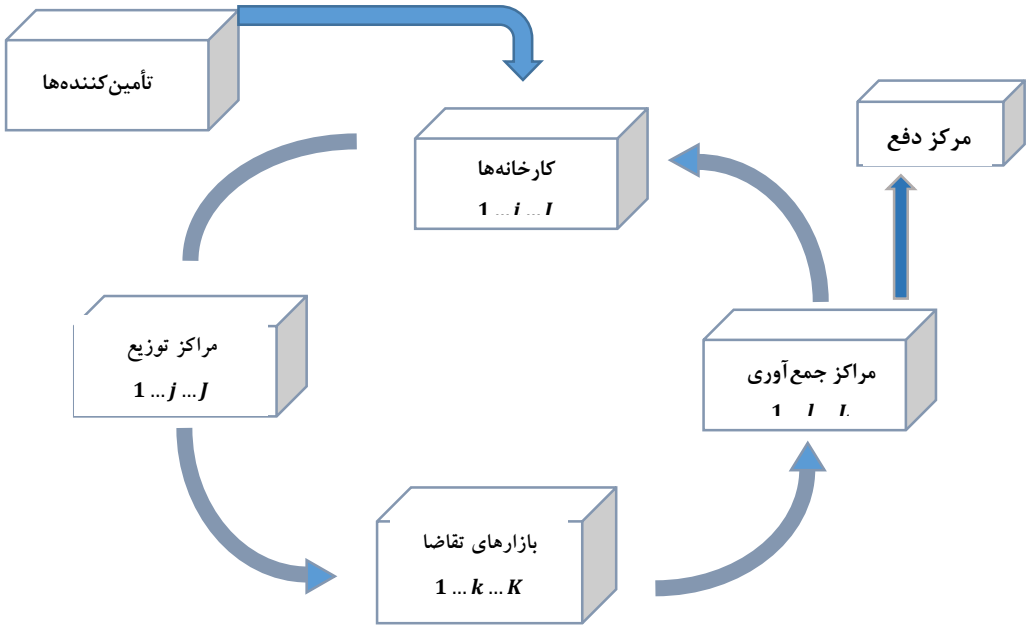
در این بخش، شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته که شامل کارخانه‌ها، مراکز توزیع و جمع‌آوری و بازارهای تقاضا است، تعریف‌شده است (شکل ۱). کارخانه‌ها هم می‌توانند محصولات جدید را تولید کنند و هم محصولات بازگشتی را تولید مجدد کنند. محصولات به بازارهای تقاضا فرستاده می‌شوند. سپس محصولات بازگشتی به مراکز جمع‌آوری ارسال می‌شوند. مراکز جمع‌آوری مسئولیت‌های زیر رادارند: جمع‌آوری محصولات استفاده‌شده از بازارهای تقاضا، تعیین وضعیت کالاهای بازگشتی توسط بازرسی و یا جداسازی آن‌ها برای مشخص شدن این موضوع که آیا آن‌ها قابل بازیافت هستند یا خیر، فرستادن محصولات بازگشتی قابل بازیافت به کارخانه‌ها، فرستادن محصولات بازگشتی غیرقابل بازیافت به مراکز دفع (به خاطر دلایل اقتصادی و/یا تکنولوژیکی).

استراتژی تک منبعی[1] در زنجیره تأمین مستقیم در نظر گرفته‌شده است، به‌طوری‌که هر بازار تقاضا هر محصول را تنها از یک مرکز توزیع دریافت می‌کند و هر محصول موردنیاز مرکز توزیع تنها از یک کارخانه تأمین می‌شود به‌عبارت‌دیگر هر بازار تقاضا و مرکز توزیع به ترتیب می‌توانند کالاهای مختلف مورد تقاضای خود را از مراکز توزیع و کارخانه‌های مختلف دریافت کنند ولی یک کالای خاص را نمی‌توانند از چندین مکان تأمین کنند. تقاضاهای تخصیص داده‌شده به هر مرکز توزیع، مستقل از یکدیگر و دارای توزیع نرمال می‌باشد. هر مرکز توزیع با ظرفیت محدود، موجودی در دست را برای برآورده کردن تقاضا و همچنین ذخیره احتیاطی را برای مقابله با تغییرات تقاضا برای دستیابی به مزایای «ریسک اشتراکی»، فراهم می‌کند. موجودی در دست در هر مرکز توزیع با سیاست (r, Q) کنترل می‌شود و درصورتی‌که سطح موجودی پایین‌تر از سطح r باشد، مقدار Q واحد از محصولات به کارخانه سفارش داده می‌شود. فرض می‌شود که مدت‌زمان تحویل سفارش از کارخانه‌ها به مراکز توزیع قطعی است، اما وابسته به جفت مرکز توزیع و کارخانه است. سطح خدمات به‌اندازه کافی بالا است و کمبود موجودی در مراکز توزیع ممکن نیست [۲۲؛ ۲۳؛ ۲۴؛ ۲۵؛۲۶؛ ۲۷؛ ۲۸].

به‌عنوان شکاف تحقیقاتی، در این مقاله هدف نه‌تنها تعیین تصمیمات مرتبط با طراحی شبکه شامل تعداد کارخانه‌ها، مراکز توزیع و جمع‌آوری، مکان‌های آن‌ها و تخصیص هر مشتری و هر مرکز توزیع بازشده، بلکه تصمیم-گیری در مورد کنترل موجودی شامل میزان سفارش از هر محصول، سطح نقطه سفارش مجدد و میزان ذخیره احتیاطی در هر مرکز توزیع بازشده، برای به حداقل رساندن کل هزینه-های متشکل از هزینه‌های ثابت احداث تسهیلات، هزینه‌های حمل‌ونقل و هزینه‌های موجودی در جریان/ ذخیره احتیاطی می‌باشد.

مفروضات:

- ✓ این مدل برای یک دوره طراحی‌شده است.
- ✓ تمامی محصولات بازگشتی از بازارهای تقاضا توسط مراکز جمع‌آوری، جمع می‌شوند.
- ✓ مکان بازارهای تقاضا ثابت می‌باشد.
- ✓ مکان بازارهای تقاضا ثابت می‌باشد مکان های بالقوه برای کارخانه‌ها، مراکز توزیع و جمع‌آوری و ظرفیت آن‌ها از پیش مشخص می‌باشد.



شکل (۱): شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته (در این مقاله به متغیرهای تصمیم تأمین‌کنندگان پرداخته نمی‌شود)

1- single sourcing

نوآوری‌های خاص این تحقیق را می‌توان به‌صورت زیر دسته‌بندی کرد:

- ارائه کاربرد مدل ارائه‌شده برای محصول مشخصی مانند لاستیک خودرو به‌عنوان کاربرد مدل در دنیای واقعی
- ارائه یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط برای مسئله مکان‌یابی- موجودی مستقیم/معکوس با ظرفیت محدود
- در نظر گرفتن شبکه توزیع نسبت به تحقیق پایه صورت گرفته در راستای نزدیک‌تر نمودن مدل به دنیای واقعی
- در نظر گرفتن عدم قطعیت در پارامترهای کلیدی نظیر تقاضا و نرخ برگشت محصولات از بازارها
- در نظر گرفتن فاکتورهای زیست‌محیطی

۳-۱- مدل ریاضی

این شبکه را می‌توان به‌صورت یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط به دو صورت یکپارچه و غیر یکپارچه فرمول‌بندی کرد. منظور از مدل یکپارچه در نظر گرفتن همزمان هزینه‌های مکان‌یابی و موجودی در یک مدل و سپس حل آن است درحالی‌که در مدل غیریکچارچه، ابتدا مسئله مکان‌یابی (شامل هزینه‌های ثابت احداث تسهیلات، هزینه‌های حمل‌ونقل، هزینه‌های تولید و دفع) را حل کرده، سپس با توجه به تخصیص‌های به‌دست‌آمده، برای هر یک از مراکز توزیع هزینه‌های سفارش دهی و هزینه‌های نگهداری را بدست می‌آوریم. اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم-گیری به شرح زیر تعریف می‌شوند:

اندیس‌ها:

i : اندیس مکان‌های کاندید برای احداث کارخانه‌های تولید و تولید مجدد محصولات $(i = 1,2, \dots, I)$

j : اندیس مکان‌های کاندید برای احداث مراکز توزیع $(j = 1,2, \dots, J)$

l : اندیس مکان‌های کاندید برای احداث مراکز جمع-آوری $(l = 1,2, \dots, L)$

k : اندیس مکان‌های بازارهای تقاضا $(k = 1,2, \dots, K)$

m : مجموعه محصولات $(m = 1,2, \dots, M)$

پارامترها

MC : هزینه تولید محصول m

PR : هزینه تولید مجدد محصول m $(PR_m < PC_m)$

B_m : هزینه حمل محصول m در هر کیلومتر بین کارخانه‌ها و مراکز توزیع

C_m : هزینه حمل محصول m در هر کیلومتر بین مراکز توزیع و بازارهای تقاضا

D_m : هزینه حمل محصول m در هر کیلومتر بین بازارهای تقاضا و مراکز جمع‌آوری

O_m : هزینه حمل محصول m در هر کیلومتر بین مراکز جمع‌آوری و کارخانه‌ها

N_m : هزینه حمل محصول m در هر کیلومتر بین مراکز جمع‌آوری و مرکز انهدام

E_i : هزینه ثابت باز کردن کارخانه i

F_j : هزینه ثابت باز کردن مرکز توزیع j

G_l : هزینه ثابت باز کردن مرکز جمع‌آوری l

H_m : هزینه دفع محصول m

PC_i : ظرفیت کارخانه i برای تولید محصول m

DC_j : ظرفیت مرکز توزیع j برای محصول m

CC_l : ظرفیت مرکز جمع‌آوری l برای محصول m

t_{ij} : فاصله بین کارخانه i و مرکز توزیع j بر اساس روش اقلیدسی

u_{jk} : فاصله بین مرکز توزیع j و بازار تقاضا k بر اساس روش اقلیدسی

e_{kl} : فاصله بین بازار تقاضا k و مرکز جمع‌آوری l بر اساس روش اقلیدسی

e_l : فاصله بین مرکز جمع‌آوری l و مرکز انهدام بر اساس روش اقلیدسی

d_{li} : فاصله بین مرکز جمع‌آوری l و کارخانه i بر اساس روش اقلیدسی

α_m : مینیمم کسر انهدام محصول m

A_{jm} : هزینه‌ی ثابت سفارش دهی محصول نوع m در مرکز توزیع j

h_{jm} : هزینه‌ی نگهداری سالیانه هر واحد محصول نوع m در مرکز توزیع j

μ_{km} : میانگین تقاضای سالانه بازار تقاضا k برای محصول m

v_{km} : واریانس تقاضای سالانه بازار تقاضا k برای محصول m

r_{km} : مقدار بازگشتی‌های سالانه بازار تقاضا k برای محصول m

l_{ij} : مدت‌زمان تحویل سفارش (برحسب روز) از کارخانه i به مرکز توزیع j

θ : فاکتور وزنی برای هزینه‌ی موجودی $(\theta \geq 0)$

β : فاکتور وزنی برای هزینه‌ی حمل‌ونقل $(\beta \geq 0)$

$\propto$: سطح اطمینان عدم مواجه با کمبود در مراکز توزیع در طول مدت‌زمان تحویل

$Z_\propto$: نرمال استاندارد به‌طوری‌که $P(Z \leq Z_\propto) = \propto$

M : عدد خیلی بزرگ

متغیرهای تصمیم

I_{ijm} : مقدار محصول m تولیدی توسط کارخانه i برای مرکز توزیع j

O_{jkm} : مقدار محصول m حمل شده از مرکز توزیع j به مشتری k

V_{klm} : مقدار محصول m بازگشتی از مشتری k به مرکز جمع‌آوری l

S_{lim} : مقدار محصول m بازگشتی از مرکز جمع‌آوری l به کارخانه i

T_{lm} : مقدار محصول m بازگشتی از مرکز جمع‌آوری l به مرکز دفع

Q_{jm} : مقدار سفارش محصول m در مرکز توزیع j

ROP_{jm} : نقطه سفارش مجدد محصول m در مرکز توزیع j

SS_{jm} : میزان ذخیره احتیاطی محصول m در مرکز توزیع j

Z_i : اگر کارخانه در مکان کاندید i باز شود، یک و در غیر اینصورت صفر

U_j : اگر مرکز توزیع در مکان کاندید j باز شود، یک و در غیر اینصورت صفر

W_l : اگر مرکز جمع‌آوری در مکان کاندید l باز شود، یک و در غیر اینصورت صفر

y_{ijm} : اگر مرکز توزیع j برای کالای m به کارخانه i تخصیص داده شود، یک و در غیر اینصورت صفر

x_{jkm} : اگر بازار تقاضا k برای کالای m به مرکز توزیع j تخصیص داده شود، یک و در غیر اینصورت صفر

اوزان θ و β برای افزایش یا کاهش اهمیت نسبی هزینه-های مکانیابی، حمل و نقل و موجودی در تابع هدف مورد استفاده قرار می‌گیرند.

فرض کنید D_{jm} ، Γ_{jm} و L_{jm} به ترتیب میانگین و واریانس تقاضای سالیانه محصول m در مرکز توزیع j و مدت زمان تحویل سفارش در مرکز توزیع j باشند. از آنجایی که تقاضای مشتریان دارای توزیع نرمال بوده و مستقل از یکدیگر می‌باشند، تقاضای مرکز توزیع j برای محصول m دارای توزیع نرمال با میانگین $\sum_k \mu_{km} x_{jkm}$ و واریانس $\sum_k v_{km} x_{jkm}$ می‌باشد. به طور مشابه، مدت زمان تحویل سفارش محصول m به مرکز توزیع j براب با $\sum_i l_{ij} y_{ijm}$ است. همچنین تقاضای محصول m در مرکز توزیع j در طی مدت زمان تحویل دارای توزیع نرمال با میانگین $D_{jm} L_{jm}$ و واریانس $\Gamma_{jm} L_{jm}$ می‌باشد.

ابتدا مقدار سفارش بهینه و سطح نقطه سفارش مجدد سیاست (r, Q) باید تعیین شود. فدرگروئن و ژنگ [۲۹] و

ژنگ و چن [۳۰] یک روش حل برای حل بهینه سیاست (r, Q) پیشنهاد کردند، اما نه به شکل بسته[1]ای که بتواند برای مدل مکانیابی- موجودی یکپارچه‌ی این مقاله استفاده شود. بنابراین، روش تقریب EOQ اکزاتر [۳۱] در این مقاله استفاده شده است. علاوه بر این، ژنگ [۳۲] از طریق آزمایشات زیاد در انواع مختلف مثال‌ها، تایید کرده است که روش تقریبی به طور متوسط جواب‌های خوب با خطای کمتر از ۱٪ را ارائه می‌دهد. به همین دلیل است که در این مقاله روش تقریب EOQ برای حل بهینه سیاست (r, Q)، همانند بیشتر مقالات مربوط به مدل‌های مکان‌یابی - موجودی یکپارچه [۲۲؛۲۳؛۲۴؛۲۶] استفاده شده است. مقدار سفارش بهینه هر محصول در هر مرکز توزیع به صورت تقریبی عبارت است از:

$$Q_{jm}^{*}=\sqrt{2A_{jm}D_{jm}/\theta h_{jm}} \qquad (۱)$$
$$=\sqrt{2A_{jm}\sum_{k}\mu_{km}x_{jkm}\ /\theta h_{jm}}$$

بعلاوه سطح نقطه سفارش مجدد و موجودی اطمینان محصول m در مرکز توزیع j به صورت زیر بدست می‌آید:

$$ROP_{jm}=D_{jm}L_{jm}+Z_{\propto}\sqrt{\Gamma_{jm}L_{jm}} \qquad (۲)$$

$$SS_{jm}=Z_{\propto}\sqrt{\Gamma_{jm}L_{jm}} \qquad (۳)$$
$$=Z_{\propto}\sqrt{\sum_{k}v_{km}x_{jkm}\cdot\sum_{i}l_{ij}y_{ijm}}$$
$$=Z_{\propto}\sqrt{\sum_{k}\sum_{i}v_{km}l_{ij}x_{jkm}y_{ijm}}$$

بر اساس [۳۳]، تابع هزینه بهینه موجودی در هر مرکز توزیع و برای هر محصول به صورت زیر بدست می‌آید:

$$C_{jm}^{INV*} \qquad (۴)$$
$$=\sqrt{2A_{jm}D_{jm}\theta h_{jm}}+\theta h_{jm}Z_{\propto}\sqrt{\Gamma_{jm}L_{jm}}$$
$$=\sqrt{2A_{jm}\theta h_{jm}\sum_{k}\mu_{km}x_{jkm}}$$
$$+Z_{\propto}\theta h_{jm}\sqrt{\sum_{k}\sum_{i}v_{km}l_{ij}x_{jkm}y_{ijm}}$$

حال می‌توان تابع هدف و محدودیت‌های مساله را برای دو مدل یکپارچه و غیریکپارچه به صورت زیر نوشت:

الف) مدل یکپارچه مکانیابی – موجودی

$$MinZ_1 \qquad (۵)$$
$$=\sum_{i}E_iZ_i+\sum_{j}F_jU_j+\sum_{l}G_lW_l$$
$$+\sum_{i}\sum_{m}\left(\sum_{j}I_{ijm}-\sum_{l}S_{lim}\right)(MC_m)$$
$$+\sum_{i}\sum_{j}\sum_{m}\beta B_m t_{ij}I_{ijm}$$
$$+\sum_{j}\sum_{k}\sum_{m}\beta C_m u_{jk}O_{jkm}$$
$$+\sum_{k}\sum_{l}\sum_{m}\beta D_m e_{kl}V_{klm}$$
$$+\sum_{i}\sum_{l}\sum_{m}(\beta O_m d_{li}+PR_m)S_{lim}$$
$$+\sum_{l}\sum_{m}T_{lm}(H_m+\beta N_m e_l)$$
$$+\sum_{j}\sum_{m}\sqrt{2A_{jm}\theta h_{jm}\sum_{k}\mu_{km}x_{jkm}}$$
$$+\sum_{j}\sum_{m}Z_{\propto}\theta h_{jm}\sqrt{\sum_{k}\sum_{i}v_{km}l_{ij}x_{jkm}y_{ijm}}$$

Subject to:

$$\sum_{i}I_{ijm}y_{ijm} \qquad \forall j,m \qquad (۶)$$
$$\geq\sum_{k}\mu_{km}x_{jkm}$$

$$\sum_{i}I_{ijm}\geq\sum_{k}O_{jkm} \qquad \forall j,m \qquad (۷)$$

$$\sum_{j}O_{jkm}x_{jkm}\geq\mu_{km} \qquad \forall k,m \qquad (۸)$$

1- Closed form

$$\sum_j x_{jkm} \le 1 \qquad \forall k,m \qquad (۹)$$

$$x_{jkm} \le U_j \qquad \forall j,k,m \qquad (۱۰)$$

$$\sum_i y_{ijm} \le 1 \qquad \forall j,m \qquad (۱۱)$$

$$y_{ijm} \le Z_i \qquad \forall i,j,m \qquad (۱۲)$$

$$\sum_l V_{klm} = r_{km} \qquad \forall k,m \qquad (۱۳)$$

$$\sum_k V_{klm} = \sum_i S_{lim} + T_{lm} \qquad \forall l,m \qquad (۱۴)$$

$$\propto_m \sum_k V_{klm} \le T_{lm} \qquad \forall l,m \qquad (۱۵)$$

$$\sum_j I_{ijm} \le Z_i PC_{im} \qquad \forall i,m \qquad (۱۶)$$

$$\sum_k \mu_{km} x_{jkm} \le U_j DC_{jm} \qquad \forall j,m \qquad (۱۷)$$

$$\sum_k V_{klm} \le W_l CC_{lm} \qquad \forall l,m \qquad (۱۸)$$

$$\sum_l \sum_m S_{lim} \le M\, Z_i \qquad \forall i \qquad (۱۹)$$

$$Z_i, U_j, W_l, x_{jkm}, y_{ijm} \in \{0,1\} \qquad \forall i,j,l,k \qquad (۲۰)$$

$$I_{ijm}, O_{jkm}, V_{klm}, S_{lim}, T_{lm} \ge 0 \qquad \forall i,j,l,k \qquad (۲۱)$$

تابع هدف هزینه‌ی کل را مینیمم می‌کند. جملات اول تا سوم به ترتیب هزینه‌های ثابت باز کردن کارخانه‌ها، مراکز توزیع و جمع‌آوری را نشان می‌دهد. جمله‌ی چهارم هزینه‌ی تولید محصولات جدید در کارخانه‌ها و قسمتی ازجمله‌ی هشتم هزینه‌ی تولید مجدد محصولات در کارخانه‌ها را شامل می‌شود. جملات پنجم تا نهم هزینه‌ی حمل‌ونقل محصولات در زنجیره تأمین می‌باشد. بعلاوه جملات دهم و یازدهم هزینه‌ی موجودی در مراکز توزیع را محاسبه می‌کند.

رابطه‌ی (۶) تضمین می‌کند که میانگین تقاضای مراکز توزیع برای همه محصولات برآورده شود. رابطه (۷) بیان می‌کند که خروجی هر نوع محصول از هر مرکز توزیع باید کوچکتر مساوی با ورودی به آن مرکز باشد. رابطه (۸) تضمین می‌کند که میانگین تقاضای مشتریان برآورده شود. روابط (۹) و (۱۱) استراتژی تک منبعی بازارهای تقاضا و مراکز توزیع برای هر محصول را نشان می‌دهد. روابط (۱۰) و (۱۲) تضمین می‌کند که بازارهای تقاضا و مراکز توزیع در صورتی به تأمین‌کنندگانشان تخصیص داده شوند که آن مراکز احداث‌شده باشند. معادله (۱۳) نشان می‌دهد که تمامی محصولات بازگشتی از بازارهای تقاضا جمع‌آوری می‌شود. معادله (۱۴) نشانگر تعادل جریان در مراکز جمع‌آوری می‌باشد. رابطه (۱۵) مینیمم انهدام محصولات بازگشتی را تضمین می‌کند. روابط (۱۶) تا (۱۸) به ترتیب محدودیت ظرفیت در کارخانه‌ها، مراکز توزیع و جمع‌آوری می‌باشند. رابطه (۱۹) بیان می‌کند که در صورتی محصولات بازگشتی می‌توانند به یک کارخانه حمل شوند که آن کارخانه احداث‌شده باشد. رابطه (۲۰) ماهیت دودویی متغیرهای تصمیم درحالی‌که رابطه (۲۱) محدودیت غیر منفی بودن متغیرهای تصمیم می‌باشد.

ب) مدل غیریکپارچه مکانیابی و موجودی

محدودیت‌های این مدل همانند مدل یکپارچه می‌باشد و تفاوت آنها فقط در تابع هدف است. در این حالت ابتدا مساله را با تابع هدف زیر حل می‌کنیم:

$$\begin{aligned} MinZ_1 &= \sum_i E_i Z_i + \sum_j F_j U_j + \sum_l G_l W_l \\ &+ \sum_i \sum_m \left(\sum_j I_{ijm} - \sum_l S_{lim} \right) (MC_m) \\ &+ \sum_i \sum_j \sum_m \beta B_m t_{ij} I_{ijm} \\ &+ \sum_j \sum_k \sum_m \beta C_m u_{jk} O_{jkm} \\ &+ \sum_k \sum_l \sum_m \beta D_m e_{kl} V_{klm} \\ &+ \sum_i \sum_l \sum_m (\beta O_m d_{li} + PR_m) S_{lim} \\ &+ \sum_l \sum_m T_{lm} (H_m + \beta N_m e_l) \end{aligned} \qquad (۲۲)$$

سپس با توجه به تخصیص‌های بدست آمده، برای هر یک از مراکز توزیع هزینه‌های سفارش‌دهی و هزینه‌های نگهداری را بدست می‌آوریم.

$$\sum_j \sum_m \sqrt{2A_{jm}\theta h_{jm} \sum_k \mu_{km} x_{jkm}} + \sum_j \sum_m Z_\propto \theta h_{jm} \sqrt{\sum_k \sum_i v_{km} l_{ij} x_{jkr}} \quad (۲۳)$$

در واقع در مدل غیریکچارچه هزینه‌های موجودی تاثیری بر روی مکان‌های احداث شده و تخصیص‌های صورت گرفته ندارد.

۳-۲- خطی‌سازی محدودیت‌های غیرخطی

در مدل مذکور مشاهده می‌شود که نامعادلات (۶) و (۸) غیرخطی‌اند. برای خطی‌سازی این محدودیت‌ها از روش خطی‌سازی ضرب یک متغیر باینری در یک متغیر پیوسته استفاده می‌شود.

فرض کنید متغیر $Z = x_1 \times x_2$ حاصلضرب یک متغیر باینری (x_1) در یک متغیر پیوسته (x_2) باشد. برای خطی‌سازی این عبارت از سه قید معادل (۲۴) استفاده می‌گردد.

$$\begin{aligned} Z &\le x_2 \\ Z &\le M \times x_1 \\ Z &\ge x_2 - M(1 - x_1) \end{aligned} \quad (۲۴)$$

همچنین در جمله‌ی آخر تابع هدف، حاصل‌ضرب دو متغیر باینری را داریم که غیرخطی است. اگر x_1 و x_2 دو متغیر باینری باشند برای خطی کردن ضرب دو متغیر باینری می‌توان یک متغیر باینری جدید بصورت (۲۵) تعریف کرد:

$$\begin{aligned} Z &= x_1 \times x_2 \\ Z &\in \{0,1\} \end{aligned} \quad (۲۵)$$

با بهره‌گیری از قیود کمکی (۲۶) می‌توان قید غیرخطی را در مدل به یک سری قیود خطی تبدیل کرد.

$$\begin{aligned} x_1 + x_2 - Z &\le 1 \\ Z &\le x_1 \\ Z &\le x_2 \end{aligned} \quad (۲۶)$$

با توجه به مطالب ذکر شده در بالا، متغیرهای (۲۷) را تعریف می‌کنیم:

$$\begin{aligned} \pi_{ijm} &= I_{ijm} y_{ijm} && \forall\, i,j,m \\ \omega_{jkm} &= O_{jkm} x_{jkm} && \forall\, j,k,m \\ \delta_{ijkm} &= x_{jkm} y_{ijm} && \forall\, i,j,k,m \end{aligned} \quad (۲۷)$$

به طوریکه π_{ijm} و ω_{jkm} متغیرهای مثبت پیوسته‌اند و δ_{ijkm} یک متغیر باینری است. با توجه به مطالب بیان شده جمله‌ی آخرتابع هدف مدل پیشنهادی به شکل (۲۸) تغییر می‌کند:

$$\sum_j \sum_m Z_\propto \theta h_{jm} \sqrt{\sum_k \sum_i v_{km} l_{ij} \delta_{ijkm}} \quad (۲۸)$$

همچنین روابط (۶) و (۸) به ترتیب به محدودیت‌های (۶‘) و (۸‘) تبدیل می‌شوند و نامعادلات (۲۹) تا (۳۷) این نیز به مدل اضافه می‌شود:

$$\sum_i \pi_{ijm} \ge \sum_k \mu_{km} x_{jkm} \quad \forall j,m \quad (۶')$$

$$\sum_j \omega_{jkm} \ge \mu_{km} \quad \forall k,m \quad (۸')$$

$$x_{jkm} + y_{ijm} - \delta_{ijkm} \le 1 \quad \forall i,j,l \quad (۲۹)$$

$$\delta_{ijkm} \le x_{jkm} \quad \forall i,j,l \quad (۳۰)$$

$$\delta_{ijkm} \le y_{ijm} \quad \forall i,j,l \quad (۳۱)$$

$$\pi_{ijm} - M y_{ijm} \le 0 \quad \forall i,j,r \quad (۳۲)$$

$$-I_{ijm} + \pi_{ijm} \le 0 \quad \forall i,j,r \quad (۳۳)$$

$$I_{ijm} - \pi_{ijm} + M y_{ijm} \le M \quad \forall i,j,r \quad (۳۴)$$

$$\omega_{jkm} - M x_{jkm} \le 0 \quad \forall\, j,k, \quad (۳۵)$$

$$-O_{jkm} + \omega_{jkm} \le 0 \quad \forall\, j,k, \quad (۳۶)$$

$$O_{jkm} - \omega_{jkm} + M x_{jkm} \le M \quad \forall\, j,k, \quad (۳۷)$$

در نتیجه مدل پیشنهادی به مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عددصحیح مختلط با محدودیت‌های خطی تبدیل می‌شود.

۳-۳- کاربرد مدل پیشنهادی

لاستیک‌های بازسازی‌شده نمونه‌هایی از محصولات تولید مجدد شده هستند. آن‌ها می‌توانند در وسایل نقلیه

مختلف مانند اتومبیل‌ها و کامیون‌ها استفاده شوند. لاستیک-ها را می‌توان چندین بار بازسازی کرد. بدون بازیابی لاستیک-های مورداستفاده، این لاستیک‌ها ممکن است در محل دفن زباله قرار بگیرند و به محیط‌زیست آسیب برساند.

۳-۴- مقایسه تابع هزینه مدل مکان‌یابی و موجودی غیر یکپارچه با مدل مکان‌یابی – موجودی یکپارچه

در این قسمت با حل چندین مثال عددی میزان صرفه‌جویی در هزینه‌ها در صورت استفاده از مدل مکان‌یابی – موجودی یکپارچه را نشان می‌دهیم. هزینه صرفه‌جویی شده میزان اختلاف تابع هزینه مدل یکپارچه و غیر یکپارچه می‌باشد. انحراف از معیار تقاضا، با تولید عدد تصادفی در بازه‌ی ۰و۱ و ضرب آن در تقاضا بدست آمده است. جدول ۱ داده‌ها را با جزئیات نشان می‌دهد. مکان‌های بالقوه برای تولیدکنندگان، مراکز توزیع، بازار تقاضا، مراکز جمع‌آوری و مرکز دفع از توزیع یکنواخت بین ۰ تا ۱۰۰ واحد فاصله روی مختصات x و y تولیدشده است. مسائل توسط نرم‌افزار GAMS حل‌شده‌اند. تمام‌کارهای محاسباتی بر روی یک رایانه شخصی با مشخصات 64-bit operating system, Pentium(R) Daul-core CPU RAM:3GB انجام‌شده است. در ابتدا برای حل مدل، $\theta = 1$ و برای β، ۳ مقدار در نظر گرفته‌ایم. نتایج در جدول (۲) نشان داده‌شده است. سپس مسئله با اندازه متوسط $I = 6, J = 12, L = 6, K = 6$ حل‌شده است و نتایج آن در جدول (۳) آمده است. همان‌طور که در جداول (۲و۳) مشاهده می-کنید، به‌طورکلی با افزایش مقدار β تعداد مراکز توزیع بازشده افزایش‌یافته است. همچنین تعداد مراکز توزیع بازشده در مدل یکپارچه همواره کمتر از مدل غیر یکپارچه است و دلیل آن وجود هزینه‌های موجودی در تابع هدف می‌باشد. هرچه که تعداد مراکز توزیع کمتر باشد، هزینه‌های موجودی به علت مزیت ریسک اشتراکی کمتر می‌شود. در حقیقت تأمین تقاضا از تعداد کمتری مرکز توزیع باعث کاهش موجودی اطمینان و هزینه‌های سفارش دهی می‌شود. همچنین برای $\beta = 5$، میزان صرفه‌جویی در هزینه صفر می‌باشد، چراکه هزینه‌های بالای حمل‌ونقل سبب جواب یکسان دو مدل یکپارچه و غیر یکپارچه‌شده است و درواقع هزینه‌های موجودی حالت یکپارچه در مقایسه با هزینه‌های حمل‌ونقل آن به‌اندازه‌ی کافی بزرگ نبوده که بتواند جواب مسئله را تحت تأثیر قرار دهد. حال برای همین مسئله θ را افزایش داده و نتایج آن در جدول (۴) گزارش‌شده است. همان‌طور که در جداول (۴) مشاهده می‌کنید، با افزایش مقدار θ تعداد مراکز توزیع بازشده کمتر شده است زیرا که افزایش هزینه نگهداری سبب می‌شود که مدل پیشنهادی از مزیت به اشتراک گذاشتن ریسک با تعداد کمتر مراکز توزیع استفاده کند.

۴- بسط مدل به حالت چندهدفه

در مدل ریاضی مذکور، هزینه کل به حداقل رسیده است. بااین‌حال، مسائل زیست‌محیطی نیز باید موردتوجه قرار گیرد. برای این منظور پارامترهای جدید زیر تعریف می‌شوند:

M_{im} : پارامتر استفاده از مواد سازگار با محیط‌زیست توسط کارخانه i برای تولید محصول m (مواد قابل بازیافت یک مثال از این پارامتر است).

P_{jm} : پارامتر استفاده از تکنولوژی پاک توسط مرکز توزیع j برای محصول m

N_{lm} : پارامتر استفاده از تکنولوژی پاک توسط مرکز جمع‌آوری l پردازش محصول m (فن‌آوری پاک شامل انرژی تجدید پذیر و بازیافتی مانند انرژی خورشیدی است.

هر سه پارامتر کیفی هستند و باید توسط تصمیم-گیرندگان تعیین شوند. این سه پارامتر بین ۰ و ۱ می‌باشند. برخی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری مانند فرایند سلسله مراتبی تحلیلی[1] می تواند برای تبدیل ارزیابی کیفی به نتایج کمی مفید باشند. تابع هدف دوم می تواند به صورت معادله (۳۸) نوشته شود:

$$MaxZ_2 = \sum_i \sum_m M_{im} \left(\sum_j I_{ijm} \right) + \sum_j \sum_m P_{jm} \left(\sum_j O_{jkm} \right) + \sum_l \sum_m N_{lm} \left(\sum_k V_{klm} + \sum_i S_{lim} + T_{lm} \right) \quad (۳۸)$$

1- AHP

جدول ۱: مقادیر پارامترها برای حل مساله

$I = 4$	$B_m = 0.1455$	$G_l = 500000$	$v_{km} = 25000000$
$J = 6$	$C_m = 0.15$	$H_m = 2.5$	$r_{km} = 10000$
$L = 4$	$D_m = 0.05$	$PC_{im} = 100000$	$A_{jm} = 1000$
$K = 6$	$O_m = 0.03$	$DC_j = 300000$	$h_{jm} = 30$
$m = 3$	$N_m = 0.0155$	$CC_l = 100000$	$l_{ij} = 0.1$(سال)
$MC_m = 15$	$E_i = 5000000$	$\alpha_m = 0.4$	$Z_\alpha = 1.96$
$PR_m = 8$	$F_j = 500000$	$\mu_{km} = 27000$	

جدول ۲: مقایسه مدل یکپارچه و غیر یکپارچه برای $\theta = 1$

میزان	مدل غیر یکپارچه				مدل یکپارچه				
صرفه‌جویی در هزینه	تابع هدف کل	مراکز جمع-آوری	مراکز توزیع	کارخانه‌ها	تابع هدف کل	مراکز جمع-آوری	مراکز توزیع	کارخانه‌ها	$\theta = 1$
۲۲۸۳۸۵,۸	۲,۴۸۹۰*۱۰^۷	۱،۲	۲،۵،۶	۳،۴	۲,۴۶۶۲*۱۰^۷	۱،۲	۱،۵	۱،۴	$\beta = 1.1$
۳۷۴۱۶۰,۳	۲,۵۸۵۵*۱۰^۷	۱،۲	۲،۴،۵،۶	۳،۴	۲,۵۴۹۱*۱۰^۷	۱،۲	۱،۵	۱،۴	$\beta = 1.3$
۴۹۲۵۱۲,۲	۴,۲۳۶۶*۱۰^۷	۱،۲	۱،۲،۳،۴،۵،۶	۲،۴	۴,۱۸۷۴*۱۰^۷	۱،۲	۲،۴،۵،۶	۳،۴	$\beta = 6.2$

جدول ۳. مقایسه مدل یکپارچه و غیر یکپارچه برای $\theta = 1$ و مسئله با اندازه متوسط

میزان	مدل غیر یکپارچه				مدل یکپارچه				
صرفه‌جویی در هزینه	تابع هدف کل	مراکز جمع‌آوری	مراکز توزیع	کارخانه‌ها	تابع هدف کل	مراکز جمع-آوری	مراکز توزیع	کارخانه‌ها	$\theta = 1$
۱۸۶۹۵۸۴	۵,۳۹۷۲*۱۰^۷	۲،۴،۵،۶	،۱،۲،۳ ۶،۸،۱۲	۱،۲،۳،۴	۵,۲۱۰۳*۱۰^۷	۲،۴،۵،۶	،۱،۲،۳ ۸،۱۲	۱،۲،۳،۴	$\beta = 2$
۲۱۰۴۱۲۱	۵,۹۹۳۴*۱۰^۷	۲،۴،۵،۶	۱،۲،۳،۴ ۶،۷،۸،۱۲	۱،۲،۳،۴	۵,۷۸۳۰*۱۰^۷	۲،۴،۵،۶	۱،۲،۳،۶ ۷،۸،۱۲	۱،۲،۳،۴	$\beta = 3$
۱۴۷۶۰۲۴	۶,۴۳۱۹*۱۰^۷	۲،۴،۵،۶	۱،۲،۳،۴،۵ ۶،۷،۸،۱۲	۱،۲،۳،۴	۶,۲۸۴۳*۱۰^۷	۲،۴،۵،۶	۱،۲،۳،۴ ۶،۷،۸،۱۲	۱،۲،۳،۴	$\beta = 4$
۰	۶,۷۹۹۳*۱۰^۷	۲،۴،۵،۶	۱،۲،۳،۴،۵ ۶،۷،۸،۱۲	۱،۲،۳،۴	۶,۷۹۹۳*۱۰^۷	۲،۴،۵،۶	۱،۲،۳،۴،۵ ۶،۷،۸،۱۲	۱،۲،۳،۴	$\beta = 5$

جدول ۴. مقایسه مدل یکپارچه و غیر یکپارچه برای $\beta = 5$

میزان صرفه‌جویی در هزینه	مدل غیر یکپارچه				مدل یکپارچه				
	تابع هدف کل	مراکز جمع‌آوری	مراکز توزیع	کارخانه‌ها	تابع هدف کل	مراکز جمع‌آوری	مراکز توزیع	کارخانه‌ها	$\beta = 5$
۱۱۱۰۹۹۸	۸,۰۸۳۳*۱۰^۷	۲،۴،۵،۶	۱،۲،۳،۴،۵ ۶،۷،۸،۱۲	۱،۲،۳،۴	۷,۹۷۲۲*۱۰^۷	۲،۴،۵،۶	۱،۲،۳،۴ ۶،۷،۸،۱۲	۱،۲،۳،۴	$\theta = 5$
۱۸۱۲۱۳۰	۹,۱۰۴۸۸*۱۰^۷	۲،۴،۵،۶	۱،۲،۳،۴ ۶،۷،۸،۱۲	۱،۲،۳،۴	۸,۸۳۱۸*۱۰^۷	۲،۴،۵،۶	۱،۲،۳،۶ ۷،۸،۱۲	۱،۲،۳،۴	$\theta = 8$
۳۱۴۰۵۵۷	۱,۱۱۱۳۸*۱۰^۸	۲،۴،۵،۶	۱،۲،۳،۴،۵ ۶،۷،۸،۱۲	۱،۲،۳،۴	۱,۰۷۹۸۹*۱۰^۸	۲،۴،۵،۶	۱،۲،۳ ۶،۸،۱۲	۱،۲،۳،۴	$\theta = 15$
۵۱۴۴۸۱۶	۱,۴۰۸۱۸*۱۰^۸	۲،۴،۵،۶	۱،۲،۳،۴،۵ ۶،۷،۸،۱۲	۱،۲،۳،۴	۱,۳۵۶۷۴*۱۰^۸	۲،۴،۵،۶	۱،۲،۳ ۸،۱۲	۱،۲،۳،۴	$\theta = 25$

۴-۱- رویکرد حل

برای حل مسئله چندهدفه، دو روش مجموع وزنی و حدی (محدودیت اپسیلون) استفاده‌شده است. روش مجموع وزنی مشهورترین روش چندهدفه می‌باشد. با این حال تعیین وزن‌ها یک چالش است. برای مقایسه نتایج، همچنین از روش حدی استفاده‌شده است.

۴-۱-۱- روش مجموع وزنی نرمال شده

در این روش، توابع هدف با تخصیص اوزان (w_1 و w_2 در این مسئله) مناسب ترکیب می‌شوند. در حالت ایده‌آل، وزن هر یک از توابع هدف توسط فرد خبره بر اساس دانش ذاتی او از مسئله تعیین می‌شود. هرچند، با توجه به اینکه اهداف مختلف می‌توانند ازنظر اندازه متفاوت باشند، نرمال-سازی اهداف برای بدست آوردن جبهه پارتو موردنیاز است. برای مدل پیشنهادی مسئله‌ی تک هدفه به صورت (۳۹) می‌باشد:

$$Min\ z = \frac{w_1(z_1 - z_1^U)}{z_1^N - z_1^U} - \frac{w_2(z_2 - z_2^U)}{z_2^N - z_2^U} \qquad (۳۹)$$

$$s.t.$$

$$Eqs.(5) - (20)$$

$$w_1, w_2 \geq 0$$

این روش توسعه یافته روش مجموع وزنی است که با نرمال‌سازی توابع هدف آن‌ها را در بازه $[0,1]$ قرار می‌دهد. در این روش z_i^N بدترین مقدار تابع هدف iام و z_i^U بهترین مقدار تابع هدف iام است.

۴-۱-۲- روش محدودیت اپسیلون

در این روش یکی از اهداف با توجه به اولویت تصمیم-گیرنده بهینه می‌شود در حالی که سایر اهداف با توجه به اینکه از نوع حداقل‌سازی یا حداکثرسازی هستند، بایستی از یک حد مجاز کوچکتر یا بزرگتر باشند و به عنوان محدودیت در مدل در نظر گرفته شوند. برای مدل پیشنهادی مسئله‌ی تک‌هدفه‌ی این روش به صورت زیر می‌باشد:

$$Min\ z = z_1$$
$$s.t. \qquad (۴۰)$$
$$z_2 \geq \varepsilon$$
$$Eqs.(5) - (20)$$

۴-۲- جبهه پارتو

هدف از مدل‌های برنامه‌ریزی چندهدفه یافتن راه‌حل‌های کارآمد است. مجموعه راه‌حل‌های کارآمد، جبهه پارتو را ایجاد می‌کند. در این بخش، مسئله توسط دو روش ذکرشده

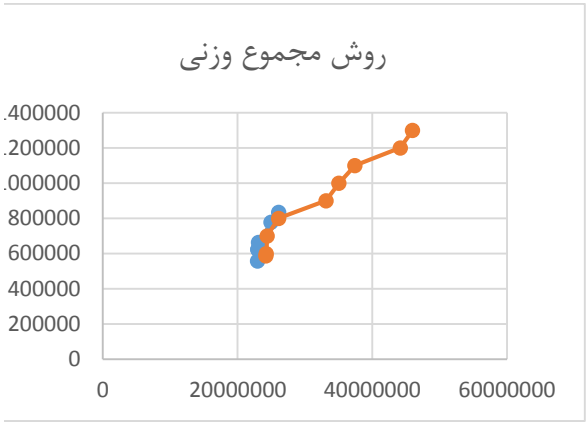
حل‌شده و جبهه پارتو در شکل (۲) نشان داده‌شده است. برای این منظور وزن‌های مختلف تعیین‌شده و مقادیر توابع هدف محاسبه‌شده است. افزون بر این، جبهه پارتو مسئله با تغییر مقدارε بدست آمده است.

استفاده از روش مجموع وزنی آسان است، اما می‌توان آن را فقط به مجموعه‌های محدب اعمال کرد. ضعف این روش است که شناسایی جبهه پارتو مسئله را با مشکل روبه‌رو می‌کند. روش حدی می‌تواند برای مسائل غیر محدب استفاده شود. بااین‌حال، به انتخاب پارامتر ε بسیار حساس است. انتخاب خوب می‌تواند گسترش خوبی از راه‌حل‌های جبهه پارتو را فراهم کند. این موضوع را می‌توان به‌عنوان ضعف این روش در نظر گرفت.

در شکل (۲) می‌بینید که روش وزن دهی نمی‌تواند راه‌حل‌های زیادی از جبهه‌ی پارتو را شناسایی کند و فقط بخش کوچکی از جبهه پارتو توسط این روش شناسایی‌شده است درحالی‌که روش حدی توانسته دامنه‌ی بزرگی از جواب‌ها را به دست آورد. درنتیجه، روش حدی، به‌جای روش مرسوم وزنی، کارآمدتر است. مقادیر تابع هدف روش حدی در جدول (۵) آمده است.

جدول ۵. نتایج روش محدودیت اپسیلون

مراکز جمع‌آوری	مراکز توزیع	کارخانه‌ها	مقدار تابع هدف دوم	مقدار تابع هدف اول	ε
۱،۲	۱،۵	۱،۴	۵۸۷۱۰۰	۲۴۲۴۷۲۸۵،۵۹۶۳	۵۰۰۰۰۰
۲،۴	۱،۵	۱،۴	۶۰۰۰۰۰	۲۴۲۸۷۷۸۰،۵۰۱۲	۶۰۰۰۰۰
۲،۳	۲،۴	۳،۴	۷۰۰۰۰۰	۲۴۴۰۵۵۶۶،۶۱۴۱	۷۰۰۰۰۰
۲،۳	۲،۴	۳،۴	۸۰۰۰۰۰	۲۶۱۲۳۳۴۸،۸۷۹۴	۸۰۰۰۰۰
۲،۳	۱،۲،۴	۲،۳،۴	۹۰۰۰۰۰	۳۳۱۴۷۹۲۷،۸۴۹۱	۹۰۰۰۰۰
۲،۳	۱،۳،۴	۲،۳،۴	۱۰۰۰۰۰۰	۳۵۰۶۲۱۱۰،۳۵۸۷	۱۰۰۰۰۰۰
۲،۳	۱،۲،۳	۲،۳،۴	۱۱۰۰۰۰۰	۳۷۴۵۱۹۶۷،۷۵۸۱	۱۱۰۰۰۰۰
۲،۳	۱،۲،۳،۴	۱،۲،۳،۴	۱۲۰۰۰۰۰	۴۴۱۶۲۹۲۷،۹۷۸۴	۱۲۰۰۰۰۰
۲،۳	۲،۴	۱،۲،۳،۴	۱۳۰۰۰۰۰	۴۵۹۹۲۳۶۲،۵۲۱۸	۱۳۰۰۰۰۰



شکل۲. جبهه‌ی پارتو مسئله پیشنهادی با روش وزنی و حدی

۵- بسط مدل با در نظر گرفتن عدم‌قطعیت

در حقیقت، هر یک از هزینه‌ها و پارامترها به‌غیراز هزینه ثابت مکان‌یابی می‌تواند وابسته به سناریو باشد. عدم‌قطعیت در تقاضا، منبع اصلی عدم‌قطعیت در مدیریت زنجیره تأمین می‌باشد. عدم‌قطعیت در بازگشتی‌ها، دیگر منبع مهم ابهام در لجستیک معکوس می‌باشد.

۵-۱- برنامه‌ریزی تصادفی

عدم‌قطعیت در پارامترها می‌تواند توسط برنامه‌ریزی تصادفی مدل شود. هدف از برنامه‌ریزی تصادفی کشف جوابی است که بتواند تحت هر حالت ممکن از پارامترهای تصادفی،

خوب عمل کند. پارامترهای تصادفی می‌توانند به‌عنوان مقادیر پیوسته یا سناریوهای گسسته بیان شوند. در این مقاله برای در نظر گرفتن عدم‌قطعیت از تحلیل بر مبنای سناریو استفاده‌شده است.

فرض کنید که بردار y شامل همه متغیرهای دودویی باشد. بعلاوه بردار x، همه‌ی متغیرهای غیر منفی را شامل می‌شود. علاوه بر این q و C به ترتیب بردارهای مرتبط با هزینه‌های ثابت و متغیر هستند. همچنین a، b، e و f ماتریس هستند. برای مسئله مینیمم‌سازی داریم:

$$\begin{aligned} &\min z = qy + Cx \\ &s.t. \\ &ax \le b \\ &ex \le fy \\ &y \in \{0,1\} \quad x \ge 0 \end{aligned} \tag{۴۱}$$

همچنین فرض کنید که U سناریو داریم و سناریو u با احتمال pu اتفاق می‌افتد. مقدار مورد انتظار تابع هدف به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} &\min z = qy \\ &+ \sum_u p_u c_u x_u \\ &s.t. \\ &a_u x_u \le b_u \quad \forall u \\ &e_u x_u \le fy \quad \forall u \\ &y \in \{0,1\} \quad x_u \\ &\ge 0 \quad \forall u \end{aligned} \tag{۴۲}$$

برای فرموله کردن شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته تحت عدم قطعیت سناریو، مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای جدید، باید به تعاریف قبلی اضافه شوند.

مجموعه‌ها:

U : مجموعه ی سناریوها$(1 \dots u \dots U)$

پارامترها:

μ_{kmu} : میانگین تقاضای سالانه بازار تقاضا k برای محصول m در سناریو u

v_{kmu} : واریانس تقاضای سالانه بازار تقاضا k برای محصول m در سناریو u

r_{kmu} : مقدار بازگشتی‌های سالانه بازار تقاضا k برای محصول m در سناریو u

p_u : احتمال سناریو u

متغیرها:

I_{ijmu} : مقدار محصول m تولیدی توسط کارخانه i برای مرکز توزیع j در سناریو u

O_{jkm} : مقدار محصول m حمل شده از مرکز توزیع j به مشتری k در سناریو u

V_{klmu} : مقدار محصول m بازگشتی از مشتری k به مرکز جمع آوری l در سناریو u

S_{limu} : مقدار محصول m بازگشتی از مرکز جمع-آوری l به کارخانه i در سناریو u

T_{lmu} : مقدار محصول m بازگشتی از مرکز جمع-آوری l به مرکز دفع در سناریو u

Q_{jmu} : مقدار سفارش محصول m در مرکز توزیع j در سناریو u

ROP_{jmu} : نقطه سفارش مجدد محصول m در مرکز توزیع j در سناریو u

SS_{jmu} : میزان ذخیره احتیاطی محصول m در مرکز توزیع j در سناریو u

x_{ijmu} : اگر مرکز توزیع j برای کالای m به کارخانه i در سناریو u تخصیص داده شود، یک و در غیر اینصورت صفر

y_{jkmu} : اگر بازار تقاضا k برای کالای m به مرکز توزیع j در سناریو u تخصیص داده شود، یک و در غیر اینصورت صفر

تصمیمات مکانیابی مستقل از سناریو هستند: آنها باید قبل از مشخص شدن سناریو تحقق یابند. تصمیم‌گیری‌ها درباره‌ی تخصیص و جریان محصول وابسته به سناریو هستند. تصمیمات موجودی نیز وابسته به سناریو هستند، به طوریکه در آنها سطوح موجودی اطمینان پس از مشخص شدن تخصیص‌ها و میانگین و واریانس تقاضا، تغییر می‌کند. توجه

داشته باشید که دو سطح تصادفی در مدل ارائه شده وجود دارد: سناریوها که میانگین و واریانس تقاضاها را تعیین می-کنند، اما هنگامی که سناریو مشخص شد، تقاضاها هنوز هم طبق توزیع احتمالی تعیین شده تصادفی هستند. هدف انتخاب مکان تسهیلات برای به حداقل رساندن هزینه مورد انتظار سیستم است. برای مدلسازی ابتدا ۳ متغیر زیر را تعریف می‌کنیم:

$$\pi_{ijmu} = I_{ijmu} y_{ijmu} \quad \forall i,j,m,u \qquad (۴۳)$$
$$\omega_{jkmu} = O_{jkmu} x_{jkmu} \quad \forall j,k,m,u$$
$$\delta_{ijkmu} = x_{jkmu} y_{ijmu} \quad \forall i,j,k,m,u$$

مدل تصادفی چندهدفه (بر مبنای سناریو) به صورت زیر نوشته می‌باشد:

$$\begin{aligned} MinZ_1 &= \sum_i E_i Z_i + \sum_j F_j U_j + \sum_l G_l W_l \\ &+ \sum_i \sum_m p_u \left(\sum_j I_{ijmu} - \sum_l S_{limu} \right) (MC_m) \\ &+ \sum_i \sum_j \sum_m p_u \beta B_m t_{ij} I_{ijmu} \\ &+ \sum_j \sum_k \sum_m p_u \beta C_m u_{jk} O_{jkmu} \\ &+ \sum_k \sum_l \sum_m p_u \beta D_m e_{kl} V_{klmu} \\ &+ \sum_i \sum_l \sum_m p_u (\beta O_m d_{li} + PR_m) S_{limu} \\ &+ \sum_l \sum_m p_u (H_m + \beta N_m e_l)\, T_{lmu} \\ &+ \sum_j \sum_m p_u \sqrt{2 A_{jm} \theta h_{jm} \sum_k \mu_{kmu} x_{jkmu}} \\ &+ \sum_j \sum_m p_u Z_\propto \theta h_{jm} \sqrt{\sum_k \sum_i v_{kmu} l_{ij} \delta_{ijkmu}} \end{aligned} \qquad (۴۴)$$

$$\forall u \qquad (۴۵)$$
$$\sum_i \sum_m M_{im} \left(\sum_j I_{ijm} \right) + \sum_j \sum_m P_{jm} \left(\sum_j O_{jkm} \right) + \sum_l \sum_m N_{lm} \left(\sum_k V_{klm} + \sum_i S_{lim} + T_{lm} \right) \geq \varepsilon$$

$$\sum_i \pi_{ijmu} \geq \sum_k \mu_{kmu} x_{jkmu} \quad \forall j,m,u \qquad (۴۶)$$
$$\sum_i I_{ijmu} \geq \sum_k O_{jkmu} \quad \forall j,m,u \qquad (۴۷)$$
$$\sum_j \omega_{jkmu} \geq \mu_{kmu} \quad \forall k,m,u \qquad (۴۸)$$
$$\sum_j x_{jkmu} \leq 1 \quad \forall k,m,u \qquad (۴۹)$$
$$x_{jkmu} \leq U_j \quad \forall j,k,m,u \qquad (۵۰)$$
$$\sum_i y_{ijmu} \leq 1 \quad \forall j,m,u \qquad (۵۱)$$
$$y_{ijmu} \leq Z_i \quad \forall i,j,m,u \qquad (۵۲)$$
$$\sum_l V_{klmu} = r_{kmu} \quad \forall k,m,u \qquad (۵۳)$$
$$\sum_k V_{klmu} = \sum_i S_{limu} + T_{lmu} \quad \forall l,m,u \qquad (۵۴)$$
$$\propto_m \sum_k V_{klmu} \leq T_{lmu} \quad \forall l,m,u \qquad (۵۵)$$
$$\sum_j I_{ijmu} \leq Z_i PC_{im} \quad \forall i,m,u \qquad (۵۶)$$
$$\sum_k \mu_{kmu} x_{jkmu} \leq U_j DC_{jm} \quad \forall j,m,u \qquad (۵۷)$$
$$\sum_k V_{klmu} \leq W_l CC_{lm} \quad \forall l,m,u \qquad (۵۸)$$
$$\sum_l \sum_m S_{limu} \leq M Z_i \quad \forall i,u \qquad (۵۹)$$
$$Z_i, U_j, W_l, x_{jkmu}, y_{ijmu} \in \{0,1\} \quad \forall i,j,l,k,m \qquad (۶۰)$$
$$I_{ijmu}, O_{jkmu}, V_{klmu}, S_{limu}, T_{lm} \geq 0 \quad \forall i,j,l,k,m \qquad (۶۱)$$

۵-۲- نتایج محاسباتی

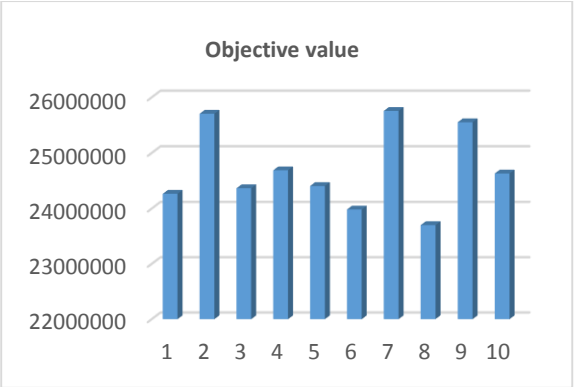
برای بررسی اثرات عدم‌قطعیت، تجزیه و تحلیل سناریو انجام شده است. سناریوهای انتخاب شده برای تجزیه و تحلیل و بحث در جدول (۶) ذکر شده است. هر سناریو (۱-۹)، سناریوی متفاوتی را نشان می‌دهد که تغییرات در تقاضا و بازگشت را منعکس می‌کند. علاوه بر این، سناریوها از لحاظ تغییرات مقدار تابع هدف با توجه به مورد پایه (سناریو ۵)، همانطور که در جدول (۵) نشان داده شده است (به عنوان مثال $\frac{(25705434.488-24405566.614)}{24405566.614} = 5.3\%$)، مقایسه می‌شوند.

بعلاوه، مدل تصادفی حل شده است و تغییرات مقدار تابع هدف آن در جدول (۵) نوشته شده است. شکل (۳) مقدار تابع هدف را در مدل‌های قطعی و تصادفی نشان می‌دهد. تجزیه و تحلیل حساسیت نتایج نشان می‌دهد که شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته بهینه به تغییرات تقاضا و بازگشتی بسیار حساس است.

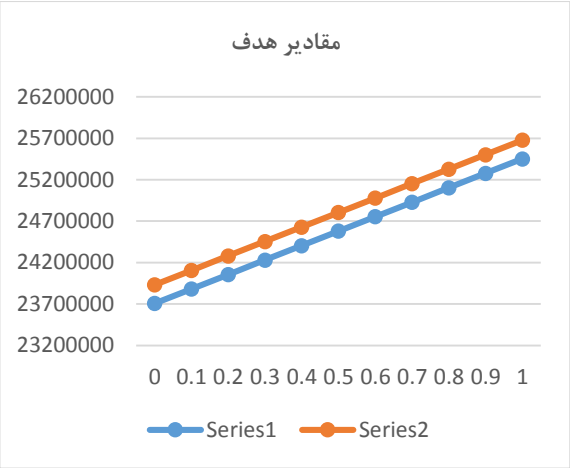
درصد تغییرات	احتمال	بازگشتی	تقاضا(انحراف معیار ، میانگین)	سناریو
-۰,۵	۰,۰۷۵	۹۰۰۰	(۲۴۰۰۰، ۵۰۰۰)	۱
۵,۳	۰,۰۷۵	۱۱۰۰۰	(۳۰۰۰۰، ۵۰۰۰)	۲
-۰,۱	۰,۱	۱۱۰۰۰	(۲۷۰۰۰، ۵۰۰۰)	۳
۱,۱	۰,۱	۹۰۰۰	(۲۷۰۰۰، ۵۰۰۰)	۴
۰,۰۰	۰,۳	۱۰۰۰۰	(۲۷۰۰۰، ۵۰۰۰)	۵ (مدل پایه)
-۱,۷	۰,۱	۱۰۰۰۰	(۲۴۰۰۰، ۵۰۰۰)	۶
۵,۵	۰,۱	۱۰۰۰۰	(۳۰۰۰۰، ۵۰۰۰)	۷
-۲,۸	۰,۰۷۵	۱۱۰۰۰	(۲۴۰۰۰، ۵۰۰۰)	۸
۴,۶	۰,۰۷۵	۹۰۰۰	(۳۰۰۰۰، ۵۰۰۰)	۹
۰,۹	ترکیب ۹ سناریو بالا			۱۰ (مدل تصادفی)

۶- تحلیل حساسیت مقدار تابع هدف نسبت به درصد انهدام

درصد انهدام محصول m ($\propto_m$) یک پارامتر مهم در لجستیک معکوس است. برای نشان دادن اثر این پارامتر روی تابع هدف، تحلیل حساسیت انجام‌شده است. شکل (۴) نتایج را برای هر دو مدل قطعی (مدل پایه) و تصادفی نشان می‌دهد.



شکل۳: مقادیر هدف سناریوهای قطعی (۱-۹) و حالت تصادفی (سناریو ۱۰)



شکل۴: تحلیل حساسیت ($\propto_m$) در مدل قطعی (مدل پایه) و تصادفی

۷- نتیجه‌گیری

در این مطالعه مدل طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته با ریسک اشتراکی و مدت‌زمان تحویل وابسته به جفت مراکز توزیع و کارخانه برای مسئله مکان‌یابی- موجودی مستقیم/معکوس با ظرفیت محدود ارائه‌شده است. همچنین مزیت یکپارچگی تصمیمات سطح استراتژیک و سطح تاکتیکی با مقایسه مدل یکپارچه و غیر یکپارچه نشان داده‌شده است. علاوه بر این، مدل پیشنهادی به‌منظور در نظر گرفتن تابع هدف زیست‌محیطی گسترش‌یافته است. دو روش برای حل مدل چندهدفه ازجمله روش وزنی و روش‌های حدی استفاده‌شده است. نتایج نشان می‌دهد که روش حدی می‌تواند راه‌حل‌های کارآمدتری را نسبت به روش وزنی بدست آورد. این مدل همچنین توسط برنامه‌ریزی تصادفی (مبتنی بر سناریو) برای بررسی اثرات تقاضا و بازگشتی غیرقطعی بر روی پیکربندی شبکه توسعه داده‌شده است.

ازنظر مدیریتی، این مقاله می‌تواند به‌عنوان یک خط راهنمای مناسب برای مدیریت زنجیره تأمین در خصوص یکپارچه نمودن تصمیمات مکان‌یابی و موجودی و در نظر گرفتن تأثیرات فاکتورهای زیست‌محیطی در طراحی زنجیره تأمین و همچنین در نظر گرفتن عامل عدم قطعیت باشد. مثال کاربردی مهم می‌تواند صنایع لاستیک باشد که با آلودگی فراوانی نیز مواجه‌اند و توجه به عواملی چون استفاده از تکنولوژی پاک و مواد سازگار با محیط‌زیست می‌تواند از اهمیت زیادی برخوردار باشد. همچنین به دلیل شرایط محیطی و تغییر سلایق مشتریان، تقاضا و نرخ برگشت در این زنجیره می‌تواند توأم با عدم قطعیت باشد که در این مدل نیز این فرض در نظر گرفته‌شده است و شرایط مدل را به دنیای واقعی نزدیک‌تر نموده است.

برخی از پیشنهادات برای کارهای آتی وجود دارد. یکی از نقاط ضعف تجزیه‌وتحلیل مبتنی بر سناریو، تعداد کم سناریوها به دلایل محاسباتی است. بررسی اثر عدم قطعیت در مدل با روش‌های دیگر و مقایسه نتایج مفید است. همچنین توسعه رویکردهای دقیق و ابتکاری برای حل مسائل بزرگ در یک‌زمان معقول مناسب است. درنهایت مفید است که مدل‌ها را در موارد واقعی بکار ببریم و نتایج را تجزیه‌وتحلیل کنیم.

۹- منابع و مآخذ

[1] Amiri, A., "Designing a distribution network in a supply chain system: formulation and efficient solution procedure", European Journal of Operational Research, 567– 576, 2006.

[2] Eppen, G., "Effects of centralization on expected costs in a multi-location newsboy problem". Management Science, 25 (5), 498–501, 1979.

[3] Chen, M.S and Lin, C.T., "Effects of centralization on expected costs in a multi-location newsboy problem", Journal of Operations Research Society, 40 (6), 597–602, 1989.

[4] Pishvaee, M.S., Zanjirani Farahani, R., Dullaert, W. (2010), A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design, Computers & Operations Research, 37: 1100-1112.

[5] Amin S.H., Zhang G., "A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return".Applied Mathematical Modelling, 37, 4165-4176, 2013.

[6] Hafeti, S.M. and Jolai, F., " Robust and Reliable Forward-Reverse Logistics Network Design under Demand Uncertainty and Facility Disruptions". Applied Mathematical Modelling., 38, 2630-2647, 2014.

[7] Keyvanshokooh, E., Fattahi, M., Hosseini, S.M.S. and Moghaddam, R.T., "A Dynamic Pricing Approach for Returned Products in Integrated Forward/Reverse Logistics Network Design". Applied Mathematical Modelling, 37,10182-10202, 2013.

[8] Devika, K., Jafarian, A. and Nourbakhash V., "Designing a Sustainable Closed-Loop Supply Chain Network Based on Triple Bottom Line Approach: A Comparison of Metaheuristics Hybridization Techniques". European Journal of Operational Research, 235(3), 594-615, 2014.

[9] Ramezani, M., Kimiagari, A.M., Karimi, B. and Hejazi, H.T., "Closed-loop supply chain network design under a fuzzy environment", Knowledge-Based Systems, 59, 108-120, 2014.

[10] Talaei, M., Moghaddam, B.F., Pishvaee, M.S., Bozorgi-Amiri, A., and Gholamnejad, S., "A robust fuzzy optimization model for carbon-efficient closed-loop supply chain network design problem: A numerical illustration in electronics industry", Journal of Cleaner Production, 113, 662-673, 2016.

[11] Fathollahi Fard, A.M., Gholian-Jouybari, F., Paydar, M.M., Hajiaghaei-Keshteli, M., "A Bi-Objective Stochastic Closed-loop Supply Chain Network Design Problem Considering Downside Risk". Industrial Engineering & Management Systems, 16(3), 342-362, 2017.

[12] Paydar, M.M., Babaveisi, V., Safaei, A.S., "An engine oil closed-loop supply chain design considering collection risk". Computers & Chemical Engineering, 104, 38-55, 2017.

[13] Safaei, A.S., Roozbeh, A., Paydar, M.M., "A robust optimization model for the design of a cardboard closed-loop supply chain". Journal of Cleaner Production, 166, 1154-1168, 2017.

[14] Fathollahi-Fard A, Hajiaghaei-Keshteli M, Mirjalili S., "Multi-objective stochastic closed-loop supply chain network design with social considerations", Applied Soft Computing, 71: 505-525, 2018.

[15] Ghomi-Avili, M Khosrojerdi, A Tavakkoli-Moghaddam, R, "A multi-objective model for the closed-loop supply chain network design with a price-dependent demand, shortage and disruption", Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 36: 5261-5272, 2019.

[16] Alizadeh M, Makui A, Paydar M M, "Forward and reverse supply chain network design for consumer medical supplies considering biological risk". Computers & Industrial Engineering, 140, 2020.

[17] Abdallah, T., Diabat, A., Simchi-Levi, D., "Sustainable supply chain design: a closed-loop formulation and sensitivity analysis". Production Planning & Control: The Management of Operations, 23(2.3), 120-133, 2012.

[18] Diabat A, Abdallah T, Henschel A., "A closed-loop location–inventory problem with spare parts consideration". Computers & Operations Research, 54, 245-256, 2015.

[19] Ahmadzadeh E, Vahdani B., "A location-inventory pricing model in a closed loop supply chain network with correlated demands and shortages under a periodic review system", Computers & Chemical Engineering, 101: 148-166,2017.

[20] Guo H, Li C, Zhang Y, Zhang C and Lu M, "A Location-Inventory Problem in a Closed-Loop Supply Chain with Secondary Market Consideration", Sustainability, volume 10, issue 6, 2018.

[21] Vahdani B, Ahmadzadeh E., "Designing a realistic ICT closed loop supply chain network with integrated decisions under uncertain demand and lead time", Knowledge-Based Systems ,179 : 34-54, 2019.

[22] Daskin, M.S., Coullard, C.R.and

Shen, Z.M., "An inventory-location model: formulation, solution algorithm and computational results". Annals of Operations Research, 110 (1), 83–106, 2002.

[23] Shen, Z.M., Coullard, C.R., and Daskin, M.S., "A joint location-inventory model". Transportation Science, 37 (1), 40–55, 2003.

[24] Miranda, P.A., and Garrido, R.A., "Incorporating inventory control decisions into a strategic distribution network design model with stochastic demand", Transportation Research Part E, Logistics and Transportation Review, 40 (3), 183–207, 2004.

[25] Sourirajan, K., Ozsen, L.,
and Uzsoy, R., "A single-product network design model with lead time and safety stock considerations". IIE Transactions, 39 (5), 411–424, 2007.

[26] Sourirajan, K., Ozsen, L., and Uzsoy, R., "A genetic algorithm for a single product network design model with lead time and safety stock considerations", European Journal of Operational Research, 197 (2), 599–608, 2009.

[27] Vidyarthi, N., Çelebi, E., Elhedhli, S., Jewkes, E., "Integrated production-inventory-distribution system design with risk pooling: model formulation and heuristic solution". Transportation Science, 41 (3), 392–408, 2007.

[28] You, F., and Grossmann, I.E., "Mixed-integer nonlinear programming models and algorithms for large-scale supply chain design with stochastic inventory management". Industrial and Engineering Chemistry Research, 47 (20), 7802–7817, 2008.

[29] Federgruen, A., Zheng, Y.S., "An efficient algorithm for computing an optimal (r, Q) policy in continuous review stochastic inventory systems". Operations Research, 40 (4), 808–813. 1992.

[30] Zheng, Y.S., and Chen, F., "Inventory policies with quantized ordering". Naval Research Logistics, 39 (3), 285–305, 1992.

[31] Axster, S., "Using the deterministic EOQ formula in stochastic inventory control". Management Science 42 (6), 830–834, 1996.

[32] Zheng, Y.S., "On properties of stochastic inventory systems". Management Science, 38(1), 87–103, 1992.

[33] Elsayed, E.A., Boucher, T.O., "Analysis and Control of Production Systems (2nd ed)", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1994