مقاله پژوهشی

ارائه مدل ریاضی چندهدفه زنجیره‌ی تأمین حلقه بسته سبز در شرایط فروش محصولات برگشتی با استفاده از رویکرد روش محدودیت اپسیلون

احسان فلاحی آرزودار*

(**نویسنده مسئول**) استادیار گروه مهندسی صنایع، دکتری تخصصی، دانشکده فنی و مهندسی شرق گیلان، دانشگاه گیلان، رودسر، گیلان، ایران. fallahi.ehsan@guilan.ac.ir

فاطمه اعلمی

دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، گیلان، ایران. industrialmanagment@yahoo.com

محدثه احمدی‌پور رودپشت

استادیار گروه مهندسی صنایع، دکتری تخصصی، دانشکده فنی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، گیلان، ایران. dr.ahmadipour@liau.ac.ir

چکیده: در دنیای امروز، تغییرات سریع اقتصادی و فشار فزاینده بازار رقابتی، سازمان‌ها را به سمت تمرکز بر کاراتر و اثربخش‌تر کردن فعالیت‌های زنجیره تأمین سوق می‌دهد. طراحی مناسب و کارایی شبکه‌های لجستیکی به‌عنوان بخشی از برنامه‌ریزی زنجیره تأمین، علاوه بر ایجاد مزیت رقابتی پایدار، باعث افزایش رضایت مشتریان شده و امکان پاسخگویی به نیازهای آن‌ها را فراهم می‌آورد و همین امر سبب شده که تصمیمات مربوط به طراحی این شبکه‌ها از اهمیت بالایی برخوردار باشد. از این‌رو در این پژوهش طراحی یک شبکه لجستیک حلقه بسته به‌منظور کاهش آلایندگی و آلودگی‌های محیط زیست، با استفاده از روش استوارسازی برتسیماس و سیم ارائه شد. مدل ریاضی ارائه شده در این پژوهش با درنظرگرفتن اهداف کمینه‌سازی هزینه‌های مربوط به حمل و نقل، کمینه‌سازی زمان دریافت مواد اولیه از تأمین‌کننده و کمینه‌سازی زمان عودت محصول از مشتری به مرکز جداساز ارائه شد. با توجه به استراتژیک‌بودن زنجیره تأمین حلقه بسته ارائه شده، فضای حل تقریبی موجب می‌شود هزینه‌های زیادی به سیستم تحمیل گردد. جهت افزایش دقت در جواب‌های مدل ریاضی و کاربردی‌سازی این هدف در این پژوهش از الگوریتم حل دقیق محدودیت اپسیلون استفاده شده است. نتایج پژوهش نشان داد که توزیع محصولات در شرکت مورد مطالعه (شرکت کاله) به میزان ۲۰ درصد بهبود در هزینه‌ها و زمان‌بندی توزیع برای شرکت را در پی داشته و رضایت مشتریان از دریافت کالاهای تولیدی افزایش یافته است.

واژگان کلیدی: زنجیره تأمین حلقه بسته؛ عدم قطعیت؛ بهینه‌سازی استوار؛ محدودیت اپسیلون

۱- مقدمه

امروزه در بازار رقابتی موجود، مدیریت صحیح زنجیره تأمین به‌منظور افزایش سودآوری و جلب رضایت مشتریان توجه بسیاری را به خود جلب نموده است. مدیران و تصمیم‌گیرندگان ممکن است برای بقای خود در این فضا از سیاست‌هایی بهره بگیرند، اما نتیجه نهایی مطلوب تنها زمانی رقم خواهد خورد که از یک برنامه دقیق و جامع استفاده شده باشد [۱]. لذا یک طراحی دقیق و برنامه‌ریزی اصولی زنجیره تأمین با در نظرداشتن تمامی سطوح و واحدها در افزایش کارایی کل زنجیره تأمین ضروری به‌نظر می‌رسد. زنجیره تأمین، یک سیستم یکپارچه از فرآیندهای مرتبط به‌هم می‌باشد که این فرآیندها به‌منظور: ۱) دستیابی به مواد و قطعات مورد نیاز، ۲) تبدیل مواد اولیه به محصول، ۳) ارزش‌گذاری محصولات، ۴)

Corresponding author: fallahi.ehsan@guilan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۱۱
دوره ۱۱/ شماره ۴
صفحات ۳۵۱-۳۷۶

توزیع محصولات به مشتریان و ۵) تسهیل انتقال اطلاعات بین اجزا زنجیره تأمین، اعم از تأمین‌کنندگان، توزیع‌کنندگان، واسطه‌ها، خرده‌فروشان و مشتریان، ایجاد شده‌است [۲]. مدیریت لجستیک و زنجیره‌های تأمین حلقه بسته، یکی از جنبه‌های مهم و حیاتی هر کسب و کاری بوده و متضمن ساخت، بخش خدمات و پشتیبانی از هر نوع محصولی است. در عصر کنونی تجارت، چرخه عمر محصولات هر روز کوتاه و کوتاه‌تر شده و به همین سبب یکپارچه‌سازی طراحی شبکه لجستیک از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. یکی از زمینه‌های مناسب برای یکپارچه‌سازی در شبکه‌های لجستیک، طراحی یکپارچه شبکه لجستیک مستقیم و معکوس می‌باشد. شبکه‌های لجستیک حلقه بسته به سبب افزایش اهمیت صرفه‌جویی در مواد اولیه، عوامل زیست محیطی و قوانین دولتی، توجه بسیاری از محققین را به خود جلب نموده است [۳].

از آن‌جائیکه فعالیت‌های حوزه تولید و توزیع به‌طور مستقیم در میزان سودآوری و پاسخگویی زنجیره تأمین تأثیر دارد، برنامه‌ریزی یکپارچه و هم‌زمان تولید_توزیع از اهمیت بالائی برخوردار خواهد بود [۴]. با جهانی‌شدن تجارت در سال‌های اخیر، شرکت‌ها در تهیه منابع موردنیاز خود و همچنین در توزیع محصولات و قطعات تولیدی خود به‌صورت گسترده‌تری عمل می‌نمایند. در زمان حاضر مشتریان تمایل دارند کالاهای خود را با سرعت بیشتر و قابلیت اطمینان بالاتر دریافت نمایند و اگر احساس کنند در تحویل کالاهای خود به‌طور مرتب با تأخیر مواجه می‌شوند، به جستجوی عرضه‌کنندگان دیگر می‌پردازند. پس می‌توان گفت در سال‌های اخیر طراحی شبکه لجستیک در زنجیره تأمین نسبت به گذشته اهمیت روزافزونی یافته است و شاید بتوان دلیل آن را تأثیر به‌سزایی دانست که این کارکرد بر موفقیت رقابت شرکت‌ها دارد [۵].

ارزیابی و طراحی شبکه لجستیک، بخشی از برنامه‌ریزی برای زنجیره تأمین است. ساختار شبکه توزیع و مکان‌یابی تسهیلات، جزء موضوعاتی می‌باشند که در سطح استراتژیک موردتوجه واقع می‌شوند. این دو موضوع، درواقع، تشکیل‌دهنده شبکه لجستیک هستند. طراحی شبکه لجستیک یکی از اساسی‌ترین مسائل مطرح در سازمان‌هاست، به‌خصوص سازمان‌هایی که در سطح بین‌المللی فعالیت می‌کنند. بهینه‌سازی این شبکه منجربه مدیریت کارا و مؤثر عملیات کل زنجیره تأمین می‌شود [۶]. به‌طورکلی، تصمیمات طراحی شبکه لجستیک شامل تعیین مکان تسهیلات، نقش و ظرفیت آن‌ها و تخصیص آن‌ها به منابع و بازارهای مختلف می‌باشد. همه این موضوعات، تأثیر به‌سزایی بر انعطاف‌پذیری، کارایی و درنتیجه، عملکرد زنجیره تأمین دارند [۳] و [۴]. توزیع کالای ساخته‌شده از دپوی مرکزی به مشتریان، یک مسئله چالش‌برانگیز در مدیریت لجستیک به شمار می‌رود. میزان کارآمدی توزیع در یک سیستم معمولاً مرتبط با سرعت پاسخ‌دهی به تغییرات سریع تقاضای مشتریان سنجیده می‌شود. تولیدکنندگان به‌طورمعمول برای برآورده‌سازی نیازهای مختلف مشتریان که بعضاً در مناطق مختلف جغرافیایی هستند، اقدام به افزایش تعداد نقاط توزیع می‌نمایند؛ اما این پدیده، خود پیچیدگی‌های شبکه لجستیک را افزایش می‌دهد [۷]. همان‌طور که بیان شده است، یکپارچگی الگوی زنجیره تأمین در توزیع و جمع‌آوری یک هدف نهایی برای کلیه سازمان‌های تولیدی محور می‌باشد، به‌گونه ای که همواره سازمان‌ها بر روی یک بعد (یا توزیع یا جمع‌آوری) تمرکز کرده‌اند و تاکنون هر دو بعد مورد ارزیابی و تحلیل قرار نگرفته است. از سوی دیگر می‌دانیم که محصولات برگشتی همواره با تغییراتی در فرآیند تولید تبدیل به کالای قابل فروش می‌شوند و از این رو ارزیابی کامل زنجیره تأمین در شرکت‌ها نقطه قوت و قابل رقابت با سایر شرکت‌های رقیب است. از سوی دیگر عدم توسعه یکپارچکی سازمان‌ها در تبادل اطلاعات در زنجیره تأمین مستقیم و معکوس سبب شده تا تئوری زنجیره تأمین حلقه بسته به‌خوبی در سازمان نهادینه نشده و فرآیندهای اجرایی ناقص اجرا و تحلیل شوند [۶] و [۷]. بنابراین هدف اصلی در این پژوهش، ارائه مدل ریاضی چند هدفه زنجیره تأمین حلقه بسته سبز در شرایط فروش محصولات برگشتی با استفاده از رویکرد محدودیت اپسیلون درنظر گرفته شده است. جهت رسیدن به این هدف، زیر اهداف تعیین شده به شرح ذیل تدوین شده است؛ تعیین مقدار بهینه

کالاهای حمل شده از کارخانه به مراکز توزیع، تعیین مقدار بهینه کالا های حمل شده از مراکز توزیع به مشتریان، ارزیابی عدم قطعیت در تقاضای مشتریان و میزان نگهداری موجودی و یا کسری موجودی در رویکرد یکپارچه زنجیره تأمین مستقیم و معکوس، تعیین مقدار محصول خراب شده به مراکز جداساز، تعیین مقدار محصول خراب جهت امحاء به مراکز بازیافت، تعیین مسیرهای حمل و نقل، و ارزیابی جبهه پارتوی جواب‌های بهینه مدل ریاضی. از این رو با ارزیابی شرکت مورد مطالعه می‌توان راهبرد یکپارچگی در توزیع و جمع‌آوری را جهت رفع نواقص ارزیابی و تحلیل جامع زنجیره تأمین حلقه بسته را پیاده‌سازی و تحلیل مناسبی را انجام داد. به‌طورکلی روش‌های متعددی برای به حداقل رساندن هزینه‌های زنجیره تأمین ناشی از تولید وجود دارد؛ اما پیشگیری از تولید ضایعات محصولات، از بسیاری از هزینه‌های زیست محیطی قبل از وقوع آن‌ها جلوگیری می‌کند. شبکه‌های لجستیک معکوس با به‌کارگیری فعالیت‌های لجستیکی، محصولات استفاده شده کاربران را به محصولات درخور استفاده دوباره در بازار تبدیل می‌کنند. از طرفی دیگر یکی از روش‌هایی که باعث مزیت رقابتی برای یک سازمان و ایجاد ارزش افزوده برای سازمان می‌شود استفاده از مفاهیم لجستیک حلقه بسته می‌باشد. این رویکرد باعث می‌شود که با بازگشت مجدد محصول پس از بازیافت یا بازساخت، هزینه تولید مرتبط با مواد اولیه کاهش یابد. ترکیب جریان مستقیم در زنجیره‌ی تأمین و لجستیک معکوس منجر به ایجاد زنجیره‌ی تأمین حلقه بسته می‌شود و یکپارچگی و هماهنگی زنجیره‌ی تأمین حلقه بسته، بهبود قابل ملاحظه‌ای در عملکرد کلی سازمان‌های موجود در زنجیره‌ی تأمین بوجود می‌آورد [۸]. از این رو در این پژوهش با توجه به تشریح موضوع زنجیره تأمین و لجستیک معکوس، به توسعه یک مدل ریاضی چندهدفه برای طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته برای هردو حالت جریان روبه‌جلو و معکوس می‌پردازیم. این پژوهش با توجه به ضایعات و خرابی محصولات در زنجیره تأمین، یک شبکه‌ای برای جمع‌آوری این برگشتی‌ها به‌منظور کاهش هزینه‌های زنجیره و ایجاد درآمدهای احتمالی از آن‌ها ارائه خواهد داد. از این رو در این پژوهش پس از ارائه مدل ریاضی زنجیره تأمین حلقه بسته، با توجه به چندهدفه بودن مدل، با استفاده از رویکرد ابتکاری روش محدودیت اپسیلون[1] به ارزیابی جبهه پارتوی[2] جواب‌های بهینه پرداخته شد. همچنین باتوجه به فضای عدم قطعیت موجود در سیستم‌های زنجیره تأمین پرداختن به رویکردها و استراتژی‌های آن امری حیاتی و مهم است که در این پژوهش بدان پرداخته شده است.

۲- پیشینه تحقیق

در دهه‌های ۵۰ و ۶۰ میلادی تاکید بر تولید انبوه قرار داشت تا بدین طریق تولیدکنندگان بتوانند هزینه‌های خود را به حداقل ممکن کاهش دهند [۹]. در دهه‌های۶۰ و ۷۰ میلادی، بهبود فرآیندهای داخلی که برای حضور در صحنه رقابت انجام می‌گرفت، به توسعه استراتژی‌های بازاریابی نیاز پیدا کرد. ارتقا سطح زندگی، رفاه‌طلبی، رشد جمعیت و مهاجرت به شهرها همگی از عواملی بودند که در دهه ۸۰ میلادی باعث افزایش تقاضا برای محصولات و خدمات شدند [۱۰]. در دهه ۹۰ میلادی به خاطر پیشرفت‌های تکنولوژی، توسعه ارتباطات و دانش فنی و فرهنگ صنعتی بالاتر، انعطاف‌پذیری و بهبود در تولید فراهم شد. خدمات و محصولات نهایی، به سلیقه و نیاز مشتری نزدیک‌تر شد و با ظهور دستگاه‌های تولیدی نیمه خودکار و تمام خودکار انعطاف‌پذیری تولید بالاتر رفت. با پیدایش این تفکر، همه به این باور رسیدند که در جهان به‌هم پیوسته امروز پاسخگویی به تقاضای مشتری معمولاً تنها سازنده کالا را درگیر نمی‌کند، بلکه کل زنجیره تأمین و سرویس‌های آن‌ها را به خدمت می‌گیرد و همچنین مدیریت سازمان، ایفاکننده نقش کوچکی است و آن‌چه مهم است مدیریت زنجیره تأمین است [۱۱]. بر اساس فرهنگ لغات اپیکس[3] تعریف زنجیره تأمین عبارت است از: «مجموعه عملیات داخل و

[1] Epsilon-constrained method
[2] Pareto
[3] APIEC

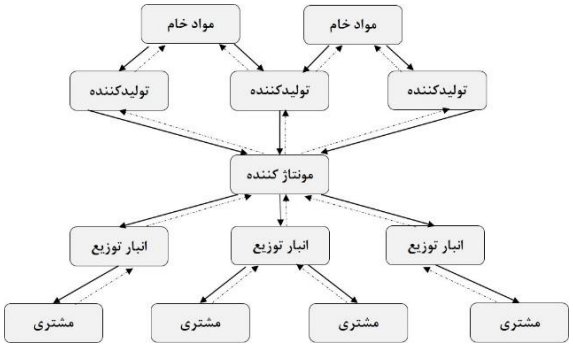
خارج یک شرکت که زنجیره ارزش[4] را قادر به تولید محصول و ارائه خدمت به مشتری می‌نماید». ژاو لیو[5] با دید وسیع‌تری به زنجیره تأمین می‌نگرند و آن را شامل تمام سرچشمه‌های تأمین برای شرکت می‌دانند [۱۲]. انواع مختلفی از شبکه‌های زنجیره تأمین مانند شبکه سری، همگرا، واگرا و مختلط وجود دارد که متناسب با نیاز سازمان می‌توان یکی از استراتژی‌ها را مطلوب را برگزید.

در جهان تجارت نمونه‌های بی‌شماری از شرکت‌هایی که قادر نیستند به سطح تقاضایشان برسند و در نتیجه، موجودی‌های هزینه‌بر و زیادی را متحمل می‌شوند، وجود دارد. مشکلات در زنجیره تأمین به‌طور کلی از دو منبع ناشی می‌شوند [۲].

الف) عدم اطمینان: یک منبع اصلی عدم اطمینان زنجیره تأمین، میزان تقاضاست. پیش‌بینی این چند فاکتور از قبیل رقابت شرایط فعلی، توسعه تکنولوژی و سطح عمومی تعهد مشتریان تاثیر می‌پذیرد. دیگر عامل عدم اطمینان زنجیره تأمین، زمان‌های تحویل است که خود به عواملی مانند نسبت خرابی ماشین‌ها در فرآیند تولید خطی، فشردگی ترافیکی که در حمل و نقل دخالت می‌کند و مشکلات کیفیت مواد که ممکن است تاخیرات تولید را ایجاد کند، وابسته است.

ب) عدم هماهنگی: این نوع مشکلات هنگامی اتفاق می‌افتد که یک بخش شرکت با دیگر بخش‌ها ارتباط خوبی ندارد، وقتی پیغام برای شرکا تجاری غیر قابل فهم باشد و وقتی بخش‌های شرکت از بعضی مسائل آگاهی ندارند و یا خیلی دیر از آن‌چه مورد نیاز است و یا آن‌چه باید اتفاق بیفتد آگاه می‌شوند، به نوعی عدم هماهنگی رخ داده است.

به اعتقاد کریستوفر سه عامل اصلی باعث شده‌اند تا شرکت‌ها بحث مدیریت زنجیره‌ای تأمین را به‌صورت جدی دنبال کنند، این عوامل عبارت‌اند از: ۱. انقلاب اطلاعات، ۲. تقاضای مشتریان در جهت خرید محصولات و خدمات باکیفیت بالاتر و هزینه کمتر، تحویل مناسب‌تر، تکنولوژی مدرن‌تر و طول عمر بیشتر و درنهایت ۳. ضرورت ایجاد ساختاری جدید در روابط سازمانی [۱۳] و [۱۴]. در نگاه اول جمع این عوامل با یکدیگر غیرممکن جلوه می‌نماید، اما شرکت‌های تولیدی و خدماتی چند راه برای دستیابی به قابلیت‌های مذکور در دستور کار خود قرار داده‌اند. یکی از آن‌ها تشکیل زنجیره تأمین و مدیریت آن بود. صاحب‌نظران مدیریت زنجیره تأمین هر زنجیره را به‌طور کلی متأثر از سه مولفه مهم می‌دانند که عبارت‌اند از : ۱. جریان مواد و محصول، ۲. جریان اطلاعات و ۳. سازمان‌دهی مدیریت روابط [۱۳] و [۱۴]. سه مورد ذکر شده در درون و بیرون اجزای فیزیکی زنجیره تأمین در جریان هستند. این سه ویژگی باید مرتباً تحت کنترل و بازنگری باشند، چراکه در غیر این‌صورت اثرات منفی بسیاری بر کارکرد زنجیره تأمین بر جای خواهد ماند. شکل ۱ شماتیکی از زنجیره تامین مستقیم و معکوس را ارائه می‌دهد.



شکل ۱. نمایش شماتیک زنجیره تامین به صورت شبکه

هدف از مدل‌سازی زنجیره تأمین، شناسایی اجزاء مختلف زنجیره و نحوه ارتباط میان آن‌ها، به‌صورتی است که عملکردی مطلوب در سطح زنجیره حاصل شود. در این ارتباط نوع و سطح مدل‌سازی بستگی کامل به شرایط حاکم بر سیستم دارد. در برنامه‌ریزی خطی، یک مساله با استفاده از روابط ریاضی خطی، مدل‌سازی می‌شود، و روابط و تاثیر آن‌ها بر عملکرد واقعی مدل، بررسی می‌گردد. این مدل‌ها جنبه کیفی ندارند و در آن‌ها همه چیز کمّی است. قدرت واقعی برنامه‌ریزی خطی در این است که اگر حداقل یک روش جایگزین مناسب وجود داشته باشد، معمولاً یک راه‌حل بهینه پیدا خواهد شد [۱۳]. یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح، مشابه رویکرد برنامه‌ریزی خطی است، با این تفاوت که در برنامه‌ریزی عدد صحیح همه متغیرهای

[4] Value chain
[5] Zhao and Liu

تصمیم به شکل عدد صحیح می‌باشند. این برنامه‌ریزی نشان می‌دهد که نمی‌توان فقط نیمی از امکانات کارخانه را استفاده کرد و یا فقط بخشی از یک انبار را ساخت. در این روش مسائل و مشکلات با استفاده از معادله‌های ریاضیات خطی، همراه با محدودیت اضافه شده متغیرهای مستقل تصمیم مدل‌سازی می‌شود [۲]. روش بهینه‌سازی- شبیه‌سازی یکی از جدیدترین رویکردهای حل مشکلات می‌باشد. روش‌های بهینه‌سازی شبیه‌سازی سعی دارند تا قدرت پیش‌بینی مدل‌های شبیه‌سازی را با توان کاربردهای ریاضی ترکیب نمایند. این روش، بهترین برنامه استفاده از مدل‌های دقیق برای بدست‌آوردن نتایج بهینه، ارائه می‌دهند. بزرگترین نقص این روش‌ها سرعت کم محاسبه آن می‌باشد [۲].

شفیعی و همکارانش (۱۳۸۸)، عوامل سوق‌دهنده سازمان‌ها به سوی مدیریت زنجیره تأمین را به‌صورت زیر بیان کرده‌اند: نیاز به فعالیت‌های بهبود، افزایش سطح برون‌سپاری، پیچیدگی زنجیره تأمین، اهمیت تجارت جهانی، افزایش جهانی‌شدن، فشارهای رقابتی، افزایش هزینه حمل و نقل و نیاز به مدیریت موجودی‌ها [۱۵]. در دهه‌های اخیر کشف شد که مسیر دست‌یابی به مزیت رقابتی از زنجیره تأمین می‌گذرد. مایکل پورتر[6] می‌گوید که اهمیت راهبرد در این است که ما یا باید فعالیت‌هایی متفاوت از رقبا انجام دهیم یا این‌که فعالیت‌های مشابه را به‌گونه‌ای متفاوت اجرا کنیم [۱۶].

در سال‌های اخیر تعداد کمتری از مقالات به مسئله طراحی شبکه لجستیک با در نظرگرفتن جریان مستقیم و معکوس به‌صورت یکپارچه پرداخته‌اند. این امر می‌تواند مانع از زیربهینگی[7] ناشی از طراحی لجستیک مستقیم و معکوس به‌طور جدا و غیرهمزمان شود [۲]، [۱۳] و [۱۶]. در پژوهش انجام گرفته توسط فلیشمن و همکارانش[8] در سال ۲۰۰۱ یک شبکه لجستیک سه‌سطحی که شامل تسهیلات ترکیبی بالقوه تولید و بازسازی، تسهیلات بالقوه توزیع و جمع‌آوری و مراکز مشتریان می‌باشد مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از نتایج محاسباتی مربوط به دو مطالعه موردی نشان داده شده‌است که طراحی شبکه لجستیک به‌طور یکپارچه و هم‌زمان در مقایسه با رویکردی که در آن طراحی شبکه‌های لجستیک مستقیم و معکوس به‌صورت مجزا صورت می‌گیرد، می‌تواند موجب صرفه‌جویی قابل توجهی در هزینه‌ها گردد [۱۷]. مطلب دیگری که در یکپارچه‌سازی لجستیک مستقیم و معکوس مورد توجه قرارگرفته است، استفاده از تسهیلات ترکیبی انبار/ جمع‌آوری یا انبار/ تعمیر است. این تسهیلات ترکیبی در جریان مستقیم، نقش مراکز توزیع (انبار) و در جریان معکوس نقش مراکز جمع‌آوری، بازرسی و مرتب‌سازی و یا مراکز احیا را ایفا می‌کنند. در نظر گرفتن این تسهیلات علاوه بر این که موجب کاهش پیچیدگی می‌شود، از نظر اقتصادی به دلیل ادغام جریان مستقیم و معکوس و استفاده مشترک از تسهیلات و زیرساخت‌ها موجب صرفه‌جویی می‌گردد [۱۸].

در سال ۲۰۰۶ سالما و همکارانش[9] سعی بر آن داشته‌اند تا با رفع کاستی‌های موجود در مقاله فلیشمن و همکارانش در سال ۲۰۰۱ [۱۹]، مدلی برای مسئله طراحی شبکه لجستیک معکوس که به طور هم‌زمان شبکه مستقیم و معکوس را بهینه می‌نماید، ارائه دهند. در این مقاله، از برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته برای مدل‌سازی شبکه بازسازی محصول استفاده شده و سپس مدل با در نظرگرفتن ظرفیت پردازش و چند نوع محصول بسط داده شده است [۱۹]. همچنین، در سال ۲۰۰۷ نیز سالما و همکارانش سعی نمودند با بسط مدل خود با در نظرگرفتن عدم قطعیت در تقاضا و محدودیت ظرفیت، مدل عام‌تری برای طراحی شبکه لجستیک یکپارچه ارائه دهند [۲۰]. اما در این مقاله نیز با وجود در نظرگرفتن عدم قطعیت در تقاضا و محدودیت ظرفیت، همچنان تنوع و ظرفیت تسهیلات و تمامی رده‌های زنجیره در نظر گرفته نشده است. در مقاله اشاره شده، به حل مدل با الگوریتم دقیق در ابعاد کوچک اکتفا شده و مدل در اندازه‌های بزرگتر حل نشده است.

[6] Michael Porter
[7] Sub-optimization
[8] Fleischmann, M. *et al.*
[9] Salema *et al.*

در سال ۲۰۰۷ لو و بستل[10] مدلی چندسطحی برای سیستم‌های لجستیک معکوس که شامل فعالیت‌های بازسازی می‌باشد ارائه دادند. در این مدل کیفیت محصولات بازسازی شده با محصولات نو یکسان در نظر گرفته‌شده است و تقاضای مشتریان با استفاده از هر دو نوع محصول و با ارسال مستقیم این محصولات از مراکز تولید و بازسازی به مشتریان تأمین می‌شود [۲۱]. لیستس[11] در سال ۲۰۰۷ یک مدل عمومی برنامه‌ریزی احتمالی بر پایه سناریو برای طراحی شبکه‌هایی که شامل هر دو کانال تأمین و بازگشت هستند، در قالب یک سیستم حلقه - بسته پیشنهاد نمود. در این مقاله، یک روش تجزیه بر مبنای فرآیند انشعاب و برش برای حل مدل در ابعاد بزرگ ارائه شده است [۲۲].

در مقاله کو و ایوانز[12] درسال ۲۰۰۷ [۲۳] یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح آمیخته برای طراحی شبکه لجستیک یکپارچه برای فراهم‌آورندگان خدمات لجستیک طرف سوم ارائه شده است. در این مدل ظرفیت مراکز توزیع یا جمع‌آروی با تغییر جریان می‌تواند در طول زمان گسترش یابد. برای فائق‌آمدن بر عدم قطعیت موجود در این شرایط پیشنهاد گردیده که مدل در دوره‌های مختلف اجرا گردد تا از پویایی لازم برخوردار باشد. در این مقاله نیز از تسهیلات ترکیبی استفاده و برای حل مدل غیرخطی مسئله از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است . مدل مشابهی نیز توسط مین[13] درسال ۲۰۱۵ ارائه شده است [۲۴]. لی و دونگ[14] ۲۰۰۸ به طراحی یکپارچه شبکه لجستیک مستقیم و معکوس پرداختند. در این مقاله از یک نوع تسهیلات ترکیبی که هم نقش مراکز توزیع (انبار) در جریان مستقیم و هم نقش مراکز جمع‌آوری در جریان معکوس را به عهده دارد برای طراحی شبکه لجستیک محصولات رایانه‌ای استفاده شده است [۲۵]. این مسئله با استفاده از برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته مدل شده و به دلیل پیچیدگی زیاد با استفاده از یک روش ابتکاری آمیخته با روش فرا ابتکاری جستجوی ممنوعه حل گردیده است. این مقاله در جریان معکوس تنها به فرایند احیا اشاره کرده است.

پیشوایی و همکارانش (۲۰۱۶) نیز به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح دوهدفه به‌منظور حداقل‌کردن هزینه و حداکثرکردن پاسخ‌گویی شبکه لجستیک پرداختند [۲۶]. در این مقاله، به‌منظور یافتن مجموعه جواب‌های نامغلوب، از یک الگوریتم ممتیک کارا استفاده شده است. الگوریتم حل پیشنهادی از یک استراتژی پویا با به‌کارگرفتن سه جستجوی محلی مختلف استفاده می‌کند. ال‌سید و همکارانش (۲۰۱۰) یک مدل طراحی شبکه لجستیک مستقیم – معکوس چندسطحی و چنددوره‌ای تحت ریسک ارائه دادند. این مدل شامل سه سطح در جهت مستقیم (مراکز تأمین، تولید و توزیع) و دو سطح در جهت معکوس (مراکز دمونتاژ و توزیع مجدد)، سایت مشتریان اول که در آن‌جا تقاضا به‌صورت احتمالی و سایت مشتریان دوم که تقاضای آن‌ها ممکن است به صورت قطعی یا احتمالی در نظر گرفته شود. تابع هدف این مسئله به صورت حداکثرسازی سود مورد انتظار تعریف شده است [۲۷].

قوانین دولتی جدید و قوانین سبز، که به بازگرداندن و از رده خارج‌کردن مواد زاید الکترونیکی و دیگر مواد خطرناک مربوط است، نیز مدیران و سطوح بالای مسئول امور لجستیک فرآیندهای زنجیره تأمین را وادار می‌سازد، نگاه نزدیک‌تری به فرآیند لجستیک معکوس بیندازند. لجستیک معکوس تنها به استفاده مجدد یا بازیافت محدود نمی‌شود؛ بلکه طراحی مجدد بسته‌بندی‌ها به منظور استفاده کمتر از مواد در آن‌ها و یا کاهش انرژی و آلودگی ناشی از حمل محصولات را نیز می‌توان بخشی از لجستیک معکوس تحت عنوان لجستیک سبز دانست [۲۶] و [۲۰].

به دلیل ماهیت غیرقطعی بروز حوادث ناشی از خطای انسانی یا خرابی تجهیزات و ماشین‌آلات و یا بحران‌های پدید آمده از بروز حوادث طبیعی، همواره پارامترهایی همچون تقاضای افراد در مواقع بروز بحران، محل نقاط تقاضا و توانایی ارائه خدمت توسط مراکز و ظرفیت قابل استفاده آن‌ها به‌طور دقیق قابل پیش‌بینی

[10] Lu and Bostel
[11] Listeş
[12] Ko and Evans
[13] Min
[14] Lee, D. and Dong, M.

و استفاده نبوده‌اند، برای همین تلاش شده است تا با استفاده ار تکنیک‌هایی این عدم قطعیت‌ها را هر چه بیشتر در مدل‌سازی دخیل کرده و پاسخی با کیفیت بالا به متقاضیان ارائه گردد. گالبرایت[15] (۲۰۱۰) عدم قطعیت را تفاوت و فاصله بین مقدار اطلاعات لازم برای انجام کاری و تعداد موجود اطلاعات موجود تعریف می‌کند [۲۸]. هو و همکاران[16] (۲۰۱۰) عدم قطعیت را به دو نوع محیطی و سیستمی دسته‌بندی نمودند، که عدم قطعیت محیطی ناشی از محیط است، مانند تقاضای مشتری در یک سیستم و عدم قطعیت سیستمی مربوط به داخل سیستم است، مانند خرابی تجهیزات تولیدی [۲۹].

الفونسو و همکاران[17] (۲۰۱۳) بیان نمود درحالی‌که مصرف‌کنندگان در خرید کالا و خدمات بیش از پیش به تاثیرات آن‌ها بر محیط زیست توجه دارند، بنگاه‌های اقتصادی نیز بیش از پیش به مبحث «عملیات سبز» توجه می‌کنند [۳۰]. لجستیک معکوس یکی از جنبه‌های اصلی مدیریت لجستیک سبز است. در این مقاله نشان داده شد که چگونه می‌توان پتانسیل مدیریت فرآیند لجستیک معکوس را در بخش کشاورزی صنعتی اجرا کرد. امین و ژانگ[18] (۲۰۱۳)، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط خطی چندهدفه برای طراحی یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن مسأله مکان‌یابی تسهیلات تحت شرایط عدم‌قطعیت توسعه دادند [۳۱]. طلایی(۲۰۱۶) در پژوهش خود یک مدل ریاضی زنجیره تأمین حلقه بسته جهت مکان‌یابی، مرکز تولید و باز سازی طراحی نموده است. مدل ریاضی ارائه شده درصدد کاهش هزینه‌های کل سیستم زنجیره تأمین بوده و در هدف دوم آن به‌دنبال کاهش مواد آلایندگی حمل و نقل پرداخته است [۳۲]. بدری و همکاران (۲۰۱۷) یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای برای طراحی شبکه زنجیره تأمین مبتنی بر ارزش، که در آن تمام قسمت‌های زنجیره تأمین پیکربندی و کنترل می‌شود به‌طوری‌که ارزش کل شرکت افزایش می‌یابد ارائه نموده است [۳۳]. لینفاتی و همکاران[19] (۲۰۲۱) در پژوهش خود به مدل ریاضی حمل و نقل زنجیره تأمین جهت جمع‌آوری فرآورده‌های عفونی از بیمارستان‌ها پرداخته و در مدل ارائه شده به کمینه‌سازی هزینه‌های حمل و نقل جهت جمع‌آوری فرآورده‌ها پرداخته‌اند [۳۴]. بلگین و همکاران[20] (۲۰۱۸) در پژوهش خود مدلی برای مسئله مسیریابی دوسطحی با شرایط گذاشت و برداشت ارائه نمودند؛ به‌طوری‌که بین مراکز اصلی توزیع و بیمارستان‌ها، یک لایه از تسهیلات با نام انبار میانی استقرار می‌یابد [۳۵].

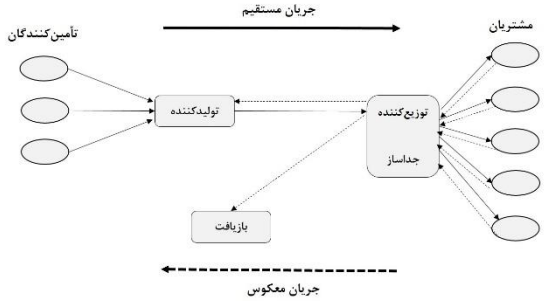
عدالت‌پور و همکاران (۲۰۱۹) یک مدل لجستیک معکوس چند لایه‌ای برای مدیریت زباله در مقایسه با میزان تولید اتلاف تصادفی ارائه نمودند. جنبه‌های مختلف یک شبکه مدیریت جامع زباله مانند بازیافت و بازسازی در نظر گرفته شده است [۳۶]. یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط چندهدفه برای طراحی یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار با در نظرگرفتن مسأله مکان‌یابی- مسیریابی- موجودی توسط ژاله‌چیان و همکاران (۲۰۱۶) ارایه شد [۳۷]. مدل آن‌ها چندمحصولی و چنددوره‌ای بوده و شامل سطوح تأمین‌کنندگان، توزیع‌کنندگان، خرده‌فروشان، کارخانه و مراکز بازتولید است. مدل آن‌ها شامل سه تابع هدف است که به کمینه‌سازی هزینه‌های زنجیره، کمینه‌سازی اثرات نامطلوب زیست‌محیطی و بیشینه‌سازی اثرات مطلوب اجتماعی به‌طور هم‌زمان می‌پردازد. اسیم و همکاران[21] (۲۰۱۹)، یک مدل غیرقطعی برای یکپارچه‌سازی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چندسطحی و چندمحصولی تولید- حمل و نقل با در نظرگرفتن هزینه‌های قابلیت اطمینان توسعه دادند [۳۸]. سطوح آن‌ها شامل تأمین‌کنندگان مواد اولیه، تسهیلات ترکیبی، مشتریان، مراکز جمع‌آوری و مراکز دورریز است. برای این منظور یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط چندهدفه شامل اهداف کمینه‌سازی هزینه‌ها، کمینه‌سازی محصولات معیوب و کمینه‌سازی زمان تحویل به مشتریان ارایه شده است. همانطور

[15] Galbraith
[16] Hu *et al.*
[17] Alfonso *et al.*
[18] Amin and Zhang
[19] Linfati *et al.*
[20] Belgin *et al.*
[21] Asim *et al.*

که قابل مشاهده است اغلب تحقیقات پیشین در راستای مدل‌سازی زنجیره تأمین حلقه بسته، تقاضای مشتریان به‌صورت قطعی یا احتمالی در نظر گرفته شده است. از این رو در این پژوهش تقاضای مشتریان به‌صورت عدم قطعیت رویکرد برتسیماس و سیم[۲۲] در نظر گرفته شده است تا ضمن در نظر گرفتن تابع جریمه، رویکرد عدم قطعیت در مدل‌های حلقه بسته ارزیابی و تحلیل شوند. همچنین با توجه به ارزیابی پژوهش‌های انجام شده اغلب پژوهش‌ها به‌صورت تک‌هدفه و کمینه‌سازی هزینه‌های توزیع و جمع آوری محصولات بیان شده است که در این پژوهش ضمن در نظر گرفتن هزینه‌های توزیع، اهداف جدیدی چون هزینه‌های لجستیک مستقیم و معکوس، مسیر جمع‌آوری و زمان‌بندی توزیع محصولات، و همچنین فروش محصولات برگشتی در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه در زنجیره تأمین حلقه بسته، محصول برگشتی هم دارای ارزش فروش خواهد بود، لذا محصولات پس از برگشت بازیافت شده و دوباره به چرخه فروش وارد شده و فروخته خواهند شد.

۳- تعریف مسئله و فرموله‌کردن مسئله

شبکه مورد بررسی در این مطالعه، یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چند دوره‌ای، چند مرحله‌ای می‌باشد که زنجیره تأمین رو به جلو[۲۳] شامل تأمین‌کننده‌های مواد اولیه، مراکز تولید، مراکز توزیع و مشتری‌ها می‌باشد. زنجیره تأمین رو به عقب[۲۴] شامل مشتری‌ها، مراکز جمع‌آوری که در این تحقیق همان مراکز توزیع می‌باشد، مرکز کنترل کیفیت اقلام برگشتی برای تعیین و تکلیف سطح کیفی این محصولات، مرکز تعمیرات، مراکز دمونتاژ، مراکز بازیافت و مراکز دفع. مسأله شامل تعیین جریان مواد بین هر مرحله از زنجیره تأمین به همراه برآورده کردن تقاضای مشتریان، و اهداف کمینه‌کردن هزینه کل حمل و نقل و خرید و کمینه‌سازی زمان حمل و نقل می‌باشد. شبکه زنجیره تأمین این پژوهش می‌تواند جوابگوی مسائل طبیعی عدیده‌ای گردد که در آن‌ها، بازگشت محصولات و کالاها، و هم‌چنین خدمات پس از فروش و امکان بازیافت مواد وجود دارد. با استفاده از استراتژی فوق، از حمل و نقل اضافی و زیاد کالاهای بازگشتی به‌ویژه کالاهای قراضه اجتناب می‌گردد و مستقیماً به سمت تسهیلات مناسب، چه بازیافتی و چه احیایی فرستاده می‌شود. سیستم برگشتی مذکور دارای یک ساختار همگرا از سمت مشتریان به سمت مراکز احیا و انهدام می‌باشد. این جریان بازگشتی به‌صورت فشاری و بر مبنای درصدی از تقاضای مشتریان می‌باشد. بدین‌صورت که درصدی ثابت و مشخص از کالاها در جریان معکوس قرار می‌گیرند و به‌طور متوسط، درصد معینی از این جریان بازگشتی نیز، بسته به کیفیت کالاهای برگشتی، قابل احیا یا قراضه می‌باشد. این کالاها در مراکز خاصی جمع‌آوری می‌شوند و عملیات بازرسی کیفی روی آن‌ها انجام تا اقلام قابل بازیافت از اقلام اسقاطی تفکیک شوند. این مراکز، مراکز جمع آوری/ بازرسی می‌باشند. شکل ۲ مدل مفهومی از مدل ریاضی مسئله را نشان می‌دهد.



شکل ۲. چارچوب شبکه توزیع حلقه بسته

۳-۱- اندیس‌ها و مجموعه‌ها

s : مجموعه تأمین‌کننده
f : مجموعه کارخانه‌ها
k : مراکز توزیع (مسیر برگشت مرکز جداسازی)
m : مرکز انهدام
c : مجموعه مشتریان
p : مجموعه مواد اولیه
t : مجموعه دوره زمانی

[22] Bertsimas and Sim
[23] Forward Supply Chain
[24] Reverse Supply Chain

۳-۲- پارامترهای مدل

پارامترهای مدل عبارت‌اند از:

V_{spt} : ظرفیت تأمین‌کننده s از مواد اولیه p دوره t

V_F^1: ظرفیت تولید کارخانه f برای تولید محصول

V_k^2: ظرفیت توزیع کننده k

D_{ct} : تقاضای مشتری c در دوره t از محصول

A_t : میزان محصول عودتی حاصل از خرید مشتری

U_p: ضریب مصرف مواد اولیه p در محصول

B_t : میزان ضایعات محصول در بخش توزیع یا جداساز

W: میزان ضایعات محصول پس از دمونتاژ

C_{sfpt}^1: هزینه ارسال مواد اولیه p از تأمین‌کننده s به کارخانه f در دوره t بر اساس مؤلفه‌های آلایندگی محیط زیست

C_{kft}^2: هزینه ارسال محصول از کارخانه f به مرکز توزیع k در دوره t بر اساس مؤلفه‌های آلایندگی محیط زیست

C_{ckt}^3: هزینه ارسال محصول از مرکز توزیع k به مشتری c در دوره t بر اساس مؤلفه‌های آلایندگی محیط زیست

C_{kct}^4: هزینه عودت محصول از مشتری c به مرکز توزیع k در دوره t بر اساس مؤلفه‌های آلایندگی محیط زیست

C_{mkt}^5: هزینه ارسال محصول خراب از مرکز توزیع k به مرکز انهدام m در دوره t بر اساس مؤلفه‌های آلایندگی محیط زیست

C_{fkt}^6: هزینه ارسال محصول از مرکز توزیع k به کارخانه f در دوره t بر اساس مؤلفه‌های آلایندگی محیط زیست

C_{pft}^7: هزینه تبدیل مواد اولیه p در کارخانه f در دوره t

C_{pft}^8: هزینه نگهداری مواد اولیه p در کارخانه f در دوره t

C_{kt}^9: هزینه نگهداری محصول در توزیع‌کننده k در دوره t

C_{ct}^{10}: هزینه نگهداری محصول ذخیره احتیاطی مشتری c در دوره t

C_{pft}^{11}: هزینه کسری مواد اولیه p در کارخانه f در دوره t

C_{kt}^{12}: هزینه کسری محصول در توزیع‌کننده k در دوره t

C_{ct}^{13}: هزینه کسری محصول مشتری c در دوره t

T_{sf}^1: مدت زمان ارسال مواد اولیه از تأمین‌کننده s به کارخانه f

T_{kf}^2: مدت زمان ارسال محصول از کارخانه f به مرکز توزیع k

T_{ck}^3: مدت زمان ارسال محصول از مرکز توزیع k به مشتری c

T_{kc}^4: مدت زمان عودت محصول از مشتری c به مرکز توزیع k

T_{mk}^5: مدت زمان ارسال محصول خراب از مرکز توزیع k به مرکز انهدام m

T_{fk}^6: مدت زمان ارسال محصول از مرکز توزیع k به کارخانه f

$TOTAL$: سیکل مدت زمان ارسال محصول به مشتریان

$TTAL$: سیکل مدت زمان ارسال محصول از مشتریان

M: عدد بسیار بزرگ

۳-۳- متغیرهای تصمیم

متغیرهای تصمیم بکار گرفته شده در این مدل پیوسته هستند. متغیر مقدار کالای ارسالی از هر محصول نیز پیوسته و تقریبی است که در واقعیت، و اغلب موارد این مقدار به‌صورت عدد صحیح در نظر گرفته می‌شود. تقریبی بودن مقدار کالای ارسالی تا زمانی که ظرفیت وسیله حمل و نقل بیشتر از حجم یک واحد کالا باشد، تأثیر ناچیزی بر نتایج خواهد گذاشت.

Q_{spft} : تعداد مواد اولیه p که از تأمین‌کننده s در دوره t به کارخانه f ارسال می‌شود.

Q_{kft}^1 : تعداد محصول ارسال شده از کارخانه f به توزیع‌کننده k در دوره t

Q_{ckt}^2 : تعداد محصول ارسال شده از توزیع‌کننده k به مشتری c در دوره t

Q_{kct}^3 : تعداد محصول ارسال شده از مشتری c به توزیع‌کننده k در دوره t

Q_{mkt}^4 : تعداد محصول ارسال شده از توزیع‌کننده k به مرکز انهدام m در دوره t

Q_{fkt}^5 : تعداد محصول ارسال شده از توزیع‌کننده k به کارخانه f در دوره t

Q_{pft}^6 : میزان فروش محصول p تبدیل‌شده در کارخانه f در دوره t

A_{pft}^1 : میزان موجودی مواد اولیه p در کارخانه f در دوره t

A_{kt}^2 : میزان موجودی محصول در مرکز توزیع k در دوره t

A_{ct}^3 : میزان موجودی احتیاطی محصول نزد مشتری c در دوره t

B_{pft} : میزان کسری مواد اولیه p در کارخانه f در دوره t

B_{kt}^1 : میزان کسری محصول در مرکز توزیع k در دوره t

B_{ct}^2 : میزان کسری محصول در مشتری c در دوره t

X_{sft} : اگر بین تأمین‌کننده s در دوره t به کارخانه f مسیری بازگشایی شود مقدار ۱ در غیر این‌صورت صفر

X^1_{kft}: اگر بین کارخانه f و توزیع‌کننده k در دوره t مسیری بازگشایی شود مقدار ۱ در غیر این‌صورت ۰

X^2_{ckt}: اگر بین توزیع‌کننده k و مشتری c در دوره t مسیری بازگشایی شود مقدار ۱ در غیر این‌صورت ۰

X^3_{kct}: اگر بین مشتری c و توزیع‌کننده k در دوره t مسیری بازگشایی شود مقدار ۱ در غیر این‌صورت ۰

X^4_{mkt}: اگر بین توزیع‌کننده k و مرکز انهدام m در دوره t مسیری بازگشایی شود مقدار ۱ در غیر این‌صورت ۰

X^5_{fkt}: اگر بین توزیع‌کننده k و کارخانه f در دوره t مسیری بازگشایی شود مقدار ۱ در غیر این‌صورت ۰

۴- مدل ریاضی مسئله

۴-۱- تابع هدف مسئله

تابع هدف اول: شامل کمینه‌سازی هزینه مربوط به تأمین مواد اولیه از تأمین‌کننده، هزینه ارسال محصول از کارخانه به مرکز توزیع، هزینه ارسال محصول از مرکز توزیع به مشتری، هزینه عودت محصول خراب شده از مشتری به مرکز جدا ساز، هزینه ارسال محصول خراب به مرکز انهدام، هزینه ارسال محصول معیوب جهت دمونتاژ به کارخانه، هزینه تبدیل محصول به مواد اولیه، هزینه نگهداری مواد اولیه در کارخانه، هزینه نگهداری محصول در مرکز توزیع، هزینه نگهداری محصول نزد مشتری، هزینه کسری مواد اولیه کارخانه، هزینه کسری محصول در مرکز توزیع، هزینه کسری محصول نزد مشتری می‌باشد. در معادلات ۱-۱ الی ۱-۱۳ به‌ترتیب پارامترهای اشاره شده در تابع هدف اول نشان‌داده شده است.

$$Min \sum_s \sum_f \sum_p \sum_t Q_{spft} \times C^1_{spft} \quad (۱-۱)$$

$$+ \sum_k \sum_f \sum_t Q^1_{kft} \times C^2_{fkt} \quad (۱-۲)$$

$$+ \sum_c \sum_k \sum_t Q^2_{ckt} \times C^3_{ckt} \quad (۱-۳)$$

$$+ \sum_c \sum_k \sum_t Q^3_{kct} \times C^4_{kct} \quad (۱-۴)$$

$$+ \sum_m \sum_k \sum_t Q^4_{mkt} \times C^5_{mkt} \quad (۱-۵)$$

$$+ \sum_f \sum_k \sum_t Q^5_{fkt} \times C^6_{fkt} \quad (۱-۶)$$

$$+ \sum_f \sum_p \sum_t Q^6_{pft} \times C^7_{pft} \quad (۱-۷)$$

$$+ \sum_f \sum_p \sum_t A^1_{pft} \times C^8_{pft} \quad (۱-۸)$$

$$+ \sum_k \sum_t A^2_{kt} \times C^9_{kt} \quad (۱-۹)$$

$$+ \sum_f \sum_p \sum_t B^1_{pft} \times C^{10}_{pft} \quad (۱-۱۰)$$

$$+ \sum_k \sum_t B^2_{kt} \times C^{11}_{kt} \quad (۱-۱۱)$$

$$+ \sum_c \sum_t B^3_{ct} \times C^{12}_{ct} \quad (۱-۱۲)$$

$$+ \sum_c \sum_t A^3_{ct} \times C^{13}_{ct} \quad (۱-۱۳)$$

تابع هدف دوم: برمبنای کمینه‌سازی زمان دریافت مواد اولیه از تأمین‌کننده، زمان ارسال محصول از کارخانه به مرکز توزیع، زمان ارسال محصول از مرکز توزیع به مشتری می‌باشد. معادلات ۲-۱ الی ۲-۶ به‌ترتیب نشان‌دهنده پارامترهای اشاره شده در تابع هدف دوم می‌باشند.

$$Min \sum_s \sum_f \sum_t X_{sft} \times T^1_{sf} \quad (۲-۱)$$

$$+ \sum_k \sum_f \sum_t X^1_{kft} \times T^2_{kf} \quad (۲-۲)$$

$$+ \sum_c \sum_k \sum_t X^2_{ckt} \times T^3_{ck} \quad (۲-۳)$$

$$+ \sum_c \sum_k \sum_t X^3_{kct} \times T^4_{kc} \quad (۲-۴)$$

$$+ \sum_m \sum_k \sum_t X^4_{mkt} \times T^5_{mk} \quad (۲-۵)$$

$$+ \sum_f \sum_k \sum_t X^5_{fkt} \times T^6_{fk} \quad (۲-۶)$$

۴-۲- محدودیت‌ها

محدودیت رعایت ظرفیت تأمین‌کننده، محدودیت رعایت ظرفیت کارخانه برای تولید محصول، بالانس محصول و مواد اولیه موجود در کارخانه، محدودیت رعایت ظرفیت توزیع‌کننده،

بالانس ورودی و خروجی به توزیع‌کننده، بالانس ورودی و خروجی به مشتری، بالانس محصولات معیوب حاصل از محصول تحویل داده‌شده به مشتری، محدودیت دفع ضایعاتی، محدودیت تبدیل محصولات به مواد اولیه در کارخانه، محدودیت در نظرگرفتن سیکل زمان‌بندی ارسال محصول به مشتریان، محدودیت سیکل برگشت محصول معیوب، محدودیت مسیریابی از تأمین‌کننده، محدودیت مسیریابی از کارخانه به مرکز توزیع، محدودیت مسیریابی از مرکز توزیع به مشتریان، محدودیت مسیریابی از مشتری به مرکز جداساز، محدودیت مسیریابی از مرکز جداساز به مرکز امحا، محدودیت مسیریابی از مرکز جداساز به کارخانه. معادلات ۳-۱ الی ۳-۱۸ به‌ترتیب محدودیت‌های ذکرشده را نشان می‌دهند.

$$St.$$

$$\sum_{f} Q_{spft} \le V_{spt} \quad \forall s,t,p \qquad (۳\text{-}۱)$$

$$\sum_{s}\sum_{p} Q_{spft} + \sum_{p} A^{1}_{pf(t-1)} \le V^{1}_{f} \quad \forall f,t \qquad (۳\text{-}۲)$$

$$\frac{\sum_s \sum_p Q_{spft}}{u_p} + \sum_p \frac{Q^{6}_{pf(t-1)}}{u_p} + \sum_p A^{1}_{pf(t-1)}/u_p + \sum_p \frac{B^{1}_{pft}}{u_p} = \sum_k Q^{1}_{kft} + \sum_p A^{1}_{pft}/u_p \ \forall f,t \qquad (۳\text{-}۳)$$

$$\sum_{f} Q^{1}_{kft} + A^{2}_{k(t-1)} \le V_k{}^2 \quad \forall k,t \qquad (۳\text{-}۴)$$

$$\sum_{f} Q^{1}_{kft} + A^{2}_{k(t-1)} + B^{1}_{kt} = A^{2}_{kt} + \sum_{c} Q^{2}_{ckt} + B^{1}_{kt-1} \quad \forall k,t \qquad (۳\text{-}۵)$$

$$\sum_{k} Q^{2}_{ckt} + A^{3}_{c(t-1)} + B^{2}_{ct} = D_{ct} + A^{3}_{ct} + B^{2}_{ct-1} \quad \forall c,t \qquad (۳\text{-}۶)$$

$$\left(\sum_{k} Q^{2}_{ckt}\right) \times A_t = \sum_{k} Q^{3}_{kct} \quad \forall c,t \qquad (۳\text{-}۷)$$

$$\sum_{c} Q^{3}_{kct} = \sum_{m} Q^{4}_{mkt}/B_t \quad \forall k,t \qquad (۳\text{-}۸)$$

$$\sum_{f} Q^{5}_{fkt} = \sum_{c} Q^{3}_{kct} \times (1 - B_t) \quad \forall p,t,f \qquad (۳\text{-}۹)$$

$$Q^{6}_{pft} = \sum_{k} Q^{5}_{fkt} \times u_p \times W \quad \forall p,t,f \qquad (۳\text{-}۱۰)$$

$$\sum_{S}\sum_{F}\sum_{T} X_{sft} \times T^{1}_{sf} + \sum_{K}\sum_{F}\sum_{T} X^{1}_{kft} \times T^{2}_{kf} + \sum_{C}\sum_{K}\sum_{T} X^{2}_{ckt} \times T^{3}_{ck} \le TOTAL \qquad (۳\text{-}۱۱)$$

$$\sum_{K}\sum_{C}\sum_{T} X^{3}_{kct} \times T^{4}_{kc} + \sum_{K}\sum_{M}\sum_{T} X^{4}_{mkt} \times T^{5}_{mk} + \sum_{K}\sum_{F}\sum_{T} X^{5}_{fkt} \times T^{6}_{fk} \le TTAL \qquad (۳\text{-}۱۲)$$

$$\sum_{P} Q_{spft} \le M \times X_{sft} \quad \forall S,F,t \qquad (۳\text{-}۱۳)$$

$$Q^{1}_{kft} \le M \times X^{1}_{kft} \quad \forall K,F,t \qquad (۳\text{-}۱۴)$$

$$Q^{2}_{ckt} \le M \times X^{2}_{ckt} \quad \forall K,C,t \qquad (۳\text{-}۱۵)$$

$$Q^{3}_{kct} \le M \times X^{3}_{kct} \quad \forall K,C,t \qquad (۳\text{-}۱۶)$$

$$Q^{4}_{mkt} \le M \times X^{4}_{mkt} \quad \forall K,C,t \qquad (۳\text{-}۱۷)$$

$$Q^{5}_{fkt} \le M \times X^{5}_{fkt} \quad \forall K,C,t \qquad (۳\text{-}۱۸)$$

۳-۴-استوارسازی مدل ریاضی

باتوجه به اینکه در بخش قبل مدل ریاضی در حالت قطعی ارائه شده است، در این بخش بنا به دلایلی که ذکر شد، مدل پیشنهادی به یک مدل خطی غیرقطعی تبدیل خواهد شد. همچنین در این بخش عدم قطعیت در تقاضا به کمک برنامه‌ریزی استوار و رویکرد برتسیماس و سیم به مدل اضافه خواهد شد. با این تغییر، محدودیت شماره (۳-۶) به‌صورت مدل برتسیماس اصلاح خواهد شد. لذا مدل پیشنهادی یک مدل خطی خواهد بود. بررسی‌ها در این پژوهش نشان می‌دهد که

پارامتر تقاضا از جمله پارامترهای مهم بوده که مقادیر آن ممکن است از مقادیر اسمی فراتر رود. از این رو در نظرگرفتن این پارامتر در شرایط غیرقطعی می‌تواند مدل پیشنهادی را به واقعیت مسئله نزدیک‌تر کند. برای در نظرگرفتن عدم‌قطعیت در تقاضا، همان‌طور که گفته شد از برنامه‌ریزی استوار و رویکرد برتسیماس و سیم استفاده خواهد شد. روش بهینه‌سازی استوار به‌دنبال جواب‌های بهینه یا نزدیک به بهینه‌ای است که با احتمال بالایی موجه باشند. رویکرد برتسیماس و سیم یکی از چهار رویکرد اصلی برای در نظر گرفتن عدم قطعیت در برنامه‌ریزی استوار است [۵]. در این قسمت اشاره مختصری به این رویکرد خواهیم نمود. برای این منظور مدل برنامه‌ریزی خطی زیر را در نظر می‌گیریم (معادله ۴)؛

$$Min \sum_j C_j x_j \qquad ۴$$

$$St. \quad Ax \le b \qquad ۱\text{-}۴$$

در این مدل فرض می‌شود که فقط ضرایب سمت راست در محدودیت‌ها یعنی ماتریس A دارای مقادیر غیرقطعی و درایه‌های این ماتریس(a_{ij}ها) در بازه $\left[\tilde{a}_{ij} - \hat{a}_{ij}, \tilde{a}_{ij} + \hat{a}_{ij}\right]$ نوسان می‌کنند که $\tilde{a}_{ij}$ و $\hat{a}_{ij}$ به ترتیب مقادیر اسمی و حداکثر انحراف پارامتر $\hat{a}_{ij}$ می‌باشند. مدل استوار پیشنهادی برتسیماس و سیم به‌صورت معادله ۵ قابل تعریف است.

$$Min \sum_j C_j x_j \qquad ۵$$

$$St.$$

$$\sum_j \tilde{a}_{ij} x_j + Z_i \Gamma_i + \sum_{j \epsilon j_i} \mu_{ij} \le b_i \quad \forall\, i \qquad ۱\text{-}۵$$

$$Z_i + \mu_{ij} \ge \hat{a}_{ij} x_{ij} \quad \forall\, i,j \qquad ۲\text{-}۵$$

$$Z_i + \mu_{ij} \ge 0 \quad \forall\, i,j \qquad ۳\text{-}۵$$

در این روابط Z_i و μ_{ij} متغیرهای کمکی دوگان هستند و پارامتر Γ_i که بودجه عدم‌قطعیت نامیده می‌شود، سطح محافظه‌کاری را نشان می‌دهد که با توجه به میزان اهمیت محدودیت و نیز ریسک‌پذیری تصمیم‌گیرنده انتخاب می‌شود. با توجه به مطالب بیان شده مدل عدم قطعیت برتسیماس و سیم در معادله ۶ ارائه شده است که این محدودیت جایگزین محدودیت ۳-۶ خواهد شد.

$$\sum_k Q^2_{ckt} + A^3_{c(t-1)} + B^2_{ct} = D_{ct} + \Gamma_{ct} p_t + q_{ct} + A^3_{ct} + B^2_{ct-1} \quad \forall\, c,t$$

$$p_t + q_{ct} \ge \hat{D}_{ct} \quad \forall\, c$$

که در این معادله $\hat{D}_{ct}$ تلرانس در تقاضای مشتریان در دوره t، Γ_{ct} بودجه عدم قطعیت و p_t و q_{ct} متغیرهای مدل استوار هستند.

۴-۴- اعتبارسنجی[۲۵] و صحت‌سنجی[۲۶] مدل

قبل از ارائه نتایج عددی می‌بایست از درستی روش حل عددی اطمینان حاصل کرد که این همان سنجش صحت مدل می‌باشد. در اعتبارسنجی تمام هدف این است که بتوان مدل عددی صحت‌سنجی شده را به‌عنوان یک جایگزین مناسب برای روش تجربی معرفی کرد تا از مشکلات ذکر شده در تست‌های تجربی رهایی پیدا کرده و همچنین برای کارهای مشابه در آینده، به‌جای روش تجربی از روش عددی استفاده نمود [۱۶]. برای اعتبارسنجی، می‌بایست داده‌های حل عددی را با داده‌های موجود از تست‌های تجربی مقایسه کرد. در صورت تطابق داده‌ها در این دو روش می‌توان ادعا کرد که روش عددی اتخاذ شده مناسب برای جایگزینی با تست‌های تجربی می‌باشد. در این پژوهش برای آزمودن صحت و اعتبار مدل پیشنهادی، مدل ریاضی ارائه شده را توسط نرم افزار گمز[۲۷] که یک نرم افزار تحقیق در عملیات است حل کرده و با یک نمونه حل عددی مدل پیشنهادی را مورد بررسی قرار می‌دهیم. مسائل نیز بر روی یک سیستم کامپیوتری با مشخصات Intel Core i7, (8GB RAM) توسط نرم‌افزار GAMS و حل کننده CPLEX اجرا شدند.

[25] Model Validation
[26] Model Verification
[27] GAMS Software

۵- روش محدودیت اپسیلون[۲۸] تقویت‌شده

یکی از روش‌های دقیق بدست آوردن حل‌های پارتوی بهینه استفاده از روش محدودیت اپسیلون است که اولین بار توسط آلجدان[۲۹] ارائه شده است [۱۴]. مزیت اصلی این روش نسبت به سایر روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه، کاربرد آن برای فضاهای حل غیر محدب است؛ زیرا روش‌هایی از قبیل ترکیب وزنی اهداف در فضای نامحدب کارایی خود را از دست می‌دهند [۲۷]، [۲۲] و [۱۸]. روش محدودیت اپسیلون تقویت‌شده جواب‌های بهینه کارآمد پارتو را ارائه می‌کند. در روش محدودیت اپسیلون یکی از توابع هدف به‌عنوان تابع هدف اصلی در نظر گرفته می‌شود تا بهینه‌سازی شود، در حالی‌که تابع هدف دیگر به‌عنوان محدودیت در مدل قرار می‌گیرد [۱۴]. مدل محدودیت اپسیلون تقویت‌شده را می‌توان مطابق رابطه ۷ نمایش داد.

$$Min/Max(f_1(x) + \vartheta \times \left(\frac{s_2}{r_2} + \frac{s_3}{r_3} + \cdots + \frac{s_i}{r_i} \ldots + \frac{s_n}{r_n}\right)) \quad ۷$$

$$St.$$

$$f_2(x) - s_2 = \varepsilon_2 \quad ۱\text{-}۷$$

$$f_3(x) - s_3 = \varepsilon_3 \quad ۲\text{-}۷$$

$$\vdots$$

$$i \in [2, n] \quad ۳\text{-}۷$$

$$S_i \in R^+ \quad ۴\text{-}۷$$

طبق رابطه (۷) راه حل‌های بهینه پارتو به‌دست می‌آیند که در آن r_i دامنه تابع هدف iام ، ϑ یک عدد کوچک بین ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۰۰۰۱ و S_i یک متغیر اضافی غیرمنفی است. ابتدا مقدار NIS_{fi} (بدترین مقدار) و PIS_{fi} (بهترین مقدار) برای هر تابع هدف بدست آورده می‌شوند، سپس مقدار دامنه تابع هدف iام طبق رابطه ۸ محاسبه می‌شود؛

$$r_i = PIS_{fi} - NIS_{fi} \quad ۸$$

بعد از آن r_i به بازه‌های برابر l_i تقسیم می‌شود. سپس l_{i+1} نقطه بدست آورده می‌شوند که طبق رابطه ۹ مقدار اپسیلون‌ها بر اساس این نقاط (Grid point) بدست آورده می‌شود. در این روش به ازای تمام اپسیلون‌های بدست آمده مدل باید حل شود که طبق رابطه ۹، η شماره نقاط (Grid point) بدست می‌آید.

$$\varepsilon_i^{\eta} = NIS_{fi} + \frac{r_i}{l_i} \times \eta \quad ۹$$

۶- مطالعه موردی

باتوجه به اهداف و فرضیات ارائه شده در این پژوهش و نوع دیدگاه مورد بررسی، نتایج این پژوهش در شرکت‌ها و سازمان‌های تولید محور که همواره به‌دنبال راه‌کارهایی جهت حلقه بسته‌نمودن جریان تولید خود می‌باشند کاربرد دارد. از این رو به جمع‌آوری اطلاعات در شرکت کاله گیلان برای محصولات فاسدشدنی آن پرداخته شد و در بازه زمانی سه ماهه اول سال ۱۴۰۰ اطلاعات مورد نیاز جمع‌آوری شد. برند کاله با هدف بهبود و ارتقای سطح سبد غذایی مردم ایران در سال ۱۳۶۶ تأسیس شد. نتیجه فعالیت‌های انجام‌شده در این مجموعه طی سال‌های گذشته که همگی در راستای ارتقای سبد غذایی است، این برند را در جایگاه ۴۸ام صنایع غذایی در جهان (به گزارش یورو مانیتور)، برند محبوب و برتر و ۷ سال تنها صادرکننده نمونه در فرآورده‌های لبنی در ایران قرار داده است. شرکت کاله با جذب روزانه ۳ لیتر شیر فعالیت خود را آغاز کرد و امروز بیش از ۲۵۰۰ تن جذب شیر روزانه دارد؛ که این موضوع باعث تولید روزانه بیش از ۲۶۵۰ تن انواع فرآورده‌های لبنی می‌شود. در این فرآیند تولید، ۴۰۰۰ نفر به‌صورت روزانه در بخش‌های مختلف فعالیت دارند تا محصولات نهایی به دست مصرف‌کنندگان برسد. کلیه پارامترهای مدل ریاضی بر اساس مصاحبه با خبرگان و اسناد استخراج شده از فرآیندهای توزیع محصولات تجزیه و تحلیل شده است و نمونه‌گیری برای ارزیابی محصولات جدیدی است که شرکت کاله برای مشتریان در حال آماده‌سازی بوده و فرآیندهای

[28] ε-Constraint Method
[29] Aljedan

اجرایی در مرحله ابتدایی خود قرار دارد تجزیه و تحلیل شده است.

۷- نتایج و بحث و بررسی

در اینجا مطابق با مدل ریاضی ارائه شده، ابتدا مدل صحه‌گذاری شده و سپس با استفاده از روش ابتکاری محدودیت اپسیلون، حل تابع دوهدفه در نرم‌افزار گمز انجام شد و در نهایت برای ارزیابی حد بالای مدل، بر اساس تحلیل چند بعد بررسی شده است. جهت صحه‌گذاری مدل ریاضی، اندیس‌های به‌کار گرفته شده در مدل به شرح جدول ۱ است.

جدول ۱- اندیس‌های ورودی به مدل ریاضی

اندیس	مقدار در حل تصادفی
s	s_1, s_2, s_3
f	f_1, f_2
k	k_1, k_2
m	m_1, m_2
c	c_1, c_2, c_3, c_4, c_5
p	p_1
t	۱ و ۲

برای ارزیابی مدل ارائه شده از داده‌های تصادفی استفاده شده است و ورودی‌های در نظر گرفته شده در مدل مطابق جداول شماره ۲ الی ۱۱ است.

الف) ظرفیت تأمین‌کننده s از مواد اولیه p دوره t

جدول ۲- ظرفیت تأمین‌کننده

Period	۱	۲
$s_1.p_1$	۳۶۲	۳۲۸
$s_2.p_1$	۲۲۷	۳۱۰
$s_3.p_1$	۳۷۱	۳۶۹

ب) ظرفیت تولید کارخانه f برای تولید محصول

جدول ۳- ظرفیت تولید کارخانه

	f_1	f_2
Production capacity	۱۳۹	۱۳۱

ج) ظرفیت توزیع‌کننده k

جدول ۴- ظرفیت توزیع‌کننده

	k_1	k_2
Distributor capacity	۱۱۳	۱۵۸

د) تقاضای مشتری c در دوره t از محصول

جدول ۵- تقاضای مشتری

Period	۱	۲
c_1	۳۰	۲۰
c_2	۲۸	۱٤
c_3	۲۲	۱۶
c_4	۲۲	۱۱
c_5	۱۹	۱۹

ه) هزینه ارسال مواد اولیه p از تأمین‌کننده s به کارخانه f در دوره t بر اساس مؤلفه‌های آلایندگی محیط زیست

جدول ۶- هزینه ارسال مواد اولیه

INDEX 1=s_1		
Period	۱	۲
$f_1.p_1$	۷	۶
$f_2.p_1$	۹	۸
INDEX 1=s_2		
Period	۱	۲
$f_1.p_1$	۵	۷
$f_2.p_1$	۶	۹
INDEX 1=s_3		
Period	۱	۲
$f_1.p_1$	۸	۷
$f_2.p_1$	۹	۶

و) هزینه ارسال محصول از کارخانه f به مرکز توزیع k در دوره t بر اساس مؤلفه‌های آلایندگی محیط زیست

جدول۷- هزینه ارسال محصول از کارخانه

Period	۱	۲
$k_1.f_1$	۹	۵
$k_1.f_2$	۹	۱۰
$k_2.f_1$	۶	۷
$k_2.f_2$	۱۰	۵

ز) هزینه ارسال محصول از مرکز توزیع k به مشتری c در دوره t بر اساس مؤلفه‌های آلایندگی محیط زیست

جدول۸- هزینه ارسال محصول از مرکز توزیع به مشتری

Period	۱	۲
$c_1.k_1$	۷	۷
$c_1.k_2$	۹	۸
$c_2.k_1$	۹	۷
$c_2.k_2$	۸	۱۰
$c_3.k_1$	۱۰	۷
$c_3.k_2$	۷	۱۰
$c_4.k_1$	۱۰	۶
$c_4.k_2$	۸	۸
$c_5.k_1$	۱۰	۸
$c_5.k_2$	۵	۹

ح) هزینه عودت محصول از مشتری c به مرکز توزیع k در دوره t بر اساس مؤلفه‌های آلایندگی محیط زیست

جدول ۹- هزینه عودت محصول از مشتری به مرکز توزیع

Period	۱	۲
$k_1.c_1$	۸	۶
$k_1.c_2$	۹	۹
$k_1.c_3$	۷	۵
$k_1.c_4$	۹	۹
$k_1.c_5$	۶	۶
$k_2.c_1$	۸	۵
$k_2.c_2$	۶	۵
$k_2.c_3$	۹	۷
$k_2.c_4$	۹	۸
$k_2.c_5$	۸	۸

ط) هزینه ارسال محصول خراب از مرکز توزیع k به مرکز انهدام m در دوره t بر اساس مؤلفه‌های آلایندگی محیط زیست

جدول ۱۰- هزینه ارسال محصول خراب از مرکز توزیع به انهدام

Period	۱	۲
$m_1.k_1$	۵	۸
$m_1.k_2$	۶	۱۰
$m_2.k_1$	۶	۸
$m_2.k_2$	۷	۸

ی) هزینه ارسال محصول از مرکز توزیع k به کارخانه f در دوره t بر اساس مؤلفه‌های آلایندگی محیط زیست

جدول ۱۱- هزینه ارسال محصول ار مرکز توزیع به کارخانه

Period	۱	۲
$f_1.k_1$	۹	۸
$f_1.k_2$	۱۰	۱۰
$f_2.k_1$	۹	۹
$f_2.k_2$	۶	۸

سایر هزینه‌ها به‌صورت تصادفی از تابع احتمال یکنواخت استفاده شده است.

۷-۱- روش محدودیت اپسیلون تقویت‌شده

بر اساس روش محدودیت اپسیلون تقویت‌شده پس از کدنویسی در گمز ابتدا مقادیر زیر برای هریک از متغیرها بدست آمد؛

جدول ۱۲- مقادیر پارامترهای روش اپسیلون

پارامتر	مقادیر
r_2	۵۰
L_i	۹
NIS_{f_2}	۰
PIS_{f_2}	۵۰
ϑ	۰/۰۰۰۱

سپس با استفاده از رابطه ۹ مقدار اپسیلون ها محاسبه می‌شوند.

جدول ۱۳- مقادیر اپسیلون‌ها

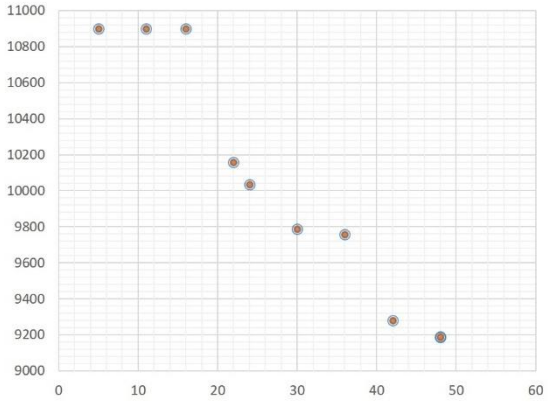
ε	ε
۲۷/۵	۰
۳۳	۵/۵
۳۸/۵	۱۱
۴۴	۱۶/۵
۵۰	۲۲

در نهایت مدل اپسیلون تقویت‌شده با استفاده از نرم‌افزار گمز برای هر یک از اپسیلون‌های به‌دست آمده حل گردید. مجموعه جواب‌های بهینه پارتو به‌دست آمده مطابق جدول ۱۴ است:

جدول ۱۴- مجموعه جواب‌های پارتو برای هر اپسیلون

زمان حل(ثانیه)	میزان تابع هدف دوم	میزان تابع هدف اول	ε
۱	۴۸	۹۱۸۸	۰
۲	۵	۱۰۹۰۱	۵/۵
۱۰	۱۱	۱۰۹۰۱	۱۱
۱۱۰	۱۶	۱۰۹۰۱	۱۶/۵
۱۵۹	۲۲	۱۰۱۵۸	۲۲
۳۲۸	۲۴	۱۰۰۳۴	۲۷/۵
۵۵۱	۳۰	۹۷۸۹	۳۳
۳۲۰	۳۶	۹۷۵۹	۳۸/۵
۳۱۰	۴۲	۹۲۸۰	۴۴
۳۲۰	۴۸	۹۱۸۸	۵۰

نمودار پارتو نیز به‌صورت شکل ۳ به‌دست می‌آید. همانطور که مشاهده می‌شود جواب‌های بهینه هم ارز با یکدیگر قرار دارند. با توجه به حل مدل ریاضی متغیرهای تصمیم مدل به شرح ذیل است:



شکل ۳. نمودار پارتو مقادیر تابع هدف

با توجه به حل مدل ریاضی متغیرهای تصمیم مدل به شرح ذیل است:

الف) مقدار مواد اولیه p که از تأمین‌کننده s در دوره t به کارخانه f ارسال می‌شود.

جدول ۱۵- مقادیر مواد اولیه توسط تأمین‌کننده

مقدار	متغیر تصمیم
۱۳۸	$s_2.p_1.f_{1.1}$
۸۹	$s_2.p_1.f_{2.1}$

ب) تعداد محصول ارسال شده از کارخانه f به توزیع‌کننده k در دوره t

جدول ۱۶- محصول ارسال شده به توزیع‌کننده

مقدار	متغیر تصمیم
۴۵	$k_1.f_{2.1}$
۸۰	$k_2.f_{1.1}$
۴	$k_2.f_{2.2}$

ج) تعداد محصول ارسال شده از توزیع‌کننده k به مشتری c در دوره t

جدول ۱۷- محصول ارسال شده به مشتری

مقدار	متغیر تصمیم
۴۵	$c_1.k_{1.1}$
۴۰	$c_2.k_{2.1}$
۴۰	$c_3.k_{2.1}$

د) تعداد محصول ارسال شده از مشتری c به توزیع‌کننده k در دوره t

جدول ۱۸- محصول برگشتی از مشتری

مقدار	متغیر تصمیم
۹	$k_2.c_{1.1}$
۸	$k_2.c_{2.1}$
۸	$k_2.c_{3.1}$

ه) تعداد محصول ارسال شده از توزیع‌کننده k به مرکز انهدام m در دوره t

جدول ۱۹- مقدار محصول منهدم شده

مقدار	متغیر تصمیم
۵	$m_1.k_{2.1}$

و) تعداد محصول ارسال شده از توزیع‌کننده k به کارخانه f در دوره t

جدول ۲۰- محصول برگشتی به کارخانه

مقدار	متغیر تصمیم
۲۰	$f_2.k_{2.1}$

ز) میزان کسری محصول در مشتری c در دوره t

جدول ۲۱- میزان کسری محصول

متغیر تصمیم	مقدار
$c_{1.2}$	۵
$c_{2.2}$	۲
$c_{4.1}$	۲۲
$c_{4.2}$	۳۳
$c_{5.1}$	۱۹
$c_{5.2}$	۳۸

با توجه به صحه‌گذاری مدل ریاضی در ابعاد کوچک، در این بخش ۱۲ مساله نمونه طراحی شده است و با استفاده از الگوریتم محدودیت اپسیلون تحلیل شده است که نتایج ارزیابی به شرح جدول ۲۲ است:

جدول ۲۲- نتایج حاصله از ۱۲ مساله نمونه به کمک الگوریتم محدودیت اپسیلون

مسئله	توزیع‌کننده	تأمین‌کننده	مشتری	حل تابع هدف اول	حل تابع هدف دوم	زمان حل CPLEX (s)
S1	۴	۸	۱۵	۶۹۸۹	۵۲	۰/۸۱۱
S2	۵	۹	۱۵	۴۰۹۶	۶۳	۰/۳۵۹
S3	۶	۹	۲۰	۲۱۲۱۵	۷۲	۰/۵۶۲
S4	۶	۹	۲۵	۱۸۲۵۹	۹۹	۰/۶۰۸
S5	۷	۹	۳۰	۸۲۳۷۲	۱۰۲	۱۲/۳
S6	۷	۱۰	۳۵	۱۰۲۳۴۱	۱۳۲	۱۳/۴۲
S7	۷	۱۰	۴۰	۱۲۱۴۳۰	۱۴۶	۱۴/۸۷
S8	۸	۱۵	۴۵	۱۸۷۹۶۲	۲۰۱	۱۷/۳۴
S9	۹	۱۵	۵۰	۲۳۱۹۰۸	۲۲۱	۱۹/۳۴
S10	۱۰	۱۵	۵۵	۳۴۷۶۰۴	۲۳۱	۲۶/۴۲
S11	۱۰	۱۵	۶۰	۷۶۸۹۰۶	۲۵۳	۱۲/۰۸
S12	۱۱	۲۰	۶۵	۱۰۹۳۴۰۵	۲۷۴	۵۳/۰۹

۸- نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

امروزه به علت افزایش مخاطرات زیست محیطی و وضع قوانینی در این زمینه از سوی دولت‌ها و همچنین محدودیت منابع تولیدی، محققان توجه ویژه‌ای به طراحی شبکه‌های زنجیره‌تأمین حلقه بسته و سبز داشته‌اند. برای ایجاد هماهنگی بهتر بین اجزای زنجیره تأمین و کسب سود بیشتر در شبکه نیاز به تصمیمات ویژه‌ای در طول چرخه عمر محصول می‌باشد. در اقتصاد جهانی امروز، رقابت شرکت‌ها را ترغیب می‌کند تا به اهمیت و تأثیر فرآیندهای لجستیک معکوس بر عملکرد شرکت توجه ویژه‌ای داشته باشند. لجستیک معکوس وظیفه رسیدگی به محصولاتی را که از طرف مشتریان به تولیدکنندگان بازگردانده می‌شوند، بر عهده دارد. مشتریان انتظارات زیادی در رابطه با سیاست بازگشت کالاها از تولیدکنندگان، خرده‌فروشان و ارائه‌دهندگان خدمات دارند. به‌همین دلیل شرکت‌ها در تلاش‌اند تا ارزش بیشتری را از محصولات بازگشتی کسب کنند. مشتریان می‌توانند محصولات را به دلایلی همچون: ارسال نادرست نوع محصول، خطا در ارسال تعداد محصول موردتقاضا، آسیب دیدن محصول در جریان حمل و نقل، دریافت و تعمیر محصولات برای فروش مجدد و مسائل مربوط به محیط‌زیست، بازگردانند. به‌همین دلیل شرکت‌ها باید آمادگی لازم را داشته باشند که به‌موقع عملیات رسیدگی و پردازش محصولات بازگشتی را انجام دهند، تا اطمینان حاصل شود که سطح رضایت مشتریان به حد مطلوبی رسیده است و احتمال انجام معاملات در آینده افزایش می‌یابد.

شرکت‌ها می‌دانند که شبکه معکوس، یک هدف برای افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها می‌باشد. ازاین‌رو شروع به تمرکز و استفاده از آن به‌عنوان ارزش افزوده کرده، و از روند معکوس به‌عنوان وجه تمایز استفاده می‌کنند. این تمایز به آن‌ها اجازه می‌دهد تا سهم بازار را به‌دست آورند، سهم بازار را افزایش دهند، درآمد را افزایش دهند و کارایی مطلوب لجستیک معکوس خود را به‌دست آورند. این افزایش تمرکز بر روند لجستیک معکوس آغاز شده است. سازمان‌ها علاوه بر خدمت‌رسانی به مشتریان و یا تحویل به‌موقع محصول به مشتریان، حرکتی فراتر از معامله اولیه برای حصول اطمینان از نیازهای مشتری و وجود کارایی مطلوب و در صورت لزوم، نیاز به بازگشت محصول، انجام می‌دهند. همانند هر سازمانی، فرآیندهایی که از سود بالقوه دور می‌شوند یا به صرفه‌جویی در منابع محدود می‌شوند، چشم‌انداز مدیریت را در تلاش برای کنترل هزینه‌ها و ساده‌سازی فرآیند به‌دست می‌آورند. به‌همین دلیل است که لجستیک معکوس در جامعه تجاری و دانشگاهی اهمیت دارد. با توجه به موارد مطرح شده در این پژوهش با در نظرگرفتن شرایط زیست محیطی و زنجیره تأمین سبز مدل چندهدفه با در نظر گرفتن هدف کمینه‌سازی هزینه‌های مربوط به حمل و نقل، کمینه‌سازی زمان دریافت مواد اولیه از تأمین‌کننده و کمینه‌سازی زمان عودت محصول از مشتری به مرکز جداساز ارائه شد. در نهایت مدل ریاضی ارائه شده در یک فضای منطقی توسعه داده شد و نتایج بدست آمده مورد ارزیابی قرار گرفتند و در نهایت جهت ارزیابی مدل در حدهای بزرگ‌تر

نیز حل شد. از این‌رو با توجه به ارزیابی حل مدل ریاضی در ابعاد بزرگ و تحلیل‌های صورت پذیرفته بر روی ابعاد مساله مورد مطالعه نیاز به حل فرا ابتکاری می‌باشد. نتایج بدست آمده نشان داد توسعه مفاهیم جدید در زنجیره تأمین گامی پیشرو در بهینه‌سازی زنجیره تأمین حلقه بسته می‌باشد. نتایج پژوهش نشان داد که توزیع محصولات در شرکت کاله به میزان ۲۰ درصد بهبود در هزینه‌ها و زمان‌بندی توزیع برای شرکت را در پی داشته و رضایت مشتریان از دریافت کالاهای تولیدی افزایش یافته است.

با توجه به نتایج بدست آمده در این پژوهش پیشنهادات آتی به شرح ذیل ارائه می‌شود:

- استفاده از پارامترهای فازی در هزینه‌های مربوط به توسعه زنجیره تأمین حلقه بسته در مدل‌سازی
- استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری جهت ارزیابی مدل و مقایسه جواب‌های بدست آمده با الگوریتم‌های پیشنهادی جهت ارزیابی کارایی الگوریتم‌های فراابتکاری
- در نظرگرفتن مسائل زیست محیطی در خودروهای حمل و نقل
- در نظرگرفتن پنجره زمانی در حمل و نقل وسائل نقلیه

۹- مراجع

[۱] علی‌محمدی، م.، ۱۳۹۸، بهینه‌سازی مساله چندهدفه در شبکه زنجیره تأمین دو سطحی با در نظر گرفتن کالای معیوب (مطالعه موردی شرکت صنایع فولاد کرمان)، چهارمین کنفرانس ملی در مدیریت، حسابداری و اقتصاد با تاکید بر بازاریابی منطقه‌ای و جهانی، تهران،https://civilica.com/doc/915366

[2] Ahmadi, A., Mousazadeh, M., Torabi, S. A., & Pishvaee, M. S. (2018). Or applications in pharmaceutical supply chain management. In Operations research applications in health care management (pp. 461-491). Springer .

[3] Gholipour, S., Ashoftehfard, A., & Mina, H. (2020). Green supply chain network design considering inventory-location-routing problem: a fuzzy solution approach. International Journal of Logistics Systems and Management, 35(4), 436-452.

[4] Marandi, F., & Fatemi Ghomi, S. M. T. (2019). Integrated multi-factory production and distribution scheduling applying vehicle routing approach. International Journal of Production Research, 57(3), 722-748.

[۵] رجبی پورمیبدی، ع.، مفتح‌زاده، ا.، کیانی، م.، و زمزم، ف. ۱۴۰۰. طراحی الگوی عوامل مؤثر بر استقرار مدیریت زنجیره تأمین سبز بر اساس رویکرد فراترکیب و تحلیل و توسعه گزینه‌های استراتژیک (سودا). مدیریت بهره‌وری (فراسوی مدیریت)، ۱۵(۱ (پیاپی ۵۶)), ۲۶۵-۲۹۳. https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=569072

[6] Mousavi, M., Jamali, G., Ghorbanpour, A. (2021). A Green-resilient Supply Chain Network Optimization Model in Cement Industries. Industrial Management Journal, 13(2), 222-245. doi: 10.22059/imj.2021.323226.1007844

[7] Samuel, C. N., Venkatadri, U., Diallo, C., & Khatab, A. (2020). Robust closed-loop supply chain design with presorting, return quality and carbon emission considerations. Journal of Cleaner Production, 247, 119086.

[8] Peng, H., Shen, N., Liao, H., Xue, H., & Wang, Q. (2020). Uncertainty factors, methods, and solutions of closed-loop supply chain—A review for current situation and future prospects. Journal of Cleaner Production, 254, 120032.

[9] Carbonara, N., & Pellegrino, R. (2017). How do supply chain risk management flexibility-driven strategies perform in mitigating supply disruption risks?. International Journal of Integrated Supply Management, 11(4), 354-379.

[10] Beier, J. (2017). Manufacturing Systems and Variable Renewable Electricity Supply. In Simulation Approach Towards Energy Flexible Manufacturing Systems (pp. 11-49). Springer, Cham.

[۱۱] غلامیان، ن.، مهدوی، ا.، توکلی مقدم، ر.، و مهدوی امیری، ن.،۱۳۹۶،برنامه‌ریزی تولید ادغامی چندهدفه زنجیره تأمین سبز تحت عدم قطعیت تقاضا از طریق بهینه سازی فازی،کنفرانس بین‌المللی زنجیره تأمین سبز، لاهیجان، https://civilica.com/doc/637285

[12] Zhao, G., Liu, S., & Lopez, C. (2017, September). A literature review on risk sources and resilience factors in agri-food supply chains.

In Working Conference on Virtual Enterprises (pp. 739-752). Springer, Cham.

[13] Christopher, M., Harrison, A., & Hoek, R. V. (2016). Creating the agile supply chain: issues and challenges. Developments in logistics and supply chain management, 61-68.

[14] Genovese, A., Acquaye, A. A., Figueroa, A., & Koh, S. L. (2017). Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. Omega, 66, 344-357.

[۱۵] شفیعی، م.، رضایی، ذ.، ابراهیمی، ع.، ۱۳۸۸، "مدیریت راهبردی زنجیره تأمین"، تهران، انتشارات ترمه.

[16] Hofmann, E., & Kotzab, H. (2010). A supply chain-oriented approach of working capital management. Journal of business Logistics, 31(2), 305-330.

[17] Fleischmann, M., Beullens, P., BLOEMHOF-RUWAARD, J. M., & Van Wassenhove, L. N. (2001). The impact of product recovery on logistics network design. Production and operations management, 10(2), 156-173.

[18] Lee, D. H., & Dong, M. (2008). A heuristic approach to logistics network design for end-of-lease computer products recovery. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 44(3), 455-474.

[19] Salema, M. I. G., Barbosa-Povoa, A. P., & Novais, A. Q. (2006). An integrated model for the design and planning of supply chains with product return. In Computer Aided Chemical Engineering (Vol. 21, pp. 2129-2134). Elsevier.

[20] Salema, M. I. G., Barbosa-Póvoa, A. P., Novaisc, A. Q., & Luiziod, M. (2007). Design of recovery supply chains: a Portuguese recovery network for WEEE.

[21] Lu, Z., & Bostel, N. (2007). A facility location model for logistics systems including reverse flows: The case of remanufacturing activities. Computers & operations research, 34(2), 299-323.

[22] Listeş, O. (2007). A generic stochastic model for supply-and-return network design. Computers & Operations Research, 34(2), 417-442.

[23] Ko, H. J., & Evans, G. W. (2007). A genetic algorithm-based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse logistics network for 3PLs. Computers & Operations Research, 34(2), 346-366.

[24] Min, H. (2015). Genetic algorithm for supply chain modelling: basic concepts and applications. International Journal of Services and Operations Management, 22(2), 143-164.

[25] Lee, D., Dong,M. (2008). A heuristic approach to logistics network design for end-of-lease computer products recovery. Transportation Research Part E, 44, 455-474.

[26] Pishvaee, M. S., & Khalaf, M. F. (2016). Novel robust fuzzy mathematical programming methods. Applied Mathematical Modelling, 40(1), 407-418.

[27] El-Sayed, M., Afia, N., & El-Kharbotly, A. (2010). A stochastic model for forward–reverse logistics network design under risk. Computers & Industrial Engineering, 58(3), 423-431.

[28] Galbraith, J. K. (2010). 7 Uncertainty and the modern corporation. The Economics of John Kenneth Galbraith: Introduction, Persuasion, and Rehabilitation, 174.

[29] Hu, Q., Zhang, L., Chen, D., Pedrycz, W., & Yu, D. (2010). Gaussian kernel based fuzzy rough sets: model, uncertainty measures and applications. International Journal of Approximate Reasoning, 51(4), 453-471.

[30] Alfonso-Lizarazo, E. H., Montoya-Torres, J. R., & Gutiérrez-Franco, E. (2013). Modeling reverse logistics process in the agro-industrial sector: The case of the palm oil supply chain. Applied Mathematical Modelling, 37(23), 9652-9664.

[31] Amin, S. H., & Zhang, G. (2013). A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return. Applied Mathematical Modelling, 37(6), 4165-4176.

[32] Talaei, M., Moghaddam, B. F., Pishvaee, M. S., Bozorgi-Amiri, A., & Gholamnejad, S. (2016). 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.

[33] Badri, H., Ghomi, S. F., & Hejazi, T. H. (2017). A two-stage stochastic programming approach for value-based closed-loop supply chain

network design. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 105, 1-17.

[34] Linfati, R., Gatica, G., & Escobar, J. W. (2021). A Mathematical Model for Scheduling and Assignment of Customers in Hospital Waste Collection Routes. Applied Sciences, 11(22), 10557.

[35] Belgin, O., Karaoglan, I., & Altiparmak, F. (2018). Two-echelon vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery: Mathematical model and heuristic approach. Computers & Industrial Engineering, 115, 1-16.

[36] Edalatpour, M. A., & Mirzapour Al-e-Hashem, S. M. J. (2019). Simultaneous pricing and inventory decisions for substitute and complementary items with nonlinear holding cost. Production Engineering, 13(3), 305-315.

[37] Zhalechian, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Zahiri, B., & Mohammadi, M. (2016). Sustainable design of a closed-loop location-routing-inventory supply chain network under mixed uncertainty. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 89, 182-214.

[38] Asim, Z., Jalil, S. A., & Javaid, S. (2019). An uncertain model for integrated production-transportation closed-loop supply chain network with cost reliability. Sustainable Production and Consumption, 17, 298-310.

Developing a multi-objective mathematical model of green closed-loop supply chain In terms of selling returned products using the Epsilon-constraint method approach

Ehsan Fallahiarezoudar
Department of Industrial Engineering, Faculty of Technology and Engineering, East of Guilan, University of Guilan, 44918 Roudsar, Guilan, Iran.

Fatemeh Alami
Department of Industrial Engineering, Faculty of Technology, Islamic Azad University (Lahijan Branch), Lahijan, Guilan, Iran.

Mohaddeseh Ahmadipourroudposht
Department of Industrial Engineering, Faculty of Technology, Islamic Azad University (Lahijan Branch), Lahijan, Guilan, Iran.

Abstract: In the present world, rapid economic change and increasing competitive market pressure push organizations to focus on making supply chain operations more efficient and effective. Proper design and efficient logistics networks as part of supply chain planning and creating a sustainable competitive advantage provide increased customer satisfaction and the opportunity to meet their needs, which is why the decisions related to the design of these networks are of great importance. Enjoy. Therefore, in this study, the design of a closed-loop logistics network to reduce pollution and environmental pollution using the Bertsimas and sim stabilization method was presented. However, the developed mathematical model was presented by considering the objectives of minimizing transportation costs, minimizing the time of receiving raw materials from the supplier, and minimizing the time of product return from the customer to the separation center. Due to the strategic nature of the closed-loop supply chain, which with the approximate solution space causes many costs to be delivered to the system, to increase the accuracy of the answers of the developed mathematical model and make it applicable, the Epsilon-constraint algorithm is used to reduce the computational time of the model, as well as to acquire high accurate results. On the other hand, because the operational logic of solving the Lagrange release is based on a single-objective model, the target of the first multi-objective mathematical model with an augmented Epsilon-Constraint was converted. Then the Lagrange release algorithm was implemented on it.

Keywords: Closed-loop supply chain, Stabilization uncertainty, Epsilon-Constraint

INTRODUCTION

In today's world, rapid economic change and increasing competitive market pressures are driving organizations to focus on making supply chain operations more efficient and effective. Proper design and efficiency of logistics networks as part of supply chain planning, in addition to creating a sustainable competitive advantage, increases customer satisfaction and provides the opportunity to meet their needs, which is why the decisions related to the design of these networks are of great importance [1]. Logistics management and closed-loop supply chains are one of the most important and vital

aspects of any business and include manufacturing, service and support for any type of product. In the current era of business, the life cycle of products is getting shorter and shorter every day, and therefore the integration of logistics network design is of great importance. One of the suitable fields for integration in logistics networks is the integrated design of direct and reverse logistics network. Closed-loop logistics networks have attracted the attention of many researchers due to the increasing importance of saving on raw materials, environmental factors and government regulations [2]. Therefore, in this study, considering the supply chain and reverse logistics, we develop a multi-objective mathematical model to design a closed-loop supply chain network for both forward and reverse flow modes. Given the waste and breakdown of products in the supply chain, this study will provide a network to collect these returns in order to reduce chain costs and generate potential revenue from them. Therefore, in this study, developing a closed loops supply chain network was presented using the Bertsimas and sim stabilization method.

The network studied in this study is a multi-stage, multi-stage closed-loop supply chain network in which the forward supply chain includes raw material suppliers, production centers, distribution centers and customers. Reverse supply chain includes customers, collection centers which in this research are the same distribution centers, quality control center for returned items to determine and assign the quality level of these products, repair center, dismantling centers, recycling centers and disposal centers. The task involves determining the flow of materials between each stage of the supply chain while meeting customer demand, and the goals of minimizing the total cost of shipping and purchasing and minimizing shipping time. The supply chain network of this research can answer many natural issues in which there is a return of products and goods, as well as after-sales services and the possibility of material recycling. Using the above strategy, excessive transportation of returned goods, especially scrap goods, is avoided and sent directly to appropriate facilities, whether recycled or restored.

The first objective function includes minimizing the cost of supplying raw materials from the supplier, the cost of sending the product from the factory to the distribution center, the cost of sending the product from the distribution center to the customer, the cost of returning the damaged product from the customer to the separation center, the cost of sending the damaged product Destruction center, cost of sending defective product for dismantling to factory, cost of product conversion to raw materials, cost of raw material storage in factory, cost of product maintenance in distribution center, product maintenance cost to customer, cost of raw material factory, cost of product deficit in center Distribution is the cost of the product deficit to the customer.

The second objective function is based on minimizing the time of receiving raw materials from the supplier, the time of sending the product from the factory to the distribution center, the time of sending the product from the distribution center to the customer.

Due to the fact that in the previous section, the mathematical model is considered definitive, in this section, for the reasons mentioned, the proposed model will become an indefinite linear model. Also in this section, uncertainty in demand will be added to the model with the help of robust planning and Bertsimas and wire approach. With this change, the constraint (3-6) will be modified as the Bertsimas model. Therefore, the proposed model will be a linear model. Studies in this study show that the demand parameter is one of the important parameters whose values may exceed nominal values.

Therefore, considering this parameter in uncertain conditions can bring the proposed model closer to the reality of the problem. To account for the uncertainty in demand, as mentioned, robust programming and the Bertsimas and wire approach will be used. The robust optimization method seeks optimal or near-optimal solutions that are likely to be justified. The Bertsimas and wire approach is one of the four main approaches for considering uncertainty in planning [3]. In this section, we will briefly mention this approach. For this purpose, we consider the following linear programming model (Equation 1);

$$Min \sum_{j} C_j x_j \quad (1)$$

$$St. \quad (1.1)$$

$$Ax \leq b$$

In this model, it is assumed that only the right coefficients in the constraints, ie matrix A, have indefinite values, and the values of this matrix (a_{ij}) fluctuate in the range $\left[\tilde{a}_{ij} - \hat{a}_{ij}, \tilde{a}_{ij} + \hat{a}_{ij}\right]$ that $\tilde{a}_{ij}$ and $\hat{a}_{ij}$ represents the nominal values and the maximum deviation of the parameter $\hat{a}_{ij}$, respectively. The proposed robust model of Bertsimas and wire can be defined as Equation 2.

$$Min \sum_{j} C_j x_j \quad (2)$$

$$St.$$

$$\sum_{j} \tilde{a}_{ij} x_j + Z_i \Gamma_i + \sum_{j \epsilon j_i} \mu_{ij} \leq b_i \quad \forall\, i \quad (2.1)$$

$$Z_i + \mu_{ij} \geq \hat{a}_{ij} x_{ij} \quad \forall\, i,j \quad (2.2)$$

$$Z_i + \mu_{ij} \geq 0 \quad \forall\, i,j \quad (2.3)$$

In this relationship, $Z_i$and μ_{ij} are dual auxiliary variables, and the parameter Γ_i, called the budget of uncertainty, indicates the level of conservatism that is chosen according to the importance of the constraint as well as the risk-taking of the decision maker. According to the above, the uncertainty model of Bertsimas and sim is presented in Equation 3, which will replace the constraint 3-6 (in the main text).

$$\sum_{k} Q^2_{ckt} + A^3_{c(t-1)} + B^2_{ct} = D_{ct} + \Gamma_{ct} p_t + q_{ct} + A^3_{ct} + B^2_{ct-1} \quad \forall\, c,t \quad (3)$$

$$p_t + q_{ct} \geq \widehat{D}_{ct} \quad \forall\, c,t \quad (3.1)$$

In this equation $\widehat{D}_{ct}$ tolerance is based on customer demand in period *t*, Γ_{ct} represents uncertainty budget and $p_t$and q_{ct} are model variables.

One of the most accurate methods for obtaining optimal Pareto solutions is the use of the Epsilon restriction method, which was first proposed by Aljedan. The main advantage of this method compared to other multi-objective optimization methods is its application for non-convex solution spaces; because methods such as weight composition of targets in nonlinear space lose their effectiveness. The enhanced epsilon limitation method provides efficient Pareto optimal solutions. In the Epsilon constraint method, one of the objective functions is considered as the main objective function to be optimized, while the other objective function is considered as a constraint in the model. The amplified epsilon constraint model can be represented according to Equation 4.

$$Min/Max(f_1(x) + \vartheta \times \left(\frac{s_2}{r_2} + \frac{s_3}{r_3} + \cdots + \frac{s_i}{r_i} \ldots + \frac{s_n}{r_n}\right)) \quad 4$$

$$St.$$

$$f_2(x) - s_2 = \varepsilon_2 \quad 4.1$$

$$f_3(x) - s_3 = \varepsilon_3 \quad 4.2$$

$$\vdots$$

$$i \in [2, n] \quad 4.3$$

$$S_i \in R^+ \quad 4.4$$

According to Equation (4), Pareto optimal solutions are obtained in which r_i is the domain of the i^{th} objective function, ϑ is a small number between 0.001 and 0.000001, and $s_i$is an additional non-negative variable. First the values of NIS_{fi} (worst value) and PIS_{fi} (best value) are obtained for each objective function, then the amplitude value of the i^{th} objective function is calculated according to Equation 5;

$$r_i = PIS_{fi} - NIS_{fi} \quad 5$$

r_i is then divided into intervals equal to l_i. Then l_{i+1} points are obtained, which according to Equation 6, the values of epsilons are obtained based on these points (Grid point). In this method, for all the obtained epsilons, the model must be solved, which according to Equation 6, η Grid point numbers are obtained.

$$\varepsilon_i^{\eta} = NIS_{fi} + \frac{r_i}{l_i} \times \eta \quad 6$$

Due to the validation of the mathematical model in small dimensions, in this section, 12 sample problems are designed and analyzed using the Epsilon constraint algorithm, the evaluation results are as described in Table 1:

Table 1. Results of 12 sample problems using Epsilon constraint algorithm

No.	Distributor	Supplier	Customer	First objective function	Second objective function	Solving time CPLEX (s)
S1	4	8	15	6989	52	0.811
S2	5	9	15	4096	63	0.359
S3	6	9	20	21215	72	0.562
S4	6	9	25	18259	99	0.608
S5	7	9	30	82372	102	12.3
S6	7	10	35	102341	132	13.42
S7	7	10	40	121430	146	14.87
S8	8	15	45	187962	201	17.34
S9	9	15	50	231908	221	19.34
S10	10	15	55	347604	231	26.42
S11	10	15	60	768906	253	12.08
S12	11	20	65	1093405	274	53.09

Today, due to increasing environmental risks and legislation in this area by governments, as well as limited production resources, researchers have paid special attention to the design of closed-loop and green supply chain networks [4]. To make better coordination between supply chain components and make more profit in the network, special decisions are needed during the product life cycle. In today's global economy, competition encourages companies to pay special attention to the importance and impact of reverse logistics processes on firm performance. Reverse Logistics is responsible for handling products returned by customers to manufacturers [5].

Customers have high expectations for return policies from manufacturers, retailers and service providers. That's why companies are trying to get more value from returned products. Customers can return products for reasons such as: incorrect shipment of product type, error in sending the number of products requested, damage to the product during shipping, receipt and repair of products for resale and environmental issues. For this reason, companies must be prepared to process and process returned products on time, to ensure that the level of customer satisfaction has reached the desired level and the likelihood of future transactions increases [6].

Companies know that reverse networking is a goal to increase productivity and reduce costs. Hence, they start to focus and use it as added value and use the reverse trend as a means of differentiation. This differentiation allows them to gain market share, increase market share, increase revenue, and achieve their desired reverse logistics performance [7]. This increase in focus has begun on the reverse logistics process. In addition to serving customers or delivering products to customers on time, organizations move beyond the initial transaction to ensure customer needs and the desired performance and, if necessary, the need to return the product. Like any organization, processes that shy away from potential profit or are limited to resource savings gain a management perspective in an effort to control costs and simplify the process. This is why reverse logistics is important in the business and academic community. According to the issues raised in this study, taking into account the environmental conditions and the green supply chain of the multi-objective model, taking into account the goal of minimizing transportation costs, minimizing the time of receiving raw materials from suppliers and minimizing product return time. Delivered from the customer to the separator center. Finally, the proposed mathematical model was developed in a logical space and the results were evaluated and finally solved to evaluate the model to a greater extent.

Therefore, according to the evaluation of mathematical model solution in large dimensions and analyzes performed on the dimensions of the studied problem, it is necessary to solve meta-innovation. The results showed that the development of new concepts in the supply chain is a leading step in the optimization of the closed chain supply chain. The results showed that the distribution of products in Kaleh© company has resulted in a 20% improvement in costs and distribution schedule for the company and customer satisfaction from receiving manufactured goods has increased.

References

[1] Ahmadi, A., Mousazadeh, M., Torabi, S. A., & Pishvaee, M. S. (2018). Or applications in pharmaceutical supply chain management. In *Operations research applications in health care management* (pp. 461-491). Springer .

[2] Gholipour, S., Ashoftehfard, A., & Mina, H. (2020). Green supply chain network design considering inventory-location-routing problem: a fuzzy solution approach. *International Journal of Logistics Systems and Management*, *35*(4), 436-452.

[3] Marandi, F., & Fatemi Ghomi, S. M. T. (2019). Integrated multi-factory production and distribution scheduling applying vehicle routing approach. *International Journal of Production Research*, *57*(3), 722-748.

[4] Mousavi, M., Jamali, G., Ghorbanpour, A. (2021). A Green-resilient Supply Chain Network Optimization Model in Cement Industries. *Industrial Management Journal*, 13(2), 222-245. doi: 10.22059/imj.2021.323226.1007844

[5] Samuel, C. N., Venkatadri, U., Diallo, C., & Khatab, A. (2020). Robust closed-loop supply chain design with presorting, return quality and carbon emission considerations. *Journal of Cleaner Production*, *247*, 119086.

[6] Peng, H., Shen, N., Liao, H., Xue, H., & Wang, Q. (2020). Uncertainty factors, methods, and solutions of closed-loop supply chain—A review for current situation and future prospects. *Journal of Cleaner Production*, *254*, 120032.

[7] Carbonara, N., & Pellegrino, R. (2017). How do supply chain risk management flexibility-driven strategies perform in mitigating supply disruption risks? *International Journal of Integrated Supply Management*, *11*(4), 354-379.