



DOI: 10.22084/ier.2019.15750.1734

## طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه- بسته سبز با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان مراکز تأمین تحت شرایط عدم قطعیت

محمد باقر فخرزاد<sup>\*</sup>، پرینسا طالب‌زاده<sup>۲</sup>، فریبا گودرزیان<sup>۳</sup>

۱. دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۳. دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، یزد، ایران

### خلاصه

در این مقاله، یک مدل زنجیره تأمین حلقه- بسته سبز در حالت چند دوره‌ای، چندسطحی و چندمحصولی تحت عدم قطعیت ارائه می‌گردد که اهداف آن شامل کمینه‌سازی هزینه‌های شبکه زنجیره تأمین، کمینه‌سازی انتشار گازهای خروجی حاصل از جابه‌جایی وسیله نقلیه در بین مراکز می‌باشد و حداکثرسازی قابلیت اطمینان تحویل تقاضا با توجه به قابلیت اطمینان تعریف شده برای تأمین‌کنندگان می‌باشد. یک زنجیره شامل مراکز تأمین‌کننده، مراکز تولید/ احیا، مراکز توزیع/ جمع‌آوری، مراکز مشتری و مراکز دفع در نظر گرفته می‌شود. در این مقاله جهت نزدیک شدن به دنیای واقعی، پارامترهای مدل فازی و تابع هدف چند هدفه است. مسئله با استفاده برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط مدل شده و از رویکرد دو مرحله‌ای قطعی برای در نظر گرفتن عدم قطعیت در مدل پیشنهادی استفاده شده است. در پایان عملکرد و کارایی مدل و روش‌های حل پیشنهادی در قالب مثال عددی شبیه‌سازی شده، و مورد بررسی قرار گرفته و پیشنهادهای به‌منظور استفاده از این مدل در دنیای واقعی ارائه شده است.

### اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۳۹۶/۱۱/۱۸

پذیرش ۱۳۹۸/۷/۲۲

کلمات کلیدی:

طراحی شبکه زنجیره تأمین

حلقه بسته سبز

عدم قطعیت

قابلیت اطمینان

### ۱- مقدمه

در سال‌های اخیر با توجه به شرایط بازار رقابتی، به مدیریت زنجیره تأمین در سازمان‌ها و شرکت‌ها توجه بسیاری شده است. یکی از فعالیت‌های مهم برنامه‌ریزی در مدیریت زنجیره تأمین طراحی شبکه زنجیره تأمین است. زنجیره تأمین کارآمد می‌تواند باعث کاهش هزینه‌ها و افزایش سود یک شرکت شود [۱، ۲]. طراحی شبکه زنجیره تأمین یک مسئله زیرساختی در مدیریت زنجیره تأمین با داشتن یک اثر طولانی‌مدت در فعالیت‌های سطح عملیاتی/ تاکتیکی است [۲]. مدیریت زنجیره تأمین حلقه- بسته علاوه بر تمام فعالیت‌های لجستیک سنتی رو به جلو از تأمین‌کننده به مشتری، تمام فعالیت‌های لجستیک معکوس از جمله فرآیندهای جمع‌آوری، تولید و نوسازی را نیز شامل

می‌شود [۳]. در حال حاضر، اگر شرکت‌ها قصد ماندن در بازار رقابتی را داشته باشند، ممکن است برای افزایش تنوع محصول، روش‌های توزیع را بهبود دهند، سطح خدمات را افزایش دهند و هزینه‌های لجستیک را کاهش دهند. یکپارچه‌سازی تولید و توزیع یکی از مهم‌ترین مسائل بهینه‌سازی در شبکه‌های زنجیره تأمین می‌باشد که به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مسائل بهینه‌سازی در مدیریت زنجیره تأمین توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است [۴، ۲۶]. شبکه زنجیره تأمین حلقه- بسته شامل زنجیره‌های تأمین روبه جلو و معکوس است. شبکه زنجیره تأمین متشکل از تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و مشتریان می‌باشد. همچنین یک شبکه زنجیره تأمین حلقه- بسته می‌تواند شامل مراکز تولید متعدد، مراکز جمع‌آوری، بازارهای تقاضا و محصولات باشد [۵، ۶، ۷]. زنجیره تأمین روبه‌جلو

\* نویسنده مسئول: محمدباقر فخرزاد

تلفن: ۰۳۵۱-۸۱۲۲۴۰۵؛ پست الکترونیکی: mfakhrzad@yazd.ac.ir

کل زنجیره تأمین ارائه کرده‌اند. برای این مسئله یک مدل ریاضی غیرخطی عددصحیح مختلط توسعه داده شده است و برای حل آن سه راه حل فراابتکاری مختلف ارائه شد. خلیف زاده و همکاران [۴] ساختار زنجیره تأمین چهار سطحی شامل تأمین‌کنندگان متعدد، تولیدکنندگان متعدد، توزیع‌کنندگان متعدد و مشتریان متعدد را طراحی کرده‌اند. اهداف آن‌ها به حداقل رساندن هزینه‌های عملیاتی کل تمامی عناصر زنجیره تأمین و به حداکثر رساندن قابلیت اطمینان سیستم می‌باشد. تعدادی از سیستم‌های حمل‌ونقل با نرخ‌های قابلیت اطمینان مختلف در نظر گرفته شده‌اند. این مقاله از لحاظ مدل ریاضی، مسئله را به عنوان یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط فرمول‌بندی می‌کند. برای حل این مسئله، یک الگوریتم ابتکاری جدیدی به نام بهینه‌سازی تطبیقی ازدحام ذرات را پیشنهاد می‌کند. دای و ژانگ [۱] یک مدل طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه-بسته چنددوره‌ای، چندمحصولی، چندسطحی تحت عدم قطعیت ارائه نموده‌اند. کاردوسو و همکاران [۹] به طراحی و برنامه‌ریزی زنجیره‌های تامین ارتجاعی تحت تقاضاهای غیرقطعی می‌پردازند. مدل خطی عدد صحیح مختلط به زنجیره‌های تامین حلقه-بسته و پیشرو اعمال شده است و رفتار سیستم‌ها به هنگام مواجه با انواع مختلفی از اختلال مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. الشمسی و دبیت [۱۰] با توسعه یک برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط به پیکربندی شبکه پیچیده از یک سیستم لجستیک معکوس که به انتخاب بهینه از سایت‌ها، ظرفیت‌های مراکز بازرسی و امکانات بازسازی تصمیم می‌گیرد، می‌پردازند. مدلشان به شرکت‌هایی که نیاز به سیستم حمل‌ونقل بسیار بزرگ و پرهزینه دارند، از جمله شرکت‌های حمل‌ونقل، می‌توانند راهکارهای مفیدی و کارایی بالایی ارائه دهند. تیموری و همکاران [۱۱] یک مدل طراحی شبکه زنجیره تأمین ظرفیت‌دار قابل اطمینان چندهدفه با در نظر گرفتن خطرات اختلال تصادفی ارائه نمودند. مدل پیشنهادی، مکان بهینه از مراکز توزیع با بالاترین قابلیت اطمینان، بهترین برنامه برای تعیین مشتریان برای مراکز توزیع باز، اختصاص مراکز توزیع باز به تامین‌کنندگان مناسب با کمترین هزینه حمل‌ونقل را ارائه می‌دهد. کریستینتو و همکاران [۱۲] طراحی مجدد یک پیکربندی شبکه زنجیره تأمین با بهینه‌سازی تخصیص موجودی و مسیریابی حمل‌ونقل می‌باشد. برنامه‌نویسی دومرحله‌ای با توجه به تجزیه بندرز توسط تخصیص موجودی در پیشبرد و پیش‌بینی تغییرات مسیریابی حمل‌ونقل ارائه شده است. علاوه بر این، کوتاه‌ترین مسیر فازی برای حل پیچیدگی مسئله از نظر زمان تحویل و ظرفیت چند معیاره با یک روش محاسباتی کارآمد توسعه داده شده است. کلاپتزدو و همکاران [۱۳] برای طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه-بسته مسئله برنامه‌نویسی خطی عدد صحیح مختلط چنددوره‌ای، چندسطحی، چندمحصولی را مورد بررسی قرار داده‌اند. هدف مدل، یافتن ساختار بهینه از شبکه به منظور تامین تقاضای بازار با حداقل سرمایه و هزینه‌های عملیاتی می‌باشد. کریمی و همکاران [۱۴] یک شبکه زنجیره تامین حلقه-بسته چنددوره‌ای، چندمحصولی با توجه به نرخ

شامل مجموعه‌ای از فعالیت‌هاست که در آن مواد خام به محصولات نهایی تبدیل می‌شوند. مدیران سعی دارند عملکرد زنجیره تأمین روبه‌جلو را در زمینه‌هایی از قبیل مدیریت تقاضا، تدارکات و اجرای سفارش بهبود دهند [۲۷]. مفهوم طراحی زنجیره تأمین معکوس با مفاهیمی همچون بازیافت، چرخه مجدد و یا استفاده مجدد از محصولات ارائه می‌شود. به‌طور کلی طراحی شبکه زنجیره تأمین معکوس شامل تعیین تعداد، مکان و ظرفیت‌های مراکز جمع‌آوری، بازیابی و دفع موجودی ذخیره‌شده در هر سایت و همچنین مقدار جریان بین هر جفت از تسهیلات می‌باشد. با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، یکی از مواردی که تأثیر بسیاری بر مدل‌سازی شبکه لجستیک معکوس دارد، در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت است. در لجستیک معکوس پارامترهایی مثل ظرفیت مراکز، تقاضا، هزینه و کیفیت می‌توانند غیرقطعی باشند؛ بنابراین، طراحی زنجیره تأمین که در برابر عدم قطعیت داده‌ها مقاوم باشد اهمیت بسزایی خواهد داشت. ادغام زنجیره تأمین روبه‌جلو و زنجیره تأمین معکوس، به یک زنجیره تأمین حلقه-بسته منجر می‌شود [۸، ۶، ۵]. الزامات قانونی، مسئولیت‌های اجتماعی، نگرانی‌های زیست‌محیطی، منافع اقتصادی و آگاهی مشتریان، تولیدکنندگان را نه تنها به تولید محصولات سازگار با محیط‌زیست، بلکه به پس گرفتن و جمع‌آوری محصولات برگشتی و استفاده‌شده وادار کرده است. مدیریت لجستیک حلقه-بسته می‌تواند حداقل اتلاف مواد از طریق متابعت از قوانین نگهداری در طول چرخه عمر از مواد را تضمین نماید [۳۰، ۷]. دودسته گسترده از ریسک وجود دارد که بر طراحی و مدیریت زنجیره تأمین تأثیر دارد. دسته اول به عدم قطعیت احاطه‌شده در پارامترهای مدل که بر مسئله تعادل عرضه و تقاضا مؤثر است، مربوط می‌شود. دسته دوم از مخاطرات ممکن است از بلایای طبیعی نشأت گرفته باشند که شامل مسائل مربوط به بلایای طبیعی، اعتصابات، اختلالات اقتصادی و اعمال تروریستی می‌باشد. عدم قطعیت موجود در تقاضا، زمان‌های تأخیر، هزینه‌های حمل‌ونقل، کمیت و کیفیت محصولات بازگشتی به دسته اول از خطرات اشاره می‌کند. برنامه‌ریزی تصادفی یک ابزار کارآمد برای در نظر گرفتن پارامترهای نامشخص می‌باشد [۳۱، ۸].

## ۲- مرور ادبیات

بسیاری از محققان برای طراحی و بهینه‌سازی مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین اقدامات بسیاری انجام داده‌اند. این مطالعات شامل مدل‌های متنوع اعم از مسائل قطعی خطی ساده تا غیرقطعی غیرخطی پیچیده است [۲۹، ۲۸]. به‌طور کلی تمرکز مطالعات بر روی یک روش قطعی است و تنها هدف آن، یعنی به حداقل رساندن هزینه‌ها و یا به حداکثر رساندن سود است [۷]. کاپای و یوریک [۳] یک مدل غیرخطی عدد صحیح مختلط مکان‌یابی-موجودی-قیمت‌گذاری تسهیلات برای تصمیم‌گیری در مورد مکان‌های بهینه از تسهیلات، مقدار موجودی، قیمت‌گذاری برای محصولات جدید و مشوق‌های قیمت برای مجموعه‌ای از محصولات به‌منظور به حداکثر رساندن سود

بدین‌صورت که کالاها از تسهیلات قابل‌اطمینان به تسهیلات غیر قابل‌اطمینان حمل می‌شوند. این مدل، یک مدل تک‌محصولی و چند سطحی بوده و مراکز تولید و بازیافت و مراکز توزیع و جمع‌آوری به‌صورت ترکیبی در نظر گرفته شده‌اند. تابع هدف شامل حداقل کردن هزینه‌های ثابت، حمل‌ونقل، عملیاتی و هزینه اختلال در تسهیل می‌باشد. پارامترهای تقاضا و نرخ بازگشت محصول، هزینه‌های حمل‌ونقل، ثابت، عملیاتی و ظرفیت تسهیلات به‌صورت فازی در نظر گرفته شده‌اند. جهت رویارویی با عدم قطعیت برنامه‌ریزی تحمیلی اعتبار محور به کار گرفته شده است. در پایان جهت اعتبار سنجی مدل مثال‌های عددی حل و آنالیزهای حساسیت انجام شده است. اوزسایلین و همکاران [۱۸] یک مدل ریاضی غیرخطی عددصحت مختلط یکپارچه ارائه نمودند که به‌طور مشترک به بهینه‌سازی تصمیم‌گیری-های تاکتیکی و راهبردی زنجیره‌تأمین حلقه-بسته می‌پردازد. تصمیمات سطح استراتژیک مربوط به مقدار جریان محصولات در زنجیره‌های تأمین پیشرو/معکوس می‌باشد و تصمیمات سطح تاکتیکی مربوط به ایجاد توازن برای خطوط جداسازی قطعات در زنجیره معکوس می‌باشد. هدف مدل کمینه‌سازی هزینه‌های حمل‌ونقل، خرید، نوسازی و عملیات جداسازی قطعات ایستگاه‌های کاری می‌باشد و همچنین یک فرمول برنامه‌نویسی غیرخطی عدد صحت مختلط برای مسئله شرح داده شده است. پیشوایی و همکاران [۱۹] با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی امکان چندهدفه، یک شبکه زنجیره‌تأمین صنعت دارو را طراحی نموده‌اند. مدل پیشنهادی آن‌ها یک مدل پایدار می‌باشد که شامل اهداف سه‌گانه اقتصادی، زیست‌محیطی (سبز) و اجتماعی می‌باشد. هدف اقتصادی شامل حداقل کردن هزینه‌های ثابت، عملیاتی، حمل‌ونقل و هدف زیست‌محیطی شامل حداقل کردن اثرات زیست‌محیطی حمل‌ونقل، فعالیت‌های عملیاتی و هدف اجتماعی شامل حداکثر کردن شغل‌های ایجاد شده و توسعه محلی و حداقل کردن ریسک مشتریان و آسیب‌های کارگری می‌باشد. برای حل مدل از الگوریتم تجزیه بندرز تسریع شده استفاده شده است. نکات برجسته‌ای که در مقاله زبالوس و همکاران [۲۰] دیده می‌شوند عبارت‌اند از: بررسی زنجیره‌های تأمین حلقه-بسته چندمحصولی، چنددوره‌ای، روش تصادفی چندمرحله‌ای برای طراحی و برنامه‌ریزی زنجیره‌های تأمین حلقه-بسته با شرایط عدم قطعیت، در نظر گرفتن سناریوهای مختلف برای بررسی اثرات غیرقطعی از تقاضا و عرضه در شبکه، همچنین هدف مسئله به حداقل رساندن هزینه‌های مورد انتظار منهای درآمد مورد انتظار می‌باشد. کاردونا و همکاران [۱۲] طراحی یک زنجیره‌تأمین از سیستم توزیع دوسطحی را پیشنهاد نموده‌اند. در این مسئله، تعداد و مکان کارخانه‌ها و مراکز توزیع شناخته شده است، اما تقاضا از این مراکز توزیع به‌عنوان یک متغیر تصادفی در نظر گرفته شده است و از طریق سناریوهای مختلف مدل‌سازی شده است. همچنین به‌منظور حفظ تعادل نگرانی‌های زیست‌محیطی و برآورده‌سازی سریع تقاضا، حداقل‌سازی هزینه کل و حداکثرسازی زمان مورد انتظار را برای حمل‌ونقل محصولات در سراسر زنجیره‌تأمین

برگشتی محصولات تحت عدم قطعیت برای یک شرکت لبنیاتی را مورد بررسی قرار داده‌اند. هدف آن‌ها توسعه مدل زنجیره‌تأمین شامل تأمین‌کنندگان مواد اولیه، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و یک مرکز بازیافت برای محصولات برگشتی می‌باشد. موسی‌زاده و همکاران [۱۵] در مقاله خود یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحت مختلط دو هدفه برای مسئله طراحی شبکه زنجیره‌تأمین دارویی ارائه نمودند. مدل برای تصمیم‌گیری‌های متعدد در مورد مسائل استراتژیک مانند افتتاح مراکز تولید دارو و مراکز توزیع اصلی/محلی همراه با بهینه‌سازی جریان‌های مواد در طی یک افق برنامه‌ریزی میان‌مدت به‌عنوان تصمیمات تاکتیکی کمک می‌کند که به‌طور همزمان به کمینه‌سازی هزینه کل و تقاضای برآورده نشده پرداخته می‌شود. همچنین برای مقابله با عدم قطعیت در پارامترهای ورودی از یک رویکرد برنامه‌ریزی استوار احتمالی استفاده شده است. پسندیده و همکاران [۱۶] به بررسی بهینه‌سازی دو هدفه از مسئله شبکه زنجیره‌تأمین سه سطحی، چندمحصولی، چنددوره‌ای پرداخته‌اند. این شبکه شامل کارخانه‌های تولید، مراکز توزیع و مشتریان می‌باشد. مسئله ابتدا به‌صورت مدل برنامه‌ریزی خطی عددصحت مختلط احتمالی تک هدفه در نظر گرفته شده است، سپس به‌صورت مدل برنامه‌ریزی قطعی غیرخطی عددصحت مختلط قطعی دوهدفه فرمول‌بندی شده است. رضائی و همکاران [۲] یک مدل چند محصولی و چنددوره‌ای را جهت طراحی شبکه زنجیره‌تأمین حلقه-بسته تحت محیط فازی ارائه نموده‌اند. در شبکه ارائه شده جایجایی محصولات بین تسهیلات دو سطح می‌تواند توسط مدل‌های مختلف حمل‌ونقل انجام شود. مدل پیشنهادی آن‌ها شامل چهار سطح در جهت مستقیم (تأمین‌کننده، تولیدکننده، مراکز توزیع و مشتریان) و سه سطح در جهت معکوس (مشتریان، مراکز جمع‌آوری و انهدام) می‌باشد. مدل آن‌ها شامل سه هدف می‌باشد: هدف اول به دنبال حداکثرسازی سود می‌باشد که این هدف با حداکثرسازی اختلاف درآمد و هزینه میسر می‌شود. هدف دوم سطح سرویس‌دهی را حداکثر می‌کند. این هدف با حداقل‌سازی زمان حمل‌ونقل در جهت مستقیم و معکوس حاصل می‌شود. هدف سوم سطح کیفیت سیگما را حداکثر می‌کند که این هدف با حداقل کردن تعداد مواد خام معیوب تولید شده توسط تأمین‌کننده انجام می‌شود. با این کار کیفیت قطعات تولیدی در مراکز تولید افزایش می‌یابد. با توجه به اجزای فازی در نظر گرفته شده، یک رویکرد بهینه‌سازی فازی برای تبدیل برنامه‌ریزی خطی عدد صحت مختلط چندهدفه فازی به مدل قطعی کمکی معادل آن پیشنهاد شده است. هاتفی و همکاران [۱۷] مدلی را جهت طراحی شبکه زنجیره‌تأمین یکپارچه ارائه نموده‌اند. آن‌ها در مدل خود از مفاهیم قابلیت اطمینان جهت بررسی خرابی‌های تسهیلات استفاده کرده‌اند. در مدل پیشنهادی آن‌ها تسهیلات به دو دسته قابل‌اطمینان و غیرقابل‌اطمینان تقسیم می‌شوند و تسهیلات غیرقابل‌اطمینان در صورت بروز اختلال قسمتی از ظرفیت‌ها خود را از دست می‌دهند. لذا جهت برآورده کردن تقاضای مشتریان قسمتی از تقاضا توسط ظرفیت باقیمانده و قسمتی از آن با استفاده از استراتژی اشتراک تأمین می‌شود،

را ارائه نموده‌اند. در مدل پیشنهادی آن‌ها، هدف حداکثر کردن سود، سطح پاسخ‌دهی به مشتری و کیفیت مواد اولیه خریداری شده از تأمین‌کننده می‌باشد. همچنین ریسک مالی جهت ارزش‌دهی نسبی برای اهداف محاسبه شده است. صاحب جمع‌نیا و همکاران [۳۵] یک مدل بهینه‌سازی چنددوره‌ای چندسطحی چندهدفه در مسئله زنجیره تأمین مرکبات ارائه داده‌اند. مدل ریاضی به صورت برنامه ریزی عددصحيح مختلط غیرخطی فرموله کرده‌اند. در همین راستا، بخاطر پیچیدگی مدل، از الگوریتم‌های فراابتکاری شامل *NSGA-II*، *MOICA* و *MOPSO* برای حل مدل استفاده کرده‌اند. فخرزاد و گودرزیان [۳۶] یک رویکرد برنامه‌ریزی چندهدفه فازی را برای مسئله طراحی شبکه زنجیره‌تأمین حلقه بسته سبز تحت عدم قطعیت ارائه داده‌اند. همچنین، یک الگوریتم فراابتکاری جدید رقابت استعماری اصلاح شده *MICA* توسعه داده‌اند. گودرزیان و حسینی نسب [۳۷] یک مدل جدید چندهدفه فازی را برای مسئله طراحی شبکه توزیع و تولید با استفاده از الگوریتم تکاملی خودتطبیقی توسعه داده‌اند. همچنین، اهدافشان شامل کمینه‌سازی کل هزینه‌ها و بیشینه‌سازی نرخ قابلیت اطمینان می‌باشد. فخرزاد و همکاران [۳۸] یک مسئله برنامه‌ریزی زنجیره‌تأمین حلقه بسته سبز با قابلیت اطمینان حمل‌ونقل، توزیع و تولید برای کمینه‌سازی هزینه کل و انتشار گاز *CO2* از وسایل حمل‌ونقل و بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان سیستم حمل‌ونقل، مراکز تولیدکننده و توزیع و سطوح خدمات ارائه داده‌اند. مدل ریاضی مسئله به صورت برنامه‌ریزی عددصحيح خطی مختلط چندهدفه فرموله شده است. برای حل مدل، از الگوریتم *NSGA-II* استفاده کرده‌اند.

ساختار این مطالعه در ادامه به این گونه است که در بخش سوم به تشریح مسأله، مفروضات و مدل ریاضی فازی چندهدفه ارائه شده، پرداخته شده است. نحوه تبدیل آن به مدل ریاضی قطعی و چگونگی بکارگیری روش *TH* جهت حل مدل چندهدفه در بخش چهارم توضیح داده شده است و در بخش پنجم عملکرد مدل ریاضی و روش حل ارائه شده در قالب مثال‌های عددی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در نهایت نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی در بخش ششم ارائه می‌گردند.

### ۳- تشریح مسأله و مدل ریاضی

شبکه زنجیره تأمین بحث شده در این مقاله یک شبکه لجستیک چندمحصولی، چندسطحی و چنددوره‌ای تحت شرایط عدم قطعیت است که شامل چندین تأمین‌کننده، کارخانه‌های تولید/بازتولید، مراکز توزیع/جمع‌آوری، مراکز مشتری و انهدام می‌باشد به‌طوری‌که قابلیت حمایت از انواع صنایع در شبکه‌های لجستیک معکوس که در آن‌ها احیا و بازیافت محصولاتی که در پایان عمر قرار دارند، انجام می‌گیرد. همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده است، در جریان روبه‌جلو، کارخانجات قطعات و یا مواد اولیه مورد نیاز را از طریق تأمین‌کنندگان تهیه نموده و سپس محصولات خود را تولید کرده و آن‌ها را از طریق مراکز توزیع به مراکز مشتریان ارسال می‌کنند. در مسیر روبه‌عقب محصولات استفاده شده که به هر دلیلی برگشت داده شده‌اند به مراکز

در نظر گرفته‌اند. امین و ژانگ [۵] یک شبکه زنجیره‌تأمین حلقه-بسته شامل کارخانه‌ها، مراکز جمع‌آوری، بازارهای تقاضا و محصولات متعدد را مورد بررسی قرار داده‌اند. به‌منظور دستیابی به این هدف، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عددصحيح مختلط پیشنهاد شده است که کل هزینه را به حداقل می‌رساند. علاوه‌براین، آن‌ها تأثیر تقاضا و عدم قطعیت محصولات برگشتی بر پیکربندی شبکه را توسط برنامه‌نویسی احتمالی (مبتنی بر سناریو) مورد بررسی قرار داده‌اند. همچنین امین با همکارش [۲۱] یک شبکه زنجیره‌تأمین حلقه-بسته را که شامل مکان‌های تولیدکننده، جداسازی قطعات، نوسازی و دفع می‌باشد را ارائه نموده‌اند که یک مدل فازی یکپارچه برای پیکربندی شبکه زنجیره‌تأمین حلقه-بسته و انتخاب بهترین تأمین‌کننده پیشنهاد داده شده است. پیشوایی و رزمی [۲۲] یک مدل چندهدفه برنامه‌ریزی ریاضی فازی برای طراحی یک زنجیره‌تأمین زیست‌محیطی تحت عدم قطعیت ذاتی از داده‌های ورودی پیشنهاد نموده‌اند. یک روش مبتنی بر ارزیابی چرخه عمر به‌منظور ارزیابی و تعیین کمیت اثرات زیست‌محیطی از گزینه‌های مختلف برای پیکربندی شبکه زنجیره‌تأمین اعمال شده است. همچنین، برای حل مدل، بهینه‌سازی چندهدفه فازی ارائه گردیده، و یک رویکرد راه‌حل فازی تعاملی نیز توسعه داده شد. وحدانی و همکاران [۲۳] در مقاله خود با ارائه یک رویکرد سیستماتیک یک شبکه قابل اطمینان از تسهیلات در زنجیره‌تأمین حلقه-بسته را تحت شرایط عدم قطعیت طراحی نموده‌اند. مدل آن‌ها با به‌کارگیری یک رویکرد قابل اطمینان کارا، طراحی شبکه موردنظر را به‌طور پایدار انجام می‌دهد. شبکه ارائه‌شده توسط آن‌ها یک شبکه چند سطحی، چند تسهیلاتی، چند محصولی و چند تأمین‌کننده‌ای است. جهت حل مدل پیشنهادی، یک روش ترکیبی متقابل جدید توسعه داده شده است. این روش، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عددصحيح مختلط دو هدفه فازی می‌باشد. جهت نزدیک شدن نتایج به دنیای واقعی یک مطالعه موردی در کارخانه آهن و استیل در نظر گرفته شده است. در نهایت نتایج حل مدل جهت نشان دادن کاربردی بودن و صحت مدل پیشنهادی ارائه شده است. آل سید و همکاران [۲۴] یک مدل چندسطحی، چنددوره‌ای را برای یکپارچه‌سازی شبکه روبه‌جلو و معکوس توسعه داده‌اند به‌طوری‌که تقاضا و نرخ برگشت محصولات در آن به‌صورت غیر قطعی می‌باشند. آن‌ها از برنامه‌ریزی عدد صحيح تصادفی برای مواجهه با عدم قطعیت در تقاضا و نرخ برگشت استفاده نموده‌اند. تابع هدف در این مدل بیشینه‌کردن سود در نظر گرفته شده است. رضانی و همکاران [۲] یک رویکرد مالی برای مدل‌سازی طراحی زنجیره‌تأمین حلقه-بسته با جنبه‌های مالی به‌عنوان متغیرهای بیرونی ارائه نموده‌اند. سهم اصلی از این مقاله ترکیب جنبه‌های مالی (دارایی‌های جاری، ثابت و بدهی‌ها) و مجموعه‌ای از محدودیت‌های بودجه مانند مانده وجه نقد، بدهی اوراق بهادار، تأخیر در پرداخت و تخفیف در برنامه‌ریزی زنجیره‌تأمین می‌باشد. رضانی و همکاران [۲۵] یک مدل احتمالی چندهدفه را تحت شرایط عدم قطعیت با سه سطح در جهت مستقیم (تأمین‌کنندگان، مراکز تولید و توزیع) و دو سطح در جهت معکوس (جمع‌آوری و انهدام)

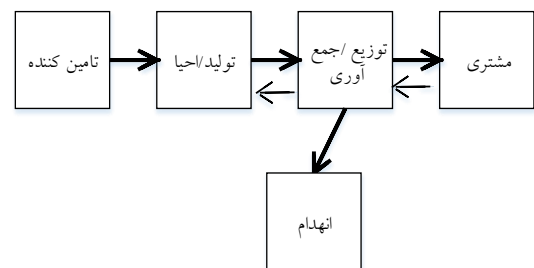
- اندیس‌ها**
- $I$ : مجموعه مکان‌های ثابت تامین‌کنندگان ( $i = 1, 2, \dots, I$ )
- $J$ : مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز تولید/احیا ( $j = 1, 2, \dots, J$ )
- $K$ : مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز توزیع/جمع‌آوری ( $k = 1, 2, \dots, K$ )
- $C$ : مجموعه مکان‌های ثابت مشتریان ( $c = 1, 2, \dots, C$ )
- $F$ : مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز انهدام ( $f = 1, 2, \dots, F$ )
- $R$ : مجموعه محصولات تولیدی ( $r = 1, 2, \dots, R$ )
- $T$ : دوره زمانی ( $t = 1, 2, \dots, T$ )
- $L$ : سیستم حمل و نقل ( $l = 1, 2, \dots, L$ )

**پارامترها**

- $r\tilde{p}_{it}$ : قیمت ماده‌اولیه تامین‌شده توسط تامین‌کننده  $i$  در دوره زمانی  $t$
- $dem_{ret}$ : تقاضای مشتری  $C$  برای محصول  $r$  در دوره زمانی  $t$
- $\tilde{f}_{jt}$ : هزینه ثابت احداث مرکز تولید/احیا  $j$  در دوره  $t$
- $\tilde{f}k_{kt}$ : هزینه ثابت احداث مرکز توزیع/جمع‌آوری  $k$  در دوره  $t$
- $\tilde{f}f_{ft}$ : هزینه ثابت احداث مرکز انهدام  $f$  در دوره  $t$
- $p\tilde{c}_{rjt}$ : هزینه تولید محصول  $r$  در مرکز تولید  $j$  در دوره  $t$
- $p\tilde{c}_{rit}$ : هزینه تامین مواداولیه توسط تامین‌کننده  $i$  در دوره  $t$
- $d\tilde{c}_{rft}$ : هزینه انهدام محصول  $r$  در مرکز انهدام  $f$  در دوره  $t$
- $h\tilde{c}_{rkt}$ : هزینه نگهداری محصول  $r$  در مرکز توزیع  $k$  در دوره  $t$
- $sh\tilde{c}_{ret}$ : هزینه کمبود یک واحد از محصول  $r$  برای مشتری  $C$  در دوره  $t$
- $ft\tilde{s}_{ijt}^l$ : هزینه ثابت ارسال سیستم حمل و نقل  $l$  از تامین‌کننده  $i$  به مرکز تولید  $j$  در دوره  $t$
- $vt\tilde{s}_{ijt}^l$ : هزینه حمل و نقل ماده‌اولیه  $l$  از تامین‌کننده  $i$  به مرکز تولید  $j$  با سیستم حمل و نقل  $l$  در دوره  $t$
- $ft\tilde{p}_{jkt}^l$ : هزینه ثابت ارسال سیستم حمل و نقل  $l$  از مرکز تولید  $j$  به مرکز توزیع  $k$  در دوره  $t$
- $vt\tilde{p}_{rjkt}^l$ : هزینه حمل و نقل محصول  $r$  از مرکز تولید  $j$  به مرکز توزیع  $k$  با سیستم حمل و نقل  $l$  در دوره  $t$
- $ft\tilde{d}_{kct}^l$ : هزینه ثابت ارسال سیستم حمل و نقل  $l$  از مرکز توزیع  $k$  به مشتری  $C$  در دوره  $t$

جمع آوری آورده شده و بعد از عملیات جداسازی و بازیابی به دو گروه قطعات قابل احیا و محصولات قراضه تقسیم می‌شوند. قطعات سالم، قابل استفاده و قابل تعمیر برای تولید مجدد به مراکز تولید ارسال می‌شوند و قطعات غیرقابل استفاده نیز به مراکز دفع فرستاده می‌شوند. در مدل ارائه شده هزینه‌های حمل و نقل، عملیات تولید و بازتولید، ضرایب پخش  $CO_2$ ، نرخ بازگشت، انهدام و احیا محصولات، ظرفیت تسهیلات، زمان پردازش و راه‌اندازی و شاخص قابلیت اطمینان تامین‌کننده به دلیل ذات عدم قطعیت در دنیای واقعی به صورت فازی در نظر گرفته شده‌اند. پارامترهای فازی با علامت " ~ " روی آن‌ها مشخص شده است.

هدف این مدل بیشینه‌کردن قابلیت اطمینان تامین‌کننده، کمینه‌کردن گازهای خروجی و کمینه‌کردن هزینه‌های طراحی شبکه زنجیره‌تأمین شامل هزینه‌های ثابت راه‌اندازی برای هر تسهیل، هزینه حمل و نقل و هزینه‌های عملیاتی برای دستیابی به بهترین ساختار برای شبکه زنجیره‌تأمین حلقه-بسته با تعیین مکان و تعداد تسهیلات در هر لایه و مقدار جریان محصولات/قطعات بین تسهیلات هر لایه می‌باشد. این شبکه قابلیت حمایت از انواع صنایع مانند خودروسازی، آهن و استیل، پلاستیک‌سازی، کاغذسازی تجهیزات الکترونیکی و دیجیتالی (مانند رایانه، دوربین، تلفن همراه و ...) و سایر صنایع مشابه را دارد.



شکل (۱): ساختار شبکه زنجیره‌تأمین حلقه-بسته سبز  
 ← جریان رو به جلو  
 - - - - - جریان رو به عقب

**۳-۱- مفروضات مساله**

- مدل ارائه‌شده یک مدل چندسطحی، چندمحصولی و چنددوره‌ای است.
- مکان تامین‌کنندگان و مشتریان معلوم و ثابت می‌باشد.
- تعداد تسهیلاتی که می‌توانند باز شوند و ظرفیت مربوط به آن‌ها محدود است.
- عدم قطعیت برای تمام پارامترهای مدل در نظر گرفته شده است.
- مقدار گاز  $CO_2$  منتشرشده ناشی از حمل و نقل با ماشین‌آلات غیرقطعی در نظر گرفته شده است.
- همه محصولات برگشتی از مشتریان باید جمع‌آوری شود.
- برای قابلیت اطمینان از تامین مواداولیه در شبکه، شاخص قابلیت اطمینان برای هر یک از تامین‌کنندگان تعریف شده است. در ادامه پارامترها، متغیرهای تصمیم، توابع هدف و محدودیت‌ها ذکر شده است.

میزان گاز $CO_2$ منتشر شده به ازای حمل هر واحد از محصول برگشتی $r$ از مرکز مشتری $C$ به مرکز جمع‌آوری $k$ در دوره $t$	$\tilde{\theta}_4$	هزینه حمل و نقل محصول بازگشتی $r$ از مشتری $C$ به مرکز جمع‌آوری $k$ با سیستم حمل و نقل $l$ در دوره $t$	$v\tilde{t}c_{rckt}^l$
میزان گاز $CO_2$ منتشر شده به ازای حمل هر واحد محصول برگشتی $r$ از مرکز جمع‌آوری $k$ به مرکز انهدام $f$ در دوره $t$	$\tilde{\theta}_5$	هزینه ثابت ارسال سیستم حمل و نقل $l$ از مرکز جمع‌آوری $k$ به مرکز احیا $j$ در دوره $t$	$ft\tilde{r}_{kjt}^l$
میزان گاز $CO_2$ منتشر شده به ازای حمل هر واحد محصول $r$ از مرکز جمع‌آوری $k$ به مرکز احیا $j$ در دوره $t$	$\tilde{\theta}_6$	هزینه حمل و نقل محصول قابل بازتولید $r$ از مرکز جمع‌آوری $k$ به مرکز احیا $j$ با سیستم حمل و نقل $l$ در دوره $t$	$v\tilde{t}r_{rckt}^l$
زمان راه‌اندازی مورد نیاز برای تولید محصول $r$ در مرکز تولید $j$ در دوره $t$	$s\tilde{t}_{rjt}$	هزینه ثابت ارسال سیستم حمل و نقل $l$ از مرکز جمع‌آوری $k$ به مرکز انهدام $f$ در دوره $t$	$ft\tilde{f}_{kft}^l$
زمان پردازش محصول $r$ در مرکز تولید/احیا $j$ در دوره $t$	$p\tilde{t}_{rjt}$	هزینه ثابت ارسال سیستم حمل و نقل $l$ از مشتری $C$ به مرکز توزیع $k$ در دوره $t$	$\tilde{f}t c_{ckt}^l$
حداکثر زمان در دسترس در مرکز تولید/احیا $j$ در دوره $t$	$\max \tilde{f}_{jt}$	هزینه حمل و نقل محصول قراضه $r$ از مرکز جمع‌آوری $k$ به مرکز انهدام $f$ با سیستم حمل و نقل $l$ در دوره $t$	$v\tilde{t}f_{rkft}^l$
شاخص قابلیت اطمینان تأمین‌کننده $i$ در تحویل محصول در دوره $t$	$R\tilde{I}_{it}$	هزینه حمل و نقل محصول $r$ از مرکز جمع‌آوری $k$ به مشتری در دوره $t$	$vtd_{rckt}^l$
عدد مثبت و بزرگ	$bigm$	حجم هر واحد از محصول $r$	$\tilde{v}_r$
	<b>متغیرها</b>	حجم مواد اولیه	$v\tilde{r}$
مقدار محصول $r$ تولیدشده در مرکز تولید $j$ در دوره $t$ ام	$SP_{rjt}$	ظرفیت انبار مرکز تولید $j$ در دوره $t$	$cap\tilde{p}_{jt}$
مقدار محصول $r$ تولیدشده در مرکز احیا $j$ در دوره $t$ ام	$SR_{rjt}$	ظرفیت انبار مرکز احیا $j$ در دوره $t$	$cap\tilde{r}_{jt}$
مقدار ماده اولیه حمل‌شده با سیستم حمل و نقل $l$ از تأمین‌کننده $i$ به مرکز تولید $j$ در دوره $t$	$TRS_{ijt}^l$	ظرفیت انبار تأمین‌کننده $i$ در دوره $t$	$cap\tilde{I}_{it}$
مقدار محصول $r$ حمل‌شده با سیستم حمل و نقل $l$ از مرکز تولید $j$ به مرکز توزیع $k$ در دوره $t$	$TPP_{rjkt}^l$	ظرفیت انبار مرکز توزیع $k$ در دوره $t$	$cap\tilde{d}_{kt}$
مقدار محصول $r$ حمل‌شده با سیستم حمل و نقل $l$ از مرکز توزیع $k$ به مرکز مشتری $C$ در دوره $t$	$TPD_{rkct}^l$	ظرفیت انبار مرکز جمع‌آوری $k$ در دوره $t$	$cap\tilde{d}_{rkt}$
مقدار محصول $r$ حمل‌شده با سیستم حمل و نقل $l$ از مرکز مشتری $C$ به مرکز جمع‌آوری $k$ در دوره $t$	$TPC_{rckt}^l$	ظرفیت مرکز انهدام $f$ در دوره $t$	$cap\tilde{f}_{ft}$
مقدار محصول $r$ حمل‌شده با سیستم حمل و نقل $l$ از مرکز جمع‌آوری $k$ به مرکز احیا $j$ در دوره $t$	$TPr_{rkjt}^l$	ظرفیت بالقوه هریک از وسایل حمل و نقل نوع $l$ در دوره $t$	$cap\tilde{l}_{lt}$
مقدار محصول $r$ حمل‌شده با سیستم حمل و نقل $l$ از مرکز جمع‌آوری $k$ به مرکز انهدام $f$ در دوره $t$	$TPf_{rkft}^l$	نرخ استفاده از ماده اولیه برای تولید محصول $r$ در دوره $t$	$ur_{rt}$
موجودی محصول $r$ در مرکز توزیع $k$ در پایان دوره $t$	$ID_{rkt}$	نرخ بازگشت محصول $r$ ام	$R\tilde{T}_r$
		نرخ احیا محصول $r$ ام	$R\tilde{R}_r$
		نرخ انهدام محصول $r$ ام	$R\tilde{F}_r$
		میزان گاز $CO_2$ منتشر شده به ازای حمل هر واحد ماده اولیه از مرکز تأمین‌کننده $i$ به مرکز تولید $j$ در دوره $t$	$\tilde{\theta}_1$
		میزان گاز $CO_2$ منتشر شده به ازای حمل هر واحد محصول $r$ از مرکز تولید $j$ به مرکز توزیع $k$ در دوره $t$	$\tilde{\theta}_2$
		میزان گاز $CO_2$ منتشر شده به ازای حمل هر واحد محصول $r$ از مرکز توزیع $k$ به مرکز مشتری $C$ در دوره $t$	$\tilde{\theta}_3$

$$\begin{aligned}
 \text{Min } z_1 = & \sum_r \sum_j \sum_t (p\tilde{c}_{rjt} \cdot SR_{rjt}) + \\
 & \sum_l \sum_i \sum_j \sum_t (\tilde{r}p_{it}^l \cdot TRS_{ijt}^l) + \\
 & \sum_r \sum_j \sum_t (p\tilde{c}_{rjt} \cdot SP_{rjt}) + \\
 & \sum_l \sum_i \sum_j \sum_t (ft\tilde{s}_{ijt}^l \cdot NS_{ijt}^l) + \\
 & \sum_l \sum_i \sum_j \sum_t (vt\tilde{s}_{ijt}^l \cdot TRS_{ijt}^l) + \\
 & \sum_l \sum_j \sum_k \sum_t (ft\tilde{p}_{jkt}^l \cdot NP_{jkt}^l) + \\
 & \sum_l \sum_r \sum_j \sum_k \sum_t (v\tilde{p}_{rjkt}^l \cdot TPP_{rjkt}^l) + \\
 & \sum_l \sum_k \sum_c \sum_t (ft\tilde{d}_{kct}^l \cdot ND_{kct}^l) + \\
 & \sum_l \sum_r \sum_k \sum_c \sum_t (vt\tilde{d}_{rkct}^l \cdot TPD_{rkct}^l) + \\
 & \sum_r \sum_k \sum_t (h\tilde{c}_{rk} \cdot ID_{rkt}) + \\
 & \sum_r \sum_c \sum_t (sh\tilde{c}_{rc} \cdot SH_{rct}) + \\
 & \sum_l \sum_c \sum_k \sum_t (ft\tilde{c}_{ckt}^l \cdot NC_{ckt}^l) + \\
 & \sum_l \sum_r \sum_k \sum_c \sum_t (vt\tilde{c}_{rkct}^l \cdot TPC_{rkct}^l) + \\
 & \sum_l \sum_i \sum_k \sum_t (ft\tilde{r}_{kjt}^l \cdot NN_{kjt}^l) + \\
 & \sum_l \sum_r \sum_k \sum_j \sum_t (v\tilde{r}_{rkjt}^l \cdot TPt_{rkjt}^l) + \\
 & \sum_l \sum_f \sum_k \sum_t (ft\tilde{f}_{kft}^l \cdot NRK_{kft}^l) + \\
 & \sum_l \sum_r \sum_k \sum_f \sum_t (vt\tilde{f}_{rkft}^l \cdot TPf_{rkft}^l) + \\
 & \sum_l \sum_r \sum_k \sum_f \sum_t (d\tilde{c}_{rft} \cdot TPf_{rkft}^l) + \\
 & \sum_j \sum_t (X_{jt} \cdot \tilde{f}_{jt}) + \sum_k \sum_t (U_{kt} \cdot fk_{kt}) + \\
 & \sum_k \sum_t (Z_{ft} \cdot \tilde{ff}_{ft})
 \end{aligned}$$

(۱)

$SH_{rct}$ : مقدار تقاضای برآورده نشده محصول  $r$  برای مشتری  $C$  در پایان دوره  $t$   
 $NS_{ijt}^l$ : تعداد مسافرت‌های سیستم حمل‌ونقل  $l$  از تامین‌کننده  $i$  به مرکز تولید  $j$  در دوره  $t$   
 $NP_{jkt}^l$ : تعداد مسافرت‌های سیستم حمل‌ونقل  $l$  از مرکز تولید  $j$  به مرکز توزیع  $k$  در دوره  $t$   
 $ND_{kct}^l$ : تعداد مسافرت‌های سیستم حمل‌ونقل  $l$  از مرکز توزیع  $k$  به مرکز مشتری  $C$  در دوره  $t$   
 $NC_{ckt}^l$ : تعداد مسافرت‌های سیستم حمل‌ونقل  $l$  از مرکز مشتری  $C$  به مرکز جمع‌آوری  $k$  در دوره  $t$   
 $NN_{kjt}^l$ : تعداد مسافرت‌های سیستم حمل‌ونقل  $l$  از مرکز جمع‌آوری  $k$  به مرکز احیا  $j$  در دوره  $t$   
 $NRK_{kft}^l$ : تعداد مسافرت‌های سیستم حمل‌ونقل  $l$  از مرکز جمع‌آوری  $k$  به مرکز انهدام  $f$  در دوره  $t$   
 $X_{jt}$ : اگر مرکز تولید/احیا  $j$  در دوره  $t$  احداث شود ۱ در غیر این صورت ۰.  
 $U_{kt}$ : اگر مرکز توزیع/جمع‌آوری  $k$  در دوره  $t$  احداث شود ۱ در غیر این صورت ۰.  
 $Z_{ft}$ : اگر مرکز انهدام  $f$  در دوره  $t$  احداث شود ۱ در غیر این صورت ۰.

### ۳-۲- مدل پیشنهادی

مدل و محدودیت‌های مساله به صورت برنامه‌ریزی خطی عددصحیح مختلط چندهدفه زیر می‌باشد.

$$(\tilde{v}_r . TRS_{ijt}^l) \leq (cap\tilde{l} . NS_{ijt}^l) \quad \forall l, j, i, t \quad (13)$$

$$\sum_{\forall r} (\tilde{v}_r . TPP_{rjkt}^l) \leq (c\tilde{a}pl_l . NP_{jkt}^l) \quad (14)$$

$$\forall l, j, k, t$$

$$\sum_{\forall r} (\tilde{v}_r . TPD_{rkct}^l) \leq (c\tilde{a}pl_l . ND_{kct}^l) \quad (15)$$

$$\forall l, k, c, t$$

$$\sum_{\forall r} (\tilde{v}_r . TPC_{ckjt}^l) \leq (c\tilde{a}pl_l . NC_{ckt}^l) \quad (16)$$

$$\forall l, c, k, t$$

$$\sum_{\forall r} (\tilde{v}_r . TPr_{rkjt}^l) \leq (c\tilde{a}pl_l . NN_{kjt}^l) \quad (17)$$

$$\forall l, k, j, t$$

$$\sum_{\forall r} (\tilde{v}_r . TPf_{rkft}^l) \leq (c\tilde{a}pl_l . NRK_{kft}^l) \quad (18)$$

$$\forall l, k, f, t$$

$$\sum_{\forall l} \sum_{\forall j} TRS_{ijt}^l \leq cap\tilde{l}_i \quad \forall i, t \quad (19)$$

$$\sum_{\forall l} TRf_{rkft}^l \leq (cap\tilde{f}_f . Z_{ft}) \quad \forall r, f, t \quad (20)$$

$$\sum_{\forall l} \sum_{\forall k} TPP_{rjkt}^l \leq (cap\tilde{p}_j . X_{rjt}) \quad \forall r, j, t \quad (21)$$

$$\sum_{\forall l} \sum_{\forall j} TPP_{rjkt}^l \leq (cap\tilde{d}_k . U_{ft}) \quad \forall r, k, t \quad (22)$$

$$\sum_{\forall l} \sum_{\forall c} TPD_{rkct}^l \leq (cap\tilde{d}_k . U_{ft}) \quad \forall r, k, t \quad (23)$$

$$\sum_{\forall l} \sum_{\forall i} TPr_{rkjt}^l + \sum_{\forall l} \sum_{\forall f} TPf_{rkft}^l \leq (cap\tilde{d}_k . U_{ft}) \quad \forall r, k, t \quad (24)$$

$$\sum_{\forall l} \sum_{\forall c} TPC_{ckjt}^l \leq (cap\tilde{d}_k . U_{ft}) \quad \forall r, k, t \quad (25)$$

$$\sum_{\forall l} \sum_{\forall k} TPr_{rkjt}^l \leq (cap\tilde{r}_j . X_{rjt}) \quad \forall r, j, t \quad (26)$$

$$SR_{it}, SP_{rjt}, ID_{rkt}, TPf_{rkft}^l, TRS_{ijt}^l, TPC_{ckjt}^l, TPD_{rkct}^l, SH_{rct}, TPP_{rjkt}^l \geq 0 \quad (27)$$

$$NS_{ijt}^l, NP_{jkt}^l, ND_{kct}^l, NC_{ckt}^l, NN_{kjt}^l, NRK_{kft}^l, X_{rjt}, U_{ft}, Z_{ft} \in \{0, 1\}$$

تابع هدف (۱) هزینه‌های عملیاتی و تولید (هزینه تولید هر محصول، هزینه توزیع هر محصول، هزینه جمع‌آوری هر محصول، هزینه تولید مجدد، انهدام هر محصول، هزینه‌های نگهداری و کمبود موجودی در مراکز مشتریان و ... و هزینه‌های جابجایی و حمل و نقل محصولات را به حداقل می‌رساند. تابع هدف (۲) انتشار گازهای خروجی حاصل از جابجایی وسیله نقلیه در بین مراکز را کمینه می‌کند و تابع هدف (۳) شامل حداکثرسازی قابلیت اطمینان تحویل تقاضا با توجه به

$$Min z_2 = \sum_{\forall l} \sum_{\forall i} \sum_{\forall j} \sum_{\forall t} (\tilde{\theta}_1 . TRS_{ijt}^l) + \sum_{\forall l} \sum_{\forall r} \sum_{\forall j} \sum_{\forall k} \sum_{\forall t} (\tilde{\theta}_2 . TPP_{rjkt}^l) + \sum_{\forall l} \sum_{\forall r} \sum_{\forall k} \sum_{\forall c} \sum_{\forall t} (\tilde{\theta}_3 . TPD_{rkct}^l) + \sum_{\forall l} \sum_{\forall r} \sum_{\forall c} \sum_{\forall k} \sum_{\forall t} (\tilde{\theta}_4 . TPC_{ckjt}^l) + \sum_{\forall l} \sum_{\forall r} \sum_{\forall k} \sum_{\forall j} \sum_{\forall t} (\tilde{\theta}_5 . TPr_{rkjt}^l) + \sum_{\forall l} \sum_{\forall r} \sum_{\forall k} \sum_{\forall f} \sum_{\forall t} (\tilde{\theta}_6 . TPf_{rkft}^l) \quad (2)$$

$$Max z_3 = \sum_{\forall l} \sum_{\forall r} \sum_{\forall t} \frac{\sum_{\forall i} (R\tilde{I}_{it} . TRS_{ijt}^l)}{\sum_{\forall c} \frac{ur_{rt}}{de\tilde{m}_{rct}}} \quad (3)$$

s.t.

$$\sum_{\forall l} \sum_{\forall j} TRS_{ijt}^l = SR_{it} \quad \forall i, t \quad (4)$$

$$\sum_{\forall l} \sum_{\forall k} TPP_{rjkt}^l = SP_{rjt} \quad \forall r, j, t \quad (5)$$

$$\sum_{\forall l} \sum_{\forall r} \sum_{\forall k} (TPP_{rjkt}^l . ur_{rt}) = \sum_{\forall l} \sum_{\forall i} TRS_{ijt}^l + \sum_{\forall l} \sum_{\forall r} \sum_{\forall k} (TPr_{rkjt}^l . ur_{rt}) \quad \forall j, t \quad (6)$$

$$SH_{rct} - SH_{rc(t-1)} + \sum_{\forall l} \sum_{\forall k} (TPD_{rkct}^l) = de\tilde{m}_{rct} \quad \forall r, c, t \quad (7)$$

$$\sum_{\forall l} \sum_{\forall k} TPC_{ckjt}^l = (de\tilde{m}_{rc(t-1)} - SH_{rc(t-1)}) \times R\tilde{I} \quad \forall r, c, t \quad (8)$$

$$\sum_{\forall l} \sum_{\forall j} TPr_{rkjt}^l = \left( R\tilde{R} . \sum_{\forall l} \sum_{\forall c} TPC_{ckjt}^l \right) \quad \forall r, k, t \quad (9)$$

$$\sum_{\forall l} \sum_{\forall f} TPf_{rkft}^l = \left( (1 - R\tilde{R}) . \sum_{\forall l} \sum_{\forall c} TPC_{ckjt}^l \right) \quad \forall r, k, t \quad (10)$$

$$\sum_{\forall l} \sum_{\forall j} TPP_{rjkt}^l - ID_{rkt} + ID_{rk(t-1)} = \sum_{\forall l} \sum_{\forall j} TPD_{rkct}^l \quad \forall r, k, t \quad (11)$$

$$\sum_{\forall r} (ID_{rkt} . \tilde{v}_r) \leq cap\tilde{d}_k \quad \forall k, t \quad (12)$$



$$EI(\tilde{c}) = [E_1^c, E_1^c] = \left[ \int_0^1 f_c^{-1}(x) d_x, \int_0^1 g_c^{-1}(x) d_x, \right] = \left[ \int_0^1 (x(c^m - c^p) + c^p) d_x, \int_0^1 (x(c^o - c^m) + c^o) d_x, \right] = \left[ \frac{1}{2}(c^p + c^m), \frac{1}{2}(c^m + c^o) \right] \quad (29)$$

$$EV(\tilde{c}) = \frac{E_1^c + E_1^c}{2} = \frac{c^p + 2c^m + c^o}{4} \quad (30)$$

بر اساس روش خیمینز روابط زیر برای محدودیت  $(\tilde{a}_i X \geq \tilde{b}_i, i=1, 2, \dots, I)$  در نظر گرفته می‌شود.

$$\left( \alpha \frac{a_i^o + a_i^m}{2} + (1-\alpha) \cdot \frac{a_i^p + a_i^m}{2} \right) X \geq \left( \alpha \frac{b_i^o + b_i^m}{2} + (1-\alpha) \cdot \frac{b_i^p + b_i^m}{2} \right) \quad (31)$$

برای محدودیت‌های مساوی  $\tilde{a}_i X = \tilde{b}_i, i=1, 2, \dots, I$  محدودیت قطعی معادل تبدیل به صورت رابطه‌های (۳۲) و (۳۳) نمایش داده می‌شود:

$$\left( \frac{\alpha}{2} \frac{a_i^o + a_i^m}{2} + \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \cdot \frac{a_i^p + a_i^m}{2} \right) X \geq \left( \frac{\alpha}{2} \frac{b_i^o + b_i^m}{2} + \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \cdot \frac{b_i^p + b_i^m}{2} \right) \quad (32)$$

$$\left( \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \cdot \frac{a_i^o + a_i^m}{2} + \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{a_i^p + a_i^m}{2} \right) X \geq \left( \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \cdot \frac{b_i^o + b_i^m}{2} + \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{b_i^p + b_i^m}{2} \right) \quad (33)$$

پس از دفازی کردن به کمک رابطه (۳۰)، تابع عضویت برای تابع هدف مینیمم‌سازی با استفاده از روش ترابی-هسینی از رابطه (۳۴) به دست می‌آید.

قابلیت اطمینان تعریف شده برای تامین‌کنندگان می‌باشد. محدودیت (۴) مشخص می‌کند که تمام مواد خام تولید شده توسط هر تامین‌کننده باید به کارخانه‌ها در همان دوره زمانی منتقل شود. محدودیت (۵) مشخص می‌کند که تمام محصولات تولید شده در هر کارخانه باید به مراکز توزیع در همان دوره زمانی منتقل شود. محدودیت (۶) نشان می‌دهد که برای هر ماده اولیه در هر دوره، جریان خروجی از هر کارخانه با مجموع جریان ورودی به این مرکز از همه تامین‌کنندگان و مراکز جمع‌آوری برابر است. محدودیت (۷) نشان دهنده معادله تعادل کمبود در دوره گذشته است. معادله (۸) تا (۱۰) میزان جریان محصولات برگشتی، بازتولید و انهدام را نشان می‌دهد. معادله (۱۱) تعادل موجودی در مراکز توزیع را نشان می‌دهد. محدودیت (۱۲) موجودی باقی مانده در مرکز توزیع در پایان هر دوره، را کنترل می‌کند. محدودیت (۱۳) تا (۱۸) ظرفیت سیستم حمل و نقل در نظر گرفته شده را تضمین می‌کند. محدودیت (۱۹) تضمین می‌کند که برای هر ماده اولیه، مجموع جریان‌های خروجی از هر تامین‌کننده به تمامی مراکز تولید، از ظرفیت تامین‌کننده تجاوز نمی‌کند. محدودیت (۲۰) تا (۲۶) تضمین می‌کند که جریان تنها بین نقاطی در جریان باشد که در آن‌ها تسهیلی احداث و یا انتخاب شده باشد و همچنین مجموع جریان در هر تسهیل از ظرفیت آن تجاوز نکند. محدودیت (۲۷) وضعیت متغیرهای تصمیم‌گیری را تعریف می‌کند.

#### ۴- روش حل

مدل ریاضی معرفی شده در این مقاله از نوع برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط می‌باشند. از آنجا که در دنیای واقعی عدم قطعیت یک عامل اجتناب‌ناپذیر است اکثر پارامترهای مورد استفاده به دلیل ماهیت غیرقطعی‌شان به صورت اعداد فازی مثلثی در نظر گرفته شده‌اند. در حالت کلی، مساله برنامه‌ریزی فازی ابتدا باید به یک مساله معادل قطعی تبدیل شده و سپس با روش‌های استاندارد حل گردیده و جواب بهینه آن به دست می‌آید [۳۲]. در نتیجه، جواب نهایی مساله با توجه به ساختار فازی مساله به دست می‌آید. در ادامه برای حل مدل، از یک رویکرد دو مرحله‌ای استفاده شده است: در مرحله اول، مدل ارائه شده با پارامترهای فازی، توسط روش خیمینز و همکاران [۳۳] به یک مدل قطعی کمکی معادل، تبدیل می‌شود و در مرحله دوم، با استفاده از روش ترابی-حسینی [۳۴]، به حل مدل قطعی چندهدفه، که در مرحله اول به دست آمد، پرداخته می‌شود.

#### ۴-۱- روش خیمینز

خیمینز یک روش رتبه‌بندی برای اعداد فازی ارائه داد. در این روش قطعی کردن پارامترهای فازی توابع هدف، بر مبنای مفاهیم فاصله مورد انتظار و مقدار مورد انتظار برای اعداد فازی مثلثی  $\tilde{c} = (c^p, c^m, c^o)$  طبق روابط (۲۹) و (۳۰) محاسبه می‌شود.

بین مراکز و حداکثرسازی قابلیت اطمینان تحویل تقاضا با توجه به قابلیت اطمینان تعریف شده برای تامین کنندگان می‌باشد. برای حل از دو رویکرد دو مرحله‌ای قطعی استفاده شده است. برای نشان دادن کارایی مدل پیشنهادی یک مثال عددی در نظر گرفته شده است. همچنین برای بدست آوردن نتایج محاسباتی، مدل پیشنهادی را در نرم‌افزار گمز برنامه‌نویسی، و با استفاده از حل کننده CPLEX محاسبه شده است. و همچنین از روش TH برای حل مدل چندهدفه استفاده شده است. بنابراین، با در نظر گرفتن سطح  $\alpha$  در روش TH با افزایش این سطح تابع هدف اول و سوم کاهش و تابع هدف دوم افزایش یافته است. همچنین با افزایش سطح  $\alpha$  زمان محاسباتی هم روند صعودی داشته است.

به منظور تحقیقات بیشتر می‌توان ارائه روش‌های حل دقیق برای حل مسأله در ابعاد بزرگ را پیشنهاد داد. همچنین می‌توان مدل پیشنهادی در این مقاله با در نظر گرفتن چندین تصمیم‌گیرنده اصلی در شبکه حلقه-بسته سبز و استفاده از مفهوم بازی توسعه داد. همچنین می‌توان اهداف دیگری همچون قدرت سطح پاسخگویی، مینیمم زمان پاسخگویی و سطح کیفیت محصولات خروجی و غیره را در مدل لحاظ نمود.

همچنین برای برخورد با عدم قطعیت موجود در زنجیره می‌توان از برنامه‌ریزی استوار استفاده کرد تا مدل پیشنهادی در برابر عدم قطعیت از قدرت بیشتر و انعطاف‌پذیری بیشتری برخوردار باشد.

$$\mu_F = \begin{cases} 1 & \text{if } Z < Z^{\alpha-PIS} \\ \frac{Z^{\alpha-NIS} - Z}{Z^{\alpha-NIS} - Z^{\alpha-PIS}} & \text{if } Z^{\alpha-PIS} < Z < Z^{\alpha-NIS} \\ 0 & \text{if } Z > Z^{\alpha-NIS} \end{cases} \quad (34)$$

و برای تابع ماکزیمم‌سازی تابع عضویت تابع هدف با استفاده از رابطه (۳۵) به دست می‌آید.

$$\mu_F = \begin{cases} 1 & \text{if } Z > Z^{\alpha-PIS} \\ \frac{Z^{\alpha-NIS} - Z}{Z^{\alpha-PIS} - Z^{\alpha-NIS}} & \text{if } Z^{\alpha-NIS} \leq Z \leq Z^{\alpha-PIS} \\ 0 & \text{if } Z < Z^{\alpha-NIS} \end{cases} \quad (35)$$

که در آن جواب ایده‌آل مثبت ( $\alpha - PIS$ ) و جواب ایده‌آل ( $\alpha - NIS$ ) برای هر تابع هدف و در سطح امکان‌پذیری ( $\square$ ) می‌باشد. با توجه به مطالب گفته شده فرمول‌بندی مدل قطعی کمکی معادل مدل مسئله اصلی در بخش پیوست مقاله آورده شده است.

#### ۴-۲- نتایج محاسبات

جهت نشان دادن کارایی مدل پیشنهادی، مثالی عددی در این قسمت آورده می‌شود. برای مثال، سه تامین‌کننده، چهار مکان بالقوه برای مراکز تولید/ باز تولید، چهار مراکز توزیع/ جمع‌آوری، دو مراکز انهدام، سه نوع وسیله حمل و نقل، پنج مشتری در نظر گرفته شده است و همچنین در چهار دوره‌ی زمانی بررسی می‌شود. همچنین مدل در حالت چند محصولی و با در نظر گرفتن سه محصول حل گردیده است. پارامترهای مدل در جدول (۱) نشان داده شده است. برای بدست آوردن نتایج محاسباتی، مدل در نرم‌افزار GAMS برنامه‌نویسی، و با استفاده از حل کننده CPLEX محاسبه شده است. تمام محاسبات به کمک رایانه با پردازنده Core i3, 2.4 GHz با RAM 4.00 GB سیستم عامل Windows 7 (64 bit) انجام گرفته است. نتایج حاصل از این آزمایش‌ها و حل دقیق بدست آمده در جدول (۲) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش سطح  $\alpha$ ، تابع  $Z_1$  کاهش می‌یابد یعنی هزینه‌ها کاهش یافته‌اند. تابع  $Z_2$  افزایش را نشان می‌دهد یعنی با افزایش تولید، گازهای منتشر شده نیز افزایش یافته‌اند. تابع هدف سوم کاهش را نشان داده است یعنی با افزایش قابلیت اطمینان سیستم کاهش می‌یابد.

#### ۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط چندهدفه برای طراحی شبکه زنجیره‌تأمین حلقه-بسته سبز چندمحصولی، چنددوره‌ای، چندسطحی تحت عدم قطعیت در شبکه‌ای شامل مراکز تامین‌کننده، مراکز تولید/ احیا، مراکز توزیع/ جمع‌آوری، مراکز مشتریان و مراکز دفع مورد بررسی قرار گرفت. به‌طوریکه توابع هدف آن به ترتیب به دنبال کمینه‌سازی هزینه‌های شبکه زنجیره‌تأمین، کمینه‌سازی انتشار گازهای خروجی حاصل از جابجایی وسیله نقلیه در

جدول (۱): مقادیر پارامترها

$cap\tilde{d}r_k$	$\sim uniform(۴۰۰,۹۰۰)$	$ft\tilde{d}_{kct}^l$	$\sim uniform(۱۰,۳۵)$	$r\tilde{p}_{it}$	$\sim uniform(۵,۱۵)$
$cap\tilde{f}_f$	$\sim uniform(۳۰۰,۵۰۰)$	$\tilde{v}td_{rckt}^l$	$\sim uniform(۵,۱۰)$	$de\tilde{m}_{rct}$	$\sim uniform(۲۵۰,۸۰۰)$
$c\tilde{a}pl_l$	$\sim uniform(۶۰,۱۲۰)$	$ft\tilde{d}_{kct}^l$	$\sim uniform(۵,۲۰)$	$\tilde{f}_j$	$\sim uniform(۵۰۰,۸۵۰۰)$
$R\tilde{F}$	$\sim uniform(۰,۵۰,۳)$	$v\tilde{t}c_{rckt}^l$	$\sim uniform(۶,۱۲)$	$\tilde{f}k_{kt}$	$\sim uniform(۴۰۰,۸۵۰۰)$
$\tilde{\theta}_1$	$\sim uniform(۰,۰,۴۰,۱)$	$ft\tilde{r}_{kjt}^l$	$\sim uniform(۱۵,۳۰)$	$\tilde{f}f_{jt}$	$\sim uniform(۳۰۰,۷۰۰۰)$
$\tilde{\theta}_2$	$\sim uniform(۰,۰,۴۰,۱)$	$v\tilde{t}r_{rkjt}^l$	$\sim uniform(۵,۹)$	$p\tilde{c}_{rjt}$	$\sim uniform(۳,۱۰)$
$\tilde{\theta}_3$	$\sim uniform(۰,۰,۴۰,۱)$	$\tilde{f}f_{kjt}^l$	$\sim uniform(۱۰,۴۰)$	$p\tilde{c}r_{it}$	$\sim uniform(۲,۹)$
$\tilde{\theta}_4$	$\sim uniform(۰,۰,۴۰,۱)$	$v\tilde{t}f_{rkft}^l$	$\sim uniform(۲,۹)$	$d\tilde{c}_{rft}$	$\sim uniform(۵,۱۵)$
$\tilde{\theta}_5$	$\sim uniform(۰,۰,۴۰,۱)$	$\tilde{v}_r$	$\sim uniform(۰,۵,۱,۵)$	$h\tilde{c}_{rk}$	$\sim uniform(۵,۱۰)$
$\tilde{\theta}_6$	$\sim uniform(۰,۰,۴۰,۱)$	$v\tilde{r}$	$\sim uniform(۰,۵۰,۹)$	$sh\tilde{c}_{rc}$	$\sim uniform(۱,۵,۲,۵)$
$s\tilde{t}_{rj}$	$\sim uniform(۶,۲۰)$	$cap\tilde{p}_j$	$\sim uniform(۴۰۰,۹۰۰)$	$ft\tilde{s}_{ijt}^l$	$\sim uniform(۱۵,۲۵)$
$p\tilde{t}_{rj}$	$\sim uniform(۲,۵۰)$	$cap\tilde{r}_j$	$\sim uniform(۹۰۰,۱۵۰۰)$	$v\tilde{t}s_{ijt}^l$	$\sim uniform(۵,۱۰)$
$\max \tilde{f}_{jt}$	$\sim uniform(۱۵۰۰,۳۰۰۰)$	$cap\tilde{I}_i$	$\sim uniform(۳۰۰,۴۵۰۰)$	$ft\tilde{p}_{jkt}^l$	$\sim uniform(۱۰,۴۰)$
$R\tilde{I}_t$	$\sim uniform(۰,۴۰,۸)$	$cap\tilde{d}_k$	$\sim uniform(۴۰۰,۹۰۰)$	$v\tilde{t}p_{rjkt}^l$	$\sim uniform(۴,۹)$

جدول شماره (۲): نتایج محاسباتی برای  $\gamma=۰/۷$  و  $\theta_1=۰/۶$  و  $\theta_2=۰/۲$  و  $\theta_3=۰/۲$

روش TH							
$\alpha$ سطح	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$\mu(Z_1)$	$\mu(Z_2)$	$\mu(Z_3)$	CPU Time(s)
۶/۰	۳۵۷/۱۱۰۰۶۰۸	۳۳۱۲/۰۴۸	۱۳/۴۹۳	۰/۸۳۷	۰/۶۴۸	۰/۶۴۸	۶/۰۱۱
۷/۰	۸۶۵/۱۰۹۲۴۴۴	۳۳۰۰/۷۰۲	۱۳/۱۴۹	۰/۸۴۸	۰/۶۵۸	۰/۶۵۸	۶/۴۹۸
۸/۰	۹۰۵/۱۰۷۲۵۷۷	۳۳۱۰/۳۸۴	۱۲/۶۸۷	۰/۸۶۷	۰/۶۶۰	۰/۶۶۰	۹/۲۹۶
۹/۰	۶۷۳/۱۰۵۶۹۸۳	۳۳۸۳/۸۷۴	۱۲/۱۲	۰/۸۸۵	۰/۶۵۳	۰/۶۵۳	۶/۷۱۳
۱	۸۶۹/۱۰۵۳۲۵۲	۳۴۸۵/۳۶۸	۱۱/۵۱۶	۰/۹۰۰	۰/۶۱۴	۰/۶۱۴	۳۸۶/۳۸۸

$$\begin{aligned}
 \text{Min } z_1 = & \sum_{\forall i} \sum_{\forall t} \left( (p\tilde{c}r_{it}^p + 2p\tilde{c}r_{it}^m + p\tilde{c}r_{it}^o) / 4 \right) SR_{it} + \\
 & \sum_{\forall l} \sum_{\forall i} \sum_{\forall j} \sum_{\forall t} \left( (r\tilde{p}_{it}^p + 2r\tilde{p}_{it}^m + r\tilde{p}_{it}^o) / 4 \right) TRS_{ijt}^l + \\
 & \sum_{\forall r} \sum_{\forall j} \sum_{\forall t} \left( (p\tilde{c}_{rjt}^p + 2p\tilde{c}_{rjt}^m + p\tilde{c}_{rjt}^o) / 4 \right) SP_{rjt} + \\
 & \sum_{\forall l} \sum_{\forall i} \sum_{\forall j} \sum_{\forall t} \left( (ft\tilde{s}_{ijt}^p + 2ft\tilde{s}_{ijt}^m + ft\tilde{s}_{ijt}^o) / 4 \right) NS_{ijt}^l + \\
 & \sum_{\forall l} \sum_{\forall i} \sum_{\forall j} \sum_{\forall t} \left( (v\tilde{t}s_{ijt}^p + 2v\tilde{t}s_{ijt}^m + v\tilde{t}s_{ijt}^o) / 4 \right) TRS_{ijt}^l + \\
 & \sum_{\forall l} \sum_{\forall j} \sum_{\forall k} \sum_{\forall t} \left( (f\tilde{p}_{jkt}^p + 2f\tilde{p}_{jkt}^m + f\tilde{p}_{jkt}^o) / 4 \right) NP_{jkt}^l + \\
 & \sum_{\forall l} \sum_{\forall r} \sum_{\forall j} \sum_{\forall k} \sum_{\forall t} \left( (v\tilde{t}p_{rjkt}^p + 2v\tilde{t}p_{rjkt}^m + v\tilde{t}p_{rjkt}^o) / 4 \right) TPP_{rjkt}^l + \\
 & \sum_{\forall l} \sum_{\forall k} \sum_{\forall c} \sum_{\forall t} \left( (f\tilde{d}_{kct}^p + 2f\tilde{d}_{kct}^m + f\tilde{d}_{kct}^o) / 4 \right) ND_{kct}^l + \\
 & \sum_{\forall l} \sum_{\forall r} \sum_{\forall k} \sum_{\forall c} \sum_{\forall t} \left( (v\tilde{t}d_{rkct}^p + 2v\tilde{t}d_{rkct}^m + v\tilde{t}d_{rkct}^o) / 4 \right) TPD_{rkct}^l + \\
 & \sum_{\forall r} \sum_{\forall k} \sum_{\forall t} \left( (h\tilde{c}_{rk}^p + 2h\tilde{c}_{rk}^m + h\tilde{c}_{rk}^o) / 4 \right) ID_{rkt} + \\
 & \sum_{\forall r} \sum_{\forall c} \sum_{\forall t} \left( (sh\tilde{c}_{rc}^p + 2sh\tilde{c}_{rc}^m + sh\tilde{c}_{rc}^o) / 4 \right) SH_{rct} + \\
 & \sum_{\forall l} \sum_{\forall c} \sum_{\forall k} \sum_{\forall t} \left( (f\tilde{c}_{ckt}^p + 2f\tilde{c}_{ckt}^m + f\tilde{c}_{ckt}^o) / 4 \right) NC_{ckt}^l + \\
 & \sum_{\forall l} \sum_{\forall r} \sum_{\forall k} \sum_{\forall c} \sum_{\forall t} \left( (v\tilde{t}c_{rkct}^p + 2v\tilde{t}c_{rkct}^m + v\tilde{t}c_{rkct}^o) / 4 \right) TPC_{rkct}^l + \\
 & \sum_{\forall l} \sum_{\forall i} \sum_{\forall k} \sum_{\forall t} \left( (f\tilde{r}_{kjt}^p + 2f\tilde{r}_{kjt}^m + f\tilde{r}_{kjt}^o) / 4 \right) NN_{kjt}^l + \\
 & \sum_{\forall l} \sum_{\forall r} \sum_{\forall k} \sum_{\forall j} \sum_{\forall t} \left( (v\tilde{t}r_{rkjt}^p + 2v\tilde{t}r_{rkjt}^m + v\tilde{t}r_{rkjt}^o) / 4 \right) TP_{rkjt}^l + \\
 & \sum_{\forall l} \sum_{\forall f} \sum_{\forall k} \sum_{\forall t} \left( (f\tilde{f}_{kft}^p + 2f\tilde{f}_{kft}^m + f\tilde{f}_{kft}^o) / 4 \right) NRK_{kft}^l + \\
 & \sum_{\forall l} \sum_{\forall r} \sum_{\forall k} \sum_{\forall f} \sum_{\forall t} \left( (v\tilde{t}f_{rkft}^p + 2v\tilde{t}f_{rkft}^m + v\tilde{t}f_{rkft}^o) / 4 \right) TPf_{rkft}^l + \\
 & \sum_{\forall l} \sum_{\forall r} \sum_{\forall k} \sum_{\forall f} \sum_{\forall t} \left( (d\tilde{c}_{rft}^p + 2d\tilde{c}_{rft}^m + d\tilde{c}_{rft}^o) / 4 \right) TPf_{rkft}^l + \\
 & \sum_{\forall j} \sum_{\forall t} \left( X_{jt} \cdot (\tilde{f}_j^p + 2\tilde{f}_j^m + \tilde{f}_j^o) / 4 \right) + \sum_{\forall k} \sum_{\forall t} \left( U_{kt} \cdot (f\tilde{k}_k^p + 2f\tilde{k}_k^m + f\tilde{k}_k^o) / 4 \right) + \\
 & \sum_{\forall k} \sum_{\forall t} \left( Z_{ft} \cdot (\tilde{f}_f^p + 2\tilde{f}_f^m + \tilde{f}_f^o) / 4 \right)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Min } z_2 = & \sum_{\forall l} \sum_{\forall i} \sum_{\forall j} \sum_{\forall t} \left( \left( \frac{\tilde{\theta}_1^p + 2\tilde{\theta}_1^m + \tilde{\theta}_1^o}{4} \right) . TRS_{ijt}^l \right) + \\
 & \sum_{\forall l} \sum_{\forall r} \sum_{\forall j} \sum_{\forall k} \sum_{\forall t} \left( \left( \frac{\tilde{\theta}_2^p + 2\tilde{\theta}_2^m + \tilde{\theta}_2^o}{4} \right) . TPP_{rjkt}^l \right) + \\
 & \sum_{\forall l} \sum_{\forall r} \sum_{\forall k} \sum_{\forall c} \sum_{\forall t} \left( \left( \frac{\tilde{\theta}_3^p + 2\tilde{\theta}_3^m + \tilde{\theta}_3^o}{4} \right) . TPD_{rkct}^l \right) + \\
 & \sum_{\forall l} \sum_{\forall r} \sum_{\forall c} \sum_{\forall k} \sum_{\forall t} \left( \left( \frac{\tilde{\theta}_4^p + 2\tilde{\theta}_4^m + \tilde{\theta}_4^o}{4} \right) . TPC_{rckt}^l \right) + \\
 & \sum_{\forall l} \sum_{\forall r} \sum_{\forall k} \sum_{\forall j} \sum_{\forall t} \left( \left( \frac{\tilde{\theta}_5^p + 2\tilde{\theta}_5^m + \tilde{\theta}_5^o}{4} \right) . TPr_{rkjt}^l \right) + \\
 & \sum_{\forall l} \sum_{\forall r} \sum_{\forall k} \sum_{\forall f} \sum_{\forall t} \left( \left( \frac{\tilde{\theta}_6^p + 2\tilde{\theta}_6^m + \tilde{\theta}_6^o}{4} \right) . TPf_{rkft}^l \right)
 \end{aligned} \tag{۲}$$

$$\text{Max } z_3 = \sum_{\forall l} \sum_{\forall r} \sum_{\forall t} \frac{\sum_{\forall i} \left( (R\tilde{T}_i^p + 2R\tilde{T}_i^m + R\tilde{T}_i^o) / 4 \right) TRS_{ijt}^l}{\sum_{\forall c} (de\tilde{m}_{rct}^p + 2de\tilde{m}_{rct}^m + de\tilde{m}_{rct}^o) / 4} \cdot ur_r \tag{۳}$$

$$\sum_{\forall l} \sum_{\forall j} TRS_{ijt}^l = SR_{it} \quad \forall i, t \tag{۴}$$

$$\sum_{\forall l} \sum_{\forall k} TPP_{rjkt}^l = SP_{rjt} \quad \forall r, j, t \tag{۵}$$

$$\sum_{\forall l} \sum_{\forall r} \sum_{\forall k} (TPP_{rjkt}^l \cdot ur_r) = \sum_{\forall l} \sum_{\forall i} TRS_{ijt}^l + \sum_{\forall l} \sum_{\forall r} \sum_{\forall k} (TPr_{rkjt}^l \cdot ur_r) \quad \forall j, t \tag{۶}$$

$$SH_{rct} - SH_{rc(t-1)} + \sum_{\forall l} \sum_{\forall k} (TPD_{rkct}^l) = \left[ \frac{\alpha}{2} \frac{de\tilde{m}_{rct}^p}{2} + \frac{de\tilde{m}_{rct}^m}{2} + \left( 1 - \frac{\alpha}{2} \right) \frac{de\tilde{m}_{rct}^o}{2} + \frac{de\tilde{m}_{rct}^m}{2} \right] \quad \forall r, c, t \tag{۷}$$

$$\sum_{\forall l} \sum_{\forall k} TPC_{rckt}^l \geq \left( \frac{\alpha}{2} \frac{de\tilde{m}_{rc(t-1)}^p}{2} + \frac{de\tilde{m}_{rc(t-1)}^m}{2} + \left( 1 - \frac{\alpha}{2} \right) \frac{de\tilde{m}_{rc(t-1)}^o}{2} + \frac{de\tilde{m}_{rc(t-1)}^m}{2} - SH_{rc(t-1)} \right) \tag{۸}$$

$$\times \left( \frac{\alpha}{2} \frac{R\tilde{T}^p + R\tilde{T}^m}{2} + \left( 1 - \frac{\alpha}{2} \right) \frac{R\tilde{T}^o + R\tilde{T}^m}{2} \right) \quad \forall r, c, t$$

$$\sum_{\forall l} \sum_{\forall k} TPC_{rckt}^l \leq \left( \frac{\alpha}{2} \frac{de\tilde{m}_{rc(t-1)}^p}{2} + \frac{de\tilde{m}_{rc(t-1)}^m}{2} + \left( 1 - \frac{\alpha}{2} \right) \frac{de\tilde{m}_{rc(t-1)}^o}{2} + \frac{de\tilde{m}_{rc(t-1)}^m}{2} - SH_{rc(t-1)} \right) \tag{۹}$$

$$\times \left( \frac{\alpha}{2} \frac{R\tilde{T}^p + R\tilde{T}^m}{2} + \left( 1 - \frac{\alpha}{2} \right) \frac{R\tilde{T}^o + R\tilde{T}^m}{2} \right) \quad \forall r, c, t$$

$$\sum_{\forall l} \sum_{\forall j} TPr_{rkjt}^l \geq \left( \frac{\alpha}{2} \frac{R\tilde{R}^p + R\tilde{R}^m}{2} + \left( 1 - \frac{\alpha}{2} \right) \frac{R\tilde{R}^o + R\tilde{R}^m}{2} \cdot \sum_{\forall l} \sum_{\forall c} TPC_{rckt}^l \right) \quad \forall r, k, t \tag{۱۰}$$

$$\sum_{\forall l} \sum_{\forall j} TPr_{rkjt}^l \leq \left( \frac{\alpha}{2} \frac{R\tilde{R}^p + R\tilde{R}^m}{2} + \left( 1 - \frac{\alpha}{2} \right) \frac{R\tilde{R}^o + R\tilde{R}^m}{2} \cdot \sum_{\forall l} \sum_{\forall c} TPC_{rckt}^l \right) \quad \forall r, k, t \tag{۱۱}$$

$$\sum_{\forall l} \sum_{\forall f} TPf_{rkft}^l \leq \left( \left( 1 - \frac{\alpha}{2} \frac{R\tilde{R}^p + R\tilde{R}^m}{2} + \left( 1 - \frac{\alpha}{2} \right) \frac{R\tilde{R}^o + R\tilde{R}^m}{2} \right) \cdot \sum_{\forall l} \sum_{\forall c} TPC_{rckt}^l \right) \quad \forall r, k, t \quad (12)$$

$$\sum_{\forall l} \sum_{\forall f} TPf_{rkft}^l \leq \left( \left( 1 - \frac{\alpha}{2} \frac{R\tilde{R}^p + R\tilde{R}^m}{2} + \left( 1 - \frac{\alpha}{2} \right) \frac{R\tilde{R}^o + R\tilde{R}^m}{2} \right) \cdot \sum_{\forall l} \sum_{\forall c} TPC_{rckt}^l \right) \quad \forall r, k, t \quad (13)$$

$$\sum_{\forall l} \sum_{\forall j} TPP_{rjkt}^l - ID_{rkt} + ID_{rk(t-1)} = \sum_{\forall l} \sum_{\forall j} TPD_{rkct}^l \quad \forall r, k, t \quad (14)$$

$$\sum_{\forall r} \left( ID_{rkt} \cdot \left( \alpha \frac{v\tilde{r}^o + v\tilde{r}^m}{2} + (1 - \alpha) \frac{v\tilde{r}^p + v\tilde{r}^m}{2} \right) \right) \leq \quad (15)$$

$$\left( \alpha \frac{ca\tilde{p}d_k^o + ca\tilde{p}d_k^m}{2} + (1 - \alpha) \frac{ca\tilde{p}d_k^p + ca\tilde{p}d_k^m}{2} \right) \quad \forall k, t$$

$$\left( \left( \alpha \frac{v\tilde{r}^o + v\tilde{r}^m}{2} + (1 - \alpha) \frac{v\tilde{r}^p + v\tilde{r}^m}{2} \right) \cdot TRS_{ijt}^l \right) \leq \quad (16)$$

$$\left( \left( \alpha \frac{cap\tilde{l}_k^p + cap\tilde{l}_k^m}{2} + (1 - \alpha) \frac{cap\tilde{l}_k^o + cap\tilde{l}_k^m}{2} \right) \cdot NS_{ijt}^l \right) \quad \forall l, j, i, t$$

$$\sum_{\forall r} \left( \left( \alpha \frac{\tilde{v}_r^o + \tilde{v}_r^m}{2} + (1 - \alpha) \frac{\tilde{v}_r^p + \tilde{v}_r^m}{2} \right) \cdot TPP_{rjkt}^l \right) \leq \quad (17)$$

$$\sum_{\forall r} \left( \left( \alpha \frac{c\tilde{a}pl_i^p + c\tilde{a}pl_i^m}{2} + (1 - \alpha) \frac{c\tilde{a}pl_i^o + c\tilde{a}pl_i^m}{2} \right) \cdot NP_{jkt}^l \right) \quad \forall l, j, k, t$$

$$\sum_{\forall r} \left( \left( \alpha \frac{\tilde{v}_r^o + \tilde{v}_r^m}{2} + (1 - \alpha) \frac{\tilde{v}_r^p + \tilde{v}_r^m}{2} \right) \cdot TPD_{rkct}^l \right) \leq \quad (18)$$

$$\left( \left( \alpha \frac{c\tilde{a}pl_i^p + c\tilde{a}pl_i^m}{2} + (1 - \alpha) \frac{c\tilde{a}pl_i^o + c\tilde{a}pl_i^m}{2} \right) \cdot ND_{kct}^l \right) \quad \forall l, k, c, t$$

$$\sum_{\forall r} \left( \left( \alpha \frac{\tilde{v}_r^o + \tilde{v}_r^m}{2} + (1 - \alpha) \frac{\tilde{v}_r^p + \tilde{v}_r^m}{2} \right) \cdot TPC_{cjk}^l \right) \leq \quad (19)$$

$$\left( \left( \alpha \frac{c\tilde{a}pl_i^p + c\tilde{a}pl_i^m}{2} + (1 - \alpha) \frac{c\tilde{a}pl_i^o + c\tilde{a}pl_i^m}{2} \right) \cdot NC_{ckt}^l \right) \quad \forall l, c, k, t$$

$$\sum_{\forall r} \left( \left( \alpha \frac{\tilde{v}_r^o + \tilde{v}_r^m}{2} + (1 - \alpha) \frac{\tilde{v}_r^p + \tilde{v}_r^m}{2} \right) \cdot TPr_{rkjt}^l \right) \leq \quad (20)$$

$$\left( \left( \alpha \frac{c\tilde{a}pl_i^p + c\tilde{a}pl_i^m}{2} + (1 - \alpha) \frac{c\tilde{a}pl_i^o + c\tilde{a}pl_i^m}{2} \right) \cdot NN_{kjt}^l \right) \quad \forall l, k, j, t$$

$$\sum_{\forall r} \left( \left( \alpha \frac{\tilde{v}_r^o + \tilde{v}_r^m}{2} + (1 - \alpha) \frac{\tilde{v}_r^p + \tilde{v}_r^m}{2} \right) \cdot TPf_{rkft}^l \right) \leq \quad (21)$$

$$\left( \left( \alpha \frac{c\tilde{a}pl_i^p + c\tilde{a}pl_i^m}{2} + (1 - \alpha) \frac{c\tilde{a}pl_i^o + c\tilde{a}pl_i^m}{2} \right) \cdot NRK_{kft}^l \right) \quad \forall l, k, f, t$$

$$\sum_{\forall l} \sum_{\forall j} TRS_{ijt}^l \leq \left( \alpha \frac{ca\tilde{p}I_i^p + ca\tilde{p}I_i^m}{2} + (1-\alpha) \frac{ca\tilde{p}I_i^o + ca\tilde{p}I_i^m}{2} \right) \quad \forall i, t \quad (22)$$

$$\sum_{\forall l} \sum_{\forall f} TRf_{rkt}^l \leq \left( \left( \alpha \frac{ca\tilde{p}f_f^p + ca\tilde{p}f_f^m}{2} + (1-\alpha) \frac{ca\tilde{p}f_f^o + ca\tilde{p}f_f^m}{2} \right) \cdot Z_{ft} \right) \quad \forall r, f, t \quad (23)$$

$$\sum_{\forall l} \sum_{\forall k} TPP_{rkt}^l \leq \left( \left( \alpha \frac{ca\tilde{p}p_j^p + ca\tilde{p}p_j^m}{2} + (1-\alpha) \frac{ca\tilde{p}p_j^o + ca\tilde{p}p_j^m}{2} \right) \cdot X_{rjt} \right) \quad \forall r, j, t \quad (24)$$

$$\sum_{\forall l} \sum_{\forall j} TPP_{rkt}^l \leq \left( \left( \alpha \frac{ca\tilde{p}d_k^p + ca\tilde{p}d_k^m}{2} + (1-\alpha) \frac{ca\tilde{p}d_k^o + ca\tilde{p}d_k^m}{2} \right) \cdot U_{ft} \right) \quad \forall r, k, t \quad (25)$$

$$\sum_{\forall l} \sum_{\forall c} TPD_{rkt}^l \leq \left( \left( \alpha \frac{ca\tilde{p}d_k^p + ca\tilde{p}d_k^m}{2} + (1-\alpha) \frac{ca\tilde{p}d_k^o + ca\tilde{p}d_k^m}{2} \right) \cdot U_{ft} \right) \quad \forall r, k, t \quad (26)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{\forall l} \sum_{\forall i} TPr_{rkt}^l + \sum_{\forall l} \sum_{\forall f} TPf_{rkt}^l \\ & \leq \left( \left( \alpha \frac{ca\tilde{p}d_k^p + ca\tilde{p}d_k^m}{2} + (1-\alpha) \frac{ca\tilde{p}d_k^o + ca\tilde{p}d_k^m}{2} \right) \cdot U_{ft} \right) \quad \forall r, k, t \end{aligned} \quad (27)$$

$$\sum_{\forall l} \sum_{\forall c} TPC_{rckt}^l \leq \left( \left( \alpha \frac{ca\tilde{p}dr_k^p + ca\tilde{p}dr_k^m}{2} + (1-\alpha) \frac{ca\tilde{p}dr_k^o + ca\tilde{p}dr_k^m}{2} \right) \cdot U_{ft} \right)_k \quad \forall r, k, t \quad (28)$$

$$\sum_{\forall l} \sum_{\forall k} TPr_{rkt}^l \leq \left( \left( \alpha \frac{ca\tilde{p}r_j^p + ca\tilde{p}r_j^m}{2} + (1-\alpha) \frac{ca\tilde{p}r_j^o + ca\tilde{p}r_j^m}{2} \right) \cdot X_{rjt} \right) \quad \forall r, j, t \quad (29)$$

$$\begin{aligned} & SR_{it}, SP_{ijt}, ID_{rkt}, TPf_{rkt}^l, TRS_{ijt}^l, TPK_{rkt}^l, TPC_{rckt}^l, TPD_{rckt}^l, SH_{rct}, TPP_{rkt}^l \geq 0 \\ & NS_{ijt}^l, NP_{jkt}^l, ND_{kct}^l, NC_{ckt}^l, NN_{ckt}^l, NRK_{ck}^l, X_{rjt}, U_{ft}, Z_{ft} \in \{0,1\} \end{aligned} \quad (30)$$

- [13] Kalaitzidou, M. A., Longinidis, P., & Georgiadis, M. C. (2015). Optimal design of closed-loop supply chain networks with multifunctional nodes. *Computers & Chemical Engineering*, 80, 73-91. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.compchemeng.2015.05.009
- [14] Karimi, R., Ghezavati, V. R., & Damghani, K. K. (2015). Optimization of multi-product, multi-period closed loop supply chain under uncertainty in product return rate: case study in Kalleh dairy company. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 8(3), 95-113.
- [15] Mousazadeh, M., Torabi, S. A., & Zahiri, B. (2015). A robust possibilistic programming approach for pharmaceutical supply chain network design. *Computers & Chemical Engineering*, 82, 115-128. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.compchemeng.2015.06.008
- [16] Pasandideh, S. H. R., Niaki, S. T. A., & Asadi, K. (2015). Bi-objective optimization of a multi-product multi-period three-echelon supply chain problem under uncertain environments: NSGA-II and NRGA. *Information Sciences*, 292, 57-74. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2014.08.068
- [17] Hatefi, S. M., Jolai, F., Torabi, S. A., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2015). A credibility-constrained programming for reliable forward&#8211;reverse logistics network design under uncertainty and facility disruptions. *Int. J. Comput. Integr. Manuf.*, 28(6), 664-678. doi:10.1080/0951192x.2014.900863
- [18] Özceylan, E., Paksoy, T., & Bektaş, T. (2014). Modeling and optimizing the integrated problem of closed-loop supply chain network design and disassembly line balancing. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 61, 142-164. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2013.11.001
- [19] Pishvae, M. S., Razmi, J., Torabi, S. A. (2014). An accelerated Benders decomposition algorithm for sustainable supply chain network design under uncertainty: A case study of medical needle and syringe supply chain. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 67, 14-38. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2014.04.001
- [20] Zeballos, L. J., Méndez, C. A., Barbosa-Povoa, A. P., Novais, A. Q. (2014). Multi-period design and planning of closed-loop supply chains with uncertain supply and demand. *Computers & Chemical Engineering*, 66, 151-164. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.compchemeng.2014.02.027
- [21] Amin, S. H., Zhang, G. (2012). An integrated model for closed-loop supply chain configuration and supplier selection: Multi-objective approach. *Expert Systems with Applications*, 39(8), 6782-6791. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2011.12.056
- [22] Pishvae, M. S., Razmi, J. (2012). Environmental supply chain network design using multi-objective fuzzy mathematical programming. *Applied Mathematical Modelling*, 36(8), 3433-3446. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2011.10.007
- [1] Dai, Z., Zheng, X. (2015). Design of close-loop supply chain network under uncertainty using hybrid genetic algorithm: A fuzzy and chance-onstrained programming model. *Computers & Industrial Engineering*, 88, 444-457. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2015.08.004
- [2] Ramezani, M., Kimiagari, A. M., Karimi, B. (2014). Closed-loop supply chain network design: A financial approach. *Applied Mathematical Modelling*, 38 (15-16), 4099-4119. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2014.02.004
- [3] Kaya, O., Urek, B. (2016). A mixed integer nonlinear programming model and heuristic solutions for location, inventory and pricing decisions in a closed loop supply chain. *Computers & Operations Research*, 65, 93-103. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2015.07.005
- [4] Khalifehzadeh, S., Seifbarghy, M., Naderi, B. (2015). A four-echelon supply chain network design with shortage: Mathematical modeling and solution methods. *Journal of Manufacturing Systems*, 35, 164-175. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jmsy.2014.12.002
- [5] 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. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2012.09.039
- [6] Aydin, R., Kwong, C. K., & Ji, P. (2016). Coordination of the closed-loop supply chain for product line design with consideration of remanufactured products. *Journal of Cleaner Production*, 114, 286-298. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.116
- [7] Ramezani, M., Kimiagari, A. M., Karimi, B., Hejazi, T. H. (2014). Closed-loop supply chain network design under a fuzzy environment. *Knowledge-Based Systems*.
- [8] Hatefi, S. M., Jolai, F. (2014). Robust and reliable forward–reverse logistics network design under demand uncertainty and facility disruptions. *Applied Mathematical Modelling*, 38(9–10), 2630-2647. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2013.11.002
- [9] Cardoso, S. R., Barbosa-Póvoas, A. P. F. D., Relvas, S., Novais, A. Q. (2014). Resilience assessment of supply chains under different types of disruption. In J. D. S. Mario R. Eden & P. T. Gavin (Eds.), *Computer Aided Chemical Engineering* (Vol. Volume 34, pp. 759-764): Elsevier.
- [10] Alshamsi, A., Diabat, A. (2015). A reverse logistics network design. *Journal of Manufacturing Systems*, 37, Part 3, 589-598. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jmsy.2015.02.006
- [11] Teimuory, E., Bozorgi Atoei, F., Mohammadi, E., Bozorgi Amiri, A. (2013). A multi-objective reliable programming model for disruption in supply chain. *Management Science Letters*, 3(5), 1467-1478.
- [12] Cardona-Valdés, Y., Álvarez, A., Pacheco, J. (2014). Metaheuristic procedure for a bi-objective supply chain design problem with uncertainty. *Transportation Research Part B: Methodological*, 60, 66-84. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.trb.2013.11.010



- objective supply chain master planning". *Fuzzy Sets and Systems*, 159(2), 193-214.
- [35] Sahebjamnia, N., Goodarzian, F., & Hajiaghaei-Keshteli, M. (2019). Optimization of Multi-Period Three-echelon Citrus Supply Chain Problem. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, 41-50.
- [36] Fakhrzad, M. B., Goodarzian, F. (2019). A Fuzzy Multi-Objective Programming Approach to Develop a Green Closed-Loop Supply Chain Network Design Problem under Uncertainty: Modifications of Imperialist Competitive Algorithm. *RAIRO-Operations Research*, 53(3), 963-990.
- [37] Goodarzian, F., Hosseini-Nasab, H. (2019). Applying a fuzzy multi-objective model for a production-distribution network design problem by using a novel self-adoptive evolutionary algorithm. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 1-22.
- [38] Fakhrzad, M. B., Talebzadeh, P., Goodarzian, F. (2018). Mathematical Formulation and Solving of Green Closed-loop Supply Chain Planning Problem with Production, Distribution and Transportation Reliability. *International Journal of Engineering*, 31(12), 2059-2067.
- [23] Vahdani, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., Jolai, F., & Babolib, A. (2012). Reliable design of a closed loop supply chain network under uncertainty: An interval fuzzy possibilistic chance-constrained model. *Engineering Optimization*, 45(6), 745-765
- [24] 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. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2008.09.040
- [25] Ramezani, M., Bashiri, M., Tavakkoli-Moghaddam, R. (2013). A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level. *Applied Mathematical Modelling*, 37(1-2), 328-344. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2012.02.032
- [26] A Ebrahimi Zade, Fakhrzad, M.B., 2013, A dynamic genetic algorithm for solving a single machine scheduling problem with periodic maintenance. *ISRN Industrial Engineering*. 21(4), 211-220.
- [۲۷] خسروشاهی، حسین، معطر حسینی، سید محمد، مرجانی، محمدرضا (۱۳۹۳). اندازه‌گیری اثر شلاق چرمی در یک زنجیره تأمین خطی سه‌سطحی با استفاده از روش میانگین متحرک برای برآورد تقاضا. نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۲(۴)، ۲۱-۳۷.
- [28] Fakhrzad, M.B., Heydari, M., (2008). A Heuristic Algorithm for Hybrid Flow-shop Production Scheduling to Minimize The Sum of The Earliness AND Tardiness Costs. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 25(2), 105-115.
- [۲۹] لطفی، رضا، امین نیری، مجید (۱۳۹۵). مکان‌یابی تسهیلات چند هدفه با محدودیت ظرفیت و رویکرد ترکیبی سیمپلکس فازی و الگوریتم ژنتیک. نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۴(۷)، ۸۱-۹۱.
- [30] Fakhrzad, M.B., Moobed, M., (2010). A GA model development for decision making under reverse logistics. *International Journal Of Industrial Engineering And Production Research*, 21, 4, 211-220.
- [۳۱] نخعی، عیسی، محمدی پور، هیرش، ذگردی، سید حسام الدین (۱۳۹۳). تعیین سود بهینه فروشنده برای محصولات جایگزین و مکمل به کمک قیمت گذاری و در نظر گرفتن سیاست فروش بسته‌ای و تخفیف. نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۲(۴)، ۹۹-۱۱۳.
- [32] Fakhrzad, M.B., Sadri Esfahanib, A., (2013). Modeling the time windows vehicle routing problem in cross-docking strategy using two meta-heuristic algorithms. *International Journal of Engineering-Transactions A: Basics*, 27, 7, 1113-1126.
- [33] Jimenez, M., Arenas, M., Bilbao, A. & Guez, M. V. (2007). "Linear programming with fuzzy parameters: an interactive method resolution." *European Journal of Operational Research*, 177, 1599-1609.
- [34] Torabi, S.A., Hassini, E. (2008). "An interactive possibilistic programming approach for multiple



DOI: 10.22084/ier.2019.15750.1734

## The green Closed-Loop Supply Chain Network Design Considering Supply Centers Reliability Under Uncertainty

M. B. Fakhrazad<sup>1\*</sup>, P. Talebzadeh<sup>2</sup>, F. Goodarzian<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Dept. of Industrial Engineering, Yazd University, Yazd, Iran

---

### ARTICLE INFO

#### **Article history:**

Received 1 October 2018

Accepted 27 August 2019

---

#### **Keywords:**

Green closed-loop supply chain  
network design  
Uncertainty  
Reliability

---

### ABSTRACT

displacement between levels, and maximize the reliability of delivery for suppliers. This network is including supplier centers, production/resuscitation centers, distribution/collection centers, customer centers, and disposal centers. A new Linear Integer programming model is formulated. Besides, fuzzy parameters and multi-objective function are used to approach the real world. In this regard, a deterministic two-step approach is used to consider the uncertainty in the proposed model. Finally, the performance and efficiency of the proposed model and solution methods are simulated in the numerical example and examined and suggestions are presented for using this model in the real world.

---

\* Corresponding author. M. B. Fakhrazad  
Tel.: 0351-8122405, E-mail address: [amir.i650@yahoo.com](mailto:amir.i650@yahoo.com)