

مدل سازی چندهدفه زنجیره تأمین معکوس به روش استوار در شرایط عدم قطعیت تقاضا با بهره‌گیری از الگوریتم فرا ابتکاری NSGA-II در صنعت فولاد

احمد جعفر نژاد چقوشی^۱

عضو هیئت علمی، دانشگاه تهران

حنان عموزاده مهدیرجی

عضو هیئت علمی، دانشگاه تهران، h.amoozad@ut.ac.ir

سید حسین رضوی حاجی آقا

عضو هیئت علمی، دانشگاه تهران، s.hossein.r@gmail.com

امیر کارگر سلطان آباد

دانشجوی پردیس البرز، دانشگاه تهران، a.karegar@ut.ac.ir

چکیده در طراحی زنجیره تأمین استفاده از محصولات برگشتی و چرخه دوباره آنها در شبکه تولید و مصرف در قالب لجستیک معکوس مطرح می‌شود. مدل پیشنهادی به بهینه سازی جریان مواد در شبکه زنجیره تأمین، تعیین مقدار و مکان تسهیلات و برنامه ریزی حمل و نقل در شرایط عدم قطعیت تقاضا میپردازد به گونه‌ای که: کل سود عملیاتی زنجیره حداکثر، اثرات نامساعد زیست محیطی حداقل و سطح خدمت‌دهی به مشتریان و تأمین کنندگان زنجیره حداکثر شود. برای مواجهه با عدم قطعیت مدل از برنامه ریزی استوار مبتنی بر سناریو و برای حل مدل با داده‌های واقعی در صنعت فولاد از الگوریتم فرا ابتکاری NSGA-II استفاده شده است. نتایج بدست آمده مدل از مجموعه داده‌های واقعی و اعتبارسنجی انجام شده نشان می‌دهد که مدل می‌تواند بصورت یکپارچه نسبت به بهینه سازی اهداف و تعیین تعداد و مکان تسهیلات لازم برای صنعت فولاد، کارایی لازم را به همراه داشته باشد.

کلمات کلیدی مدل‌سازی چندهدفه، زنجیره تأمین معکوس، بهینه سازی استوار، الگوریتم فرا ابتکاری، صنعت فولاد

۱- بیان مسئله و پیشینه تحقیق

چاپانه و همکاران [۲] در تحقیق خود زنجیره تأمین حلقه بسته را مورد مطالعه قرار داده است، زنجیره تأمین مورد مطالعه در این مقاله از تأمین کنندگان، مراکز تولید، مراکز بازیافت، مراکز پخش و مشتریان تشکیل شده است. همچنین پیشوایی و همکاران [۳] روش بهینه‌سازی استوار را برای طراحی شبکه یک زنجیره تأمین چندسطحی حلقه بسته تحت عدم قطعیت به کار بردند. در مطالعه‌ای دیگر لاسونون و همکاران [۴] یک مدل بهینه‌سازی استوار برای مسائل لجستیک احتمالی بکار برده‌اند. در تحقیقی دیگر، بوخروبا و همکاران [۵] یک رویکرد یکپارچه برای برنامه ریزی زنجیره تأمین حلقه باز مبتنی بر جنبه‌های اقتصادی، محیط

شبکه لجستیک معکوس به عنوان بخشی از زنجیره تأمین به معنی انتقال دقیق، به موقع و درست مواد، اقلام و کالاهای قابل استفاده و غیرقابل استفاده از انتهایترین نقطه و آخرین مصرف‌کننده از طریق زنجیره تأمین به واحد مناسب مورد نظر است. به عبارت دیگر لجستیک معکوس، فرایند حرکت و انتقال برای کالاها و تولیداتی است که در زنجیره تأمین، قابلیت بازگشت دارند [۱]. در این خصوص عامل بسیار مهمی که در بررسی‌های فنی و اقتصادی زنجیره‌های تأمین به عنوان مهمترین عامل شناخته می‌شود، عامل تقاضا می‌باشد که باید در طراحی شبکه‌های زنجیره تأمین رو به جلو و یا معکوس مد نظر قرار داشته باشد.

* (Corresponding author) jafarnjd@ut.ac.ir

زیستی و اجتماعی به صورت یک مدل مکان یابی تخصیصی در صنعت الوار ارائه کرده اند. در جای دیگر، طلایی و همکاران [۶] یک مدل بهینه‌سازی فازی جهت طراحی حلقه بسته شبکه زنجیره تأمین کربن ارائه داده اند. در این مطالعه، مدلی جهت بررسی تسهیلات محل/تخصیص برای حلقه بسته شبکه زنجیره تأمین سبز چند محصولی متشکل از تولید / بازسازی و جمع آوری / مراکز بازرسی و همچنین مراکز دفع و بازار ارائه شده است. ننس و نیکلیدس [۷] یک مدل چند دوره ای بر پایه MILP پیشنهاد دادند که دارای تقاضا و مقادیر برگشتی قطعی است و علاوه بر این، مدل مذکور امکان استفاده از بخش معینی از دسته‌های مورد نیاز را دارا بوده و همچنین در آن مقدار محصولات متعلق به یک سطح کیفی خاص برای هر دسته مشخص بوده است. داس و چادباری [۸] با توجه به تصمیمات طراحی محصول و ملاحظات کیفی، از یک مدل MIP برای برنامه‌ریزی محصول شبکه لجستیک معکوس استفاده کردند. در مطالعه‌ای دیگر، گاو و همکاران [۹] شبکه‌ای با دو خط بازیافتی پیشنهاد دادند: جداسازی و تعمیر که هر خط پاسخگوی تقاضای مجزایی بوده و عدم اطمینان با استفاده از پارامترهای تصادفی مورد توجه قرار گرفته اما به کیفیت بازگشت، تنوع در تقاضا و بازگشت، هزینه‌های شروع کار و زمان‌های انتظار توجهی نشده است. در تحقیقی دیگر نیک نژاد و پتروویچ [۱۰] یک مدل بهینه‌سازی جدید با چند خط بازیافت، چند سطح کیفی و چند دوره‌ای معرفی کردند که دارای زمان‌های انتظار مختلف در شبکه لجستیک معکوس و عدم اطمینان در تقاضا، مقدار بازگشت و کیفیت بازگشت است. سانتی‌باز گونزالز و دیابت [۱۱] به بررسی چرخه لجستیک در زنجیره تأمین مشارکتی پرداختند. در این پژوهش با تأکید بر افزایش کیفیت و کاهش هزینه چرخه حمل و نقل، از روش برنامه ریزی چندهدفه استفاده شده است. آزاده و همکاران [۱۲] در مطالعات خود به ارائه مدل چند هدفه فازی خطی برای بهینه سازی زنجیره عرضه گاز طبیعی از طریق یک رویکرد کاهش گازهای گلخانه‌ای پرداخته اند. همچنین معماری و همکاران [۱۳] در تحقیقات خود به توسعه یک مدل ریاضی چند هدفه در یک شبکه زنجیره تأمین سبز متشکل از تولید کنندگان، مراکز توزیع و فروشندگان در یک مطالعه موردی تولید کننده خودرو پرداخته اند. اهداف اصلی در نظر گرفته شده شامل: به حداقل رساندن هزینه‌های تولید، توزیع، نگهداری و هزینه کمبود در نمایندگی مجاز و همچنین به حداقل رساندن اثرات محیط زیستی شبکه لجستیک بوده است. ال-ساید و همکاران [۱۴] یک مدل احتمالی آمیخته با عدد صحیح برای طراحی شبکه لجستیک یکپارچه رو به جلو و معکوس تحت عدم قطعیت تقاضا و نرخ بازگشت پیشنهاد دادند. هدف آن هم حداکثر کردن سود کلی بوده است. همچنین

رامودین و همکاران [۱۵] یک زنجیره تأمین متشکل از تأمین کننده، پیمانکار- کارخانه، مرکز پخش و مشتری را مورد مطالعه قرار داده است. در این مقاله برای طراحی شبکه زنجیره تأمین مذکور یک برنامه ریزی عدد صحیح مختلط ارائه شده است. مدل ریاضی این مقاله دارای دو تابع هدف است. همچنین سرافا و همکاران [۱۶] در پژوهشی به بررسی یکپارچه سازی زنجیره شبکه تأمین با تأکید بر شبکه لجستیک روبه جلو پرداختند. در این پژوهش با تأکید بر کمینه کردن هزینه در طول چرخه از روش برنامه‌ریزی ریاضی و روش حل الگوریتم ژنتیک استفاده گردیده است. در پژوهشی دیگر توسط پیشوایی و خلف [۱۷] به بررسی شبکه لجستیک در قالب یک زنجیره تأمین چندسطحی پرداختند. در این پژوهش هدف کمینه کردن کل هزینه چرخه و بخصوص هزینه محصولات چند دوره‌ای بوده و در این پژوهش محققان برای رسیدن به هدف پژوهش از بهینه‌سازی فازی استفاده نمودند. فیتوکاسپن و همکاران [۱۸] در پژوهشی مدلی با در نظر گرفتن عدم قطعیت در تقاضا و تأمین کنندگان در محصولات بازیافتی در بازطراحی لجستیک معکوس ارائه دادند. در جای دیگر، رفیعی مجد و همکاران [۱۹] یک زنجیره تأمین سه لایه شامل تأمین کننده، تعدادی مراکز توزیع و تعدادی خرده فروش (مشتری) را به صورت مسئله موجودی-مکانیابی-مسیریابی ارائه داده‌اند که در آن محصولات به مشتری‌ها در یک افق زمانی محدود ارسال میشود. تقاضای خرده فروش تصادفی است و از توزیع نرمال با میانگین و انحراف معیار مشخص تبعیت میکند. موسوی و رعیت [۲۰] یک مدل دو هدفه برای برنامه ریزی کامیون سبز و مسئله مسیریابی در یک سیستم انبار متقاطع معرفی کرده اند. این مدل سه تصمیم کلیدی در انبار متقاطع را مشخص میکند: (۱) تعیین توالی و برنامه کامیونهای ورودی در درب پذیرش (۲) تعیین دنباله و برنامه کامیونهای ورودی در درب حمل و نقل (۳) تعیین مسیره‌های کامیون خروجی که به سمت مشتری میروند. همچنین موگال و همکاران [۲۱] یک مدل ریاضی چند دوره‌ای و چند هدفه جدید برای مسئله مکانیابی- تخصیص سیلوی حیوانات با زمان سکونت برای پشتیبانی از فرایند تصمیم گیری دولت هند ارائه داده‌اند. دو هدف کمینه کردن متقاطع هزینه شبکه زنجیره تأمین و کل زمان انتظار به طور همزمان با استفاده از دو مدل پارتو مبتنی بر الگوریتم‌های چند هدفه با پارامترهای کالیبراسیون اجرا شده است. در جای دیگر، دای و همکاران [۲۲] یک مسئله موجودی-مکانیابی شبکه زنجیره تأمین را برای محصولات فاسدشدنی با ظرفیت فازی و محدودیت انتشار کربن ادغام و با مدل بهینه سازی بهبود داده‌اند. در مطالعه‌ای دیگر، خدپرستی و همکاران [۲۳] یک مسئله مکانیابی-تخصیص چند دوره ای برای برنامه‌ریزی شبکه زنجیره تأمین معکوس معرفی کردند. دولان و

قطعیت تقاضای محصولات جدید و کمی‌سازی آن بر اساس نظر خبرگی به روش فرآیند تحلیلی سلسله‌مراتبی^۲.

۲- تعریف مدل و اهداف تحقیق

شبکه لجستیک مطرح شده در این تحقیق متشکل از ۴ سطح می‌باشد. سطح اول ارائه دهندگان پسماند یا قراضه‌های برگشتی بوده که این ارائه دهندگان به عنوان تأمین کننده محصول برگشتی در این مدل تلقی می‌گردند که خود می‌توانند مشتریان دوره‌های قبل بوده که کالاهای باقیمانده خود را عودت داده و یا تأمین کنندگان جدیدی باشند که در خصوص تأمین قراضه فعالیت می‌نمایند. سطح دوم مراکز جمع‌آوری محصولات برگشتی می‌باشند که وظیفه تأمین قراضه از ارائه دهندگان سطح اول زنجیره را عهده‌دار بوده و بطور مشخص مسئولیت تأمین محصول برگشتی، بازرسی، دسته‌بندی، نگهداشت و انتقال آنها به مراکز تولید مجدد (کارخانجات بازیافت) را بر عهده دارند. سطح سوم کارخانجات بازیافت جهت تولید محصولات جدید بوده که بر اساس قراضه‌های دریافتی از مراکز جمع‌آوری وظیفه تولید محصولات جدید را بر عهده داشته و نهایتاً سطح چهارم مشتریان هستند که بر اساس تقاضای موجود نسبت به تحویل محصولات به آنها اقدام خواهد شد. با توجه به توضیحات داده شده، شبکه مورد نظر در قالب یک مدل مفهومی در شکل ۱ نشان داده شده است. در این تحقیق جهت مواجهه با عدم اطمینان در تقاضا با توجه به تغییرات غیر قابل پیش‌بینی که در طی دوره زمانی تحقیق در سازمان مورد مطالعه در جریان بوده، از برنامه ریزی مبتنی بر سناریو استفاده شده است. از آنجائیکه پایداری زنجیره تأمین بالاخص در صنایع فولادی به عنوان صنایع آلاینده کشور باید مبتنی بر رعایت الزامات و حداقل‌سازی اثرات نامساعد زیست‌محیطی باشد و همچنین به دلیل رعایت آثار اجتماعی، طراحی شبکه بایستی منجر به برآورده‌سازی رضایت‌مندی مشتریان و تأمین کنندگان گردد، لذا به جهت تحقق آثار اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی شبکه زنجیره تأمین معکوس موضوع تحقیق و برای بهینه‌سازی مدل، اهداف سه‌گانه شامل: بیشینه کردن سود عملیاتی، کمینه نمودن تاثیرات نامساعد زیست‌محیطی و بیشینه کردن سطح خدمت دهی به تأمین کنندگان و مشتریان ارائه گردیده است.

هدف کلی از انجام این تحقیق، طراحی مدل یکپارچه لجستیک معکوس پایدار در شرایط عدم قطعیت تقاضا با رویکرد علمی تحقیق در عملیات (با بهره‌گیری از روش بهینه‌سازی استوار^۳ و الگوریتم فرا ابتکاری^۴) است. که به منظور بهینه‌سازی جریان مواد در شبکه زنجیره تأمین، تعیین تعداد و مکان

همکاران [۲۴] یک مدل ریاضی چند هدفه برای حل یک مسئله مکان‌یابی-تخصیص در یک شبکه زنجیره تأمین چند لایه برای بهینه‌سازی سه هدف همزمان کمینه‌سازی هزینه کل زنجیره تأمین، بیشینه‌سازی نرخ تراکم و کمینه‌سازی انتشار گاز CO₂ ارائه دادند.

با توضیحات فوق و بررسی سیستماتیک ادبیات تحقیق، شکاف‌های دانشی در این حوزه به شرح ذیل دیده می‌شود: ۱- پرداختن به مسئله شبکه لجستیک معکوس در صنعت فولاد به عنوان یکی از صنایع آلاینده، کمتر مورد توجه محققین بوده که این تحقیق پاسخی برای بخشی از مطالبات این صنعت خواهد بود ۲- در تحقیقات قبلی به مسئله لجستیک معکوس نسبت به شبکه‌های رو به جلو کمتر پرداخته شده و این تحقیق فرآیند لجستیک معکوس را از ابعاد مختلف مورد بررسی قرار می‌دهد ۳- بررسی یکپارچه حداکثرسازی سود عملیاتی سازمان، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به عنوان شاخص آلاینده‌گی سیستم و برآورده سازی رضایت مشتریان به عنوان آثار اجتماعی مدل در هیچ یک از تحقیقات قبلی مورد بررسی قرار نگرفته است ۴- در تحقیقات انجام شده مدل‌های چند هدفه، با ویژگی چند محصولی در شرایط عدم قطعیت تقاضا بصورت همزمان دیده نمی‌شود ۵- بهره‌گیری از روش‌های بهینه‌سازی استوار مبتنی بر سناریو و الگوریتم فرا ابتکاری برای حل مدل طراحی شده در هیچ یک از تحقیقات قبلی دیده نمی‌شود و ضرورت انجام این تحقیق با رویکرد فوق با حجم داده‌های بالا که از عهده روش‌های عادی ریاضی خارج می‌باشد، در این تحقیق مورد حل و تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت.

بر اساس شکاف‌های ذکر شده در بالا، پژوهش حاضر یک مدل ریاضی چندهدفه برای بازطراحی شبکه زنجیره تأمین معکوس ارائه می‌دهد. مدل پیشنهادی این امکان را می‌دهد که برای برنامه‌ریزی نحوه بازیافت محصولات در صنعت فولاد از رویکرد الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب^۱ استفاده شود. مدل پیشنهادی دارای ویژگی‌های زیر است: ۱- استفاده از رویکرد بهینه‌سازی استوار و الگوریتم NSGA-II برای مدل‌سازی چند هدفه شبکه زنجیره تأمین معکوس شامل: چندین جریان مواد، برنامه‌ریزی حمل و نقل در شرایط عدم قطعیت در تقاضا ۲- ارزیابی شاخص زیست‌محیطی بر اساس میزان انتشار گاز CO₂ به عنوان یکی از مهمترین گازهای گلخانه‌ای در آلاینده‌گی محیط زیست ۳- ارزیابی شاخص سطح خدمت‌رسانی به ذینفعان بر اساس حداکثرسازی محصولات برگشتی دریافتی از تأمین کنندگان/مشتریان قبلی و عرضه محصولات جدید درخواستی به مشتریان جدید ۴- تعریف سناریوهای مختلف برای مواجهه با عدم

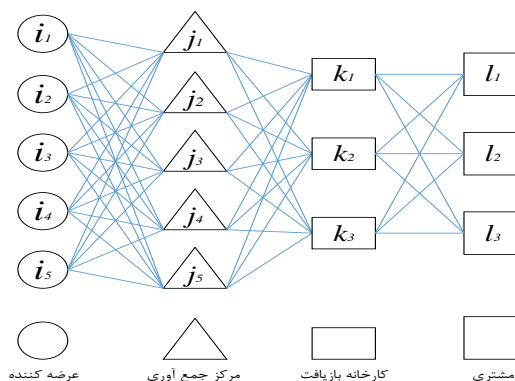
^۲ Robust Optimization Method

^۴ Meta Heuristic Algorithm

^۱ NSGA-II

^۲ Analytic Hierarchy Process

تسهیلات و برنامه ریزی حمل و نقل زنجیره در نظر گرفته شده است.



شکل ۱: شبکه زنجیره تأمین معکوس قبل از حل مدل

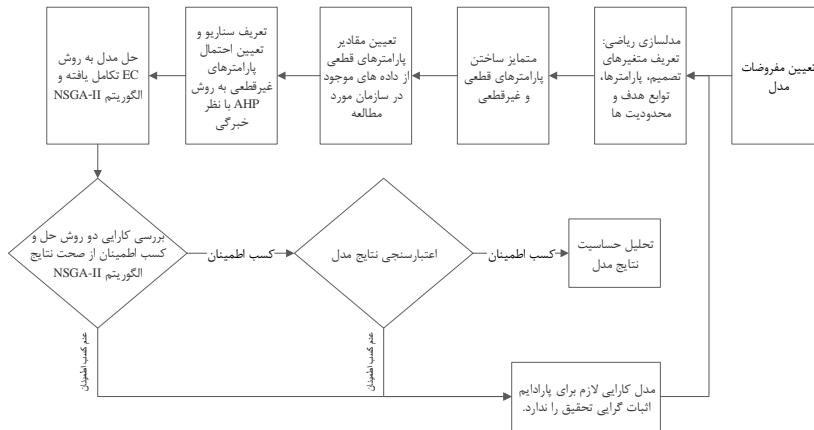
تکنیک اپسیلون محدودیت تکامل یافته^۱ با بهره گیری از نرم افزار GAMS استفاده شده است. روش اپسیلون محدودیت تکامل یافته برای مواردی از بهینه سازی چندهدفه استفاده می‌گردد که یکی از توابع هدف به عنوان تابع هدف اصلی و نسبت به بقیه توابع از درجه اهمیت بالاتری برخوردار باشد و بر مبنای آن بهینه سازی سایر توابع صورت می‌گیرد که در تحقیق حاضر به دلیل اهمیت تابع هدف اول نسبت به دو تابع دیگر از این روش استفاده شده است. از آنجائیکه حل مدل با شبکه و داده‌های واقعی سازمان مورد مطالعه در GAMS قابل حل نمیباشد، توابع هدف تعریف شده بر اساس یک مدل اولیه در مقیاس کوچکتر از مدل واقعی به روش بهینه سازی استوار مبتنی بر سناریو در نرم افزار GAMS مورد حل قرار خواهد گرفت و با الگوریتم NSGA-II مقایسه و اعتبارسنجی مدل مورد بررسی قرار میگیرد. بر اساس اعتبارسنجی صورت گرفته و با اطمینان از روش مورد استفاده، از الگوریتم فراابتکاری NSGA-II برای حل مدل اصلی در نرم افزار MATLAB اقدام می‌گردد. در نهایت نتایج حاصله و آثار مساعد ناشی از اجرای تحقیق در صنعت مورد مطالعه، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت.

در این راستا، در تحقیق حاضر دستیابی به اهداف زیر مورد نظر قرار خواهد گرفت: ۱- شناسایی و دسته بندی فرایندهای لازم برای پیاده سازی شبکه لجستیک معکوس در صنعت فولاد ۲- بهینه سازی سود عملیاتی زنجیره تأمین به منظور برآورده سازی الزامات اقتصادی ۳- کمینه سازی اثرات نامساعد زیست محیطی به منظور برآورده سازی الزامات زیست محیطی ۴- بهینه سازی میزان رضایت مندی تأمین کنندگان و مشتریان به منظور برآورده سازی الزامات اجتماعی.

۳- روش شناسی تحقیق

تحقیق حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش گردآوری اطلاعات، پیمایشی است. در این تحقیق و به دلیل ماهیت مدل سازی ریاضی، جامعه آماری و روش نمونه گیری وجود ندارد. همچنین به دلیل ماهیت مطالعه موردی تحقیق، برای گردآوری داده های ورودی از وضعیت موجود سازمان مورد مطالعه در صنعت فولاد در پارامترهای مورد نیاز مدل استفاده شده است. مراحل / گام‌های انجام تحقیق در نمودار شکل ۲ نشان داده شده است. بر اساس آنچه که در بیان مسئله عنوان شد برای رفع عدم قطعیت پارامترهای مدل از روش بهینه سازی استوار مبتنی بر سناریو با

^۱ Augmented Epsilon Constraint Method



شکل ۲: نمودار مراحل/گام‌های انجام تحقیق

۱-۳-پیش فرض‌های مسئله تحقیق

- تعداد تأمین کنندگان و مشتریان ثابت و به ترتیب ۵ و ۳ میباشند؛
- گزینه‌های مکانی برای انتخاب مراکز جمع‌آوری/بازرسی و مراکز بازیافت/تولید به ترتیب ۵ و ۳ میباشند که در طی فرآیند حل مدل، تعداد دقیق مراکز مشخص خواهند شد؛
- حالات حمل و نقل تشریح شده در این مدل عبارتست از سیستم حمل و نقل زمینی از طریق کامیون/کامیونت.

- وجود عدم قطعیت کامل در پارامتر تقاضا؛
- زنجیره تأمین ۴ سطحی و تک دوره‌ای؛
- ظرفیت مراکز جمع‌آوری بی‌نهایت و ظرفیت کارخانه‌های بازیافت/تولید محدود و مشخص؛
- تعداد گزینه‌های مراکز جمع‌آوری و کارخانه‌های بازیافت محدود؛
- هزینه‌های ثابت و متغیر (جمع‌آوری، بازیافت و حمل و نقل) و تعداد و ظرفیت حالت‌های حمل و نقل موجود مشخص؛
- جریان مواد بین دو دسته غیر متوالی و بین دو تاسیسات یکسان غیر مجاز؛

۲-۳-اجزای مدل

بر اساس ساختار زنجیره تأمین نشان‌دهنده شده در شکل ۱، مسئله به عنوان یک مدل بهینه‌سازی چند هدفه فرمول‌بندی شده است. لیست اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم مدل به ترتیب در جداول زیر ارائه شده‌اند.

جدول ۱-لیست اندیس‌های مدل

$i \in I$	مجموعه ارائه دهندگان پسماند قابل بازیافت
$j \in J$	مجموعه گزینه‌های مکانی برای مراکز جمع‌آوری
$k \in K$	مجموعه گزینه‌های مکانی برای کارخانه‌های بازیافت
$l \in L$	مجموعه مشتریان
$m \in M$	مجموعه‌ای از حالت‌های حمل و نقل
$p \in P$	مجموعه‌ای از محصولات نهایی
$s \in S$	مجموعه‌ای از سناریوها

جدول ۲-لیست پارامترهای مدل

G_{ip}	مقدار عرضه محصول p توسط ارائه دهنده i بر حسب تن در ماه
CT_{mp}	ظرفیت روش حمل و نقل m برای انتقال محصول p بر حسب تن بر سفر
C_{kp}	ظرفیت کارخانه بازیافت k برای تولید محصول p بر حسب تن در ماه
D_{lps}	مقدار محصول p مورد تقاضای مشتری l تحت سناریوی s بر حسب تن در ماه
NV_m	مجموع تعداد سفرهای در دسترس برای هر حالت حمل و نقل m

جدول ۲- لیست پارامترهای مدل

IT _m	اثر زیست محیطی ایجاد شده از مواد در حال حرکت در حالت حمل و نقل m بر حسب شاخص زیست محیطی بر تن کیلومتر
IE	اثر زیست محیطی تولید شده از مصرف انرژی گاز در کل سیستم بر حسب شاخص زیست محیطی بر نرمال مترمکعب بر ساعت
IP	اثر زیست محیطی ناشی از زیرساخت ها بر حسب شاخص زیست محیطی
IA	اثر زیست محیطی تولید شده از مصرف آب در کل سیستم بر حسب شاخص زیست محیطی بر مترمکعب
Cfe _k	مصرف انرژی ثابت گاز در کارخانه بازیافت k بر حسب نرمال مترمکعب بر ساعت
Cfe _j	مصرف انرژی ثابت گاز مرکز جمع آوری j بر حسب نرمال مترمکعب بر ساعت
Cve _p	مصرف انرژی متغیر گاز برای تولید یک واحد محصول p بر حسب نرمال مترمکعب بر ساعت
Cvap	مصرف آب متغیر برای به دست آوردن یک واحد محصول p بر حسب مترمکعب
$\alpha_k \cdot \beta_j$	نسبت ظرفیت پردازش کارخانه بازیافت k و مرکز جمع آوری j
d_{ij}^{SR}	فاصله بین ارائه دهنده i و مرکز جمع آوری j بر حسب کیلومتر
d_{jk}^{RP}	فاصله بین مرکز جمع آوری j و کارخانه بازیافت k بر حسب کیلومتر
d_{kl}^{PC}	فاصله بین کارخانه بازیافت k و مشتری l بر حسب کیلومتر
CUR _{jp}	هزینه تولید محصول p در مرکز جمع آوری j بر حسب ریال بر تن
CUP _{kp}	هزینه تولید محصول p در کارخانه بازیافت k بر حسب ریال بر تن
CUT _m	هزینه متغیر حالت حمل و نقل m بر حسب ریال بر کیلومتر تن
CFR _j	هزینه ثابت استفاده از مرکز جمع آوری j بر حسب ریال
CFP _k	هزینه ثابت استفاده از یک کارخانه بازیافت k بر حسب ریال
PS _s	احتمال سناریوی s
PRI _p	قیمت فروش محصول p

جدول ۳- لیست متغیرهای تصمیم مدل

QSR _{ijm} _{ps}	مقدار عرضه محصول p که در حالت حمل و نقل m بین ارائه دهنده پسماند i و مرکز جمع آوری j تحت سناریوی s منتقل می شود (بر حسب تن)
QRP _{jk} _m _{ps}	مقدار محصول p که در حالت حمل و نقل m بین مرکز جمع آوری j و کارخانه بازیافت k تحت سناریوی s منتقل می شود (بر حسب تن)
QPC _{kl} _m _{ps}	مقدار محصول p که در حالت حمل و نقل m بین کارخانه بازیافت k و مشتری l تحت سناریوی s انتقال داده می شود (بر حسب تن)
VSR _{ij} _m _s	تعداد سفرها بین ارائه دهنده پسماند i ام و مرکز جمع آوری j ام ، با استفاده از حالت حمل و نقل m تحت سناریوی s
VRP _{jk} _m _s	تعداد سفرها بین مرکز جمع آوری j و کارخانه بازیافت k با استفاده از حالت حمل و نقل m تحت سناریوی s
VPC _{kl} _m _s	تعداد سفرها بین کارخانه بازیافت k به مشتری l با استفاده از حالت حمل و نقل m تحت سناریوی s
HSR _{ij} _m _s HRP _{jk} _m _s HPC _{kl} _m _s	متغیرهایی که نشان دهنده میزان سفرها هستند (بیش از حد یا نقص) برای تعادل در میان حالت های حمل و نقل
R _j	متغیر؛ ۱ اگر مرکز جمع آوری j استفاده می شود، در غیر این صورت صفر
P _k	متغیر؛ ۱ اگر کارخانه بازیافت k استفاده می شود، در غیر این صورت صفر

۳-۳- توابع هدف مدل

معادله (۳-۱) سود عملیاتی زنجیره تأمین را حداکثر می کند.

$$\begin{aligned} \max f_1 = & \sum_s PS_s (\sum_k \sum_p PRI_p \sum_l \sum_m QPC_{klmps} \\ & - (\sum_m CUT_m \cdot (\sum_j \sum_k VRP_{jkms} d_{jk}^{PC} \\ & + \sum_k \sum_l VPC_{klms} d_{kl}^{PC} \\ & + \sum_i \sum_j VSR_{ijms} d_{ij}^{SR})) \\ & - \sum_k CFP_k P_k - \sum_k \sum_p CUP_{kp} \sum_l \sum_m QPC_{klmps} \\ & - \sum_j CFR_j R_j - \sum_j \sum_p CUR_{jp} \sum_k \sum_m QRP_{jkmps} \end{aligned} \quad (1-3)$$

معادله (۲-۳) اثرات نامساعد زیست محیطی زنجیره تأمین را حداقل می‌کند

$$\begin{aligned} \min f_2 = & \sum_s PS_s (\\ & \sum_m IT_m (\sum_i \sum_j \sum_p QSR_{ijmps} d_{ij}^{SR} \\ & + \sum_j \sum_k \sum_p QRP_{jkmps} d_{jk}^{RP} \\ & + \sum_k \sum_l \sum_p QPC_{klmps} d_{kl}^{PC}) \\ & + IE (\sum_k Cfe_k P_k + \sum_j Cfe_j R_j + \sum_p Cve_p \sum_k \sum_l \sum_m QPC_{klmps}) \\ & + IP (\sum_k \alpha_k P_k + \sum_j \beta_j R_j) + IA \sum_p Cva_p \sum_k \sum_l \sum_m QPC_{klmps} \end{aligned} \quad (2-3)$$

معادله (۳-۳) به حداکثر کردن سطح خدمات‌دهی به مشتریان و تأمین کنندگان می‌پردازد.

$$\max f_3 = \sum_s P_s \left(\frac{\left[\sum_k \sum_l \sum_m \sum_p QPC_{klmps} + \sum_i \sum_j \sum_m \sum_p QSR_{ijmps} \right]}{\left[\sum_l \sum_p D_{lps} + \sum_i \sum_p G_{ip} \right]} \right) \quad (3-3)$$

۴-۳- محدودیت‌های مدل

محدودیت‌های مدل توسط معادلات (۴-۳) تا (۱۹-۳) نشان داده شده است.

$$\sum_j \sum_m QSR_{ijmps} \leq G_{ip} \quad \forall i, p, s \quad (4-3)$$

$$\sum_k \sum_m QRP_{jkmps} \leq \sum_i \sum_m QSR_{ijmps} \quad \forall j, p, s \quad (5-3)$$

$$\sum_l \sum_m QPC_{klmps} \leq \sum_j \sum_m QRP_{jkmps} \quad \forall k, p, s \quad (6-3)$$

$$\sum_l \sum_m QPC_{klmps} \leq C_{kp} \quad \forall k, p, s \quad (۷-۳)$$

$$\sum_k \sum_m QPC_{klmps} \leq D_{lps} \quad \forall l, p, s \quad (۸-۳)$$

$$\sum_p \frac{QSR_{ijmps}}{CT_{mp}} + HSR_{ijms} = VSR_{ijms} \quad \forall i, j, m, s \quad (۹-۳)$$

$$\sum_p \frac{QRP_{jkmps}}{CT_{mp}} + HRP_{jkms} = VRP_{jkms} \quad \forall j, k, m, s \quad (۱۰-۳)$$

$$\sum_p \frac{QPC_{klmps}}{CT_{mp}} + HPC_{klms} = VPC_{klms} \quad \forall k, l, m, s \quad (۱۱-۳)$$

$$VSR_{ijms} + HSR_{ijms} \geq 0 \quad \forall i, j, m, s, \quad (-1 < HSR_{ijms} < 1) \quad (۱۲-۳)$$

$$VRP_{jkms} + HRP_{jkms} \geq 0 \quad \forall j, k, m, s, \quad (-1 < HRP_{jkms} < 1) \quad (۱۳-۳)$$

$$VPC_{klms} + HPC_{klms} \geq 0 \quad \forall k, l, m, s, \quad (-1 < HPC_{klms} < 1) \quad (۱۴-۳)$$

$$\sum_i \sum_j VSR_{ijms} + \sum_j \sum_k VRP_{jkms} + \sum_k \sum_l VPC_{klms} \leq NV_m \quad \forall m, s \quad (۱۵-۳)$$

$$\sum_k \sum_m \sum_p QRP_{jkmps} \leq M R_j \quad \forall j, s \quad (۱۶-۳)$$

$$\sum_l \sum_m \sum_p QPC_{klmps} \leq M P_k \quad \forall k, s \quad (۱۷-۳)$$

$$QRP_{jkmps}, QPC_{klmps}, QSR_{ijmps}, VPC_{klms}, VRP_{jkms}, VSR_{ijms} \geq 0 \quad (۱۸-۳)$$

$$R_j, P_k \in \{0, 1\} \quad (۱۹-۳)$$

معادلات (۳-۹) تا (۳-۱۱) تعادل بین دو امکانات را در ارتباط با تعداد حمل و نقل را حفظ می‌کنند. از آنجا که تعداد حمل و نقل باید یک مقدار عدد صحیح باشد، برای حفظ امکان پذیر بودن مدل، مجموعه‌ای از متغیرهای بی‌اثر پیشنهاد شده است. معادلات (۳-۱۲) تا (۳-۱۴) تضمین می‌کنند که متغیرهای بی‌اثر تنها بر تفاوت‌های مربوط به تعداد حمل و نقل تمرکز می‌کنند.

معادلات (۳-۴) تا (۳-۶) جریان مواد را از طریق شبکه زنجیره تأمین تضمین می‌کنند. میزان خروجی از هر مرکز، حداکثر برابر است با میزان ورودی از مراکز مختلف در سطح قبلی زنجیره تأمین.

معادلات (۳-۷) و (۳-۸) به ترتیب تضمین می‌کنند که میزان جریان مواد از مقدار حداکثر ظرفیت کارخانجات بازیافت و تقاضای نهایی، تجاوز نکنند.

بخش دوم نمایش جواب نشان دهنده‌ی تخصیص و میزان جریان از مراکز ارائه دهنده‌ی پسماند به مراکز جمع‌آوری، از مراکز جمع‌آوری به مراکز بازیافت و از مراکز بازیافت به مشتری‌ها می‌باشد.

X^3	L^1	L^2	L^3
K^1	۳	۲	۱
K^2	۰	۰	۰
K^3	۰	۰	۰

X^4	K^1	K^2	K^3
J^1	۰	۰	۰
J^2	۰	۰	۰
J^3	۰	۰	۰
J^4	۰	۰	۰
J^5	۴	۰	۰

X^5	J^1	J^2	J^3	J^4	J^5
I^1	۰	۰	۰	۰	۳
I^2	۰	۰	۰	۰	۲
I^3	۰	۰	۰	۰	۵
I^4	۰	۰	۰	۰	۱
I^5	۰	۰	۰	۰	۱

شکل ۴: ماتریس نمایش جواب تخصیص

در شکل ۴ بخش‌هایی از هر یک از قسمت‌ها آورده شده است. به عنوان مثال در قسمت اول در شکل زیر که یک ماتریس با ابعاد K^*L می‌باشد میزان جریان از مراکز بازیافت k به مشتری l برای روش حمل و نقل $m=1$ و محصول $p=1$ در سناریوی $s=1$ نشان داده شده است.

براساس شکل ۴ مشاهده می‌شود که میزان جریان محصول ۱ از مرکز بازیافت ۱ به مشتری ۱ توسط روش حمل و نقل ۱ در سناریوی ۱ برابر با ۳ می‌باشد. همچنین براساس قسمت دوم بخش دوم نمایش جواب (X^4) مشاهده می‌شود که از مراکز جمع‌آوری ۱، ۲، ۳، ۴ به مراکز بازیافت جریانی وجود ندارد و به این دلیل است که براساس بخش اول نمایش جواب مکانیابی، این مراکز جمع‌آوری احداث نشده‌اند. در این حالت نیز هر مجموعه جواب یک کروموزوم و هر سلول از آن یک ژن تلقی می‌گردد.

۲-۴- نتایج حل مدل اولیه

جدول شماره ۴ مشخصات زنجیره تأمین در مدل اولیه را نشان می‌دهد. احتمال وقوع هر سناریو هم با استفاده از روش AHP بدست آمده است که برای سناریوی ۱ و ۲ به ترتیب برابر است با: $0.52/4$ و $0.47/6$ ، در این حالت مقدار M بزرگ برابر با ۱۰۰۰۰ در نظر گرفته شده است.

معادله (۳-۱۵) تعداد سفرها را برای هر حالت حمل و نقل محدود می‌کند.

مطابق معادلات (۳-۱۶) و (۳-۱۷)، متغیرهای دودویی باید فرض شود که اگر یک مرکز جمع‌آوری یا کارخانه بازیافت در مدل استفاده شود مقدار ۱ و در غیر این صورت صفر. در نهایت، معادلات (۳-۱۸) و (۳-۹)، ماهیت متغیرها را نشان می‌دهد.

۴- نتایج

از آنجائیکه ابعاد مسئله اصلی از حیث عمق مدل و داده‌های زیاد با روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی قابل حل نمی‌باشد، ابتدا مدل تحقیق در مقیاس کوچکتر و داده‌های کمتر تحت عنوان "مدل اولیه" که امکان حل آن با روش اپسیلون محدودیت تکامل یافته فراهم باشد حل گردیده و متعاقباً نسبت به حل آن از طریق الگوریتم NSGA-II اقدام می‌گردد. همچنین کارایی الگوریتم NSGA-II از طریق حل چند مثال در مدل تحقیق ارائه شده مورد بررسی و معیارهای مربوطه محاسبه می‌شوند و با اطمینان از اعتبار مدل و با توجه به Np-hard بودن مسئله اصلی، مدل مربوط به مطالعه موردی تحت عنوان "مدل اصلی" از طریق الگوریتم NSGA-II حل و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد و در پایان تحلیل حساسیت بر روی مدل اولیه پیاده‌سازی خواهد شد. قبل از حل مدل، نحوه تعریف کروموزوم در الگوریتم NSGA-II پژوهش حاضر بیان می‌شود.

۴-۱- تعریف کروموزوم‌ها در الگوریتم NSGA-II

ماتریس نمایش جواب در مدل دارای ۲ بخش مکان‌یابی و تخصیص می‌باشد. بخش مکان‌یابی نیز دارای دو قسمت بوده که قسمت اول مربوط به مکان‌یابی مراکز جمع‌آوری (J) و قسمت دوم مربوط به مکان‌یابی مراکز بازیافت (K) می‌باشد. درایه‌های این ماتریس با اعداد ۰ و ۱ پر می‌شود و در صورتی که $J=5$ و $K=3$ باشد، نمونه‌ای از این ماتریس در شکل ۳ آمده است.

	J^1	J^2	J^3	J^4	J^5
X^1	۰	۰	۰	۰	۱

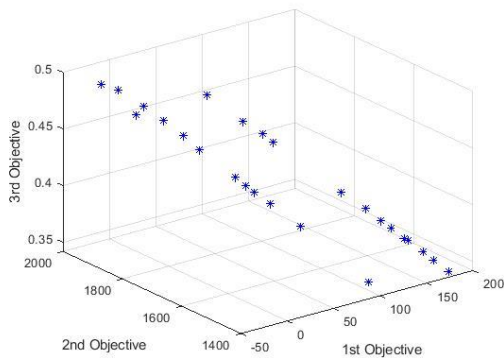
	K^1	K^2	K^3
X^2	۱	۰	۰

شکل ۳: ماتریس نمایش جواب مکانیابی

براساس شکل ۳ مشاهده می‌شود که مرکز جمع‌آوری ۵ احداث شده و مراکز جمع‌آوری ۱، ۲، ۳، ۴ احداث نشده‌اند. همچنین مرکز بازیافت ۱ احداث شده و مراکز بازیافت ۲ و ۳ احداث نشده‌اند. هر مجموعه جواب یک کروموزوم تلقی می‌گردد.

جدول ۴: مشخصات مدل اولیه

تعداد ارائه دهندگان پسماند	۲	تعداد مراکز جمع آوری	۲
تعداد کارخانه بازیافت	۲	تعداد مشتریان	۲
حالات حمل و نقل	۲	تعداد سناریو ها	۲
تعداد محصولات	۲		



شکل ۶: مجموعه نقاط پارتو حاصل از الگوریتم NSGA-II در مدل اولیه

زمان حل گمز در این مدل، هر چند که ابعاد مسئله پایین است برابر با ۳۲۶ ثانیه می‌باشد که با افزایش ابعاد مسئله این زمان به شدت افزایش می‌یابد. در جداول ۵ و ۶ مشاهده می‌شود که با بدتر شدن مقدار تابع هدف اول، مقادیر تابع هدف دیگر بدتر نمی‌شوند؛ به عبارت دیگر یا این مقادیر ثابت مانده و یا به مقدار بهینه خود نزدیک می‌شوند که این همان روندی است که از مدل‌های چندهدفه انتظار می‌رود.

۴-۳- اعتبارسنجی مدل

به جهت ارزیابی کارایی مدل و به منظور مقایسه عملکرد الگوریتم NSGA-II با روش اپسیلون محدودیت، ۵ مثال با ابعاد مختلف بطور تصادفی بر روی مدل تحقیق تشکیل داده و معیارهای مقایسه کارایی الگوریتم‌های چندهدفه محاسبه که نتایج در جدول ۷ مشاهده و همانگونه که درنتایج دیده میشود استفاده از الگوریتم NSGA-II اعتبار لازم برای حل مدل اصلی را دارد.

جدول ۶: مجموعه نقاط پارتو NSGA-II برای مدل اولیه

شماره جواب	مقدار تابع هدف سوم	مقدار تابع هدف دوم	مقدار تابع هدف اول
۱	۰,۴۸۷۶	۱۹۶۱,۶۵	-۲۱,۵۱
۲	۰,۴۸۱۹	۱۹۴۴,۲	-۸,۱
۳	۰,۴۶	۱۹۲۰,۵۹	۳,۶۵
۴	۰,۴۷۰۶	۱۸۹۶,۳۷	۳,۸۵
۵	۰,۴۶۰۷	۱۸۶۰,۶۸	۱۳,۴

جدول ۵: مجموعه نقاط پارتو GAMS برای مدل اولیه

شماره جواب	مقدار تابع هدف سوم	مقدار تابع هدف دوم	مقدار تابع هدف اول
۱	۰,۸	۲۲۷۱,۶۴	۱۲۸,۱۷-
۲	۰,۶	۱۱۳۵,۸۲	۲۴۷,۰۵-
۳	۰,۴۱	۸۰۱,۱۷	۹۲,۴۷-
۴	۰,۲	۱۱۳۵,۸۲	۶۷,۷۸
۵	۰,۶	۲۲۷۱,۶۴	۸۷,۷۷

جدول ۷: نتایج مقایسه شاخص‌ها برای ۵ مثال توسط الگوریتم‌های NSGA-II و روش اپسیلون محدودیت

ردیف	Epsilon Constraint					NSGA-II				
	MID	Spacing	Diversity	Nos	Time(s)	MID	Spacing	Diversity	Nos	Time(s)
۱	۸۵۵۶,۵۹	۵۱,۷۳	۲۵۶۲,۲۲	۱۴	۸	۷۲۸۳,۲۷	۱۳,۰۵	۲۸۵۸,۳۵	۹۶	۵۵,۹۶
۲	۷۵۷۴,۸	۷۳,۳۷	۳۸۲۰,۵۷	۱۶	۱۳	۷۷۴۹,۳۶	۷۹,۹۱	۲۲۴۷,۹۹	۹۷	۶۳,۷۳
۳	۵۳۸۳,۴۶	۱۸۱,۷۳	۶۷۰۹,۳۴	۲۳	۴۸	۶۷۲۰,۷	۳۰,۸۲	۳۶۱۶,۲۳	۹۸	۵۸,۴۳

جدول ۷: نتایج مقایسه شاخص‌ها برای ۵ مثال توسط الگوریتم‌های NSGA-II و روش اپسیلون محدودیت

ردیف	Epsilon Constraint					NSGA-II				
	MID	Spacing	Diversity	Nos	Time(s)	MID	Spacing	Diversity	Nos	Time(s)
۴	۶۳۱۷,۷۸	۱۸۱,۴۱	۵۲۰۹,۷۴	۱۶	۹۳	۷۱۵۰,۸۹	۲۸,۷۷	۲۴۲۳,۵۲	۹۹	۵۷,۶۸
۵	۷۱۰۹,۷۱	۲۴۲,۹۸	۵۲۱۹,۶۲	۱۸	۴۰۷	۷۹۰۳,۳۴	۱۳,۸۸	۱۶۵۰,۵۲	۹۵	۵۸,۵۳

مشابهی برسد. تاثیرگذارترین پارامترها در الگوریتم NSGA-II تعداد جمعیت اولیه (nPop)، تعداد تکرار (MaxIt)، نرخ تقاطع (Pc)، نرخ جهش (Pm) می‌باشد که با استفاده از مجموعه آزمایشات روش تاگوچی پارامترهای این الگوریتم بر اساس معیارهای مقایسه‌ای برای ۹ آزمایش مطابق گام‌های زیر تعیین گردیده است.

۴-۱- تعیین آزمایش‌ها

در الگوریتم NSGA-II چهار عامل پارامتر MaxIt, nPop, Pc و Pm باید در سطوح بهینه تنظیم شوند. برای این منظور، ابتدا برای هر پارامتر سه سطح کم (۱)، متوسط (۲) و زیاد (۳) در نظر گرفته می‌شود که در جدول ۸ آورده شده است.

جدول ۸: مقداردهی به عوامل پارامترهای

NSGA-II در سه سطح

پارامتر/عامل NSGA-II	سطح کم (۱)	سطح متوسط (۲)	سطح زیاد (۳)
MaxIt	۶۰	۸۰	۱۰۰
nPop	۵۰	۷۰	۱۰۰
Pc	۰,۷	۰,۸	۰,۹
Pm	۰,۱۵	۰,۲۵	۰,۳۵

سپس مجموعه آزمایشات پیشنهادی روش تاگوچی برای ۴ عامل در ۳ سطح محاسبه شده که برای ۹ آزمایش در جدول ۹ نشان داده شده است.

جدول ۹: آزمایشات طراحی شده به روش تاگوچی

برای تنظیم پارامترهای الگوریتم NSGA-II

شاخص متوسط فاصله از نقطه‌ی ایده آل (MID) برای هر یک از اعضای جبهه‌ی پارتو، متوسط فاصله از نقطه‌ی ایده آل را محاسبه می‌کند و مقدارش هرچقدر کمتر باشد بهتر است. همانطور که مشاهده می‌شود عملکرد روش E.C در دو مجموعه جواب بهتر از الگوریتم NSGA-II می‌باشد ولی با افزایش ابعاد مسئله روش E.C کارایی خود را از دست می‌دهد. از آنجائیکه این اختلاف بسیار زیاد نیست، در کل هر دو شاخص عملکرد مناسبی از خود نشان داده است.

شاخص یکنواختی فضا یا Spacing، توزیع جواب‌های موجود در جبهه‌ی پارتویی را ارزیابی می‌کند. مقدار کم این معیار، بیانگر توزیع یکنواخت تر جواب در پارتوی شناسایی شده می‌باشد. بر اساس جدول ۷ مشاهده می‌شود که کارایی الگوریتم NSGA-II بالاتر از روش E.C می‌باشد.

شاخص پراکندگی یا Diversity وسعت جواب‌های پارتویی یک الگوریتم را نشان می‌دهد. مقادیر بزرگتر این معیار بیانگر پخش بودن بهتر جواب‌ها می‌باشد. براساس نتایج بدست آمده مشاهده می‌شود که روش E.C ارائه شده بهتر از الگوریتم NSGA-II عمل کرده است.

شاخص تعداد اعضای جبهه‌ی پارتو یا NOS تعداد اعضای موجود در اولین جبهه از آخرین جواب‌های موجود در جمعیت را نشان می‌دهد و مقدارش هرچقدر بیشتر باشد بهتر است. براساس نتایج مشاهده می‌شود الگوریتم NSGA-II تعداد اعضای پارتویی بیشتری را نتیجه می‌دهد و دست تصمیم گیرنده در تصمیم گیری را باز می‌گذارد.

منطقی است که با افزایش ابعاد مسئله، زمان حل الگوریتم‌ها افزایش پیدا کند. لذا براساس نتایج نیز همین روند دیده شده و مشاهده می‌شود که با افزایش ابعاد مسائل، زمان حل روش E.C بصورت نمایی افزایش پیدا می‌کند و این روش در مسائل با ابعاد بالا، عملاً کارایی خود را از دست می‌دهد. در صورتی که برای الگوریتم NSGA-II تقریباً ثابت است.

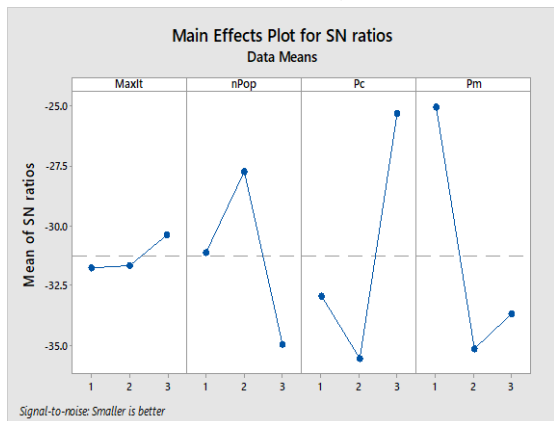
۴-۴- تنظیم پارامترهای الگوریتم NSGA-II

از آنجا که الگوریتم‌های غیردقیق و فراابتکاری تضمین کننده‌ی یافتن جواب بهینه‌ی سراسری نیستند، ممکن است در هر بار استفاده از این الگوریتم‌ها، جواب و عملکرد متفاوتی از الگوریتم مشاهده شود. لذا یک الگوریتم فراابتکاری زمانی خوب عمل می‌کند که در هر بار استفاده به جواب‌های تقریباً

نتایج و محاسبه‌ی متغیر پاسخ، در جدول ۱۱ مشاهده می‌شود.

۴-۴-۴- انجام تحلیل با استفاده از نرم افزار مینی تب^۲

در مرحله‌ی آخر بر اساس متغیر پاسخ محاسبه شده در مرحله‌ی قبل، نرخ S/N محاسبه و سطوح بهینه‌ی پارامترهای ورودی مشخص می‌شود (این عملیات توسط نرم افزار Minitab انجام گرفته است).



شکل ۷: خروجی مینی تب برای تنظیم پارامتر الگوریتم NSGA-II

با توجه به شکل ۷ و جداول بالا، سطوح بهینه برای پارامترهای الگوریتم مورد بررسی در جدول ۱۲ آمده است:

جدول ۱۲: سطوح بهینه‌ی تعیین شده برای الگوریتم NSGA-II

	MaxIt	nPop	Pc	Pm
NSGA-II	سطح ۳	سطح ۲	سطح ۳	سطح ۱
	۱۰۰	۷۰	۰,۹	۰,۱۵

جدول ۱۰: نتایج حاصل از آزمایشات الگوریتم NSGA-II

No.	MID	Spacing	Diversity	Nos	Time(s)
۱	۷۶۳۶,۴	۲۳,۴	۱۸۶۹,۳	۵۰	۲۷,۴
۲	۷۷۲۵,۷	۱۹,۶	۲۳۲۹,۹	۶۸	۴۸,۴
۳	۷۶۷۷,۵	۲۲,۴	۲۴۵۳,۴	۱۰۰	۱۳۰,۴
۴	۷۷۴۵,۱	۷۰,۸	۲۶۷۷,۱	۴۹	۴۲,۷
۵	۷۶۱۵,۱	۵۸,۱	۳۰۴۱,۴	۶۹	۶۹,۵
۶	۷۸۰۱,۷	۹۱,۸	۳۰۱۹,۳	۹۷	۱۲۵,۹
۷	۷۶۴۰,۱	۳۲,۱	۱۹۲۴,۵	۴۸	۴۸,۷
۸	۷۶۷۰,۵	۳۹,۲	۲۸۵۶,۵	۷۰	۸۵,۵
۹	۷۶۷۸,۴	۳۰,۶	۲۵۹۸,۷	۹۸	۱۵۲,۹

آزمایش	MaxIt	nPop	Pc	Pm
۱	۱	۱	۱	۱
۲	۱	۲	۲	۲
۳	۱	۳	۳	۳
۴	۲	۱	۲	۳
۵	۲	۲	۳	۱
۶	۲	۳	۱	۲
۷	۳	۱	۳	۲
۸	۳	۲	۱	۳
۹	۳	۳	۲	۱

۴-۴-۲- محاسبه‌ی نتایج آزمایش‌ها

در جدول ۸ سطوح پارامترهای NSGA-II مشاهده می‌شود که برای هر پارامتر، سه سطح متفاوت در نظر گرفته شده است. در جدول ۹ آزمایشات طراحی شده برای تنظیم پارامترهای الگوریتم NSGA-II نشان داده شده است. به عنوان مثال، آزمایش شماره ۲ مربوط به الگوریتم NSGA-II، مربوط به حالتی است که پارامتر تعداد تکرار در سطح پایین و پارامترهای تعداد جمعیت، نرخ تقاطع و نرخ جهش در سطح متوسط قرار دارد. در جدول ۱۰ نتیجه‌ی اجرای الگوریتم NSGA-II برای ۹ آزمایش در مدل تحقیق آورده شده است.

۴-۴-۳- نرمال سازی نتایج و تعیین متغیر پاسخ

بر اساس جدول ۱۰ برای ایجاد یک خروجی از هر آزمایش و جهت پنج معیار، با استفاده از تکنیک بی واحد نمودن فازی و رویکرد برنامه ریزی آرمانی، تمامی شاخص‌ها پس از نرمال سازی به یک پاسخ تبدیل می‌شوند. نرمال سازی

^۲ Minitab

^۱ Response

جدول ۱۱: نتایج نرمالایز شده و محاسبه پاسخ‌ها برای تنظیم پارامتر الگوریتم NSGA-II

No.	MID	Spacing	Diversity	Nos	Time(s)	Response
۱	۰,۱۱	۰,۰۵	۱	۰,۹۶	۰,۰۰	۲۲,۴۶
۲	۰,۵۹	۰,۰۰	۰,۶۱	۰,۶۲	۰,۱۷	۶۵,۸۹
۳	۰,۳۳	۰,۰۴	۰,۵	۰,۰۰	۰,۸۲	۳۹,۲۲
۴	۰,۷	۰,۷۱	۰,۳۱	۰,۹۸	۰,۱۲	۸۱,۳
۵	۰,۰۰	۰,۵۳	۰,۰۰	۰,۶	۰,۳۴	۶,۲۴
۶	۱	۱	۰,۰۲	۰,۰۶	۰,۷۹	۱۱۱,۰۵
۷	۰,۱۳	۰,۱۷	۰,۹۵	۱	۰,۱۷	۲۵,۳۷
۸	۰,۳	۰,۲۶	۰,۱۶	۰,۵۸	۰,۴۶	۳۵,۲۴
۹	۰,۳۴	۰,۱۵	۰,۳۸	۰,۰۴	۱	۴۰,۳۴

جدول ۱۳: مشخصات و پارامترهای اصلی مدل در مطالعه موردی

تعداد ارائه دهندگان پسماند	۵	تعداد مراکز جمع‌آوری	۵	تعداد محصولات	۵
تعداد کارخانه بازیافت	۳	تعداد مشتریان	۳	-	-
حالات حمل و نقل	۲۲۵	تعداد سناریوها	۵	-	-

شماره جواب	مقدار تابع هدف سوم	مقدار تابع هدف دوم	مقدار تابع هدف اول
۱	۰,۴۷۳۸	۱۷,۵۷۰,۹۷۱,۶۳۳	۱,۱۶۸,۶۷۸,۰۳۲,۳۰۱
۲	۰,۵۸۶۴	۱۸,۲۵۸,۹۴۴,۷۳۴	۱,۵۳۵,۳۶۰,۴۲۸,۴۲۱
۳	۰,۵۹۱۲	۱۸,۱۷۹,۸۱۳,۵۰۶	۱,۵۳۲,۶۱۰,۱۹۷,۲۵۹
۴	۰,۳۶۶۲	۱۷,۵۸۵,۵۸۰,۸۴۵	۱,۲۲۶,۶۱۱,۷۵۱,۹۴۸
۵	۰,۵۳۳۷	۱۸,۲۵۱,۴۷۰,۳۱۲	۱,۵۳۴,۷۶۵,۱۴۰,۴۴۹

جدول ۱۶: تغییرات مجموعه نقاط پارتو برای مدل اولیه با تغییر مقدار تقاضا

شماره جواب	قبل از تغییر پارامتر تقاضا (میانگین تقاضا ۶,۰۰۵)			بعد از تغییر پارامتر تقاضا (میانگین تقاضا ۵,۴۰۵)		
	مقدار تابع هدف سوم	مقدار تابع هدف دوم	مقدار تابع هدف اول	مقدار تابع هدف سوم	مقدار تابع هدف دوم	مقدار تابع هدف اول
۱	۰,۸	۲۲۷۱,۶۴	۱۲۸,۱۷-	۰,۸	۲۱۱۷,۳۲	۱۷۰,۵۷-
۲	۰,۶	۱۱۳۵,۸۲	۲۴۷,۰۵-	۰,۴۱	۸۰۱,۱۷	۹۲,۴۷-
۳	۰,۴۱	۸۰۱,۱۷	۹۲,۴۷-	۰,۲	۱۰۵۸,۶۶	۴۲,۵۷
۴	۰,۲	۱۱۳۵,۸۲	۶۷,۷۸	۰,۶	۲۱۱۷,۳۲	۴۹,۱۵
۵	۰,۶	۲۲۷۱,۶۴	۸۷,۷۷	۰,۰۸	۱۰۵۸,۶۶	۱۵۸,۸۲

۴-۵- نتایج حل مدل اصلی (مطالعه موردی)

جدول شماره ۱۳ مشخصات مدل اصلی مربوط به مطالعه موردی را نشان می‌دهد.

بر اساس شرایط سازمان مورد مطالعه ۵ حالت قابل وقوع برای این شرایط تعریف شده که هر حالت یک سناریو تلقی می‌گردد که داده‌های متفاوتی را به خود اختصاص می‌دهد.

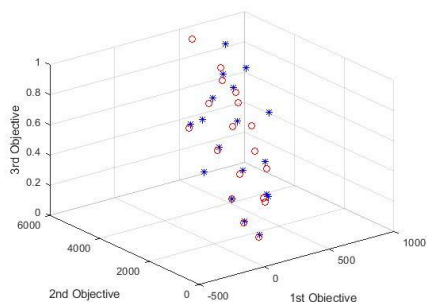
احتمال وقوع هر سناریو هم با استفاده از روش AHP بدست آمده است که برای سناریوی ۱ تا ۵ به ترتیب برابر است با: ۱۶٪، ۲۲٪، ۴۸٪، ۹٪، ۵٪، در مدل اصلی نیز مقدار M بزرگ برابر با ۱۰۰۰۰ در نظر گرفته شده است.

همانگونه که گفته شد از آنجایی که سبب مسئله مطالعه موردی بالاست و GAMS قادر به حل آن در زمان قابل

	MaxIt	nPop	Pc	Pm
NSGA-II	۱۰۰	۱۰۰	۰,۶	۰,۳

۵- بحث روی نتایج پژوهش و تحلیل حساسیت

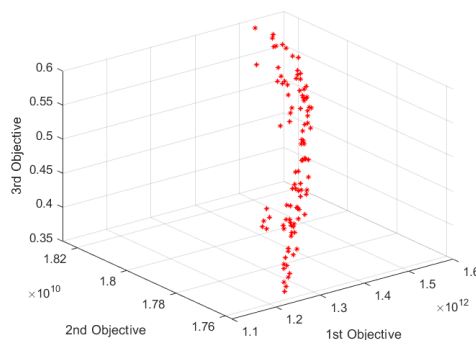
در تحقیق حاضر، مدل بصورت توابع چند هدفه تشکیل و بر اساس شرایط عدم قطعیت تقاضا بر اساس ۵ سناریوی تعریف شده به روش اپسیلون محدودیت تکامل یافته و الگوریتم NSGA-II مورد حل و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. از آنجائیکه مدل به دلیل گستردگی عمق و داده‌های زیاد در حل از طریق گمز، بصورت Np-hard خواهد بود و قابلیت دستیابی به جواب بهینه را ندارد، اعتبارسنجی مدل و تحلیل حساسیت بر روی مدل‌هایی در مقیاس کوچکتر انجام گردید. نتایج معیارهای مقایسه‌ای نشان داد که نتایج مدل با الگوریتم NSGA-II نتایج قابل قبولی را به همراه داشته و مدل اصلی نیز بر این اساس حل شد. همچنین سطوح بهینه‌ی پارامترهای الگوریتم NSGA-II در مدل اولیه بر اساس روش طراحی آزمایشات تاگوچی تنظیم گردید. به منظور بررسی چگونگی تغییرپذیری مقادیر توابع هدف، تحلیل حساسیت نسبت به برخی از پارامترها انجام و با توجه به چند هدفه بودن مدل دو نوع تحلیل صورت گرفت. نوع اول بدین صورت می‌باشد که تغییر مقادیر پارتو نسبت به تغییر یک پارامتر بررسی می‌شود. در تحقیق حاضر این نوع تحلیل نسبت به تغییر پارامتر تقاضا در مدل اولیه صورت گرفت که ۱۰ درصد کاهش یافته و نتایج حاصل از این تحلیل حساسیت در جدول ۱۶ و شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰: مجموعه نقاط پارتو برای مدل اولیه با تغییر مقدار تقاضا

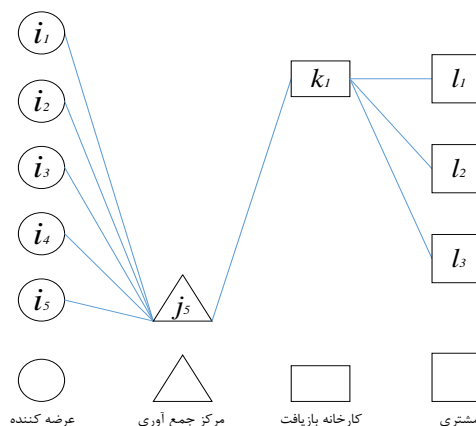
همانگونه که مشاهده میشود با کاهش میانگین تقاضا، مقدار توابع هدف نیز کاهش پیدا کرده است. چرا که هزینه‌های حمل و سایر موارد با کاهش مقدار تقاضا کاهش می‌یابد. در شکل ۱۰ ستاره‌ها بیانگر پارتوهای قبل از تغییر و دایره‌ها بیانگر پارتوهای بعد از تغییر می‌باشد.

قبول نیست، بر اساس الگوریتم NSGA-II مدل اصلی در نرم افزار MATLAB حل گردیده که نقاط پارتو مطابق جدول ۱۴ و شکل ۹ ارائه شده است. در حل مدل توسط نرم افزار و نتایج توابع هدف در ۱۰۰ نقطه پارتوی جواب، نتایج ذیل حائز توجه میباشد:



شکل ۹: مجموعه نقاط پارتو برای مطالعه موردی

همانگونه که انتظار میرفت به دلیل هزینه‌های بالای احداث تسهیلات در صنعت فولاد، ۱ مرکز (مرکز شماره ۵) از ۵ مرکز جمع آوری کاندید شده و ۱ کارخانه (کارخانه شماره ۱) از ۳ کارخانه بازیافت/تولید کاندید شده برای احداث، در حل مدل انتخاب شده است که پاسخ مناسبی برای مطالعه موردی میباشد. به این طریق شماتیک زنجیره تأمین معکوس مدل پس از حل مطابق شکل ۸ تغییر می‌یابد.



شکل ۸: شماتیک زنجیره تأمین معکوس مدل پس از حل

همچنین مقادیر عملگرهای الگوریتم NSGA-II در حل مدل اصلی به شرح جدول ۱۵ میباشد.

جدول ۱۵: مقادیر عملگرهای الگوریتم

NSGA-II برای مطالعه موردی

آلایندگی زیست محیطی در بخش انرژی و سوخت به میزان قید شده در فوق به انضمام کاهش ۱۲/۹٪ هزینه های عملیاتی سازمان در تولید محصول نهایی در شبکه لجستیک معکوس

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این پژوهش، مدل غیرخطی تحت شرایط عدم قطعیت به روش برنامه‌ریزی استوار مبتنی بر سناریو برای برنامه‌ریزی زنجیره تأمین معکوس ارائه شد. رویکردهای مورد استفاده در این تحقیق ضمن یکپارچه نمودن تصمیمات برنامه‌ریزی کلی و برنامه‌ریزی زنجیره تأمین، شامل دو گام اساسی می‌باشند: در گام اول؛ تصمیمات کلان تولید، نظیر تعداد و مکان تسهیلات شامل: تعداد مراکز جمع‌آوری/بازرسی و کارخانجات بازیافت/تولید و موقعیت مکانی آنها تعیین و مورد بررسی قرار می‌گیرد. در گام دوم، با تحقق تصمیمات مربوط به گام اول، در مورد میزان و نحوه تأمین محصولات برگشتی از ارائه دهندگان، میزان و نحوه توزیع محصولات جدید به مشتریان به همراه برنامه‌ریزی لجستیک آن، تصمیم‌گیری می‌شود. تصمیمات مربوط به گام اول و دوم همگی مبتنی بر پیش‌بینی‌های صحیح، مقادیر واقعی پارامترها و روش‌های حل صحیح صورت گرفته است. مدل با فرضیات اساسی نظیر عدم قطعیت در تقاضا برای محصولات نهایی و نیز پارامترهای هزینه‌ای و شاخص‌های زیست محیطی حاکم بر صنعت مورد مطالعه نشان داد که می‌تواند بصورت یکپارچه نسبت به بهینه‌سازی اهداف و تعیین تعداد و مکان تسهیلات لازم و برنامه ریزی حمل و نقل بین سطوح مختلف زنجیره در صنعت فولاد، کارایی لازم را به همراه داشته باشد. از جمله نوآوری‌های این تحقیق می‌توان به یکپارچه نمودن تصمیمات کلان و عملیاتی، در نظر گرفتن اهداف چندگانه و بررسی یکپارچه حداکثر سازی سود عملیاتی سازمان، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به عنوان شاخص آلایندگی سیستم و برآورده‌سازی رضایت مشتریان به عنوان آثار اجتماعی مدل، بررسی همزمان یک مدل چند هدفه با ویژگی چند محصولی در شرایط عدم قطعیت تقاضا و بهره‌گیری از روش‌های بهینه‌سازی استوار مبتنی بر سناریو و الگوریتم فراابتکاری برای حل و اعتبارسنجی مدل طراحی شده اشاره کرد. از جمله محدودیت‌های تحقیق حاضر می‌توان به عدم دسترسی به اطلاعات نیروی انسانی و بهره‌وری نیروی کار که می‌توانست به کارایی مدل کمک‌های زیادی بنماید، وجود نرخ مصوب در محصولات و مواد اولیه صنعت فولاد که سبب گردید امکان بررسی تاثیرات متقابل تقاضای نهایی بر قیمت فروش مهیا نگردد و در نهایت در بررسی شاخص‌های زیست

تحلیل حساسیت نوع دوم بدین صورت می‌باشد که به ازای یکی از نقاط پارتو (در اینجا به ازای دهمین نقطه پارتو) این تحلیل انجام شود که برای پارامتر تقاضا انجام شده است. تغییرپذیری مقدار تابع هدف اول نسبت به میزان تقاضا در مدل اولیه به صورت جدول ۱۷ و شکل ۱۱ نشان داده شده است.

جدول ۱۷: تغییرات تابع هدف اول برای

مدل اولیه با تغییر مقدار تقاضا

ردیف	مقدار میانگین تقاضا	مقدار تابع هدف اول
۱	۹,۵۷	۴۵۹,۰۸
۲	۱۷,۷۶	۴۲۳,۲۳۷
۳	۳۰,۷۶۵	۳۶۹,۴۵
۴	۵۱,۹۹۴	۲۷۶,۱۵۵
۵	۸۲,۶۴۳	۹۰,۶۸۳



شکل ۱۱: تحلیل حساسیت تابع هدف اول بر حسب میانگین تقاضا

در جدول ۱۷ که توابع هدف دوم و سوم ثابت فرض شده اند و فقط تغییرات تابع هدف اول مورد بررسی قرار گرفته است، ملاحظه می‌شود که با افزایش میانگین تقاضا تابع هدف اول کاهش می‌یابد. در واقع با افزایش تقاضا، مقدار هزینه‌ها افزایش بیشتری نسبت به درآمد دارند.

در تجزیه و تحلیل نتایج، همانگونه که انتظار میرفت در بخش مکان‌یابی تسهیلات، ۱ مرکز جمع‌آوری از ۵ مرکز کاندید شده و ۱ کارخانه بازیافت از ۳ کارخانه کاندید شده انتخاب گردید. همچنین مقادیر توابع هدف در نقاط پارتوی مختلف نیز دارای معیار پراکندگی مناسب و قابل قبول بدست آمد. همچنین از نتایج موثر بر استفاده از شبکه لجستیک معکوس در واحدهای تولیدی صنعت فولاد می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: کاهش ۹۵٪ مصرف گاز، کاهش ۲۱٪ مصرف برق و کاهش حدود ۱٪ مصرف آب برای تولید مواد اولیه مشابه پسماند قابل بازیافت و همچنین کاهش

توسعه روش‌های ابتکاری و فرابابتکاری دیگر برای حل مدل و مدل‌سازی مسئله با در نظر گرفتن اهداف دیگری نظیر کمینه نمودن تغییر در سطح نیروی انسانی اشاره کرد.

illustration in electronics industry. Journal of Cleaner Production, ۱۱۳, ۶۶۲-۶۷۳

[۷] Nenes, G., & Nikolaidis, Y. (۲۰۱۲). A multi-period model for managing used product returns. International Journal of Production Research, ۵۰(۵), ۱۳۶۰-۱۳۷۶

[۸] Das, K., & Chowdhury, A. H. (۲۰۱۲). Designing a reverse logistics network for optimal collection, recovery and quality-based product-mix planning. International Journal of Production Economics, ۱۳۵(۱), ۲۰۹-۲۲۱

[۹] Guo, S., Aydin, G., & Souza, G. C. (۲۰۱۴). Dismantle or remanufacture? European Journal of Operational Research, ۲۳۳(۳), ۵۸۰-۵۸۳.

[۱۰] Niknejad, A., & Petrovic, D. (۲۰۱۴). Optimisation of integrated reverse logistics networks with different product recovery routes. European Journal of Operational Research, ۲۳۸(۱), ۱۴۳-۱۵۴.

[۱۱] Santibanez-Gonzalez, E. D., & Diabat, A. (۲۰۱۶). Modeling logistics service providers in a non-cooperative supply chain. Applied Mathematical Modelling, ۴۰, ۶۳۴۰-۶۳۵۸

[۱۲] Azadeh, A., Raoofi, Z., & Zarrin, M. (۲۰۱۵). A multi-objective fuzzy linear programming model for optimization of natural gas supply chain through a greenhouse gas reduction approach. Journal of Natural Gas Science and Engineering, ۲۶, ۷۰۲-۷۱۰

[۱۳] Memari, A., Rahim, A. R. A., & Ahmad, R. B. (۲۰۱۵). An integrated production-

محیطی، تعیین چندین شاخص زیست محیطی در انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌توانست بررسی کاملتری را به همراه داشته باشد. جهت پیشنهاد برای انجام تحقیقات آتی نیز میتوان به اعمال همبستگی بین تقاضای غیر قطعی و قیمت،

۷-منابع

[۱] Lee, D.H. & Dong, M. (۲۰۰۹). A heuristic approach to logistics network design for end-of-lease computer products recovery. Transportation Research E, ۴۴, ۴۵۵-۴۷۴

[۲] Chaabane, A., Ramudhin, A., & Paquet, M. (۲۰۱۲). Design of sustainable supply chains under the emission trading scheme. International Journal of Production Economics, ۱۳۵(۱), ۳۷-۴۹

[۳] Pishvae, M. S., Rabbani, M., & Torabi, S. A. (۲۰۱۱). A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty. Applied Mathematical Modelling, ۳۵(۲), ۶۳۷-۶۴۹.

[۴] Lasunon, P., Remsungnen, T., & Akararungruangkul, R. (۲۰۱۱). A stochastic tri-level programming model to minimize total cost in a supply chain planning with uncertainty demand. In Proceeding of ۲nd international conference on logistics and transport, Queenstown, New Zealand, ۶۹۳-۷۰۱

[۵] Boukherroub, T., Ruiz, A., Guinet, A., & Fondrevelle, J. (۲۰۱۵). An integrated approach for sustainable supply chain planning. Computers & Operations Research, ۵۴, ۱۸۰-۱۹۴

[۶] Talaei, M., Moghaddam, B. F., Pishvae, M. S., Bozorgi-Amiri, A., & Gholamnejad, S. (۲۰۱۶). A robust fuzzy optimization model for carbon-efficient closed-loop supply chain network design problem: a numerical

- algorithm. *Computers & Chemical Engineering*, ۱۰۹, ۹-۲۲
- [۲۰] Musavi, M., & Rayat, F. (۲۰۱۷). A Bi-Objective Green Truck Routing and Scheduling Problem in a Cross Dock with the Learning Effect. *Iranian Journal of Operations Research*, ۸(۱), ۲-۱۴
- [۲۱] Mogale, D. G., Kumar, M., Kumar, S. K., & Tiwari, M. K. (۲۰۱۸). Grain silo location-allocation problem with dwell time for optimization of food grain supply chain network. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, ۱۱۱, ۴۰-۶۹
- [۲۲] Dai, Z., Aqlan, F., Zheng, X., & Gao, K. (۲۰۱۸). A location-inventory supply chain network model using two heuristic algorithms for perishable products with fuzzy constraints. *Computers & Industrial Engineering*, ۱۱۹, ۲۳۸-۳۵۲.
- [۲۳] Khodaparasti, S., Bruni, M. E., Beraldi, P., Maleki, H. R., & Jahedi, S. (۲۰۱۸). A multi-period location-allocation model for nursing home network planning under uncertainty. *Operations Research for Health Care*.
<https://doi.org/10.1016/j.orhc.2018.01.005>
- [۲۴] Doolun, I. S., Ponnambalam, S. G., Subramanian, N., & Kanagaraj, G. (۲۰۱۸). Data driven hybrid evolutionary analytical approach for multi objective location allocation decisions: Automotive green supply chain empirical evidence. *Computers & Operations Research*.
<https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.01.008>
- distribution planning in green supply chain: a multi-objective evolutionary approach. *Procedia Cirp*, ۲۶, ۷۰۰-۷۰۵
- [۱۴] El-Sayed, M., Afia, N., & El-Kharbotly, A. (۲۰۱۰). A stochastic model for forward–reverse logistics network design under risk. *Computers & Industrial Engineering*, ۵۸(۳), ۴۲۳-۴۳۱
- [۱۵] Ramudhin, A., Chaabane, A., & Parquet, A.M. (۲۰۱۰). On the design of sustainable green supply chains”, *International Conference on Computers and Industrial Engineering, CIE*, ۹۷۹-۹۸۴
- [۱۶] Sarrafha, K., Rahmati, S. H. A., Niaki, S. T. A., & Zaretalab, A. (۲۰۱۵). A bi-objective integrated procurement, production, and distribution problem of a multi-echelon supply chain network design: A new tuned MOEA. *Computers & Operations Research*, ۵۴, ۳۵-۵۱
- [۱۷] Pishvae, M. S., & Khalaf, M. F. (۲۰۱۶). Novel robust fuzzy mathematical programming methods. *Applied Mathematical Modelling*, ۴۰(۱), ۴۰۷-۴۱۸
- [۱۸] Feitó-Cespón, M., Sarache, W., Piedra-Jimenez, F., & Cespón-Castro, R. (۲۰۱۷). Redesign of a sustainable reverse supply chain under uncertainty: A case study. *Journal of Cleaner Production*, ۱۵۱, ۲۰۶-۲۱۷.
- [۱۹] Rafie-Majd, Z., Pasandideh, S. H. R., & Naderi, B. (۲۰۱۸). Modelling and solving the integrated inventory-location-routing problem in a multi-period and multi-perishable product supply chain with uncertainty: Lagrangian relaxation