چشم‌انداز مدیریت صنعتی
سال نهم، شماره ۳۵، پاییز ۱۳۹۸
شاپا چاپی: ۹۸۷۴-۲۲۵۱، شاپا الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵
ص‌ص ۸۵ – ۵۵

بهینه‌سازی یکپارچه استوار برای زنجیره تأمین سبز حلقه‌بسته

صبا منوچهری*، علی تاجدین، بابک شیرازی*****

چکیده

با افزایش مخاطرات زیست‌محیطی و وضع قوانینی در این زمینه از سوی دولت‌ها و همچنین محدودیت منابع تولیدی، پژوهشگران توجه ویژه‌ای به طراحی شبکه‌های زنجیره تأمین حلقه‌بسته و سبز داشته‌اند. در این پژوهش، یک شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته دوهدفه، چنددوره‌ای، چندمحصولی و چندسطحی در شرایط عدم‌قطعیت ارائه شده است. عدم‌قطعیت در تقاضا و هزینه حمل‌ونقل در نظر گرفته شده و برای مقابله با این عدم‌قطعیت از بهینه‌سازی استوار استفاده شده است. شبکه زنجیره تأمین ارائه‌شده شامل چهار سطح در زنجیره تأمین روبه‌جلو و چهار سطح در زنجیره تأمین معکوس است. مدل ارائه‌شده یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط خطی باهدف حداکثرسازی سود و حداقل‌کردن آلایندگی ایجادشده ناشی از حمل‌ونقل محصولات و مراکز عملیاتی است. مدل پیشنهادی توسط نرم‌افزار لینگو حل شده و سپس مدل چندهدفه با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای بر پایه مطلوبیت بهبود داده شده است؛ درنهایت نتایج به‌دست‌آمده تجزیه‌وتحلیل شده است. مقایسه سناریوهای مختلف نشان می‌دهد، تابع هدف به‌شدت به پارامترهای عدم‌قطعیت حساس است و اثر عدم‌قطعیت در پارامترها را به‌طور هم‌زمان نشان می‌دهد؛ ازاین‌رو مدل‌سازی شبکه بر مبنای سناریوهای مختلف می‌تواند ابزار مناسبی برای تصمیم‌گیری در رویارویی با پارامترهای غیرقطعی و مبهم باشد.

کلیدواژه‌ها: زنجیره تأمین حلقه‌بسته؛ بهینه‌سازی استوار؛ برنامه‌ریزی آرمانی؛ عدم قطعیت.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۰۴، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۲۵.

*دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم و فنون مازندران.
**استادیار، دانشگاه علوم و فنون مازندران (نویسنده مسئول).
E-mail: Ali_tajdin@ustmb.ac.ir
*** دانشیار، دانشگاه علوم و فنون مازندران.

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر به دلایل مختلفی نظیر تصویب قوانین دولتی مربوط به حفظ محیط‌زیست، مسئولیت اجتماعی و فشارهای عمومی، طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته به‌شدت موردتوجه قرار گرفته است. هدف اولیه از این طراحی، استفاده دوباره از کالاهای معیوب و یا مستعمل با فرآیند بازیابی، جلوگیری از اتلاف بیشتر منابع، کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و حصول سودآوری در کنار ملاحظات اجتماعی و تجاری دیگر است. زنجیره تأمین حلقه‌بسته متشکل از زنجیره تأمین روبه‌جلو و زنجیره تأمین معکوس است. شبکه زنجیره تأمین پیشنهادی شامل چهار سطح در جریان مستقیم (تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان، مشتری) و چهار سطح در جریان معکوس (مراکز جمع‌آوری، جداسازی، بازیافت، انهدام) است. در این شبکه مواد خام توسط تأمین‌کنندگان، تأمین می‌شود و در کارخانه‌ها تولید و توسط مراکز توزیع به دست مشتری می‌رسد. بر اساس سیاست‌های حاکمیتی، مطالبه همگانی، مناطق جغرافیایی، نوع محصول و همچنین به دلیل نواقص و ایرادات محصول، محصول از طریق مراکز جمع‌آوری، جمع‌آوری شده و در مراکز جداسازی بسته به شرایط و وضعیت محصول به مراکز بازتولید، بازیافت و مراکز دفع ارسال می‌شود که از این طریق زنجیره حلقه‌بسته شکل می‌گیرد.

در این پژوهش یک مدل چندهدفه برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته با هدف بیشینه‌سازی سود و کمینه‌سازی آلایندگی‌های زیست‌محیطی ارائه شده است. طراحی صورت‌گرفته دارای شبکه‌ای چندلایه‌ای، چندمحصولی، چنددوره‌ای و ظرفیت محدودشده در شرایط عدم‌قطعیت است. برای جلوگیری از عدم‌قطعیت از رویکرد بهینه‌سازی استوار استفاده شده و عدم‌قطعیت بر روی پارامترهای تقاضا و هزینه حمل‌ونقل تعریف شده است. ساختار مقاله به‌گونه‌ای است که در بخش دوم به مرور مبانی نظری موضوع پرداخته می‌شود. در بخش سوم به تعریف مسئله پرداخته شده، در بخش چهارم نتایج عددی و در پایان نیز یافته‌ها و نتایج پژوهش و پیشنهادهای آتی مطرح خواهند شد.

نوآوری و سهم پژوهش، بررسی اثر عدم‌قطعیت در پارامترهای تقاضا و هزینه‌های حمل‌ونقل و همچنین بررسی هم‌زمان ۲ رکن پایداری در زنجیره تأمین اقتصادی و زیست‌محیطی است. رویکرد مدل، چنددوره‌ای و چندمحصولی است که می‌تواند این مطالعه را در محیط تولیدی عملی‌تر کند.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در مدیریت چرخه عمر یک محصول، چرخه‌ای وجود دارد که محصول در طول عمر خود مراحل مختلف آن را طی می‌کند. مراحلی که هر کدام ویژگی‌های خاصی دارند و نیازمند اقدامات ویژه‌ای هستند تا سازمان را قادر سازند که به بهترین شکل از آن محصول سود الزام را ببرد.

مبحث مدیریت چرخه عمر از مفاهیم بازاریابی خارج شد و غالباً در حوزه لجستیک و مدیریت زنجیره تأمین بررسی و رشد یافت؛ بنابراین در شرایط قطعی و غیرقطعی این چارچوب، چرخه عمر بسیاری از محصولات مدیریت شد؛ به‌خصوص موضوع «لجستیک معکوس» و «مدیریت بازگشتی‌ها» که مدنظر صاحب‌نظران و مهندسان صنایع قرار گرفته و چرخه عمر محصولات به شکل جامع‌تری گسترش یافته است [۶].

عالم تبریز و همکاران (۲۰۱۱) به طراحی و بهینه‌سازی شبکه لجستیک معکوس در شرایط عدم قطعیت با استفاده از الگوریتم ژنتیک پرداختند. در این مطالعه، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته احتمالی برای طراحی شبکه لجستیک معکوس ارائه شده است. مدل ارائه‌شده چندمحصولی و چنددوره‌ای است که هم‌زمان حمل‌ونقل و احداث تحصیلات را دربر می‌گیرد. هدف مدل کمینه‌سازی هزینه‌ها با درنظرگرفتن عدم قطعیت در تقاضای محصولات برگشتی است [۲].

رمضانی و همکاران (۲۰۱۳)، یک مدل چندهدفه احتمالی برای یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین روبه‌جلو/ معکوس و باهدف به‌حداکثررساندن سود و به‌حداقل‌رساندن قطعات معیوب از تأمین‌کنندگان تحت شرایط عدم‌قطعیت ارائه کردند. در این پژوهش با استفاده از روش حدی، مجموعه‌ای از جواب‌های بهینه پارتو به‌دست آمده و نیز ریسک‌های مالی مربوط به آن‌ها به‌منظور نشان‌دادن موازنه بین اهداف محاسبه شده است [۱۷]. سلیمانی و همکاران (۲۰۱۷)، یک شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته شامل تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، مراکز توزیع، مشتریان، مراکز انبار، مراکز بازگشت و مراکز بازیافت طراحی کردند. مدل‌سازی زنجیره با توجه به ملاحظات زیست‌محیطی، بهینه‌سازی سود کلی و کاهش روز کاری ازکارافتاده به‌دلیل حوادث شغلی و به‌حداکثررساندن پاسخ به تقاضای مشتری است. به‌منظور حل مدل، الگوریتم ژنتیک به کار رفت و چندین سناریو با جنبه‌های مختلف موردمطالعه قرار گرفت [۲۲].

سو (۲۰۱۴)، مطالعه‌ای با تمرکز بر ارتباط بین مواد نو و بازیافتی تحت هزینه‌های متغیر تولید، بازده ماشین‌ها و ظرفیت و مصرف انرژی انجام داد. در پژوهش وی یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی برای تحلیل رابطه عوامل در ارتباط با هزینه اثربخش و انتشار گاز CO_2 به‌کار رفت [۲۱]. دیابت و همکاران (۲۰۱۳)، مبحث زنجیره تأمین سبز را در زنجیره ترکیبی (مستقیم و معکوس) خود وارد کرده‌اند. در مبحث زنجیره تأمین سبز آلایندگی مواد اولیه‌ای که در تولید مورداستفاده قرار می‌گیرند نیز موردسنجش قرار می‌گیرد؛ بنابراین در این پژوهش این آلایندگی بر اساس میزان انتشار کربن ناشی از فرآیند تأمین مواد خام که می‌تواند برای هر تأمین‌کننده مقدار متفاوتی باشد و دیگری، میزان انتشار کربن ناشی از حمل‌ونقل مواد اولیه و انتقال آن‌ها به سایت تولیدی محاسبه می‌شود [۴]. گارک و همکاران (۲۰۱۵)، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط دوهدفه ارائه کردند که از گسترش زنجیره تأمین سنتی به

یک زنجیره تأمین حلقه‌بسته برای کنترل آسیب‌های زیست‌محیطی زنجیره از نظر افزایش فعالیت‌های حمل‌ونقل حاصل شده است و برای حل آن، رویکرد چندهدفه تعاملی پیشنهاد شده است [۷].

صفایی و همکاران (۲۰۱۷)، یک شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته برای بازیافت مقوا شامل چندین تأمین‌کننده و چند مرحله تولید در نظر گرفتند. آن‌ها یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح خطی مختلط ترکیبی با هدف حداکثرسازی سود برای بهینه‌سازی شبکه بازیافت مقوا و کاغذ ارائه دادند و برای مقابله با عدم‌قطعیت در تقاضا در شبکه از رویکرد بهینه‌سازی استوار استفاده کردند. مدل پیشنهادی مقادیر بهینه کاغذ پسماند، کاغذ، ورق و مقوا که در شبکه جریان دارند را تعیین کرد و برای نشان‌دادن کاربرد مدل یک شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته مقوا را بررسی کردند؛ و درنهایت نتایج محاسباتی، کارآمدی مدل پیشنهادی را برای شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته مقوا نشان داد [۱۹]. پدرام و همکاران (۲۰۱۷)، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط تک‌هدفه، چندمحصولی و غیرقطعی برای شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته با هدف حداکثرسازی سود کل ارائه کردند که عدم‌قطعیت در پارامترهای تقاضا، محصولات برگشتی و کیفیت محصولات برگشتی در شبکه تعریف شده است. آن‌ها برای مقابله با عدم‌قطعیت از رویکرد سناریومحور استفاده کردند [۲۰]. ژان و لیو (۲۰۱۱)، عدم‌قطعیت تقاضا، منابع و دردسترس‌بودن راه‌های ارتباطی را در مسئله مکان‌یابی و تخصیص در نظر گرفتند و از برنامه‌ریزی سناریو برای کنترل این عدم‌قطعیت بهره بردند [۲۷]. مت و زابینسکی (۲۰۱۰)، یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای برای فاز آمادگی توسعه دادند و موقعیت انبارها و سطوح موجودی آن‌ها را تعیین کردند و در آن عدم‌قطعیت با استفاده از سناریوسازی مدل شده است [۲۳].

لیستس و دکر (۲۰۰۵)، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح بر پایه سناریو برای طراحی شبکه زنجیره تأمین یکپارچه مستقیم/ معکوس تحت شرایط عدم‌قطعیت در تقاضا و همچنین نوع و کیفیت محصولات برگشتی در یک شبکه بازیافت سنگ مطرح کرد. وی از روش تجزیه برای حل مدل در نمونه‌های اندازه‌بزرگ بر اساس رویه شاخه و برش استفاده کرد [۹]. زیکوپالوس و همکاران (۲۰۱۵)، به بررسی و تحلیل افزایش کیفیت محصولات مرجوعی در زنجیره تأمین حلقه‌بسته در شرایط عدم‌قطعیت پرداختند و درنهایت تحلیلی از هزینه و دقت روش حل برای سودآوری را با یک روش عددی مختصر بیان کردند [۲۶]. نادری و پیشوایی (۲۰۱۷)، یک الگوریتم تجزیه سریع Benders را برای حل یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی مبتنی بر مخلوط سناریو و احتمالی دومرحله‌ای برای طراحی سیستم‌های جمع‌آوری آب‌وفاضلاب توسعه دادند [۱۶].

مرتضوی و سیف برقی (۲۰۱۸)، به مدل‌سازی دو هدفه مسئله مکان‌یابی تخصیص در یک زنجیره تأمین سبز با درنظرگرفتن سیستم حمل‌ونقل و انتشار گاز CO_2 پرداختند. اهداف مدل پیشنهادی، کمینه‌کردن هزینه کل شبکه و کمینه‌کردن میزان انتشار گاز CO_2 است. روش حل پیشنهادی برای حل مدل روش برنامه‌ریزی آرمانی چند گزینه‌ای است [۱۳]. نیکنام و همکاران (۲۰۱۲)، یک الگوریتم بهینه‌سازی آموزش مبتنی بر یادگیری را به‌عنوان یکی از الگوریتم‌های سریع اکتشافی برای بهینه‌سازی یک مدل تصادفی به‌کار بردند [۲۵]. محمدی و همکاران (۲۰۱۸)، یک مدل برای برنامه‌ریزی اصلی زنجیره تأمین پایدار با ملاحظه یکپارچگی جریان مالی و فیزیکی ارائه کردند. اهداف این مدل عبارت‌اند از: بیشینه‌سازی سود، کمینه‌سازی تأثیرات زیست‌محیطی و اجتماعی و همچنین کمینه‌سازی انحراف نامطلوب شاخص‌های مالی از حد مطلوب خود. برای مواجهه با ماهیت چندهدفه مدل از روش برنامه‌ریزی آرمانی استفاده شده و مدل در یک مورد واقعی در صنعت بازیافت پلاستیک اجرا شده است [۱۱].

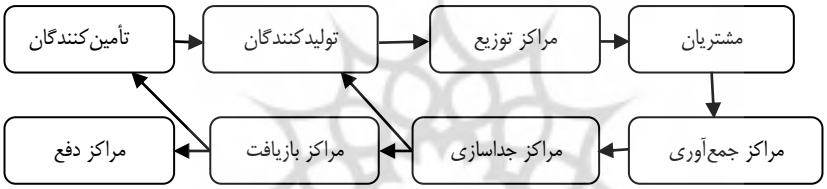
سعیدی‌نیا و همکاران (۲۰۱۹)، یک مدل دوهدفه را برای طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته با ملاحظه هم‌زمان مناطق توزیع، تخصیص مکان تسهیلات، اشتراک خدمات، و انتقال خدمات درون‌منطقه‌ای ارائه کردند. توابع هدف این مسئله، کمینه‌کردن هزینه‌های و به‌حداقل‌رساندن حداکثر حجم تقاضای مازاد از تسهیلات و امکانات خدماتی بود. در این مدل، هزینه‌ها، بازگشتی‌ها و حداکثر عرضه خدمات نامشخص بوده و یک رویکرد بهینه‌سازی استوار برای درنظرگرفتن عدم‌قطعیت به‌کار رفته است؛ همچنین اعتبار مدل ریاضی پیشنهادی در یک مطالعه موردی واقعی در بخش صنعت نفت و گاز (تولید بنزین) بررسی شده است [۱۸]. فخرزاد و همکاران (۲۰۱۸)، یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عددصحیح جدید برای زنجیره تأمین حلقه‌بسته سبز چند محصولی، چنددوره‌ای و چندسطحی را در شرایط عدم‌قطعیت ارائه کردند. مدل پیشنهادی آن‌ها متشکل از پنج تابع هدف شامل ۱. به‌حداقل‌رساندن هزینه زنجیره تأمین، ۲. به‌حداقل‌رساندن انتشار کربن از وسایل حمل‌ونقل، ۳. به‌حداکثررساندن قابلیت اطمینان مراکز تولید و توزیع، ۴. به‌حداکثررساندن قابلیت اطمینان سیستم حمل‌ونقل و ۵. به‌حداکثررساندن سطح خدمات ارائه‌شده است. آن‌ها برای حل مردم در ابعاد کوچک از نرم‌افزار گمز و در ابعاد بزرگ به‌دلیل ماهیت NP-hard بودن مسئله از الگوریتم NSGA-II استفاده کردند [۵]. در این زمینه در چند دهه اخیر مقاله‌های زیادی در نشریه‌های مختلف چاپ شده است [۱۰، ۱۲، ۲۴، ۸].

۳. روش شناسی پژوهش

بیان مسئله. مدل ارائه‌شده یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط چندلایه‌ای، چندمحصولی و چنددوره‌ای است. شبکه مفروض، یک شبکه یکپارچه پیشرو/ معکوس، به همراه ظرفیت‌های محدودشده است که به‌طور هم‌زمان گزینه‌های بازیافت، تعمیر و تولید دوباره و انهدام را در نظر

می‌گیرد. همان‌طور که در شکل ۱، نشان داده شده است، در جریان پیشرو، ابتدا قطعات موردنیاز محصولات از مرکز تأمین‌کننده به تولیدکننده ارسال می‌شود و سپس محصولات تولیدشده به مراکز توزیع ارسال و ازآنجا به محل مشتریان حمل و تحویل داده می‌شوند. در جریان معکوس، محصولات برگشتی از طرف مشتریان از طریق مراکز جمع‌آوری، جمع‌آوری می‌شوند؛ سپس به مراکز جداسازی ارسال شده و موردبررسی و آزمایش قرار می‌گیردند و به سه گروه قابل‌تعمیر، قابل‌بازیافت و محصولات قراضه (قابل‌انهدام) تقسیم می‌شوند.

محصولات قابل‌تعمیر به مراکز تولید فرستاده شده و به کالاهای قابل‌فروش مجدد تبدیل می‌شوند. محصولاتی که قابلیت بازیافت داشته باشند، به مراکز بازیافت منتقل شده و در آنجا به‌عنوان مواد اولیه به مراکز تأمین‌کننده ارسال می‌شوند. محصولات برگشتی قابل‌دفع نیز به مکان‌های دفع ضایعات فرستاده می‌شوند. در این پژوهش یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه عدد صحیح مختلط خطی برای زنجیره تأمین سبز حلقه‌بسته ارائه شده است. تابع هدف اول سود حاصل از شبکه زنجیره تأمین را بیشینه می‌کند و تابع هدف دوم در راستای کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از انتشار گاز CO_2 و سبزکردن شبکه زنجیره تأمین طراحی شده است.



شکل ۱. شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته

فرضیات مدل

ـ مکان‌های تأمین‌کنندگان ثابت و از قبل مشخص است.

ـ ظرفیت‌ها در مدل مفروض، محدود است.

ـ محصولات در مراکز جداسازی، بازرسی و جداسازی شده و خروجی از این مرکز به مراکز تولید و مراکز بازیافت ارسال می‌شود.

ـ کیفیت محصولات تعمیرشده، همانند کیفیت محصولات نو است و به‌صورت محصولات جدید عرضه می‌شوند.

ـ محصولاتی که از مرکز بازیافت خارج می‌شوند، به کارخانه‌ها ارسال شده و به فروش می‌رسند.

ـ کمبود مجاز نیست.

ـ مقدار محصولات تولیدشده برابر با میزان تقاضا است.

ـ پارامترهای تقاضا و هزینه حمل‌ونقل تحت شرایط عدم‌قطعیت در نظر گرفته می‌شوند

مجموعه‌ها و اندیس‌های مدل

a:مجموعه تأمین‌کنندگان	a=1,…,A
b:مجموعه تولیدکنندگان	b=1,…,B
c:مجموعه مراکز توزیع	c=1,…,C
d:مشتریان	d=1,..,D
e:مجموعه مراکز جمع‌آوری	e=1,..,E
f:مجموعه مراکز جداسازی	f=1,..,F
g:مجموعه مراکز بازیافت	g=1,..,G
h:مجموعه مراکز دفع	h=1,..,H
p:محصولات	p=1,..,P
t:دوره زمانی	t=1,..,T

پارامترها

De_{dpt}	مقدار تقاضای مشتری d برای محصول p در دوره‌ی زمانی t
CF_a	هزینه ثابت راه‌اندازی مرکز تأمین a
CF_b	هزینه ثابت راه‌اندازی مرکز تولید b
CF_c	هزینه ثابت راه‌اندازی مرکز توزیع c
CF_e	هزینه ثابت راه‌اندازی مرکز جمع‌آوری e
CF_f	هزینه ثابت راه‌اندازی مرکز جداسازی f
CF_g	هزینه ثابت راه‌اندازی مرکز بازیافت g

CF_h هزینه ثابت راه‌اندازی مرکز دفع h

CT_{ab} هزینه انتقال هر واحد مواد اولیه از تأمین‌کننده a به مرکز تولید b

CT_{bcp} هزینه انتقال هر واحد محصول تولیدی p از مرکز تولید b به مرکز توزیع c

CT_{cdp} هزینه انتقال هر واحد محصول تولیدی p از مرکز توزیع c به مشتری d

CT_{dep} هزینه انتقال هر واحد محصول بازگشتی p از مشتری d به مرکز جمع‌آوری e

CT_{efp} هزینه انتقال هر واحد محصول بازگشتی p از مرکز جمع‌آوریe به مرکز جداسازی f

CT_{fgp} هزینه انتقال هر واحد قطعات قابل بازیافت محصول p از مرکز جداسازی f به مرکز بازیافت g

CT_{fbp} هزینه انتقال هر واحد قطعات قابل‌استفاده محصول p از مرکز جداسازی f به مرکز تولید b

CT_{gap} هزینه انتقال مواد اولیه بازیافتی محصول p از مرکز بازیافت g به مرکز تأمین a

CT_{ghp} هزینه انتقال هر واحد قطعات غیرقابل استفاده محصول p از مرکز بازیافت g به مرکز دفع h

Dis_{ab} فاصله بین مرکز تأمین a و مرکز تولید b

Dis_{bc} فاصله بین مرکز تولید b و مرکز توزیع c

Dis_{cd} فاصله بین مرکز توزیع c و مشتری d

Dis_{de} فاصله بین مشتری d و مرکز جمع‌آوری e

Dis_{ef} فاصله بین و مرکز جمع‌آوری e و مرکز جداسازی f

Dis_{fg} فاصله بین مرکز جداسازی f و مرکز بازیافت g

Dis_{fb} فاصله بین مرکز جداسازی f و مرکز تولید b

Dis_{ga} فاصله بین مرکز بازیافت g و مرکز تأمین a

Dis_{gh} فاصله بین مرکز بازیافت g و مرکز دفع h

SP_p قیمت فروش هر واحد از محصول p به مشتری‌ها

CB_{ap} هزینه خرید هر واحد مواد اولیه از تأمین‌کننده a برای محصول p

CP_{bp} هزینه تولید هر واحد از محصول p در مرکز تولید b

CO_{cp} هزینه پخش هر واحد از محصول p در مرکز توزیع c

CC_{ep} هزینه گردآوری هر واحد از محصول p در مرکز جمع‌آوری e

CD_{fp} هزینه تفکیک هر واحد از محصول p در مرکز جداسازی f

CN_{gp} هزینه تجزیه هر واحد از محصول p در مرکز بازیافت g

CR_{bp} هزینه بازسازی هر واحد از محصول p در مرکز تولید b

$Inco_p$ قیمت هر واحد از محصول بازیافتی p

DC_{hp} هزینه دفع مواد غیرقابل بازیافت از محصول p در مرکز دفع h

CA_{ap} ظرفیت تأمین‌کننده a برای مواد خام برای محصول p

CA_{bp} ظرفیت مرکز تولید b برای محصول p

CA_{cp} ظرفیت مرکز توزیع c برای محصول p

CA_{ep} ظرفیت مرکز جمع‌آوری e برای محصول p

CA_{fp} ظرفیت مرکز جداسازی f برای محصول p

CA_{gp} ظرفیت مرکز بازیافت g برای محصول p

CA_{hp} ظرفیت مرکز دفع h برای محصول p

Ma حداکثر تعداد مراکز تأمین a که می‌توانند راه‌اندازی شوند

Mb حداکثر تعداد مراکز تولید b که می‌توانند راه‌اندازی شوند

Mc حداکثر تعداد مراکز توزیع c که می‌توانند راه‌اندازی شوند

Me حداکثر تعداد مراکز جمع‌آوری e که می‌توانند راه‌اندازی شوند

Mf حداکثر تعداد مراکز جداسازی f که می‌توانند راه‌اندازی شوند

Mg حداکثر تعداد مراکز بازیافت g که می‌توانند راه‌اندازی شوند

Mh حداکثر تعداد مراکز دفع h که می‌توانند راه‌اندازی شوند

RR_{de} نرخ بازگشت محصولات از مشتریان d به مراکز جمع‌آوری e

RN_{ef} نرخ جداسازی از مراکز جمع‌آوری e به مراکز جداسازی f

RY_{fg} نرخ بازیافت از مراکز جداسازی f به مراکز بازیافت g

RX_{fb} نرخ تعمیر از مراکز جداسازی f به مراکز تولید b

RU_{ga} نرخ مواد بازیافتی از مراکز بازیافت g به مراکز تأمین a

$FETP_{ab}$ میزان انتشار کربن دی‌اکسید برای انتقال هر واحد کالا از مرکز تأمین a به مرکز تولید b

$FETP_{bcp}$ میزان انتشار کربن دی‌اکسید برای انتقال هر واحد کالا از مرکز تولید b به مرکز توزیع c

$FETP_{cdp}$ میزان انتشار کربن دی‌اکسید برای انتقال هر واحد کالا از مرکز توزیع c به مشتری d

$FETP_{dep}$ میزان انتشار کربن دی‌اکسید برای انتقال هر واحد کالا از مشتری d به مرکز جمع‌آوری e

$FETP_{efp}$ میزان انتشار کربن دی‌اکسید برای انتقال هر واحد کالا از مرکز جمع‌آوری e به مرکز جداسازی f

$FETP_{fgp}$ میزان انتشار کربن دی‌اکسید برای انتقال هر واحد کالا از مرکز جداسازی f به مرکز بازیافت g

$FETP_{fbp}$ میزان انتشار کربن دی‌اکسید برای انتقال هر واحد کالا از مرکز جداسازی f به مرکز تولید b

$FETP_{gap}$ میزان انتشار کربن دی‌اکسید برای انتقال هر واحد کالا از مرکز بازیافت g به مرکز تأمین a

$FETP_{ghp}$ میزان انتشار کربن دی‌اکسید برای انتقال هر واحد کالا از مرکز بازیافت g به مرکز دفع h

$FEPP_{bp}$ میزان انتشار کربن دی‌اکسید در مرکز تولید b

$FEPP_{fp}$ میزان انتشار کربن دی‌اکسید در مرکز جداسازی f

$FEPP_{gp}$ میزان انتشار کربن دی‌اکسید در مرکز بازیافت g

متغیرها

AF_{abpt} مقدار مواد منتقل‌شده از مرکز تأمین a به مرکز تولید b برای محصول p در دوره زمانی t

AF_{bcpt} مقدار کالا منتقل‌شده از مرکز تولید b به مرکز توزیع c برای محصول p در دوره زمانی t

AF_{cdpt} مقدار کالا منتقل‌شده از مرکز توزیع c به مشتری d برای محصول p در دوره زمانی t

AF_{dept} مقدار محصولات بازگشتی از مشتری d به مرکز جمع‌آوری e برای محصول p در دوره زمانی t

AF_{efpt} مقدار محصولات بازگشتی از مرکز جمع‌آوری e به مرکز جداسازی f برای محصول p در دوره زمانی t

AF_{fgpt} مقدار محصولات بازگشتی از مرکز جداسازی f به مرکز بازیافت g برای محصول p در دوره زمانی t

AF_{gapt} مقدار محصولات بازگشتی که قابلیت بازیافت و استفاده مجدد رادارند، از مرکز بازیافت g به مرکز تأمین a برای محصول p در دوره زمانی t

AF_{ghpt} مقدار محصولات بازگشتی از مرکز بازیافت g به مرکز دفع h برای محصول p در دوره زمانی t

U_a اگر مرکز تأمین a راه‌اندازی شود ۱ و در غیر این صورت ۰

Q_b اگر مرکز تولید b راه‌اندازی شود ۱ و در غیر این صورت ۰

V_c اگر مرکز توزیع c راه‌اندازی شود ۱ و در غیر این صورت ۰

W_e اگر مرکز جمع‌آوری e راه‌اندازی شود ۱ و در غیر این صورت ۰

X_f اگر مرکز جداسازی f راه‌اندازی شود ۱ و در غیر این صورت ۰

Y_g اگر مرکز بازیافت g راه‌اندازی شود ۱ و در غیر این صورت ۰

Z_h اگر مرکز دفع h راه‌اندازی شود ۱ و در غیر این صورت ۰

تابع هدف و محدودیت‌های مدل

الف) هدف اقتصادی: بیشینه‌سازی سود

$$
\begin{aligned}
Max Z_1 = {} & \sum_t \sum_p \sum_d De_{dpt} \times SP_p - [\sum_t \sum_p \sum_a \sum_b AF_{abpt} \times CT_{ab} \\
& + \sum_t \sum_p \sum_c \sum_d AF_{cdpt} \times CT_{cdp} + \sum_t \sum_p \sum_d \sum_e AF_{dept} \times CT_{dep} \\
& + \sum_t \sum_p \sum_e \sum_f AF_{efpt} \times CT_{efp} + \sum_t \sum_p \sum_f \sum_g AF_{fgpt} \times CT_{fgp} \\
& + \sum_t \sum_p \sum_f \sum_b AF_{fbpt} \times CT_{fbp} + \\
& \sum_t \sum_p \sum_g \sum_a AF_{gapt} \times CT_{gap} + \sum_t \sum_p \sum_g \sum_h AF_{ghpt} \times CT_{ghp}] \\
& - [\sum_t \sum_p \sum_a \sum_b AF_{abpt} \times CB_{ap} + \sum_t \sum_p \sum_b \sum_c AF_{bcpt} \times CP_{bp} \\
& + \sum_t \sum_p \sum_c \sum_d AF_{cdpt} \times CO_{cp} + \sum_t \sum_p \sum_d \sum_e AF_{dept} \times CC_{ep} \\
& + \sum_t \sum_p \sum_e \sum_f AF_{efpt} \times CD_{fp} + \sum_t \sum_p \sum_f \sum_g AF_{fgpt} \times CN_{gp}
\end{aligned}
$$

$$+\sum_{t}\sum_{p}\sum_{f}\sum_{b}AF_{fbpt}\times CR_{bp}+\sum_{t}\sum_{p}\sum_{g}\sum_{h}AF_{ghpt}\times DC_{hp}$$
$$-\sum_{t}\sum_{p}\sum_{g}\sum_{a}AF_{gapt}\times Inco_{p}]-[\sum_{a}CF_{a}U_{a}+\sum_{b}CF_{b}Q_{b}+\sum_{c}CF_{c}V_{c}$$
$$+\sum_{e}CF_{e}W_{e}+\sum_{f}CF_{f}X_{f}+\sum_{g}CF_{g}Y_{g}+\sum_{h}CF_{h}Z_{h}] \qquad (۱)$$

تابع هدف اول با توجه به مفهوم زیر محاسبه‌شده است:

هزینه‌ها – درآمدها = سود

در معادله بالا، درآمد کسب‌شده از فروش محصول جدید و تعمیری و ارزش‌افزوده ایجادشده با مواد بازیافتی برگشتی برابر با درآمد شبکه زنجیره تأمین است و هزینه‌ها شامل هزینه ثابت ایجاد تسهیلات، هزینه‌های مربوط به حمل‌ونقل، هزینه عملیاتی تولید هر محصول، هزینه‌های عملیاتی مرکز توزیع، هزینه‌های عملیاتی مرکز جمع‌آوری، هزینه‌های عملیاتی جداسازی و تعمیر هر محصول، هزینه‌های عملیاتی تجزیه و بازیافت و هزینه‌های عملیاتی انهدام هر محصول هستند. تابع هدف اول سود را بیشینه می‌کند.

ب) هدف زیست‌محیطی: کمینه‌سازی آلودگی

$$MinZ_{2}=[\sum_{t}\sum_{p}\sum_{a}\sum_{b}AF_{abpt}\times Dis_{ab}\times FETP_{ab}$$
$$+\sum_{t}\sum_{p}\sum_{b}\sum_{c}AF_{bcpt}\times Dis_{bc}\times FETP_{bcp}$$
$$+\sum_{t}\sum_{p}\sum_{c}\sum_{d}AF_{cdpt}\times Dis_{cd}\times FETP_{cdp}$$
$$+\sum_{t}\sum_{p}\sum_{d}\sum_{e}AF_{dept}\times Dis_{de}\times FETP_{dep}$$
$$+\sum_{t}\sum_{p}\sum_{e}\sum_{f}AF_{efpt}\times Dis_{ef}\times FETP_{efp}$$
$$+\sum_{t}\sum_{p}\sum_{f}\sum_{g}AF_{fgpt}\times Dis_{fg}\times FETP_{fgp}$$
$$+\sum_{t}\sum_{p}\sum_{f}\sum_{b}AF_{fbpt}\times Dis_{fb}\times FETP_{fbp}$$
$$+\sum_{t}\sum_{p}\sum_{g}\sum_{a}AF_{gapt}\times Dis_{ga}\times FETP_{gap}$$

$$+\sum_{t}\sum_{p}\sum_{g}\sum_{h}AF_{ghpt}\times Dis_{gh}\times FETP_{ghp}]+[\sum_{t}\sum_{p}\sum_{b}\sum_{c}AF_{bcpt}\times FEPP_{bp}$$
$$+\sum_{t}\sum_{p}\sum_{e}\sum_{f}AF_{efpt}\times FEPP_{fp}+\sum_{t}\sum_{p}\sum_{f}\sum_{g}AF_{fgpt}\times FEPP_{gp}] \quad (۲)$$

در تابع هدف دوم میزان آلایندگی ناشی از حمل‌ونقل و تولید محصولات کمینه می‌شود.

$$\sum_{c}\sum_{d}AF_{cdpt}=\sum_{d}De_{dpt} \qquad \forall p,t \quad (۳)$$

$$\sum_{a}\sum_{b}AF_{abpt}+\sum_{f}\sum_{b}AF_{fbpt} \qquad \forall p,t \quad (۴)$$
$$=\sum_{b}\sum_{c}AF_{bcpt}$$

$$\sum_{b}\sum_{c}AF_{bcpt}=\sum_{c}\sum_{d}AF_{cdpt} \qquad \forall p,t \quad (۵)$$

$$\sum_{f}\sum_{b}AF_{fbpt}+\sum_{f}\sum_{g}AF_{fgpt} \qquad \forall p,t \quad (۶)$$
$$=\sum_{e}\sum_{f}AF_{efpt}$$

$$\sum_{d}\sum_{e}AF_{dept}=\sum_{c}\sum_{d}AF_{cdpt} \qquad \forall p,t,d,e \quad (۷)$$
$$\times RR_{de}$$

$$\sum_{e}\sum_{f}AF_{efpt}=\sum_{d}\sum_{e}AF_{dept} \qquad \forall p,t,e,f \quad (۸)$$
$$\times RN_{ef}$$

$$\sum_{f}\sum_{b}AF_{fbpt}=\sum_{e}\sum_{f}AF_{efpt} \qquad \forall p,t,f,b \quad (۹)$$
$$\times RX_{fb}$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

$$\sum_f \sum_g AF_{fgpt} = \sum_e \sum_f AF_{efpt} \times RY_{fg} \quad \forall p,t,f,g \tag{۱۰}$$

$$\sum_g \sum_a AF_{gapt} = \sum_f \sum_g AF_{fgpt} \times RU_{ga} \quad \forall p,t,g,a \tag{۱۱}$$

$$\sum_g \sum_h AF_{ghpt} = \sum_f \sum_g AF_{fgpt} \times RD_{gh} \quad \forall p,t,g,h \tag{۱۲}$$

$$\sum_f \sum_g AF_{fgpt} = \sum_g \sum_a AF_{gapt} + \sum_g \sum_h AF_{ghpt} \quad \forall p,t \tag{۱۳}$$

$$\sum_b AF_{abpt} \le \sum_a CA_{ap} U_a \quad \forall p,t \tag{۱۴}$$

$$\sum_c AF_{bcpt} \le \sum_b CA_{bp} Q_b \quad \forall p,t \tag{۱۵}$$

$$\sum_d AF_{cdpt} \le \sum_c CA_{cp} V_c \quad \forall p,t \tag{۱۶}$$

$$\sum_f AF_{efpt} \le \sum_e CA_{ep} W_e \quad \forall p,t \tag{۱۷}$$

$$\sum_b AF_{fbpt} + \sum_g AF_{fgpt} \le \sum_f CA_{fp} X_f \quad \forall p,t \tag{۱۸}$$

$$\sum_a AF_{gapt} + \sum_h AF_{ghpt} \le \sum_g CA_{gp} Y_g \quad \forall p,t \tag{۱۹}$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

$$\sum_{g} AF_{ghpt} \le \sum_{h} CA_{hp} Z_h \qquad \forall p,t \tag{۲۰}$$

$$\sum_{a} U_a \le Ma \tag{۲۱}$$

$$\sum_{b} Q_b \le Mb \tag{۲۲}$$

$$\sum_{c} V_c \le Mc \tag{۲۳}$$

$$\sum_{e} W_e \le Me \tag{۲۴}$$

$$\sum_{f} X_f \le Mf \tag{۲۵}$$

$$\sum_{g} Y_g \le Mg \tag{۲۶}$$

$$\sum_{h} Z_h \le Mh \tag{۲۷}$$

$$(AF_{abpt}, AF_{bcpt}, AF_{cdpt}, AF_{dept}, AF_{efpt}, AF_{fgpt}, AF_{fbpt}, AF_{gapt}, AF_{ghp}) \ge 0 \tag{۲۸}$$

$$\forall a,b,c,d,e,f,g,h,p,t$$
$$U_a, Q_b, V_c, W_e, X_f, Y_g, Z_h \in \{0,1\} \tag{۲۹}$$
$$\forall a,b,c,e,f,g,h$$

محدودیت ۳، نشان می‌دهد میزان جریان محصولات از مرکز توزیع به مشتری باید برابر با سطح تقاضای مصرف‌کنندگان باشد. محدودیت ۴، نشان می‌دهد جریانی که از تأمین‌کننده به مرکز تولید و از مرکز جداسازی به مرکز بازتولید فرستاده می‌شود، برابر جریانی است که از مرکز تولید به مرکز توزیع فرستاده می‌شود.

محدودیت ۵، نشان می‌دهد جریانی که از مرکز تولید به توزیع می‌رود، برابر با جریانی است که از توزیع به مشتری فرستاده می‌شود. محدودیت ۶، نشان می‌دهد مجموعه جریانی که از مرکز جداسازی به بازتولید و بازیافت می‌روند، برابر است با جریانی که از مرکز جمع‌آوری به آن وارد می‌شود. محدودیت‌های ۷ تا ۱۲، نمایانگر میزان جریان محصولات بازگشتی هستند. محدودیت ۱۳، نشان می‌دهد جریانی که از مرکز جداسازی به مرکز بازیافت فرستاده می‌شود، برابر با مجموعه جریان‌هایی است که از مرکز بازیافت به مرکز تأمین و مرکز انهدام فرستاده می‌شود.

محدودیت‌های ۱۴ تا ۱۶، تضمین می‌کنند که میزان جریان ارسالی از مراکز تأمین، تولید و توزیع باید کوچک‌تر یا مساوی با ظرفیت آن مرکز باشد. محدودیت‌های ۱۷ تا ۲۰، تضمین می‌کنند که میزان جریان وارده به مراکز جمع‌آوری، جداسازی و تعمیر، بازیافت و انهدام باید کوچک‌تر یا مساوی با ظرفیت آن مرکز باشد.

محدودیت‌های ۲۱ تا ۲۷، به‌ترتیب حداکثر تعداد مکان‌های تولیدکننده، توزیع‌کننده، جمع‌آوری، جداسازی، بازیافت و انهدام در مکان‌های بالقوه را محدود می‌کنند. محدودیت ۲۸، محدودیت غیرمنفی‌بودن را بر روی متغیرهای تصمیم نشان می‌دهد. محدودیت ۲۹، ماهیت صفر و یک متغیرهای مکان را نمایش می‌دهد.

عدم‌قطعیت. در برنامه‌ریزی ریاضی معمولاً مسائل با پیش‌فرض قطعی‌بودن داده‌ها از قبل حل می‌شوند؛ حال آنکه در دنیای واقعی بیشتر داده‌ها دچار عدم‌قطعیت هستند. پیش‌فرض اصلی برنامه‌ریزی‌های ریاضی، توسعه مدل بر اساس داده‌های صریحاً معین و برابر با مقداری اسمی است؛ حال آنکه در این‌گونه از مدل‌ها اثر عدم‌قطعیت داده‌ها در کیفیت و امکان‌پذیربودن جواب‌ها اثری ندارد؛ درنتیجه در مسائل دنیای واقعی ممکن است با تغییر یکی از داده‌ها تعداد زیادی از محدودیت‌ها نقض شود و جواب به‌دست‌آمده غیربهینه یا حتی غیرممکن باشد. درنتیجه این بحث، سؤال اصلی ساخت جوابی برای مسئله پیش می‌آید که در مقابل این عدم‌قطعیت داده‌ها مقاوم باشد که در اصطلاح این پاسخ‌ها را «استوار» و این دسته از بهینه‌سازی را «بهینه‌سازی استوار» می‌نامند [۱].

مالوی و همکاران (۱۹۹۵)، چارچوبی برای بهینه‌سازی استوار ارائه کردند که شامل دو تعریف مهم «جواب استوار» و «مدل استوار» است. به این صورت که زمانی یک جواب برای مدل بهینه‌سازی، جوابی استوار نامیده می‌شود که آن جواب تحت همه سناریوها «نزدیک» به بهینه باقی بماند؛ همچنین زمانی یک مدل، مدلی استوار است که تحت همه سناریوها «تقریباً» موجه باشد [۱۴،۱۵].

مدل همتای استوار مدل خطی

اندیس:

s سناریو هزینه حمل‌ونقل و هزینه عملیاتی و تقاضا (خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم)

پارامترها:

P_S احتمال وقوع سناریو Sام

λ مقدار ثابت؛

ω_j مقادیر وزنی نقص محدودیت jام

متغیرهای کنترل:

θ_S ضریب خطی‌سازی تحت سناریو Sام؛

δ تقضای ارضانشده در سناریو sام

$$MaxRF = \sum_s P_s OBJ_{1s} - \lambda \sum_s P_s \left(\left(OBJ_{1s} - \sum_{s'} P_{s'} OBJ_{1s'} \right) + 2\theta_s \right) - \omega \sum_s P_s \delta_s \quad (۳۰)$$

$$MinRC = \sum_s P_s OBJ_{2s} + \lambda \sum_s P_s \left(\left(OBJ_{2s} - \sum_{s'} P_{s'} OBJ_{2s'} \right) 2\theta_s \right) \quad (۳۱)$$

$$OBJ_{1s} - \sum_{s'} P_{s'} OBJ_{1s'} + \theta_s \geq 0 \qquad \forall s \quad (۳۲)$$

$$OBJ_{2s} - \sum_{s'} P_{s'} OBJ_{2s'} + \theta_s \geq 0 \qquad \forall s \quad (۳۳)$$

$$\theta_s \geq 0 \quad (۳۴)$$

برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای با درنظرگرفتن تابع مطلوبیت. چانگ (۲۰۱۱)، عنوان کرد که RMCGP میزان ارجحیت تصمیم‌گیرندگان را در نظر نمی‌گیرد؛ ازاین‌رو تابع مطلوبیت را با هدف بیشینه‌کردن مطلوبیت موردانتظار تصمیم‌گیرندگان به مدل قبل اضافه کرد که مدل جدید او به شرح زیر است [۳]:

$$\sum_k [\beta_k^d (d_k^+ + d_k^-) + \beta_k^\delta \delta_k^-]$$

S.t.

$$\lambda \leq \frac{U_{k,\max} - y_k}{U_{k,\max} - U_{k,\min}} \qquad \forall_k$$

$$f_k(X) + d_k^- - d_k^+ = y_k \qquad \forall_k$$

$$\lambda_k + \delta_k^- = 1 \qquad \forall_k \qquad (۳۵)$$
$$U_{k,\min} \le y_k \le U_{k,\max} \qquad \forall_k$$
$$d_k^- . d_k^+ = 0 \qquad \forall_k$$
$$d_k^-, d_k^+, \delta_k^-, \lambda_k \ge 0 \qquad \forall_k$$

محدودیت‌های سیستم

در رابطه بالا، δ_k^- نشان‌دهنده میزان انحراف نرمالیزه‌شده y_k از $U_{k,min}$ است. β_k^δ اهمیت (وزن) δ_k^- بوده و λ_k ارزش مطلوبیت است. سایر پارامترها و متغیرها پیش‌تر تعریف‌شده بودند، در صورت نیاز به نرمالیزه‌شدن توابع هدف از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\sum_i [w_i^d (\frac{d_i^+ + d_i^-}{f_i^- - f_i^+}) + w_i^\delta \delta_i^-] \qquad (۳۶)$$

در رابطه ۳۶، $f_k^- = \{\max\ f_k(X)\}$ و $f_k^+ = \{\min\ f_k(X)\}$ است. با توجه به اینکه δ_i^- نرمالیزه شده است، نیازی به بی‌مقیاس‌سازی ندارد.

اجرای RMCGP با تابع مطلوبیت روی مسئله پژوهش. ازآنجاکه آخرین مدل برنامه‌ریزی آرمانی ارائه‌شده توسط چانگ (۲۰۱۱)، علاوه بر مزیت‌های مدل‌ها قبلی، ارجحیت تصمیم‌گیرندگان را نیز لحاظ می‌کند، در این پژوهش از این روش استفاده شده است. با توجه به تعاریف و مفاهیم گفته‌شده، مدل آرمانی چندگزینه‌ای با درنظرگرفتن تابع مطلوبیت برای مسئله پژوهش به شرح زیر است:

$$\min Z = w_1^d (\frac{d_1^+ + d_1^-}{f_1^- - f_1^+}) + w_2^d (\frac{d_2^+ + d_2^-}{f_2^- - f_2^+}) \qquad (۳۷)$$
$$+ w_1^\delta . \delta_1 + w_2^\delta . \delta_2$$
$$(۳۸)$$
$$Z_1 + d_1^- - d_1^+ = y_1 \qquad (۳۹)$$
$$Z_2 + d_2^- - d_2^+ = y_2 \qquad (۴۰)$$
$$f_{1,\min} \le y_1 \le f_{1,\max} \qquad (۴۱)$$
$$f_{2,\min} \le y_2 \le f_{2,\max} \qquad (۴۲)$$
$$\lambda_1 \le \frac{f_{1,\max} - y_1}{f_{1,\max} - f_{1,\min}} \qquad (۴۳)$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

$$\lambda_2 \le \frac{f_{2,\max} - y_2}{f_{2,\max} - f_{2,\min}} \quad (۴۴)$$

$$\lambda_1 + \delta_1 = 1 \quad (۴۵)$$

$$\lambda_2 + \delta_2 = 1 \quad (۴۶)$$

سایر محدودیت‌های مسئله

نتایج عددی. در این بخش، آزمایش‌های عددی برای ارزیابی رفتار مدل پیشنهادشده و روش حل ارائه می‌شود. روش‌های حل در محیط Lingo انجام شده و به‌منظور صحت مسئله از داده‌های فرضی استفاده شده است. ابعاد مسئله با تعداد تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان، مشتری، مراکز جمع‌آوری، مراکز جداسازی، مراکز بازیافت، مراکز دفع مشخص می‌شود. نحوه تولید داده‌ها به‌صورت تابع توزیع یکنواخت در جدول ۱، نشان داده شده است.

جدول ۱. نحوه تولید داده‌های مسئله

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
De_{dpt}	Uniform [500,1500]	CA_{bp}	Uniform [1200,3500]
CF_a	Uniform [100,300]	CA_{fp}	Uniform [600,1700]
CF_b	Uniform[150,350]	CA_{hp} ،CA_{ep} ،CA_{cp}	Uniform [1200,3500]
CF_f ،CF_e ،CF_c ،CF_h ،CF_g	Uniform [120,280]	M_e ،M_c ،M_b ،M_a ،M_h ،M_g ،M_f	Uniform [1,20]
SP_p	Uniform [1000,2000]	RR_{de}	Uniform [0.2,0.6]
CB_{ap}	Uniform[30,70]	RN_{ef}	Uniform [0.2,0.6]
CP_{bp}	Uniform [50,100]	RY_{fg}	Uniform [0.1,0.4]
CO_{cp}	Uniform [20,80]	RX_{fb}	Uniform [0.2,0.5]
CN_{gp}	Uniform [20,50]	RU_{ga}	Uniform [0.3,0.7]
CD_{fp} ،CC_{ep} ،DC_{hp} ،CR_{bp}	Uniform [10,30]	RD_{gh}	Uniform [0.1,0.3]
$Inco_p$	Uniform [10,30]	Dis_{ab}	Uniform [50,100]
CA_{ap}	Uniform [2000,5000]	Dis_{bc}	Uniform [20,30]
CA_{gp}	Uniform [1000,2500]	Dis_{cd}	Uniform [20,100]

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
Dis_{de}	Uniform [20,80]	CT_{ab}	Uniform [20,50]
Dis_{ef}	Uniform [10,20]	CT_{bcp}	Uniform [5,15]
Dis_{fg}	Uniform [30,60]	CT_{cdp}	Uniform [10,50]
Dis_{fb}	Uniform [5,10]	CT_{dep}	Uniform[10,40]
Dis_{ga}	Uniform [30,60]	CT_{efp}	Uniform [5,10]
Dis_{gh}	Uniform [100,150]	CT_{fgp}	Uniform [20,30]
$FEPP_{bp}$	Uniform [0,1]	CT_{fbp}	Uniform [5,10]
$FEPP_{fp}$	Uniform [0,1]	CT_{gap}	Uniform [20,30]
$FEPP_{gp}$	Uniform [0,1]	CT_{ghp}	Uniform [20,40]
$FETP_{dep}$، $FETP_{efp}$، $FETP_{fgp}$، $FETP_{fbp}$	Uniform [0,1]	$FETP_{ab}$، $FETP_{bcp}$، $FETP_{gap}$، $FETP_{cdp}$ $FETP_{ghp}$	Uniform [0,1]

٤. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

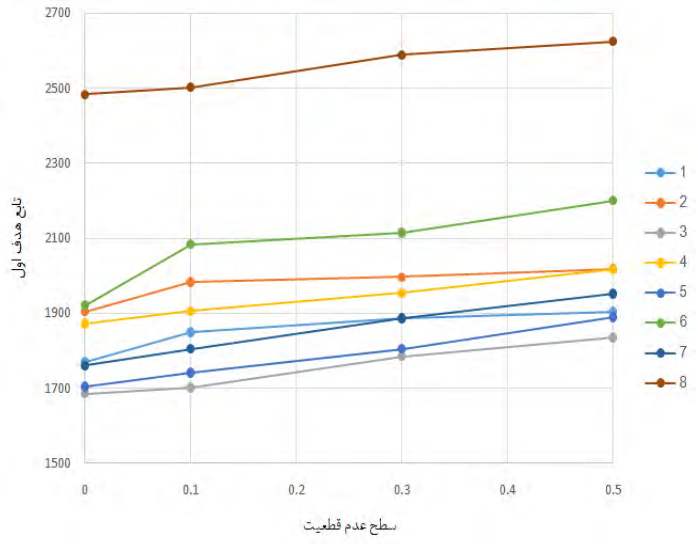
در این بخش نتایج به‌دست‌آمده از حل مسئله در ابعاد مختلف و در سطح عدم‌قطعیت مختلف پرداخته گزارش می‌شود؛ بدین منظور ۹ نمونه مسئله در ابعاد متفاوت در سطح عدم‌قطعیت ۱/۰، ۳/۰ و ۵/۰ حل شده و نتایج در جدول ۲، ارائه شده است که در آن ستون اول نشان‌دهنده شماره مسئله، a نشان‌دهنده تعداد تأمین‌کنندگان، b تعداد تولیدکنندگان، c تعداد مراکز توزیع، d مشتری، e مراکز جمع‌آوری، f مراکز جداسازی، g مراکز بازیافت، h مراکز دفع، t دوره زمانی، p محصولات، p_s سطح عدم‌قطعیت، ستون بعدی مقدار تابع هدف اول در حالت قطعی و استوار، ستون بعدی مقدار تابع هدف دوم در حالت قطعی استوار و ستون آخر نیز نشان‌دهنده زمان حل مسئله در حالت قطعی و استوار است.

جدول ۲. گزارش حل مسئله در سطح عدم‌قطعیت متفاوت

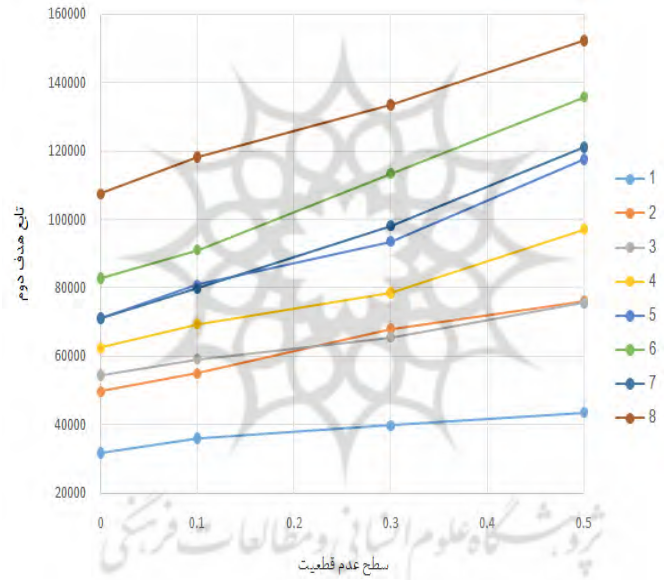
شماره مسئله	a	b	C	d	e	f	G	h	t	p	p_s	مقدار تابع هدف اول: حالت قطعی	مقدار تابع هدف اول: جواب استوار	مقدار تابع هدف دوم: حالت قطعی	مقدار تابع هدف دوم: حالت استوار	زمان حل (ثانیه): حالت قطعی	زمان حل (ثانیه): حالت استوار
۱	۲	۳	۲	۳	۳	۲	۳	۳	۲	۳	۱/۰	۳/۱۷۷۰	۰۷/۱۸۵۰	۳۱۷۳۴	۷۳/۳۵۹۸۵	۱۳۷	۱۰۰
											۳/۰		۴۵/۱۸۸۷		۷۷/۳۹۷۴۶		۱۰۰
											۵/۰		۱۸/۱۹۰۵		۵/۴۳۵۲۵		۱۰۰
۲	۵	۶	۵	۵	۳	۲	۲	۱	۳	۲	۱/۰	۱۱/۱۹۰۵	۷/۱۹۸۴	۳۷/۴۹۶۹۸	۹۲/۵۵۰۶۳	۱۵۳	۱۷۶
											۳/۰		۱۶/۱۹۹۷		۶۸۰۷۶		۱۷۶
											۵/۰		۵۵/۲۰۱۹		۳۵/۷۶۰۵۳		۱۷۹
۳	۵	۴	۳	۲	۲	۱	۱	۲	۱	۳	۱/۰	۱۶۸۶	۱۷۰۲	۵۴۴۷۲	۲۲/۵۹۱۳۶	۱۶۸	۲۵۳
											۳/۰		۱۷۸۵		۴۶/۶۵۵۸۴		۲۵۳
											۵/۰		۱۸۳۶		۳/۷۵۵۴۵		۲۵۷
۴	۷	۸	۶	۱۰	۴	۳	۳	۲	۳	۵	۱/۰	۱۸۷۳	۱۹۰۶	۴۹/۶۲۵۲۲	۳۳/۶۹۴۷۶	۲۱۱	۴۰۱
											۳/۰		۱۹۵۴		۸/۷۸۵۶۸		۴۰۱
											۵/۰		۲۰۱۷		۶۲/۹۷۱۵۵		۴۱۰
۵	۹	۸	۷	۷	۶	۵	۴	۳	۳	۴	۱/۰	۱۷۰۵	۱۷۴۲	۶۳/۷۱۲۸۳	۱۷/۸۰۸۷۷	۳۲۰	۴۵۸
											۳/۰		۱۸۰۵		۴۲/۹۳۵۶۵		۴۶۳
											۵/۰		۱۸۹۰		۶/۱۱۷۵۴۲		۴۷۱
۶	۹	۱۰	۸	۱۱	۷	۶	۴	۴	۵	۶	۱/۰	۱۹۲۲	۲۰۸۴	۱۹/۸۲۷۶۵	۹۱۰۳۱	۴۳۷	۵۷۱
											۳/۰		۲۱۱۵		۱۵/۱۱۳۴۴۲		۵۷۹
											۵/۰		۲۲۰۱		۸۳/۱۳۵۷۵۶		۵۸۶
۷	۱۴	۱۲	۱۰	۱۵	۸	۷	۶	۵	۵	۸	۱/۰	۱۷۶۱	۱۸۰۵	۹۵/۷۱۰۷۲	۶۶/۷۹۸۴۱	۵۱۲	۶۵۴
											۳/۰		۱۸۸۷		۳۸/۹۸۱۸۸		۶۶۳
											۵/۰		۱۹۵۲		۴۳/۱۲۱۰۹۳		۶۷۰
۸	۱۷	۱۶	۱۳	۱۵	۱۰	۹	۸	۵	۶	۸	۱/۰	۲۴۸۴	۲۵۰۳	۱۶/۱۰۷۴۸۵	۴۵/۱۱۸۳۱۹	۸۳۵	۹۴۴
											۳/۰		۲۵۸۹		۸۸/۱۳۳۵۶۳		۹۵۰
											۵/۰		۲۶۲۵		۳۱/۱۵۲۲۷۵		۹۵۸
۹	۱۹	۱۸	۱۷	۱۶	۱۱	۱۰	۸	۶	۶	۷	۱/۰	–	–	–	–	>۱۰۰۰۰	>۱۰۰۰۰
											۳/۰		–		–		>۱۰۰۰۰
											۵/۰		–		–		>۱۰۰۰۰

با توجه به جدول ۲، افزایش سطح عدم‌قطعیت به افزایش یا به‌عبارتی بدترشدن هر دو تابع هدف مسئله منجر می‌شود. شکل‌های ۲ و ۳، به‌ترتیب روند تغییرات تابع هدف اول و دوم را با توجه به تغییر در سطح عدم‌قطعیت نشان می‌دهد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۲. نمودار تغییرات تابع هدف اول در نمونه مسائل نسبت به سطح عدم‌قطعیت



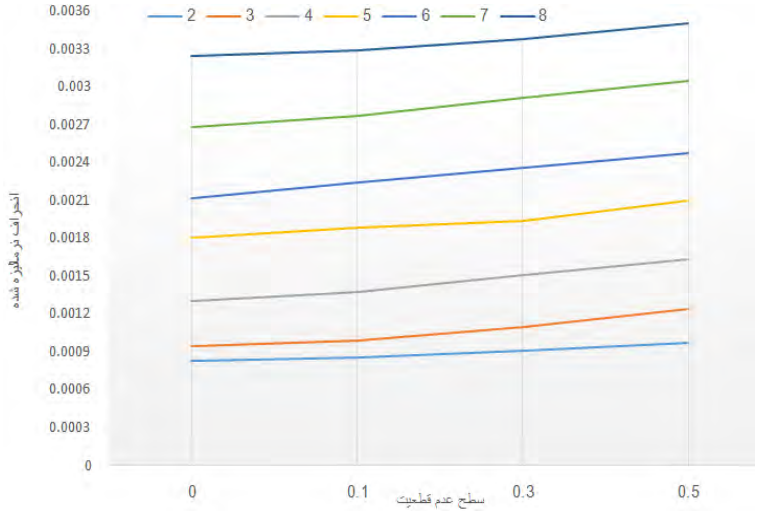
شکل ۳. نمودار تغییرات تابع هدف دوم در نمونه مسائل نسبت به سطح عدم‌قطعیت

مشاهده می‌شود که با افزایش ابعاد مسئله، زمان حل مسئله نیز افزایش می‌یابد؛ به‌صورتی که برای مسئله شماره ۹، نرم‌افزار در زمان ۱۰۰۰۰ ثانیه قادر به حل مسئله نیست؛ همچنین در جدول ۲ مشاهده می‌شود که تغییر در سطح عدم قطعیت نیز منجر به تغییر در زمان حل می‌گردد.

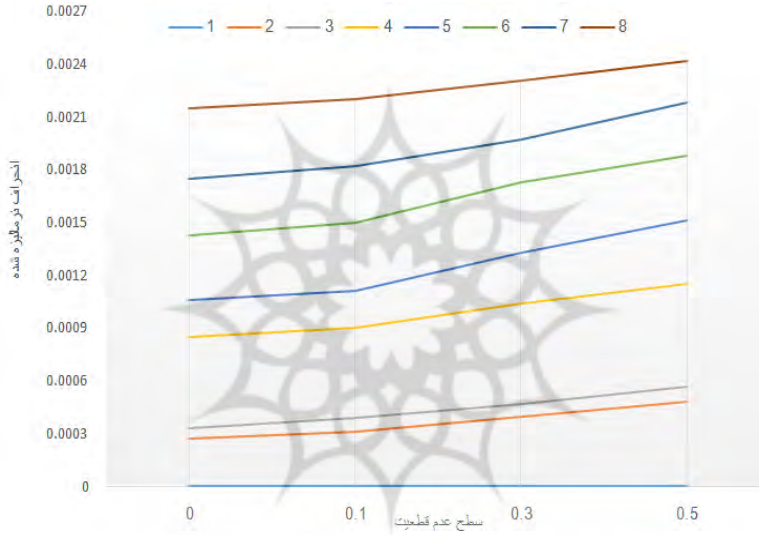
تغییرات انحراف از حد پایین آرمان. در این بخش، تغییرات پارامتر δ_k^- در هر نمونه مسئله بررسی می‌شود. مقادیر انحراف نرمالیزه‌شده از حد پایین آرمان برای هر تابع هدف در سطوح عدم‌اطمینان مختلف در جدول ۳، آورده شده است. نمودار تغییرات انحراف نرمالیزه‌شده از حد پایین آرمان برای تابع اول و دوم به‌ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵، ارائه شده است.

جدول ۳. تغییرات δ_k^-

مسئله	ρ	Deterministic		Robust	
		δ_1^-	δ_2^-	δ_1^-	δ_2^-
۱	۱/۰	۰	۰	۰	۰
	۳/۰			۰	۰
	۵/۰			۰۰۰۱۱/۰	۰
۲	۱/۰	۰۰۰۸۳/۰	۰۰۰۲۷/۰	۰۰۰۸۵/۰	۰۰۰۳۱/۰
	۳/۰			۰۰۰۹۱/۰	۰۰۰۴/۰
	۵/۰			۰۰۰۹۷/۰	۰۰۰۴۸/۰
۳	۱/۰	۰۰۰۹۴/۰	۰۰۰۳۳/۰	۰۰۰۹۹/۰	۰۰۰۳۹/۰
	۳/۰			۰/۰۰۱۱	۰۰۰۴۷/۰
	۵/۰			۰۰۱۲۴/۰	۰۰۰۵۷/۰
۴	۱/۰	۰۰۱۳/۰	۰۰۰۸۵/۰	۰۰۱۳۷/۰	۰۰۰۹/۰
	۳/۰			۰۰۱۵۱/۰	۰۰۱۰۴/۰
	۵/۰			۰۰۱۶۳/۰	۰۰۱۱۵/۰
۵	۱/۰	۰/۰۰۱۸	۰۰۱۰۶/۰	۰۰۱۸۸/۰	۰۰۱۱۱/۰
	۳/۰			۰۰۱۹۴/۰	۰۰۱۳۳/۰
	۵/۰			۰۰۲۱/۰	۰۰۱۸۸/۰
۶	۱/۰	۰۰۲۱۲/۰	۰۰۱۴۳/۰	۰۰۲۲۴/۰	۰۰۱۵/۰
	۳/۰			۰۰۲۳۶/۰	۰۰۱۷۳/۰
	۵/۰			۰۰۲۴۷/۰	۰۰۱۸۸/۰
۷	۱/۰	۰۰۲۶۸/۰	۰۰۱۷۵/۰	۰۰۲۷۷/۰	۰۰۱۸۲/۰
	۳/۰			۰۰۲۹۱/۰	۰۰۱۹۷/۰
	۵/۰			۰۰۳۰۵/۰	۰۰۲۱۸/۰
۸	۱/۰	۰۰۳۲۴/۰	۰۰۲۱۵/۰	۰۰۳۲۹/۰	۰۰۲۲/۰
	۳/۰			۰۰۳۳۸/۰	۰۰۲۳۱/۰
	۵/۰			۰۰۳۵/۰	۰۰۲۴۲/۰



شکل ۴. نمودار تغییرات انحراف نرمالیزه‌شده از حد پایین آرمان برای تابع اول

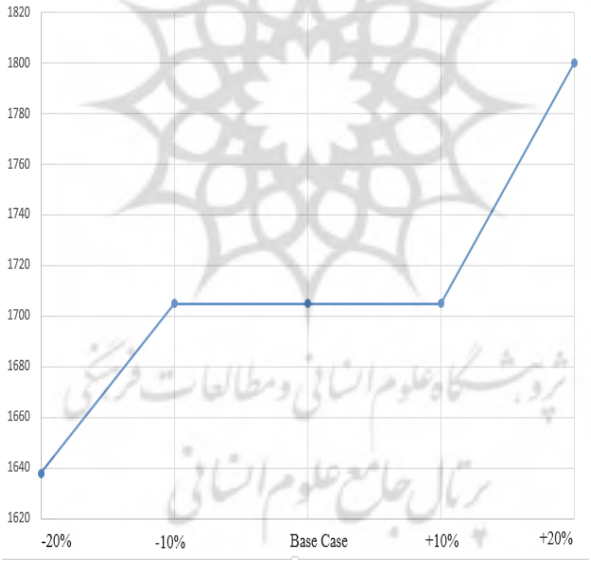


شکل ۵. نمودار تغییرات انحراف نرمالیزه‌شده از حد پایین آرمان برای تابع دوم

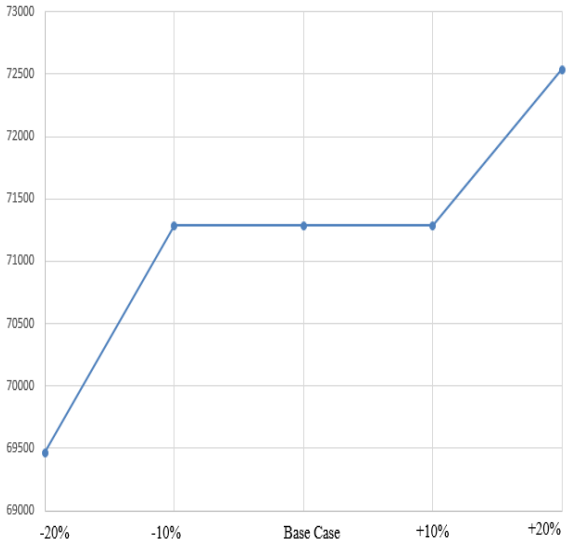
همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش ابعاد مسئله، مقدار انحراف افزایش می‌یابد. ؛ همچنین در هر نمونه مسئله نیز با افزایش سطح عدم‌قطعیت، مقدار انحراف از حد پایین آرمان افزایش یافته است.

تحلیل حساسیت. در این بخش، حساسیت مسئله نسبت به برخی از پارامترهای مدل تحلیل می‌شود؛ بدین منظور یک نمونه مسئله در نظر گرفته شده و در شرایط مختلف حل می‌شود و نتایج آن به شرح زیر است.

تحلیل حساسیت تابع هدف اول و دوم بر پارامتر تقاضا (De_{dpt}). در این بخش بررسی حساسیت تابع هدف اول و دوم نسبت به پارامتر تقاضا بررسی می‌شود؛ بدین منظور در مسئله آزمایشی تمامی پارامترها ثابت در نظر گرفته شده و مسئله تحت مقادیر مختلف برای تقاضا (مقدار پایه، ۲۰ درصد کمتر، ۱۰ درصد کمتر، ۱۰ درصد بیشتر و ۲۰ درصد بیشتر) حل شده و نتایج بررسی می‌شود. نتایج انجام این تحلیل به شرح شکل‌های ۶ و ۷، است. با توجه به شکل ۶، کاهش و افزایش ۱۰ درصدی تقاضا تأثیری در تابع هدف مسئله ندارد؛ اما با افزایش ۲۰ درصدی مقدار تقاضا، تابع هدف بیشتر می‌شود و با کاهش ۲۰ درصدی مقدار تقاضا، مقدار تابع هدف کاهش می‌یابد. طبق شکل ۷، تابع هدف دوم نیز نسبت به تقاضا رفتاری مشابه با تابع هدف اول داشته و با کاهش و افزایش ۱۰ درصدی تقاضا مقدار تابع هدف دوم تغییری نکرده است؛ همچنین با افزایش ۲۰ درصدی مقدار تقاضا، تابع هدف دوم افزایش یافته و با کاهش ۲۰ درصدی مقدار تقاضا، مقدار تابع هدف دوم کاهش یافته است.



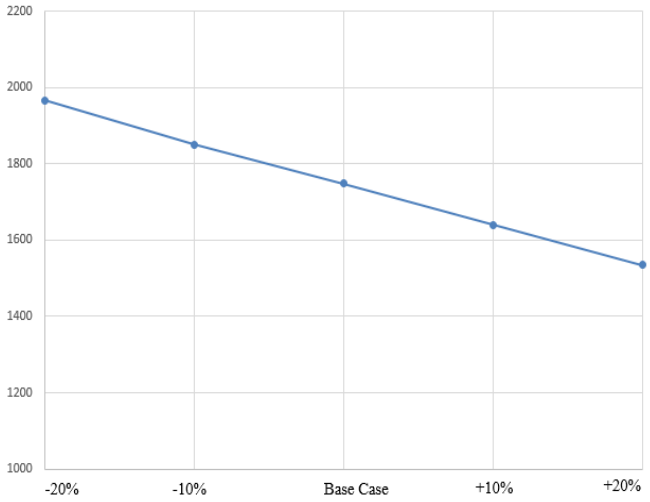
شکل ۶. تحلیل حساسیت تابع هدف نسبت به تقاضا



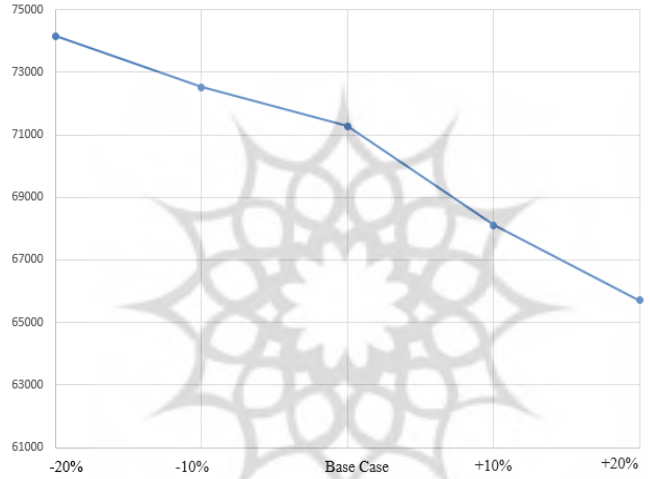
شکل ۷. تحلیل حساسیت تابع هدف دوم نسبت به تقاضا

تحلیل حساسیت تابع هدف اول و دوم بر پارامتر هزینه حمل‌ونقل (CT). در این بخش، حساسیت تابع هدف اول و دوم نسبت به پارامتر هزینه حمل‌ونقل بررسی می‌شود؛ بدین منظور در مسئله آزمایشی تمامی پارامترها ثابت در نظر گرفته می‌شود و مسئله تحت مقادیر مختلف برای هزینه حمل‌ونقل (مقدار پایه، ۲۰ درصد کمتر، ۱۰ درصد کمتر، ۱۰ درصد بیشتر و ۲۰ درصد بیشتر) حل شده و نتایج موردبررسی قرار می‌گیرند. نتایج انجام این تحلیل به شرح شکل‌های ۸ و ۹، است. با توجه به شکل ۸، با افزایش هزینه، مقدار تابع هدف تقریباً به‌صورت خطی کاهش می‌یابد و طبق شکل ۹، افزایش هزینه به کاهش تابع هدف دوم منجر می‌شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۸. تحلیل حساسیت تابع هدف نسبت به هزینه حمل‌ونقل



شکل ۹. تحلیل حساسیت تابع هدف دوم نسبت به هزینه حمل‌ونقل

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به حل مدل و تحلیل حساسیت نتایجی به شرح زیر ارائه می شود:

در شکل ۶، افزایش تقاضا تقریباً به‌صورت تدریجی به افزایش سود منجر می‌شود؛ ازاین‌رو اتخاذ استراتژی‌های مناسب بازاریابی و تبلیغات که افزایش تقاضای محصول را به دنبال دارد، می‌تواند سود کارخانه را بیشینه کند. شکل ۷، نشان می‌دهد که افزایش در میزان تقاضا در برخی نقاط به افزایش میزان آلایندگی ناشی از حمل‌ونقل منجر می‌شود. افزایش تقاضا به استفاده از وسایل نقلیه بیشتری منجر می‌شود یا ممکن است به استفاده از نوعی از حمل‌ونقل که دارای

ظرفیت بیشتر و احتمالاً آلایندگی بیشتر است، منجر شود. به‌منظور جلوگیری از این امر، شناسایی نوع حمل‌ونقل یا ظرفیت مناسب و آلایندگی می‌تواند کارساز باشد؛ البته این امر ممکن است به افزایش هزینه‌های سازمان منجر شود. با توجه به شکل ۸، افزایش هزینه حمل‌ونقل تقریباً به‌صورت خطی به کاهش سود منجر می‌شود؛ ازاین‌رو استراتژی‌های مناسب و استفاده از نوع حمل‌ونقل با هزینه‌ی کمتر و همچنین بررسی زیرساخت‌های عملیاتی برای پایین‌آوردن هزینه‌های حمل‌ونقل می‌تواند از جمله سیاست‌های مقابله با این مشکل باشد.

در این پژوهش یک شبکه زنجیره تأمین سبز حلقه‌بسته طراحی شده که دارای چهار لایه در زنجیره تأمین روبه‌جلو و چهار لایه در زنجیره معکوس است. برای شبکه طراحی‌شده یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی دوهدفه ارائه می‌شود که تابع هدف اول سود را بیشینه می‌سازد و تابع هدف دوم آلایندگی‌های زیست‌محیطی را کمینه می‌کند. مدل ارائه‌شده با استفاده از داده‌هایی فرضی در چند نمونه مسئله با ابعاد متفاوت با روش برنامه‌ریزی آرمانی و با استفاده از نرم‌افزار لینگو حل شده و روایی و اعتبار مدل نشان داده شده است. نتایج نشان داد که سازمان‌ها مصادف با افزایش تقاضا می‌توانند با به‌کارگیری استراتژی‌های خاصی تصمیم‌های عملیاتی مناسب را اتخاذ کنند؛ مانند استراتژی مناسب بازاریابی و تبلیغات مناسب در جهت افزایش سود، استراتژی انتخاب وسیله نقلیه باکمترین انتشار کربن در جهت کاهش آلایندگی و استراتژی مناسب هزینه‌ایی به‌منظور بازتولید محصولات مانند هزینه‌های سربار تولید و همچنین استراتژی مناسب برای مقابله با افزایش عدم‌قطعیت پارامترهای مختلف در جهت عملکرد مناسب سازمان. درنهایت شکاف‌هایی شناسایی شد؛ اما به‌دلیل تعداد بالای آن‌ها و وجود محدودیت‌ها برخی از آن‌ها پوشش داده شد. زمینه‌های پژوهشی که در راستای تکمیل این پژوهش می‌تواند بررسی شوند، به‌صورت زیر پیشنهاد می‌شوند:

۱- برای پژوهش‌های آتی می‌توان به بررسی عدم‌قطعیت در لایه‌های دیگر همچون مراکز توزیع و تولید با رویکردهای مختلف چون رویکرد فازی محور و توزیع‌محور پرداخت؛

۲- می‌توان شبکه زنجیره تأمین را تغییر داد و مرکز انبار و مباحث کنترل موجودی یا انتخاب فناوری و حالت‌های حمل‌ونقل را در نظر گرفت؛

۳- می‌توان توابع هدف دیگری همچون حداقل‌کردن زمان تولید و حمل‌ونقل در زنجیره را اضافه کرد؛

۴- با توجه به اهمیت کاهش هزینه و آلایندگی ماشین‌آلات حمل‌ونقل در تمامی صنایع می‌توان مسئله مسیریابی وسایل نقلیه را به شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته پیشنهادی اضافه کرد.

منابع

1. A Ben-Tal, L El Ghaoui, A Nemirovski. (2009). *Robust optimization*. Princeton University Press.
2. Alam Tabriz, A., Roghanian, E, Hosseinzadeh, M. (2011). Design and Optimization of Reverse Logistics Network under Uncertainty Conditions Using Genetic Algorithm. *Industrial Management Perspective, 1*, 89-61 (In Persian).
3. C-T Chang. (2011). Multi-choice goal programming with utility functions. *Eur. J. Oper. Res. 215*, 439–445.
4. Diabat, A., Abdallah T., Al-Refaie, A., Svetinovic, D., & Govindan, K. (2013). Strategic closed-loop facility location problem with carbon market trading. *IEEE Transactions on Engineering Management, 60,* 398-408.
5. 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.
6. Farahani, R.Z., Rezapour, S., Drezner, T., et al. (2014). Competitive supply chain network design: An overview of classifications, models, solution techniques and applications. *Omega, 45,* 92–118.
7. Garg, k., Kannan, D., Diabat, A., & Jha, P.C. (2015). A multi-criteria optimization approach to manage environmental issues in closed loop supply chain network design. *Jornal of Cleaner production, 100,* 297-314.
8. Kannan, G., Sasikumar, P., Devika, K. (2010). A genetic algorithm approach for solving a closed loop supply chain model: A case of battery recycling. *Applied Mathematical Modelling, 34(3),* 655-670.
9. Listeş. O., & Dekker, R. (2005). A stochastic approach to a case study for product recovery network design. *European Journal of Operational Research, 160(1),* 268-287.
10. Bashiri, M., & Moslemi, A. (2012). A Robust Scenario Based Approach in an Uncertain Condition Applied to Location-Allocation Distribution Centers Problem. *International Journal of Management and Business Research, 1,* 199-210.
11. Mohammadi, A., Alam Tabriz, A., Pishvaei, M. (2018). A Model for Mainstreaming the Sustainable supply Chain Considering the Consistency of Financial and Physical Flow. *Industrial Management Perspective, 29,* 62-39.
12. Mohammadi, S., & Mohammadi, A. (2014).Stochastic scenario-based model and investigating size of battery energy storage and thermal energy storage for micro-grid. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 61,* 531-546.
13.Mortazavi, S.D., Seif-Barghi, M. (2018). Bi-objective modeling of allocation problem in a green supply chain considering the transport system and CO2 emissions. *Industrial Management Perspective, 29,* 185- 163 (In Persian).
14. Mulvey, J.M., & Ruszczynski, A. (1995).A new scenario decomposition method for large scale stochastic optimization. *Operations Research, 43,* 477–490.
15. Mulvey, J.M., Vanderbei, R.J., & Zenios, S.A. (1995). Robust optimization of large scale systems. *Oper. Res, Lett, 43(2),* 264–281.
16. Naderi, M.J., & Pishvaee M.S. (2017). A stochastic programming approach to integrated water supply and wastewater collection network design problem. *Computers & Chemical Engineering.*
17. Niknam, T., Azizipanah-Abarghooee, R., & Narimani, M.R. (2012). Ane cient scenario-based stochastic programming framework for multi-objective optimal

micro-grid operation. *Applied Energy, 99*, 455-470.
18. Pedram. A., Bin Yusoff, N., Udoncy, O.E., Mahat, A.B., & Pedram, P. (2017). Integrated forward and reverse supply chain: A tire case study. *Waste Management.*
19. 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. *Appl. Math. Model, 37(1),* 328-344.
20. Saedinia R, Vahdani B , Etebari F , Nadjafi B.A. (2019). Robust gasoline closed loop supply chain design with redistricting, service sharing and intra-district service transfer. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 123*, 121-141.
21. Safaei, A.B., Roozbeh, A., & Paydar, M.M. (2017). A Robust optimization model for the design of a cardboard closed-loop supply chain.Cleaner Production.
22. Soleimani, H., Govindan, K., Saghafi, H.J. & Afari, H. (2017). Fuzzy Multi-Objective Sustainable and Green Closed-Loop supply chain Network design. *Computers & industrial engineering, 8352(17),* 30184-5
23. Su, T-S. (2014). Fuzzy multi-objective recoverable remanufacturing planning decisions involving multiple components and multiple machines. *Computers & Industrial Engineering, 72*, 72-83.
24. Wang, H.F., & Hsu H. W. (2010).A closed-loop logistic model with a spanning-tree based genetic algorithm. *Computers & operations research, 37(2),* 376-389.
25. Zabinsk o.h.m.s.z.b.(2010). Stochastic optimization of medicial supply location and distribution in disaster management. *International journal of production economics, 126, 76*-84.
26. Zikopoulos, C. & Tagaras, G. (2015). Reverse supply chains: Effects of collection network and returns classification on profitability. *European Journal of Operational Research, 246(2),* 435-449.
27. Zhan, S-L. & Liu., N. (2011). A multi-objective stochastic programming model for emergency logistics based on goal programming.in Computational Sciences and Optimization (CSO). 2011 Fourth International Joint Conference on IEEE.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Robust Integrated Optimization for Green Closed Loop Supply Chain

Saba Manouchehri[*], Ali Tajdin[**], Babak Shirazi[***]

Abstract

With increasing environmental pollution in recent years, researchers have focused on designing a closed loop supply chain network with consideration of environmental issues. In this research an uncertain bi-objective, multi-period, multi-product and multi-level closed-loop supply chain network is presented. Uncertainty in demand, transportation costs are considered and to counteract this uncertainty the robust optimization approach is used. The proposed supply chain network consists of four levels of forward supply chain and four levels of reverse chain. The proposed model is a mixed integer linear programming (MILP) model with the aim maximizing profit and minimizing generated pollution by transportation of products, and operational centers. The proposed model is solved by lingo software, so that the multi-objective model has been handled by utility based goal programming method. Finally, the results are analyzed and the comparison of different scenarios indicates that the objective function has strongly shown the uncertainty parameters and the effect of uncertainty in the parameters simultaneously. Therefore, network modeling based on different scenarios can be a good tool for deciding on confrontation with uncertain and ambiguous parameters.

Keywords: Closed-loop Supply Chain (CLSC); Robust Optimization; Uncertainty; Goal Programming.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Received: April 24, 2019, Accepted: August 25, 2019.
*M.Sc., Mazandaran University of Science and Technology.
**Assistant Professor, Mazandaran University of Science and Technology (Corresponding Author).
E-mail: Ali_tajdin@ustmb.ac.ir
*** Associate Professor, Mazandaran University of Science and Technology.