



توسعه مدل ریاضی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چند هدفه؛ با تمرکز بر صرفه جویی

هزینه های بازیافت در شرایط عدم اطمینان

صادق فیض‌اللهی^۱

حسینعلی حیدری^۲

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۰۲/۰۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۰۶/۱۸

چکیده

امروزه بحث بازآوری و استفاده مجدد محصولات مصرفی اهمیت خاصی یافته‌است. از آن جا که زنجیره تأمین حلقه بسته نه تنها جریان روبه جلو بلکه شامل جریان معکوس نیز می‌شود، لذا شرکت‌هایی موفق هستند که بین زنجیره تأمین مستقیم و معکوس یکپارچگی بوجود آورند در تحقیق حاضر پس از بررسی ادبیات موضوع، مدل جامع‌تر و کامل‌تری نسبت به مدل‌های گذشته ارائه شده‌است. مدل بصورت چندهدفه، چندسطحی و تک‌محصولی با بازگشت محصول در شرایط عدم اطمینان است. توابع هدف مدل شامل حداقل کردن هزینه‌ها، افزایش سود حاصل از محصول بازیافتی، افزایش صرفه جویی هزینه‌های حاصل از بازیافت و اثرات زیست محیطی می‌باشد. به منظور حل مسأله چندهدفه، از رویکرد (TH) که یکی از روش‌های تبدیل توابع چندهدفه به تک‌هدفه می‌باشد استفاده شده‌است. برای اعتبارسنجی مدل پیشنهادی، یک مثال عددی طرح و با استفاده از نرم افزار GAMS حل و مورد بررسی قرار گرفت. و نتایج حاصل از تحلیل حساسیت در ادامه تشریح گردید.

کلمات کلیدی

زنجیره تأمین حلقه بسته، صرفه جویی، هزینه های بازیافت، عدم اطمینان

۱- گروه مدیریت، واحد مهران، دانشگاه آزاد اسلامی، مهران، ایران. (نویسنده مسئول) sadegh_feizollahi@yahoo.com

۲- گروه مدیریت صنعتی، شرکت پالایش گاز ایلام، ایلام، ایران. Hossein549497@gmail.com

توسعه مدل ریاضی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چند هدفه.../فیض‌اللهی و حیدری

مقدمه

چند سال اخیر ظهور فناوری های نوین و ایجاد تحولات عظیم در بازارهای جهانی، مدیریت زنجیره تأمین را بیش از پیش ضروری ساخته است، به نحوی که سازمان‌های مختلف برای ایجاد و حفظ موقعیت و جایگاه رقابتی خود، ناگزیر به استفاده از مدیریت زنجیره تأمین می‌باشند (صبری و همکاران، ۲۰۰۰). شبکه زنجیره تأمین تمام فعالیت‌های مرتبط با جریان و تبدیل محصول‌ها از مرحله تأمین مواد اولیه تا تحویل به مشتری و نیز جریان‌های مرتبط با آن‌ها را شامل می‌شود. اگر بحث زنجیره تأمین معکوس در مسئله تعریف شود، محصولات مصرفی از مشتریان به تولیدکنندگان نیز ارسال می‌گردد. اگر در مدلی، جریان معکوس در کنار جریان مستقیم فرض شود، مدل را شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته می‌نامند. زنجیره تأمین حلقه بسته از دو بخش تشکیل شده است: زنجیره معکوس و زنجیره مستقیم. در زنجیره مستقیم، جریان محصولات از تأمین کنندگان و کارخانه شروع می‌شود و سپس توزیع کنندگان، محصولات نهایی را به مشتریان به منظور فراهم نمودن تقاضای آنها تحویل می‌دهند. این فرایند مستقیم است. در زنجیره معکوس، به این صورت است که جریان محصولات مصرفی از مشتریان به سمت مراکز جمع آوری یا توزیع کنندگان برای دسته‌بندی یا مونتاژ کردن برای احیا، استفاده مجدد و یا انهدام و دور ریختن فرستاده می‌شوند (پاکسوی و همکاران ۲۰۱۱، ازسیلان و پاکسوی ۲۰۱۳).

از آنجایی که زنجیره تأمین حلقه بسته با جریانی از مواد در طول کل زنجیره مواجه است طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته باید تصمیمات استراتژیکی و تاکتیکی را یکپارچه و مشخص سازد تا بتواند هزینه کل را کاهش دهد و یا سود کل را افزایش دهد (جاوید و آزاد، ۲۰۱۰، کسکین و همکاران، ۲۰۱۰، پاکسو و همکاران، ۲۰۱۱).

در شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته جریان رفت و برگشت بر هم اثر می‌گذارند، تاثیر متقابل این دو می تواند متفاوت باشد که به نوع محصول بستگی دارد. از آنجا که به شدت کارایی زنجیره‌های رو به جلو و معکوس با هم در ارتباط هستند. استفاده از یکپارچه سازی مناسب که قادر به حفاظت از هر دو جریان رو به جلو و معکوس باشد، امری ضروری است. در همین راستا زنجیره تأمین حلقه بسته مطرح گردید (وحدانی و همکاران، ۲۰۱۲). دنیای واقعی با عدم قطعیت در پارامترهای زنجیره تأمین حلقه بسته مانند عدم قطعیت در مواردی چون تقاضا، فرایند، قیمت و ظرفیت تولید رو به جلو می باشد. طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته با سطح عدم قطعیت بالاتری از تقاضا رو به جلو می‌باشد. (بشیری و شیری، ۱۳۹۴).

مسئله مورد نظر در این پژوهش، توسعه مدل شبکه زنجیره تأمین یکپارچه است. در این مسئله، شبکه زنجیره تأمین شامل هفت مرحله می‌باشد و تسهیلات موجود در شبکه شامل سطوح تأمین‌کننده، مراکز تولید، مراکز توزیع‌کننده، مشتری، مراکز جمع‌آوری، مراکز بازرسی و انهدام می‌باشند. در این مسئله مراکز تولید پس از خرید مواد اولیه و تبدیل آن به محصولات نهایی، آنها را به سیستم توزیع می‌فرستند و سپس از راه مراکز توزیع محصولات برای مشتریان ارسال می‌شوند. درصدی از محصولات به دلایل مختلف مانند خرابی و ... از مشتریان به مراکز جمع‌آوری که اولین حلقه در شبکه معکوس می‌باشند ارسال می‌شوند. این محصولات پس از ارسال به مراکز بازرسی و انهدام در صورت قابل تعمیر بودن به مراکز تولید فرستاده شده و بعد از تعمیر دوباره به شبکه زنجیره تأمین وارد می‌شوند که آن‌گاه برای پاسخگویی به نیاز مشتریان از آنها استفاده می‌شود. در صورتی که محصولات موجود در مراکز بازرسی و انهدام قابل تعمیر نباشند در همان جا منهدم شده و از شبکه خارج می‌شوند تا از محیط زیست به طرز مناسبی خارج شود. چون کالاها در چرخه زنجیره تأمین معکوس و در چرخه زنجیره تأمین مستقیم وارد می‌شوند لذا شبکه یک شبکه حلقه بسته خواهد بود مدل بصورت چندهدفه، چندسطحی و تک‌محصولی با بازگشت محصول در شرایط عدم اطمینان است. توابع هدف مدل شامل حداقل کردن هزینه‌ها، افزایش سود حاصل از محصول بازیافتی، افزایش صرفه‌جویی هزینه‌های حاصل از بازیافت و اثرات زیست محیطی می‌باشد. در مدل پیشنهادی تقاضای مشتریان و ظرفیت تأمین‌کننده قطعی نبوده و از محصول بازگشتی، نیمی بعد از بازرسی به مراکز تولید برگشته و بعد از انجام تعمیر در مراکز تولید به سیستم برگشت داده و دوباره مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین نیمی دیگر از محصول برگشتی که قابل تعمیر نمی‌باشند، بعد از انهدام از شبکه خارج می‌شوند.

مبانی نظری و پیشینه تحقیق

مسائل زنجیره تأمین حلقه بسته^۱ معرف دسته مسائلی هستند که جریان مواد برگشتی از مشتریان و بازیافت آنها و برگشت این مواد به چرخه تولید را نیز در نظر می‌گیرند. گاهی اوقات به مسائل زنجیره تأمین حلقه بسته مسائل زنجیره تأمین دوستدار محیط زیست^۲ نیز می‌گویند. که هدف آن حداقل کردن اتلاف مواد در طول چرخه عمر محصول است (پیشوایی و ترابی ۲۰۱۰). کوئل و همکاران (۲۰۰۹) زنجیره تأمین حلقه بسته را به صورت «بررسی هر دو فرایندهای جریان‌های مستقیم و معکوس در زنجیره تأمین برای طراحی و مدیریت این جریان‌ها به صورت صریح» تعریف کرده‌اند. مدل‌های قطعی طراحی شبکه زنجیره تأمین، عدم قطعیت‌ها و عدم اطلاعات مربوط به آینده محتمل بازار را در نظر نمی‌گیرند در نتیجه نمی‌توانند عملکرد آتی زنجیره را تضمین کنند. بنابراین مدل‌سازی عدم قطعیت‌ها

توسعه مدل ریاضی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چند هدفه.../فیض‌اللهی و حیدری

یک موضوع کلیدی در واقعی طراحی نمودن شبکه های زنجیره تأمین می‌باشد. از همین رو، لازم است عدم قطعیت، خصوصاً عدم قطعیت‌های مرتبط با داده‌ها و روابط بین عناصر سیستم، در مدلسازی سیستم‌ها لحاظ شود (بشیری و بشیری ۱۳۹۴).

مرور مبانی نظری، دیدگاه‌های مختلفی را در مطالعه روابط زنجیره تأمین نشان می‌دهد. به طور کلی می‌توان چنین برداشت کرد که مطالعات پیشین بر موضوع های زیر متمرکز هستند:

پایدار و همکاران (۲۰۱۷) به طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته مهندسی نفت با در نظر گرفتن ریسک جمع آوری پرداخته‌اند. یان سوی و همکاران (۲۰۱۷) به مشکل شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با عدم قطعیت در محصولات مورد تقاضا و بازگشتی و برای حل این مشکل از الگوریتم ژنتیک کلونی زنبور مصنوعی استفاده شده‌است. چن و همکاران (۲۰۱۷) به بهینه سازی تازگی محصولات در زنجیره تأمین حلقه بسته با استفاده از مدل چند دوره ای ترکیب شده با کنترل کننده فازی تحت شرایط عدم قطعیت پرداخته‌اند. السالم و همکاران (۲۰۱۶) به مسئله زنجیره تأمین حلقه بسته پرداخته‌اند. یک برنامه عدد صحیح غیر خطی ترکیبی است که از طریق آن مشکلات حمل و نقل و سفارش و مکان حل می‌شود. رویمینا و همکاران (۲۰۱۶) به طراحی مدل زنجیره تأمین حلقه بسته محیطی قوی تحت عدم قطعیت پرداخته‌اند. مدل پیشنهادی طبق مدل برنامه ریزی عدد صحیح ترکیبی تک‌هدفه حل می‌شود. کایا و یورک (۲۰۱۶) به مدل برنامه ریزی عدد صحیح غیرخطی ترکیبی و راه‌حل‌های ابتدایی برای تصمیم‌گیری مکان، فهرست موجودی و قیمت در زنجیره تأمین حلقه بسته پرداخته‌اند. زوحال و سلیمانی (۲۰۱۶) به توسعه رویکرد کلونی مورچگان در شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته سبز پرداخته‌اند. هدف این مطالعه کاهش هزینه‌ها و انتشار کربن است. عملکرد الگوریتم پیشنهادی با راه حل بهینه نرم افزار لینگو^۳ از طریق مثال های عددی بر اساس داده‌های واقعی مقایسه شده‌است. ژی و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی به مطالعه پیچیدگی و کنترل زنجیره تأمین بازیافت بازار تلویزیون‌های رنگی چین بر اساس بارانه دولت به بررسی حل مدل زنجیره تأمین حلقه بسته بازیافت پرداختند. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل، در بهبود محیط زیست و افزایش رفاه اجتماعی استفاده می‌شوند. دای و همکاران (۲۰۱۶) به طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته تحت عدم قطعیت با استفاده از الگوریتم ژنتیک ترکیبی: یک مدل برنامه ریزی فازی و شانس محدود به بررسی حل مدل پرداختند. طلائی و همکاران (۲۰۱۵) در یک مطالعه، بررسی یک مدل تخصیص / محل تسهیلات برای یک شبکه زنجیره تأمین سبز حلقه بسته چندمحصول متشکل از تولید / بازتولید و مراکز جمع آوری / بازرسی و همچنین بازارها و مرکز در دسترس انجام دادند. مدل با نظر گرفتن اهداف زیست محیطی و کاهش میزان انتشار

دی اکسید کربن در محیط در سراسر شبکه توسعه داده شده است. سابولان و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی به طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با گزینه‌های بازیابی متعدد با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی فازی به بررسی و حل مدل زنجیره تأمین حلقه بسته پرداختند. کافا و همکاران (۲۰۱۵) به شبیه‌سازی، مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل طراحی شبکه زنجیره‌ای حلقه بسته تغذیه: مطالعه موردی صنعت باتری به بررسی و حل مدل زنجیره تأمین حلقه بسته پرداختند. تیواری و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی رویکرد الگوریتم تکاملی برای طراحی شبکه حلقه بسته زنجیره تأمین سبز و حل مدل زنجیره تأمین حلقه بسته پرداختند. جوی تائو و همکاران (۲۰۱۵) به موازنه شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چنددوره‌ای با فشرده سازی انتشار کربن پرداخته‌اند. و هدف آن دوباره‌سازی برای کاهش ضایعات و ایمنی محیطی است. کادامبالا و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی به شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته، طراحی برای کارایی زمان و انرژی پرداخته‌اند رویکرد بهینه سازی انبوه چندهدفه برای حل مدل و استفاده از الگوریتم ژنتیک است. اوزسیلان و همکاران (۲۰۱۴) به مدل سازی و بهینه‌سازی مشکلات یکپارچگی طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته و پیاده‌کردن تعادل خط تولید پرداخته‌اند. جایانت و همکاران (۲۰۱۴) به شبیه‌سازی، مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل طراحی شبکه زنجیره‌ای حلقه بسته تغذیه: مطالعه موردی صنعت باتری به بررسی و حل مدل زنجیره تأمین حلقه بسته پرداختند. رضانی و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته تحت محیط فازی و حل مدل زنجیره تأمین حلقه بسته پرداختند. توکلی مقدم و همکاران (۲۰۱۳) یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط برای طراحی یکپارچه لجستیک مستقیم و معکوس ارائه داده‌اند که با هدف کمینه سازی هزینه‌های کل زنجیره تأمین و برای حل مدل از نرم افزار لینگو بهره گرفته‌اند. امین و ژانگ (۲۰۱۳) یک مدل شبکه زنجیره تأمین دو هدفه حلقه بسته تحت شرایط عدم قطعیت ارائه نمودند. شبکه لجستیک حلقه بسته در این مطالعه، یک شبکه شامل کارخانه‌های تولیدی، بازار تقاضا، مراکز جمع آوری و مرکز دفن می‌باشد. غایب لو و تارخ (۱۳۹۴) به طراحی شبکه زنجیره تأمین یکپارچه مستقیم و معکوس سازگار با محیط زیست پرداختند. با استفاده از روش قیود محدود، مقادیر بهینه پارتو محاسبه شدند. صفار و همکاران (۱۳۹۴) به طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته سبز با در نظر گرفتن ریسک‌های عملیاتی در شرایط عدم قطعیت پرداخته‌اند. و با روش الگوریتم مسیر ممنوع حل شد. بشیری و شیری (۱۳۹۴) شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن مرکز جمع آوری چند بخشی در شرایط عدم قطعیت بررسی کردند. با استفاده از الگوریتم پیشنهادی ژنتیک ترکیب شده و حل آن با الگوریتم ابتکاری تقریب میانگین نمونه و نرم افزار گمز است. سلطانی تهرانی و

توسعه مدل ریاضی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چند هدفه.../فیض‌اللهی و حیدری

همکاران (۱۳۹۴) مدل بهینه‌سازی دوهدفه هزینه و کربن دی اکسید در زنجیره تأمین حلقه بسته ارائه کردند. اخوان و همکاران (۱۳۹۴) ارائه مدلی ریاضی برای شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته در فرآیند بازیافت محصول به مدلسازی برای توسعه چند مرحله‌ای، چند دوره‌ای، برای جلوگیری از اتلاف بیشتر منابع، کاهش آلودگی‌های محیط زیست پرداختند. دوزنده و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی تحت عنوان بهینه‌سازی متمرکز برای مدل کنترل موجودی کالای فسادپذیر در زنجیره تأمین حلقه بسته با سیکل تولید و بازتولید همزمان به بررسی سیستم موجودی برای اقلام فاسدشدنی در زنجیره تأمین حلقه بسته پرداخته شده‌است. صیدی و همکاران (۱۳۹۳) به طراحی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین حلقه بسته با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله‌مراتبی فازی جهت مدیریت پسماند پرداختند. صانعی و توکلی مقدم (۱۳۹۳) مدل‌سازی ریاضی دو هدفه برای زنجیره تأمین حلقه بسته با ریسک اشتراکی و تقاضای غیرقطعی ارائه دادند. این مدل به صورت مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح غیر خطی دو هدفه و با استفاده از نرم افزار گمز حل شده‌است. نوتاش و همکاران (۱۳۹۳) به طراحی چند هدفه شبکه زنجیره تأمین با رویکرد الگوریتم ژنتیک پرداخته‌اند. اهداف شامل کمینه‌سازی هزینه کل و بیشینه‌سازی استفاده متوازن از ظرفیت تسهیلات شبکه است.

با توجه به پژوهش‌های موجود در مبنای نظری تاکنون مدل شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چندهدفه تحت شرایط عدم اطمینان با در نظر گرفتن اهداف مدل شامل حداقل کردن هزینه‌ها، افزایش سود حاصل از محصول بازیافتی، افزایش صرفه جویی هزینه‌های حاصل از بازیافت و اثرات زیست محیطی به طور همزمان مطالعه نشده‌است یا حداقل در دسترس محقق قرار ندارد که در این پژوهش مدل ریاضی این مسئله ارائه می‌شود و به منظور حل مسأله چند هدفه از رویکرد (TH) و در نهایت برای اعتبار سنجی مدل پیشنهادی یک مثال عددی طرح و با استفاده از نرم افزار GAMS حل و مورد بررسی قرار می‌گیرد.

روش شناسی پژوهش

این تحقیق از حیث هدف از نوع توسعه‌ای و از حیث روش از نوع مدلسازی کمی است و محقق در صدد است ابتدا یک مسئله ریاضی چندهدفه شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته تحت عدم اطمینان را مدل‌سازی کند. سپس به منظور حل مسأله چندهدفه از رویکرد پیشنهادی (TH^۴) استفاده می‌شود. سپس با استفاده از یک مثال عددی اعتبار سنجی و با نرم افزار GAMS حل و مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مدل سازی ریاضی

در این قسمت به تعریف مفروضات، اندیس ها، پارامترها، متغیرهای تصمیم پرداخته می شود و در ادامه مدل ارائه شده آورده شده است.

مفروضات:

- هزینه انتقال (جابجایی) به نوع مواد، قطعه، محصول بستگی ندارد و تحت تأثیر مبدا و مقصد (مسافت) است.
- هزینه توزیع با هزینه انتقال محصول از توزیع کننده به مشتری در نظر گرفته شده است.
- مراکز تأمین کنندگان، تولید کنندگان / مونتاژگران، توزیع کنندگان و مشتریان ثابت و از پیش تعریف شده است.
- هزینه جمع آوری داخل هزینه انتقال محصول استفاده شده از مراکز مشتری به مراکز جمع آوری در نظر گرفته شده است.
- هزینه دفع و انهدام مواد و قطعات در هزینه حمل و نقل آنها به مراکز دفع در نظر گرفته شده است.
- قطعات مورد استفاده در مراکز مونتاژ از تأمین کننده خریداری شده است.
- محصولات سبز از مواد قابل بازیافت ساخته شده است.
- درصد ثابتی از محصولات ارسال شده به هر مشتری برابر با مقدار محصولات برگشتی از همان مشتری در نظر گرفته می شود.
- تقاضا برای محصولات باید ارضا شود.
- محصولات پس از جمع آوری از مناطق مشتری، دمونتاژ می شوند.
- قطعات حاصل از دمونتاژ در سه دسته قطعات مشابه نو، قطعات بازیافتی و قطعات ضایعاتی، به ترتیب، به مراکز مونتاژ، مرکز بازیافت و مرکز دفع منتقل می شوند.
- یک محصول در نظر گرفته می شود.

توسعه مدل ریاضی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چند هدفه.../فیض‌اللهی و حیدری

اندیس‌های مدل

اندیس‌های مدل در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱: اندیس‌های ارائه شده در مدل

$i = 1, 2, \dots, I$	شاخص تأمین‌کننده‌ها	I
$j = 1, 2, \dots, J$	شاخص تولیدکننده‌ها	J
$ma = 1, 2, \dots, MA$	شاخص بازار مواد	Ma
$p = 1, 2, \dots, P$	شاخص انواع قطعات	P
$m = 1, 2, \dots, M$	شاخص مواد خام	M
$t = 1, 2, \dots, T$	شاخص دوره،	T
$k = 1, 2, \dots, K$	شاخص مراکز توزیع	K
$g = 1, 2, \dots, G$	شاخص مراکز جمع‌آوری	G
$r = 1, 2, \dots, R$	شاخص مراکز بازیافت	R
$re = 1, 2, \dots, RE$	شاخص مراکز دفع و انهدام	Re
$l = 1, 2, \dots, L$	شاخص مراکز بالقوه دمونتاز	L
$c = 1, 2, \dots, C$	شاخص مناطق مشتریان	C

پارامترها

پارامترهای مدل در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲: پارامترهای ارائه شده در مدل

هزینه واحد انتقال مواد اولیه نوع m از بازار ma در دوره t	$ship_{mait}^1$
هزینه واحد انتقال قطعه نوع p از تأمین‌کننده i به تولیدکننده j در دوره t	$ship_{ijpt}^2$
هزینه واحد جابجایی محصول از تولیدکننده j به توزیع‌کننده k در دوره t	$ship_{jkt}^3$
هزینه واحد جابجایی محصول از توزیع‌کننده k به مشتری c در دوره t	$ship_{kct}^4$
هزینه واحد انتقال محصول از مشتری c به مرکز جمع‌آوری g در دوره t	$ship_{cgt}^5$
هزینه واحد انتقال محصول از مرکز جمع‌آوری g به مرکز دمونتاز l در دوره t	$ship_{gl}^6$
هزینه واحد انتقال قطعات مشابه نوع p از مرکز دمونتاز l به تولیدکننده j در دوره t	$ship_{ljpt}^7$
هزینه جابجایی قطعات بازیافتی نوع p از مرکز دمونتاز l به مرکز بازیافت r در دوره t	$ship_{lrpt}^8$
هزینه انتقال قطعات ضایعاتی نوع p از مرکز دمونتاز l به مرکز دفع و انهدام re در دوره t	$ship_{lrept}^9$
هزینه انتقال مواد بازیافت شده نوع m از مرکز بازیافت r به تأمین‌کننده i در دوره t	$ship_{rimt}^{10}$

فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار / شماره چهل و ششم / بهار ۱۴۰۰

هزینه انتقال مواد ضایعاتی نوع m از مرکز بازیافت r به مرکز دفع و انهدام re در دوره t	$ship_{rremt}^{11}$
متوسط قیمت خرید قطعات نوع p از تأمین کننده گان در دوره t	$income_{pt}$
قیمت قطعه نوع p از تأمین کننده i در دوره t	$price_{ipt}$
هزینه نگهداری قطعه نوع p تولید کننده j در دوره t	inv_{jpt}
هزینه ثابت تأمین محصول از تأمین کننده i در دوره t	$Fcost_{it}$
هزینه واحد راه اندازی مرکز جمع آوری g در دوره t	$setg_{gt}$
هزینه واحد راه اندازی مرکز دمونتاز l در دوره t	$setdis_{lt}$
هزینه واحد راه اندازی مرکز بازیافت r در دوره t	$setrev_{rt}$
هزینه واحد راه اندازی مرکز دفع و انهدام re در دوره t	$setrebuttal_{ret}$
هزینه واحد دمونتاز محصول در مرکز دمونتاز l در دوره t	$costdis_{lt}$
هزینه بازیافت قطعه نوع p در مرکز بازیافت r در دوره t	$costrev_{rpt}$
هزینه واحد تولید کننده j در دوره t	$cost_{jt}^2$
هزینه خرید مواد اولیه نوع m از بازار ma در دوره t	$b\ cost_{maitm}^1$
هزینه نگهداری موجودی در انبار توزیع کننده k در دوره t	h_{kt}
آلودگی ناشی از زباله شیمیایی تولید شده به ازای هر قطعه نوع p به وسیله تأمین کننده i در دوره t	CC_{ipt}
آلودگی ناشی از فاضلاب و پساب تولید شده به ازای هر قطعه نوع p به وسیله تأمین کننده i در دوره t	WW_{ipt}
آلودگی ناشی از تولید ضایعات جامد به ازای تولید هر قطعه نوع p به وسیله تأمین کننده i در دوره t	SW_{ipt}
واحد انتشار آلودگی هوا در حین انتقال قطعه نوع p به وسیله تأمین کننده i به تولید کننده j در دوره t	AEX_{ijpt}
واحد انتشار آلودگی هوا در حین انتقال محصول از تولید کننده j به توزیع کننده k در دوره t	AEY_{jkt}
واحد انتشار آلودگی هوا در حین انتقال محصول از توزیع کننده k به محل مشتری c در دوره t	AEY'_{kct}
واحد انتشار آلودگی هوا در حین انتقال محصول از محل مشتری c به مرکز جمع آوری g در دوره t	AEY''_{cgt}
واحد انتشار آلودگی هوا در حین انتقال محصول از مرکز جمع آوری g به مرکز دمونتاز l در دوره t	AEY'_{glt}
واحد انتشار آلودگی هوا در حین انتقال قطعات نوع p از مرکز دمونتاز l به تولید کننده j در دوره t	$AEXX'_{lrept}$
واحد انتشار آلودگی هوا در حین انتقال قطعات بازیافتی نوع p از مرکز دمونتاز l به مرکز بازیافت r در دوره t	AEY'_{lrpt}
واحد انتشار آلودگی هوا در حین انتقال قطعات دورریز نوع p از مرکز دمونتاز l به مرکز دفع re در دوره t	AEY'''_{ljpt}
واحد انتشار آلودگی هوا در حین انتقال مواد دورریز نوع m از مرکز بازیافت r به مرکز دفع re در دوره t	$AEXX''_{rremt}$
واحد انتشار آلودگی هوا در حین انتقال مواد بازیافتی نوع m که از مرکز بازیافت r به تأمین کننده i در دوره t	AEZ'_{rimt}
واحد مصرف انرژی در حین انتقال مواد نوع m از بازار ma به تأمین کننده i در دوره t	ec_{maitm}

توسعه مدل ریاضی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چند هدفه.../فیض‌اللهی و حیدری

میزان مصرف منابع تجدید ناپذیر در حین تولید قطعه نوع p به وسیله تأمین کننده i در دوره t	NC_{ipt}
تقاضای فازی محصول در دوره t	\overline{dem}_t
تعداد واحد مورد نیاز از قطعه نوع p در دوره t	req_p
تعداد مورد نیاز واحد قطعه (مشابه نو) نوع p در محصول	req'_p
درصد (جمع‌آوری/ برگشت از مشتری) محصول در دوره t	Q_t
درصد بازیافت قطعه نوع p در مرکز بازیافت r در دوره t	Q'_{ptr}
حداکثر ظرفیت فازی در دسترس قطعه نوع p ارائه شده به وسیله تأمین کننده i در دوره t	\overline{supmax}_{ipt}
حداقل مقدار خرید قطعه نوع p از تأمین کننده i در دوره t	$supmin_{ipt}$
حداکثر درصد قطعه قابل استفاده مجدد نوع p در دوره t	$reuse_{pt}$
ظرفیت محصول تولید کننده j در دوره t	C_{jt}^1
ظرفیت محصول توزیع کننده k در دوره t	C_{kt}^2
ظرفیت محصول استفاده شده مرکز جمع‌آوری g در دوره t	C_{gt}^4
ظرفیت قطعه مشابه نو نوع p مرکز دمونتاز l در دوره t	C_{plt}^5
ظرفیت مواد بازیافتی نوع m مرکز بازیافت r در دوره t	C_{rmt}^6
ظرفیت مرکز دفع و انهدام در دوره t	C_{ret}^7
بودجه تأمین در دوره t	B_t

متغیرهای تصمیم

متغیرهای تصمیم مدل در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳: پارامترهای ارائه شده در مدل

متغیر صفر/یک. اگر تأمین کننده i در دوره t انتخاب شود، یک و در غیر آن صفر است.	S_{it}
متغیر صفر/یک. اگر مرکز جمع‌آوری g در دوره t انتخاب شود، یک و در غیر آن صفر است.	g_{gt}
متغیر صفر/یک. اگر مرکز دمونتاز l در دوره t انتخاب شود، یک و در غیر آن صفر است.	dis_{lt}
متغیر صفر/یک. اگر مرکز بازیافت r در دوره t انتخاب شود، یک و در غیر آن صفر است.	rev_{rt}
متغیر صفر/یک. اگر مرکز دفع و انهدام re در دوره t انتخاب شود، یک و در غیر آن صفر است.	btl_{ret}
متغیر عدد صحیح. میزان مواد خریداری شده نوع m از بازار ma به تأمین کننده i در دوره t	z_{maint}
متغیر عدد صحیح. تعداد قطعات خریداری شده نوع p از تأمین کننده i به تولید کننده j در دوره t	x_{ijpt}

فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار / شماره چهل و ششم / بهار ۱۴۰۰

متغیر عدد صحیح. تعداد محصولات انتقال یافته از تولید کننده j به توزیع کننده k در دوره t	y_{jkt}
متغیر عدد صحیح. تعداد محصولات انتقال یافته از توزیع کننده k به محل مشتری c در دوره t	y'_{kct}
متغیر عدد صحیح. تعداد محصولات استفاده شده از محل مشتری c به مرکز جمع آوری g در دوره t انتقال می‌یابد.	y''_{cgt}
متغیر عدد صحیح. تعداد محصولات استفاده شده از مرکز جمع آوری g به مرکز دمونتاز l در دوره t انتقال می‌یابد.	yy'_{glt}
متغیر عدد صحیح. تعداد قطعات نوع p از مرکز دمونتاز l به تولید کننده j در دوره t انتقال می‌یابد.	y'''_{ljpt}
متغیر عدد صحیح. تعداد قطعات بازیافتی نوع p که از مرکز دمونتاز l به مرکز بازیافت r در دوره t انتقال می‌یابد.	yy'_{lrpt}
متغیر عدد صحیح. تعداد قطعات دورریز نوع p از مرکز دمونتاز l به مرکز دفع re در دوره t انتقال می‌یابد.	xx'_{lrept}
متغیر عدد صحیح. میزان مواد دورریز نوع m از مرکز بازیافت r به مرکز دفع re در دوره t انتقال می‌یابد.	xx''_{rremt}
متغیر عدد صحیح. میزان مواد بازیافتی نوع m که از مرکز بازیافت r به تأمین کننده i در دوره t انتقال می‌یابد.	z'_{rimt}
موجودی محصول در انبار توزیع کننده k در دوره t	inv'_{kt}

توابع هدف:

هدف اول: هزینه کل با توجه به رابطه (۱) بدست می‌آید.

$$\begin{aligned}
 & + \sum_k \sum_c \sum_t \text{ship}_{kct}^4 y'_{kct} \\
 & \sum_j \sum_k \sum_t (\text{cost}_{jt}^2 + \text{ship}_{jkt}^3) y_{jkt} + \quad \text{رابطه (۱)} \\
 & + \sum_{ma} \sum_i \sum_m \sum_t (\text{bcost}_{maimt}^1 + \text{ship}_{maimt}^1) z_{maimt} \\
 & + \sum_i \sum_t F \text{cost}_{it} S_{it} \sum_j \sum_p \sum_t (\text{price}_{ipt} + \text{ship}_{ijpt}^2 + \text{inv}_{jpt}) x_{ijpt} \\
 & + \sum_t \sum_l \text{setdis}_{lt} \text{dis}_{lt} + \sum_t \sum_g \text{setg}_{gt} \text{ga}_{gt} + \sum_c \sum_g \sum_t \text{ship}_{cgt}^5 y''_{cgt} \\
 & + \sum_t \sum_{re} \text{setrebuttal}_{ret} \text{btl}_{ret} \sum_t \sum_r \text{setrev}_{rt} \text{rev}_{rt} \\
 & + \sum_l \sum_j \sum_p \sum_t \text{ship}_{ljpt}^7 y'''_{ljpt} + \sum_g \sum_l \sum_t (\text{costdis}_{lt} + \text{ship}_{glt}^6) yy'_{glt} \\
 & \sum_l \sum_{re} \sum_p \sum_t \text{ship}_{lrept}^9 xx'_{lrept} + \sum_i \sum_r \sum_p \sum_t (\text{costrev}_{rpt} + \text{ship}_{lrpt}^8) yy'_{lrpt} + \\
 & \sum_r \sum_i \sum_m \sum_t \text{ship}_{rimt}^{10} z'_{rimt} \\
 & + \sum_r \sum_{re} \sum_m \sum_t \text{ship}_{rremt}^{11} xx''_{rremt} + \sum_k \sum_t \text{inv}'_{kt} h_{kt}
 \end{aligned}$$

توسعه مدل ریاضی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چند هدفه.../فیض‌اللهی و حیدری

هدف دوم: سود حاصل از محصولات بازیافتی در رابطه (۲) ارایه شده است.

رابطه (۲)

$$\sum_l \sum_j \sum_p \sum_t income_{pt} yy'''_{ijpt} + \sum_l \sum_r \sum_p \sum_t income_{pt} yy_{lrpt}$$

هدف سوم: افزایش صرفه جویی هزینه های حاصل از بازیافت و اثرات زیست محیطی در رابطه (۳)

بدست می آید.

رابطه (۳)

$$\begin{aligned} & \sum_t \sum_p \sum_i (\sum_j x_{ijpt}) CC_{ipt} \\ & + \sum_t \sum_p \sum_i (\sum_j x_{ijpt}) WW_{ipt} + \sum_t \sum_p \sum_i (\sum_j x_{ijpt}) SW_{ipt} + \\ & \sum_t \sum_p \sum_i \sum_j x_{ijpt} AEX_{ijpt} \\ & + \sum_t \sum_j \sum_k y_{jkt} AEY_{jkt} + \sum_t \sum_m a \sum_i \sum_m ec_{maitm} z_{maitm} + \\ & \sum_t \sum_i \sum_j (\sum_p x_{ijpt}) NC_{ipt} + \sum_k \sum_c \sum_t y'_{kct} AEY'_{kct} + \sum_t \sum_c \sum_g y''_{cgt} AEY''_{cgt} + \\ & + \sum_t \sum_l \sum_{rs} \sum_p xx'_{lrpt} AEXX'_{lrpt} + \sum_t \sum_g \sum_l yy'_{git} AEYY'_{git} \\ & \sum_t \sum_l \sum_j \sum_p y'''_{ljpt} AEY'''_{ljpt} + \sum_t \sum_r \sum_{re} \sum_m xx''_{rremt} AEXX''_{rremt} + \\ & \sum_t \sum_r \sum_i \sum_m z'_{rimt} AEZ'_{rimt} \end{aligned}$$

محدودیت ها: در روابط (۴) تا (۲۲) ارایه شده است.

$$\sum_k y'_{kct} \geq \overline{dem}_{t,c} \quad \forall t, c \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\sum_m a \sum_m z_{maitm} + \sum_r \sum_m z'_{rimt} = \sum_p \sum_j x_{ijpt} \quad \forall t, i \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$\sum_k req_p y_{jkt} = \sum_i x_{ijpt} + \sum_l y'''_{ijpt} \quad \forall t, p, j \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$\sum_j y_{jkt} = \sum_c y'_{kct} + \sum_j inv'_{jt} \quad \forall t, k \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$\sum_g y''_{cgt} = \sum_k Q_t y'_{kct} \quad \forall t, c \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$\sum_n \sum_g req'_p yy'_{git} = \sum_j y'''_{ijpt} + \sum_r yy_{lrpt} + \sum_{rs} xx'_{lrpt} \quad \forall p, l, t \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$\sum_{p,l} Q'_{ptr} yy_{lrpt} = \sum_m (z'_{rimt} + \sum_{rs} xx''_{rremt}) \quad \forall r, t \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

$$\sum_j x_{ijpt} \leq \overline{supmax}_{ipt} S_{it} \quad \forall p, i, t \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

$$\sum_j x_{ijpt} \geq \sup \min_{ipt} S_{it} \quad \forall p, i, t \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

$$\sum_j yy'_{ijpt} \leq \sum_g reuse_{pt} yy'_{git} \quad \forall p, l, t \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

$$\sum_r yy'_{lrpt} + \sum_{rs} xx'_{lrsept} \leq \sum_g (1 - reuse_{pt}) yy'_{git} \quad \forall p, l, t \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

$$\sum_k y_{jkt} \leq C_{jt}^1 \quad \forall j, t \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

$$\sum_c y'_{kct} \leq C_{kt}^2 \quad \forall k, t \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

$$\sum_g y''_{cgt} \leq C_{ct}^3 \quad \forall c, t \quad \text{رابطه (۱۷)}$$

$$\sum_l yy'_{gl} \leq C_{gt}^4 ga_{gt} \quad \forall g, t \quad \text{رابطه (۱۸)}$$

$$\sum_j yy'_{ijpt} + \sum_r yy'_{lrpt} + \sum_{rs} xx'_{lrsept} \leq C_{pit}^5 dis_{it} \quad \forall p, l, t \quad \text{رابطه (۱۹)}$$

$$\sum_i z_{rimt} + \sum_{rs} xx'_{rrsemt} \leq C_{rmt}^6 rev_{it} \quad \forall g, t \quad \text{رابطه (۲۰)}$$

$$\sum_i \sum_j \sum_p (price_{ipt} + ship_{ijt}^2) x_{ijpt} + \sum_i Fcost_{it} S_{it} \leq B_t \quad \text{رابطه (۲۱)}$$

$$\sum_l \sum_p xx'_{lrsept} + \sum_r \sum_m xx'_{rrsemt} \leq btl_{ret} * C_{ret}^7 \quad \text{رابطه (۲۲)}$$

تابع هدف (۱) جهت حداقل کردن هزینه کل که شامل مجموع هزینه جابجایی محصولات ارسالی از توزیع کنندگان به مشتریان در تمام دوره‌ها، مجموع هزینه تولید و جابجایی محصولات ارسالی از تولیدکنندگان به توزیع کنندگان در تمام دوره‌ها، مجموع هزینه خرید مواد اولیه از بازارها بعلاوه هزینه انتقال این مواد در تمام دوره‌ها، مجموع هزینه خرید و حمل قطعات از تأمین کنندگان به تولیدکنندگان و هزینه نگهداری قطعات در مراکز تولید، مجموع هزینه‌های ثابت تأمین کنندگان در صورتی انتخاب کردند، مجموع هزینه راه اندازی مراکز جمع‌آوری (در صورت راه اندازی مراکز) بعلاوه هزینه ارسال محصولات از مشتریان به مراکز جمع‌آوری، مجموع هزینه راه اندازی مراکز دمونتاز و مراکز بازیافت، مجموع هزینه راه‌اندازی مرکز دفع و انهدام، مجموع هزینه دمونتاز و حمل محصولات ارسالی از مراکز جمع‌آوری به مراکز دمونتاز، مجموع هزینه قطعات مشابه نو از مراکز دمونتاز به تولیدکنندگان، مجموع هزینه قطعات مشابه نو از مراکز دمونتاز به تولیدکنندگان، مجموع هزینه بازیافت و انتقال قطعات بازیافتی از مرکز دمونتاز به مرکز بازیافت، مجموع هزینه حمل قطعات دور ریز از مرکز مونتاژ به مرکز

توسعه مدل ریاضی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چند هدفه.../فیض‌اللهی و حیدری

دفع، مجموع هزینه حمل مواد بازیافتی از مرکز بازیافت به تأمین کننده، مجموع هزینه انتقال مواد دورریز از مرکز بازیافت به مراکز دفع و انهدام، مجموع هزینه نگهداری کالا در انبار توزیع کننده است.

تابع هدف (۲) میزان صرفه جویی (سود) حاصل از استفاده قطعات مشابه نو و بازیافتی از مراکز دمونتاز و مراکز بازیافت به تولیدکنندگان است.

تابع هدف (۳) جهت افزایش صرفه جویی هزینه‌ها حاصل از بازیافت و اثرات زیست محیطی که شامل میزان آلودگی ناشی از زباله های شیمیایی تولید شده در بخش تولید، آلودگی ناشی از فاضلاب و پساب تولید شده در بخش تأمین کنندگان، مجموع آلودگی ناشی از ضایعات جامد شامل مواد سمی تولید شده در حین تولید تأمین کننده، مجموع آلودگی هوا از تأمین کننده به تولیدکننده، مجموع آلودگی هوا از تولیدکننده به مرکز توزیع، مجموع مصرف انرژی مواد خریداری شده در انتقال از بازار به تأمین کننده، مجموع مصرف منابع تجدید ناپذیر در محل تأمین کننده، مجموع آلودگی هوا از توزیع کننده به مشتری، مجموع آلودگی هوا از مشتری به مراکز جمع آوری، مجموع آلودگی هوا از مراکز جمع آوری به مراکز دمونتاز، مجموع آلودگی هوا از مراکز دمونتاز به مراکز دفع، مجموع آلودگی هوا از مراکز دمونتاز به مراکز بازیافت، مجموع آلودگی هوا از مراکز دمونتاز به تولیدکننده، مجموع آلودگی هوا از مراکز بازیافت به مراکز دفع، مجموع آلودگی هوا از مراکز بازیافت به تأمین کننده است.

محدودیت (۴) برآوردن تقاضا: در هر دوره، تعداد محصولات انتقال یافته از همه توزیع کننده ها به مشتری C از تقاضای آن مشتری در آن دوره بیشتر باشد (تقاضای مشتریان به صورت عدد فازی مثلثی در نظر می گیریم)

محدودیت (۵) توازن جریان در تأمین کننده: مقدار جریان مواد ورودی به تأمین کننده شامل مواد اولیه m از بازارهای مواد اولیه ma و مواد بازیافتی از مراکز بازیافت r برابر است با مقدار جریان قطعات خروجی p از تأمین کننده i به تولیدکننده j

محدودیت (۶) توازن جریان در مراکز تولید/مونتاز در هر دوره و برای هر قطعه و هر تولیدکننده: تعداد قطعات نوع p مورد استفاده برای محصولات ارسالی از تولیدکننده j به توزیع کننده ها برابر است با تعداد قطعه نوع p خریداری شده توسط تولیدکننده j از تأمین کنندگان بعلاوه مراکز دمونتاز

محدودیت (۷) توازن جریان محصولات در مراکز توزیع در هر دوره: تعداد محصولات انتقال یافته از تمام تولیدکنندگان به توزیع کننده k برابر است با تعداد محصولات انتقال یافته از توزیع کننده k به تمام مشتریان به علاوه موجودی محصول در انبار تولیدکنندگان.

فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار / شماره چهل و ششم / بهار ۱۴۰۰

محدودیت (۸) توازن جریان محصولات در مراکز مشتری: تعداد محصولات ارسالی از مشتری C به تمام مراکز جمع‌آوری برابر است با درصد (جمع‌آوری/ برگشت از مشتری) محصول ضربدر تعداد محصولات انتقال یافته از تمام توزیع‌کنندگان به مشتری C

محدودیت (۹) توازن جریان محصولات در مراکز دمونتاز در هر دوره: تعداد قطعات نوع p که محصولات ارسالی از مراکز جمع‌آوری به مرکز دمونتاز I دارند برابر است با تعداد قطعات نوع p ارسالی از مرکز دمونتاز I به تمام تولیدکنندگان، مرکز بازیافت و مرکز دفع

محدودیت (۱۰) توازن جریان محصولات در مراکز بازیافت: تعداد قطعات بازیافتی ارسال از مراکز دمونتاز به مرکز بازیافت I برابر است با تعداد قطعات بازیافتی ارسالی از مرکز بازیافت I به مراکز بازیافت بعلاوه مراکز تولید.

محدودیت (۱۱) ظرفیت تأمین‌کننده (قطعات خریداری شده): تعداد قطعه نوع p خریداری شده توسط تولیدکنندگان از تأمین‌کننده i باید کمتر از حداکثر ظرفیت در دسترس قطعه نوع p توسط تأمین‌کننده i باشد (در صورتی که آن تأمین‌کننده انتخاب شود) اگر تأمین‌کننده انتخاب نشود مجاز به خریداری از آن تأمین‌کننده نیستیم. (در این محدودیت، حداکثر ظرفیت در دسترس قطعه را فازی در نظر می‌گیریم)

محدودیت (۱۲) حداقل خرید از هر تأمین‌کننده: تعداد قطعه نوع p خریداری شده توسط تولیدکنندگان از تأمین‌کننده i باید بیشتر از حداقل مقدار مجاز خرید قطعه نوع p از تأمین‌کننده i باشد (در صورتی که آن تأمین‌کننده انتخاب شود) اگر تأمین‌کننده انتخاب نشود این محدودیت زائد می‌گردد.

محدودیت (۱۳) درصد قابل استفاده مجدد در دمونتاز: تعداد قطعه نوع P ارسالی از مرکز دمونتاز I به تولیدکنندگان برابر است با حداکثر درصد قطعه قابل استفاده مجدد نوع p از تعداد محصول ارسالی از مراکز جمع‌آوری به مرکز دمونتاز I

محدودیت (۱۴) درصد قطعات بازیافتی و دور ریز در دمونتاز: مجموع قطعات بازیافتی نوع p ارسالی از مرکز دمونتاز I به مراکز بازیافت و مراکز دفع کمتر یا مساوی تعداد محصول ارسالی (درصد قطعه غیرقابل استفاده مجدد) از مراکز جمع‌آوری به مرکز دمونتاز I

محدودیت (۱۵) ظرفیت تولیدکننده: تعداد محصولات ارسالی از تولیدکننده J به تمام توزیع‌کنندگان باید از ظرفیت تولیدکننده J در دوره t کمتر باشد.

توسعه مدل ریاضی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چند هدفه.../فیض‌اللهی و حیدری

محدودیت (۱۶) ظرفیت توزیع‌کننده: تعداد محصولات ارسالی از توزیع‌کننده k به تمام مشتریان باید از ظرفیت توزیع‌کننده k در دوره t کمتر باشد.

محدودیت (۱۷) ظرفیت مشتری در هر دوره و بازای هر مشتری: تعداد محصول ارسالی از مشتری c به مراکز جمع‌آوری باید از حداکثر ظرفیت محصول مشتری c کمتر باشد.

محدودیت (۱۸) ظرفیت مرکز جمع‌آوری در هر دوره و بازای هر مرکز جمع‌آوری: تعداد محصولات ارسال شده از مرکز جمع‌آوری g به مراکز دمونتاز باید از ظرفیت مرکز جمع‌آوری کمتر باشد.

محدودیت (۱۹) ظرفیت دمونتاز: مجموع تعداد قطعات نوع p از مرکز دمونتاز l به تولیدکنندگان و مراکز بازیافت و مراکز دفع باید از ظرفیت قطعه نوع p مرکز دمونتاز l کمتر باشد (در صورت راه اندازی مرکز دمونتاز l).

محدودیت (۲۰) ظرفیت بازیافت: مجموع میزان مواد بازیافتی از مرکز بازیافت r به تأمین‌کنندگان بعلاوه میزان مواد دور ریز نوع m ارسالی از مرکز بازیافت r به مراکز دفع باید از ظرفیت مواد بازیافتی نوع m مرکز بازیافت r کمتر باشد (در صورت راه اندازی مرکز بازیافت r).

محدودیت (۲۱) بودجه تأمین: مجموع قیمت قطعات خریداری شده از تأمین‌کنندگان بعلاوه هزینه انتقال قطعات از تأمین‌کنندگان به تولیدکنندگان بعلاوه هزینه ثابت تأمین از تأمین‌کنندگان باید از بودجه تأمین در دوره کمتر باشد.

محدودیت (۲۲) محدودیت ظرفیت مراکز دفع: میزان تعداد کل قطعات دور ریز از مراکز مونتاژ و میزان کل مواد دور ریز از مراکز بازیافت r باید از ظرفیت مرکز دفع r کمتر باشد.

عدم قطعیت در پارامترهای تقاضا و ظرفیت تأمین‌کننده

شرایط واقعی، ماهیت پیچیده و فضای رقابتی زنجیره تأمین سبب افزایش عدم قطعیت بسیاری از پارامترهای زنجیره می‌شود که در اکثر مواقع، با کمبود اطلاعات و یا در دسترس نبودن اطلاعات کمی در مورد پارامترها مواجه می‌شویم. در این مطالعه، عدم قطعیت از نوع فازی مثلثی در نظر گرفته شده است. این روش برای برخورد با عدم قطعیت پارامتر تقاضا و پارامتر حداکثر ظرفیت قطعه ارائه شده توسط تأمین‌کننده استفاده می‌شود. برای این منظور از مفاهیم ریاضی مانند مقادیر انتظاری یک عدد فازی استفاده می‌شود و سطح اطمینان از ارضای محدودیت‌ها توسط تصمیم‌گیرنده تعیین می‌گردد.

مدل برنامه‌ریزی فازی مثلثی به صورت رابطه (۲۲) نشان داده می‌شود:

$$\text{Min } Z = Cx + Fy, \quad \text{رابطه (۲۲)}$$

s.t.

$$By \leq Ay,$$

$$\text{Nec} \{Tx \leq \tilde{S}y\} \geq \beta,$$

$$\text{Nec} \{Kx \geq \tilde{d}\} \geq \alpha,$$

$$y \in \{0,1\}, x \geq 0.$$

مدل قطعی معادل مدل رابطه (۲۲) در رابطه (۲۳) نشان داده شده است (پیشوایی و همکاران، ۲۰۱۲).

$$\text{Min } Z = Cx + Fy, \quad \text{رابطه (۲۳)}$$

s.t.

$$By \leq Ay,$$

$$Tx \leq ((1-\beta)S^{(2)} + \beta S^{(1)})y,$$

$$Kx \geq (1-\alpha)d^{(2)} + \alpha d^{(3)}$$

$$Ex \geq Uy,$$

$$y \in \{0,1\}, x \geq 0.$$

با توجه به موارد گفته شده معادل قطعی دو محدودیت فازی به شکل زیر خواهد بود:

معادل قطعی محدودیت تقاضا:

$$\sum_k y'_{kct} \geq (1-\alpha)dem_{ct}^{(2)} + \alpha dem_{ct}^{(3)} \quad \forall t, c \quad \text{رابطه (۲۴)}$$

معادل قطعی محدودیت ظرفیت تأمین کننده:

$$\sum_j x_{ijpt} \leq [(1-\beta)supmax_{ipt}^{(2)} + \beta * supmax_{ipt}^{(1)}] S_{it} \quad \forall p, i, t \quad \text{رابطه (۲۵)}$$

رویکرد حل مسائل چندهدفه

یکی از رویکردهای جدید در رویارویی با مسائل چندهدفه رویکرد پیشنهادی ترابی و هسینی (TH) می باشد. این روش حل را می توان در گام های زیر خلاصه نمود:

توسعه مدل ریاضی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چند هدفه.../فیض‌اللهی و حیدری

گام اول: تعیین جواب ایده‌آل مثبت (PIS) و جواب ایده‌آل منفی (NIS) برای هر یک از توابع هدف. برای به دست آوردن جواب‌های ایده‌آل مثبت برای هر یک از توابع هدف، یعنی (Z_1^{PIS}, X_1^{NIS}) و (Z_2^{PIS}, X_2^{NIS}) لازم است تا مدل‌ها به طور جداگانه برای هر یک از توابع هدف حل شود. برای به دست آوردن این جواب‌ها برای هر یک از توابع هدف دو بار باید مدل اجرا شود و این روش در مسائل بزرگ وقت‌گیر است در نتیجه جواب ایده‌آل منفی برای هر یک از توابع هدف به صورت زیر تخمین زده خواهند شد. v_h^* و نشان دهنده متغیر تصمیم مرتبط با PIS از h امین تابع هدف هستند:

$$Z_h^{NIS} = \max_{k=1,2,\dots,K} \{Z_h(v_k^*)\} \quad \forall h \quad \text{رابطه (۲۷)}$$

گام دوم: تخمین یک تابع عضویت فازی برای هر یک از توابع هدف، این تابع عضویت فازی به صورت رابطه (۲۸) خواهد بود:

در رابطه فوق $\mu_h(x)$ ، درجه ارضای h امین تابع هدف را نشان می‌دهد.

$$\mu_h(x) = \begin{cases} 1 & Z_h < Z_h^{PIS} \\ \frac{Z_h^{NIS} - Z_h}{Z_h^{NIS} - Z_h^{PIS}} & Z_h^{NIS} \leq Z_h \leq Z_h^{PIS} \\ 0 & Z_h > Z_h^{NIS} \end{cases} \quad \text{رابطه (۲۸)}$$

گام سوم: تبدیل مدل خطی عدد صحیح قطعی چندهدفه به مدل تک‌هدفه به کمک تابع ادغام-سازي پیشنهادی توسط ترابی و هسینی (۲۰۰۸):

$$\text{Max } \lambda(v) = \gamma \lambda_0 + (1 - \gamma) \sum_h \theta_h \mu_h(v)$$

s.t.

$$\lambda_0 \leq \mu_h(v), \quad h = 1, 2, \dots, H \quad \text{رابطه (۲۹)}$$

$$v \in F(v)$$

$$\lambda_0 \text{ and } \gamma \in [0, 1]$$

متغیر $\lambda_0 = \min_i \{\mu(x)\}$ نشان دهنده حداقل درجه رضایت توابع هدف است که در آن F نشان دهنده ناحیه شدنی تشکیل شده بر اساس محدودیت‌های قطعی (غیرفازی) مدل کمکی معادل است. همچنین θ_h و γ به ترتیب نشان دهنده درجه اهمیت h امین هدف و ضریب تصحیح هستند. مقادیر θ_h به گونه‌ای تعیین می‌شوند که $\sum_h \theta_h = 1$ و $\theta_h \geq 0$.

فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار / شماره چهل و ششم / بهار ۱۴۰۰

گام چهارم: حل مدل تک هدفه برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح و توقف حل در صورت رضایت و در غیر این صورت، تغییر مقادیر پارامتر ۷ و برگشتن به گام دوم (تربابی و هسینی، ۲۰۰۸).

تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

نتایج حل

در این بخش نتایج حل مدل توسعه داده شده ارائه شده است.

اعتباریابی مدل توسعه داده شده: جهت اعتبارسنجی مدل ارائه شده، مسأله در ابعاد کوچک و متوسط با استفاده از نرم افزار GAMS-24.1.2/CPLEX و در کامپیوتر ۲ هسته‌ای با پردازشگر ۲ گیگاهرتز و رم 4 گیگابایت حل شده است. ۱۲ نمونه مسأله در ابعاد مختلف تعریف و نتایج حل دقیق مسأله برای این نمونه مسائل در ادامه آورده شده است.

مقادیر پارامترها

پارامترهای ورودی مسأله در ابعاد کوچک و متوسط، طبق جدول ۴ در نظر گرفته شده‌اند. حرف U به منزله تابع توزیع یکنواخت می‌باشد.

جدول ۴: مقادیر پارامترها

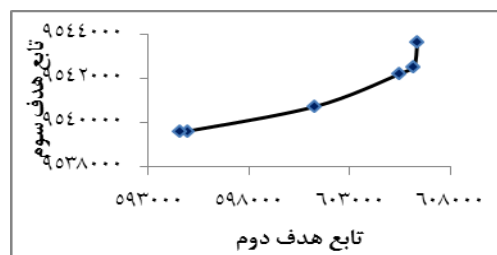
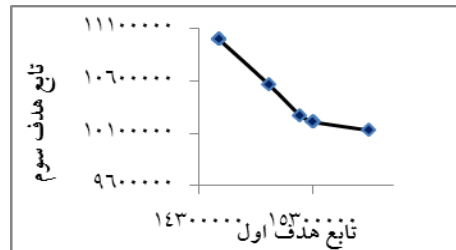
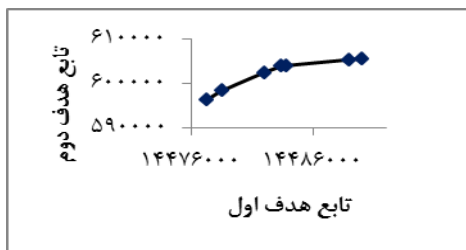
مقادیر	پارامتر	مقادیر	پارامتر	مقادیر	پارامتر
U(30,50)	AEX_{ijpt}	U(200,300)	$costdis_{it}$	U(5,20)	$ship_{m,aimt}^1$
U(30,50)	AEY_{jkt}	U(100,200)	$costrev_{rpt}$	U(5,20)	$ship_{ijpt}^1$
U(30,50)	AEY'_{kct}	U(200,400)	$cost_{jt}^2$	U(5,20)	$ship_{jkt}^2$
U(30,50)	AEY_{cgt}	U(50,100)	$b\ cost_{maint}^1$	U(5,20)	$ship_{kct}^4$
U(30,50)	$AEYY'_{git}$	U(5,10)	CC_{ipt}	U(5,20)	$ship_{cgt}^5$
U(30,50)	$AEXX'_{irept}$	U(20,30)	WW_{ipt}	U(5,20)	$ship_{git}^6$
U(30,50)	$AEYY_{lrpt}$	U(10,20)	SW_{ipt}	U(5,20)	$ship_{ijpt}^7$
U(30,50)	AEY'''_{ijpt}	U(10,20)	$supmin_{ipt}$	U(5,20)	$ship_{lrpt}^8$
U(30,50)	$AEXX''_{rrmt}$	U(0.5,0.9)	$reuse_{ipt}$	U(5,20)	$ship_{irept}^9$
U(30,50)	AEZ'_{rimt}	U(10000,20000)	C_{jt}^1	U(5,20)	$ship_{rimt}^{10}$
U(50,100)	ec_{maint}	U(10000,20000)	C_{kt}^2	U(5,20)	$ship_{rrmt}^{11}$
U(20,50)	NC_{ipt}	U(10000,20000)	C_{gt}^4	U(100,200)	$price_{ipt}$
U(10,50)	$dem_{ct}^{(1)}$	U(10000,20000)	C_{pit}^5	U(10,50)	inv_{jpt}
U(5000,10000)	$setrebuttal_{ret}$	U(150,200)	$dem_{ct}^{(2)}$	U(100,150)	$dem_{ct}^{(2)}$
U(15,25)	req_p	U(10000,20000)	C_{rmt}^6	U(500,1000)	$Fcost_{it}$
U(15,25)	req'_p	U(5000000,1000000)	B_t	U(5000,1000)	$setg_{gt}$
U(0.1,0.8)	Q_{ct}	U(0.1,0.8)	Q'_{ptr}	U(5000,10000)	$setdis_{it}$

توسعه مدل ریاضی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چند هدفه.../فیض‌اللهی و حیدری

$U(7000,9000)$	$supmax_{ipt}^{(2)}$	$U(5000,7000)$	$supmax_{ipt}^{(1)}$	$U(5000,10000)$	$setret_{rt}$
$U(500,1000)$	h_{kt}	$U(10000,20000)$	C_{ret}^7	$U(9000,11000)$	$supmax_{ipt}^{(3)}$

تناقض توابع هدف

یکی از نکاتی که در مسائل چندهدفه باید مورد توجه قرار گیرد این است که هیچکدام از توابع هدف نتواند کار دیگری را انجام دهد و با تابع هدف دیگر در یک راستا عمل کند. از این رو در این بخش نشان می‌دهیم که توابع هدف با یکدیگر در تناقض هستند. سه تابع هدف را به صورت دو به دو مورد بررسی قرار می‌دهیم. جهت تعیین مقادیر پارتو در حالت دو هدفه از روش وزنی جهت تعیین مقادیر تابع هدف استفاده شده و با تغییر در وزن‌های توابع هدف مقادیر مختلف برای این توابع به دست آمده‌است. تابع هدف اول و سوم از نوع مینیمم سازی و تابع هدف دوم از نوع ماکزیمم سازی است. همانطور که در نمودارها تناقض در توابع هدف مشخص است که در شکل (۱) نشان داده شده- است. با بهبود در هر یک از توابع هدف تابع دیگر بهبود پیدا نمی‌کند که این امر تناقض بین توابع هدف را نشان می‌دهد.



شکل ۱: نمایش تناقض در توابع هدف

فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار / شماره چهل و ششم / بهار ۱۴۰۰

مشخصات نمونه مسائل مختلف

در جدول (۵) مشخصات نمونه مسائل مختلف جهت اعتباریابی مدل در نرم افزار گمز ارائه شده است.

جدول ۵: مشخصات نمونه مسائل مختلف

ردیف	تعداد بازار مواد	تأمین کننده	تولید کننده	مراکز مشتریان	مراکز توزیع	مراکز جمع‌آوری	مرکز بازیافت	مراکز انهدام	مراکز دمونتاز	دوره زمانی
۱	۲	۳	۳	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۳
۲	۲	۴	۴	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳
۳	۳	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۳
۴	۴	۵	۴	۵	۴	۵	۵	۴	۵	۴
۵	۵	۵	۵	۶	۵	۵	۵	۵	۵	۵
۶	۶	۷	۶	۸	۷	۶	۶	۶	۵	۶
۷	۸	۸	۸	۹	۷	۶	۷	۷	۵	۷
۸	۱۰	۹	۹	۱۰	۸	۸	۸	۸	۸	۹
۹	۱۲	۱۰	۱۰	۱۴	۱۲	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
۱۰	۱۵	۱۲	۱۱	۲۰	۱۵	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۳
۱۱	۲۰	۱۵	۱۵	۲۵	۲۰	۱۵	۱۵	۱۵	۱۴	۱۶
۱۲	۲۵	۲۰	۲۰	۳۰	۲۵	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰

جدول (۶) نتایج حل دقیق مدل را برای نمونه مسائل مختلف نمایش می‌دهد. حداکثر زمان قابل قبول جهت اجرای مدل ۳۶۰۰ ثانیه در نظر گرفته شده است. از این رو بزرگترین ابعادی که نرم افزار گمز قادر به حل آن است نمونه مسأله ۱۲ می‌باشد و برای ابعاد بزرگتر نرم افزار قادر به حل مدل در زمان قابل قبول نمی‌باشد.

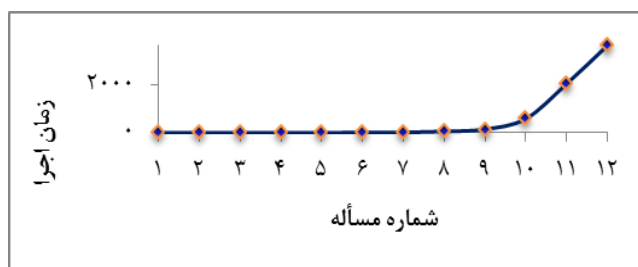
جدول ۶: نتایج حل دقیق مسأله برای نمونه مسائل مختلف

شماره مسأله	تابع هدف اول	تابع هدف دوم	تابع هدف سوم	لاندا	زمان اجرا (ثانیه)
۱	۲۲۹۷۱۴۱۰	۴۹۴۰۰۲,۵۹	۱۳۹۱۸۶۸۰	۰,۵۸۳	۰,۶۴۰
۲	۲۷۳۳۸۶۹۰	۱۷۳۹۵۷۳,۸	۱۶۳۶۶۷۲۰	۰,۶۳۹	۰,۸۴۱
۳	۶۴۳۶۴۳۲۰	۳۹۲۷۳۰۲,۷۳	۳۹۶۱۱۶۳۰	۰,۵۴۶	۱,۶۵۵
۴	۴۴۵۰۶۲۵۰	۲۰۳۷۶۹۷,۲۹	۲۹۶۶۴۱۱۰	۰,۶۸۲	۲,۳۰۹

توسعه مدل ریاضی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چند هدفه.../فیض‌اللهی و حیدری

۶,۲۴۱	۰,۶۵۶	۶۲۵۶۱۹۸۰	۴۸۰۷۱۹۳,۸۸	۹۶۵۵۸۱۰۰	۵
۱۲,۹۴۸	۰,۶۰۰	۷۳۲۹۲۴۷۰	۱۲۳۱۷۱۶۰	۱۲۴۹۴۸۸۰۰	۶
۱۹,۰۹۴	۰,۶۴۵	۹۹۱۵۱۵۱۰	۲۲۷۱۴۷۰۰	۱۵۲۷۶۷۴۰۰	۷
۶۱,۷۴۶	۰,۵۴۱	۲۲۳۳۶۸۰۰	۷۴۳۴۱۹۴۰	۳۶۸۰۵۰۱۰۰	۸
۱۵۱,۶۱۷	۰,۵۸۲	۲۸۳۶۴۸۷۰۰	۹۶۳۸۷۹۶۰	۴۹۰۲۰۴۳۰۰	۹
۵۸۱,۴۷۸	۰,۵۸۲	۵۳۷۹۴۴۱۰۰	۲۶۵۹۲۶۵۰۰	۸۹۲۷۸۷۲۰۰	۱۰
۲۰۲۱,۲۹	۰,۵۷۴	۷۵۹۸۶۶۷۰۰	۶۱۵۵۲۰۰۰۰	۱۲۶۲۵۳۱۰۰۰	۱۱
۳۶۰۰	۰,۴۱۲	۸۴۰۷۲۹۵۰۰	۱۱۸۳۴۹۸۰۰۰	۱۴۸۳۶۶۳۰۰۰	۱۲

شکل (۲) زمان‌های اجرا برای ۱۲ مسأله نمونه را نشان می‌دهد. با افزایش ابعاد مسأله زمان حل به صورت نمایی افزایش می‌یابد.



شکل ۲: زمان‌های اجرا در نرم افزار گمس برای نمونه مسائل مختلف

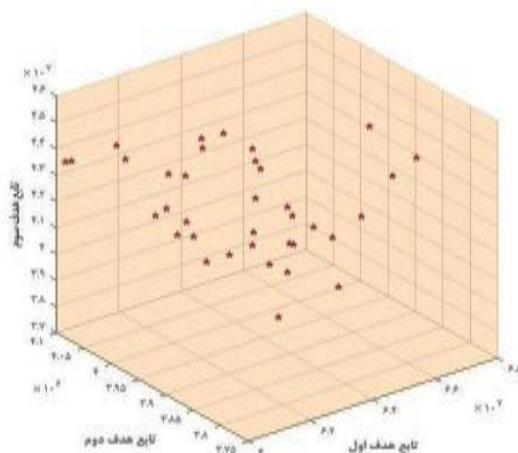
جواب‌های پارتو

روش TH صرفاً یکی از جواب‌های مسأله مورد بررسی را به دست می‌آورد اما با تغییر در ضرایب تابع هدف می‌توان جواب‌های دیگر مسأله را نیز به دست آورد. از این رو برای به دست آوردن جواب‌های پارتوی مسأله حالات مختلف ضرایب تتا را بررسی کرده و برای نمونه مسأله شماره ۳ مقادیر تابع هدف را برای این حالات به دست آورده‌ایم. مقادیر سه تابع هدف را برای ترکیب‌های مختلف از تتا برای این نمونه مسأله محاسبه گردید که در جدول (۶) به ۱۰ نمونه از آن اشاره شده‌است.

جدول ۶: مقادیر توابع هدف برای ترکیبات مختلف ضرایب توابع در روش TH

ردیف	θ_1	θ_2	θ_3	تابع هدف اول	تابع هدف دوم	تابع هدف سوم
۱	۰,۱	۰,۱	۰,۸	۶۲۷۹۴۹۲۰	۴۰۳۸۰۰۲,۲۴	۴۰۳۴۸۵۲۰
۲	۰,۱	۰,۲	۰,۷	۶۵۴۲۹۸۶۰	۳۸۵۲۱۴۳,۰۹	۴۲۱۷۵۳۸۰
۳	۰,۱	۰,۳	۰,۶	۶۴۳۹۳۳۷۰	۳۹۲۵۲۵۳,۳۸	۴۰۷۱۶۹۹۰
۴	۰,۱	۰,۴	۰,۵	۶۴۴۴۳۰۶۰	۳۹۲۱۷۴۸,۴۰	۴۱۷۹۲۶۵۰
۵	۰,۱	۰,۵	۰,۴	۶۶۲۱۴۷۱۰	۳۷۹۶۷۸۲,۶۱	۴۴۷۸۸۵۳۰
۶	۰,۱	۰,۶	۰,۳	۶۰۳۳۱۷۹۰	۴۰۹۱۶۷۵,۰۱	۴۳۴۸۹۰۵۰
۷	۰,۱	۰,۷	۰,۲	۶۳۹۰۶۳۹۰	۳۹۵۹۶۰۳,۴۷	۴۲۲۰۸۴۰۰
۸	۰,۱	۰,۸	۰,۱	۶۲۸۹۸۰۷۰	۴۰۰۰۲۹۶,۶۴	۴۴۴۱۲۸۵۰
۹	۰,۲	۰,۱	۰,۷	۶۳۹۹۰۱۰۰	۳۹۵۳۶۹۸,۲۵	۴۳۳۸۸۱۷۰
۱۰	۰,۲	۰,۲	۰,۶	۶۴۳۶۴۳۲۰	۳۹۲۷۳۰۲,۷۳	۳۹۶۱۱۶۳۰

شکل (۳) جواب‌های پارتو را برای نمونه مسأله ۳ در فضای سه بعدی نشان می‌دهد.



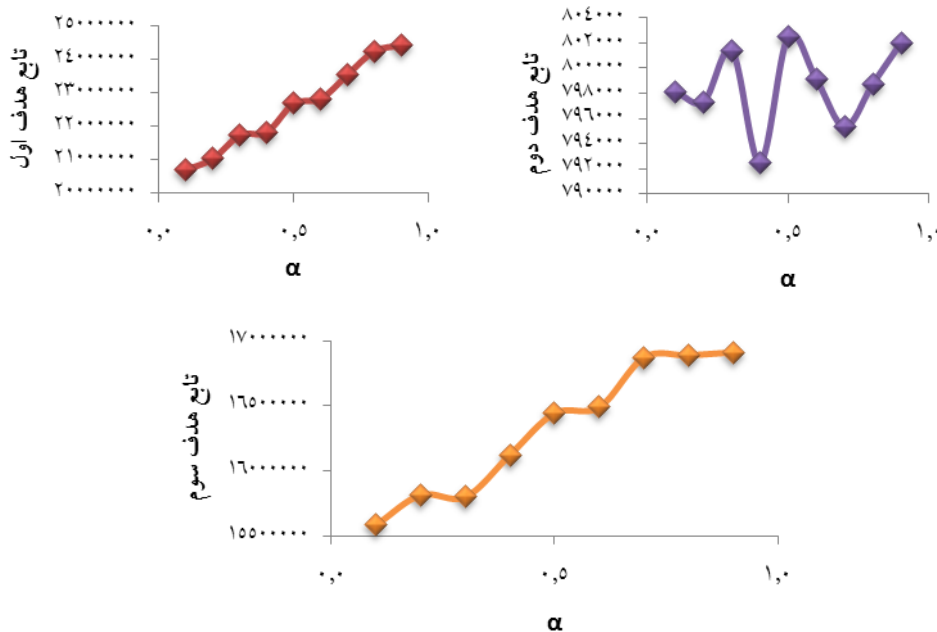
شکل ۳: جواب‌های پارتو برای نمونه مسأله ۳

تحلیل حساسیت

نمودارهای نشان داده شده در شکل (۴) تغییرات تابع هدف نسبت به تغییرات α را نشان می‌دهد. با افزایش ضریب آلفا مقدار تابع هدف اول (هزینه) و سوم (اثرات زیست محیطی) افزایش پیدا می‌کند. با توجه به اینکه با افزایش این ضریب وزن $dem_{ct}^{(3)}$ افزایش پیدا می‌کند که به معنی افزایش مقدار

توسعه مدل ریاضی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چند هدفه.../فیض‌اللهی و حیدری

تقاضا است. با افزایش تقاضا مقادیر در جریان در طول زنجیره تأمین افزایش یافته و در نتیجه مسأله هزینه بالاتری را متحمل می‌شود همچنین با افزایش مقدار جریان‌ات آلودگی‌های ناشی از حمل کالا بیشتر می‌شود که افزایش تابع هدف سوم را در پی خواهد داشت. از این رو افزایش تابع هدف هزینه با افزایش مقدار آلفا توجیه می‌یابد. به نظر می‌رسد تابع هدف سود نسبت به تغییرات مقادیر آلفا روند خاصی را از خود نشان نمی‌دهد. با افزایش مقادیر آلفا در بعضی موارد مقدار تابع افزایش و در موارد دیگر کاهش یافته‌است. دلیل این نوسانات و عدم وجود یک روند مشخص می‌تواند به دلیل عدم ارتباط مستقیم تابع هدف سود با جریان‌ات کالای وارد شده به مشتری باشد که در نتیجه تغییرات تقاضا روی آن اثر مستقیم ندارد.



شکل ۴: نمایش میزان حساسیت توابع هدف نسبت به تغییر ضریب عدم قطعیت

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

این مطالعه با هدف توسعه مدل ریاضی چند هدفه برای شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته انجام گرفت که این مدل شامل بازار مواد اولیه، تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان، مشتریان، و همچنین مراکز جمع‌آوری، بازیافت و دفع تحت شرایط عدم اطمینان است. با توجه به عدم قطعیت‌هایی که در دنیای واقعی وجود دارد پارامترهای تقاضا و حداکثر ظرفیت قطعه در این مدل بصورت فازی در

فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار / شماره چهل و ششم / بهار ۱۴۰۰

نظر گرفته شد تا مدل ارائه شده تا حد امکان با دنیای واقعی تطابق داشته باشد. لازم به ذکر است برای فازی سازی پارامترهای مذکور از اعداد فازی مثلثی بهره گرفته شده است.

توابع هدف بهینه سازی شده در مدل شامل: هزینه، سود و اثرات زیست محیطی می باشد. این مطالعه با رویکردی یکپارچه، با در نظر گرفتن جریان‌های رو به جلو و معکوس، علاوه بر اینکه سطح رضایتمندی مشتریان را بهینه می کند، از لحاظ اقتصادی نیز هزینه های تولید را کاهش می دهد و حتی از فروش مواد بازیافتی سود حاصل می کند. همچنین، برای نزدیک تر شدن مدل به دنیای واقعی در طراحی شبکه زنجیره تأمین مسائل زیست محیطی تحت شرایط عدم قطعیت در نظر گرفته شد. سپس برای اعتبارسنجی مدل ارائه شده نمونه مسائل مختلف در ابعاد کوچک و متوسط تعریف شده و با استفاده از نرم افزار گمس نتایج حل دقیق این مسائل ارائه شده است. برای نمایش تناقض موجود بین اهداف از تغییر وزن ها در روش وزنی و به دست آوردن جواب های پارتوی مسأله در سه حالت دو هدفه بهره گرفته شد. در ادامه با استفاده از روش (TH) مدل سه هدفه به یک مدل تک هدفه با یک تابع هدف ماکزیمم سازی تبدیل شد و یک تحلیل حساسیت روی پارامتر فازی مساله صورت گرفته است که نتایج نشان داد با افزایش این پارامتر با توجه به افزایش تقاضا تابع هدف هزینه و اثرات زیست محیطی افزایش می یابد ولی تابع هدف سود روند خاصی را از خود نشان نمی دهد.

با توجه به شرایط آب و هوایی و موقعیت های جغرافیایی متفاوت در گستره ی کشور پارامترهایی همچون سیل، زلزله و بحران های طبیعی و غیرطبیعی می توانند در عملکرد زنجیره تامین تاثیر گذار باشند. لذا محققان آتی می توانند این پارامترها را در طراحی مدل های پیشنهادی در نظر بگیرند. در کنار عوامل زیست محیطی و بحران های مذکور پیشنهاد می شود به عوامل اجتماعی، همچون ایجاد فرصت های شغلی و غیره، نیز در قالب یک مدل یکپارچه پرداخته شود.

توسعه مدل ریاضی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چند هدفه.../فیض‌اللهی و حیدری

منابع

- ۱) آفرین اخوان و همکارانش (۱۳۹۴) "ارائه مدلی ریاضی برای شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته در فرآیند بازیافت محصول" کنفرانس بین المللی مدیریت، اقتصاد و مهندسی صنایع
- ۲) بشیری، مهدی، شیری، مهدیه، (۱۳۹۴)، طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن مرکز جمع آوری چند بخشی در شرایط عدم قطعیت، نشریه پژوهش های مهندسی صنایع در سیستم های تولید، شماره ۵، سال اول، ص ۲۷-۴۱
- ۳) سلطانی تهرانی، مهدی، همکاران، (۱۳۹۴)، مدل بهینه سازی دو هدفه هزینه و کربن دی اکسید در زنجیره تأمین حلقه بسته، پژوهش های مدیریت در ایران، دوره ۱۹، شماره ۱، ص ۱۶۹-۱۸۹
- ۴) صانعی، مریم، توکلی مقدم، رضا، (۱۳۹۳)، مدل سازی ریاضی دو هدفه برای زنجیره تأمین حلقه بسته با ریسک اشتراکی و تقاضای غیرقطعی، مدیریت زنجیره تأمین، شماره ۴۳، سال شانزدهم، ص ۴-۱۵
- ۵) صفار، محمد مهدی، همکاران، (۱۳۹۴)، طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته سبز با در نظر گرفتن ریسک های عملیاتی در شرایط عدم قطعیت، نشریه تخصصی مهندسی صنایع، دوره ۴۹، شماره ۱، ص ۵۵-۶۸
- ۶) علیرضا دوزنده و همکاران (۱۳۹۳)، "بهینه سازی متمرکز برای مدل کنترل موجودی کالای فسادپذیر در زنجیره تأمین حلقه بسته با سیکل تولید و بازتولید همزمان" دومین همایش ملی مهندسی صنایع و مدیریت پایدار
- ۷) غالب لو، سیما، تاریخ، محمد جعفر، (۱۳۹۴)، طراحی شبکه زنجیره تأمین یکپارچه مستقیم و معکوس سازگار با محیط زیست، نشریه تخصصی مهندسی صنایع، دوره ۴۹، شماره ۱، ص ۹۳-۱۰۶
- ۸) مسعود صیدی و همکارانش (۱۳۹۳) "طراحی شبکه ی زنجیره ی تأمین حلقه بسته با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی فازی جهت مدیریت پسماند" اولین همایش ملی پژوهشهای مهندسی صنایع
- ۹) نوتاش، محسن، همکاران، (۱۳۹۳)، طراحی چند هدفه شبکه زنجیره تأمین با رویکرد الگوریتم ژنتیک، پژوهش های مدیریت در ایران، شماره ۱۲، ص ۱۸۳-۲۰۷
- 10) A. Jayanta, P.Guptab and S.K.Gargc. (2014), Simulation Modelling and Analysis of Network Design for Closed Loop Supply Chain: A Case Study of Battery Industry, Procedia Engineering 97, 2213 – 2221
- 11) -min, S. H., Zhang, G. (2013). A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return. Applied Mathematical Modelling, 37(6), 4165
- 12) Anurag Tiwaria, Pei-Chann Changa,b, M. K. Tiwaric, Rishabh Kandhway (2016), A Hybrid Territory Defined Evolutionary Algorithm approach for Closed

Loop Green Supply Chain Network Design ,Computers & Industrial Engineering, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2016.05.018>

13) Behmanesh, E. Pannek, J. (2016), Modeling and random path-based direct encoding for a closed loop supply chain model with flexible delivery paths, IFAC-Papers On Line 49(2) , 078–083

14) Coyle, J. Langley, J.Jr. Gibson, B., Novack, R., & Bardi, E. (2009). Managing supply chains: a logistics perspective (8th ed.). Mason, OH: South Western.

15) Dai Z, Zheng X, Mir, (2015), Design of close-loop supply chain network under uncertainty using hybrid genetic algorithm: a fuzzy and chance-constrained programming model, Computers & Industrial Engineering

16) Dinesh K.Kadambala, Nachiappan Subramanian, Manoj K.Tiwari, Muhammad Abdulrahman, Chang Liu,(2016), Closed loop supply chain networks: Designs for energy and time value efficiency, Int. J. Production Economics, 211-222

17) Eren Ozceylan, Turan Paksoy, Tolga Bektas,(2014), Modeling and optimizing the integrated problem of closed-loop supply chain network design and disassembly line balancing, Transportation Research Part E,61: 142-164

18) Javid, A.A., Azad, N.,(2010). Incorporating location, routing and inventory decisions in supply chain network design. Transportation Research Part E 46 (5), 582–597.

19) Kafa nadine, Hani Y,(2015), An integrated sustainable partner selection approach with closed-loop supply chain network configuration IFAC-Papers On Line 48(3) 1840–1845

20) Keskin, B.B., Uster, H., Cetinkaya, S.,(2010). Integration of strategic and tactical decisions for vendor selection under capacity constraints. Computers & Operations Research 37 (12), 2182–2191.

21) Majid Ramezani, Ali Mohammad Kimiagari ↑, Behrooz Karimi, Taha Hossein Hejazi, (2014), Closed-loop supply chain network design under a fuzzy environment. Knowledge-Based Systems 59, 108–120.

22) Mohammad Talaei, Babak Farhang Moghaddam, Mir Saman Pishvae, (2015), A robust fuzzy optimization model for carbon-efficient closed-loop supply chain network design problem: a numerical illustration in electronics industry, Journal of Cleaner Production

23) Mohammed Al-Salem, Ali Diabat , Doraid Dalalah, Mahmoud Alrefaei ,(2016), A closed-loop supply chain management problem: Reformulation and piecewise linearization, Journal of Manufacturing Systems 40: 1-8

24) Mostafa Zohal, Hamed Soleimani,(2016), Developing an ant colony approach for green closed-loop supply chain network design , Journal of Cleaner Production, 133:314-337

25) Onur Kaya, Busra Urek,(2016), A mixed integer nonlinear programming model and heuristic solutions for location, inventory and pricing decisions in a closed loop supply chain, Computers & Operations Research ,65:93-103

26) Ozceylan, E., Paksoy, E., (2013), A mixed integer programming model for a closed-loop supply chain network. International Journal of Production Research 51 (3), 718–734.

27) Paksoy, T. Bektas, T. Ozceylan, E. (2011). Operational and environmental performance measures in a multi-product closed-loop supply chain. Transportation Research Part E 47 (4), 532–546.

28) Paydar, M. M., Babaveisi, V., and Safaei, A. S.(2017),An engine oil closed-loop supply chain design considering collection risk, Computers and Chemical Engineering, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compchemeng.2017.04.005>

29) Pishvae, M. S., Razmi, J., & Torabi, S. A. (2012). Robust possibilistic programming for socially responsible supply chain network design: A new approach. Fuzzy sets and systems, 206, 1-20.

30) Pishvaz, M.S., Torabi,S.A.(2010). A possibilistic programming approach for closed- loop supply chain network design under uncertainty. Fuzzy sets and systems, 161(20):2668-2683.

31) Ruimin MA, Lifei YAO, Maozhu JIN, Peiyu REN, Zhihan LV,(2016), Robust environmental closed-loop supply chain design under uncertainty, Chaos, Solitons and Fractals,80:195-202

32) Sabri E.H., Beamon B.M. (2000). A multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design; Omega, Vol. 28, pp.581–598.

33) Subulan K, Serdar Tas_an A. (2015), Designing an environmentally conscious tire closed-loop supply chain network with multiple recovery options using interactive fuzzy goal programming Applied Mathematical Modelling (39) 2661–2702.

34) Tavakoli Moghadam, R. Rekavandy Omid, M. Ghodrat Nema, A. (2013). Mathematical modeling to design integrated forward and reverse logistics network, Management research in Iran, 17.

35) Torabi, S. A., & Hassini, E. (2008). An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning. *Fuzzy sets and systems*, 159(2), 193-214.

36) Vahdani, B., Razmi, J., Tavakkoli- Moghadam, R., (2012). Fuzzy possibilistic modeling for Closed loop recycling collection networks, *Environmental Modeling & Assessment*, Volume 17, Issue6, pp 623-637.

37) Xie L, Ma J. (2016) , Study the complexity and control of the recycling-supply chain of China's color TVs market based on the government subsidy *Commun Nonlinear Sci Numer Simulat* (38), 102–116.

38) Y.T. Chen, Felix T.S. Chan * , S.H. Chung, Woo-Yong Park,(2017), Optimization of product refurbishment in closed-loop supply chain using multi-period model integrated with fuzzy controller under uncertainties, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* , 1–12

39) Yan Yan Cui, Zailin Guan, Ullah Saif, Li Zhang, Fei Zhang⁵, Jahanzaib Mirza.(2017), Close Loop Supply Chain Network Problem with Uncertainty in Demand and Returned Products: Genetic Artificial Bee Colony Algorithm Approach, *Journal of Cleaner Production*, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.06.079

40) Zhang Gui Tao, Zhong Yong Guang, Sun Hao, Hu Jin Song, Dai Geng Xin,(2015), Multi-period closed-loop supply chain network equilibrium with carbon emission constraints, *Resources, Conservation and Recycling*, 345-365

یادداشت‌ها :

-
- 1 .Closed-loop supply chain (CLSC)
 - 2 .Green supply chain (GSC)
 - 3 .Lingo
 - 4 .Torabi & Hassini