پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری
دوره ۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰، صص ۱۴۸-۱۶۹
نوع مقاله: پژوهشی

طراحی مدل آرمانی- فازی برای بهینه‌سازی هزینه و مسافت وسایل نقلیه در زنجیره تأمین چهار سطحی حلقه بسته با استفاده از الگوریتم مورچگان

سجاد جلالی فر[۱]، رضا احتشام راثی[۲*]، علی محتشمی[۳]

۱- دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.
۲- استادیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.
۳- دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۰۷/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۰

چکیده

در دنیای پر رقابت کنونی، زنجیره تأمین حلقه بسته در راستای بازیافت محصولات به یک چالش اساسی تبدیل شده است. سیستم بازیافت به دلیل پوشش قوانین و کاهش آلودگی زیست‌محیطی، افزایش توان اقتصادی با ایجاد مشاغل جدید و توانایی بازیابی ارزش محصولات برگشتی، از جایگاه ویژه‌ای در زنجیره تأمین برخوردار است. هدف این پژوهش، طراحی مدل آرمانی- فازی برای بهینه‌سازی هزینه و مسافت وسایل نقلیه در زنجیره تأمین چهار سطحی حلقه بسته است. در این پژوهش، نخست عوامل مؤثر در لجستیک معکوس شناسایی و برای طراحی مدل پژوهش چندهدفه به دلیل وجود اهداف مختلف، مدل ریاضی آرمانی- فازی با هدف کمینه‌سازی هزینه و مسافت ارائه گردید. مدل لجستیک حلقه بسته به دلیل قرارگیری در گروه مسائل NP-Hard، با روش‌های گرادیان مبنا به‌راحتی قابل حل نبوده، از این‌رو جهت بهینه‌سازی از الگوریتم مورچگان استفاده شده است. درنهایت پس از اجرای مدل پژوهش، هدف به حداقل رساندن هزینه، مقدار عضویت بالاتری نسبت به هدف مسافت داشته و مدیران نیز باید توجه ویژه‌ای به این هدف داشته باشند.

کلیدواژه‌ها: زنجیره تأمین حلقه بسته، برنامه‌ریزی آرمانی- فازی، بهینه‌سازی، الگوریتم مورچگان.

* نویسندهٔ مسؤول مقاله E-mail: rezaehteshamrasi@gmail.com

۱- مقدمه

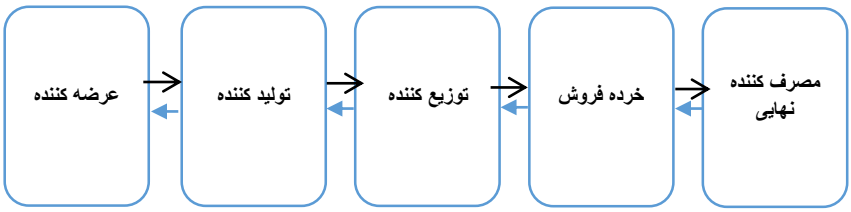
در محیط پرتکاپو و غیرقابل پیش‌بینی جهان امروز، موفقیت یک بنگاه بستگی به توانایی هماهنگی آن در شبکه پیچیده ارتباطات در میان اعضای زنجیره تأمین خواهد داشت [۱]. مدیریت زنجیره تأمین به عنوان یک فرایند برای تبدیل مواد اولیه به محصولات نهایی و انتقال محصولات به مشتریان می‌تواند مزیت رقابتی برای کسب و کار به ارمغان آورد [۲]. از جمله مزایای رقابتی زنجیره تأمین می‌توان به بهبود ارزش کلی مشتری، کاهش هزینه‌های تولید و توسعه، ایجاد نوآوری، افزایش انعطاف‌پذیری و توسعه محصول اشاره نمود [۳]. هزینه و وقت‌گیر بودن فرآیند انتخاب تامین‌کنندگان از یک‌سو و توانمندی روزافزون تکنولوژی اطلاعات و ارتباطات، موجب حرکت سازمان‌ها به سمت توسعه سیستم‌های پشتیبان تصمیم گردیده است [۴]. فضای رقابتی شدید حاکم بر بازارهای جهانی در خرید کالاها و خدمات، پیشرفت‌های مستمر در تکنولوژی و کاهش دوره عمر محصولات و بروز تغییرات مستمر در نیازهای مشتریان، مسیرهای تکاملی در جهت توسعه زنجیره تأمین را فراهم نموده است [۵]. لزوم توجه به افزایش چرخه عمر محصولات، منجر به رویکرد زنجیره تأمین سبز در قرن بیست و یکم گردیده و زنجیره تأمین سبز به طور خاص بر روی طراحی زنجیره تأمین دوستانه زیست محیطی متمرکز گردیده و می‌تواند نیل به ابعاد پایداری و مزایای رقابتی را تضمین نماید [۶]. مدیریت زنجیره تأمین سبز می‌تواند ضایعات و هزینه‌ها را کاهش و روابط بین شرکای تجاری و شرکتهای رهبر را نیز بهبود دهد [۷]. مدیریت زنجیره تأمین حلقه بسته، بخش بسیار مهمی از زنجیره تامین‌کنندگان امروزی است که توانایی بازگرداندن کالاها و مواد اولیه برگشتی را به عرضه‌کنندگان فراهم می‌نماید و با هدف کاهش مجموع هزینه‌های مرتبط با زنجیره تأمین، از خط‌مشی‌ها، نظام‌ها و روش‌هایی جهت حفظ تداوم و هماهنگ کردن فعالیت‌های تولید و توزیع، جلوگیری از توقف عملیات به سبب کمبود موجودی و قابل استفاده نمودن اقلام و کالاهای برگشتی بهره می‌جوید [۸]. مزیت‌های رقابتی فراوان لجستیک حلقه بسته و محبوبیت خاص آن نشأت گرفته از محرک‌های اساسی قوانین زیست محیطی، منافع اقتصادی حاصل از بازیابی ارزش محصولات بازگشتی و استفاده شده [۹] و آگاهی مصرف‌کنندگان و مسولیت‌های اجتماعی آنان در برابر محیط زیست است که آن را به عنصر کلیدی زنجیره تأمین تبدیل نموده است. از سایر انگیزه‌های فعالیت در زمینه لجستیک حلقه بسته می‌توان به بازاریابی رقابتی و استراتژیک، بهبود وفاداری مشتریان و فروش‌های آتی اشاره نمود [۱۰]. گام نخست و اساسی در زنجیره تأمین حلقه بسته، تفکیک اقلام قابل

استفاده و اقلام غیرقابل استفاده از یکدیگر در فرایند بازیافت و مصرف مجدد کالاها است. اقلام قابل‌استفاده به‌عنوان جایگزینی مناسب جهت تأمین قطعات سفارش داده شده مورد استفاده قرار می‌گیرند، عدم اطمینان و نارضایتی ناشی از رابطه مستقیم محصولات عودتی و برگشت داده شده با زمان، کیفیت و کمیت کالاها است که با جایگزین کردن اقلام قابل‌استفاده کالاهای برگشتی، علاوه بر صرفه‌جویی در هزینه‌ها، رضایت مصرف کننده را نیز کسب می‌نماید و این مستلزم پایه‌ریزی یک سیستم برنامه‌ریزی مناسب در تولید است [۱۱]. در زنجیره تأمین حلقه بسته برای جداسازی بهتر اقلام برگشتی از حیث قابل استفاده بودن یا نبودن باید انباری را در داخل انبار، برای "اقلام برگشتی قابل‌استفاده" و نیز برای "اقلام برگشتی غیرقابل استفاده" فراهم نمود. سپس با توجه به نوع کالا، اقلام برگشتی و برحسب درجه‌بندی مراحل مختلف بهبود مستمر در زنجیره تأمین حلقه بسته جای داده شود تا در صورت امکان به زنجیره تأمین بازگردد. زنجیره‌های تأمین حلقه بسته برای حداقل ساختن هزینه محصولات برگشتی طراحی گردیده‌اند [۱۲]. زنجیره تأمین حلقه بسته نه تنها جریان مواد اولیه از عرضه کننده و تولید کننده به مشتری نهایی بلکه جریان مواد از محصولات استفاده شده توسط مشتری به تولیدکننده و عرضه‌کننده را به منظور کاهش آلودگی محیط زیست را نیز در بر می‌گیرد [۴]. در این پژوهش در راستای رضایت‌مندی مشتریان و کسب مزیت رقابتی در عصر کنونی که چرخه عمر محصولات روزبه‌روز کوتاهتر، قوانین جدید دولتی و سبز نسبت به بازگرداندن و از رده خارج نمودن مواد زائد الکترونیکی و مواد خطرناک سخت‌گیرانه‌تر می‌گردد، تاکید بر مدیریت بازگشت و کاهش اندازه انباشته‌ها در محصولات قابل استفاده برگشتی برای پاسخگویی سریع به نیازها و سفارشات مشتریان در شرایط عدم قطعیت با هدف حداقل‌سازی هزینه‌ها و مسافت پیموده شده وسایل نقلیه در زنجیره تأمین حلقه بسته نقش بسزایی را ایفا و از ضرورت‌های این پژوهش محسوب می‌گردد. بر این اساس هدف از این مقاله، توسعه سیاست‌ها به منظور کاهش هزینه زنجیره تأمین و کاهش میزان ضایعات در یک شبکه حلقه بسته زنجیره تأمین در شرایط عدم قطعیت است. نوآوری این پژوهش در مقایسه با مطالعات گذشته، طراحی یک مدل ریاضی چندهدفه برای بهینه‌سازی اندازه انباشته اقلام قابل استفاده محصولات برگشتی در زنجیره تأمین حلقه بسته و انعطاف‌پذیری پاسخگویی سیستم برای تأمین قطعات سفارش داده در شرایط عدم قطعیت تقاضا مابین مراکز جمع‌آوری ضایعات، بازیافت، تأمین‌کننده و تولید کننده است. این پژوهش در ۵ بخش شامل؛ بخش اول مقدمه، بخش دوم مبانی نظری و ادبیات، بخش سوم

طراحی مدل ریاضی، بخش چهارم پیاده‌سازی مدل و بخش پنجم نتایج و پیشنهادهایی برای مطالعات آینده تنظیم شده است.

۲- ادبیات پژوهش

در شکل عمومی و سنتی، تولیدکنندگان کالاها و اقلام در قبال کالاها، پس از توزیع و مصرف توسط مصرف‌کنندگان، هیچ‌گونه احساس مسئولیتی نمی‌کنند و تعهدی را در قبال تولیدات توزیع و مصرف شده نمی‌پذیرند. امروزه حجم محصولات تولیدی مصرف شده، خسارات فراوانی در جهت تخریب محیط زیست به بار آورده و همگان اعم از مصرف‌کنندگان و مسئولان نگران وضعیت محیط زیست هستند و با دغدغه فراوان، روند رو به بهبودی را برای وضعیت محیط زیست دنبال می‌کنند. هریسون و ون هوک[۱]، مدل مفهومی برای جریان محصول در یک سیستم زنجیره تأمین معکوس از مصرف‌کننده نهایی، خرده‌فروش، توزیع‌کننده، تولیدکننده و عرضه‌کننده ارائه نمودند [۱۳]. در این پژوهش محقق بر آنست که در یک زنجیره تأمین حلقه بسته چهار سطحی به بررسی جریانات مواد و حمل و نقل وسایل نقلیه بپردازد.



شکل ۱ . مدل مفهومی جریان محصول در زنجیره تأمین حلقه بسته چهار سطحی

در سالیان اخیر، مطالعات فراوانی بر ارائه محصولات و خدمات به بازار و روش‌های علمی کسب‌وکار در زنجیره تأمین مستقیم تمرکز نموده و مطالعات اندکی از یک دید جامع و کلی فرآیندهای زنجیره تأمین حلقه بسته را بررسی نموده‌اند. مطالعات حاضر زنجیره تأمین حلقه بسته، محدود به تحقیقات کیفی و مدل‌سازی است و قادر به ارائه قواعد و چارچوب جامع کسب و کار برای طراحی و پیاده‌سازی زنجیره تأمین معکوس نیستند که با شرایط محصول برگشتی سازگار باشند [۱۴]. جایارمن و پیرکول[۲] به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی

خطی عدد صحیح آمیخته، برای یک شبکه لجستیک چند محصولی و چهار سطحی پرداخته‌اند. در این مقاله روشی ابتکاری بر مبنای لاگرانژ برای حل مسئله ارائه گردیده است [۱۵]. ملاچرینودیس و همکاران[۳] برای طراحی مجدد ساختار شبکه انبارها به منظور کاهش هزینه‌ها از یک مدل ریاضی چندهدفه برنامه‌ریزی فیزیکی استفاده نمودند. در این روش برای هر یک از اهداف، مقادیر حداقل و حداکثری را به‌عنوان هدف، تعریف و حداقل جمع وزنی انحراف اهداف از این مقادیر محاسبه شده است [۱۶]. لیستس و دکر[۴] به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته برای طراحی شبکه لجستیک مستقیم، در یک زنجیره دوره‌ای با هدف حداقل‌سازی هزینه پرداخته است [۱۷]. امیری به ارائه یک مدل غیرخطی چندهدفه برای طراحی شبکه زنجیره تأمین چهار سطحی پرداخته و هدف این مطالعه، حداقل‌سازی هزینه و حداکثرسازی سطح پاسخگویی به مشتریان است. منظور از سطح پاسخگویی به مشتری، حداکثر زمان مجاز تحویل و نرخ بهره‌برداری از مراکز توزیع است. در پایان به علت پیچیدگی بالای مسله مورد بررسی، راه‌حلی کارا با استفاده از الگوریتم ژنتیک اولویت محور ارائه گردیده است [۱۸]. برای طراحی شبکه لجستیک حلقه بسته فراهم‌آورندگان خدمات لجستیک شخص ثالث، دو و ایوانز[۵] یک مدل پیشرفته دو هدفه برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته با ادغام مراکز توزیع، مراکز جمع‌آوری و مراکز احیا ارائه کردند. اهداف این مدل، شامل حداقل‌سازی هزینه و زمان خدمت‌دهی به مشتریان است [۱۹]. دات و همکاران[۶] بر اساس تجزیه‌وتحلیل ضایعات محصولات الکتریکی و الکترونیکی در شبکه لجستیک معکوس یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی با هدف حداقل‌سازی هزینه پردازش، طراحی و عوامل پولی در این مدل شامل هزینه‌های جمع‌آوری، پردازش، حمل‌ونقل و درآمد فروش با بخش‌های مختلف تولیدات بازگشتی است. براساس مدل پیشنهادی، مکان‌های مطلوب تسهیلات و جریان‌های مواد در شبکه لجستیک معکوس تعیین، تجزیه و تحلیل حساسیت مدل پیشنهادی نیز ارائه شده است [۲۰]. رمضانی و همکاران، یک مدل چند هدفه تصادفی جهت طراحی شبکه لجستیک پیشرو و معکوس در یک محیط غیرقطعی شامل سه رده در جهت رو به جلو (تامین‌کنندگان، کارخانجات و مراکز توزیع) و دو رده در جهت معکوس (مراکز جمع آوری و مراکز دفع) ارائه نمودند [۲۱]. رحیمی و همکاران یک مدل ریاضی دو هدفه در زمینه مسائل اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی در توزیع محصولات فاسدشدنی با تاریخ انقضا مشخص در مسله مسیریابی موجودی ارائه نمودند. تابع هدف اول تمرکز بر هزینه‌های سنتی موجودی، توزیع، طول عمر و استراتژی قیمت گذاری و تابع هدف دوم به دنبال به

بهینه‌سازی مسائل اجتماعی که با در نظر گرفتن نرخ تصادف وسایل نقلیه و همچنین تعداد محصولات منقضی شده را محاسبه می‌نماید. به منظور کاهش پیچیدگی مدل پیشنهادی، انتشار نویز وسایل نقلیه به عنوان یکی دیگر از مسائل اجتماعی و همچنین برخی از معیارهای محیطی به عنوان محدودیت در نظر گرفته شده است [۲۲]. دوندو و مندز[۷] در مقاله‌ای مسئله توزیع و بازیابی را مورد مطالعه و مدل‌سازی قرار داده‌اند. راه حل مسله مدل‌سازی شده، جریان‌های روبه‌جلو و معکوس را در شبکه زنجیره تأمین شرکت که ملاحظات " لجستیک سبز" را محاسبه می‌نماید. در این مسئله، وسایل نقلیه عازم از کارخانه/ مراکز توزیع کننده، تحویل محصولات و جمع‌آوری مواد قابل بازیافت را در پایین‌ترین سطح شبکه انجام می‌دهند. در سطح بالاتر، وسایل نقلیه بزرگتر مجدداً مراکز توزیع محصولات را تأمین و کالاهای قابل بازیافت را به کارخانه می‌رسانند. این عملیات باید مسیر وسایل نقلیه را هماهنگ و همسو می‌نمایند تا جریان‌های رو به جلو و معکوس کارآمد را تأمین کنند [۲۳]. راثی و سوهانیان، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط را برای ترکیب داده‌های اقتصادی و زیست محیطی برای بهینه‌سازی چند هدفه شبکه زنجیره تأمین پایدار توسعه دادند. مدل موجود در این مسله با استفاده از دو الگوریتم یعنی ازدحام ذرات و ژنتیک حل شده است [۲۴]. در این بین، مدل ژو و وانگ[۸] به دلیل در نظر گرفتن گزینه‌های تعمیر و تولید بطور همزمان و شبکه لجستیکی یکپارچه، عمومی‌تر به نظر می‌رسد، اما این مدل نیز چند مشخصه مهم مسائل دنیای واقعی ازجمله محدودیت‌های ظرفیت، تولید چند محصولی و نبود قطعیت در جریان‌های برگشتی/ تقاضا را در نظر نمی‌گیرد [۲۵]. احمدی آذر و همکاران به مسئله مدیریت زنجیره تأمین محصولات پتروشیمی پرداخته و مدلی برای بهینه‌سازی چندهدفه را توسعه دادند که در آن با گرفتن تصمیم‌های راهبردی، شش هدف بلندمدت اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی در صنعت پتروشیمی انجام گردید. برای این منظور، ابتدا برای هدف‌های دوم اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی یک کران پایین در نظر گرفته و سپس بین سه هدف اصلی باقیمانده، با استفاده از روش اپسیلون محدودیت تکامل یافته جبهه پارتویی از جوابهایی کارا به دست آورده شد [۲۶]. خدادیان‌و همکاران، در پژوهش خود به بحث سبز بودن در مطالعات اخیر پرداخته و هدف از این پژوهش، ارائه یک مدل ریاضی چندهدفه سبز در یک شبکه زنجیره تأمین چند سطحی و چند محصولی است که به کمینه‌سازی تاثیرات زیست‌محیطی و هزینه‌های کلی زنجیره تأمین و به بیشینه‌سازی سطح رضایت مشتری پرداختند [۲۷]. خلیلی و همکاران در مقاله خود به حداکثر رساندن ارزش

منابع و تولید ضایعات کمتر مؤثر بر تصمیمات استراتژیکی پایداری و مزیت رقابتی را ارائه نمودند [۲۸]. لیووهمکاران، زنجیره تأمین حلقه بسته سبز که شامل جریان اجزا و محصولات در شبکه‌های لجستیک با تمرکز بر عملکرد اقتصادی و زیست محیطی ارائه نمودند. در روند تصمیم‌گیری، عدم اطمینان و خطر نشأت گرفته از اندازه و پیچیدگی شبکه بسیار مهم و توزیع پارامتر مبهم است [۲۹].

در این پژوهش تلاش می‌شود تا با طراحی یک مدل ریاضی دو هدفه، یک شبکه لجستیک چندلایه، چندمحصولی، به همراه ظرفیت‌های محدود شده و با شرایط نبود قطعیت که می‌تواند به طور همزمان فعالیت‌های بازیابی محصول، شامل گزینه‌های تولید دوباره، تعمیر و گزینه دفع ضایعات را در برگیرد، ایجاد کنیم. در این پژوهش، یک مدل ریاضی عدد صحیح مختلط[۹] شامل مراکز تولید، توزیع و مشتریان در حالت پیشرو و مراکز جمع‌آوری، مراکز بازیابی مرکزی، تولید دوباره و دفع ضایعات در زنجیره تأمین چهار سطحی ارائه می‌شود. در مدل این پژوهش، تولید مجدد محصولات برگشتی در همان مراکز تولیدی در حالت پیشرو انجام شده و از تسهیل ترکیبی توزیع و جمع‌آوری برای توزیع محصولات جدید، جمع‌آوری محصولات برگشتی و توزیع دوباره محصولات تعمیر و تولید دوباره استفاده می‌شود که در نتیجه به اشتراک‌گذاری تجهیزات جابه‌جایی مواد، تولید، نیروی انسانی و زیربناها، صرفه جویی‌ها در هزینه‌ها و کاهش آلودگی‌ها رخ خواهد داد. همچنین در مدل پیشنهادی پژوهش، گزینه دفع ضایعات به‌عنوان یکی از فعالیت‌های بازیابی محصول در نظر گرفته و بنابراین یک وضعیت واقعی از زنجیره تأمین چهار سطحی حلقه بسته نشان داده می‌شود.

۳- بیان مسئله و مدل ریاضی

در این پژوهش، شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته، یک شبکه چندمحصولی و چند رده‌ای، شامل مراکز مشتریان، مراکز جمع‌آوری/بازرسی، مراکز احیا و مراکز انهدام با ظرفیت محدود تسهیلات می‌باشد. این شبکه با فرض لزوم توجه به رضایتمندی مشتریان؛ جمع‌آوری تمامی کالاهای برگشتی، ثابت بودن محل مشتریان و آگاهی از مقدار کالای برگشتی از هر مشتری، ثابت بودن تعداد و مکان مراکز احیا، مراکز انهدام و آگاهی از ظرفیت آنها است. یکی از اهداف پژوهش، به حداکثر رساندن منافع مشتریان و تولیدکنندگان است. نکته مهمی که در این مطالعه مورد توجه قرار می‌گیرد، استفاده از تسهیلات ترکیبی توزیع و جمع‌آوری است. این تسهیلات در جریان مستقیم، نقش مراکز توزیع و در جریان معکوس، نقش مراکز جمع

آوری را ایفا می‌کنند. استفاده از این تسهیلات باعث صرفه‌جویی در هزینه‌های احداث و نگهداری می‌گردد. در این شرایط آنچه باید تعیین شود؛ مکان و تعداد مراکز تولید و احیا، مراکز توزیع، جمع‌آوری، مراکز انهدام و تعیین جریان بهینه بین تسهیلات شبکه است. این مدل با استفاده از روش فراابتکاری الگوریتم مورچگان حل شده است. برای تست مدل از داده‌های تصادفی استفاده شده است. سپس برای تنظیم پارامترهای الگوریتم‌ها از روش طراحی آزمایشات و تاگوچی استفاده خواهد شد. روش گردآوری داده‌ها، بررسی اسناد و منابع کتابخانه‌ای از روش‌های به‌کار رفته جهت گردآوری داده‌ها در این مطالعه می‌باشند. مدل این پژوهش یک مدل دو هدفه برای بهینه‌سازی هزینه‌ها و مسافت پیموده شده توسط وسایل نقلیه است. اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم مدل ریاضی عبارتست از:

اندیس‌ها و و پارامترها:

I: مجموعه نقاط بالقوه برای مرکز جمع اوری/بازرسی.

J: مجموعه نقاط ثابت مراکز احیا.

L: مجموعه نقاط ثابت مراکز مشتریان.

K: مجموعه نقاط ثابت مراکز انهدام.

V: مجموعه وسایل نقلیه.

d: متوسط کسر محصولات انهدامی (درصد).

r_l: مقدار محصولات برگشتی در مرکز مشتری.$\forall l \in L$

f_i: هزینه ثابت احداث مرکز جمع آوری/ بازرسی$\forall i \in I \,.\, i$

cf_{li}: کلیه هزینه‌های حمل یک واحد محصول برگشتی از مرکز مشتری l به مرکز جمع آوری/ بازرسی$\forall i \in I, \forall l \in L \,.\, i$

cs_{ij}: کلیه هزینه‌های حمل یک واحد محصول برگشتی مرکز جمع‌آوری/ بازرسی i به مرکز احیاء$\forall i \in I, \forall j \in J \,.\, j$

ct_{ik}: کلیه هزینه‌های حمل یک واحد محصول برگشتی مرکز جمع آوری/ بازرسیi به مرکز انهدام$\forall i \in I, \forall k \in K \,.\, k$

mf_i: حداکثر ظرفیت مرکز جمع آوری/ بازرسی $\forall i \in I \,.\, i$

ms_j: حداکثر ظرفیت مرکز احیاء $\forall j \in J \,.\, j$

mt_k: حداکثر ظرفیت مرکز انهدام $\forall k \in K \,.\, k$

q: ظرفیت وسایل نقلیه.

maxnv: حداکثر تعداد وسایل نقلیه موجود در هر مرکز جمع‌آوری / بازرسی.

df_{li}: فاصله بین مشتری l به مرکز جمع‌آوری/ بازرسی i. $\forall i \in I, \forall l \in L$

$dcc_{ll'}$: فاصله بین مشتری l و مشتری l'. $\forall l, l' \in L$

Ucost: حد بالای آرمان هزینه.

Lcost: حد پائین آرمان هزینه.

Udis: حد بالای آرمان مسافت.

Ldis: حد پائین آرمان مسافت.

متغیرهای تصمیم:

A_i: نمایانگر احداث مرکز جمع‌آوری i است. $\forall i \in I$

x_{li}: مقدار محصولات برگشتی که از مرکز مشتری l ام به مرکز جمع‌آوری/ بازرسی i ام حمل می‌شود. $\forall i \in I \ \ \forall l \in L,$

z_{ij}: مقدار محصولات برگشتی که از مرکز جمع‌آوری/ بازرسی i ام به مرکز احیاء j ام حمل می‌شود. $\forall i \in I \ \ \forall j \in J,$

w_{ik}: مقدار محصولات برگشتی که از مرکز جمع‌آوری/ بازرسی i ام به مرکز انهدام k ام حمل می‌شود. $\forall i \in I \ \ \forall k \in K,$

veh_{iv}: مجموعه مشتریانی که توسط وسیله نقلیه v ام از مرکز جمع‌آوری/ بازرسی i ام سرویس دهی می‌شود. $\forall i \in I, \forall v \in V$

ucv_{iv}: ظرفیت استفاده شده از وسیله نقلیه v ام از مرکز جمع‌آوری/ بازرسی i ام. $\forall v \in V, \forall i \in I$

dv_{iv}: مسافت طی شده توسط وسیله نقلیه v ام از مرکز جمع‌آوری/ بازرسی i ام. $\forall v \in V, \forall i \in I$

۳- ۱- مفروضات مدل ریاضی پژوهش

۱. استفاده از پتانسیل یکپارچه‌سازی جریان جمع‌آوری منبع مهمی برای صرفه‌جویی در مقیاس است.

۲. هزینه‌های جمع‌آوری معکوس ممکن است چند برابر هزینه جریان مستقیم باشند، این بدین معناست که لزوماً جریان مستقیم و معکوس متقارن نیستند.

۳. سیستم جمع‌آوری از محل تعیین‌شده توسط مشتریان انجام می‌گیرد.

۴. عدم قطعیت در محصول برگشتی و مقدار آن وجود دارد.

۵. تسهیلات ترکیبی در جریان معکوس نقش مراکز جمع‌آوری/ بازرسی و مرتب‌سازی را ایفا می‌کنند.

۶. استفاده مشترک از تسهیلات و زیرساخت‌ها موجب صرفه‌جویی می‌گردد.

۷. تمامی کالاهای برگشتی جمع‌آوری می‌گردد و محل مشتریان ثابت است.

۸. هر وسیله نقلیه در محدوده جغرافیایی از پیش تعیین‌شده خود عمل می‌نماید.

۹. به‌تمامی محصولات برگشتی مشتریان سرویس داده می‌شود.

۱۰.در هر مرکز جمع‌آوری/ بازرسی تعداد مشخصی وسیله نقلیه برای سرویس‌دهی به محصولات برگشتی مشتریان وجود دارد.

۱۱.تعدادی مرکز بالقوه مرکز جمع‌آوری/بازرسی وجود دارد که مدل از بین آنها حداقل یک مرکز را برای احداث انتخاب می‌کند.

۱۲.هزینه احداث مراکز جمع‌آوری/ بازرسی با یکدیگر متفاوت در نظر گرفته شده است.

۱۳.مدل دارای دو هدف کمینه کردن هزینه جمع‌آوری محصولات برگشتی و کمینه کردن مسافت طی شده توسط خودروهای مراکز جمع‌آوری/بازرسی می‌باشد.

۱۴.مدل دو هدفه به شیوه آرمانی فازی در نظر گرفته شد. به‌طوری‌که آرمان هزینه‌بر آرمان مسافت اولویت دارد.

۱۵.ظرفیت وسایل نقلیه ثابت در نظر گرفته شده است.

۱۶.وسایل نقلیه از مراکز بازرسی حرکت کرده، به مشتریان سرویس‌دهی نموده و دوباره به مرکز بازرسی برمی‌گردد.

۱۷.فرض می‌گردد از کالاهایی که به یک مرکز جمع‌آوری/بازرسی وارد می‌شود. درصد ثابت و مشخصی بایستی به مراکز انهدام ارسال گردد.

۱۸.مراکز جمع‌آوری/بازرسی، مراکز انهدام و مراکز احیا دارای ظرفیت‌های مشخص و متفاوتی می‌باشند.

۱۹.به دلیل پیچیدگی محاسباتی (NP-Hard) مدل شبکه توزیع، برای حل آن از الگوریتم فرا ابتکاری استفاده می‌نماییم.

۳-۲- مدل ریاضی پژوهش

$$MinZ_1 = \sum_i f_i A_i + \sum_l \sum_i cf_{li}\, x_{li} + \sum_i \sum_j cs_{ij}\, z_{ij} + \sum_i \sum_k ct_{ik}\, w_{ik} \quad (۱)$$

$$MinZ_2 = \sum_i \sum_v \Big(\sum_{veh_{iv}} df_{veh_{iv}} + \sum_{veh_{iv}} dcc_{veh_{iv}} \Big) \quad (۲)$$

$$\sum_i A_i \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (۳)$$

$$\sum_i x_{li} = r_l \quad \forall k \in K \quad (۴)$$

$$\sum_j z_{ij} = (1-d) \sum_l x_{li} \quad \forall i \in I \quad (۵)$$

$$\sum_k w_{ik} = d \sum_l x_{li} \quad \forall i \in I \quad (۶)$$

$$\sum_l x_{li} \leq A_i m f_i \quad \forall i \in I \quad (۷)$$

$$\sum_i z_{ij} \leq ms_i \quad \forall j \in J \quad (۸)$$

$$\sum_k w_{ik} \leq mt_k \quad \forall k \in K \quad (۹)$$

$$\sum_{veh_{iv}} r_{veh_{iv}} \leq q \quad \forall i \in I, \forall v \in V \quad (۱۰)$$

$$\sum_{\mathrm{v}} I_{veh_{iv}}(l) = 1 \quad \forall i \in I, \forall l \in L \quad (۱۱)$$

$$\sum_v ucv_{iv} = \sum_l x_{li} \quad \forall i \in I \quad (۱۲)$$

$$A_i \in \{0,1\} \; \forall i \in I \quad (۱۳)$$

$$x_{li}, z_{ij}, w_{ik}, ucv_{iv} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall l \in L, \forall j \in J, \forall k \in K, \forall v \in V \quad (۱۴)$$

$$veh_{iv} \subset L \quad \forall i \in I, \forall v \in V$$

$$\begin{cases} I_{veh_{iv}}(l) = 0; & \text{اگر وسیله نقلیه v ام از مرکز i ام به مشتری l ام سرویس ندهد} \\ I_{veh_{iv}}(l) = 1; & \text{اگر وسیله نقلیه v ام از مرکز i ام به مشتری l ام سرویس بدهد} \end{cases}$$

در رابطه (۱) هدف مدل به دنبال به حداقل رساندن مجموع هزینه‌های سیستم زنجیره تأمین حلقه بسته است. رابطه (۲)، هدف مدل کمینه‌سازی کل مسافت طی شده توسط وسایل

نقلیه بین مرکز مشتری l ام و مرکز جمع‌آوری/بازرسی i ام است. رابطه (۳)، لزوم تشکیل حداقل یک مرکز جمع‌آوری/بازرسی را نشان می‌دهد. رابطه (۴)، لزوم جمع‌آوری تمامی کالاهای برگشتی از هر مشتری را نشان می‌دهد. رابطه (۵- ۶)، بالانس جریان ورودی و خروجی در مراکز جمع‌آوری/بازرسی را نسبت به احیا و یا انهدام کامل کالاهای برگشتی را تضمین می‌کند. رابطه (۷ - ۹)، تجاوز نکردن جریان بین تسهیلات از ظرفیت آنها را تضمین می‌کند. رابطه (۱۰)، لزوم تجاوز نکردن از ظرفیت وسایل نقلیه را نشان می‌دهد. رابطه (۱۱)، به هر مشتری توسط یک وسیله نقلیه سرویس‌دهی می‌شود و رابطه (۱۲)، تمامی محصولات برگشتی مشتریان بایستی توسط وسایل نقلیه سرویس‌دهی شود. رابطه (۱۳-۱۴) نیز حالت‌های متغیرهای مسئله را نشان می‌دهد.

۳-۳- ارائه مدل نهایی با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی

برنامه‌ریزی آرمانی را می‌توان یکی از ابزارهای برجسته جهت تجزیه‌وتحلیل تصمیم‌های چند هدفه در حوزه زنجیره تأمین است که از ویژگی‌های آن دستیابی همزمان به چندین هدف بر مبنای اولویت‌بندی است. برنامه‌ریزی آرمانی، انحراف از آرمان‌ها را مجاز می‌داند و از این رو انعطاف‌پذیری را در فرآیند تصمیم‌گیری ایجاد می‌کند. اساس برنامه‌ریزی آرمانی بر اساس سه مفهوم؛ انحراف‌ها، ضرایب اهمیت نسبی آرمان‌ها و ابعاد اهداف می‌باشد. در این پژوهش از روش رتبه‌بندی ترتیبی برای اولویت‌بندی استفاده شده، بطوری که آرمان هزینه بر آرمان مسافت اولویت دارد. فرم مدل ریاضی برنامه‌ریزی آرمانی عبارتست از:

$$\text{Min } A = p_1 d_1^+ + p_2 d_2^+ \quad (۱۵)$$

Subject to:

$$z_1 = \sum_i f_i A_i + \sum_l \sum_i cf_{li}\, x_{li} + \sum_i \sum_j cs_{ij}\, z_{ij} + \sum_i \sum_k ct_{ik}\, w_{ik} - d_1^+ + d_1^+ \quad (۱۶)$$

$$z_2 = \sum_i \sum_v \left(\sum_{veh_{iv}} df_{veh_{iv}} + \sum_{veh_{iv}} dcc_{veh_{iv}} \right) - d_2^+ + d_2^+ \quad (۱۷)$$

$$\sum_i A_i - 1 \geq 0 \quad \forall i \in I \quad (۱۸)$$

$$\sum_i x_{li} - r_l = 0 \quad \forall k \in K \quad (۱۹)$$

$$\sum_j z_{ij} - (1 - d) \sum_l x_{li} = 0 \quad \forall i \in I \quad (۲۰)$$

$$\sum_{k} w_{ik} - d\sum_{l} x_{li} \ = \forall i \in I \qquad (۲۱)$$

$$\sum_{l} x_{li} - A_i mf_i \ \leq \cdot \ \forall i \in I \qquad (۲۲)$$

$$\sum_{i} z_{ij} - ms_i \ \leq \cdot \ \forall j \in J \qquad (۲۳)$$

$$\sum_{k} w_{ik}\text{-}d\sum_{l} x_{li} \ = \forall i \in I \qquad (۲۴)$$

$$\sum\nolimits_{veh_{iv}} r_{veh_{iv}} - q \ \leq \cdot \ \forall i \in I, \forall v \in V \qquad (۲۵)$$

$$\sum_{v} I_{veh_{iv}}(l) - ۱ = \cdot \ \forall i \in I, \forall l \in L \qquad (۲۶)$$

$$\sum_{v} ucv_{iv} - \sum_{l} x_{li} = \cdot \ \forall i \in I \qquad (۲۷)$$

$$A_i \in \{\cdot, ۱\} \ \forall i \in I \qquad (۲۸)$$

$$x_{li}, z_{ij}, w_{ik}, ucv_{iv} \ \geq \cdot \ \forall i \in I, \forall l \in L, \forall j \in J, \forall k \in K, \forall v \in V$$

d =int
p =int

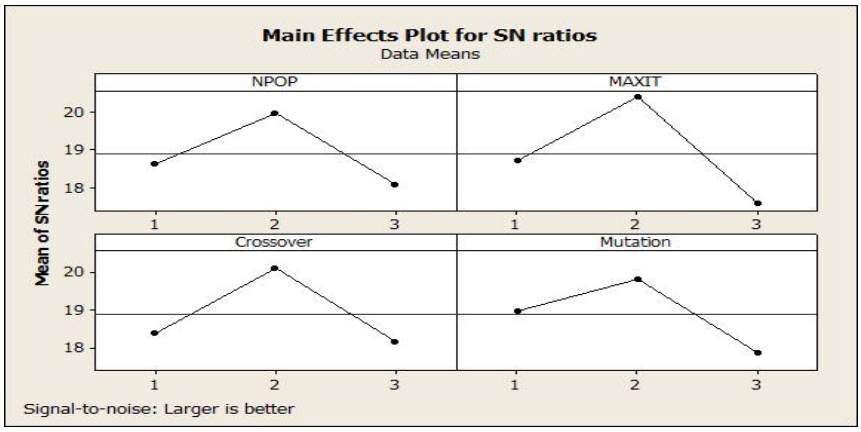
$veh_{iv} \subset L \ \forall i \in I, \forall v \in V$

$\begin{cases} I_{veh_{iv}}(l) = \cdot; & \text{اگر وسیله نقلیه v ام از مرکز i ام به مشتری l ام سرویس ندهد} \\ I_{veh_{iv}}(l) = ۱; & \text{اگر وسیله نقلیه v ام از مرکز i ام به مشتری l ام سرویس بدهد} \end{cases}$

۳-۴- پیچیدگی محاسباتی

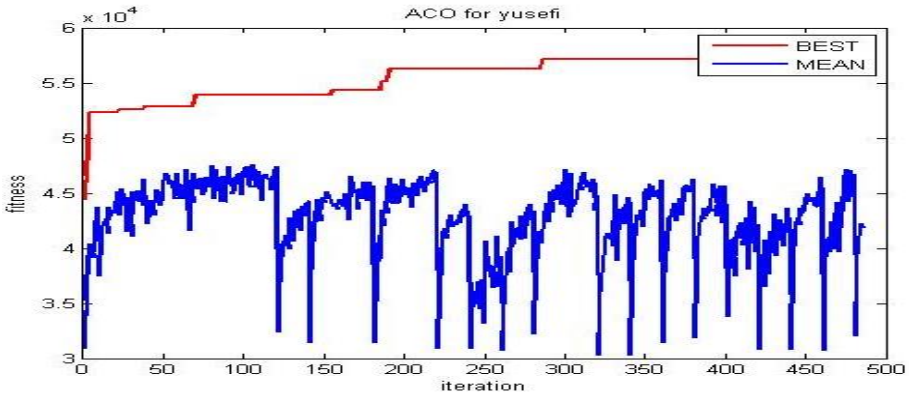
دراین پژوهش، یک مدل ریاضی جدید چندهدفه برای کمینه‌سازی زمان پردازش، آلودگی محیط زیست، هزینه‌ها و میزان موجودی ارائه شده است؛ بنابراین با زیاد شدن مشتریان، مراکز جمع‌آوری، احیا و انهدام، فضای حل مسله افزایش می‌یابد و با روش دقیق نمی‌توان جواب بهینه را به دست آورد و از سوی دیگر جواب‌های الگوریتم فراابتکاری پیشنهادی به جواب بهینه نزدیک می‌باشند و در کمترین زمان به جواب مورد نظر می‌رسند. بنابراین این مسله جزء گروه مسائل NP-Hard است و برای حل آن از الگوریتم فرا ابتکاری مورچگان استفاده و برای یافتن مقادیر رضایت‌بخش متغیرهای مسله با تاکید بر اهداف کمینه‌سازی هزینه‌های سیستم و مسافت بین مراکز ارائه شده است. برای تنظیم پارامترهای الگوریتم مورچگان از روش طراحی آزمایشات تاگوچی استفاده شده است. روش تاگوچی از معیار (S/N) استفاده این معیار، مقدار تغییرات رخ داده شده در متغیر پاسخ را نشان می‌دهد. برای

هر فاکتور، مقدار سطحی بهینه و مناسب است که مقدار معیار (S/N) آن بیشتر باشد؛ پس با توجه به شکل (۱) برای هر چهار فاکتور نتایج نهایی تنظیم پارامترها به شرح ذیل می‌باشد: جمعیت مورچه‌ها: ۳۰ عدد؛ تعداد تکرار الگوریتم: ۱۰۰۰ بار؛ ضریب تبخیر فرمون: ۰,۰۲ درصد؛ ضریب تقویت فرمون توسط مقدار تابع هدف Q=100.



شکل ۱. نرخ S/N برای ضرایب الگوریتم مورچگان

مقادیر آلفا و بتا برای این الگوریتم به ترتیب ۲ و ۱ در نظر گرفته شده است.



شکل ۲. مقدار تابع برازش

مناسب بودن یا نبودن جواب با مقادیر تابع برازندگی سنجیده می‌شود، زیرا مسئله از نوع بهینه‌سازی و تابع برازش با تابع هدف مسله یکسان و تابع هدف پژوهش از نوع آرمانی- فازی است، بنابراین تابع برازش به صورت ذیل خواهد بود:

$$z_1 = \sum_i f_i A_i + \sum_l \sum_i cf_{li}\, x_{li} + \sum_i \sum_j cs_{ij}\, z_{ij} + \sum_i \sum_k ct_{ik}\, w_{ik} \quad (۲۹)$$

$$z_2 = \sum_i \sum_v \Big(\sum_{veh_{iv}} df_{veh_{iv}} + \sum_{veh_{iv}} dcc_{veh_{iv}} \Big) \quad (۳۰)$$

$$\max Z = P_1 .\, \mu c(z_1) + P_2 .\, \mu d(z_2) \quad (۳۱)$$

که در آن P_1 اولویت آرمان هزینه و $\mu c(Z1)$ درجه عضویت آرمان هزینه و P_2 اولویت آرمان مسافت و $\mu d(Z2)$ درجه عضویت آرمان مسافت است. در این پژوهش، جهت در نظر گرفتن محدودیت‌های مدل، مقادیری که توسط هر مورچه برای متغیرها پیدا شده است، ابتدا از نظر محدودیت‌ها مورد بررسی قرار گرفته و درصورتی‌که در محدودیت‌ها صدق نکند، مقادیر دیگری برای متغیرها توسط مورچه تولید می‌شود. این روند ادامه می‌یابد تا زمانی که مقادیر مورد نظر که محدودیت‌ها را ارضا کند، یافت شود. استراتژی در نظر گرفته شده در این پژوهش جهت مواجهه با محدودیت‌ها از نوع استراتژی جریمه‌ای نیست، در این روش از ابتدا از ورود جواب‌های غیرموجه جلوگیری می‌کنند و آنقدر جواب تولید می‌گردد تا جواب موجه ایجاد گردد و از آن مقدار بهینه تولید شود. به علت اثر فرومونی که هر مورچه از خود به‌جای می‌گذارد، ماکزیمم تعداد تکرار برای الگوریتم ۱۰۰۰ در نظر گرفته شده و به علت پیچیده بودن مسئله، ماکزیمم‌های موضعی زیادی در این مسئله وجود دارد که ممکن است مورچه‌ها را از رسیدن به جواب بهینه عمومی منحرف کند. بنابراین الگوریتمی در نظر گرفته شد که اگر پس از ۱۰۰ تکرار جواب بهینه تغییری نکرده بود، مقادیر فرمون‌ها برای تمامی متغیرها به مقدار یک تغییر کند تا مورچه‌ها بتوانند در تکرارهای بعدی درصورتی‌که جواب بهتری وجود دارد آن را بیابند. لازم به ذکر است که روند بازنشانی مقادیر فرمون پس از تکرار ۱۰۰ ام در هر ۲۰ تکرار در صورت ثابت ماندن جواب ادامه می‌یابد. پس از تکرار ۴۰۰ ام ،جواب بهینه یافت شده در ۲۰۰ تکرار آخر ثابت مانده و الگوریتم متوقف خواهد شد.

۳-۵- تحلیل حساسیت

برای تحلیل حساسیت مسله با ۱۵ نود و ۳ محصول و ۶ وسیله نقلیه در نظر گرفته شده

است. برای تحلیل حساسیت مسله دو پارامتر در مسئله در نظر گرفته که پارامتر اول مقدار هزینه و دوم مسافت پیموده شده وسایل نقلیه است. با افزایش ظرفیت حمل‌ونقل، هزینه کل کاهش و از طرف دیگر قابلیت اطمنان سیستم تغییری محسوسی نمی‌کند. دلیل این امر آن است که افزایش ظرفیت وسایل نقلیه، فضای مسئله را افزایش و گزینه‌های حمل توسط وسایل نقلیه مختلف بیشتر شود. از سوی دیگر قابلیت اطمینان تأسیس مراکز تأمین ارتباطی به ظرفیت ناوگان توزیع ندارد. با افزایش بودجه، تأسیس مراکز توزیع، هزینه کل افزایش می‌یابد و همچنین افزایش بودجه باعث افزایش قابلیت اطمینان می‌شود، می‌توان مراکز توزیع با قابلیت اطمینان بیشتر را انتخاب و در نتیجه قابلیت اطمینان افزایش پیدا می‌کند.

۴- یافته‌های پژوهش

نخست تمام فرآیندهای زنجیره تأمین حلقه بسته در شرکت لوازم خانگی امرسان بررسی و تمامی عوامل مؤثر در آن شناسایی و در مدل ریاضی لحاظ گردید. در مدل آرمانی– فازی پژوهش از عملگرها و اپراتورهای فازی استفاده شده که در مقایسه با سایر روش‌ها حکایت از برتری مدل پژوهش دارد. نتایج حاصل از پژوهش بیانگر آنست که کاهش هزینه جزء مهم‌ترین و اساسی‌ترین عوامل بوده و مدیریت آن نیز باید پیوسته صورت پذیرد (جدول ۱). در جدول (۸) میزان مسافت پیموه شده توسط وسایل نقلیه مراکز جمع‌آوری/بازرسی اشاره گردیده که مراکز ۱ و ۶ توسط وسایل نقلیه ۱ و ۲ اشاره گردیده است.

جدول ۱ . مقادیر بهینه آرمان‌های یافت شده

هزینه کل	۷۹۸۹۴	Z_1	درجه عضویت مسافت	۰/۴۴۳۴۶	μd
درجه عضویت هزینه	۰/۵۷۲۹۴	μc	مسافت کل	۹۲۳۵	Z_2

جدول ۲. مقادیر بهینه متغیر Ai

مراکز	مرکز ۱	مرکز ۲	مرکز ۳	مرکز ۴	مرکز ۵	مرکز ۶
ساختن	۱	۰	۰	۰	۰	۱

جدول ۳ . مقدار بهینه کالای ارسال شده از هر مرکز جمع‌آوری به مراکز احیا

Z	احیا ۱	احیا ۲	احیا ۳	احیا ۴	Z	احیا ۱	احیا ۲	احیا ۳	احیا ۴
مرکز ۱	۳۸۶	۱	۲	۱۰۱	مرکز ۴	۰	۰	۰	۰
مرکز ۲	۰	۰	۰	۰	مرکز ۵	۰	۰	۰	۰
مرکز ۳	۰	۰	۰	۰	مرکز ۶	۲۰۵	۹۴	۰	۲۰۲

جدول ۴. مقدار بهینه کالای ارسال شده از هر مرکز جمع‌آوری به مراکز انهدام

W	انحدام ۱	انحدام ۲	انحدام ۳	W	انحدام ۱	انحدام ۲	انحدام ۳
مرکز ۱	۰	۲	۲۴	مرکز ۴	۰	۰	۰
مرکز ۲	۰	۰	۰	مرکز ۵	۰	۰	۰
مرکز ۳	۰	۰	۰	مرکز ۶	۲	۰	۲۵

جدول ۵ . مقدار بهینه کالای برگشتی ارسال شده توسط مشتریان به مراکز جمع‌آوری/بازرسی

X	مراکز						X	مراکز					
	۱	۲	۳	۴	۵	۶		۱	۲	۳	۴	۵	۶
مشتری ۱	۴۵	۰	۰	۰	۰	۴	مشتری ۱۶	۳۹	۰	۰	۰	۰	۴
مشتری ۲	۲۷	۰	۰	۰	۰	۲۱	مشتری ۱۷	۱۲	۰	۰	۰	۰	۳۶
مشتری ۳	۵	۰	۰	۰	۰	۴۲	مشتری ۱۸	۳۶	۰	۰	۰	۰	۶
مشتری ۴	۵	۰	۰	۰	۰	۱۳	مشتری ۱۹	۱۱	۰	۰	۰	۰	۱۶
مشتری ۵	۴	۰	۰	۰	۰	۳۸	مشتری ۲۰	۲۹	۰	۰	۰	۰	۴
مشتری ۶	۰	۰	۰	۰	۰	۲۷	مشتری ۲۱	۱۶	۰	۰	۰	۰	۱۷
مشتری ۷	۱۸	۰	۰	۰	۰	۸	مشتری ۲۲	۲۲	۰	۰	۰	۰	۶
مشتری ۸	۲۰	۰	۰	۰	۰	۲۰	مشتری ۲۳	۶	۰	۰	۰	۰	۲۹
مشتری ۹	۴۴	۰	۰	۰	۰	۱	مشتری ۲۴	۴۶	۰	۰	۰	۰	۳
مشتری ۱۰	۴	۰	۰	۰	۰	۳۱	مشتری ۲۵	۶	۰	۰	۰	۰	۱۳
مشتری ۱۱	۲۰	۰	۰	۰	۰	۱۷	مشتری ۲۶	۳	۰	۰	۰	۰	۲۸
مشتری ۱۲	۱۹	۰	۰	۰	۰	۲۴	مشتری ۲۷	۱۹	۰	۰	۰	۰	۱۱
مشتری ۱۳	۳	۰	۰	۰	۰	۱۱	مشتری ۲۸	۳۰	۰	۰	۰	۰	۳
مشتری ۱۴	۳	۰	۰	۰	۰	۴۷	مشتری ۲۹	۸	۰	۰	۰	۰	۲

X	مراکز						X	مراکز					
	۱	۲	۳	۴	۵	۶		۱	۲	۳	۴	۵	۶
مشتری ۱۵	۱۲	۰	۰	۰	۰	۱۱	مشتری ۳۰	۴	۰	۰	۰	۰	۳۵

جدول ۶. جدول بهینه تخصیص مشتریان به وسایل نقلیه در مراکز تأسیس شده

مرکز ۱	وسیله ۱	۵	۱۰	۴	۳	۲۸	۳۰	۲۵	۱۳	۲	۲۳	۲۰	۱۹	۱۵	۲۲	۲۱	۱۴	۱۸	۹	۲۷	۲۴	۷	۲۹	۲۶	۱۱
	وسیله ۲	۱۲	۸	۱۷	۱۶	۱																			
مرکز ۲	وسیله ۱	۳۰	۲۷	۱۴	۱۰	۱۷	۳	۱۹	۱۲	۹	۶	۱۱	۲۵	۲۸	۲۶	۱۵	۱۸	۲۳	۲۴	۱						
	وسیله ۲	۷	۴	۵	۲۱	۱۶	۱۳	۸	۲۰	۲۲	۲	۲۹														

جدول ۷.جدول ظرفیت استفاده شده از وسایل نقلیه مراکز

وسیله	۱	۲	۳	۴	۵		۱	۲	۳	۴	۵
مرکز ۱	۳۸۱	۱۳۵	۰	۰	۰	مرکز ۴	۰	۰	۰	۰	۰
مرکز ۲	۰	۰	۰	۰	۰	مرکز ۵	۰	۰	۰	۰	۰
مرکز ۳	۰	۰	۰	۰	۰	مرکز ۶	۳۸۴	۱۴۴	۰	۰	۰

جدول ۸. فاصله پیموده شده توسط وسایل نقلیه مراکز جمع‌آوری بازرسی

وسیله	۱	۲	۳	۴	۵		۱	۲	۳	۴	۵
مرکز ۱	۳۴۶۲	۱۳۲۶	۰	۰	۰	مرکز ۴	۰	۰	۰	۰	۰
مرکز ۲	۰	۰	۰	۰	۰	مرکز ۵	۰	۰	۰	۰	۰
مرکز ۳	۰	۰	۰	۰	۰	مرکز ۶	۲۳۵۸	۲۰۸۹	۰	۰	۰

۵- نتیجه‌گیری و فرصت‌های پژوهشی آینده

نتایج حاصل از پژوهش بیانگر آن است که کاهش هزینه جزء مهم‌ترین و اساسی‌ترین عوامل است. در این پژوهش سعی شده نحوه عرضه محصولات در یک کارخانه مدل‌سازی و نتایج مربوط به آن مورد بحث قرار گیرد. در بیشتر تحقیقات در این حوزه، توجه زیادی به برنامه‌ریزی وسایل نقلیه در مکان‌یابی و تخصیص مشتری به مراکز احیا و انهدام نکرده‌اند، از این رو سعی گردیده یک مدل ریاضی آرمانی با اهداف غیر قطعی ارائه شود. از این رو یک مدل ریاضی بر مبنای سناریوهای مختلف برای وضعیت بازار ارائه گردید، به‌طوری‌که بتوان

مراکز احیا و انهدام را انتخاب و نحوه تخصیص مشتریان به آنها و زمانبندی وسایل نقلیه را در نظرگیرد. با توجه به اینکه در دنیای واقعی نقاط تقاضا، نیاز به محصولات مختلفی را دارند، از این رو مدل به‌صورت چندمحصولی و چند مشتری در نظر گرفته شده است. مدل ارائه شده به‌صورت چند مرکز انهدام، احیا و یک کارخانه ارائه و تحویل محصولات به مشتریان به‌صورت چندگانه است. با توجه به اهمیت خدمت‌رسانی و ارسال بدون وقفه محصولات به مشتریان، قابلیت اطمینان مراکز احیا در ارائه خدمات بسیار ضروری است. براین اساس تابع هدف اول بصورت مینیمم‌سازی هزینه‌ها مراکز احیا و انهدام درنظر گرفته ودر این پژوهش از روش فراابتکاری برای دستیابی به جواب‌های پارتو استفاده گردید. برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود، علاوه بر فازی‌سازی اهداف، محدودیت‌های مدل نیز فازی و نتایج آن با این پژوهش مقایسه گردد. همچنین می‌توان از الگوریتم‌های فرا ابتکاری دیگر برای بهینه‌سازی استفاده و یا یک الگوریتم ترکیبی جدید ارائه گردد. در این پژوهش، دو عامل هزینه و مسافت وسایل نقلیه بررسی گردیده، پیش‌بینی می‌گردد سایر عوامل مؤثر بر حمل‌ونقل وسایل نقلیه در زنجیره تأمین شناسایی و بهینه‌سازی شوند.

۶- پی‌نوشت‌ها

۱. Harrison & Van Hoek
۲. Jayaraman & Pirkul
۳. Melachrinoudis et al
۴. Listes & Dekker
۵. Du & Evans
۶. Dat et al
۷. Dondo & Mendez
۸. Zhou & Wang
۹. Mixed Integer Linear programming (MILP)

۷- منابع

[1] Lambert, D. M. Stock, J.R. & Sterling, J.U. (1990). A Gap Analysis of Buyer and Seller Perceptions of the Importance of Marketing Mix Attributes, Educator Conference Proceeding Washington, DC.

[2] Christopher, M. (2016). Logistics Supply Chain Management. Pearson, UK.

[3] De Boer, L. Labro, E. & Morlacchi, P. (2001). A review of methods supporting supplier selection, European J. Purchasing & Supply management,7(2),pp.75-89.

[4] Wei, Yin. (2011).Reverse supply chain management. University of Gothenburg.

[5] Rasi, E.Reza. (2018).A Cuckoo Search Algorithm Approach for Multi-Objective Optimization in Reverse Logistics Network under Uncertainty Condition. International Journal of Supply and Operations Management, 5(1), pp.66-80.

[6] Mohtashami, Zahra. Aghsami,Amir. Jolai,Fariborz. (2020). A green closed loop supply chain design using queuing system for reducing environmental impact and energy consumption. Journal of Cleaner Production.242(1),pp. 118-152.

[7] Aziziankohan, A., Jolai, F., Khalilzadeh, M., Soltani, R., and Tavakkoli-Moghaddam, R. (2017). Green supply chain management using the queuing theory to handle congestion and reduce energy consumption and emissions from supply chain transportation fleet. J. Ind. Eng. Manag., 10,pp. 213-231.

[8] McKinnon, A. Cullinene, S. Browne, M. Whiteing, A. (2010). Green Logistics, Improving the environmental sustainability of logistics, Kogan page, London Philadelphia New Delhi.

[9] Mutha, A. & Pokharel, S. (2009). Strategic network design for reverse logistics and remanufacturing using new and old product modules, Computers & Industrial Engineering, Vol. 56, pp. 334-346.

[10] Cruz-Rivera, R. & Ertel, J. (2009). Reverse logistics network design for the collection of End-of-Life Vehicles in Mexico, European Journal of Operational Research, Vol. 196(6), pp. 930-939.

[11] Subramanian, N., Gunasekaran, A. (2015). Cleaner supply-chain management practices for twenty-firstcentury organizational competitiveness: Practice-performance framework and research propositions.International Journal of Production Economics, 164(5),pp. 216-233.

[12] Rasi,E.Ehtesham. Karami Pour, Meysam. Noor Mohammadi,Rahman. (2018). Mathematical modelling of the vehicle hybrid locating-routing problem in three-tier supply chain. Int. J. Modelling in Operations Management,7(1),pp.42-58.

[13] Harrison, A. & Van Hoek, R. (2008).Logistics Management and Strategy competing through the supply chain, Harlow: Pearson Education Limited.

[14] Chiara, Gobbi. (2011). Designing the reverse supply chain: the impact of the product residual value, pp.768-796.

[15] Jayaraman, V. & Pirkul, H. (2001). Planning and coordination of production and distribution facilities for multiple commodities. European Journal of

Operational Research, 133, pp.394–408.

[16] Melachrinoudis, E. Messac, A. & Min, H. (2005). Consolidating a warehouse network: a physical Programming approach. International Journal of Production Economics, Vol. 97, pp.1-17.

[17] Listes, O. & Dekker R. (2005). A stochastic approach to a case study for product recovery network design. European Journal of Operational Research, Vol. 160, pp. 268–287.

[18] Amiri, A. (2006). Designing a distribution network in a supply chain system: Formulation and efficient solution procedure. European Journal of Operational Research, Vol. 171, pp. 567–576.

[19] Du, F. & Evans G. W. (2008). A bi-objective reverse logistics network analysis for post-sale service. Computers & Operations Research, 35, pp. 2617 – 2634.

[20] Dat, L.Q. Linh, D.T.T. Chou, Sh.Y & Yu, V.F. (2012). Optimizing reverse logistic costs for recycling end-of-life electrical and electronic products. Expert Systems with Applications, 39,pp.6380–6387.

[21] Ramezani, M. Bashiri, M. Tavakkoli-Moghaddam, R. (2013). A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level. Applied Mathematical Modelling, 37,pp.328-344.

[22] Rahimi, M. Baboli, A. Rekik, Y. (2016). Sustainable Inventory Routing Problem for Perishable Products by Considering Reverse Logistic. IFAC-PapersOnLine, 5(3), pp. 949-954.

[23] Dondo, R.G. & Mendez, C.A. (2016). Operational planning of forward and reverse logistic activities on multi-echelon supply chain networks. Computers & Chemical Engineering, 88,pp. 170–184.

[24] Ehtesham Rasi, R. and Sohanian, M. (2020).A multi-objective optimization model for sustainable supply chain network with using genetic algorithm. Management, article in press.

[25] Zhou, Y. Wang, Sh. (2008). Generic Model of Reverse Logistics Network Design. Journal of Transportation Systems. Engineering & Information Technology, 8(3),pp.71-78.

[26]Ahmadiazar,Mahmoud.Dorri,Behroz.Tabriz,Akbar,Alam.Kassai,Massoud. (2019).Modeling and solving problem sustainable closed loop supply chain network design for petrochemical products under uncertainty conditions. Modern Researches in Decision Making (Scientific Research Quarterly), 4(4), pp.1-30.

[27] Khodadadian, Davood.Radfar,Reza.Toloei,Eshlaghi,Abbas. (2020). A multi-objective green supply chain: multi-product model considering uncertainty. Modern Researches in Decision Making (Scientific Research Quarterly), 5(3), pp.1-28.

[28] Khalili Nasr,Arash.,Tavana,Madjid,.Alavi,Behrouz.,Mina,Hassan. (2020). A Novel Fuzzy Multi-Objective Circular Supplier Selection and Order Allocation Model for Sustainable Closed-Loop Supply Chains.Journal of Cleaner production,10, article in press.

[29] Liu,Ying.,Ma, Lin.&Liu,Yankui. (2020). A novel robust fuzzy mean-UPM model for green closed-loop supply chain network design under distribution ambiguity.Applied Mathematical Modeling,92(2),pp.99-135.