



## مدل چند هدفه فازی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته در صنعت خودرو با رویکرد مدیریت شهری

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۲۵ | تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۳۰

سعید امین پور

دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.  
(نویسنده مسئول) [aminpour0saed@gmail.com](mailto:aminpour0saed@gmail.com)

علیرضا ایرج پور

استادیار گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.  
[airajpour@yahoo.com](mailto:airajpour@yahoo.com)

مهدی یزدانی

استادیار گروه مهندسی صنایع، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.  
[m\\_yazdani@qiau.ac.ir](mailto:m_yazdani@qiau.ac.ir)

### چکیده

**مقدمه و هدف پژوهش:** هدف تحقیق حاضر طراحی مدل چند هدفه فازی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته در صنعت خودرو با رویکرد مدیریت شهری می‌باشد. تولید خودرو فرآیندی پیچیده و پرنرژ است که مقدار قابل توجهی مواد اولیه و آب را مصرف می‌کند. برای ادامه رقابت، تولیدکنندگان تجهیزات اصلی خودرو باید با بهبود مستمر روند تولید خود و هدایت تولید گازهای گلخانه‌ای با میزان کم کربن و افزایش پایداری، برای کیفیت بهتر محصول تلاش کنند. در همین راستا شبکه های زنجیره تامین معکوس و زنجیره های حلقه بسته دارای ویژگی های خاصی هستند که در صنعت مورد بررسی بسیار مفید می‌باشد.

**روش پژوهش:** در تحقیق حاضر به منظور رسیدن به اهداف تحقیق از روش تحقیق کمی استفاده خواهد شد و براساس هدف به صورت کاربردی تعریف شده است. در این مطالعه، از روش MOPSO برای تسهیل اجرای آن و توانایی آن در ارائه هم‌گرایی خوب و همچنین الگوریتم ژنتیک NSGA II استفاده می‌کنیم.

**یافته‌ها:** در بررسی یافته های الگوریتم های پیشنهادی مشخص شد که میانگین خطای حاصل از این الگوریتم‌ها کمتر از ۰/۰۴ است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم های پیشنهادی کارایی لازم را در حل این مسائل دارند  
**نتیجه گیری:** نتایج قابل توجه مدل خود را چنین ذکر می‌کنیم: (۱) شبکه ی حلقه بسته ی کارآمدی که مزایای اقتصادی با توجه به در نظر گرفتن ارزش زمان را با توجه به بازیافت محصول فرسوده نشان می‌دهد. (۲) این توانایی را دارد که ظرفیت را برای دستیابی به حداکثر مزایا از نظر ارزش هزینه و نیز چشم انداز محیطی نشان دهد که چه ظرفیتی را باید حفظ کند.

**واژگان کلیدی:** شبکه زنجیره تامین حلقه بسته، صنعت خودرو، بازده انرژی و زمان، مدیریت شهری

## مقدمه

معکوس و زنجیره های حلقه بسته دارای ویژگی های خاصی هستند که در صنعت مورد بررسی بسیار مفید می باشد. زنجیره های تامین سنتی که به نام زنجیره های عرضه به جلو نیز شناخته می شوند، صرفنظر از خسارت وارده به محیط زیست، عمر محصولات را نادیده می گیرند. با این حال، یک زنجیره تامین پایدار با طراحی مناسب و صحیح کمترین آسیب را به محیط زیست وارد می کند. لجستیک معکوس در زنجیره های عرضه حلقه بسته با جمع آوری و استفاده مجدد از محصولات استفاده شده در جهت رو به جلو، بهترین راه حل برای محصولاتی با عمر محدود می باشد (تالیزاده و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۹: ۱۶۳). محصولات برگشتی هم از نظر هزینه و هم از منظر محیط زیست با ارزش هستند. زنجیره تامین حلقه بسته وقتی زنجیره تامین رو به جلو و معکوس وجود داشته باشد وجود دارد. ادغام زنجیره های عرضه و ارسال معکوس با اضافه کردن عناصر، پیچیدگی شبکه ها را افزایش می دهد (حسن زاده امین و بیکی<sup>۲</sup>، ۲۰۱۷: ۳۱۶). زنجیره تامین حلقه بسته، مستلزم طراحی، کنترل و اجرای یک سیستم برای به حداکثر رساندن ایجاد ارزش در طول عمر یک محصول با تولید ارزش پویایی از محصولات مختلف برگشتی در طول زمان است (سلیمانی و همکاران، ۲۰۱۷: ۱۹۱). شیوه های طراحی معمول زنجیره تامین تنها بر جهت جریان رو به جلو تمرکز دارد. با این حال، به منظور بهره مندی از محصولات بازگشتی، شرکت ها علاوه بر لجستیک مستقیم، لجستیک معکوس را نیز اتخاذ می کنند، که باعث شکل گیری زنجیره تامین حلقه بسته می شود (جبارزاده و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۸: ۱۷۸). در زنجیره تامین معکوس، بین تامین کنندگان، تولید کنندگان و بازار فروش محصولات یک حلقه بسته ایجاد شده است، بنابراین ساختار این نوع زنجیره متفاوت با زنجیره های تامین سنتی حلقه باز دارند. به طور کلی در زنجیره تامین حلقه بسته یک ارتباط چند به چند و به حالت همگرا واگرا (شامل: جمع آوری، بازرسی و مرتب سازی، پردازش مجدد، توزیع مجدد و مصرف (وجود دارد در حالی که در سیستم های لجستیک مستقیم با ارتباطات یک به چند واگرا روبه رو بوده ایم. لذا نقش مراکز واسطه های مانند مراکز توزیع، جمع آوری و احیا در هماهنگی دو سر زنجیره و به عبارت دیگر عرضه و تقاضا بسیار حیاتی است. البته نقش مراکز احیا که واسطه های بین مراکز جمع آوری و توزیع مجدد هستند، نیز بطور خاص مهمتر خواهد بود (دکر و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۴: ۶۶). در لجستیک

در سال های اخیر، حمل و نقل شهری در نتیجه محبوبیت و استفاده عمومی از حمل و نقل خصوصی در سراسر جهان، پیچیده تر و شلوغ تر شده است. این امر منجر به ازدحام شدید ترافیک در ساعات اوج مصرف شده است و اهمیت یک سیستم مدیریت با عملکرد خوب را به منظور جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه ای و اتلاف زمان برجسته می کند (نامباجماریا و وانگ<sup>۱</sup>، ۲۰۲۱: ۱۱۳). از سویی دیگر صنعت اتومبیل سازی یکی از صنایع با تقاضای بالا در دنیا می باشد. این صنعت مدتهاست که از رویکرد هنری فورد مبتنی بر اقتصاد ی سازی، استاندارد سازی و نوآوری محصول پیروی نموده و بسیار پیشرفت کرده است. امروزه خودروها اکثرا به صورت تولید انبوه بوده و به صورت سالیانه یا نیمه سالانه دارای تجدیدات جزئی و حتی کلی و معرفی مدل های جدید هر چند سال یکبار می باشد. وسایل الکترونیکی ساده در خودروها جای خود را به سیستم های فراگیر در خودروها داده اند تا راحتی، کنترل و ایمنی خودروها را ارتقاء دهد که همه اینها نیاز به ادغام دقیق در خودروی تولید شده دارد. به همین ترتیب تغییرات اساسی در پیشرفته، از سوخت های فسیلی به الکتریکی (و هیبریدهای موجود در این بین)، پیچیدگی محصول را بیشتر می کند. همه این چالش ها با توجه به نیاز به تنوع و سفارشی سازی برای برآورده کردن تنظیمات مشتری منحصر به فرد، تشدید می شوند (دلیک و آیرز، ۲۰۲۰: ۲). این مسائل موجب افزایش نیاز به بازیافت و دفع وسایل نقلیه در سطح جهانی شده است. وسیله نقلیه عمدتاً از قطعات فلزی تشکیل شده است و متأسفانه بقیه وسایل بازیافتی خودرو به طور نامحدود به محیط زیست منتقل می شود. بدین ترتیب؛ مدیریت بازیافت خودروها نه تنها به علت عوامل اقتصادی بلکه اثرات زیست محیطی نیز حیاتی می شود. استراتژی های صنعت خودرو توسط دولت تنظیم می شوند (اوزسیلان و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۷: ۷۲۷). میانگین بازیافت در کشورهای اروپایی در سال ۲۰۱۷ به این ترتیب است که ۸۹ درصد از خودروهای از رده خارج شده به به پروسه بازیافت سپرده شده است. در همین راستا بالاترین درصد بازیافت خودرو با ۹۲ درصد به بریتانیا اختصاص دارد و در جایگاه بعدی کشور فرانسه قرار دارد این آمار بیان می کند که مواد اولیه ۵،۳ میلیون خودرو معادل (برابر با ۵،۷ میلیون تن مواد اولیه) از راه بازیافت به چرخه استفاده بازگشته است. در همین راستا شبکه های زنجیره تامین

معکوس ورودی ها (محصولات مصرف شده) برخلاف لجستیک مستقیم از عدم قطعیت برخوردارند لذا مدیریت آنها بسیار دشوارتر خواهد بود. تنظیم عرضه و تقاضا یکی از چالشهای اصلی در لجستیک معکوس است. همچنین پایداری یکی از دیگر از موارد مهمی است که با توجه با تنوع حجم و ترکیب جریان باید مورد توجه قرار گیرد (فلیشمن و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۰۱: ۱۵۷). موضوع مهم دیگر در خصوص زنجیره تامین حلقه بسته ایجاد هم افزایی بین جریانهای مختلف محصولات است. شبکه های سنتی لجستیک مانند یک خیابان یکطرفه بودند، در حالی که در زنجیره های حلقه بسته جریان های چندگانه داخلی و خارجی یکدیگر را قطع میکنند. در این وضعیت استفاده از پتانسیل یکپارچه سازی جریان ها، منبع مهم برای صرفه جویی در مقیاس است. برای مثال یکپارچه سازی جریان مستقیم و معکوس موجب کاهش هزینه های بالاسری و سرجمع هزینه ها می شود. حال با توجه به مطالب بیان شده در بالا در این تحقیق به دنبال طراحی مدل چند هدفه فازی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته در صنعت خودرو با رویکرد مدیریت شهری و با توجه به طرح های بازده انرژی و زمان می باشیم. زنجیره تامین، زنجیره ای که ترکیبی از فرآیندها با هدف پاسخگویی به درخواستهای مشتری و شامل همه نهادهای شبکه ای نظیر تامین کنندگان، تولیدکنندگان، حمل و نقل، انبارها، خرده فروشان و مشتریان است که هدف اصلی آنها ایجاد رضایت مشتری با حداقل هزینه است (باربوسا پووا و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۱۸: ۲). در واقع رقابت شدید در بازارهای جهانی امروز، افزایش انتظارات مشتری و پیشرفت سریع فناوری اطلاعات منجر به کوتاه شدن چرخه عمر محصول، افزایش ظرفیت حمل و نقل و رفتارهای پویا مشتریان از نظر انتخاب و تقاضا شده است. این امر شرکت های تجاری را مجبور به سرمایه گذاری در زنجیره های تامین خود کرده و موجب تکامل مداوم تکنیکها برای مدیریت آنها به طور موثر شده است (جبارزاده و همکاران<sup>۹</sup>، ۲۰۱۸: ۱۷۸). برنامه ریزی تولید در حوزه ترکیبی، شامل فعالیت های تولید محصول جدید و تولید مجدد<sup>۱۰</sup> از مسائل مورد توجه در حوزه زنجیره تامین است که هدف از آن استفاده بهینه از منابع تولید به منظور تولید محصولات و کالاها با توجه به تقاضای بازار در طول افق برنامه ریزی است (ترکمن و فاطمی، ۱۳۹۵: ۲۳۹). لجستیک معکوس شامل فعالیت های جمع آوری و بازیابی محصولات بازگشتی است (جبارزاده و همکاران<sup>۱۱</sup>، ۲۰۱۸: ۱۷۸). لجستیک

معکوس به تمام فعالیت های لجستیکی در امر جمع آوری و رسیدگی به کالاهای مصرفی دست دوم، قطعات، کالا یا مواد به منظور تضمین کیفیت مطلوب اشاره می کند. جدول ۱ تعاریف مختلفی از لجستیک معکوس است (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۵: ۲۸). تمرکز لجستیک معکوس بر برنامه ریزی و کنترل جریان از نقطه مصرف تا نقطه مبدأ به سمت جمع آوری و احیاء است (کرباسیان و همکاران، ۱۳۹۵: ۳). فعالیت های لجستیک معکوس در مدیریت زنجیره تامین به طور کلی به دو بخش تقسیم می شوند: یک دسته متمرکز بر زنجیره برگشت هستند (شبکه بازیافت) و دسته دیگر زنجیره برگشت را به طور یکپارچه با زنجیره مستقیم در نظر می گیرند (شبکه حلقه بسته) (فلاح و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۰۲). عوامل محرک شرکتها برای برنامه ریزی، اجرا و کنترل لجستیک معکوس را می توان در سه دسته اصلی الزامات قانونی، حساسیت های محیط زیستی و سودآوری اقتصادی گنجانند. در حقیقت، نگرانی ها نسبت به عوامل زیست محیطی و اجتماعی موجب توجه ویژه کشورها به لجستیک معکوس برای استفاده مجدد از کالاهای مصرف شده و جلوگیری از آسیب رسانی آنها به محیط زیست شده است؛ به گونه ای که در بسیاری از کشورها قوانین الزام آور برای جمع آوری محصولات اسقاطی و برگشتی وضع گردیده است. از سوی دیگر، منافع اقتصادی و سود حاصل از استفاده مجدد از کالاهای مصرف شده نیز موجب استقبال شرکتها از ایجاد و مدیریت شبکه های لجستیک معکوس گشته است (محمدنژاد و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۰۲). جبارزاده و همکاران<sup>۱۲</sup> (۲۰۱۸) در مقاله ای با عنوان "طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته تحت ریسک های توزیع"<sup>۱۳</sup> یک رویکرد قوی با برنامه دنیای واقعی<sup>۱۴</sup> بیان می کنند که زنجیره تامین در شرایط امروز جهانی و شرایط بسیار نامطلوب کسب و کار آسیب پذیرتر شده است. در این مقاله یک مدل بهینه سازی تصادفی ساده برای طراحی یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته ارائه شده است که به طور انعطاف پذیر در مواجهه با اختلالات عمل می کند. در مدل پیشنهادی، حمل و نقل افقی را به عنوان یک استراتژی واکنشی برای مقابله با خطرات عملیاتی و توزیع به کار برد. هدف این است که تصمیمات محل تسهیلات و مقادیر جانبی حمل و نقل، که کل هزینه های زنجیره تامین را تشکیل می دهند در سراسر سناریو های توزیع مختلف به حداقل برسانند. الگوریتم آزادسازی<sup>۱۴</sup> لاگرانژی برای حل مدل به طور موثر طراحی شده است. بینش

می‌دهد کارایی بهینه سازی استوار نسبت به بهینه سازی تصادفی دو مرحله ای در شرایط عدم قطعیت بهتر است. بر اساس مرور ادبیات مدل سازی و حل مسائل زنجیره تامین به صورت حلقه بسته، چند دوره ای و چند محصول در مقیاس وسیع ملاحظه می‌شود. در این تحقیق، یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته فازی برای طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته ارائه شده است. برای حل این نوع مدل، ابتدا باید آن را با استفاده از روش رتبه بندی اعداد فازی به یک مدل قطعی تبدیل نمود. مدل ارائه شده در این تحقیق، چند محصولی و چند رده ای می‌باشد که همزمان، هزینه های حمل و نقل و احداث تسهیلات را در بر می‌گیرد. از سویی دیگر فشار مقررات دولتی برای اخذ استانداردهای زیست محیطی از یک طرف و رشد فزاینده تقاضای مشتریان برای عرضه محصولات بدون اثر مخرب بر محیط زیست مفهوم زنجیره تامین سبز و مدیریت آن را پدیدار ساخت. امروزه مدیران زنجیره تامین در شرکت های پیشرو از طریق ایجاد مطلوبیت و رضایت مندی از منظر زیست محیطی در سراسر زنجیره تامین می‌کوشند تا از لجستیک سبز و بهبود عملکرد محیطی خود در کل زنجیره تامین به عنوان یک سلاح استراتژیک جهت کسب مزیت رقابتی پایدار سود ببرند و اهداف خود را براساس سه موضوع مهم: طراحی سبز(محصول)، تولید سبز (فرآیند) و بازیافت محصول، پایه‌گذاری می‌کنند. بنابراین با توجه به هدف تحقیق که طراحی مدل چند هدفه فازی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته در صنعت خودرو با توجه به طرح های بازده انرژی و زمان می‌باشد، سعی می‌گردد تا زنجیره تامین حلقه بسته در صنعت خودرو مدل سازی شود. همچنین مدل مورد نظر در این تحقیق با در نظر گرفتن کمینه سازی هزینه ها(هزینه های استقرار تسهیلات و هزینه های حمل و نقل)، حداقل سازی انرژی در طول مسیر و همچنین در نظر گرفتن عدم قطعیت در تقاضای محصولات برگشتی، از نوع مسائل NP-Hard است که در آن، زمان حل مسأله به صورت نمایی و با توجه به ابعاد مسأله افزایش می‌یابد. در مجموع می‌توان جنبه نوآوری این تحقیق را می‌توان در ارائه مدلی چند هدفه با توجه به رویکرد بهینه سازی هزینه، انرژی در صنایع مورد بررسی و با رویکرد شهری دانست. در این تحقیق محققان از دو جهت متمایز بهینه سازی هزینه و انرژی در صنایع خودروسازی به بررسی مسئله می‌پردازند در حالی که معمولاً بیشتر تحقیقات به بررسی حداکثرسازی سود می‌پردازند. حال سؤال اصلی

های مدیریتی مهم از اجرای مدل در یک مطالعه موردی صنعت شیشه به دست می‌آید. استراتژی حمل و نقل افقی می‌تواند به طور قابل توجهی هزینه کل زنجیره تامین را کاهش دهد. علاوه بر این، صرفه جویی قابل توجهی در هزینه را می‌توان با برنامه ریزی برای توزیع در طراحی شبکه های زنجیره تامین بدست آورد. از سویی دیگر در تحقیقات قبلی، حل مسائل زنجیره های تامین حلقه بسته به روش های مختلفی انجام شده است. اکثر راه حل های پیشنهادی راه حل های قطعی با استفاده از نرم افزارهای مدل سازی ریاضی مانند Lingo و GAMS می‌باشند. مسائل مدل شده با این نرم افزارها به طور کلی دارای سطوح حل کمتری می‌باشند (سلیمانی و همکاران، السید و همکاران<sup>۱۵</sup> (۲۰۱۰) از CPLEX برای حل مدل پیشنهادی خود در مقیاس های کوچکتر استفاده کردند. وانگ، لو و ژانگ<sup>۱۶</sup> (۲۰۱۳) از GAMS برای حل مسئله یک محصول واحد، مدل یک دوره ای خود استفاده کردند. رضایی و همکاران<sup>۱۷</sup> (۲۰۱۳) از یک راه حل قطعی برای حل مدل چند محصول تک دوره ای خود استفاده کردند. سلیمانی و همکاران (۲۰۱۳) از CPLEX برای ارائه یک راه حل قوی برای مقیاس های کوچکتر و الگوریتم ابتکاری و ژنتیکی برای مشکلات در مقیاس های بزرگتر استفاده کرد. سلیمانی و کانن<sup>۱۸</sup> (۲۰۱۵) یک الگوریتم ژنتیک ازدحام ذرات ترکیبی را برای حل مدل‌های در مقیاس بزرگتر پیشنهاد کردند، که دقت آنها از هر دو الگوریتم متشکل از دقت بالاتری برخوردار بود. دیابت و تئودورو<sup>۱۹</sup> (۲۰۱۵) و السالم، دیابت، دلالة و ال رفایی<sup>۲۰</sup> (۲۰۱۶) یک شبکه زنجیره تامین مجدد را ایجاد کردند که مدل آنها را که یک مدل غیر خطی بود را به یک خطی تبدیل نمود. آنها از مدل برنامه نویسی خطی مشابه برای شبکه پیشنهادی خود استفاده کردند. بهزادی و یوسف (۱۳۹۷) (در مقاله ای با عنوان "رویکردهای بهینه سازی تصادفی دو مرحله ای و استوار در شبکه زنجیره تامین حلقه بسته در شرایط عدم قطعیت" بیان می‌کنند که شبکه زنجیره تامین حلقه بسته شامل تامین کننده خارجی، مراکز تولید/بازیابی، مراکز ترکیبی توزیع/جمع آوری، مراکز دفع و مشتریان در نظر گرفته شده است. در این مقاله محققان فرض نموده اند که پارامترهای تقاضا، کمیت و کیفیت محصولات برگشتی و هزینه های متغیر دارای عدم قطعیت اند. برای ارزیابی عدم قطعیت پارامترها از دو رویکرد بهینه سازی تصادفی دو مرحله ای و بهینه سازی استوار استفاده شده است. نتایج نشان

این تحقیق را می‌توان بدین صورت عنوان نمود که مدل چند هدفه فازی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته در صنعت خودرو با رویکرد مدیریت شهری به چه صورت می‌باشد؟ و حل این مدل به صورت قطعی با حل آن با الگوریتم‌های فراابتکاری چه تفاوتی داشته و چه نتایجی را نشان می‌دهد؟

### روش پژوهش

در این بخش مدل برنامه ریزی خطی تهیه شده برای مسئله در نظر گرفته شده تعریف می‌گردد. یک زنجیره تامین حلقه بسته را با دو بخش فرض کنید: زنجیره رو به جلو و زنجیره معکوس. زنجیره رو به جلو برای خرید زیر مجموعه‌های یک اتومبیل، مونتاژ آنها در تولید کنندگان و تحویل آنها به خوشه‌های کاربر استفاده می‌شود، در حالی که از زنجیره معکوس برای جمع‌آوری، برچیدن، خرد کردن، دفن زباله و بازیافت زیر مجموعه‌ها یا محصولات استفاده می‌شود. همان گونه که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، این شبکه به عنوان یک زنجیره تامین سه لایه معمولی رو به جلو ساخته شده است، یعنی: (۱) تامین کننده، (۲) تولید کننده و (۳) توزیع کنندگان و مشتریان (کلی و خرد). به طور مشابه، یک ساختار سه لایه برای زنجیره معکوس در نظر گرفته شده است، از جمله: (۱) مراکز تحویل خودرو، (۲) مراکز بازیابی، (۳) مراکز امحاء و بازیافت. (اسریواسراوا<sup>۱</sup>، ۲۰۰۸): معمولاً فرآیند زنجیره تامین معکوس با مراجعه مشتری به مراکز تحویل خودرو فرسوده آغاز می‌شود. در اولین زنجیره حلقه معکوس، محصولات از مشتریان در مراکز تحویل، جمع‌آوری می‌شود. پس از معاینه اولیه، وسایل قابل تعمیر به تاسیسات تعمیر مراکز بازیابی منتقل می‌شوند و موارد نقص به مراکز امحاء انتقال می‌یابد. در مراکز بازیابی، براساس نوع و کیفیت محصول بازیافتی، تصمیم مناسب گرفته می‌شود و موارد بازیافتی، طبقه بندی می‌شوند. براساس تصمیم بهبودی، محصولات بازیافتی به سه محل تاسیسات تولیدی، مراکز امحاء و تامین کنندگان منتقل می‌شود. برخی از محصولات در این مرحله با توجه به غیر قابل بازیافت بودن به بخش امحاء منتقل می‌گردد. از سویی دیگر، از آنجا که برخی از محصولات بازیافتی قادر به قرارگرفتن در زنجیره تولید مجدد توسط تولیدکننده نیستند، اجزای کاملاً سالم به تامین کنندگان ارجاء داده می‌شود. بخش‌هایی عملیات ترمیم و تجدید در چرخه لجستیک حلقه معکوس، مونتاژ قطعات با کالای جدید تولیدی (برابر با

استانداردهای محصولات جدید) می‌باشد. این محصولات بازیابی شده پس از بررسی‌های کنترل کیفیت و فرآیندهای بسته بندی، تقاضا مراکز توزیع را تامین می‌کنند و با تخفیف قیمت به مشتریان فروخته می‌شوند. در ادامه به بررسی مفروضات تحقیق و ارائه توابع ریاضی تحقیق می‌پردازیم.

### مفروضات

در سطح اول این زنجیره، مواد اولیه لازم برای تولید در کارخانه‌ها توسط مراکز جمع‌آوری با استفاده از اجزای بازیافت شده تامین می‌شود. در صورت تامین قطعات توسط مراکز بازیافت، کارخانه‌ها می‌توانند کالاهای مورد نیاز خود را از تامین کنندگان خارجی تهیه کنند. شبکه رو به جلو شامل تعدادی تامین کننده است که اجزای جدید مختلفی مانند فلز آهنی، لاستیک، قطعات اولیه و باتری را در اختیار تولید کنندگان / توزیع کنندگان قرار می‌دهد که در آنها به محصولات نهایی (وسایل نقلیه جدید) تبدیل می‌شوند. وسایل نقلیه جدید سپس در خوشه‌های کاربر توزیع می‌شوند. شبکه تدارکاتی معکوس از وسایل نقلیه برگشتی با دریافت وسایل نقلیه از خوشه‌های کاربر در مراکز جمع‌آوری آغاز می‌شود. مالکان باید وسیله نقلیه خود را به یکی از مراکز جمع‌آوری و یا بازیابی برگردانند. قدم بعدی حمل و نقل وسایل نقلیه برگشتی به محل‌های امحاء یا بازیابی می‌باشد. وسایل نقلیه استفاده شده نیز می‌توانند بطور مستقیم به مراکز تخلیه کننده منتقل شوند و از مراکز جمع‌آوری عبور کنند. در مراکز بازیابی، مایعات تخلیه شده و عملیات جداسازی قطعات انجام می‌شود. سوخت، روغن موتور، روغن گیربکس، روغن هیدرولیک، خنک کننده، مایع تهویه هوا، مایع ترمز و مایع فرمان از وسایل نقلیه پایان عمر تخلیه می‌شود. در حالی که برخی از اجزاء برای بازیافت‌ها ارسال می‌شوند اجزای باقیمانده به خردکن‌ها ارسال می‌شود. علاوه بر این، قطعات قابل استفاده مجدد از قبیل موتور، دیفرانسیل، گیربکس، پنل‌های بدنه (به عنوان مثال، هود، درها و ضربه گیرها) و چرخ‌ها پس از انجام عملیات بازسازی دوباره به صورت دست دوم به خوشه‌های کاربر فروخته می‌شوند. پس از خرد شدن، فلزات آهنی و غیر آهنی (آلومینیوم، مس، روی، سرب) به دست می‌آید. این مواد همچنین برای بازیافت‌ها ارسال می‌شوند.

جدول ۱: معرفی مجموعه‌ها و اندیس‌ها

نماد	تعریف
S	مجموعه نقاط ثابت برای مراکز تامین کنندگان $s \in S$
P	مجموعه نقاط ثابت برای مراکز تولید کنندگان $p \in P$
P'	مجموعه نقاط ثابت برای ایجاد مراکز انبارها $p' \in P'$
W	تعداد احتمالی مشتریان (خرده فروشان) $w \in W$
D	مجموعه نقاط بالقوه برای مراکز توزیع $d \in D$
J	مجموعه نقاط بالقوه برای ایجاد مراکز جمع آوری $j \in J$
R	مجموعه نقاط بالقوه برای ایجاد مراکز بازیابی کلی $r \in R$
N	مجموعه نقاط بالقوه برای ایجاد مراکز امحاء $n \in N$
T	دوره (t)
U	تعداد محصول (u)

جدول ۲: پارامترهای مدل

نماد	تعریف
$C_{sp}^u$	هزینه حمل و نقل محصول "u" از تامین کننده s به مراکز تولید کنندگان p
$C_{pp'}^u$	هزینه حمل و نقل محصول "u" از مراکز تولید کنندگان p به انبار p'
$C_{p'd}^u$	هزینه حمل و نقل محصول "u" از انبار p' به توزیع کنندگان d
$C_{dw}^u$	هزینه حمل و نقل محصول "u" از توزیع کنندگان d به مشتری w
$C_{wj}^u$	هزینه حمل و نقل محصول بازیافتی "u" از مشتری w به مرکز جمع آوری خودرو فرسوده j
$C_{jr}^u$	هزینه حمل و نقل محصول بازیافتی "u" از مرکز جمع آوری خودرو فرسوده j به مراکز بازیافتی r
$C_{rn}^u$	هزینه حمل و نقل محصول بازیافتی "u" از مراکز بازیافتی r به مرکز امحاء n
$C_{rp}^u$	هزینه حمل و نقل محصول بازیافتی "u" از مراکز بازیافتی r به مرکز تولید p
$di_{sp}$	فاصله از تامین کننده s به مراکز تولید کنندگان p
$di_{pp'}$	فاصله از تولید کننده p به انبار p'
$di_{p'd}$	فاصله از انبار p' به توزیع کنندگان d
$di_{dw}$	فاصله از توزیع کنندگان d به مشتری w
$di_{wj}$	فاصله از مشتری w به مرکز جمع آوری خودرو فرسوده j
$di_{jr}$	فاصله از مرکز جمع آوری خودرو فرسوده j به مراکز بازیافتی r
$di_{rn}$	فاصله از مراکز بازیافتی r به مرکز امحاء n
$di_{rp}$	فاصله از مراکز بازیافتی r به مرکز تولید p
$cr_{pt}^u$	هزینه مونتاژ محصول بازگشتی از مراکز بازیافت r به مرکز تولید p در دوره t
$re_{rnt}^u$	نرخ بازگشتی محصول u از مراکز بازیافت r به مرکز انهدام در محل n در دوره t
$re_{rst}^u$	نرخ بازگشتی محصول u از مراکز بازیافت r به تامین کنندگان s در دوره t
$re_{rat}^u$	نرخ بازگشتی محصول u از مراکز بازیافت r به توزیع کننده d
$re_{rpt}^u$	نرخ بازگشتی محصول u از مراکز بازیافت r به تولید کنندگان p
$An_n$	ظرفیت مرکز امحاء در امحاء محصول
$pc_s^u$	ظرفیت ارسال توزیع کنندگان s
$pc_p^u$	ظرفیت تولید محصول u در مرکز تولید p
$f_d^u$	هزینه ثابت احداث مرکز توزیع در محل d
$f_j^u$	هزینه احداث مرکز جمع آوری و احیا در محل j
$f_r^u$	هزینه احداث مرکز بازیافت در محل r
$f_n^u$	هزینه احداث مرکز دفن و انهدام در محل n
$H_{pt}^u$	هزینه نگهداری محصول "u" در هر واحد در انبار p' در دوره t
$DH_{dt}^u$	هزینه نگهداری محصول "u" برای هر واحد در توزیع کننده d در دوره t
$Ca_{dwt}^u$	هزینه دیرکرد تحویل خودرو از توزیع کننده d به مشتری w در زمان t
$\vartheta_w^u$	میزان تقاضای محصول u توسط مشتری w
$re_w^u$	نرخ برگشتی محصول u از مشتری w

جدول ۵: متغیرهای تحقیق

نماد	تعریف
$x_{sp}^u$	مقدار جریان محصول u از تامین کننده s به مراکز تولید کنندگان p
$x_{pp'}^u$	مقدار جریان محصول u از مراکز تولید کنندگان p به انبار p'
$x_{p'd}^u$	مقدار جریان محصول u از انبار p' به توزیع کننده d
$x_{dw}^u$	مقدار جریان محصول u از توزیع کنندگان d به مشتری w
$x_{wj}^u$	مقدار جریان محصول u از مشتری w به مرکز جمع آوری خودرو فرسوده j
$x_{jr}^u$	مقدار جریان محصول u از مرکز جمع آوری خودرو فرسوده j به مراکز بازیافتی r
$x_{rn}^u$	مقدار جریان محصول u از مرکز بازیافتی r به مرکز امحاء n
$x_{rp}^u$	مقدار جریان محصول u از مرکز بازیافتی r به تولید کننده p
$x_{rs}^u$	مقدار جریان محصول u از مرکز بازیافتی r به تامین کننده s
$V_d^u$	اگر مرکز توزیع در مکان d باشد = ۱، در غیر اینصورت = ۰
$V_j^u$	اگر مرکز توزیع در مکان j باشد = ۱، در غیر اینصورت = ۰
$V_r^u$	اگر مرکز توزیع در مکان r باشد = ۱، در غیر اینصورت = ۰
$V_n^u$	اگر مرکز توزیع در مکان n باشد = ۱، در غیر اینصورت = ۰
$W_{p't}^u$	مقدار موجودی محصول u در انبار p' در زمان t
$W_{dt}^u$	مقدار موجودی محصول u در توزیع کننده d در زمان t
$D_{dw}^u$	مقدار محصولی u از توزیع کننده d که به مشتری w تحویل داده نشده
$Q_{rp}^u$	مقدار محصول بازیافتی u از مراکز بازیافت r به تولید کننده p

رابطه (۳)

Assembly =  $\sum_{t \in T} \sum_{u \in U} \sum_{r \in R} \sum_{p \in P} Q_{rp}^u C_{rpt}^u$   
 تابع هزینه امحاء قطعات بازیافتی (Annihilation)  
 تعریف گردید. که این قطعات می‌تواند از دو بخش مراکز بازیافتی و مراکز تحویل خودرو فرسوده به مرکز امحاء وارد گردد.

رابطه (۴)

Annihilation =  $\sum_{w \in W} \sum_{u \in U} \sum_{t \in T} W_{p't}^u H_{p't}^u + \sum_{d \in D} \sum_{u \in U} \sum_{t \in T} W_{dt}^u D_{dt}^u$   
 و در آخر تابع جریمه هزینه دیرکرد محصول به مشتری (Penalty) در زنجیره لجستیکی می‌باشد. این تابع به صورت زیر تعریف می‌گردد:

رابطه (۵)

Penalty =  $\sum_{t \in T} \sum_{u \in U} \sum_{d \in D} \sum_{w \in W} C_{dwt}^u D_{dw}^u$

در مجموع تابع هدف اولیه که هدف آن حداقل سازی هزینه‌ها می‌باشد به صورت کلی به صورت زیر تعریف می‌گردد:

رابطه (۶)

min Z =  $\sum_{u \in U} \sum_{d \in D} f_d^u V_d^u + \sum_{u \in U} \sum_{j \in J} f_j^u V_j^u + \sum_{u \in U} \sum_{r \in R} f_r^u V_r^u + \sum_{u \in U} \sum_{n \in N} f_n^u V_n^u + \sum_{t \in T} \sum_{u \in U} \sum_{s \in S} \sum_{p \in P} x_{sp}^u di_{sp} C_{spt}^u + \sum_{t \in T} \sum_{u \in U} \sum_{p \in P} \sum_{p' \in P'} x_{pp'}^u di_{pp'} C_{pp't}^u + \sum_{t \in T} \sum_{u \in U} \sum_{p' \in P'} \sum_{d \in D} x_{p'd}^u di_{p'd} C_{p'dt}^u + \sum_{t \in T} \sum_{u \in U} \sum_{d \in D} \sum_{w \in W} x_{dw}^u di_{dw} C_{dwt}^u +$

هدف تابع هدف اول تحقیق حاضر حداقل نمودن

هزینه‌ها می‌باشد. در ادامه به بررسی هر یک از هزینه‌ها می‌پردازیم. هزینه احداث به صورت تابع هدف (Construction) تعریف گردید که برابر است با:

رابطه (۱)

Construction =  $\sum_{u \in U} \sum_{d \in D} f_d^u V_d^u + \sum_{u \in U} \sum_{j \in J} f_j^u V_j^u + \sum_{u \in U} \sum_{r \in R} f_r^u V_r^u + \sum_{u \in U} \sum_{n \in N} f_n^u V_n^u$

هزینه حمل و نقل محصولات نیز در طول زنجیره حلقه (Transportation معکوس به صورت تابع) گردید که عبارت است:

رابطه (۲)

Transportation =  $\sum_{t \in T} \sum_{u \in U} \sum_{s \in S} \sum_{p \in P} x_{sp}^u di_{sp} C_{spt}^u + \sum_{t \in T} \sum_{u \in U} \sum_{p \in P} \sum_{p' \in P'} x_{pp'}^u di_{pp'} C_{pp't}^u + \sum_{t \in T} \sum_{u \in U} \sum_{p' \in P'} \sum_{d \in D} x_{p'd}^u di_{p'd} C_{p'dt}^u + \sum_{t \in T} \sum_{u \in U} \sum_{d \in D} \sum_{w \in W} x_{dw}^u di_{dw} C_{dwt}^u + \sum_{t \in T} \sum_{u \in U} \sum_{w \in W} \sum_{j \in J} x_{wj}^u di_{wj} C_{wjt}^u + \sum_{t \in T} \sum_{u \in U} \sum_{j \in J} \sum_{r \in R} x_{jr}^u di_{jr} C_{jrt}^u + \sum_{t \in T} \sum_{u \in U} \sum_{r \in R} \sum_{n \in N} x_{rn}^u di_{rn} C_{rnt}^u + \sum_{t \in T} \sum_{u \in U} \sum_{r \in R} \sum_{p \in P} x_{rp}^u di_{rp} C_{rpt}^u + \sum_{t \in T} \sum_{u \in U} \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} x_{rs}^u di_{rs} C_{rst}^u + \sum_{t \in T} \sum_{u \in U} \sum_{r \in R} \sum_{d \in D} x_{rd}^u di_{rd} C_{rdt}^u$

سپس تابع هزینه‌های مونتاژ قطعات (Assembly)

برگشت داده شده به سیستم مورد بررسی قرار گرفت.

میان تامین کننده و کارخانه و در حلقه معکوس میان مراکز بازیابی و کارخانه ( $E_{remanf}$ ) و میان مراکز بازیابی و تامین کنندگان ( $E_{resup}$ ) مطرح نمود. در واقع از آنجایی که بیشتر انتشارهای ناشی از گازهای گلخانه ای در بخش های حمل و نقل و انبارداری رخ می دهد، اهمیت زیادی دارد که اثرات گلخانه ای را در مدل های زنجیره تامین/تدارکات ارائه شده برای کاهش یا کنترل زیان های محیطی حاصل از این شرکتها در نظر بگیریم. تأثیر گرمای جهانی این سیستم نتیجهی انتشارات گازهای گلخانه ای از طریق جابجایی قطعات بین کارخانهها و انبارها، و بین انبارها و خرده فروشان، و انتشارات گازهای گلخانه ای مربوط به انبار کردن محصولات می باشد. فرض کنید  $eCO_{2p'pu}$  میانگین انتشارات دی اکسید کربن مربوط به جابجایی یک جزء از محصول  $u$  بین کارخانه  $p$  و انبار  $p'$  باشد و  $eHFC_{p'pu}$  میانگین نشت گاز  $HFC$  به ازای هر واحد از محصول  $u$  بین کارخانه  $p$  و انبار  $p'$  است. تأثیر گرمای جهانی ترکیب شده از هر دو گاز منتشر شده با استفاده از اصل تعادل بین انتشار یک جزء از  $HFC$  و واحد  $GWP_{HFC}$  از دی اکسید کربن اندازه گیری می شود که  $GWP_{HFC}$  پتانسیل گرمایش جهانی  $HFC$  است که بیشتر شرح داده شد. بنابراین،  $e_{p'pu}$  میزان دی اکسید کربن معادل گازهای گلخانه ای ساطع شده برای جابجایی یک جزء بین یک کارخانه و یک انبار به این صورت محاسبه می گردد:

رابطه (۹)

$$eCO_{2p'pu} = GWP_{HFC} \cdot eHFC_{p'pu} + eCO_{2p'pu}$$

لازم به توضیح می باشد که بر اساس تست های انجام شده، نمودار تغییرات میانگین  $CO_2$  خروجی از اگزوز خودروها در سال های ۹۵ و ۹۶ روند کاهشی داشته و از عدد ۱۸۹،۲۵ گرم بر کیلومتر ( $gr/km$ ) در سال ۹۵ به ۱۸۵،۹ گرم بر کیلومتر رسیده است. در تابع نیز  $eCO_{2jkl}$  تابعی از مسافت در میزان انتشار گازهای گلخانه ای در نظر گرفته شده است. لازم به توضیح می باشد که ثابت سالیانه میزان انتشار گاز  $CO_2$  براساس آمارها  $10^6$  و  $HFC$   $10^7$  در نظر گرفته می شود. در ادامه به بررسی محدودیت های مدل می پردازیم. این محدودیتها عبارتند از:

رابطه (۱۰)

$$\sum_{u \in U} \sum_{d \in D} x_{dw}^u = \bar{\theta}_w^u \quad \forall w \in W$$

$$\begin{aligned} & \sum_{t \in T} \sum_{u \in U} \sum_{w \in W} \sum_{j \in J} x_{wj}^u di_{wj} C_{wjt}^u + \\ & \sum_{t \in T} \sum_{u \in U} \sum_{j \in J} \sum_{r \in R} x_{jr}^u di_{jr} C_{jrt}^u + \\ & \sum_{t \in T} \sum_{u \in U} \sum_{r \in R} \sum_{n \in N} x_{rn}^u di_{rn} C_{rnt}^u + \\ & \sum_{t \in T} \sum_{u \in U} \sum_{r \in R} \sum_{p \in P} x_{rp}^u di_{rp} C_{rpt}^u + \\ & \sum_{t \in T} \sum_{u \in U} \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} x_{rs}^u di_{rs} C_{rst}^u + \\ & \sum_{t \in T} \sum_{u \in U} \sum_{r \in R} \sum_{d \in D} x_{rd}^u di_{rd} C_{rdt}^u + \\ & \sum_{t \in T} \sum_{u \in U} \sum_{r \in R} \sum_{p \in P} Q_{rp}^u C_{rpt}^u + \\ & \sum_{w \in W} \sum_{u \in U} \sum_{t \in T} W_{pit}^u H_{pit}^u + \\ & \sum_{d \in D} \sum_{u \in U} \sum_{t \in T} W_{dt}^u DH_{dt}^u + \\ & \sum_{t \in T} \sum_{u \in U} \sum_{d \in D} \sum_{w \in W} Cd_{dw}^u D_{dw}^u \end{aligned}$$

در بررسی هدف ثانویه تحقیق می توان عنوان نمود که این تابع از ترکیب و توسعه دو مدل کادامبالا، سوبرامانین، تیواری، عبدالرحمن و لیو<sup>۲۲</sup> (۲۰۱۷) و سیف و الهلدی (۲۰۱۵) بدست آمده است. در این مدل، تلاش می گردد تا مصرف کل انرژی در طی هر چرخه تولید به حداقل برسد. دو فعالیت اصلی که بیشترین انرژی را در تولید محصول جدید مصرف می کنند شامل تولید اصلی و تولید مواد اولیه از سوی تامین کننده می باشد. به طور مشابه، در حلقه بازگشتی، انرژی تولیدی در حین تولید مجدد محصول در خط تولید و تولید اجزاء جدید بیشترین مصرف انرژی را می طلبد. از آنجا که تمامی محصولات بازگشتی قادر به بازیافت و استفاده از آنها در تولید مجدد نیستند، اجزای سالم قطعات بایستی شناسایی و مجدداً به چرخه ارسال شود. به عنوان مثال در مورد قطعات موتور ماشین های بازیافتی به طور معمول در محدوده ۵۰-۹۰٪ آن قابلیت بازیافت دارد. در این مدل "  $\kappa$  " نشان دهنده قابلیت بازیافت محصول توسط شرکت می باشد (محدوده ۵۰-۷۰٪). حال با توجه به مطالب بیان شده، کل انرژی مورد استفاده در ساخت و تولید مجدد به صورت زیر می باشد:

رابطه (۷)

$$Total\ Energy = T_{manf} + T_{remanf}$$

$$\begin{aligned} Total\ Energy = & (E_{sup} + E_{manf}) x_{p'd}^u + \\ & (E_{remanf}) x_{rp}^u + (1 \\ & - \kappa)(E_{resup}) x_{rs}^u \end{aligned}$$

بنابراین تابع دوم به صورت زیر می باشد:

رابطه (۸)

$$\begin{aligned} \min Z = & \sum_{u \in U} \sum_{p' \in P'} \sum_{d \in D} (E_{sup} + \\ & E_{manf}) x_{p'd}^u + \sum_{u \in U} \sum_{r \in R} \sum_{p \in P} (E_{remanf}) x_{rp}^u + \\ & \sum_{u \in U} \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} (1 - \kappa)(E_{resup}) x_{rs}^u \end{aligned}$$

در اینجا لازم به توضیح می باشد که منظور از  $E_{sup}$ ،  $E_{manf}$ ،  $E_{remanf}$  و  $E_{resup}$  را می توان معادل گازهای گلخانه ای ساطع شده برای جابجایی یک جزء بین یک کارخانه و یک انبار و یا توزیع کننده ( $E_{sup}$ )، ( $E_{manf}$ )،



رابطه (۱۱)

$$\sum_{u \in U} \sum_{d \in D} x_{wj}^u = re_w^u \quad \forall w \in W$$

دو رابطه ۱۰ و ۱۱ تضمین میکند که در جریان مستقیم به تمامی تقاضای مشتریان پاسخ داده می شود و در جریان برگشت تمامی کالاهای برگشتی از مراکز مشتریان جمع آوری شود.

رابطه (۱۲)

$$\sum_{u \in U} \sum_{w \in W} x_{wj}^u = \sum_{r \in R} x_{jr}^u \quad \forall j \in J$$

رابطه ۱۲ تضمین میکند که تمامی محصولات برگشتی پس از مرکز جمع آوری به مراکز بازیافت فرستاده می شوند.

رابطه (۱۳)

$$\sum_{u \in U} \sum_{d \in D} x_{rd}^u = re_{rd}^u \sum_{u \in U} \sum_{r \in R} x_{jr}^u \quad \forall r \in R$$

رابطه (۱۴)

$$\sum_{u \in U} \sum_{p \in P} x_{rp}^u = re_{rp}^u \sum_{u \in U} \sum_{r \in R} x_{jr}^u \quad \forall r \in R$$

رابطه (۱۵)

$$\sum_{u \in U} \sum_{s \in S} x_{fs}^u = re_{fs}^u \sum_{u \in U} \sum_{r \in R} x_{jr}^u \quad \forall r \in R$$

رابطه (۱۶)

$$\sum_{u \in U} \sum_{n \in N} x_{rn}^u = re_{rn}^u \sum_{u \in U} \sum_{r \in R} x_{jr}^u \quad \forall r \in R, \forall u \in U$$

رابطه (۱۷)

$$\sum_{u \in U} \sum_{p' \in P'} (x_{p'd}^u + Q_{p'd}^u) = \sum_{u \in U} \sum_{w \in W} x_{dw}^u - \sum_{u \in U} \sum_{r \in R} x_{rd}^u \quad \forall d \in D$$

رابطه (۱۸)

$$\sum_{u \in U} \sum_{s \in S} x_{sp}^u + \sum_{u \in U} \sum_{r \in R} x_{rp}^u = \sum_{u \in U} \sum_{d \in D} x_{pd}^u + \sum_{u \in U} \sum_{p' \in P'} x_{pp'}^u \quad \forall p \in P$$

رابطه (۱۹)

$$\sum_{u \in U} W_{p't}^u = \sum_{u \in U} \sum_{p' \in P'} x_{pp'}^u - \sum_{u \in U} \sum_{d \in D} x_{p'd}^u \quad \forall p \in P$$

رابطه (۲۰)

$$\sum_{u \in U} W_{dt}^u = \sum_{u \in U} \sum_{d \in PD} x_{p'd}^u - \sum_{u \in U} \sum_{w \in W} x_{dw}^u \quad \forall p' \in P'$$

رابطه ۱۳ تا ۲۰ مربوط به محدودیت های تعادل جریان در گرما می باشند.

رابطه (۲۱)

$$\sum_{u \in U} \sum_{d \in D} x_{p'd}^u \leq \sum_{u \in U} \sum_{p \in P} x_{pp'}^u \quad \forall p' \in P'$$

رابطه ۲۱ تضمین میکند میزان جریان خروجی از

انبار تولیدکنندگان کمتر از مجموع جریان ورودی به انبار تولیدکنندگان کمتر یا مساوی از مجموع جریان ورودی به انبار تولیدکنندگان می باشد.

رابطه (۲۲)

$$\sum_{u \in U} \sum_{p \in P} x_{sp}^u + \sum_{u \in U} \sum_{r \in R} x_{rs}^u \leq \sum_{u \in U} (cap_s^u + pc_s^u) \quad \forall s \in S$$

رابطه (۲۳)

$$\sum_{u \in U} \sum_{p \in P} x_{pp'}^u + \sum_{u \in U} \sum_{p \in P} x_{p'd}^u \leq cap_{p'} \quad \forall p' \in P'$$

رابطه (۲۴)

$$\sum_{u \in U} \sum_{w \in W} x_{dw}^u + \sum_{u \in U} \sum_{r \in R} x_{rd}^u \leq cap_d V_d \quad \forall d \in D$$

رابطه (۲۵)

$$\sum_{u \in U} \sum_{w \in W} x_{wj}^u \leq cap_j V_j \quad \forall j \in J$$

رابطه (۲۶)

$$\sum_{t \in T} \sum_{u \in U} \sum_{p \in P} x_{rp}^u re_{rpt}^u + \sum_{t \in T} \sum_{u \in U} \sum_{s \in S} x_{rs}^u re_{rst}^u + \sum_{t \in T} \sum_{u \in U} \sum_{n \in N} x_{rn}^u re_{rnt}^u + \sum_{t \in T} \sum_{u \in U} \sum_{d \in D} x_{rd}^u re_{rtd}^u \leq cap_r V_r \quad \forall r \in R$$

رابطه (۲۷)

$$\sum_{u \in U} \sum_{r \in R} x_{rp}^u \leq \sum_{u \in U} (cap_r + pc_p^u V_r) \quad \forall p \in P$$

$$\sum_{u \in U} \sum_{r \in R} x_{rn}^u \leq cap_n + \bar{A} \bar{n}_n V_n \quad \forall n \in N \quad \text{رابطه (۲۸)}$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{u \in U} W_{p't}^u \leq cap_{p'} \quad \forall p' \in P' \quad \text{رابطه (۲۹)}$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{u \in U} W_{dt}^u \leq cap_d \quad \forall d \in D \quad \text{رابطه (۳۰)}$$

رابطه ۲۲ تا ۳۰، تضمین می کند که جریان تنها بین نقاطی در جریان باشد که در آنها تسهیلی احداث شده باشد و همچنین مجموع جریان در هر تسهیل از ظرفیت آن تجاوز نکند.

$$\sum_{u \in U} V_d^u \leq 1 \quad \forall d \in D \quad \text{رابطه (۳۱)}$$

$$\sum_{u \in U} V_j^u \leq 1 \quad \forall j \in J \quad \text{رابطه (۳۲)}$$

$$\sum_{u \in U} V_r^u \leq 1 \quad \forall r \in R \quad \text{رابطه (۳۳)}$$

$$\sum_{u \in U} V_n^u \leq 1 \quad \forall n \in N \quad \text{رابطه (۳۴)}$$

رابطه ۳۱ تا ۳۴ تضمین می کند حداقل یکی از مراکز بالقوه فعال باشد.

رابطه ۳۵

$$re_{rtd}^u + re_{rpt}^u + re_{rst}^u + re_{rnt}^u = 1 \quad \forall u \in U$$

رابطه ۳۵ تضمین می‌کند که مجموع ضرایب محصولات برگشتی برابر 1 می‌باشد.

رابطه ۳۶

$$V_d, V_j, V_r, V_n \in \{0, 1\} \quad \forall d \in D, \forall j \in J, \forall r \in R, \forall n \in N$$

رابطه ۳۷

$$x_{sp}^u, x_{ppr}^u, x_{prd}^u, x_{dw}^u, x_{wj}^u, x_{jr}^u, x_{rn}^u, x_{rp}^u, x_{rs}^u, W_{prt}^u, W_{dt}^u \geq 0$$

در این مدل میزان تقاضای محصول  $u$  توسط مشتری  $w$  بوسیله  $\vartheta_w^u$  در دوره  $t$  نشان داده می‌شود. در این تحقیق همچنین با توجه به مشخص نبودن میزان هزینه احداث مراکز بازیافت و جمع‌آوری این دو مولفه یعنی هزینه احداث مرکز بازیافت در محل  $r$  ( $f_r^u$ ) نیز هزینه احداث مرکز جمع‌آوری و احیا در محل  $j$  ( $f_j^u$ ) به صورت فازی در نظر گرفته شده است.

### روش حل

در حل مسائل، رویکردهای مختلفی از جمله حل به روش دقیق (قطعی) و اکتشافی بکار برده می‌شود. در حل برخی از مسائل بسته به پیچیدگی و تعداد متغیرهای مسئله امکان حل، با استفاده از رویکردهای دقیق وجود ندارد. بنابراین به این رویکردها که در آن راه حل از طریق رویکردهای متعارف حاصل نمی‌شود، مسائل غیرقطعی گفته می‌شود. بدین معنی که می‌توان راه حل را حدس زد و اعتبار آن را تأیید نمود. این مسائل شامل مسائل NP-Complete و NP-Hard است. در حل این مسائل از برخی الگوریتم‌ها استفاده می‌شود که می‌توانند با اعتبار مناسب و بهینه‌سازی خروجی‌ها، نتایج قابل قبولی ارائه دهند. به الگوریتم‌ها، الگوریتم‌های فراابتکاری اطلاق می‌گردد (سلیمانی، گویندان، سقفی و جعفری<sup>۲۳</sup>، ۲۰۱۷: ۱۹۳). از آنجا که مسائل زنجیره تأمین حلقه بسته یک مشکل NP-Hard است، از روشهای متاهیروستیکی برای حل این مشکل استفاده می‌شود. در این تحقیق، حداقل نمودن هزینه‌ها و الزامات بهینه‌سازی مصرف انرژی اهداف متناقضی را ارائه می‌دهند. در این تحقیق از روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات<sup>۲۴</sup> برای سهولت اجرای آن و توانایی آن در تهیه همگرایی خوب و همچنین حفظ تعادل مناسب بین بهره‌برداری و اکتشاف و نیز الگوریتم ژنتیک چند هدفه<sup>۲۵</sup> استفاده می‌کنیم. در میان الگوریتم‌های تصادفی، الگوریتم ژنتیک از کارایی بالایی برخوردار بوده و کاربردهای فراوانی دارد. الگوریتم ژنتیک علاوه بر استفاده در مسائل طراحی، در موضوعات مختلفی از قبیل بهینه‌سازی توابع، بهینه‌سازی ترکیبی، یادگیری ماشین، پردازش تصمیم، تقسیم بندی سیستم‌ها، تعلیم شبکه‌های عصبی، سیستم‌های کنترل و غیره کارایی خود را نشان داده است (هپت و هپت<sup>۲۶</sup>، ۲۰۰۴). علاوه بر این از تکنیک بهینه‌سازی ازدحام ذرات استفاده می‌گردد. بهینه‌سازی ازدحام ذرات یک تکنیک بهینه‌سازی تصادفی قوی براساس حرکت و هوش

رابطه ۳۶ تا ۳۷ منطقی و بدیهی مربوط به متغیرهای تصمیم مسئله هستند.

در این مدل میزان تقاضای محصول به صورت فازی در نظر گرفته شده است. روش‌های مختلفی برای در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها از جمله اعمال منطق فازی پیشنهاد شده است. در مواردی که اطلاعات موجود مبهم است، می‌توان از نظریه مجموعه‌های فازی و برنامه‌ریزی ریاضی فازی برای مقابله با عدم قطعیت‌های واقعی دنیای واقعی استفاده کرد. عدم قطعیت در زنجیره تأمین در دهه اخیر به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است. در دنیای واقعی و در طی یک طراحی زنجیره تأمین، پارامترهای مختلفی روبرو هستند که نمی‌توان آنها را قطعی دانست. برای رسیدن به نتایج واقع بینانه تر، منطقی است که این عدم قطعیت‌ها را تا حد ممکن در خود بگنجانیم. برای دستیابی به تغییرات در سفارشات مشتری، درک الگوی تقاضا ضروری است. شاید مهمترین اصل در زنجیره تأمین تمرکز بر تقاضا باشد تا بتواند به درستی پاسخگوی آنها باشد. اگرچه پیش بینی تقاضای محصول توسط مشتری به طور کلی دقیق نیست، اما رضایت کامل تقاضای مشتری از ارزش فوق العاده‌ای برخوردار است (سلیمانی و همکاران، ۲۰۱۷: ۱۹۴). در این تحقیق، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته فازی برای طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته ارائه شده است. برای حل این نوع مدل، ابتدا باید آن را با استفاده از روش رتبه بندی اعداد فازی به یک مدل قطعی تبدیل نمود. فرض بر این است که ما تمام اطلاعات موجود در مورد تقاضای محصول را در یک دوره خاص در اختیار داریم. از آنجا که تأمین کامل تقاضای مشتری همیشه ممکن نیست، ما از منطق فازی برای به حداکثر رساندن تقاضای مشتری استفاده می‌کنیم. همچنین، حداکثر تقاضای تأمین شده مجاز براساس پیش بینی تقاضا محدود است.

$$\text{Min } Z_3 = \left[ \varpi \cdot \frac{Z_1 - Z_1^*}{Z_1^*} + (1 - \varpi) \cdot \frac{Z_2 - Z_2^*}{Z_2^*} \right]^p$$

که در آن  $0 \leq \varpi \leq 1$  وزن نسبی دو تابع هدف  $Z_1, Z_2$  است و ارجحیت تصمیم گیر را نسبت به دو تابع هدف مسئله نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن تابع هدف  $Z_3$  و محدودیت‌های مدل تصادفی گسترده شده اول، یک مسئله تک هدفه خطی بدست می‌آید که به راحتی با استفاده از نرم افزارهای حل مسائل برنامه‌ریزی ریاضی قابل حل است (میرزاپور، ملکی، آریان نژاد<sup>۲۷</sup>، ۲۰۱۱: ۱۳۵) و مقدار  $p$  مشخص کننده درجه تاکید بر انحرافات موجود است. همچنین الگوریتم‌های فراابتکاری بکار گرفته شده، در محیط نرم افزار متلب<sup>۲۸</sup> ویرایش R2016 توسط کامپیوتری با CPU Intel®Core™ i5 و RAM 4 GB برنامه‌نویسی شده‌اند. سپس به منظور آزمون کارایی الگوریتم‌های پیشنهادی، نتایج حاصل از حل به روش قطعی با نرم افزار گمز و نتایج حاصل از روش‌های فراابتکاری در مثال‌های اندازه کوچک با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

### یافته‌های پژوهش

به منظور بررسی مدل پیشنهادی، ده مسئله با ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ تعریف شده است که در جدول (۶) نشان داده شده است.

گروه‌ها می‌باشد. این الگوریتم بهینه سازی یک روش جستجوی ابتکاری دقیق و با هزینه محاسباتی کم است که مکانیزم آن از رفتارهای گروهی جمعیت‌های زیستی الهام می‌گیرد. در شبیه سازی بهینه سازی ازدحام ذرات، از یک جدول (مخزن) ثانویه خارجی به منظور ذخیره اطلاعات نماینده‌ها (ذرات) استفاده می‌شود تا هر ذره بتواند بعداً از این اطلاعات نهایت استفاده را بنماید. همچنین این الگوریتم مجهز به پارامتر جهش مخصوصی است که امکانات جستجوی بیشتر و بهتری را برای الگوریتم فراهم می‌سازد (سلیمانی، گویندان، سقفی و جعفری، ۲۰۱۷: ۱۹۳). از آنجا که مدل برنامه‌ریزی کلی چند هدفه تصادفی ارائه شده، یک مسئله دو هدفه عدد صحیح مختلط است و توابع هدف آن در تضاد با یکدیگر هستند، از روش برنامه‌ریزی توافقی که یکی از روش‌های شناخته شده در حوزه تصمیم گیری چندمعیاره برای حل مسائل با توابع هدف متضاد است، استفاده می‌شود. در مدل اول توابع هدف اول و دوم را به ترتیب  $Z_1, Z_2$  نامگذاری می‌کنیم و طبق توضیحات فوق مدل پیشنهادی باید به ازای هر دوی این توابع حل گردد. فرض کنید جواب بهینه بدست آمده برای این دو تابع به ترتیب  $Z_1^*, Z_2^*$  باشند، در این صورت، تابع هدف مسئله Lp-metrics که  $Z_3$  نام گذاری شده، بصورت زیر فرموله بندی می‌شود:

جدول ۶: مسائل نمونه ایجاد شده

شماره مسئله	تامین کنندگان	تولید/ انبار	توزیع کنندگان	مشتری	مراکز تحویل خودرو فرسوده	مراکز بازبایی	مراکز امحاء	تعداد دوره	محصول
۱	۱۰	۱	۵	۲۰	۱	۱	۱	۴	۱
۲	۱۲	۱	۱۵	۵۰	۵	۲	۲	۴	۲
۳	۱۵	۲	۲۰	۷۰	۱۰	۴	۲	۴	۲
۴	۱۸	۲	۳۰	۹۰	۱۵	۸	۳	۳	۵
۵	۲۴	۵	۵۰	۱۰۰	۲۰	۱۰	۴	۳	۵
۶	۲۷	۵	۵۲	۱۲۰	۲۲	۱۱	۴	۴	۸
۷	۳۰	۵	۵۵	۱۵۰	۲۵	۱۲	۵	۴	۸

در جدول (۷) مقادیر اسمی پارامترها که برای حل مدل در نظر گرفته شده است، ارائه شده است.

جدول ۷: مقادیر اسمی پارامترهای مدل

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
$f_d$	$U[400, 700] * 100000$	$re_{rpt}^u$	$U[20, 400]$
$f_j$	$U[100, 200] * 100000$	$An_n$	$U[2000, 6000]$
$f_r$	$U[2000, 5000] * 100000$	$pc_s^u$	$U[10000, 90000]$
$f_n$	$U[2000, 2700] * 100000$	$pc_p^u$	$U[10000, 100000]$
$H_{p/r}^u$	$U[50, 500] * 1000$	$di_{sp}$	$U[10, 250]$

مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر
$U[۲.۱۵]$	$di_{ppi}$	$U[۱۰۰.۷۰۰] * ۱۰۰۰$	$DH_{dt}^u$
$U[۱۰.۵۰۰]$	$di_{pida}$	$U[۶۰.۱۰۰] * ۱۰۰۰$	$Cd_{dwt}^u$
$U[۰.۱.۱۰]$	$di_{dw}$	$U[۲۰.۴۰۰]$	$\theta_w^u$
$U[۵۰.۳۰۰]$	$di_{wj}$	$U[۵۰۰۰.۱۰۰۰۰]$	$cr_{rpt}^u$
$U[۱۰.۱۰۰]$	$di_{jr}$	$U[۰/۲.۰/۷]$	$re_w^u$
$U[۱۰.۲۵۰]$	$di_{rn}$	$U[۰/۱.۰/۸]$	$re_{rnt}^u$
$U[۱۰.۲۰۰]$	$di_{rp}$	$U[۰/۰.۱۰/۲]$	$re_{rst}^u$
		$U[۰/۰.۱۰/۵]$	$re_{rdt}^u$

$$dev = \frac{Ans(PSO) - Ans(GA)}{Ans(PSO)}$$

این معیار بصورت شکاف بین مقدار تابع هدف الگوریتم (PSO) و مقدار تابع هدف بدست آمده از الگوریتم ژنتیک است. در این تحقیق جهت بررسی صحت مدل به حل با روش قطعی می‌پردازیم. نتایج حاصل از حل مسائل آزمایشی در جداول ۸ و ۹ ارائه شده است. جدول ۸ حل مسائل در ابعاد کوچک و متوسط را نشان می‌دهد.

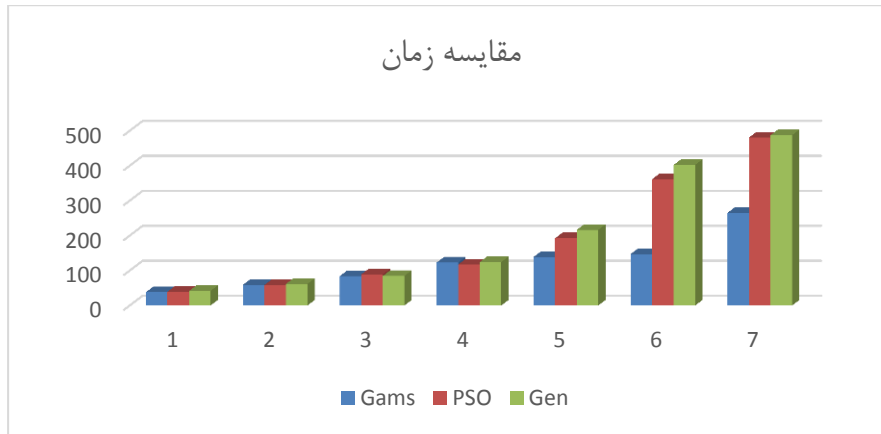
در این تحقیق، جهت مقایسه نتایج دو الگوریتم با یکدیگر از سه شاخص زمان حل، مقدار تابع هدف و شکاف بین مقادیر تابع هدف در دو الگوریتم استفاده شده است. مقدار تابع هدف، مقدار هزینه ایست که برای جوابهای نزدیک بهینه توسط هر کدام از الگوریتمها حاصل شده است. زمان حل در هر الگوریتم بصورت زمان اجرای هر کدام از الگوریتمها برای حل مسائل آزمایشی نمونه جهت یافتن جواب نزدیک بهینه تعریف می‌شود. شاخص سوم جهت مقایسه دو الگوریتم، شکاف بین مقادیر تابع هدف حاصل شده توسط دو الگوریتم است که با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

جدول ۸: حل مسائل با ابعاد کوچک و متوسط

شماره مسئله	گمز			زمان
	$Z_1$	$Z_2$	$Z_{LP}$	
۱	۸۰۱۱۳۲۸۴	0.982452e <sup>6</sup>	۰.۰۱۴۲	۳۸
۲	80308463	1.021382e <sup>6</sup>	۰.۰۱۵۳	۵۹
۳	80602724	1.071815e <sup>6</sup>	۰.۰۱۸۹	۸۴
۴	80681145	1.092392e <sup>6</sup>	۰.۰۲۰۴	۱۲۳
۵	80756941	1.103849e <sup>6</sup>	۰.۰۲۰۶	۱۳۹
۶	81082381	1.109258e <sup>6</sup>	۰.۰۲۱	۱۴۷
۷	82183369	1.061682e <sup>6</sup>	0.۰۱۹۲	۲۶۵

جدول ۹: نتایج محاسباتی حل مدل با ابعاد کوچک و متوسط

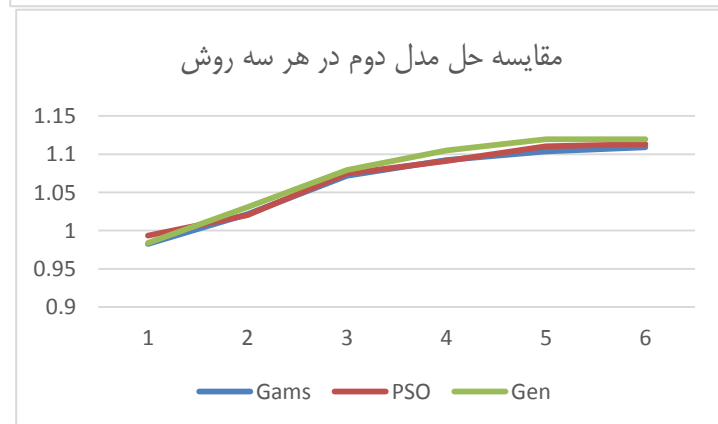
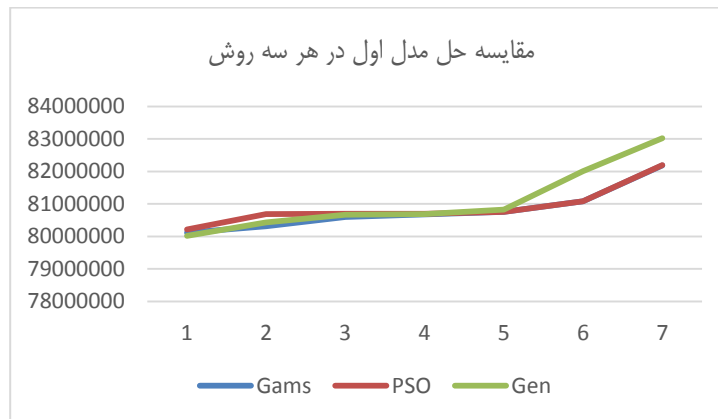
شماره مسئله	الگوریتم (PSO)				ژنتیک الگوریتم				Dev%
	$Z_1$	$Z_2$	$Z_{LP}$	زمان	$Z_1$	$Z_2$	$Z_{LP}$	زمان	
۱	80213561.6	0.993394e <sup>6</sup>	0.016172	۳۹.۳۲	80012075.1	0.983841e <sup>6</sup>	0.۰۲۱۱۴	۴۱.۵	0.08085
۲	80684332.1	1.020138e <sup>6</sup>	0.118273	۵۸.۴۸	80428613.8	1.030593e <sup>6</sup>	0.151098	۶۱.۵۹	-۰.۰۲۷۸
۳	80695703.2	1.074841e <sup>6</sup>	0.15742	۸۹.۱۴	80670872.4	1.079542e <sup>6</sup>	0.165343	۸۴.۶۵	-۰.۰۰۰۵
۴	80695638.9	1.091239e <sup>6</sup>	0.۱۵۴۵۱	۱۱۷.۳۳	80688404.2	1.10473e <sup>6</sup>	0.15064	۱۲۴.۳	-۰.۰۹۵۶
۵	80757659.3	1.110258e <sup>6</sup>	0.33424	۱۹۲.۴۸	80826518.9	1.119485e <sup>6</sup>	0.839751	۲۱۶.۱۴	-۰.۰۱۵۱۲
۶	81082510.5	1.113359e <sup>6</sup>	0.020759	۳۶۱.۲۷	82008390.7	1.119468e <sup>6</sup>	0.067699	۴۰۲.۱۹	-۰.۰۲۲۶۱
۷	82193529.8	1.065134e <sup>6</sup>	0.022115	۴۸۰.۶۴	83022644.4	1.072373e <sup>6</sup>	0.028505	۴۸۷.۲۵	-۰.۰۲۸۹



شکل ۳: مقایسه کارایی سه روش از حیث زمان

نتایج حاصل نشان می‌دهد که کیفیت جواب در روش حل قطعی مناسب تر می‌باشد و در حل به صورت فراابتکاری خروجی های حاصل از روش PSO مناسب تر از روش ژنتیک می‌باشد.

نتایج حاصل از شکل (۳) نشان می‌دهد که کارایی سه روش از نظر زمان حل در روش حل قطعی بالاتر می‌باشد. همچنین در بین روش های حل فراابتکاری، روش PSO بهتر از روش ژنتیک از نظر کارایی از نظر زمان حل می‌باشد. سپس به بررسی کیفیت جواب سه روش می‌پردازیم.



شکل ۴: مقایسه حل مدل اول در هر سه روش و مقایسه حل مدل دوم در هر سه روش

## بحث و نتیجه گیری

رقابتی و حضور طولانی در بازار وادار کرده است (باورصاد و همکاران، ۱۳۹۵). یکی از زمینه های مناسب برای یکپارچه سازی در شبکه زنجیره تامین حلقه بسته، طراحی یکپارچه زنجیره تامین مستقیم و معکوس، زنجیره تامین حلقه بسته، است که میتواند باعث جلوگیری از زیربهرینگی ناشی از طراحی جدا از هم شبکه لجستیک مستقیم و معکوس شود. حال با توجه به اینکه یکی از مولفه های سرمایه اجتماعی قابل اطمینان بودن و رضایتمندی مشتریان می باشد، پایداری خط تولید و نیز دریافت خودروهای فرسوده و بازیافت آنها از جمله مولفه هایی می باشد که می تواند بر سرمایه اجتماعی تاثیر مثبتی داشته باشد. همچنین جنبه اجتماعی به عنوان هزینه و منافع دریافت شده توسط مشتری برای خرید یک محصول جدید و همچنین نتایج آنها از عواقب ناشی از مسئله دفع زباله محصولات زباله مورد بررسی قرار گرفت. بنابراین اثرات سرمایه اجتماعی به طور غیرمستقیم در مدل تحقیق در نظر گرفته شده است. در این تحقیق، یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته برای طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته ارائه شده است. در واقع در این مطالعه، مدل بهینه سازی چندبخشی را جهت بررسی راندمان شبکه زنجیره تامین حلقه بسته ارائه نموده ایم. همان گونه که پیش از این نیز مطرح گردید در تحقیقات قبلی، محققان هر کدام به بررسی بخشی از زنجیره تامین حلقه بسته در صنایع مختلف پرداخته اند. در مقاله ای دیگر حاجیان، افشار کاظمی، سید حسینی و اشلقی (۱۳۹۸) به صورت جدیدی از مسئله مکان یابی، مسیریابی و موجودی را در یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته برای محصولات فاسد شدنی با در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی ارائه می دهند به نحوی که همزمان مجموع هزینه های سیستم، مجموع زمان حمل و نقل و انتشار آلاینده ها در کل شبکه کمینه شود. نتایج این تحقیق نشان می دهد که تصمیم های مکان یابی، مسیر یابی و موجودی به هم وابسته بوده و تعیین مقدار بهینه این متغیرها در تعامل با هم است که می تواند به یافتن یک سیستم بهینه با حداقل هزینه ممکن منجر شود. با این حال بایستی عنوان نمود که این تحقیق در خصوص محصولات فاسد شدنی می باشد و محققان تنها زنجیره امحاء محصولات را در نظر گرفته اند. همچنین سلیمانی، گویندان، سقفی و جعفری<sup>۳۴</sup> (۲۰۱۷)، و اوزسیلان، دمیرل، ستینکایا و دمیرل<sup>۳۵</sup> (۲۰۱۷) هر کدام در تحقیقات خود به بررسی بخش از زنجیره تامین

در این تحقیق، به بررسی حداقل نمودن هزینه ها و الزامات بهینه سازی مصرف انرژی می پردازیم که هر کدام می تواند اهداف متناقضی را ارائه نمایند. در این تحقیق از روش حل قطعی با استفاده از نرم افزار گمز، بهینه سازی ازدحام ذرات<sup>۲۹</sup> به دلیل توانایی این الگوریتم در تهیه همگرایی خوب و همچنین حفظ تعادل مناسب بین بهره برداری و اکتشاف و نیز الگوریتم ژنتیک چند هدفه<sup>۳۰</sup> استفاده کرده ایم. در میان الگوریتم های تصادفی، الگوریتم ژنتیک از کارایی بالایی برخوردار بوده و کاربردهای فراوانی دارد. الگوریتم ژنتیک علاوه بر استفاده در مسائل طراحی، در موضوعات مختلفی از قبیل بهینه سازی توابع، بهینه سازی ترکیبی، یادگیری ماشین، پردازش تصمیم، تقسیم بندی سیستم ها، تعلیم شبکه های عصبی، سیستم های کنترل و غیره کارایی خود را نشان داده است (حداد سیساخت و ربان<sup>۳۱</sup>، ۲۰۱۸). علاوه بر این از تکنیک بهینه سازی ازدحام ذرات استفاده می گردد. بهینه سازی ازدحام ذرات یک تکنیک بهینه سازی تصادفی قوی براساس حرکت و هوش گروه ها می باشد. از جمله ویژگی هایی که مدل این تحقیق را از دیگر تحقیق ها متمایز می سازد، در نظر گرفتن همه جنبه های زنجیره تامین حلقه بسته (امحاء، بازیافت و حتی فروش مجدد محصول بازیافتی به مشتریان) با یک مدل سه گانه اقتصادی، محیط زیستی و سرمایه اجتماعی است. اکلمن (۱۹۸۸) سه بعد سرمایه اجتماعی را توصیف می کند: قابل اعتماد بودن، اشتراک اطلاعات و هنجارهای رابطه ای. این سه شکل از سرمایه با فاکتورهای مرتبط با ادغام زنجیره تامین مطابقت دارد (جیکوبز و همکاران، ۲۰۰۷) که رضایتمندی مشتریان یکی از مهمترین این فاکتورها می باشد (جاکوبز و همکاران<sup>۳۲</sup>، ۲۰۱۶: ۶۳). چالش های پیچیده جهانی مانند رقیبانی با تولیدات کم هزینه، نوسان قیمت کالاها، افزایش انتظارات مشتریان، اوضاع وخیم اقتصادی تولیدکنندگان و عدم اطمینان به این عوامل، از یک سو در محیط تجاری تغییرات جدی ایجاد کرده و فرصت ها و رشد چشمگیری برای بازارهای جدید به وجود آورده و از سوی دیگر، موجب افزایش مداوم و پیچیده چالش هایی شده است که عملیات و ابقای شرکت ها را تهدید می کنند. (آلومار و همکاران<sup>۳۳</sup>، ۲۰۱۴). این فشارهای رقابتی، شرکتها را به ارزیابی دوباره و مستمر زنجیره تامین برای بهبود عملکرد

اقتصادی کنونی کشور، منجر به کاهش هزینه های تولید و حتی کاهش واردات محصولاتی که در داخل کشور توان تولید آنها وجود ندارد، گردد و منجر به ایجاد فرصت‌ها و رشد چشمگیری برای ایجاد محصولات بیشتر با قیمت مناسبتر گردد. پیشنهاد می‌گردد تا در تحقیقات آتی، محققان اقدام به توسعه مدل با استفاده از شرایط تحقیق کلی، ارزش زمانی پول، نرخ تورم، نرخ مالیات نمایند. همچنین می‌توان تابع هدف دیگری در جهت حداقل سازی ریسک مالی شرکت خودرو سازی / مشتری در نظر گرفت. همچنین می‌توان از دیگر روش های فراابتکاری مانند شبکه عصبی در مدل سازی زنجیره تامین حلقه بسته استفاده نمود. در مجموع می‌توان عنوان نمود که طراحی مناسب یک زنجیره تامین حلقه بسته مناسب بخصوص در صنایع خودروسازی ایران می‌تواند با توجه به شرایط بحرانی اقتصادی کنونی کشور، منجر به کاهش هزینه های تولید و حتی کاهش واردات محصولاتی که در داخل کشور توان تولید آنها وجود ندارد، گردد و منجر به ایجاد فرصت‌ها و رشد چشمگیری برای ایجاد محصولات بیشتر با قیمت مناسبتر گردد. در ادامه پیشنهاد می‌گردد تا در تحقیقات آتی، محققان اقدام به توسعه مدل با استفاده از شرایط تخفیف کلی، ارزش زمانی پول، نرخ تورم، نرخ مالیات نمایند. همچنین می‌توان تابع هدف دیگری در جهت حداقل سازی ریسک مالی شرکت خودرو سازی / مشتری در نظر گرفت.

#### منابع

- Alomar, M., & Pasek, z. J. (2014). Linking supply chain strategy and processes to performance improvement Variety Management in Manufacturing. Proceedings of the 47th CIRP Conference on Manufacturing Systems, 17, 6. doi:https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.144
- Amin, S. H., & Baki, F. (2017). A facility location model for global closed-loop supply chain network design. Applied Mathematical Modelling, 41. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2016.08.030
- Armin Jabbarzadeh , M. H., Amir Khosrojerdi. (2018). Closed-loop supply chain network design under disruption risks: A robust approach with real world application. Computers & Industrial Engineering, 118, 178. doi:https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.12.025
- Ashfari, H., Sharifi, M., ElMekawy, T. Y., & Peng, Q. (2014). Facility Location Decisions

حلقه بسته پرداخته اند. اما از جمله ویژگی هایی که مدل این تحقیق را از دیگر تحقیق‌ها متمایز می‌سازد، در نظر گرفتن همه جنبه های زنجیره تامین حلقه بسته (امحاء، بازیافت و حتی فروش مجدد محصول بازیافتی به مشتریان) می‌باشد. در بحث محیط زیستی نیز برای کشف زنجیره تأمین سبز که شامل دفع کنترل شده، مدل‌های صرفه جویی در مصرف انرژی و گزینه های بازیابی بهتر برای کسب سود بیشتر از بازده ضروری است. از این رو مدلی با اهداف (۱) حداقل سازی هزینه و (۲) حداقل سازی انرژی مصرفی مورد بررسی قرار گرفت. در واقع مدل ارائه شده در این تحقیق، چند محصولی و چند رده ای در نظر گرفته شده است که همزمان، هزینه های حمل و نقل و احداث تسهیلات را در بر میگیرد. مدل مورد نظر با در نظر گرفتن کمینه سازی هزینه ها (هزینه های استقرار تسهیلات) ، حداقل سازی انرژی در طول مسیر و همچنین در نظر گرفتن تقاضای مختلف محصولات برگشتی، از نوع مسائل NP-Hard است که در آن، زمان حل مسأله به صورت نمایی و با توجه به ابعاد مسأله افزایش مییابد. در مجموع بایستی عنوان نمود که به طور کلی، سنجش رفتارهای زیست محیطی و اقتصادی یک سیستم به دلیل گستردگی و ماهیت پیچیده مسائل اجتماعی و زیست محیطی بسیار دشوار است. با این حال، مسلم است که مسائل زیست محیطی و اقتصادی بر اقدامات عملکرد یک سیستم شبکه زنجیره تأثیر می‌گذارد. تجزیه و تحلیل های این تحقیق نشان می‌دهد که محدودیت در انتشار دی اکسید کربن<sup>۳۴</sup> با منافع کل سیستم ارتباط مثبت دارد. بنابراین، تصمیم گیرندگان ممکن است با وجود انتشار دی اکسید کربن راهی برای افزایش سود یا کاهش هزینه پیدا کنند. موضوع مهم دیگری که در این تحقیق مشخص گردید، ایجاد هم افزایی بین جریانهای مختلف در زنجیره تامین حلقه بسته است. شبکه های سنتی لجستیک مانند یک خیابان یکطرفه بودند، در حالی که در زنجیره های حلقه بسته جریان های چندگانه داخلی و خارجی یکدیگر را قطع میکنند. در این وضعیت استفاده از پتانسیل یکپارچه سازی جریان ها، منبعی مهم برای صرفه جویی در مقیاس است. در واقع یکپارچه سازی جریان مستقیم و معکوس موجب کاهش هزینه های بالاسری و سرجمع هزینه‌ها می‌شود. در مجموع می‌توان عنوان نمود که طراحی مناسب یک زنجیره تامین حلقه بسته مناسب بخصوص در صنایع خودروسازی ایران می‌تواند با توجه به شرایط بحرانی

- Giovanni, P. D. (2018). A joint maximization incentive in closed-loop supply chains with competing retailers: The case of spent-battery recycling. *European Journal of Operational Research*, 1. doi:10.1016/j.ejor.2018.01.003
- Haddadsisakht, A., & Ryan, S. M. (2018). Closed-loop supply chain network design with multiple transportation modes under stochastic demand and uncertain carbon tax. *International Journal of Production Economics*, 195, 13. doi:https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.09.009
- Hajian, Sima; Afshar Kazemi, Mohammad Ali; Seyed Hosseini, Seyed Mohammad; Tolouei Ashlaghi, Abbas (2019), Presenting a Multi-Objective Model for the Problem of Location-Routing-Inventory in the Multi-Periodic Green Ring Supply Chain Network and Multi-Product for Perishable Goods, *Industrial Management*, 11 (1), 83 - 110 **(In Persian)**
- Hassanzadeh, A. S., & Zhang, G. (2013). A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return. *Applied Mathematical Modelling*, 37, 12. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2012.09.039
- Hsiao-Fan Wang , H.-W. (2010). A closed-loop logistic model with a spanning-tree based genetic algorithm. *Computers & Operations Research*, 37, 13. doi:10.1016/j.cor.2009.06.001
- Jabbarzadeh, A., Haughton, M., & Khosrojerdi, A. (2018a). Closed-loop supply chain network design under disruption risks: A robust approach with real world application. *Computers & Industrial Engineering*, 116, 13. doi:https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.12.025
- Jabbarzadeh, A., Haughton, M., & Khosrojerdi, A. (2018b). Closed-loop supply chain network design under disruption risks: A robust approach with real world application. *Computers & Industrial Engineering*, 116, 14. doi:https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.12.025
- Jawad, H., Jaber, M., & Nuwayhid, R. (2018). Improving supply chain sustainability using exergy analysis. *European Journal of Operational Research*, 269, 13. doi:https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.10.007
- Kadambala, D. K., Subramanian , N., Tiwari , M. K., Abdulrahman , M., & Liu, C. (2017). Closed loop supply chain networks: Designs for energy and time value efficiency. *Int. J. Production Economics*, 183, 382. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.02.004
- Kaya, O., & Urek, B. (2016). A mixed integer nonlinear programming model and heuristic solutions for location , inventory and pricing decisions in a closed loop supply chain. *Computers & Operations Research*, 65, 10. Within Integrated Forward/Reverse Logistics under Uncertainty. *Procedia CIRP*, 17, 5. doi: 10.1016/j.procir.2014.01.092
- Barbosa-Póvoa, A. P., Silva, C., & Carvalho, A. (2018). Opportunities and challenges in sustainable supply chain: An operations research perspective. *European Journal of Operational Research*, 268(2), 32. doi:https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.10.036
- Bavarsad, Belqis; Rezaei Jarivand, Batool; Rahimi, Farajollah; Sinaei, Hassan Ali (2016) "Study of the Alignment of Supply Chain Strategies and Information System Strategies on Supply Chain Management Performance (Case Study: Manufacturing Companies in Khuzestan Province)" *Journal of Technology Management Tehran University Information*, Winter 2016, No. 29 **(In Persian)**
- Cai, X., Gao, L., & Li, F. (2019). Sequential approximation optimization assisted particle swarm optimization for expensive problems. *Applied Soft Computing Journal*, 83. doi:https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105659
- Chen, Y.-W., Wang, L.-C., Wang, A., & Chen, T.-L. (2017). A particle swarm approach for optimizing a multi-stage closed loop supply chain for the solar cell industry. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 43, 12. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.rcim.2015.10.006
- Dekker, R., Fleischmann, M., & Inderfurth, K. (2004). *Quantitative Models for Closed-Loop Supply Chains*: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Farrokh, M., Azar, A., Jandaghi, G., & Ahmadi, E. (2017). A novel robust fuzzy stochastic programming for closed loop supply chain network design under hybrid uncertainty. *Fuzzy Sets and Systems*, 3, 23. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.fss.2017.03.019
- Fathollahi-Fard, A. M., Hajiaghahi-Keshteli, M., & Mirjalili, S. (2018). Multi-objective stochastic closed-loop supply chain network design with social considerations. *Applied Soft Computing*, 71, 20. doi:https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.07.025
- Fallah, H., Eskandari, H., Zgardi, S. Chaharsooqi, S. (1396). Presenting a two-level model of closed-loop supply chain network design in conditions of uncertainty and inter-chain competition: a solution with the Banders analysis approach. *Journal of Modeling in Engineering*, 49, 15. **(In Persian)**
- Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-Ruwaard, J., & Wassenhove, L. (2001). The impact of product recovery on logistics network design. *Production and Operations Management*,





- (2020) "A review of the current automotive manufacturing practice from an energy perspective" *Applied Energy* 261 (2020) 114074
- Jabbarzadeh, Armin; Haughton, Michael; Khosrojerdi, Amir (2018) "Closed-loop supply chain network design under disruption risks: A robust approach with real world application" *Computers & Industrial Engineering*, Volume 116, 178-191,
- Soleimani, Hamed; Govindan Kannan (2015) "A hybrid particle swarm optimization and genetic algorithm for closed-loop supply chain network design in large-scale networks" *Applied Mathematical Modelling*, Volume 39, 3990-4010,
- Tarokh, J., Mahsa, A. G., & Shohreh, T. (2014). General model for optimizing reverse logistics network design under uncertainty. *Specialized Journal of Industrial Engineering*, 2, 15. **(In Persian)**
- Yavari, Mohammad., Geraeli, Mohaddase., 2019. Heuristic method for robust optimization model for green closed-loop supply chain network design of perishable goods. *J. Clean. Prod.* 226, 282e305
- Zhou, X., & Zhou, Y. (2015). Designing a multi-echelon reverse logistics operation and network: A case study of office paper in Beijing. *Resources, Conservation and Recycling*, 100, 12. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.04.009
- Liao, S.-H., Hu, D.-C., & Ding J.-W. (2017). Assessing the influence of supply chain collaboration value innovation, supply chain capability and competitive advantage in Taiwan's networking communication industry. *International Journal of Production Economics*, 191, 10.
- Lu, Z., & Bostel, N. (2007). A facility location model for logistics systems including reverse flows: The case of remanufacturing activities. *Computers & Operations Research*, 34, 25.
- Özceylan, E., Demirel, N., Çetinkaya, C., & Demirel, E. (2017). A closed-loop supply chain network design for automotive industry in Turkey. *Computers & Industrial Engineering*, 113,
- Nambajemariya, F. and Wang, Y. (2021) Excavation of the Internet of Things in Urban Areas Based on an Intelligent Transportation Management System. *Advances in Internet of Things*, 11, 113-122. doi: 10.4236/ait.2021.113008.
- P. Sasikumar, A. N. H. (2011). Integration of closed loop distribution supply chain network and 3PRLP selection for the case of battery recycling. *International Journal of Production Research*, 49, 22. doi:https://doi.org/10.1080/00207541003794876
- Pishvaei, M. S., Kianfar, K., & Karimi, B.. (2010). Reverse logistics network design using simulated annealing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 47, 12. doi:https://doi.org/10.1007/s00170-009-2194-5
- Shakourloo, A., Kazemi, A., & Javad, M. O. M. (2016). A new model for more effective supplier selection and remanufacturing process in a closed-loop supply chain. *Applied Mathematical Modelling*, 40, 17. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2016.06.039
- Soleimani, H., Govindan, K., Saghafi, H., & Jafari, H. (2017). Fuzzy multi-objective sustainable and green closed-loop supply chain network design. *Computers & Industrial Engineering*, 109, 191. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2017.04.038
- Taleizadeh, A. A., Haghghi, F., & Niaki, S. T. A. (2019). Modeling and solving a sustainable closed loop supply chain problem with pricing decisions and discounts on returned products. *Journal of Cleaner Production*, 207, 18. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.198
- Ekhtiari, M., Zandieh, M., Alem Tabriz, A., & Rabieh, M. (2019). Proposing a Bi-level Programming Model for Multi-echelon Supply Chain with an Emphasis on Reliability in Uncertainty. *Industrial Management Journal*, 11(2), 177-206. (in Persian)
- Giampieri, Alessandro; Ling-Chin, Janie; Ma, Zhiwei; Smallbone, Andrew; Roskilly, Antony

#### یادداشت‌ها

- <sup>1</sup> Nambajemariya, F. and Wang
- <sup>2</sup> (Özceylan et al.)
- <sup>3</sup> Taleizadeh, Haghghi, & Niaki
- <sup>4</sup> Amin & Baki
- <sup>5</sup> Jabbarzadeh et al.
- <sup>6</sup> (Dekker, Fleischmann, & Inderfurth)
- <sup>7</sup> (Fleischmann M)
- <sup>8</sup> (Barbosa-Póvoa, Silva, & Carvalho)
- <sup>9</sup> Jabbarzadeh et al.
- <sup>10</sup> remanufacturing
- <sup>11</sup> Jabbarzadeh et al.
- <sup>12</sup> Jabbarzadeh et al.
- <sup>13</sup> disruption
- <sup>14</sup> relaxation
- <sup>15</sup> El-Sayed et al.
- <sup>16</sup> Wang, Lu, and Zhang
- <sup>17</sup> Ramezani et al.
- <sup>18</sup> Wang, Lu, and Zhang
- <sup>19</sup> Diabat and Theodorou
- <sup>20</sup> Al-Salem, Diabat, Dalalah, and Alrefaei
- <sup>21</sup> Srivastava
- <sup>22</sup> Kadambala, Subramanian, Tiwari, Abdulrahman, Liu

- <sup>23</sup> *Soleimani, Govindan, Saghafi, Jafari*  
<sup>24</sup> *MOPSO*  
<sup>25</sup> *NSGA II*  
<sup>26</sup> *Haupt and Haupt*  
<sup>27</sup> *Mirzapour, Malekly, Aryanezhad*  
<sup>28</sup> *Matlab*  
<sup>29</sup> *MOPSO*  
<sup>30</sup> *NSGA II*  
<sup>31</sup> *Haddadsisakht, A., & Ryan, S. M.*  
<sup>32</sup> *Jacobs, Yu & Chavez*  
<sup>33</sup> *(Alomar & Pasek)*  
<sup>34</sup> *Soleimani, Govindan, Saghafi, Jafari*  
<sup>35</sup> *Özceylan, Demirel, Çetinkaya, Demirel*  
<sup>36</sup> *CO<sub>2</sub>*