مقاله پژوهشی

ارائه‌ی مدل زنجیره‌تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن عوامل طرف سوم: (مطالعه موردی)

بهشته مقدس پور[1*]، محمدسعید جبل عاملی[2] علی بزرگی امیری[3]

دانشگاه علم و صنعت ایران دانشگاه صنعتی مالک اشتر

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۱۳

چکیده

امروزه سازمان‌ها به‌منظور پیشرفت، به دنبال مزیت رقابتی نسبت به سایر رقبا، کاهش هزینه‌ها و جلب رضایت مشتریان بیشتری هستند. یکی از عوامل مهم در به دست آوردن مزیت رقابتی، برخورداری از یک سیستم لجستیک قوی است. پیچیدگی‌های موجود در فرآیندهای یکپارچه‌ی مستقیم و معکوس، مدیران را بر آن می‌دارد تا شرکت‌های ارائه‌دهنده‌ی خدمات لجستیکی طرف سوم را به‌عنوان گزینه‌ای مناسب در راستای برون‌سپاری فرآیندها مدنظر قرار دهند. همچنین با رشد جمعیت و گسترش شبکه‌ی حمل‌ونقل حجم محصولات فرسوده‌ی مرتبط با این صنعت رو به افزایش است. یکی از این محصولات پرکاربرد تایر است که بعد از استفاده، دفع آن به‌صورت غیراصولی و نامناسب خسارات قابل‌ملاحظه‌ای در جهت تخریب محیط زیست به بار آورده است. لذا، در این تحقیق یک مدل ریاضی دو هدفه، چند محصولی و چند دوره‌ای، برای طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته در صنعت تایر با در نظر گرفتن عوامل پایداری اعم از اقتصادی و اجتماعی، تحت مدیریت لجستیک طرف سوم ارائه می‌شود. اهداف مدل پیشنهادی شامل حداکثر کردن سود حاصل از پردازش‌های متفاوت بر روی کالای فرسوده و پایداری اجتماعی است. به‌منظور حل مدل چندهدفه و به دست آوردن جواب‌های بهینه‌ی پار تویی، روشε - محدودیت تقویت‌شده به‌کاربرده شده است. درنهایت، اعتبارسنجی مربوط به مدل ارائه‌شده از طریق یک مطالعه‌ی موردی در صنعت تایر نشان داده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: زنجیره تأمین حلقه بسته، زنجیره تأمین معکوس، لجستیک طرف سوم، بازیافت، بازتولید، تایر، سوخت، دفن

۱- مقدمه

صنعت تولید تایر، صنعتی بسیار پیچیده و با فنّاوری بالاست که یک قرن نوآوری در تولید را نشان می‌دهد که البته هنوز هم ادامه دارد. تایر شامل موادی است که صنایع متالوژی، نساجی و شیمیایی، تولیدکننده‌ی آن‌ها می‌باشند. همچنین، این محصول، احتمالاً یکی از بهترین محصولات مهندسی‌شده و با عمر طولانی است که تابه‌حال توسط بشر به وجود آمده است [۱].

به دلیل گسترده شدن شبکه‌ی حمل‌ونقل، استهلاک محصولات مرتبط با آن ازجمله تایر نیز رو به افزایش است و از طرفی افزایش مصرف محصولی مانند تایر موجب افزایش تولید پسماند می‌شود. آمارها نشان می‌دهند سالیانه بالغبر (۱۷) میلیون تن تایر فرسوده که پسماند غیرقابل تجزیه‌ای است در سراسر جهان تولید می‌شود و به دلیل وجود درجه‌ی زیادی از کربن سیاه، لاستیک و مواد آلاینده‌ی دیگر می‌تواند موجب آسیب‌های زیادی به انسان، آب، هوا و در کل محیط زیست شود [۲]. درنتیجه با توجه به مواد تشکیل‌دهنده‌ی تایر، تایر استفاده‌شده یا آسیب‌دیده پتانسیل بالایی برای تمرکز به‌منظور استفاده در مصارف مختلف یا برای استفاده‌ی دوباره دارد. لازم به ذکر است که

۱*- کارشناسی ارشد، دانشکده صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، نویسنده مسئول، پست الکترونیک: b_moghadas95@ind.iust.ac.ir
نشانی: تهران، میدان رسالت، خیابان هنگام، دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- استاد دانشکده صنایع، دانشگاه علم و صنعت، پست الکترونیک: jabal@iust.ac.ir

۳- دانشیار پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، پست الکترونیک: alibozorgi@ut.ac.ir

وضعیت اقتصادی اخیر و بحران‌های مالی در جوامع مختلف روزبه‌روز توجه را به سمت مواد بازیافتی و استفاده از تایرهایی با عمر تمام‌شده، چه ازلحاظ استفاده از مواد اولیه‌ی تشکیل‌دهنده‌ی آن، چه استفاده از انرژی موجود در تایر، سوق می‌دهد [۳]. به همین منظور مدیریت کردن تایرهای نو و فرسوده به‌طور مؤثر و هماهنگ کردن شبکه‌ی لجستیک مستقیم و معکوس به‌عنوان دغدغه در زنجیره‌ی ارزش صنعت تایر مطرح می‌شود[۴] . در این رابطه لبرتون[1] و همکارش[۵] در مقاله‌ای رویکردی عددی برای ارزیابی سودمندی بازتولید و بازسازی تایرهای وسایل نقلیه‌ی شخصی و کامیون ارائه دادند. هدف این مطالعه بررسی دو مورد است: (۱) بررسی اینکه تا چه حد می‌توان فعالیت‌های بازتولید را گسترش داد و (۲) بررسی مدل تصمیم‌گیری باهدف آنالیز کردن سناریوهای بالقوه برای بالا بردن نرخ بازتولید در آینده است. چنگ[2] و همکارش[۶] در مطالعه‌ای روش‌های مختلف دفع تایر را بر اساس آنالیز هزینه- سود، تأثیرات زیست‌محیطی و شدنی بودن بررسی می‌کنند. به همین منظور، (۴) روش مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره برای تشخیص بهترین راه‌حل به‌وسیله‌ی سیستم وزن دهی با توجه به معیارهای آنالیز هزینه-سود، تأثیرات زیست‌محیطی و تولید انرژی استفاده‌شده است. دایلا[3] [۷] مهم‌ترین مشکل در برنامه‌های بازیافت تایرهای فرسوده را، نوع بازیافت محصول می‌داند. به همین منظور از تکنیک آنالیز تصمیم‌گیری چندمعیاره برای ارزیابی گزینه‌های بازیافت در زنجیره تأمین معکوس تایرهای فرسوده استفاده کرده است. نتیجه‌ی بررسی‌ها حاکی از این است که تعداد کمی از مقالات به مدلی جهت بررسی همه‌ی ابعاد پردازش تایرهای فرسوده به‌صورت یکپارچه شامل بازتولید، بازیافت و استفاده در صنایع گوناگونی مانند صنایع عمرانی، تولید سیمان و... پرداخته‌اند. بنابراین، یک شبکه‌ی لجستیکی مناسب و طراحی شبکه‌ی زنجیره تأمین حلقه بسته‌ای که نه‌تنها برای کسب سود بلکه برای کاهش ضایعات و برای رسیدن به توسعه‌ی پایدار است، برای این صنعت لازم و ضروری به نظر می‌رسد.

ازجمله مباحثی که امروزه در حوزه‌ی لجستیک و مدیریت زنجیره تأمین صنایع مختلف مطرح است، موضوع "زنجیره تأمین حلقه بسته" و "مدیریت بازگشتی‌ها" است، موضوعی که به نظر می‌رسد تاکنون در صنایع مختلف کشورمان به آن توجه جدی نشده است. امروزه در کشورهای پیشرفته‌ی جهان، سازمان‌های صنعتی، دولتی، تجاری و خدماتی بر فرآیندهای زنجیره تأمین حلقه بسته و لجستیک معکوس تمرکز شده است، که این مقوله در ایجاد ارزش اقتصادی واقعی کالاها و خدمات به همراه پشتیبانی از ملاحظات زیست‌محیطی نقش مؤثری دارد. این تمرکز اکنون در کلیه‌ی بازارها ازجمله بخش‌های صنعتی و فناوری پیشرفته، تجاری و محصولات مصرفی رو به افزایش است [۸]. زنجیره‌ی تأمین حلقه بسته خود شامل دو نوع "جریان مستقیم" و "جریان معکوس" است. آنچه در جریان سنتی کالا وجود دارد و مدیران صنایع عموماً بر کنترل و مدیریت آن جریان تأکید دارند جریان مستقیم یا روبه‌جلوی مواد و محصولات است که به مفهوم مدیریت فعالیت‌ها و جریانی است که به فرستادن کالاها از تأمین‌کنندگان به تولیدکنندگان، خرده‌فروشان و در آخر مصرف‌کنندگان می‌پردازد[۴] .

اما در مورد جریان معکوس، به نظر می‌رسد تعریف گسترده‌ای برای لجستیک معکوس وجود ندارد. دلیل اصلی عدم توانایی در رسیدن به یک تعریف که تمام پتانسیل این تکنیک را رعایت کند، می‌تواند پیچیدگی آن باشد. به‌هرحال به‌طورکلی می‌توان گفت که لجستیک معکوس جریان عملیاتی معکوسی را مطالعه می‌کند که کالاهای استفاده‌شده و ضایعات را در خلال چرخه‌ی تولیدی آن‌ها، مدیریت و سروسامان می‌دهد. به‌عبارت‌دیگر لجستیک معکوس فرایند برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل کردن جریان مواد خام و اولیه، موجودی موجود در فرآیند، کالاهایی که عمرشان تمام‌شده است و اطلاعات مربوط از نقطه‌ی مصرف به نقطه‌ی مبدأ برای اهدافی چون بدست‌آوردن دوباره‌ی ارزش از دفع مناسب کالاها می‌باشد [۹] .

گرچه فعالیت‌های زیادی را می‌توان در قالب لجستیک معکوس در نظر گرفت اما برخی از اهم فعالیت‌های لجستیک معکوس که عمدتاً به‌طور اختصاصی در این حوزه مطرح است، عبارت‌اند از: تعمیر و تعویض، نوسازی محصول، ساخت مجدد، بازیافت، استفاده و فروش مجدد. درنتیجه لجستیک معکوس به دلیل توانایی بازیابی ارزش از محصولات برگشتی و استفاده‌شده، توجه بسیاری را به خود

1 – Lebreton
2– Chang
3– Dhouib

جلب کرده است و به‌عنوان یک عنصر کلیدی در زنجیره تأمین مطرح می‌شود.

شبکه‌های لجستیک حلقه بسته نیز به سبب افزایش اهمیت صرفه‌جویی در مواد اولیه، عوامل زیست‌محیطی، قوانین دولتی و همچنین به‌عنوان راهی برای بدست‌آوردن مزیت رقابتی، توجه محققین بسیاری را به خود جلب کرده است. پیشوایی و همکاران [۱۰] مقاله‌ای در جهت یکپارچه کردن بخش‌های روبه‌جلو و معکوس زنجیره‌ی تأمین، با اهدافی شامل حداقل کردن هزینه‌ها و حداکثر کردن میزان پاسخگویی به مشتریان ارائه کردند. دهقانیان و همکارش [۱۱] مدل برنامه‌ریزی چندهدفه برای طراحی شبکه‌ی بازیابی کالاهایی که عمر استفاده از آن‌ها تمام‌شده است، ارائه دادند. در مقاله‌ی آنان (۳) نوع پردازش بر روی تایرهای غیرقابل استفاده، عنوان‌شده است: پودر سازی مکانیکی، پودر سازی کریوژنیک و سوزاندن در صنعت سیمان. همچنین سوزا [1] و همکارش [۱۲] در مطالعه‌ای به بررسی امکان توزیع سودهای مالی در طول زنجیره‌ی لجستیک معکوس تایرهای استفاده‌شده با توجه به همکاری در صنایع سیمان به‌عنوان یک مقصد احتمالی پرداختند. به‌هرحال، با توجه به ادبیات بررسی‌شده، تعداد معدودی از مقالات در ادبیات به لجستیک حلقه بسته در صنعت تایر پرداخته‌اند.

در عصر حاضر یکی از مسائل مهم در بررسی زنجیره‌ی تأمین، توسعه و مدیریت زنجیره تأمین پایدار است. توسعه‌ی پایدار توسعه‌ای است که نیازهای نسل حاضر را بدون اینکه نسل‌های بعدی را در برآورد نیازهایشان تضعیف نماید، تأمین می‌کند. توسعه‌ی پایدار باید ملاحظات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی را به‌طور همزمان در نظر بگیرد. در این رابطه، مقالات بسیار کمی می‌توان یافت که جنبه‌ی اجتماعی در صنعت تایر را در نظر گرفته‌اند و بیشتر کارها به جنبه‌های دیگر در این صنعت پرداخته‌اند که برخی از این مقالات در ادامه آورده شده است:

عبدالقادر و همکاران[۱۳] مقاله‌ای در جهت مزیت‌های پایدار زیست‌محیطی، افزایش درصد بازتولید تایر و تأثیر آن روی بازیگران کلیدی در بازتولید تایر با تأکید بر اهمیت پایداری و حفاظت از منابع طبیعی، بیشتر از تمرکز مستقیم بر روی فاکتورهای اقتصادی، مطرح می‌کنند.

همچنین سوبولان [2] و همکاران[۱۴] مدلی برای زنجیره تأمین حلقه بسته‌ی تایر به‌وسیله‌ی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط با توجه به مسائل زیست‌محیطی ارائه می‌دهند. این مدل سود کلی زنجیره تأمین حلقه بسته را بیشینه و تأثیر منفی بر محیط زیست در این زنجیره تأمین را حداقل می‌کند.

یکپارچگی جریان مستقیم و معکوس در شبکه‌ی زنجیره تأمین حلقه بسته منجر می‌شود که معمولاً زنجیره تأمین حلقه بسته شبکه‌ی پیچیده‌تری از جریان مستقیم می‌باشد[۱۵] و به دلیل اینکه در عصر کنونی تجارت، چرخه‌ی عمر محصولات هرروز کوتاه و کوتاه‌تر می‌شود، مسئله‌ی برخورد با محصولات استفاده‌شده، آسیب‌دیده و درنهایت برگشتی موردتوجه قرارگرفته است. پیچیدگی‌های موجود در فرآیندهای یکپارچه‌ی مستقیم و معکوس مدیران را بر آن می‌دارد تا شرکت‌های ارائه‌دهنده‌ی خدمات لجستیکی طرف سوم را به‌عنوان گزینه‌ای مناسب در راستای برون‌سپاری فرآیندها مدنظر قرار دهند. از مزیت‌های اصلی برون‌سپاری، تمرکز سازمان‌ها بر توانمندی‌های کلیدی خود بوده و از این طریق توانسته‌اند کارایی تولیدی خود را افزایش دهند. به‌علاوه فرصت‌های فزاینده برای صرفه‌جویی در هزینه و جلب رضایتمندی مشتری منجر شده است که شرکت‌های ارائه‌دهنده خدمات لجستیکی طرف سوم در عملیات لجستیک مستقیم و معکوس راه پیدا کنند. شرکت‌های لجستیک طرف سوم شرکت‌های بیرونی می‌باشند که وظیفه‌ی مدیریت، کنترل و انجام بخشی یا کل امور لجستیکی را به نمایندگی از مشتریان خود (تولیدکننده‌ها) به عهده‌دارند[۱۶]. لازم به ذکر است که در عصر حاضر به دلایل مختلفی همچون: جهانی‌سازی، توسعه‌ی فنّاوری‌های جدید اطلاعات، فشار بازار برای ارتقاء خدمت‌دهی به مشتریان، لزوم افزایش مزیت رقابتی، فشار بر روی شرکت‌ها جهت کاهش قیمت، بالا بودن هزینه‌های لجستیکی برای شرکت‌ها و غیره، استفاده از لجستیک‌های طرف سوم رو به افزایش است[۸] . یکی از زمینه‌های استفاده از لجستیک‌های طرف سوم، صنعت حمل‌ونقل و زیرمجموعه‌های آن مثل اتومبیل و تایر است که به دلیل پیچیدگی‌های فرایندهای تولیدی، تمرکز کافی تولیدکنندگان بر روی توزیع کالاها، توجه به تأمین تقاضای مشتریان و عدم کمبود، در حال افزایش است. به

1– de Souza

2– Subulan

همین دلیل، برون‌سپاری فرایندهای مربوط به کالایی مانند تایر از اهمیت ویژه‌ای در صنعت مربوطه‌اش برخوردار است. به‌هرحال تعداد انگشت‌شماری از تحقیقات همچون محمودزاده و همکاران [۱۷] به این مسئله در ادبیات موضوع پرداخته‌اند. همچنین ژانگ[1] و همکاران [۱۸] نیز مقاله‌ای در جهت ارائه‌ی مدلی برای برون‌سپاری بهینه‌ی جریان معکوس به لجستیک‌های طرف سوم ارائه دادند. در این مدل لجستیک‌های طرف سوم متعهد می‌شوند کالاهای فرسوده را از مشتریان به مراکز بازتولید و دفن، انتقال دهند.

با توجه به مباحثی که مطرح شد، در این مقاله یک مدل ریاضی دو هدفه، چند محصولی و چند دوره‌ای، برای طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته‌ی پایدار در صنعت تایر، تحت مدیریت لجستیک طرف سوم ارائه می‌شود. نوآوری‌های اصلی این مقاله که آن را از مقالات موجود در ادبیات متمایز می‌کند عبارت است از:

(۱). بررسی برون‌سپاری فعالیت‌های لجستیکی به فراهم‌کنندگان طرف سوم اعم از توزیع کالای تولیدی و تأمین مواد اولیه‌ی بازیافتی

(۲). بررسی زنجیره تأمین تحت مدیریت و سودآوری لجستیک طرف سوم

(۳). در نظر گرفتن سطوح گوناگون در مدیریت کالاهای فرسوده، مانند مصارف طرف سوم یا مراکز بازیابی انرژی به‌منظور فروش تایرهای فرسوده و یا مواد حاصل از بازیافت آن‌ها

(۴). فراهم کردن امکان استفاده‌ی تولیدکننده از مواد اولیه‌ی حاصل از بازیافتی که در خود زنجیره انجام می‌شود، که باعث صرفه‌جویی در هزینه‌های تولیدکننده‌ها و مزیت رقابتی فراهم‌کننده‌ی طرف سوم نسبت به سایر تأمین‌کننده‌ها می‌شود.

(۵). توجه به جنبه‌های پایداری اقتصادی و اجتماعی

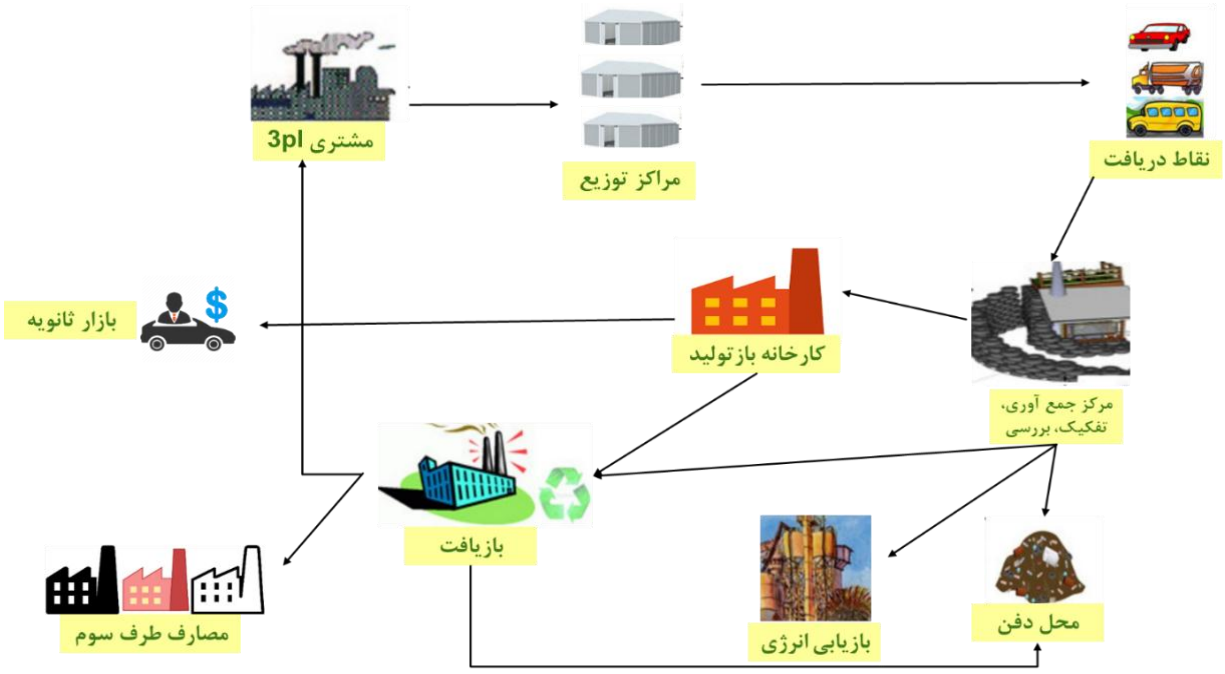
(۶). پیاده‌سازی مدل ارائه‌شده بر روی یک مطالعه‌ی موردی.

در ادامه ساختار مقاله به‌صورت زیر تنظیم گردیده است. در بخش دوم، به تشریح مسئله‌ی موردبررسی پرداخته و یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای مسئله‌ی پیشنهادی ارائه می‌گردد. در بخش سوم، به تشریح مطالعه‌ی موردی، روش و نتایج حل می‌پردازیم. نهایتاً نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی در بخش چهارم ارائه‌شده است.

۲- بیان مسئله

شبکه‌ی لجستیک طرف سوم طراحی‌شده در این پژوهش، یک شبکه‌ی (۱۰) سطحی طبق شبکه‌ی شکل (۱) است، که متشکل از مشتریان لجستیک طرف سوم (تولیدکنندگان)، مراکز توزیع، نقاط دریافت (که می‌تواند شامل مشتریان یا مراکز خرده‌فروشی باشد)، مراکز جمع‌آوری و تفکیک و بررسی، مراکز بازتولید، مراکز بازیافت، محل دفن، کارخانه‌هایی که در آن‌ها از انرژی حاصل از سوزاندن تایرهای فرسوده استفاده می‌شود، مصارف طرف سوم که شامل صنایع متفاوت از صنعت تایر مانند صنایع عمرانی و درنهایت بازار ثانویه است. در این پژوهش مدیریت همه‌ی موارد اعم از احداث تسهیلات لازم، مدیریت جریان‌ها و... از دید فراهم آورنده‌ی لجستیکی طرف سوم بررسی می‌شود.

1- Zhang



شکل (۱): ساختار مدل پیشنهادی

شرکت ارائه‌دهنده‌ی خدمات لجستیکی طبق قرارداد با مشتری خود (تولیدکننده) مسئولیت توزیع کالای تولیدی، تحویل به نقاط دریافت و درواقع بخش مهمی از فعالیت‌های لجستیکی تولیدکننده را بر عهده دارد. این شرکت طبق نیاز و تقاضای مشتریان، کالاها را از تولیدکننده تحویل می‌گیرد، به انبارهای توزیع خود انتقال داده و سعی می‌کند طبق نقاط دریافت که معلوم و مشخص است، با کمترین هزینه‌ی حمل‌ونقل، کالاها را به آن‌ها تحویل دهد. به دلیل اینکه تعداد کالای تحویل گرفته‌شده از تولیدکننده به‌منظور برآورده کردن تقاضای مشتریان بر عهده‌ی 3pl[1] است، درنتیجه هزینه‌ی کمبود حاصل از تقاضای برآورده نشده‌ی مشتریان نیز به‌عنوان جریمه بر عهده‌ی 3pl خواهد بود. سپس مشتریان کالاهایی که استفاده کرده و فرسوده شده را با درصد و ضریب مشخصی که طبق تجربه به‌دست‌آمده است را به زنجیره برمی‌گردانند. 3pl بخشی از کالاهای فرسوده‌ای که مشتریان قصد برگرداندن به چرخه‌دارند را همزمان با تحویل کالاهای جدید، از آن‌ها تحویل گرفته و به مرکز جمع‌آوری، تفکیک و بررسی انتقال می‌دهد. قابل‌ذکر است که برای بخش دیگری از کالاهای فرسوده که توسط 3pl از مشتریان تحویل گرفته نمی‌شود، هزینه‌ای تحت عنوان جریمه به 3pl تحمیل می‌شود. در مرکز جمع‌آوری، تفکیک و بررسی، طبق سطح کیفی کالاها، عملیات تفکیک انجام می‌شود و درصد مشخصی از آن‌ها به مراکز بازتولید، بازیافت و مراکز دفن انتقال داده می‌شوند و یا به مراکز بازیابی انرژی جهت استفاده از آن‌ها باهدف تولید انرژی (به‌خصوص در صنایعی مانند تولید سیمان) فروخته می‌شود. کالاهایی که به مراکز بازتولید فرستاده می‌شوند معمولاً دارای سطح کیفی بالاتری نسبت به بقیه‌ی کالاها هستند و با یک عملیات تعمیری سطحی قابلیت این رادارند که دوباره به مصرف برسند. این کالاهای تعمیری به بازار ثانویه باقیمت پایین‌تری نسبت به کالاهای نو فروخته می‌شوند و اگر 3pl نتواند مقداری از تقاضای بازار ثانویه را برآورده کند، هزینه‌ی کمبود را به دنبال خواهد داشت. همچنین مقداری ضایعات که در فرایند تعمیر و بازتولید حاصل می‌شود به‌منظور بازیافت به مراکز بازیافت انتقال داده می‌شود. کالاهایی که به مراکز بازیافت فرستاده می‌شوند، روی آن‌ها عملیات بازیافت انجام‌شده و مواد حاصل از بازیافت، می‌تواند به‌عنوان مواد اولیه به مراکز تولیدی مرتبط(تایر) انتقال داده شود و یا می‌توان آن‌ها را به مصارف طرف سوم (صنایع دیگر مانند صنایع عمرانی، تولید کف‌پوش و...) فروخت. همچنین بخشی از ضایعات به وجود آمده در فرایند بازیافت نیز به مراکز دفن انتقال داده می‌شود.

آن بخش از مواد اولیه‌ای که به کارخانه‌های تولیدی منتقل می‌شوند علاوه بر اینکه موجب ایجاد درآمد برای 3pl است، باعث می‌شود کارخانه‌ی تولیدی باقیمتی کمتر

1– Third party logistics

از تأمین‌کننده‌های دیگر، بتواند مواد اولیه‌ی خود را تأمین کند. درنتیجه درصورتی‌که 3pl نتواند بخشی از مواد اولیه‌ی موردنیاز تولیدکننده را تأمین کند، هزینه‌ای به‌عنوان از دست دادن اعتبار به او تحمیل می‌شود. طبیعتاً بخشی از کالاهای فرسوده‌ی انتقال داده‌شده به مراکز جمع‌آوری از سطح کیفی لازم برای فرایندهای بازیافت یا بازتولید برخوردار نیستند و درنتیجه به مراکز دفن فرستاده می‌شوند. دیگر مفروضات مسئله به شرح زیر است:

(۱). به‌طور خلاصه در قراردادی که مابین 3pl و مشتریانش (تولیدکنندگان) تنظیم می‌شود، 3pl متعهد می‌شود که توزیع محصولات را در جریان مستقیم برای تولیدکنندگان در جهت تأمین تقاضای مشتریان آن‌ها انجام داده و تلاش کند کمبود تقاضا را به حداقل برساند، و همچنین با استفاده از این فرصت در جریان معکوس جمع-آوری کلیه‌ی محصولات بازگشتی از مشتریان و تأمین بخشی از مواد اولیه‌ی لازم برای تولید تایر در مراکز تولیدی را باقیمتی کمتر از سایر تأمین‌کننده‌ها بر عهده گیرد. سود حاصل از فروش محصولاتی که در زنجیره‌ی معکوس توسط انجام فرایندهای مختلف بر روی تایرهای فرسوده مانند فروش تایرهای بازتولید شده به بازار ثانویه، فروش تایرهای فرسوده به مراکز بازیابی انرژی و فروش مواد حاصل از بازیافت به مصارف طرف سوم، انجام می‌شود، به 3pl تعلق می‌گیرد.

(۲). مدل چند محصولی ست.

(۳). مکان‌های مشتریان اولیه و ثانویه معلوم و ثابت است.

(۴). مکان‌های بالقوه‌ی مراکز توزیع، مراکز جمع‌آوری و مراکز بازتولید تحت مالکیت 3pl معلوم هستند.

(۵). تعداد تسهیلاتی که می‌توانند فعال شوند محدود هستند.

(۶). ظرفیت مراکز توزیع، جمع‌آوری، بازتولید، بازیافت، دفن به‌صورت محدود در نظر گرفته‌شده است.

(۷). کمبود به‌صورت ازدست‌رفته برای مشتریان اولیه و ثانویه در نظر گرفته می‌شود.

(۸). مدل چند دوره‌ای است.

(۹). مقادیر بازگشتی تایرهای فرسوده به تقاضای تأمین‌شده‌ی مشتری اولیه در هر دوره بستگی دارد.

(۱۰). کیفیت محصولات تولیدی و بازتولیدی متفاوت است، درنتیجه قیمت فروش این محصولات نیز تفاوت دارد.

(۱۱). هزینه‌ی کمبود به مقدار و زمان کمبود بستگی دارد.

(۱۲). مشتریان اولیه مربوط به کارخانه‌های تحت قرارداد 3pl ها و بازار ثانویه، مراکز بازیابی انرژی و مصارف طرف سوم، مشتریانی مربوط به خود 3pl ها هستند.

(۱۳). دولت به ازای هر واحد تایر فرسوده‌ای که جمع‌آوری، بازیافت و بازتولید می‌شود یارانه می‌دهد.

(۱۴). ظرفیت مراکز بازیابی انرژی و همین‌طور مصارف طرف سوم محدود در نظر گرفته‌شده است.

(۱۵). موجودی باقیمانده در انتهای دوره‌ها و درنتیجه هزینه‌ی نگهداری در نظر گرفته نشده است.

در مدل ارائه‌شده تصمیماتی که گرفته می‌شود به شرح زیر است:

الف) مکان‌یابی انبارهای توزیع، مراکز جمع‌آوری، تفکیک و بررسی و مراکز بازتولید
ب) میزان جریان بین سطوح مختلف موجود در زنجیره
ج) میزان کمبود در تقاضای مشتریان اولیه و مشتریان ثانویه
د) میزان کالای فرسوده‌ی جمع‌آوری نشده توسط 3pl

همچنین، جنبه‌های پایداری در مدل به‌صورت زیر در نظر گرفته‌شده است:

*__اقتصادی:__ این جنبه به‌عنوان یک تابع هدف در مدل پیشنهادی مورد ملاحظه قرارگرفته است. به عبارت دقیق‌تر، این تابع هدف شامل سود حاصل از فروش تایرهای دست‌دوم به بازار ثانویه، سود حاصل از فروش تایرهای فرسوده به مراکز بازیابی انرژی، سود حاصل از فروش مواد حاصل از بازیافت به مصارف دیگر، سود حاصل از فروش مواد اولیه به کارخانه‌های تولیدی، یارانه دولت و حداقل کردن هزینه‌های زنجیره تأمین است.

*__اجتماعی:__ این جنبه به‌صورت حداکثر کردن اثرات اجتماعی در قالب تابع هدف دیگری در مدل در نظر گرفته‌شده است. به‌عبارت‌دیگر، این تابع هدف در پی حداکثر کردن عواملی شامل توسعه‌ی شغلی، توسعه‌ی محلی و حداقل کردن آسیب شغلی می‌باشد.

۳- مدل ریاضی پیشنهادی

قبل از ارائه‌ی مدل پیشنهادی، مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیمی که در مدل به‌کاررفته است، به‌صورت زیر عنوان خواهد شد:

۳-۱- مجموعه‌ها

D	مجموعه مکان‌های بالقوه‌ی مراکز توزیع
C	مجموعه مشتریان اولیه
A	مجموعه مکان‌های بالقوه‌ی مراکز جمع‌آوری، تفکیک و بررسی
Q	مجموعه مکان‌های بالقوه‌ی مراکز بازتولید
P	مجموعه مکان‌های دفع
T	تعداد دوره‌ها
H	مجموعه‌ی سطوح ظرفیتی در دسترس برای مکان‌های بالقوه
M	مجموعه محصولات
R	مجموعه مراکز بازیافت
B	مجموعه مصارف طرف سوم
E	مجموعه مراکز بازیابی انرژی
G	مجموعه مشتریان ثانویه

۳-۲- پارامترها

D_{cmt}	تقاضای مشتری اولیه c برای محصول m در دوره‌ی t
D_{gmt}	تقاضای مشتری ثانویه g برای محصول m در دوره‌ی t
Rev_{ct}	درآمد 3pl به ازای توزیع و تحویل هر واحد کالا به مشتری اولیه‌ی c در دوره‌ی t
$Price_{mt}$	قیمت هر واحد محصول دست‌دوم m در دوره‌ی t
$Price'_{et}$	قیمت هر واحد وزنی تایر فرسوده برای فروش به مراکز بازیابی انرژی در دوره‌ی t
$Price''_{bt}$	قیمت هر واحد وزنی از مواد حاصل از بازیافت برای فروش به مصارف طرف سوم در دوره‌ی t
price	قیمت هر واحد وزنی مواد اولیه خریداری‌شده از تأمین‌کننده‌های دیگر
F_{ih}	هزینه‌ی ثابت احداث تسهیل i با سطح ظرفیتی h
DS_{ij}	فاصله‌ی بین هر دو مکان i و j
FC_t	ظرفیت تولیدی برحسب ساعت کارخانه تولیدی در دوره‌ی t
RFC_{qt}	ظرفیت تولید مجدد برحسب ساعت کارخانه‌ی q در دوره‌ی t
RDC_{rt}	ظرفیت بازیافت برحسب ساعت کارخانه بازیافت در دوره‌ی t
DC_{dh}	ظرفیت مرکز توزیع d با سطح ظرفیت h در دوره‌ی t
AC_{ah}	ظرفیت مرکز جمع‌آوری a با سطح ظرفیتی h در دوره‌ی t
RC_{qh}	ظرفیت مرکز بازتولید q با سطح ظرفیتی h در دوره‌ی t
REC_r	ظرفیت مرکز بازیافت r
PC_p	ظرفیت مرکز دفن p
QFC_{qmt}	هزینه‌ی تولید مجدد هر واحد محصول m توسط مرکز q در دوره‌ی t
$RFCO_{rt}$	هزینه‌ی بازیافت هر واحد وزنی توسط مرکز r در دوره‌ی t
DAC_{amt}	هزینه‌ی آزمایش و بازرسی هر واحد محصول m جمع‌آوری‌شده توسط مرکز جمع‌آوری a در دوره‌ی t
PCO_{pt}	هزینه‌ی دفن هر واحد وزنی در مرکز p در دوره‌ی t
SC_{mt}	هزینه‌ی سفارش ازدست‌رفته هر واحد محصول m در دوره‌ی t
FH_m	زمان تولید هر واحد محصول m برحسب ساعت در کارخانه
RFH_{qm}	زمان تولید مجدد هر واحد محصول m برحسب ساعت در کارخانه‌ی بازتولید q

RDH_{rm}	زمان بازیافت هر واحد محصول m برحسب ساعت در کارخانه‌ی r
TC	هزینه‌ی حمل‌ونقل در هر واحد مسافت
RR_m	نرخ بازگشت محصول m
RRm_m	نرخ تولید مجدد محصول m
RRc_m	نرخ بازیافت محصول m
RRp_m	نرخ دفن محصول m
RRe_m	نرخ فروش تایرهای فرسوده‌ی m به مراکز بازیابی انرژی e
Ps_{cmt}	جریمه عدم جمع‌آوری محصول m از مشتری c در دوره‌ی t
Ca_m^{gov}	یارانه دولت به ازای جمع‌آوری هر واحد تایر فرسوده نوع m
Cr_m^{gov}	یارانه دولت به ازای بازیافت هر واحد تایر فرسوده نوع m
Cq_m^{gov}	یارانه دولت به ازای بازتولید هر واحد تایر فرسوده نوع m
W_m	وزن تایر نوع m
C_b	ظرفیت مصارف طرف سوم b
C_e	ظرفیت مرکز بازیابی انرژی e
Cf	ظرفیت تولیدکننده
Em_i	امتیاز اشتغال احداث تسهیل i
Ld_i	امتیاز توسعه‌ی محلی احداث تسهیل i
Dm_i	امتیاز آسیب شغلی احداث تسهیل i
W_1	وزن نرمالیزه شده برای معیار اشتغال
W_2	وزن نرمالیزه شده برای معیار توسعه محلی
W_3	وزن نرمالیزه شده برای معیار آسیب شغلی
W_3	وزن نرمالیزه شده برای معیار آسیب شغلی

۳-۳- متغیرهای تصمیم

XQ_{qh}	متغیر باینری برابر با یک اگر مرکز بازتولید q با سطح ظرفیتی h احداث شود و در غیر این صورت صفر
XA_{ah}	متغیر باینری برابر با یک اگر مرکز جمع‌آوری a با سطح ظرفیتی h احداث شود و در غیر این صورت صفر
XD_{dh}	متغیر باینری برابر با یک اگر مرکز توزیع d با سطح ظرفیتی h احداث شود و در غیر این صورت صفر
Q_{ijmt}	جریان انباشته‌های محصول m از مکان i به مکان j در دوره‌ی t
Q_{ijt}	جریان وزنی از مکان i به مکان j در دوره‌ی t
SD_{cmt}	مقدار کمبود محصول m در دوره‌ی t برای مشتری c
SG_{gmt}	مقدار کمبود محصول m در دوره‌ی t برای مشتری ثانویه g

۳-۴- تابع هدف

در رابطه‌ی (۱) هدف بیشینه کردن سود است. در این مدل سود شامل درآمد حاصل از قرارداد مابین 3pl و تولیدکننده مبنی بر توزیع کالا به مشتری اولیه، فروش کالاهای دست‌دوم به بازار ثانویه، فروش کالاهای فرسوده به مراکز بازیابی انرژی، فروش مواد حاصل از بازیافت به مصارف طرف سوم و همچنین فروش مواد اولیه به کارخانه‌های تولیدی مربوط به زنجیره، یارانه‌ای که دولت در ازای جمع‌آوری هر واحد کالای فرسوده، بازیافت هر واحد ضایعات و بازتولید هر واحد کالای فرسوده به 3pl می‌دهد، است. هزینه‌های موجود نیز متشکل است از: هزینه‌ی احداث تسهیلات

$$
\begin{aligned}
\text{Max } Z_1 = \;& \sum_{q,g,m,t} Q_{dcmt}.\text{Rev}_{ct} + \sum_{q,g,m,t} Q_{qgmt}.\text{price}_{mt} \\
& + \sum_{a,e,m,t} Q_{aemt}.\text{price}_{et} + \sum_{r,b,t} Q_{rbt}.\text{price}_{bt} \\
& + \sum_{r,f,t} Q_{rft}.\text{price}.0.3 + \sum_{c,a,m,t} CA_m^{gov}.Q_{camt} \\
& + \sum_{a,r,m,t} CR^{gov}.(Q_{armt}.w_m + Q_{qrt}) \\
& + \sum_{q,a,m,t} CQ_m^{gov}.Q_{aqmt} \\
& - \left[\begin{array}{l}
\sum_{d,h} F_{dh}.XD_{dh} + \sum_{a,h} F_{ah}.XA_{ah} \\
+ \sum_{q,h} F_{qh}.XQ_{qh} + \sum_{c,m,t} SC_{mt}.SD_{cmt} \\
+ \sum_{g,m,t} SC_{mt}.SG_{gmt} \\
+ \sum_{c,a,m,t} Q_{camt}.DAC_{amt} \\
+ \sum_{a,q,m,t} Q_{aqmt}.RFCO_{qmt} \\
+ (\sum_{a,r,m,t} Q_{armt}.w_m.RPC_{rt} \\
+ \sum_{q,r,t} Q_{qrt}.RPC_{rt}) \\
+ (\sum_{a,p,m,t} Q_{apmt}.w_m.PCO_{pt} \\
+ \sum_{r,p,t} Q_{rpt}.PCO_{pt})
\end{array} \right. \qquad (۱)
\end{aligned}
$$

اعم از مراکز توزیع، جمع‌آوری و بازتولید، هزینه‌های کمبود مربوط به تقاضای مشتریان اولیه و ثانویه، هزینه‌ی تفکیک و بررسی در مراکز جمع‌آوری، هزینه‌ی فرایند بازتولید در مراکز بازتولید، هزینه‌ی فرایند بازیافت در مراکز بازیافت، هزینه‌ی دفن ضایعات در مراکز دفن، هزینه‌های حمل‌ونقل بین تسهیلات مختلف، جریمه‌ی حاصل از عدم جمع‌آوری بخشی از کالاهای فرسوده و همچنین جریمه‌ی حاصل از عدم تأمین بخشی از مواد اولیه برای کارخانه‌ی تولیدی مرتبط.

$$
\left[\begin{array}{l}
+ \sum_{f,d,m,t} Q_{fdmt}.TC.DS_{fd} \\
+ \sum_{a,q,m,t} Q_{aqmt}.TC.DS_{aq} \\
+ \sum_{a,p,m,t} Q_{apmt}.TC.DS_{ap} \\
+ \sum_{c,a,m,t} Q_{camt}.TC.DS_{ca} \\
+ \sum_{q,g,m,t} Q_{qgmt}.TC.DS_{qg} \\
+ \sum_{q,r,m,t} Q_{qrt}.TC.DS_{qr} \\
+ \sum_{r,p,m,t} Q_{rpt}.TC.DS_{rp} \\
+ \sum_{d,c,m,t} Q_{dcmt}.TC.DS_{dc} \\
+ \sum_{a,r,m,t} Q_{armt}.TC_m.DS_{ar} \\
+ \sum_{r,f,t} Q_{rft}.TC.DS_{rf} \\
+ \sum_{c,m,t} V_{cmt}.Ps_{cmt} + \text{of.price}
\end{array} \right]
$$

$$
\begin{aligned}
\text{Max } Z_2 = \;& w_1.(Em_q.XQ_q + Em_a.XA_a + Em_d.XD_d) \\
& + w_2.(Ld_q.XQ_q + Ld_a.XA_a + Ld_d.XD_d) \qquad (۲) \\
& - w_3.(Dm_q.XQ_q + Dm_a.XA_a + Dm_d.XD_d)
\end{aligned}
$$

در رابطه‌ی (۲) هدف بیشینه کردن ابعاد اجتماعی مدل است که عواملی شامل توسعه‌ی شغلی، توسعه‌ی محلی و آسیب شغلی را در برمی‌گیرد. به این صورت که هر کدام از مکان‌های بالقوه برای احداث تسهیلات توزیع، جمع‌آوری و بازتولید از نظر سه عاملی که ذکر شد دارای امتیازی هستند که اگر در آن مکان تسهیل مربوطه فعال شود آن امتیاز فعال می‌شود. در آخر به هر کدام از این عوامل وزنی تعلق می‌گیرد.

۳-۵- محدودیت‌ها

$$\sum_{a} Q_{camt} + V_{cmt} = (\sum_{d} Q_{dcmt}).RR_m \quad \forall c,m,t \quad (۳)$$

$$\sum_{c} Q_{camt} = \sum_{r} Q_{armt} + \sum_{q} Q_{aqmt} + \sum_{p} Q_{apmt} + \sum_{e} Q_{aemt} \quad \forall a,m,t \quad (۴)$$

$$\sum_{c} Q_{camt}.RRM_m = \sum_{q} Q_{aqmt} \quad \forall a,m,t \quad (۵)$$

$$\sum_{c} Q_{camt}.RRC_m = \sum_{r} Q_{armt} \quad \forall a,m,t \quad (۶)$$

$$\sum_{c} Q_{camt}.RRP_m = \sum_{p} Q_{apmt} \quad \forall a,m,t \quad (۷)$$

$$(\sum_{c} Q_{camt}).(1 - RRM_m - RRC_m - RRP_m) = \sum_{e} Q_{aemt} \quad \forall a,m,t \quad (۸)$$

$$\sum_{a} Q_{aqmt}.W_m = \sum_{r} Q_{qrt} + \sum_{g} Q_{qgmt}.W_m \quad \forall q,m,t \quad (۹)$$

$$\sum_{a} Q_{armt}.W_m + \sum_{q} Q_{qrt} = \sum_{f} Q_{rft} + \sum_{p} Q_{rpt} + \sum_{r} Q_{rbt} \quad \forall r,m,t \quad (۱۰)$$

$$\sum_{c} Q_{camt}.RRP_m = \sum_{p} Q_{apmt} \quad \forall a,m,t \quad (۱۱)$$

$$\sum_{r} Q_{rft}.S + of.S \geq \sum_{d,m} Q_{fdmt} \quad \forall f,t \quad (۱۲)$$

$$\sum_{d} Q_{dcmt} + SD_{cmt} = D_{cmt} \quad \forall c,m,t \quad (۱۳)$$

$$\sum_{q} Q_{qgmt} + SG_{gmt} = D_{gmt} \quad \forall g,m,t \quad (۱۴)$$

$$\sum_{d,m} Q_{fdmt}.FH_{fm} \leq FC_{ft} \quad \forall f,t \quad (۱۵)$$

$$\sum_{a,m} Q_{aqmt}.RFH_{qm} \leq RFC_{qt} \quad \forall q,t \quad (۱۶)$$

$$\sum_{a,m,q} (Q_{armt}.w_m + Q_{qrt}). RDH_r \leq RDC_{rt} \quad \forall r,t \quad (۱۷)$$

$$\sum_{f,m} Q_{fdmt} \leq \sum_{h} DC_{dh}.XD_{dh} \quad \forall d,t \quad (۱۸)$$

$$\sum_{r} Q_{rft} + of \leq C_f \quad \forall f,t \quad (۱۹)$$

$$\sum_{c,m} Q_{camt} \leq \sum_{h} AC_{ah}.XA_{ah} \quad \forall a,t \quad (۲۰)$$

$$\sum_{a,m} Q_{aqmt} \leq \sum_{h} RC_{qh}.X_{qh} \quad \forall q,t \quad (۲۱)$$

$$\sum_{a,m} Q_{armt}.w_m + \sum_{q} Q_{qrt} \leq REC_r \quad \forall r,t \quad (۲۲)$$

$$\sum_{a,m} Q_{apmt}.w_m + \sum_{r} Q_{rpt} \leq PC_p \quad \forall p,t \quad (۲۳)$$

$$\sum_{t} Q_{rbt} \leq C_b \quad \forall r,b \quad (۲۴)$$

$$\sum_{m,t} Q_{aemt} \leq C_e \quad \forall a,e \quad (۲۵)$$

$$\sum_{d,h} XD_{dh} \leq D \quad (۲۶)$$

$$\sum_{a,h} XA_{ah} \leq A \quad (۲۷)$$

$$\sum_{q,h} X_{qh} \leq Q \quad (۲۸)$$

$$\sum_{h} XD_{dh} \leq 1 \quad \forall d \quad (۲۹)$$

$$\sum_{h} XA_{ah} \leq 1 \quad \forall a \quad (۳۰)$$

$$\sum_{h} X_{qh} \leq 1 \quad \forall q \quad (۳۱)$$

$$XQ_{qh} \quad , \quad XA_{ah}, XD_{dh} \in \{۰و۱\} \quad (۳۲)$$

$$Q_{ijmt} \geq ۰ \ , of \ , V_{cmt} \ , SG_{gmt} \ , SD_{cmt} \ , Q_{ijt} \ , \quad (۳۳)$$

رابطه‌های (۳) تا (۱۲) محدودیت‌های تعادلی موجود در زنجیره هستند. رابطه‌ی (۴) بیان می‌کند که مشتریان تمایل دارند نرخ مشخصی از تقاضایی که به دستشان رسیده را به زنجیره برگرداند، از این مقدار بخشی که توسط 3pl جمع‌آوری‌شده، به مراکز جمع‌آوری انتقال داده می‌شود و بخش دیگر جمع‌آوری نمی‌شود. رابطه‌ی (۵) بیان می‌کند که کل کالاهای فرسوده‌ای که جمع‌آوری‌شده و به هر مرکز جمع‌آوری منتقل می‌شود برابر است با جریان از این مرکز به تسهیلات مختلف شامل جریان به سمت مرکز بازتولید، بازیافت، دفن و بازیابی انرژی. نرخ جریان به سمت این مراکز را در روابط (۶) تا (۹) می‌توان دید. محدودیت‌های (۱۳) و (۱۴) محدودیت‌های تقاضا به ترتیب مربوط به مشتریان اولیه و مشتریان ثانویه هستند. هر واحدی که در مراکز تولید، بازتولید و بازیافت روی آن پردازشی انجام می‌شود، بخشی از ظرفیت آن مرکز را ازلحاظ زمانی درگیر می‌کند. درنتیجه کل زمان پردازش روی کالاها باید از ظرفیت ساعتی کل مرکز موردنظر کمتر باشد. روابط (۱۵) تا (۱۷) به ترتیب نشان‌دهنده‌ی این محدودیت‌ها به ترتیب در رابطه با مراکز تولید، بازتولید و بازیافت هستند. روابط (۱۹) تا (۲۵) محدودیت‌های مربوط به ظرفیت تسهیلات مختلف را نشان می‌دهد. محدودیت‌های (۲۶) تا (۲۸) تضمین می‌کنند که تعداد تسهیلات احداث‌شده شامل مراکز توزیع، جمع‌آوری و بازتولید، از تعداد مشخص‌شده در قسمت پارامترها بیشتر نباشد، همچنین در روابط (۲۹) تا (۳۱) مشاهده می‌شود که هر تسهیل باید فقط با یک سطح ظرفیتی احداث شود. در روابط (۳۲) و (۳۳) متغیرهای مثبت و صفر و یک مشخص‌شده‌اند.

۳-۶- روش محدودیت اپسیلون تقویت‌شده

در مسائل چند تابع هدفه با توابع متضاد، امکان اینکه جوابی به دست آید که همه‌ی توابع را به‌طور هم‌زمان بهینه کند، وجود ندارد. در چنین مسائلی، تمرکز بر روی جواب‌های پارتویی است. به‌عبارت‌دیگر، جواب‌هایی که هیچ‌کدام از توابع را بهبود نمی‌دهد بدون اینکه حداقل یکی از توابع بدتر شود. روش‌های متفاوتی برای حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه مانند روش وزن دهی، روش برنامه‌ریزی آرمانی و... وجود دارد، ولی به دلایل مختلف اعم از عدم دسترسی به وزن‌هایی که توسط تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شود و یا عدم دسترسی به آرمان‌ها و... این روش‌ها کارایی لازم را ندارند. درنتیجه در این مقاله از روش محدودیت اپسیلون تقویت‌شده برای حل مدل استفاده‌شده است. ماوروتاس و همکاران [۱۹] برای اولین بار روش محدودیت اپسیلون تقویت‌شده را برای مسائلی با توابع هدف چندگانه مطرح کردند. در این روش سعی شده تا مشکلات روش اپسیلون معمولی حل شود. از مزیت‌های این روش می‌توان گفت که در این روش لازم نیست تا توابع هدف مختلف را هم‌جنس کنیم و هرچقدر هم‌جنس توابع هدف با یکدیگر تفاوت داشته باشد این روش جواب بهینه می‌دهد. همچنین با تغییر مقادیر اپسیلون می‌توان فضاهای مختلف جدیدی را در فضای حل مدل ایجاد کرد و جواب‌های پارتویی متنوعی به وجود آورد و درنهایت آنالیز حساسیت کرد. رویکرد این روش این است که در شرایطی که مسئله جواب چندگانه می‌دهد، از این جواب‌ها فاصله بگیریم. در این روش مدل به شکل زیر تبدیل می‌شود:

$$
\begin{aligned}
&\max f1_x + eps.(s_1 + s_2 + ... + s_p)\\
&s.t: f2_x - s_2 = \varepsilon_2\\
&\quad f3_x - s_3 = \varepsilon_3\\
&\quad .\\
&\quad .\\
&\quad fp_x - s_p = \varepsilon_p\\
&\quad x \in s
\end{aligned}
$$

که در این روابط eps یک عدد ثابت کوچک بین ($۱۰^{-۳}$) تا ($۱۰^{-۶}$) است که به جهت از بین بردن واحدها استفاده می‌شود. همچنین s_p ها متغیرهای کمبود یا مازاد با مقداری مثبت هستند. در این مقاله، مدل ذکرشده را به روش محدودیت اپسیلون تقویت‌شده حل می‌کنیم.

۴-مطالعه موردی

در این بخش زنجیره‌ی تأمین یکی از تولیدکننده‌های تایر در ایران در نظر گرفته‌شده است که دو نوع تایر به‌خصوص را تولید می‌کند و بخشی از فعالیت‌های خود از لجستیک مستقیم و معکوس را برون‌سپاری می‌کند. جامعه‌ی موردنظر از مشتریان، نقاط دریافت و یا نقاط تقاضا در این پژوهش، شهر تهران است.

شرکت 3pl موردنظر در این مطالعه‌ی موردی، طبق قراردادی با مشتری خود (تولیدکننده) مسئولیت توزیع کالاهای تولیدی را در جریان مستقیم به عهده گرفته، همچنین با استفاده از این فرصت، جریان معکوس تایرهای فرسوده شامل بازیافت، بازتولید و.... را نیز بر عهده می‌گیرد و همچنین مواد اولیه‌ی ارزان‌تر که توسط فرایند بازیافت حاصل می‌شود را برای تولیدکننده فراهم کند. همچنین 3pl از طریق راه‌اندازی فرایندهای بازیابی یا فروش تایرهای فرسوده نیز کسب درآمد می‌کند. اطلاعات مربوط به تولیدکننده، 3pl ، مکان‌های کاندید برای احداث تسهیلات و سایر اطلاعات موردنیاز در این مطالعه‌ی موردی از طریق شرکت‌ها، سایت‌های مرتبط و به‌وسیله‌ی پرس‌وجو از افراد خبره در این صنعت به‌دست‌آمده است. درنتیجه مکان سطح‌هایی مانند مراکز بازیافت و دفن در مدل کاملاً مشخص است و نیاز به مکان‌یابی ندارد. همچنین مراکز بازیابی انرژی و مصارف طرف سوم در نظر گرفته‌شده در مدل در جدول (۱) قابل‌مشاهده است.

جدول(۱): مراکز بازیافت، دفن، بازیابی انرژی و مصارف طرف سوم

مراکز بازیافت	مراکز دفن
ورامین	کهریزک
مشهد	آبعلی
مراکز بازیابی انرژی	
کارخانه سیمان (شهرری)	
کارخانه سیمان (ساوه)	
کارخانه سیمان (آبعلی)	
مصارف طرف سوم	
کارخانه آسفالت (پاکدشت)	
کارخانه آسفالت (دماوند)	
کارخانه کف‌پوش (رباط‌کریم)	

سطح‌های بعدی شامل مراکز توزیع، جمع‌آوری و بازتولید توسط مدل مکان‌یابی می‌شوند. با توجه به اینکه نقاط تقاضا در شهر تهران هستند، برای دستیابی به مکان‌های مناسب احداث هرکدام از تسهیلات در تهران، (۳) مکان بالقوه برای مراکز توزیع، (۳) مکان برای مراکز جمع‌آوری و دو مکان برای مراکز بازتولید، که هرکدام قابلیت احداث با دو سطح ظرفیتی دارند، طبق شکل (۲) در نظر گرفته‌شده است.

مکان (۱۶) نقطه‌ی تقاضا و دریافت در شهر تهران که هرکدام تقاضای معینی دارند و همچنین مکان آن‌ها از قبل مشخص‌شده نیز به شکل (۳) روی نقشه مشخص‌شده است.

به دلیل اینکه یکی از توابع هدف مدل، شامل عوامل اجتماعی است، با کمک گرفتن ازنظر خبرگان اجتماعی و شاغلین در صنعت تایر می‌توان وزن هر کدامیک از عوامل توسعه‌ی شغلی، توسعه‌ی محلی و آسیب شغلی را چنین تعیین کرد:

جدول (۲)- ضریب عوامل اجتماعی در تابع هدف دوم

توسعه‌ی شغلی
W_1=۰/۵
توسعه‌ی محلی
W_2=۰.۳
آسیب شغلی
W_3=۰.۲

از بین کل سطوح شبکه، آن تسهیلاتی که مدل در پی مکان‌یابی آن‌ها است، هرکدام دارای ظرفیت، هزینه‌ی احداث و دارای امتیازهای ابعاد اجتماعی مشخص هستند. ظرفیت تسهیلاتی که در مدل معلوم هستند نیز در دسترس است.

نرخ برگشت تایرهای فرسوده از سوی نقاط دریافت، نرخ تایرهای مناسب برای فرآیندهای دفن، بازیافت، بازتولید و بازیابی انرژی که از تحقیق و مصاحبه با سازمان مدیریت پسماند شهرداری تهران، انجمن بازیافت ایران، صاحب‌نظران و مدیران این صنعت و طبق آمار به‌دست‌آمده، و در مدل استفاده‌شده در جدول (۳) قابل‌مشاهده است:

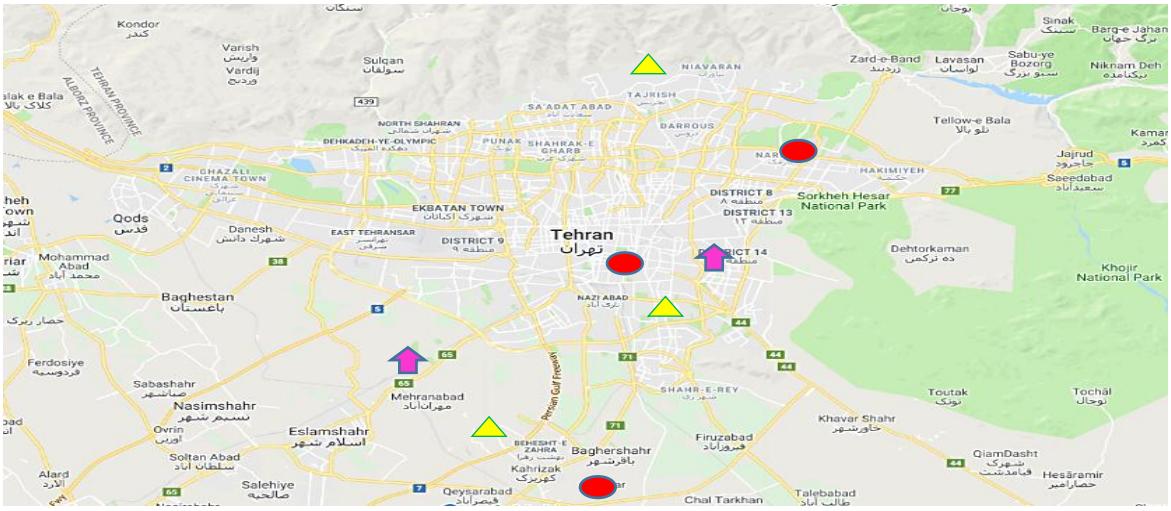
جدول (۳): نرخ‌های مفروض در مدل

	t_1	t_2
نرخ بازگشت کالای فرسوده	۰.۸	۰.۹
نرخ بازتولید	۰.۶	۰.۷
نرخ بازیافت	۰.۳	۰.۲۵
نرخ دفن	۰.۰۵	۰
نرخ فروش به بازیابی انرژی	۰.۰۵	۰.۰۵

اما به‌منظور حصول اطمینان در مدل این نرخ‌ها به‌صورت بازه در نظر گرفته‌شده است:

جدول (۴): نرخ‌های مفروض در مدل به‌صورت بازه‌ای

	t_1	t_2
نرخ بازگشت کالای فرسوده	(۰.۷و۰.۸)	(۰.۸و۰.۹)
نرخ بازتولید	(۰.۶و۰.۷)	(۰.۷و۰.۸)
نرخ بازیافت	(۰.۳و۰.۴)	(۰.۲و۰.۳)
نرخ دفن	(۰و۰.۱)	(۰و۰.۱)
نرخ فروش به بازیابی انرژی	(۰و۰.۱)	(۰و۰.۱)



شکل (۲): مطالعه موردی- مراکز بالقوه

شکل (۳): مطالعه موردی- مکان‌های مشتریان

۵- ارزیابی و پیاده‌سازی مطالعه موردی

همان‌طور که گفته شد، این مدل با داده‌های ذکرشده با روش محدودیت اپسیلون تقویت‌شده در بالاترین حد اپسیلون به‌وسیله‌ی نرم‌افزار گمز[1] حل، و نتایج آن بررسی شد. ضمناً، همه‌ی آزمایش‌های تجربی با استفاده از یک لپ تا با مشخصات Intel Core i7 CPU، 2.5 GHz و 4GB رم انجام گرفت. نتایج پس از حل به شرح جدول (۵) است:

جدول (۵): نتایج حل

	t_1	t_2
احداث مرکز توزیع	$XA_{2,2}$	
احداث مرکز جمع‌آوری	$XD_{2,1}$	
احداث مرکز بازتولید	$XQ_{2,1}$	
جریان از تولیدکننده به توزیع	۵۹۱۲۰	۵۶۲۸۹
جریان از مرکز توزیع به مشتری	۵۹۱۲۰	۵۶۲۸۹
جریان از مشتری به مرکز جمع‌آوری	۲۶۲۲	۳۵۱۹
جریان از جمع‌آوری به دفن	۱۳۰	۱۷۵
جریان از جمع‌آوری به بازیافت	۴۶۲	۶۲۰
جریان از جمع‌آوری به بازتولید	۱۸۳۶	۲۴۶۳
جریان از جمع‌آوری به بازیابی انرژی	۱۹۲	۲۵۸
جریان از بازتولید به مشتری	۱۶۹۲	۱۷۱۰
جریان از بازیافت به تولیدکننده	۴۰۰	۹۰۰
جریان از بازیافت به مصارف طرف سوم	۵۶۰	۰
کمبود مشتری اولیه	۰	۰
کمبود مشتری ثانویه	۱۱۵	۳۰۰
تابع هدف	۱۷۰۴۰۰۰۰۰۰۰	

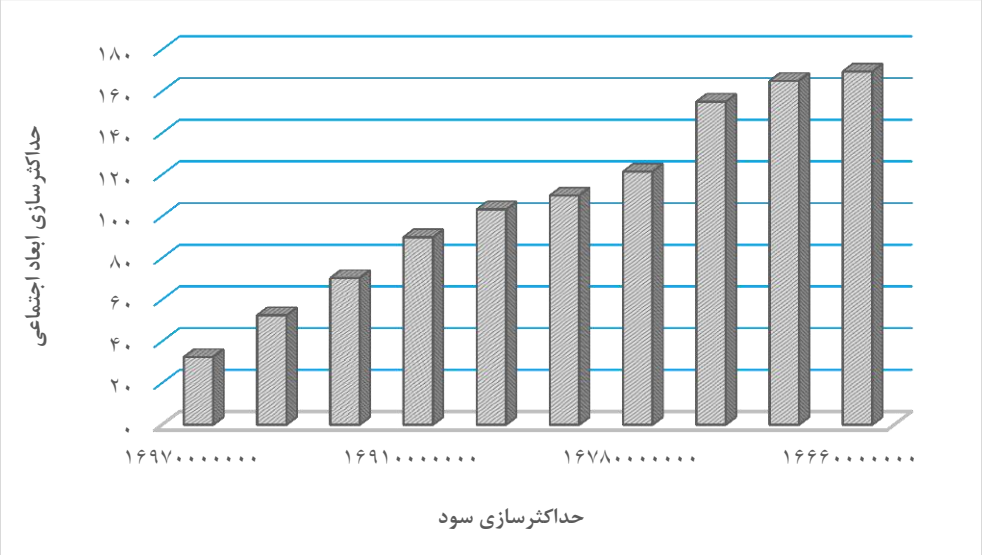
یکی از بخش‌های مهم در زنجیره‌ی موردبررسی، تأمین مواد اولیه برای تأمین‌کننده از کارخانه‌ی بازیافت مربوط به خود زنجیره است. به دلیل اینکه برای تولیدکننده هزینه‌ی تأمین مواد اولیه از کارخانه‌ی بازیافت بسیار کمتر از هزینه‌ی تأمین مواد اولیه از تأمین‌کننده‌های دیگر است. به‌علاوه پس از حل مدل مشاهده شد که تأمین تقاضای بازار ثانویه که یکی از اهداف اصلی 3pl برای کسب درآمد است، طبق جدول (۵) در کمترین مقدار کمبود قرار دارد. و این نتیجه‌ی مهمی برای این مدل به‌حساب می‌آید، به دلیل اینکه تایرهای دست‌دوم و تعمیر شده، قیمت پایین‌تری نسبت به تایرهای نو دارند و درنتیجه تمایل مشتریان به این‌گونه تایرها زیاد است. همچنین به دلیل اینکه توزیع و تأمین تقاضای مشتریان اولیه نیز برون‌سپاری شد و بر عهده‌ی 3pl قرار گرفت، کمبود به مقدار صفر رسید. این نتیجه نشان‌دهنده‌ی تأثیر مهم استفاده از 3pl ها و برون‌سپاری بخشی از فعالیت‌های لجستیکی آن است..

۵-۱- تعارض بین توابع هدف

در مدل پیشنهادی دو تابع هدف معرفی گردید، در تابع هدف اول سعی شد که سود شرکت لجستیک طرف سوم بیشینه و در تابع هدف دوم اثرات اجتماعی شبکه حداکثر شود که باعث حداکثر شدن توسعه‌ی شغلی و محلی در مکان احداث تسهیلات و حداقل شدن آسیب شغلی در آن‌هاست. همان‌طور که در شکل (۴) که با استفاده از اپسیلون‌های مختلف رسم شده، مشاهده می‌شود، تابع هدف اول (حداکثر سازی سود) و تابع هدف دوم (حداکثر سازی ابعاد اجتماعی) در تعارض با یکدیگر هستند.

در مورد تعارض این دو تابع هدف می‌توان گفت که تابع هدف سود، به‌منظور حداکثر سازی سعی در کاهش هزینه‌های احداث تسهیلات مختلف دارد، اما تابع هدف اجتماعی به دلیل اینکه تمایل دارد اثرات اجتماعی را حداکثر کند، سعی دارد تسهیلات بیشتری را احداث کند. هنگامی‌که در تابع هدف اول تسهیلات کمتری فعال شود، مقدار تابع هدف دوم که شامل اشتغال و توسعه‌ی محلی ناشی از احداث تسهیلات است، کاهش میابد و برعکس اگر در تابع هدف دوم تسهیلات بیشتری فعال شود، تابع هدف اول کاهش میابد. در حالت کلی این تعارض به این دلیل است که مدل‌های لجستیکی به دنبال بیشینه کردن اشتغال و توسعه در محل‌هایی هستند که کمتر پیشرفت و توسعه داشته‌اند و فنّاوری و امکانات ضعیفی دارند و بالطبع در این مکان‌ها هزینه‌های احداث تسهیلات بالاتر هستند.

1- GAMS



شکل (۴):نمودار تعارض بین توابع هدف

۶- بررسی صحت سنجی، تحلیل حساسیت و پیچیدگی مدل

۶-۱- صحت سنجی

در این بخش به‌منظور اعتبار و صحت سنجی، احداث مراکز بازتولید که به‌منظور استفاده از تایرهای فرسوده در جهت مفید و همچنین تأمین تقاضای بازار ثانویه، در مدل این پژوهش، موردبررسی قرار گرفت و مکان و ظرفیت بهینه‌ی آن تعیین شد، از مدل حذف شد و مدلی بدون مکان‌یابی مراکز بازتولید در نظر گرفته شد. نتایج و همچنین مقدار تابع هدف بررسی شد، تابع هدف به شرح جدول (۶) است.

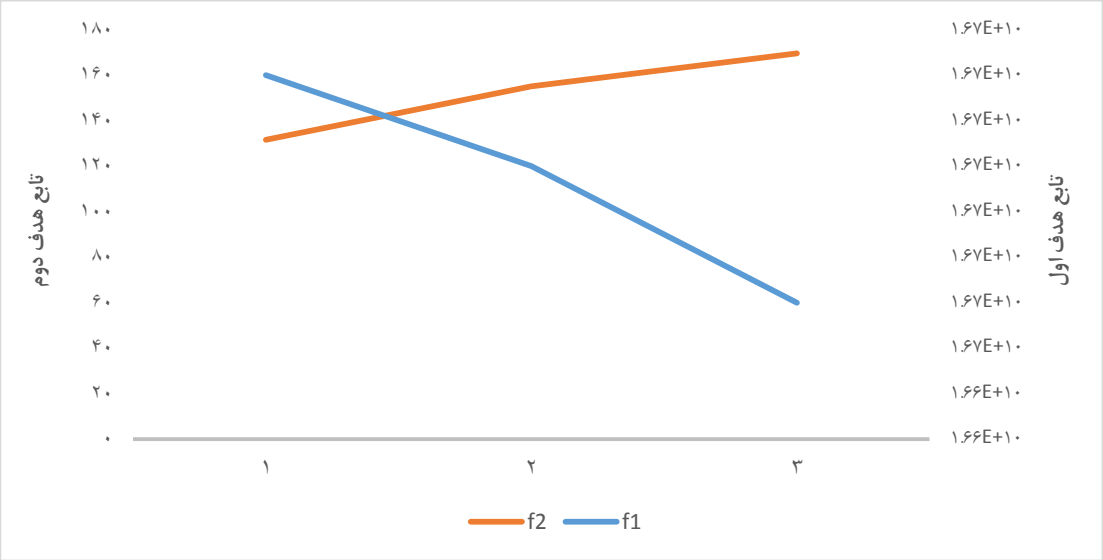
جدول (۶)- صحت سنجی

تابع هدف مدل با مکان‌یابی مراکز بازتولید	تابع هدف بدون مکان‌یابی مراکز بازتولید
۱۷۰۴۰۰۰۰۰۰۰	-۱۳۹۰۰۰۰۰۰۰

همین‌طور که در جدول (۶) دیده می‌شود با حذف مراکز بازتولید، باوجوداینکه هزینه‌های احداث از تابع هدف حذف‌شده است ولی هزینه‌ی کمبود تقاضای بازار ثانویه، سود حاصل از یارانه‌هایی که دولت به‌منظور بازتولید برای زنجیره قائل می‌شد و همچنین امتیازهای اجتماعی حاصل از احداث مراکز بازتولید، به‌گونه‌ای بود که تابع هدف به مقداری منفی تبدیل شد. درنتیجه با مقایسه‌ی مقدار تابع هدف اصلی با تابع هدف جدید، می‌توان نتیجه گرفت که مدل از اعتبار بالایی برخوردار است.

۶-۲- تحلیل حساسیت ناشی از تغییر تعداد مراکز جمع‌آوری، تفکیک و بررسی

شکل (۵) نشان‌دهنده‌ی تحلیل حساسیت مقدار پارامتر تعداد مکان‌های بالقوه برای احداث مراکز جمع‌آوری، تحت تابع هدف اول و دوم در بالاترین حد اپسیلون است. برای این منظور تعداد مراکز جمع‌آوری را از تعداد یک به سه افزایش داده‌ایم. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت در نمودار قابل‌مشاهده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش تعداد مراکز جمع‌آوری که می‌تواند احداث شود، تابع هدف اول کاهش و تابع هدف دوم افزایش داشته است. دلیل این امر این است که هرچه تعداد تسهیلات بیشتری احداث شود، هزینه‌ی احداث بیشتری به مدل تحمیل می‌شود و درنتیجه تابع هدف اول که سود است کاهش میابد، اما در تابع هدف دوم هرچه تسهیلات بیشتری فعال شود، ابعاد اجتماعی بیشتری فعال می‌شود، درنتیجه در حال افزایش است.



شکل (۵): نمودار تحلیل حساسیت

۶-۳- پیچیدگی مدل

پیچیدگی و زمان لازم برای حل مدل به فاکتورهای متفاوتی بستگی دارد. فاکتورهای کلیدی مهمی که می‌تواند در پیچیدگی این مدل نقش داشته باشد، تعداد دوره‌های زمانی و همچنین تعداد تسهیلات ممکن برای احداث است. در مدل پیشنهادی با داده‌های تصادفی تولیدشده، و با افزایش موارد ذکرشده در نرم‌افزار گمز[1] زمان حل بررسی شد. نتایج پیچیدگی به شرح جدول (۷) است:

جدول (۷): پیچیدگی حل

تعداد دوره‌ها و تسهیلات	۱	۲۰	۵۰	۱۰۰
زمان حل	۰.۹۷۲ ثانیه	۱۵ ثانیه	۵۷ ثانیه	۶ دقیقه

همان‌طور که در جدول (۷) دیده می‌شود با افزایش تعداد دوره‌ها و تعداد مکان‌های پیشنهادی برای احداث تسهیلات، زمان حل در نرم‌افزار افزایش میابد. درصورتی‌که ابعاد مسئله بیشتر از این اندازه تغییر کند و زمان حل افزایش یابد می‌توان مسئله را با روش‌هایی مانند بندرز[2]، لاگرانژ[3] و یا روش‌های ابتکاری حل نمود.

۷- نتیجه‌گیری

همان‌طور که گفته شد به دلیل رشد جمعیت و استفاده‌ی بیشتر از شبکه‌ی حمل‌ونقل، استهلاک زیرمجموعه‌های آن ازجمله تایر در حال افزایش است و به سبب آنکه تایر کالایی تجزیه‌ناپذیر است، عدم توجه به تایرهای فرسوده و عدم مدیریت صحیح آن‌ها می‌تواند باعث آسیب‌های زیست‌محیطی شود. همچنین دفن آن‌ها در بسیاری از کشورها ازجمله ایران ممنوع گشته است. همزمان با در نظر گرفتن مسائل زیست‌محیطی می‌توان گفت که استفاده‌ی صنایع مختلف از تایرهای فرسوده به‌عنوان مواد اولیه یا سوخت، قیمت پایین تایرهای بازتولید شده و تأمین تقاضای بازار مربوط به این تایرها، ایجاد اشتغال، پیچیدگی جریان‌های بازگشتی و اهمیت استفاده از برون‌سپاری جریان‌ها و... می‌توانند ازلحاظ اقتصادی توجیه‌کننده‌ی ایجاد شبکه‌ای برای بازیافت و بازتولید تایرهای فرسوده باشد. ازاین‌جهت در این مقاله سعی شد تا شبکه‌ی لجستیکی برای شرکت‌های فراهم‌کننده‌ی خدمات لجستیکی طرف سوم در صنعت تایر با در نظر گرفتن مصارف مختلفی که می‌توان از تایرهای فرسوده کرد ارائه و همچنین در کنار مسائل اقتصادی، ابعاد اجتماعی یک زنجیره نیز در نظر گرفته شود. لذا، در این تحقیق یک مدل ریاضی دو هدفه، چند محصولی و چند دوره‌ای، برای طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته در صنعت تایر، تحت مدیریت لجستیک طرف سوم ارائه شد. اهداف مدل پیشنهادی شامل حداکثر کردن سود حاصل از پردازش‌های متفاوت و بیشینه کردن اهداف پایداری اجتماعی است. به‌منظور حل مدل چندهدفه و به دست آوردن جواب‌های بهینه‌ی پارتویی، روش ε - محدودیت تقویت‌شده به‌کاربرده شده است.

1- GAMS
2- Benders
3- lagrangian

به‌منظور اعتبارسنجی مدل ارائه‌شده، یک مطالعه‌ی موردی در صنعت تایر به کار گرفته‌شده است که از طریق آن اعتبار و کاربردی بودن مدل ارائه‌شده نشان داده شد و نتایج مدیریتی مهمی به دست آمد. به‌عنوان مثال نشان داد تولیدکننده‌های صنعت تایر و دیگر صنعت‌های مشابه، می‌توانند جهت تأمین تقاضای مشتریان خود و به حداقل رساندن کمبود از برون‌سپاری خدمات لجستیکی در بخش‌های مختلف استفاده نموده و در مدیریت زنجیره تأمین کالاهای خود موفق‌تر باشند. علاوه بر این، شرکت‌های فراهم آورنده‌ی خدمات لجستیکی طرف سوم نیز می‌توانند به‌منظور طراحی بهینه‌ی شبکه‌ی خود که باعث کسب درآمد بیشتر و همچنین مزیت رقابتی نسبت به سایر رقبا می‌شود، از مدل و نتایج این پژوهش استفاده کنند.

با توجه به ادبیات موضوع، پیشنهادهای مختلفی می‌توان برای تحقیقات آتی ارائه داد که در زیر به برخی از آن‌ها اشاره‌شده است:

*واردکردن عدم قطعیت به مسئله و مدل مانند غیرقطعی در نظر گرفتن نرخ برگشت کالای فرسوده، نرخ کالاهای فرسوده‌ی مناسب برای بازتولید، بازیافت و دفن

*در نظر گرفتن کمبود تقاضا به‌صورت پس‌افت

*واردکردن موجودی در تسهیلات مختلف در مدل و درنتیجه هزینه‌های نگهداری و...

*در نظر گرفتن شعاع تحت پوشش برای توزیع‌کنندگان برای انتقال کالا به مشتریان ازنظر مسافت یا زمان

*در نظر گرفتن آلاینده‌های اجتماعی مانند دیداری،شنیداری و...

۸- منابع و مآخذ

[1] Karagiannidis, A., and T. Kasampalis. ***"Resource recovery from end-of-life tyres in Greece:*** A field survey, state-of-art and trends." Waste Management & Research 28, no. 6 (2010): 520-532.

[2] Malijonyte, Vaida. ***"Life-Cycle-Assessment of Energy Recovery from End-of-Life Tires and Selected Solid Waste."*** (2015).

[3] Torretta, Vincenzo, Elena Cristina Rada, Marco Ragazzi, Ettore Trulli, Irina Aura Istrate, and Lucian Ionel Cioca. ***"Treatment and disposal of tyres: Two EU approaches. A review."*** Waste management 45 (2015): 152-160.

[4] Pedram, Ali, Nukman Bin Yusoff, Olugu Ezutah Udoncy, Abu Bakar Mahat, Payam Pedram, and Ayo Babalola. ***"Integrated forward and reverse supply chain: A tire case study."*** Waste Management 60 (2017): 460-470.

[5] Lebreton, Baptiste, and Axel Tuma. ***"A quantitative approach to assessing the profitability of car and truck tire remanufacturing."*** International Journal of production economics 104, no. 2 (2006): 639-652.

[6] Chang, Shoou-Yuh, and Frank Gronwald. ***"A multi-criteria evaluation of the methods for recycling scrap tires***." The Journal of Solid Waste Technology and Management 42, no. 2 (2016): 145-156.

[7] Dhouib, Diala. ***"An extension of MACBETH method for a fuzzy environment to analyze alternatives in reverse logistics for automobile tire wastes."*** Omega 42, no. 1 (2014): 25-32.

[8] Ko, Hyun Jeung, and Gerald W. Evans. ***"A genetic algorithm-based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse logistics network for 3PLs."*** Computers & Operations Research 34, no. 2 (2007): 346-366.

[9] Sellitto, Miguel Afonso, Nelson Kadel Jr, Miriam Borchardt, Giancarlo Medeiros Pereira, and Jeferson Domingues. ***"Rice husk and scrap tires co-processing and reverse logistics in cement manufacturing."*** Ambiente & Sociedade 16, no. 1 (2013): 141-162.

[10] Pishvaee, Mir Saman, Reza Zanjirani Farahani, and Wout Dullaert. ***"A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design."*** Computers & operations research 37, no. 6 (2010): 1100-1112.

[11] Dehghanian, Farzad, and Saeed Mansour. ***"Designing sustainable recovery network of end-of-life products using genetic algorithm."*** Resources,

Conservation and Recycling 53, no. 10 (2009): 559-570.

[12] de Souza, Cristiane Duarte Ribeiro, and D'Agosto Márcio de Almeida. ***"Value chain analysis applied to the scrap tire reverse logistics chain: An applied study of co-processing in the cement industry."*** Resources, Conservation and Recycling 78 (2013): 15-25.

[13] Abdul-Kader, Walid, and Muhammad S. Haque. ***"Sustainable tyre remanufacturing: an agent-based simulation modelling approach."*** International Journal of Sustainable Engineering 4, no. 4 (2011): 330-347.

[14]Subulan, Kemal, A. Serdar Taşan, and Adil Baykasoğlu. ***"Designing an environmentally conscious tire closed-loop supply chain network with multiple recovery options using interactive fuzzy goal programming."*** Applied Mathematical Modelling 39, no. 9 (2015): 2661-2702.

[15] Yang, Yuxiang, Hokey Min, and Gengui Zhou. ***"Theory of constraints for recycling automobile tyres in the reverse logistics system."*** International Journal of Integrated Supply Management 5, no. 2 (2009): 158-172.

[16] Tezuka, Koichiro. ***"Rationale for utilizing 3PL in supply chain management: A shippers' economic perspective."*** IATSS Research 35, no. 1 (2011): 24-29.

[17] Mahmoudzadeh, Mahdi, Saeed Mansour, and Behrouz Karimi. ***"To develop a third-party reverse logistics network for end-of-life vehicles in Iran."*** Resources, Conservation and Recycling 78 (2013): 1-14.

[18] Zhang, Yong, Linjun Xie, Wen Hang, and Xiaoyan Cui. ***"A robust model for 3PLS to design a remanufacturing logistics network under the uncertain environment."*** In 2007 IEEE International Conference on Automation and Logistics, pp. 367-372. IEEE, 2007.

[19] Mavrotas, George. ***"Effective implementation of the ε-constraint method in multi-objective mathematical programming problems."*** Applied mathematics and computation 213, no. 2 (2009): 455-465.