نشریه علمی «مدیریت زنجیره تامین»
سال بیست و چهارم، شماره ۷۴، بهار ۱۴۰۱؛ ص ۷۸- ۶۱

علمی ـ پژوهشی

طراحی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته با درنظرگرفتن قیمت‌گذاری اقتصادی و ملاحظات زیست‌محیطی تحت شرایط عدم قطعیت فازی

حسین عموزاد خلیلی[۱]

۱- استادیار گروه مهندسی صنایع، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران

(دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۸، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۰۴)

چکیده

امروزه به‌دلیل اهمیت آلاینده‌های محیط زیستی و افزایش استانداردهای جهانی برای محیط زیست، توجه بیشتری به طراحی شبکه‌های زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته با ملاحظات سبز معطوف شده است. از طرفی شدت کارایی زنجیره‌های مستقیم و معکوس بر هم اثرگذار است. درنتیجه، عملکرد هر زنجیره بر زنجیره‌ی دیگر و بر کل زنجیره‌ی تأمین تأثیر خودش را دارد. در این تحقیق، به طراحی یک مدل ریاضی برای شبکه زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته‌ی سبز لاستیک سنگین می‌پردازیم که با مفهوم قیمت‌گذاری اقتصادی، محصولات را تحت شرایط عدم قطعیت در نظر می‌گیرد. قیمت‌گذاری اقتصادی در این مسئله افزایش سودآوری اقتصادی را به همراه دارد. مدل ریاضی طراحی‌شده از نوع فازی و دوهدفه است که هدف اول حداقل‌سازی هزینه‌ها و هدف دوم حداقل‌سازی آلاینده‌های زیست‌محیطی است. تصمیمات تعیین شده در این مدل، شامل تعیین مکان بهینه هر یک از مراکز بر اساس مکان‌های بالقوه، میزان بهینه‌ی تولید، توزیع، جمع‌آوری، بازیافت و همچنین بازتولید محصولات است. همچنین، از آزمون تی دو نمونه‌ای مستقل برای اعتبارسنجی نتایج مدل غیرقطعی و قطعی استفاده می‌گردد. برای حل مدل تابع دوهدفه، روش ε-محدودیت به کار گرفته می‌شود تا مسئله بتواند جواب‌های بهینه‌ی پارتویی قوی را تضمین کند و از جوابهای پارتویی ضعیف جلوگیری کند. در نهایت، برای ارزیابی کارایی روش ارائه شده، یک مطالعه‌ی موردی در زمینه‌ی لاستیک سنگین به کار گرفته می‌شود و با حل و پیاده‌سازی آن نتایج مدیریتی مفیدی ارائه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی فازی، زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته، هدف زیست‌محیطی، قیمت‌گذاری، ε- محدودیت

۱- مقدمه

زنجیره‌ی تأمین شامل تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع کنندگان، عمده‌فروشان، خرده‌فروشان و مشتریان است که به آن زنجیره‌ی تأمین کلاسیک گفته می‌شود. زنجیره‌ی تأمین سنتی یا کلاسیک تنها حرکت رو به جلو در زنجیره‌ی تأمین را در نظر می‌گیرند که به آن رویکرد زنجیره‌ی تأمین رو به جلو می‌گویند، در این نوع از زنجیره‌ی تأمین هیچ مسئولیتی در قبال جمع‌آوری محصولات مصرفی یا به‌صورت خاص‌تر روی لجستیک معکوس یا جریان معکوس وجود ندارد [۱]. اما باگذشت زمان، با افزایش پیچیدگی زنجیره ی تأمین و مسئولیت‌پذیری بیشتر، لجستیک معکوس و یا جریان رو به عقب نیز در آن در نظر گرفته‌شده است و بنابراین در نظر گرفتن هم‌زمان این دو جریان در زنجیره‌ی تأمین را زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته می‌نامند[۳-۱].

از طرف دیگر یکی از مشکلات اساسی بشر شمرده می‌شوند که در آن نحوه‌ی جمع‌آوری ضایعات، بازیافت، و روش های دیگر از قبیل استفاده‌ی مجدد، تعمیر، و غیره به کار گرفته می شوند [۳]. همچنین لازم به ذکر است که در برخی از موارد ممکن است هزینه‌ی بازیافت، استفاده‌ی مجدد و یا تولید مجدد بیشتر از هزینه‌های تولید محصول یا خدمت جدید با استفاده از مواد اولیه‌ی جدید باشد که در این موارد شرکت ها برای طراحی لجستیک معکوس تشویق نخواهند شد [۴]. اما امروزه با گستردگی دانش مردم و صنعتگران، تمرکز افراد از زنجیره ی تأمین روبه جلو به سمت معکوس، حلقه‌بسته و سبز سوق پیداکرده که شرکت ها و نمایندگی های مختلف را برای دستیابی به ارزش های محیط زیستی و اقتصادی سوق داده است. بنابراین، این روند نقش اساسی در ایجاد پارادایم مدیریت زنجیره ی تأمین پایدار داشته است [۵].

* رایانامه نویسنده مسئول: Amoozad92@yahoo.com

علی‌رغم آگاهی مردم نسبت به اهمیت منابع و محیط زیست، سختگیری‌های دولت و قوانین جدید دولتی باعث شده است که بسیاری از شرکت‌های تولیدی مجبور به پذیرفتن فعالیت‌های محیط‌زیست‌دوست شوند [۷-۶]. در همین راستا، مقالات متعددی در صنایع مختلف با در نظر گرفتن موارد خاص به چاپ رسیده‌اند. به طور مثال، مقالات در صنعت الکترونیک در باتری نوشابه و آب معدنی [۸] در صنعت مبلمان، و تعدادی نیز در صنعت وسایل نقلیه، تایر و لوازم خانگی تمرکز داشته‌اند [۹]. همچنین در برخی از مقالات اقلام قابل‌برگشت برای استفاده مجدد مورد بررسی قرارگرفته‌اند که مدلی برای یافتن مکان‌های بهینه در شبکه‌ی معکوس آزمونه های پلاستیکی ارائه داده‌اند که در آن به دنبال حداکثرسازی سود زنجیره ی تأمین است[۱۰]. زنجیره‌ی تأمینی شامل یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش را برای کاهش محصولات برگشت‌پذیر ازدست رفته ارائه داده‌اند که در آن هزینه‌ی کل سیستم بهینه می‌شود[۱۱].

در این کار پژوهشی، میزان تأثیر سرمایه‌گذاری خرده‌فروش و نقش تولیدکننده برای کاهش نرخ ازدست‌رفته‌ی محصولات برگشت‌پذیر بررسی‌شده است. در مقاله ای فاکتورهای کلیدی موفقیت سیستم بسته‌بندی پلاستیکی قابل استفاده‌ی مجدد بررسی شده است که از بررسی ادبیات موضوع و نظرات خبرگان، ۱۴ فاکتور کلیدی موفقیت برای آن متمایز شده است[۶]. همچنین برای کاهش هزینه‌های کلی سیستم و تعادل جریان کانتینرها، مدل موجودی را توسعه داده شد که در آن هزینه‌های کل زمانی را که خریداران در بحث آموزش سرمایه‌گذاری می‌کنند، بهینه گردید و آن را با زمانی که این مزیت وجود ندارد مقایسه و نتایج تحلیل شد[۲]. با توجه به مباحث صورت گرفته، در این تحقیق، از یک مدل ریاضی برای شبکه‌ی زنجیره ی تأمین حلقه بسته‌ی سبز با درنظرگرفتن قیمت گذاری تحت شرایط عدم قطعیت با استفاده از یک مطالعه‌ی موردی در زمینه‌ی لاستیک سنگین استفاده می شود. این روش به تصمیم گیرندگان این حوزه کمک شایانی می کند تا بتوانند در این حوزه تصمیمات بهتری اخذ کنند. در ابتدا یک مدل دوهدفه توسعه داده می‌شود که اهدافی از جمله هزینه های زنجیره‌ی تأمین و هزینه‌های اثرات زیست محیطی توسعه داده می شود. در ادامه یک روش چندهدفه اپسیلون محدودیت به کار گرفته می‌شود که از طریق آن جواب‌های پاره‌توبی به دست خواهد آمد و از طریق آن نتایج ارزشمندی به دست می‌آید.

درک مفهوم زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته در چارچوب‌های لجستیک معکوس، نتیجه‌ی یکپارچه‌سازی، توسعه و تکمیل تئوری‌های ۳۰ سال گذشته و همین طور توجه به چرخه‌ی عمر کالاها و محصولات مختلف بوده است. امروزه سازمان‌ها و شرکت‌های معتبر لجستیکی با استفاده از رویکردها و فناوری‌های مناسب به دنبال بهبود مدل‌های موجود است که در این تحقیق به رویکردها و نمودهای اجرایی آن اشاره شده است. آنچه که در جریان کالا وجود دارد و مدیران لجستیک سنتی بر آن تأکید می‌کنند، جریان مستقیم یا رو به جلوی مواد و محصولات است که عمدتاً از طرف تأمین‌کنندگان به سازندگان، توزیع‌کنندگان و شرکت‌های پخش، خرده‌فروشان و در نهایت مشتریان جریان دارد. اما در بسیاری از صنایع، جریان مهم دیگری نیز در زنجیره‌های تأمین وجود دارد که به‌صورت معکوس شکل می‌گیرد و در آن، محصولات از سطوح پائینیِ زنجیره‌ی تأمین به سطوح بالاتر عودت داده می‌شوند. مدیریت لجستیک معکوس و زنجیره‌ی‌های تأمین حلقه‌بسته یکی از جنبه‌های مهم و حیاتی هر کسب وکاری و متضمن ساخت، توزیع و پخش خدمات و پشتیبانی از هر نوع محصولی است. لجستیک معکوس را یا به‌عنوان زیرمجموعه‌ای از لجستیک مستقیم یا به طور مستقل در نظر می‌گیرند که شامل هماهنگی و کنترل کامل، بارگیری و تحویل فیزیکی مواد، قطعات و محصولات بلااستفاده، از محل مصرف یا ذخیره‌سازی به محل تعیین تکلیف بازیابی، استحصال، معدوم‌سازی، دفن، دفع و در صورت بازگرداندن به محل مصرف در موارد مناسب است. با توجه به ادبیات چهار مدل لجستیک معکوس و زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته در حوزه کسب‌وکار وجود دارد: ۱. مدل لجستیک معکوس مستقل ۲. مدل زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته در فناوری‌های بالا ۳. مدل زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته در فناوری‌های استاندارد ۴. مدل زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته در اقلام مصرفی.

در سال‌های اخیر، زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته توجهات زیادی را ازجمله در مسائل اجتماعی و زیست‌محیطی به خود به دست آورده است[۹]. زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته تصمیمات روبه‌جلو و روبه‌عقب را ترکیب می‌کند، به‌طوری‌که کل چرخه‌ی عمر را پوشش دهد. زنجیره‌ی تأمین روبه‌جلو فعالیت‌های لجستیکی روبه‌جلو را شامل می‌شود که این تصمیمات از تأمین مواد خام تا مشتریان را در بر می‌گیرد. زنجیره‌ی تأمین روبه‌عقب نیز شامل جمع‌آوری، بازتولید، بازیافت و فعالیت‌های دسترسی می‌شود. بسیاری از تولیدکنندگان همچون اکسروکس،[1] هولت پاکارد،[2] ای‌بی‌ام[3]، فرد[4]، کاترپیلار[5] و تیمبرلند[6] از تولید و شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین رو به عقب بهره می‌برند. در سال ۱۹۹۶، شرکت

[1] Xerox
[2] Hewlett-Packard
[3] IBM
[4] Ford
[5] Caterpillar
[6] Timberland

فورد توانست با جلوگیری از دفع کارتریژ، ۱۸۰۰۰۰ دلار در هزینه‌های خود صرفه‌جویی کند. همچنین، فورد در بازه‌ی زمانی ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۷ با جمع‌آوری و بازتولید بیش از ۳۳۲۰۰۰ پوند کاتریژ، ۱,۲ میلیون دلار صرفه‌جویی به دست آورد. مقدار بازیافت در آمریکا به ازای هر سال و هر صنعت با ۴۸۰۰۰۰ کارمند مستقیم برابر با ۵۰ بیلیون دلار است. با توجه به اهمیت‌های ذکرشده برای زنجیره‌ی تأمین معکوس و جذابیت‌های اقتصادی در این حوزه، محققان روی طراحی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین معکوس متمرکز شده‌اند تا مقدار ارزش به‌دست‌آمده از یکپارچه کردن زنجیره‌ی تأمین روبه‌جلو و رو به عقب را حداکثر کنند[۱۲].

با توجه به اهمیت تحقیق و موضوع مورد بررسی در این تحقیق قصد داریم به سؤالات زیر پاسخ دهیم:

- چه تصمیماتی برای در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی مناسب هستند؟
- هزینه‌های زنجیره‌ی تأمین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در شرایط مدل غیرقطعی چه تغییراتی دارد؟ چگونه می‌توان هزینه‌ی توابع هدف را کاهش داد؟
- قیمت‌گذاری در زنجیره‌ی تأمین لاستیک سنگین به چه صورت در نظر گرفته می‌شود؟
- مدل مناسب ریاضی برای مسئله‌ی زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته لاستیک سنگین در شرایط عدم قطعیت به چه صورت باید باشد؟
- چگونه می‌توان با استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی ریاضی پاسخ سؤالات قبلی را برای تحلیل زنجیره‌ی تأمین داد؟

در این تحقیق از یک زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته استفاده خواهیم کرد که جریان‌های مستقیم و معکوس را باهم در نظر می‌گیرد. این کار باعث کاهش در هزینه‌ها می‌شود[۱۳]. همچنین، در بحث مسائل محیط زیستی و اهمیت فراوان این حوزه تصمیم‌گیرندگان و محققان سعی می‌کنند که فاکتورهای محیط زیستی (کاهش آلودگی و گازهای گلخانه‌ای) در فرآیند تصمیم‌گیری خود بگنجانند. بر این اساس طراحی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین زیست‌محیطی نیاز به نگاه اساسی دارد [۱۴]. یکی از کارهایی که می‌تواند، به افزایش سودآوری در شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته منجر شود در نظر گرفتن توابع هدف جدید زیست‌محیطی و سبز است. تصمیماتی که به‌صورت بلندمدت و یا استراتژیک اخذ خواهد شد، شامل (تصمیم‌گیری در مورد تعداد و محل تسهیلات تولید و ذخیره سازی، میزان ظرفیت هر تسهیل، جمع بندی تقاضای بازار و تصمیم گیری در مورد انتخاب تأمین کننده از دیدگاه هزینه‌ی کل است. همچنین، تصمیماتی که به‌صورت کوتاه مدت و عملیاتی اخذ خواهد شد شامل تعیین سطوح موجودی و برنامه‌ریزی تخفیف به‌صورت مناسب است. همان‌طور که می‌دانیم در طراحی اکثر زنجیره‌ی‌های تأمین منابع عدم قطعیت وجود دارد که می‌تواند این زنجیره را دچار نویز و ابهاماتی کند. ازجمله منابع این عدم قطعیت‌ها می‌توان به تحولات سیاسی، تغییرات فناورانه‌ی داده‌ها، کمیابی مواد اولیه و نوسانات قیمت در طول افق تصمیم‌گیری استراتژیک اشاره کرد. بنابراین در داده‌های ورودی این تحقیق عدم قطعیت در نظر گرفته می‌شود. برای این کار باید از یک روش عدم قطعیت استفاده کرد. همان‌طور که می‌دانیم سه روش (برنامه‌ریزی فازی، برنامه‌ریزی استوار، برنامه‌ریزی تصادفی) برای این عدم قطعیت وجود دارد. ما قصد داریم برنامه ریزی فازی را پیشنهاد دهیم [۱۵]. به این دلیل که روش های فازی جواب های به‌صورت مناسبی را ارائه خواهد داد و به دلیل ناکافی بودن داده‌ها نمی‌توان داده‌ها را به سمت توزیعی خاص سوق داد. پس نمی‌توان از برنامه ریزی احتمالی استفاده کرد. در نهایت این تحقیق در پی ارزیابی اثرات زیست‌محیطی (مثل انتشار گازهای گلخانه‌ای) در حمل‌ونقل و نگهداری موجودی و استقرار تسهیلات نیز هست.

۲- مرور ادبیات

در این بخش به بررسی ادبیات موضوع در حوزه‌ی زنجیره‌ی‌های تأمین معکوس و مستقیم و قیمت‌گذاری در شبکه خواهیم پرداخت.

لین با استفاده از روش دیمتل فازی با در نظر گرفتن معیارهای خرید سبز، طراحی سبز، همکاری با تأمین‌کنندگان و مشتریان، استفاده‌ی مجدد و بازیابی محصولات استفاده شده و قوانین و مقررات، از مؤلفه‌های مدیریت زنجیره‌ی تأمین سبز به عنوان گروه تأثیرگذار و همچنین معیارهای عملکرد اقتصادی، عملکرد محیطی، و فشار ذی‌نفعان به عملکردهای مدیریت زنجیره‌ی تأمین سبز به عنوان گروه تأثیرپذیر به ارزیابی این معیارها پرداختند[۱۶]. سونی و همکاران، با استفاده از نظریه‌ی گراف، مدلی را پیشنهاد کردند که به‌طور همه‌جانبه تمامی توانمندسازهای تاب‌آوری و روابط بین آن‌ها را بررسی می‌کند. منحصربه فرد بودن این مدل بر پایه‌ی توانایی آن برای کمّی‌کردن تاب‌آوری به‌وسیله‌ی شاخص کمّی واحد است. توانمندسازهای تاب‌آوری در این مطالعه چابکی، همکاری، تسهیم اطلاعات، پایداری، ریسک، تسهیم درآمد، اعتماد، شفافیت، فرهنگ مدیریت ریسک، قابلیت تطبیق و ساختار بود[۹].

راجش و راوی با استفاده از متـــدولوژی خاکســـتری، مدلی برای انتخاب تأمین‌کننده به منظور توسعه‌ی تاب‌آوری زنجیره تأمین ایجاد کردنـد. آن ها بـــا درنظر گرفتن زنجیره‌ی تأمین الکترونیکی با شش تأمین‌کننده و جـــایگزین محاســـبه‌ی ارزش‌هـــای احتمالی خاکستری برای انتخاب تأمین‌کنندگان آنها را اولویت‌بندی کردند. آنها ویژگی‌هایی را برای یک تأمین‌کننده‌ی تاب آور در نظر گرفتند که شامل کیفیت، هزینـــه، انطبـــاق‌پـــذیری، ســـرعت، شفافیت، آسیب‌پذیری، همکاری، آگاهی از ریسک، دوام، تکنولوژی، پژوهش و توسعه، امنیـت و نگرانی‌های محیطی بود[۱۷]. جنووسـه و همکـاران از طریـق دو مطالعـه‌ی مـوردی از صـنایع مختلـف فـرآوری (مـواد شیمیایی و مواد غذایی)، عملکرد سیستم‌های تولید سنتی و دایـره‌ای را در میان تعدادی از شاخص‌ها مقایسه می‌کند. انتشار مستقیم، غیـر مستقیم و کل چرخه‌ی حیات، دفع زباله، استفاده از منـابع بـاارزش و نقشه‌های کربن ارائه می‌شود. این مقاله ادعا می‌کنـد کـه یکپـارچگی اصول اقتصاد مدور در مدیریت زنجیره‌ی تأمین پایدار می‌تواند منـافع مشخصی را از دیدگاه محیط زیست ارائه دهد. چالش‌هـای زنجیـره‌ی تأمین نوظهور و پویایی بازار نیز برجسـته و مـورد بحـث قـرار گرفتـه است[۱۰].

قدیمی و همکاران در پژوهش خود در زمینـه‌ی مـدل‌سـازی زنجیره‌ی تأمین پایدار با استفاده از تکنیک بازبینی ادبیات تحلیل محتـوا، تحلیـل نمودنـد. بـا اسـتفاده از متـون موجـود در RCR، مقالات مربوط به زنجیره‌ی تأمین پایـدار، از نقطـه‌نظرهـای ذیـل مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند: (۱) تعداد انتشار در سال (۲) مقالات با ارجاع بـالا در بـازه‌ی زمـان (۳) نویسـندگان، نهادهـا و کشورهای تولیدکننده و تأثیرگذار (۴) چـارچوب‌هـای مـرتبط بـا زنجیره‌ی تأمین (۵) روش‌های تحقیق کاربردی (۶) انواع تصاویر و (۷) صنایع مورد توجه. این تحلیل نشان داد که دعوت بـه حفـظ پایـداری (بـه عنـوان مثـال، ارکـان اقتصـادی، اجتمـاعی و زیست‌محیطی) در عملیات زنجیره‌ی تأمین در سال‌های اخیـر در نشریات RCR افزایش یافته است. در نهایت، یافتـه‌هـای جـامع و تعابیر، و همچنین تمایلات فعلی اصلی، چالش‌ها، جهت‌گیری‌ها و فرصت‌های آینده ارائه شده است[۱۸].

خلیلی نصر و همکاران یک مـدل فـازی چندهدفـه را جهـت کمینه‌سازی هزینه‌ها در زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته ارائه داده‌انـد. مدل دو سطحی ارائه شده به انتخاب تأمین‌کننـدگان و تخصـیص آن‌ها به تولیدکنندگان می‌پردازد. هدف اصلی این پژوهش کمینه کردن هزینه‌های زیست محیطی، هزینه‌های عملیاتی، تقاضـای از دست رفته و بیشینه کردن اشتغال‌زایـی اسـت. نـوآوری در نظـر گرفته شده شامل در نظـر گـرفتن پایـداری در زنجیـره‌ی تـأمین است. در نهایت مدل پیشنهادی از طریق برنامه‌ریزی آرمانی حـل گردیده اسـت[۱۹]. دنـگ و همکـاران یـک مـدل ریاضـی بـرای مدیریت زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته بـا در نظـر گـرفتن تقاضـای تصادفی و سیستم بازتولید ارائه نمودنـد. مـدل پیشـنهادی دارای سه‌هدف است که شامل : ۱. تعیین تولیدکنندگانی کـه بیشـترین کانال سود را به همـراه دارنـد. ۲. تخصـیص توزیـع کننـدگان بـه مشتریان ۳. بررسی جریان بین سـطوح زنجیـره‌ی تـأمین. نتـایج برای مطالعه موردی در نظر گرفته شـده بیـانگر آن اسـت کـه بـا افزایش هزینه‌های حمل‌ونقل هزینه‌های کـل سیسـتم بـه‌صـورت نمایی افزایش می‌یابد[۲۰].

در حوزه‌ی عـدم قطعیـت در شـبکه‌هـای زنجیـره‌ی تـأمین، مـرادی و همکـاران بـه ارائـه‌ی یـک شـبکه زنجیـره‌ی تـأمین چندسطحی پرداختند که در آن داده‌های برخی پارامترهـا ماننـد تقاضا و هزینه غیرقطعی در نظر گرفتـه شـد. بـرای کنتـرل عـدم قطعیت شبکه، آن‌ها از روش بهینه‌سازی استوار اسـتفاده نمودنـد که پارامتر را در شرایط بدبینانه مورد بررسی قرار می‌دهـد و یـک مجموعه عدم قطعیت برای هر پارامتر در نظر می‌گیـرد. هـدف از مدل ریاضی آن‌ها کاهش هزینه‌های شبکه شامل هزینه‌های ثابت و حمل‌ونقل است[۲۱]. دیابت و همکاران یک مدل چند دوره‌ای، چندکالایی در زنجیره‌ی تـأمین حلقـه‌بسـته تحـت شـرایط عـدم قطعیـت ارائـه نمودنـد. کالاهـای در نظـر گرفتـه شـده دارای کیفیت‌های متفاوتی است و براساس ایـن کیفیـت بازیـابی انجـام می‌شود. همچنین برای هر برگشت به عقب یک جریمه‌ی خـاص در نظر گرفته شده است. اهداف در نظر گرفته شده شامل کمینه کـردن هزینـه‌هـای زنجیـره‌ی بـه همـراه کمینـه کـردن اثـرات زیست‌محیطی است. نتایج تحلیل حساسیت بیانگر آن است که با افـزایش تقاضـا مقـدار هزینـه‌هـای حمـل بـه‌شـدت افـزایش می‌یابد[۲۲].

لیو و همکاران به بررسی تصمیمات قیمت‌گذاری و جمع‌آوری یک زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته بـا تقاضـای فـازی پرداختنـد. بـه همین ترتیب مدل‌های متمرکز و مرکزی تولید شـده در تحقیـق آن‌ها طراحی گردید کـه بـرای زنجیـره‌ی تـأمین حلقـه‌بسـته بـا تقاضای غیرقطعی سازگار بوده است. برای حل مسئله‌ی ترکیبـی از روش تئوری بازی استکلبرگ و روش فازی برش مجموعه بهـره بردند. با حل مسئله‌ی طراحی شده قیمت‌گذاری بهینه و نرخ‌های جمـع‌آوری مـدل‌هـای مختلـف مشـخص گردیدنـد و اثـرات ساختارهای قدرت و سطوح کیفیت محصولات بازیافت شده برای تصمیمات بهینه مورد تحلیل قرار گرفتند[۲۳]. صالحی امیـری و همکاران به طراحی یک شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته با در نظر گرفتن فاکتورهای اجتماعی پرداختند. آن‌ها برای حل مسئله از یک مطالعه‌ی موردی در مـورد صـنعت آووکـادو بهـره بردنـد. ازاین‌رو یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی عـدد صـحیح مخـتلط بـرای هزینه‌ها و فرصت‌های اشتغال طراحـی گردیـد. آن‌هـا لجسـتیک

معکوس و مستقیم را برای تحویل کالاها و محصولات برگشتی در نظر گرفتند. برای حل مسئله یک روش دقیق جهت اعتبارسنجی و بررسی مسئله طراحی شده استفاده گردید و تحلیل حساسیت‌های عددی برای تجزیه و تحلیل بیشتر مورد استفاده قرار گرفت[۲۴]. گرائی و همکاران لجستیک‌های معکوس مستقل اقتصادی زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته را که به‌صورت مشتری‌محور است برای مسئله‌ی خود در نظر گرفتند و از مطالعه‌ی موردی داروهای گیاهی و سوخت‌های زیست فناوری استفاده نمودند. از اهداف مسئله می‌توان به رضایت مشتریان خرده فروش و مشتریان عمده با هزینه‌ی حداقلی اشاره کرد. در مسئله‌ی تحقیق آن‌ها نوسازی در کارخانه و مراکز بازیافت در نظر گرفته شد[۲۵].

ادبیات بسیار گسترده‌ای در موضوع زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته وجود دارد. برخلاف اهمیت زیاد رقابت در بازارهای امروزی که مجبور می‌کنند زنجیره‌ی تأمین طراحی مناسبی داشته باشد، بیشتر مقالات در ادبیات، فاکتورهای رقابتی را در مرحله‌ی طراحی شبکه در نظر نمی‌گیرند. بر پایه‌ی مفهوم رقابت در طراحی شبکه زنجیره‌ی تأمین، فراهانی یک دسته‌بندی از مدل‌ها و تکنیک‌های حل در این حوزه انجام داد[۲۶]. بر مبنای تحقیق رضاپور و همکاران، سه نوع رقابت می‌توان برای مرور ادبیات مربوطه در نظر گرفت. (۱) رقابت ایستا: یک رقیب جدید (ممکن است یک شرکت فردی یا زنجیره‌ی تأمین باشد) وارد بازار شود. خصوصیات رقابتی، رقبای موجود شناخته می‌شود و پس از ورود رقیب جدید جایگزین نمی‌شوند. این نوع رقابت شامل بهینه‌سازی مدل ریاضی می‌شود که در آن ورودی جدید در مورد فاکتورهای استراتژیک همچون مکان‌یابی تسهیلات تصمیم‌گیری می‌کند. (۲) رقابت همراه با پیش‌بینی: با ورود یک رقیب در بازار، رقبای دیگر خصوصیاتشان را با توجه به رقیب جدید تغییر می‌دهند. این نوع رقابت با بازی استکلبرگ با یک مدل دوسطحی و یا چندسطحی فرموله می‌شود. (۳) رقابت پویا: در این نوع رقابت، خصوصیات رقابتی رقیب موجود با دنبال کردن نحوه‌ی ورود رقبای جدید تغییر می‌کند به دلیل اینکه تصمیمات استراتژی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین (برای مثال، مکان‌یابی و یا تعداد تسهیلات) نمی‌توانند به دلیل نیاز زیاد به سرمایه گذاری تغییر کنند، خصوصیات رقابتی بر روی تصمیمات سطح تاکتیک همچون قیمت و سطح سرویس تأثیر می‌گذارد[۲۷].

طبق مرور ادبیات تحقیق، کمتر تحقیقی وجود دارد که در حوزه‌ی قیمت‌گذاری محصولات لاستیک سنگین ارائه شده باشد و عدم قطعیت فازی را در نظر گرفته باشد. در حوزه‌ی زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته با قیمت‌گذاری تحقیقات کمی از عدم قطعیت به ویژه عدم قطعیت فازی استفاده نموده‌اند. بنابراین در این تحقیق از عدم قطعیت فازی برای برخی از پارامترهای مسئله استفاده شده است که می‌تواند مقادیر مشخصی برای داده‌های تصادفی در نظر بگیرد و مدل‌سازی آن برای مسائل بهینه‌سازی چندهدفه به مراتب کارآمدتر از سایر روش‌ها است. با توجه به ادبیات اکثر مقالات در حوزه‌ی لاستیک سنگین به روش‌های کیفی پرداختند و تعداد کمی از مقالات به روش‌های کمی و مدل‌سازی ریاضی پرداختند. هیچ‌کدام از مقالات این حوزه از فاکتور قیمت‌گذاری برای مسئله‌ی خود استفاده نکردند، در این تحقیق از فاکتور قیمت استفاده شده است. هیچ‌کدام از مقالات این حوزه رقابت را در شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین موردنظر خود در نظر نگرفتند. ما در اینجا این فاکتور را در نظر گرفتیم. درنهایت، برای ارزیابی تأثیرگذاری و سودمندی روش ارائه‌شده، یک مطالعه موردی در زمینه‌ی لاستیک سنگین انجام گرفت و نتایج مدیریتی مفیدی حاصل شد.

۳- تعریف و مدل‌سازی مسئله

مدل ارائه شده در تحقیق حاضر یک مدل دوهدفه زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته سبز فازی برای محصول لاستیک است اجزای این مدل شامل تأمین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده، جمع‌آوری‌کننده‌ی محصول، مراکز تولید مجدد و مراکز بازیافت است. همان‌گونه که از اجزای معرفی شده بر می‌آید، یک شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین سبز در نظر گرفته شده که در آن مراکز بازیافت و جمع‌آوری محصول وجود دارد و وظیفه‌ی جمع‌آوری‌کننده‌ی محصول، ارجاع محصول به مراکز بازیافت یا بازتولید و یا امحا محصول در صورت عدم اصلاح پذیری آن‌ها است. ضمن اینکه امکان توسعه‌ی مراکز تولید و توزیع تحت عنوان مراکز توزیع و مراکز تولید جدید وجود دارد. یکی از مهم‌ترین نتایجی که از مدل حاضر حاصل می‌شود تعیین مکان بهینه هریک از اجزا بر اساس مکان‌های بالقوه‌ی تعیین شده و همچنین تعیین میزان بهینه‌ی تولید، توزیع، جمع‌آوری، بازیافت و همچنین بازتولید محصول است.

مفروضات تحقیق

- مکان‌های بالقوه برای استقرار مراکز تولید، توزیع، بازتولید و بازیافت از پیش مشخص است.
- ظرفیت تأمین، توزیع، بازتولید، بازیافت و امحاء محدود است.
- نرخ بازگشت، نرخ بازیافت، نرخ تولیدمجدد غیرقطعی است.
- هزینه‌های تأمین مواد اولیه و تولید غیرقطعی است.
- تقاضای بازار(مشتریان) غیرقطعی است.
- در این شبکه فقط یک مد حمل‌ونقل صورت می‌پذیرد (مثلاً فقط حمل‌ونقل جاده‌ای).

- برای جمع‌آوری تایرهای مصرف‌شده از هر بازار هزینه لحاظ می‌شود. این هزینه موجب تشویق مصرف‌کننده‌ی نهایی برای تحویل تایر مصرف شده به خرده‌فروش و همچنین تشویق خرده‌فروش برای دریافت و تحویل تایرهای مصرف شده به مراکز جمع‌آوری می‌شود.
- تقاضای بازار برای تایر نو باید ارضاء شود و در غیراین‌صورت هزینه‌ی کمبود اعمال می‌شود ولی میزان ارضاء تقاضای محصول در Retread اختیاری است.
- شرکت‌های حمل‌ونقل به طور مستقیم لاستیک‌های مورد نیاز خود را از مراکز توزیع خریداری و برای باز تولید به مراکز بازتولید حمل می‌کنند.

در ادامه اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تحقیق ارائه می‌شوند.

اندیس‌ها

i	مجموعه‌مکان‌های بالقوه
j	مجموعه‌مراکز تأمین‌کننده
k	مراکز تولیدکننده
l	مراکز تولیدکننده‌ی جدید
m	مراکز توزیع‌کننده
n	مراکز توزیع‌کننده‌ی جدید
o	مراکز جمع‌آوری محصولات
p	مراکز تولید مجدد
q	مراکز بازیافت‌کننده
r	مجموعه‌ی انواع محصولات

پارامترها

$\widehat{RSC_j}$	هزینه‌ی تأمین مواد اولیه از تأمین‌کننده j
$FROC_r$	هزینه‌ی ثابت سفارش‌دهی برای محصول r
$VROC_r$	هزینه‌ی متغیر خرید محصول r
$\widehat{PSC_{kr}}$	هزینه‌ی تولید محصول r توسط مرکز تولید k
FCM_k	هزینه‌ی احداث مرکز تولید k
$FCMM_m$	هزینه‌ی احداث مراکز توزیع m
DCM_l	هزینه‌ی توسعه‌ی مرکز تولید جدید l
$DCMN_n$	هزینه‌ی توسعه‌ی مرکز توزیع جدید n
FCO_o	هزینه‌ی احداث مراکز جمع‌آوری o
CCO_o	هزینه‌ی جمع‌آوری مرکز جمع‌آوری o
FCL_l	هزینه احداث مراکز تولید مجدد l
FCQ_q	هزینه‌ی احداث مراکز بازیافت q
TC	کل هزینه‌های جریان شبکه
RI_r	درآمد حاصل از فروش مجدد محصول r
RCI_r	درآمد حاصل از بازیافت محصول r
RUI_r	درآمد حاصل از فروش به بازار برای استفاده‌ی مجدد از محصول r
MI_r	درآمد حاصل از فروش محصول r به بازار برای احیای انرژی
$POPK_k$	میزان تولید آلایندگی توسط کارخانه k
$POPQ_q$	میزان تولید آلایندگی توسط مرکز بازیافت q
$POPP_p$	میزان تولید آلایندگی توسط مرکز بازتولید p
$CONP_{mp}$	میزان مصرف سوخت حمل‌ونقل از مرکز توزیع m به مراکز بازتولیدp
$POPO_o$	میزان آلایندگی ناشی از امحا یا آتش زدن تایرهای استفاده شده توسط مرکز جمع‌آوری محصول o
$CAPJ_j$	ظرفیت تأمین‌کننده j
$CAPK_k$	ظرفیت تولیدکننده k
$CAPM_m$	ظرفیت توزیع‌کننده m
$CAPO_o$	ظرفیت مرکز جمع‌آوری محصول o
$CAPP_p$	ظرفیت مرکز تولید مجدد p
$CAPQ_q$	ظرفیت مرکز بازیافت q
$CAPL_l$	ظرفیت مرکز تولید جدید l
$CAPN_n$	ظرفیت مرکز توزیع جدید n
$\widehat{DEM_{kr}}$	میزان تقاضای مشتری برای محصول نو r از تولیدکننده‌ی k
$\widehat{DEMP_{pr}}$	میزان تقاضای مشتری برای محصول بازتولیدشده r از بازتولیدکننده‌ی p
$DefC_{kr}$	هزینه‌ی کمبود برای محصول نو r از تولیدکننده‌ی k
$TCMP_{mp}$	هزینه‌ی حمل مواد از مراکز توزیع m به مراکز بازتولید p

β_r	میزان پاسخ‌گویی تقاضای بازار محصول جدید r به قیمت آن
A	پارامتر مقیاس استفاده شده در مدل‌های زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته
c_r	قیمت واحد عمده‌فروش محصول جدید r

متغیرهای تصمیم

XJ_j	اگر تأمین‌کننده j برای تأمین مواد اولیه مورد نیاز تایر انتخاب شوند ۱ و در غیراین‌صورت صفر
XK_{ki}	اگر مرکز تولید k در مکان i احداث شود ۱ و در غیر این‌صورت صفر
YK_{kir}	میزان تولید محصول r توسط مرکزتولید k در مکان i
XM_{mi}	اگر مرکز توزیع m در مکانi مستقر شود ۱ و در غیر این‌صورت صفر
YM_{mir}	میزان توزیع مرکز توزیع m در مکان i برای محصول r
XO_{Oi}	اگر مرکز جمع‌آوری محصول o در مکان i استقرار یابد ۱ و در غیر این‌صورت صفر
$\widetilde{YO_{oir}}$	میزان جمع‌آوری محصول r مرکز جمع‌آوری محصول o در مکان I
XP_{pi}	اگر مرکز تولید مجدد محصول p در مکان i مستقر شود ۱ و در غیر این‌صورت صفر
$\widetilde{YP_{pir}}$	میزان تولید مجدد محصول r مرکز تولید مجدد محصول p در مکان I
XQ_{qi}	اگر مرکز بازیافت q در مکان i احداث شود ۱ و در غیراین‌صورت صفر
$\widetilde{YQ_{qir}}$	میزان بازیافت محصول r مرکز بازیافت q در مکان I
X	میزان کل جریان شبکه بین سطوح مختلف زنجیره‌ی تأمین
XL_{li}	اگر مرکز تولید جدید l در مکان i احداث شود ۱ و در غیر این‌صورت صفر
XN_{ni}	اگر مرکز توزیع جدید n در مکان i احداث شود ۱ و در غیراین‌صورت صفر
YL_{lir}	میزان تولید محصول r مرکز تولید جدید l در مکان i
YN_{nir}	میزان توزیع محصولr مرکز توزیع n در مکان i
$XDEF_{kr}$	میزان کمبود کالای k برای محصول r
$XTCMP_{MPr}$	میزان جریان کالا حمل‌شده محصول r از مراکز توزیع m به مراکز بازتولید p
XRI_r	قیمت فروش مجدد محصول r
$XRCI_r$	ارزش بازیافت محصول r
$XRUI_r$	قیمت فروش به بازار برای استفاده مجدد از محصول r
XMI_r	قیمت فروش محصول r به بازار برای احیای انرژی

در ادامه به ارائه‌ی توابع هدف مسئله که شامل توابع هدف اقتصادی و زیست‌محیطی است، می‌پردازیم. هدف اقتصادی شامل حداقل‌سازی هزینه‌های کل شبکه است که به‌صورت زیر است:

۱) هزینه‌ی تأمین مواد اولیه شامل هزینه‌ی ثابت سفارش‌دهی و هزینه‌ی متغیر خرید ۲) هزینه‌ی احداث و توسعه مراکز تولید ۳) هزینه‌ی احداث و توسعه‌ی مرکز توزیع ۴) هزینه‌ی احداث مراکز جمع‌آوری ۵) هزینه احداث مراکز تولیدمجدد. ۶) هزینه‌ی احداث مراکز بازیافت ۷) کل هزینه‌های جریان شبکه شامل حمل‌ونقل مواد و محصولات بین هر دو سطح مختلف از زنجیره‌ی تأمین. همچنین هدف اقتصادی را می‌توان به‌صورت حداکثرسازی درآمدها نیز ارائه نمود:

۱)درآمد حاصل از فروش مجدد ۲) درآمد حاصل از بازیافت ۳) درآمد حاصل از فروش به بازار برای استفاده‌ی مجدد ۴) درآمد حاصل از فروش به بازار برای احیای انرژی

در ادامه‌ی مدل‌سازی، توابع هدف و محدودیت‌های مسئله آورده شده است.

$$\begin{aligned}\max z1 &= RI_r.XRI_r + RCL_r.XRCL_r + RUI_rXRUI_r + MI_rXMI_r \\ &- [\sum_j \widetilde{RSC_j}.XJ_j + \sum_{k,i} \widetilde{PSC_k}.YK_{ki} \\ &+ \sum_{k,i} FCM_k XK_{ki}. + \sum_{m,i} FCMM_m.XM_{mi} \\ &+ \sum_{l,i} DCM_l.XL_{li} + \sum_{n,i} DCMN_n.XN_{ni} \\ &+ \sum_{o,i} FCO_o.XO_{oi} + \sum_{o,l,r} CCO_o \widetilde{YO_{oir}} + \sum_{l,i} FCL_l XL_{li} \\ &+ \sum_{q,i} FCQ_q.XQ_{qi} + \sum_k DefC_k.XDEF_k \\ &+ \sum_m \sum_p TCMP_{mp}] + TC + FROC + VCOC\end{aligned} \quad (۱)$$

$$\min z2 = \sum_{k,i} POPK_k.XK_{ki} + \sum_{q,i} POPQ_q.XQ_{qi} \quad (۲)$$

$$+\sum_{p,i} POPP_p . XP_{pi} + \sum_{m,p,i} CONP_{mp} . XM_{mi}$$
$$+\sum_{o,i} POPo_o . XO_{oi}$$

$$XJ_j \le 1 \ \forall j \quad (۳)$$

$$XK_{ki} \le 1 \ \forall k,i \quad (۴)$$

$$\sum_i XK_{ki} = 1 \ \forall k \quad (۵)$$

$$YK_{kir} \ge \widetilde{DEM}_{kr} \ \forall k,i,r \quad (۶)$$

$$YK_{kir} \le CAPK_k \ \forall k,i,r \quad (۷)$$

$$XM_{mi} \le 1 \ \forall m,i \quad (۸)$$

$$\sum_i XM_{mi} = 1 \ \forall m \quad (۹)$$

$$YM_{mi} \le CAPM_m \ \forall m,i \quad (۱۰)$$

$$XO_{oi} \le 1 \ \forall o,i \quad (۱۱)$$

$$\sum_i XO_{oi} = 1 \ \forall o \quad (۱۲)$$

$$\widetilde{YO_{oir}} \le CAPO_o \ \forall o,l,r \quad (۱۳)$$

$$XP_{pi} \le 1 \ \forall p,i \quad (۱۴)$$

$$\sum_i XP_{pi} = 1 \ \forall p \quad (۱۵)$$

$$\widetilde{YP_{pi}} \le CAPP_p \ \forall p,l \quad (۱۶)$$

$$XQ_{qi} \le 1 \ \forall q,i \quad (۱۷)$$

$$\sum_i XQ_{qi} = 1 \ \forall q \quad (۱۸)$$

$$\widetilde{YQ_{qir}} \le CAPQ_q \ \forall q,l,r \quad (۱۹)$$

$$X = \sum_r \sum_m \sum_p XTCMP_{mpr} \quad (۲۰)$$

$$XL_{li} \le 1 \ \forall l,i \quad (۲۱)$$

$$\sum_i XL_{li} = 1 \ \forall l \quad (۲۲)$$

$$YL_{lir} \le CAPL_l \ \forall l,i,r \quad (۲۳)$$

$$XN_{ni} \le 1 \ \forall n,i \quad (۲۴)$$

$$\sum_i XN_{ni} = 1 \ \forall n \quad (۲۵)$$

$$YN_{nir} \le CAPN_n \ \forall n,i,r \quad (۲۶)$$

$$XDEF_k = \widetilde{DEM}_{kr} + \widetilde{DEMP}_{pr} - YK_{kir} \ \forall k,i,r,p \quad (۲۷)$$

$$\sum_k \sum_i YK_{kir} = \sum_m \sum_i YM_{mir} \ \forall r \quad (۲۸)$$

$$\sum_m \sum_i YM_{mir} = \sum_o \sum_i \widetilde{YO}_{oir} + \sum_p \sum_i \widetilde{YP}_{pir} + \sum_q \sum_i \widetilde{YQ}_{qir} + \sum_l \sum_i YL_{li} + \sum_n \sum_i YN_{ni} \ \forall r \quad (۲۹)$$

$$XRI_r = \frac{\sum_k (DEM_{kr})\beta_r (\sum_{m,p} TCMP_{mp})^2 - 2a\sum_k (DEM_{kr}) - 2a\beta_r c_r}{(\sum_{m,p} TCMP_{mp})^2 \beta_r{}^2 - 4a\beta_r} \quad \forall r \quad (۳۰)$$

رابطه‌ی ۱ به دنبال حداکثر ساختن سود و یا حداقل کردن هزینه است. درآمدها به تفکیک و همچنین هزینه‌ها به تفکیک در بخش قبل معرفی شده‌اند. رابطه‌ی ۲ به دنبال حداقل کردن مسائل زیست‌محیطی است. رابطه‌ی ۳ بیان می‌کند که امکان تأمین از هر تأمین‌کننده حداکثر یک مرتبه وجود دارد. رابطه‌ی ۴ نشانگر این است که هر کارخانه حداکثر یک بار تأسیس می‌شود. رابطه‌ی ۵ نشان می‌دهد که کل مکان‌های تأسیس یک کارخانه فقط یک مکان است. رابطه‌ی ۶ نشان می‌دهد که میزان تولید برای هر کارخانه باید بیش از میزان تقاضا برای آن کارخانه باشد. رابطه‌ی ۷ نشان می‌دهد که میزان تولید هر کارخانه از ظرفیت آن کارخانه نباید بیشتر باشد. رابطه‌ی ۸ نشان می‌دهد که هر مرکز توزیع حداکثر یک بار تأسیس می‌شود. رابطه‌ی ۹ بیان می‌کند که یک مرکز توزیع فقط در یک مکان بالقوه امکان تأسیس دارد. رابطه‌ی ۱۰ نشان می‌دهد که کل میزان توزیع برای

هر مرکز توزیع نمی‌تواند از ظرفیت آن مرکز توزیع بیشتر باشد. رابطه‌ی ۱۱ نشان می‌دهد که هر مرکز جمع‌آوری محصول فقط یک بار امکان احداث شدن را دارا است.

رابطه‌ی ۱۲ نشان می‌دهد که فقط یک مکان برای احداث هر مرکز جمع‌آوری محصول وجود دارد. رابطه‌ی ۱۳ بیان می‌کند که کل میزان جمع‌آوری توسط هر مرکز جمع‌آوری از ظرفیت آن نمی‌تواند بیشتر باشد. رابطه‌ی ۱۴ نشان می‌دهد که هر مرکز تولید مجدد فقط یک بار امکان احداث شدن را دارد. رابطه‌ی ۱۵ نشان می‌دهد که هر مرکز تولید مجدد فقط در یک مکان احداث می‌شود. رابطه‌ی ۱۶ نشان می‌دهد کل میزان تولید شده توسط هر مرکز تولید مجدد از ظرفیت آن نمی‌تواند بیشتر باشد. رابطه‌ی ۱۷ نشان می‌دهد هر مرکز بازیافت فقط یک بار امکان تأسیس شدن را دارد. رابطه‌ی ۱۸ نشان می‌دهد فقط یک مکان برای احداث هر مرکز بازیافت تخصیص می‌یابد. رابطه‌ی ۱۹ نشان می‌دهد ظرفیت هر مرکز بازیافت محدود است. رابطه‌ی ۲۰ بیان می‌کند که کل جریان شبکه برابر با کل میزان حمل و نقل از مراکز توزیع به مراکز بازتولید است. رابطه‌ی ۲۱ نشان می‌دهد هر مرکز تولید جدید فقط یک بار امکان احداث را دارد. رابطه‌ی ۲۲ نشان می‌دهد که تمامی مکان‌ها برای احداث هر مرکز تولید فقط یک مکان است. رابطه‌ی ۲۳ نشان می‌دهد کل میزان تولید برای مراکز تولید مجدد باید از ظرفیت آن کمتر باشد. رابطه‌ی ۲۴ نشان می‌دهد هر مرکز توزیع جدید فقط در یک مکان امکان احداث را دارد. رابطه‌ی ۲۵ نشان می‌دهد کل مکان‌های بالقوه برای احداث هر مرکز توزیع جدید فقط یک مکان است. رابطه‌ی ۲۶ نشانگر محدودیت ظرفیت هر مرکز توزیع جدید است. رابطه‌ی ۲۷ نشانگر تعیین میزان کمبود است. رابطه‌ی ۲۸ نشان می‌دهد که کل میزان تولید باید با میزان جمع‌آوری یکسان باشد. رابطه‌ی ۲۹ بیانگر محدودیت زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته است. رابطه‌ی ۳۰ میزان قیمت فروش محصول r را نشان می‌دهد که طبق پارامترهای تقاضای محصول جدید، مقیاس هزینه‌ی حمل محصول، قیمت فروش و میزان پاسخ‌گویی تقاضا به قیمت محاسبه می‌شود.

۳-۱- مدل‌سازی فازی مسئله

در مسئله‌ی ارائه شده برخی پارامترها دارای مقدار فازی است. برای تبدیل مدل غیرقطعی فازی به مدل قطعی از روش خیمنز و همکاران استفاده می‌شود[۲۷]. در این روش از امید ریاضی و بازه‌ی انتظاری اعداد فازی برای غیر فازی کردن یک مدل امکانی استفاده می‌گردد. روش ارائه‌شده ضمن حفظ خطی‌پذیری مدل، می‌تواند تعداد توابع هدف و محدودیت‌های نامساوی را افزایش ندهد. با فرض اینکه $\tilde{c} = (c^p, c^m, c^o)$ یک عدد فازی مثلثی است بازه انتظاری و امید ریاضی عدد فازی $\tilde{c}$ به ترتیب به‌صورت زیر است.

$$EI(\tilde{c}) = [E_1^c, E_2^c] = [\frac{1}{2}(c^p + c^m), \frac{1}{2}(c^m + c^o)] \quad (۳۰)$$

$$EV(\tilde{c}) = \frac{E_1^c + E_2^c}{2} = \frac{c^p + 2c^m, c^o}{4} \quad (۳۱)$$

بر اساس رابطه‌ی فوق می‌توان روابطی که دارای پارامترهای فازی است به‌صورت زیر بازنویسی کرد و به این ترتیب مدل فازی زدایی می‌شود.

$$\begin{aligned}
&\max z1 \\
&= RI_r.XRI_r + RCL_r.XRCL_r + RUI_rXRUI_r \\
&+ MI_rXMI_r \\
&- [\sum_j \frac{RSC1_j + 2RSC2_j + RSC3_j}{4}.XJ_j \\
&+ \sum_k \frac{PCS1_k + 2PSC2_k + PSC3_k}{4}{}_k.YK_{ki} \\
&+ \sum_k FCM_k XK_{ki}. + \sum_m FCMM_m.XM_{mi} \\
&+ \sum_l DCM_L.XL_{li} + \sum_n DCMN_n.XN_{ni} \\
&+ \sum_o FCO_o.XO_{oi} + \sum_o CCO_o \widetilde{YO_{oi}} \\
&+ \sum_l FCL_l XL_{lI} + \sum_Q FCQ_q.XQ_{qi} \\
&+ \sum_k DefC_k.XDEF_k + \sum_m \sum_p TCMP_{mp}] + TC \\
&+ FROC + VCOC
\end{aligned} \quad (۳۲)$$

$$XDEF_k = \frac{DEM1_{kr} + 2DEM2_{kr} + DEM3_{kr}}{4} + \frac{DEMP1_{kr} + 2DEMP2_{kr} + DEMP3_{kr}}{4} - YK_{kir} \quad (۳۳)$$

$$YK_{kir} \geq \frac{DEM1_{kr} + 2DEM2_{kr} + DEM3_{kr}}{4} \quad (۳۴)$$

روابط فوق نشانگر شکل فازی‌زدایی شده روابط ۱ به‌عنوان تابع هدف مسئله و همچنین رابطه (۶) و (۲۷) است. ارقام به‌صورت فازی مثلثی در نظر گرفته شده‌اند.

۴- مطالعه‌ی موردی

مورد مطالعه این تحقیق شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین محصول لاستیک سنگین است. صنعت لاستیک پس از کشف نحوه‌ی ولکانیزه کردن آن (در سال ۱۸۳۹) اکنون به عنوان یک صنعت

اقتصادی بسیار مهم ظهور یافته است و بسیاری از قطعات و محصولاتی لاستیکی در بازار به چشم می‌خورند از جمله آن‌ها می‌توان به تایر کامیون‌ها و سایر وسایل حمل‌ونقل، شیلنگ‌ها، تسمه‌های نقاله، فرش‌ها و صفحات لاستیکی، تسمه‌های V شکل، پاشنه و تخت کفش، اسفنج‌های لاستیکی و بسیاری از دیگر قطعات اشاره کرد. مراحل ویژه‌ی کنترل قطعات لاستیکی:

- کنترل کیفیت مواد اولیه
- کنترل کیفیت فرآیند تولید
- کنترل کیفیت محصول تولید شده
- کنترل کیفیت عملکرد محصول در شرایط کارکرد

در ادامه نمایی از فرآیند در برگیرنده‌ی این چهار مرحله به تصویر کشیده شده است. اگر اعمال‌کننده سیستم کنترل کیفیت کارخانه‌ی خودروساز که خریدار قطعات لاستیکی است قلمداد کنیم. دو مرحله‌ی اول و دوم یعنی کنترل کیفی (مواد اولیه و فرآیند تولید) می‌بایست مستقل از کنترل کیفی تولیدکننده قطعه‌ی مورد ارزیابی مداوم کارخانه خودروسازی قرار می‌گیرد. مرحله‌ی سوم یعنی محصول تولید شده هم در کارگاه قطعه‌ساز و هم در مراحلی توسط کاربر قطعه (خودروساز) مستقلاً مورد بازرسی قرار گیرد. قطعه‌ی لاستیکی در مقایسه با تولیدکننده قطعات ارتباط نزدیک‌تری با شرایط عملی کارکرد قطعات دارند. ازاین‌رو با داشتن یک سیستم کنترلی مناسب حین کارکرد نقش مهمی در بهبود کیفیت قطعه می‌تواند ایفاد کند. در دیاگرام زیر مسیر جریان اطلاعات بین کارگاه تولیدکننده قطعات و کارخانه‌ی مصرف‌کننده نشان داده شده است. تدوین چنین سیستمی برای پاسخ‌گویی به تلفیق چهار مرحله‌ی ویژه کنترل کیفی قطعات لازم است. صنایع ایران با وجود کادر مهندسی بسیار قوی، تجهیزات تولیدی تخصصی و انحصاری، تعهد و التزام پرسنل و مدیریت شرکت به امر کیفیت و تحویل به موقع، همکاری با تولیدکنندگان معتبر داخلی، وجود شبکه‌ی گسترده‌ی فروش و خدمات باعث گردید این شرکت در مدت فعالیت چندساله‌ی خود در زمینه‌های زیر سر بلند از انجام کلیه‌ی سفارشات دریافتی، نامی نیک از تلاش صنعتگر ایرانی در صنایع داخلی بر جای بگذارد.

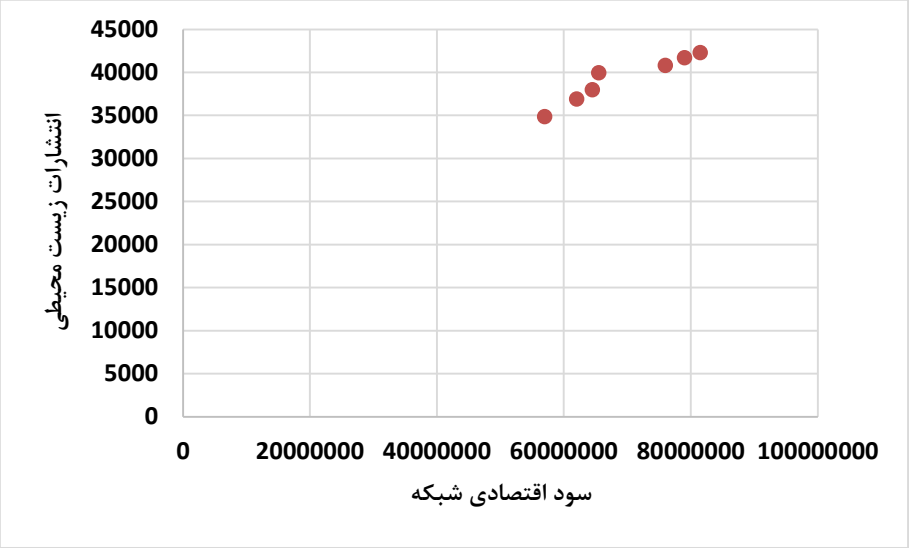
۵- ارائه‌ی نتایج و یافته‌های مدل

در این بخش مدل ارائه شده با استفاده از نرم‌افزار گمز و روش محدودیت اپسیلون و در ابعاد مختلف، حل شده و نتایج آن ارائه می‌گردد. نتایج در قالب محاسبه‌ی متغیرهای تصمیم‌پیوسته‌ی قیمت محصولات ارائه گردیده، ضمن اینکه نمودار پارتو که برای مسائل دوهدفه مناسب است نیز در ادامه ارائه می‌گردد. از آنجا که مدل بهینه‌سازی مسئله‌ی چندهدفه است از روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه می‌توان استفاده نمود. در این تحقیق از روش محدودیت اپسیلون برای حل مسئله استفاده شده است.

جدول (۱). قیمت فروش محصول در حالت‌های مختلف

محصول	۱	۲	۳	۴
قیمت فروش مجدد محصول	۱۲۰۰	۱۱۵۰	۱۲۵۰	۱۲۷۰
ارزش بازیافت محصول	۴۷۰	۳۵۰	۳۸۰	۴۲۵
قیمت فروش به بازار برای استفاده‌ی مجدد از محصول	۵۲۲	۵۳۹	۵۶۶	۵۷۵
قیمت فروش محصول به بازار برای احیای انرژی	۴۱۲	۳۵۸	۳۹۵	۴۲۹

در نمودار پارتوی به دست آمده از داده‌های حاصل از حل مسئله، نقاط تلاقی دو تابع هدف مورد قرار گرفته است و به شرح زیر نمایش داده شده است.

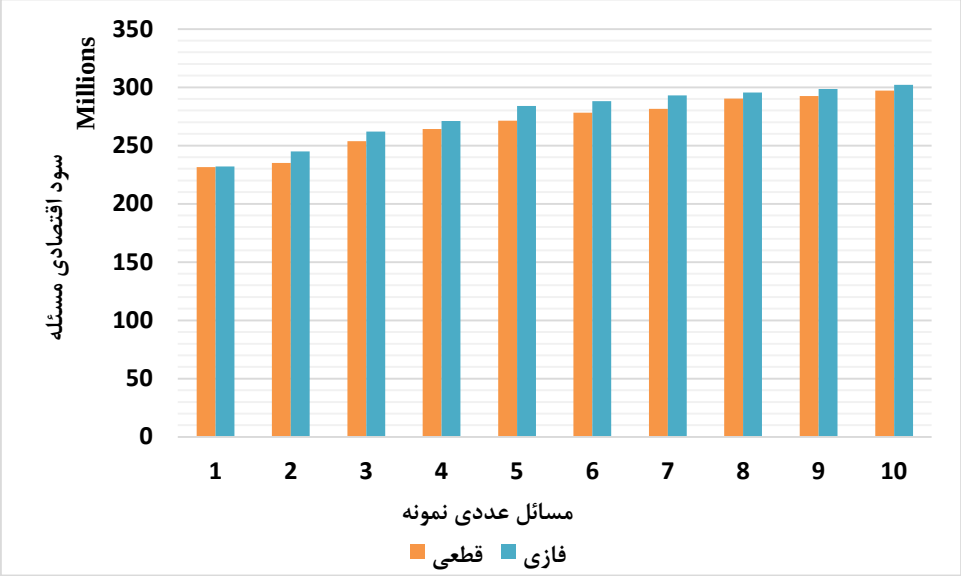


شکل (۱). نمودار پارتوی مدل بهینه‌سازی چندهدفه

همان‌گونه که مشاهده می‌شود نقاط بهینه حاصل از تلاقی دو تابع هدف در این مسئله به دست آمده است که نشانگر یک ارتباط تقریباً معکوس بین دوتابع هدف هزینه‌ها و آلاینده‌های زیست‌محیطی است. هر چند در برخی بخش‌های نمودار شاهد تراکم نقاط هستیم، اما در مجموع می‌توان دید که افزایش سود منجر به کاهش منافع زیست محیطی و برعکس می‌شود.

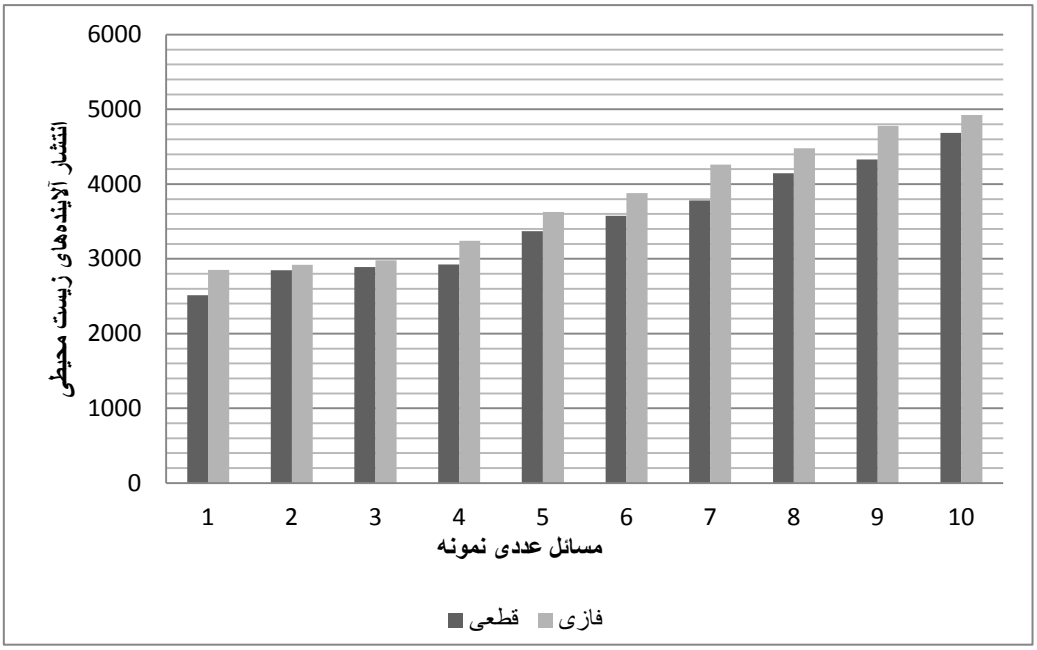
۵-۱- مقایسه‌ی نتایج در وضعیت قطعی و فازی

در ادامه با توجه به اینکه برخی پارامترهای مدل به شکل فازی است، بنابراین وضعیت قطعی و فازی به‌صورت دو وضعیت جداگانه در نظر گرفته شده و می‌خواهیم بدانیم که عدم قطعیت چه تأثیری بر مدل و نتایج آن بر جا می‌گذارد.



شکل (۲). مقایسه‌ی وضعیت قطعی و فازی در خصوص تابع هدف سود شبکه

طبق شکل (۲) مشاهده می‌شود نتایج حل مسئله در وضعیت قطعی و فازی تا حد مشخصی در بحث هزینه‌ها متفاوت است. به عبارت دیگر هزینه در وضعیت فازی بیش از وضعیت قطعی است که این امر نشان می‌دهد عدم قطعیت می‌تواند منجر به افزایش هزینه‌ها در زنجیره‌ی تأمین گردد.



شکل (۳). مقایسه وضعیت قطعی و فازی در خصوص مسائل زیست‌محیطی

در نمودار فوق مسئله در خصوص مسائل زیست‌محیطی بررسی شده و نشان داده می‌شود که در وضعیت فازی شاهد وضعیت بدتری از نظر مسائل زیست‌محیطی در مقایسه با وضعیت قطعی هستیم. بنابراین می‌توان گفت عدم قطعیت منجر به افزایش مسائل زیست‌محیطی در مسئله‌ی حاضر گردیده است. از سوی دیگر نتایج حاصل در وضعیت فازی نسبت به وضعیت قطعی دارای نوسانات بیشتری نیز است.

۵-۲- تحلیل آماری عدم قطعیت

در ادامه برای تأیید تفاوت بین وضعیت قطعیت و عدم قطعیت از آزمون تی دو نمونه‌ای مستقل استفاده می‌شود. نتایج در خصوص هر دو تابع هدف به شرح ذیل است.

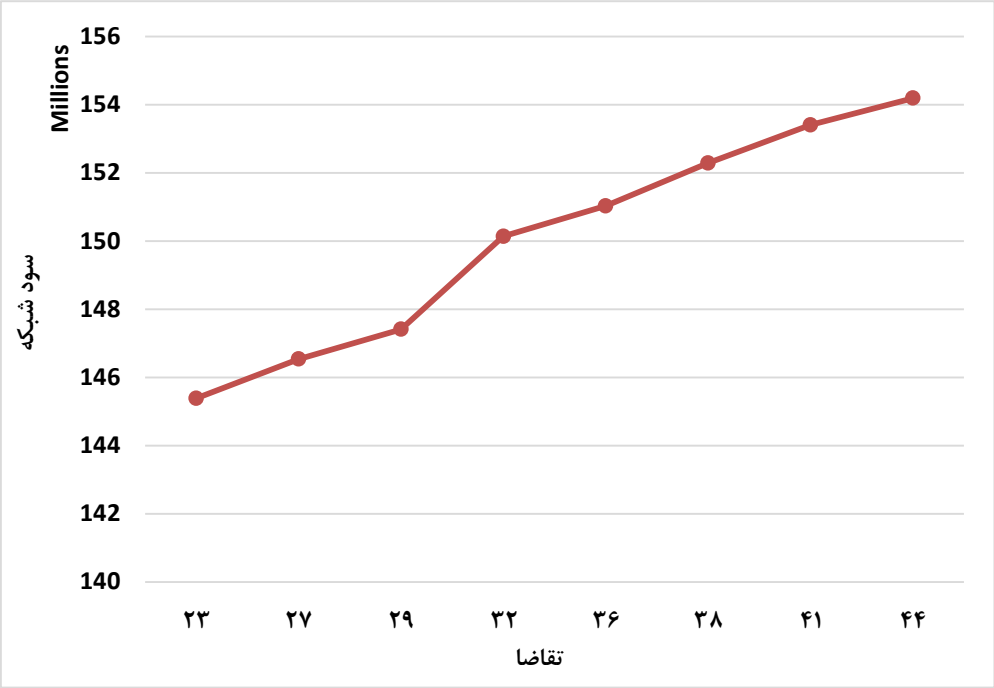
جدول (۲). آزمون t برای بررسی معنی‌داری مقادیر هزینه و آلاینده‌های زیست‌محیطی

	سطح معنی داری	درجه‌ی آزادی	آماره t	حد پایین	حد بالا	میانگین استاندارد خطا	انحراف استاندارد	میانگین
هزینه‌ها	۰/۰۰	۱۱	۳/۱۹۶	۴۱۸۹/۱۴	۲۶۱۴	۷۸۲/۳۶	۳۲۱۱/۳۹	۳/۱۴۷
آلاینده‌های زیست‌محیطی	۰/۰۰۲	۱۱	۳/۱۴۲	۳/۹۸۷	۰/۷۴۱۱	۰/۳۲۱۱	۱/۰۲۳۶	۱/۳۶۲۵

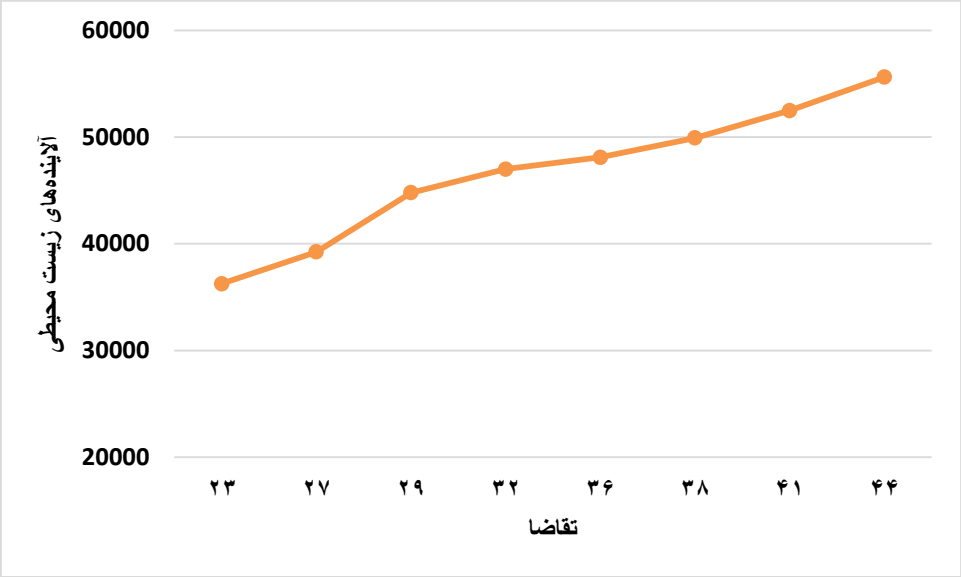
آزمون تی برای بررسی معنی‌داری تفاوت‌ها انجام می‌شود. البته در برخی موارد از انجام آزمون تی یا آنالیز واریانس به دنبال این هستیم که ببینیم کدام گروه دارای برتری نسبت به گروه دیگر است. در اینجا ما چنین هدفی نداریم و صرفاً می‌خواهیم بدانیم آیا تفاوت معنی‌داری بین وضعیت قطعیت و عدم قطعیت وجود دارد یا خیر. بنابراین غیر از سطح معنی‌داری سایر آماره‌ها و ضرائب اهمیتی ندارد و با توجه به اینکه سطح معنی‌داری نزدیک به صفر است، می‌توان گفت تفاوت معنی‌داری بین وضعیت قطعیت و عدم قطعیت در مسئله‌ی حاضر وجود دارد و عدم قطعیت منجر به بدتر شدن جواب گردیده است. برعکس وضعیت هزینه با توجه به سطح معنی‌داری ۰/۰۰۲ در خصوص مقایسه‌ی قطعیت و عدم قطعیت می‌توان گفت تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد بین قطعیت و عدم قطعیت وجود دارد و بنابراین وضعیت عدم قطعیت منجر به تغییر در مسئله یا بهبود یا بدتر شدن جواب گردیده است. بنابراین تأثیر عدم قطعیت بر بحث هزینه و مسائل زیست محیطی و بدتر شدن جواب تأیید می‌شود.

۵-۳- تحلیل حساسیت در پارامترهای مسئله

در این بخش با تغییر مقدار پارامترها قصد داریم رفتار توابع هدف سود زنجیره‌ی تأمین و آلاینده‌های زیست محیطی را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهیم. در اینجا تعداد سه پارامتر تقاضای محصول از توزیع‌کننده، تقاضای تولید کالای مجدد، ظرفیت مراکز جمع‌آوری مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

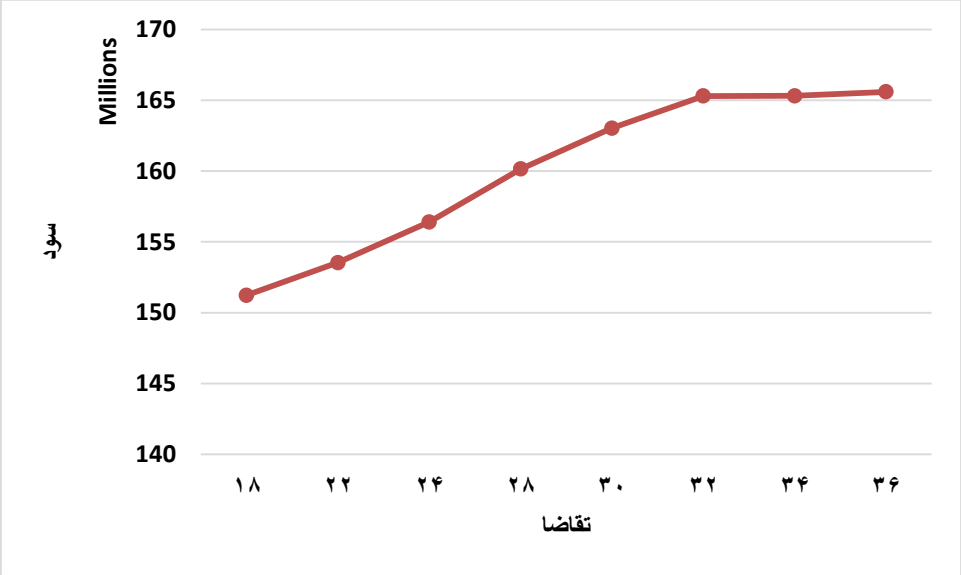


شکل (۴). تحلیل حساسیت تابع هدف سود با افزایش تقاضا

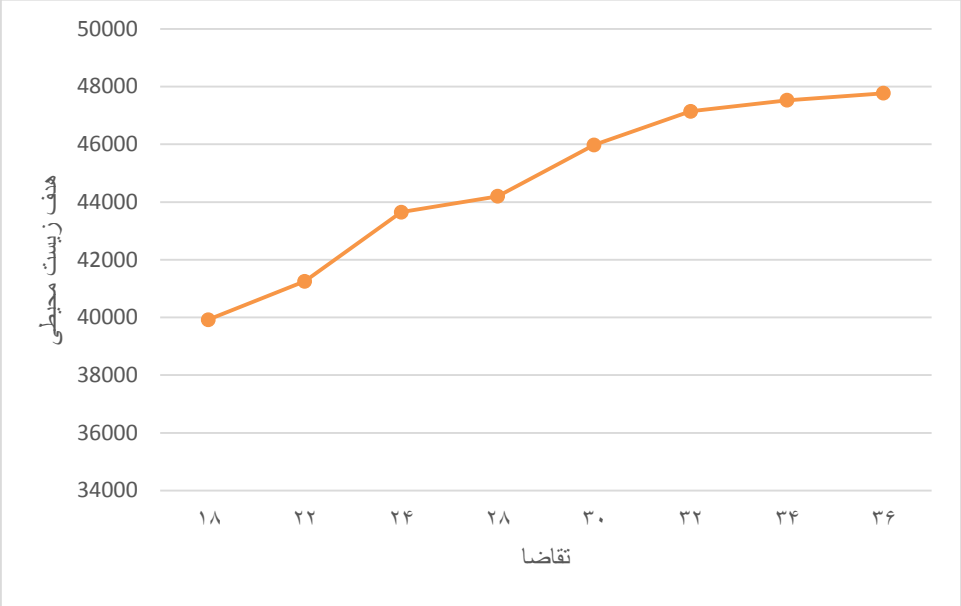


شکل (۵). تحلیل حساسیت تابع هدف زیست‌محیطی با افزایش تقاضا

طبق دو نمودار فوق مشاهده می‌شود افزایش تقاضا منجر به افزایش هدف زیست‌محیطی و افزایش سود می‌شود. به طور طبیعی با افزایش تقاضا می‌توان انتظار افزایش سود را داشت، اما می‌توان انتظار افزایش هدف زیست‌محیطی را در پی افزایش تولید در نظر داشت. در ادامه به تحلیل حساسیت سود و هدف زیست‌محیطی با تغییر در تقاضای محصول بازتولید شده پرداخته می‌شود.

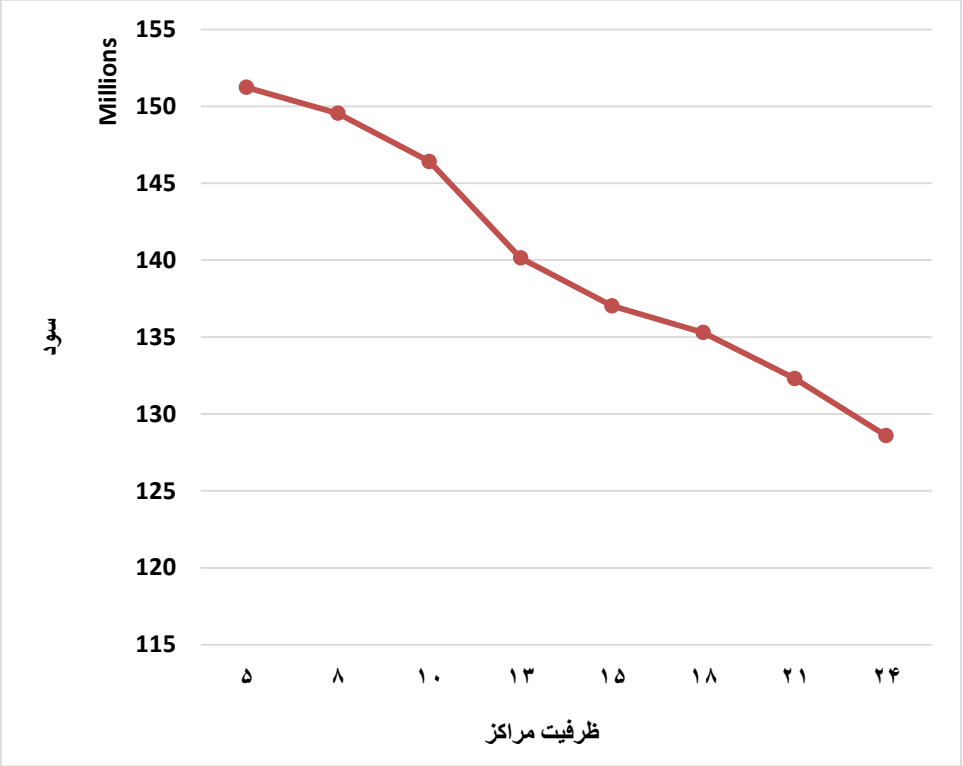


شکل (۶). تحلیل حساسیت سود با افزایش تقاضای محصول باز تولید شده

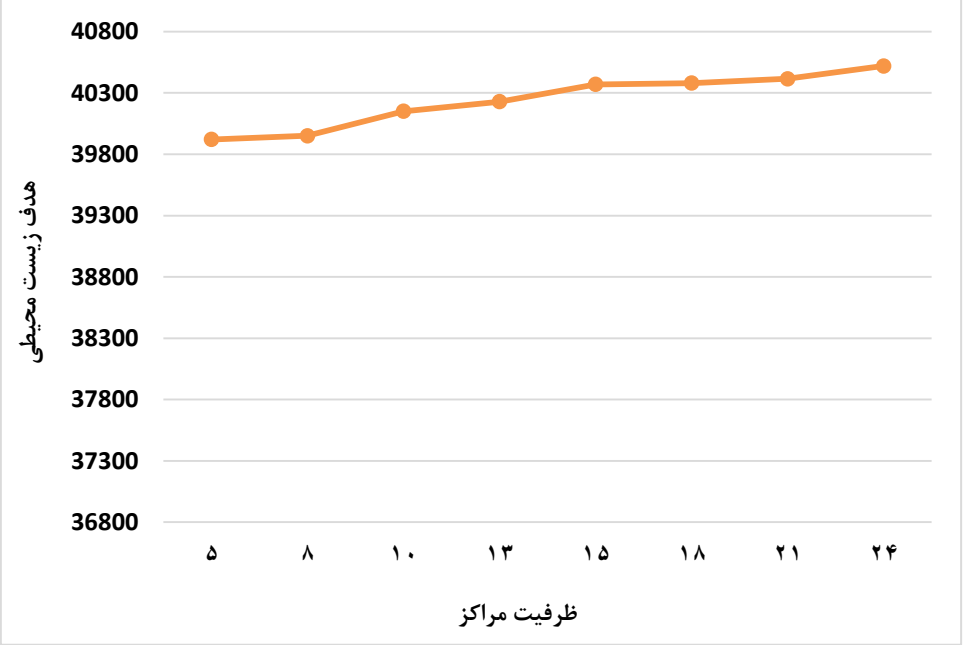


شکل (۷). تحلیل هدف زیست‌محیطی با افزایش تقاضای محصول بازتولید شده

با افزایش تقاضای محصول بازتولیدشده می‌توان نتیجه گرفت که سود و هدف زیست‌محیطی دچار روند صعودی می‌شود. هرچند به نظر می‌رسد در انتها این افزایش تثبیت شده و این افزایش در دوره‌های اولیه انجام می‌شود. در ادامه تحلیل حساسیت سود و تابع هدف زیست محیطی طبق افزایش ظرفیت مراکز جمع‌آوری ارائه شده است.



شکل (۸). تحلیل سود با افزایش ظرفیت مراکز جمع‌آوری



شکل (۹). تحلیل حساسیت هدف زیست‌محیطی با افزایش ظرفیت مراکز جمع‌آوری

بر اساس دو نمودار فوق می‌توان نتیجه گرفت زمانی که ظرفیت مراکز جمع‌آوری افزایش می‌یابد، میزان سود کاهش می‌یابد؛ زیرا هزینه‌های احداث مراکز جمع‌آوری زیاد و سود کم می‌شود. درحالی‌که در خصوص هدف زیست‌محیطی تغییر قابل ملاحظه‌ای با افزایش ظرفیت مراکز جمع‌آوری مشاهده نمی‌شود.

۶- نتیجه‌گیری

زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته با هدف بهبود عملکرد پایدار زنجیره‌ی تأمین شامل فعالیت‌های لجستیکی رو به جلو و معکوس است. با ترکیب این دو نوع فعالیت لجستیکی، مدیریت زنجیره‌ی تأمین از حالت خطی به حالت چرخشی حلقه‌بسته با برگشت مجدد تکامل می‌یابد. یک زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته زمانی اثرگذار خواهد بود که مبادله‌ای بین کاهش هزینه و حفاظت از محیط زیست در جهت کمک به شرکت‌ها طراحی و عملیاتی شود که ممکن است تأکید روزافزون بر مطالعات مرتبط با زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته را توضیح دهد. در این تحقیق، یک مدل ریاضی برای شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته سبز لاستیک سنگین طراحی شده است که قیمت‌گذاری اقتصادی محصولات را تحت شرایط عدم قطعیت در نظر می‌گیرد. این روش باعث می‌شود قیمت به‌طور اقتصادی مشخص شود و باعث افزایش سوآوری گردد. همچنین، مدل مربوطه از نوع فازی و دوهدفه است که هدف اول حداکثرسازی سود و هدف دوم حداقل‌سازی مسائل زیست محیطی است. همچنین، مدل پیشنهادی، قادر است که، مکان بهینه هر یک از اجزا را بر اساس مکان‌های بالقوه‌ی تعیین شده و میزان بهینه‌ی تولید، توزیع، جمع‌آوری، بازیافت و همچنین بازتولید محصولات تعیین کند. برای صحت‌سنجی نتایج مدل غیر قطعی و قطعی در مدل مورد نظر از آزمون تی دو نمونه‌ای مستقل استفاده شد. برای حل مدل دو تابع هدفه، روش ε- محدودیت به کار گرفته شد؛ که این روش جواب‌های بهینه پارتویی قوی را تضمین می‌کند و از جواب‌های پارتویی ضعیف جلوگیری می‌کند. در ادامه نشان دادیم که در سطح اول نتایج حاصل از متغیرهای تصمیم ارائه شده که شامل میزان تولید بهینه، میزان جمع‌آوری بهینه، میزان بازیافت بهینه و همچنین قیمت بهینه محصولات بود. در سطح دوم تحلیل پارتوی مسئله انجام شد که نشانگر ارتباط معکوس بین دو هدف سود و همچنین مسائل زیست‌محیطی می‌شد. در سطح سوم تحلیل حساسیت برای سه پارامتر صورت گرفت که نشانگر واکنش و حساسیت مدل به افزایش مقادیر تقاضای کل و تقاضای محصولات بازتولید شده و همچنین ظرفیت مراکز جمع‌آوری بوده است. دیدیم که نقاط بهینه‌ی حاصل از تلاقی دو تابع هدف در این مسئله نشانگر یک ارتباط تقریباً معکوس بین دوتابع هدف سود و مسائل زیست‌محیطی است که افزایش سود منجر به کاهش منافع زیست‌محیطی و برعکس می‌شود.

با توجه به نتایج به‌دست آمده مشخص است که نتایج حل مسئله در وضعیت قطعی و فازی در مورد هزینه‌ها متفاوت است. به عبارت دیگر هزینه در شرایط فازی بیش از شرایط قطعی است که گویای این است که عدم قطعیت می‌تواند منجر به افزایش هزینه‌ها در زنجیره‌ی تأمین شود. همچنین، مسئله در حوزه‌ی مسائل زیست‌محیطی بررسی شده و نشان می‌دهد که در وضعیت فازی شاهد وضعیت بدتری از نظر مسائل زیست‌محیطی در مقایسه با وضعیت قطعی هستیم. به همین جهت می‌توان گفت عدم قطعیت منجر به افزایش مسائل زیست‌محیطی در مسئله حاضر شده است. از سوی دیگر نتایج حاصل در وضعیت فازی نسبت به وضعیت قطعی نوسانات بیشتری را نشان می‌دهند. از طرفی برای بررسی معنی‌داری تفاوت‌ها آزمون تی انجام گردید. در برخی موارد از انجام آزمون تی یا آنالیز واریانس به دنبال این هستیم که تعیین کنیم کدام گروه دارای برتری نسبت به گروه دیگر است. به عبارت دیگر تفاوت معنی‌داری بین وضعیت قطعیت و عدم قطعیت در مسئله حاضر وجود دارد و عدم قطعیت باعث بدتر شدن جواب می‌شود. این تحقیق می‌تواند پیامدها عملی مفیدی در زنجیره‌ی تأمین‌های موجود داشته باشد. از آنجا که در این تحقیق ملاحظات زیست‌محیطی در نظر گرفته شده است و انتشار گازهای گلخانه‌ای مدل‌سازی شده است، پیاده‌سازی تحقیق حاضر می‌تواند منجر به کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی در مراکز تولیدی، مراکز توزیع و در مکان‌های حمل محصولات و کالاها شود. از طرفی پیاده‌سازی مدل طراحی شده منجر به قیمت‌گذاری اقتصادی در زنجیره‌های تأمین حلقه بسته می‌گردد که منجر به کاهش هزینه‌ها و افزایش سود شبکه می‌شود. اعتبارسنجی مدل با انجام تحلیل حساسیت‌های عددی گویای راستی‌آزمایی پیامدهای ارائه شده است و بر همین اساس می‌توان تأثیر روند تغییرات پارامترهای شبکه زنجیره‌ی تأمین بر روی اهداف زیست محیطی و اقتصادی زنجیره‌ی تأمین را مشاهده نمود. روش حل ارائه شده در این تحقیق دارای مزایا و معایبی بوده است. از جمله مزایای استفاده از روش محدویت اپسیلون می‌توان به کارامدی آن در بهینه‌سازی مدل ریاضی با دو تابع هدف و پیچیدگی‌های زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته اشاره کرد. زمان حل روش ارائه شده نسبت به سایر روش‌های حل در سطح قابل قبولی قرار دارد. این روش برای حل مسائل با ابعاد پایین و متوسط مناسب است و با زمان حل قابل قبولی منجر به بهینه سازی هر دو تابع هدف می‌شود. درحالی‌که اجرای روش محدودیت اپسیلون در نرم‌افزار گمز برای مسائل با ابعاد بالا مناسب نیست و در ابعاد بزرگ قادر به حل مدل ریاضی این

تحقیق نیست. به همین دلیل برای بهینه‌سازی مسائل با ابعاد بزرگ بهتر است از الگوریتم فرابتکاری قوی‌تری استفاده نمود.

از جمله محدودیت‌های تحقیق می‌توان به کمبود داده‌های واقعی و دسترسی سخت به آن‌ها در دنیای واقعی اشاره کرد. داده‌های مربوط به پارامترهای مختلف مدل شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین حلقه‌بسته که در مراکز مختلف تولیدی، تأمین و توزیع وجود دارد مربوط به سال‌های گذشته است که با وجود تورم و تغییر شرایط اقتصادی برخی از آن پارامترها مانند قیمت و هزینه برای سال‌های بعد اعتبار کافی را ندارند. از طرفی برخی از مراکز تولیدکننده و توزیع‌کننده به دلیل مسائل امنیتی حاضر به اشتراک‌گذاری اطلاعات شبکه‌های زنجیره‌ی تأمین خود نیستند. به همین دلیل جمع‌آوری و گردآوری اطلاعات می‌تواند یکی از محدودیت‌های مهم این تحقیق به شمار رود. علاوه بر این، این مطالعه یکی از کارهای جدیدی است که در حوزه‌ی بهینه‌سازی لجستیک معکوس ارائه شده است. به همین جهت، این مسئله از جنبه‌های مختلفی می‌تواند گسترش یابد که ادبیات موضوع را غنی کند و همچنین چشم‌انداز مفیدی را برای تحقیق حاضر در نظر گیرد. برای مثال می‌توان از استراتژی تاب‌آوری برای مدل‌سازی مربوط استفاده نمود و با طراحی یک مدل ریاضی سناریومحور مسئله را طراحی کرد. همچنین می‌توان یک الگوریتم دقیق برای حل مسئله‌ی زنجیره‌ی تأمین لاستیک سنگین ارائه کرد و نتایج را با الگوریتم فرابتکاری مقایسه کرد. از آنجا که مدل طراحی‌شده دارای پیچیدگی‌های زیادی است و دارای دو تابع هدف سود اقتصادی و آلاینده‌های زیست‌محیطی است، حل مدل ریاضی با استفاده از الگوریتم‌های فرابتکاری قوی‌تر مانند بهینه‌سازی گرگ خاکستری یا رقابت استعماری می‌تواند جواب‌های واقعی‌تر و کارآمدتری را ارائه دهد. بر همین اساس می‌توان نتایج حاصل از روش‌های حل مختلف را مورد مقایسه و تجزیه و تحلیل قرار داد و کارآمدترین الگوریتم حل برای پیاده‌سازی و بهینه‌سازی مدل ریاضی را انتخاب نمود.

۷- مراجع

[1] K. Govindan, H. Soleimani, and D. Kannan, "Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future," European Journal of Operational Research, vol. 240(3): pp. 603-626, 2015.

[2] C. Fang and J. Zhang,"Performance of green supply chain management: A systematic review and meta analysis,"Journal of Cleaner Production, vol.183: pp. 1064-1081, 2018.

[3] MM. Paydar and M. Olfati,"Designing and solving a reverse logistics network for polyethylene terephthalate bottles, " Journal of Cleaner Production,vol.195: pp. 605-617, 2018.

[4] Sh. Amin, H. Wu, and G. Karaphillis, "A perspective on the reverse logistics of plastic pallets in Canada," Journal of Remanufacturing, vol. 8(3), pp. 153-174, 2018.

[5] L. Huang, L. Murong, and W. Wang, "Green closed-loop supply chain network design considering cost control and CO2 emission, " Modern Supply Chain Research and Applications,vol. 2(1), pp. 42-59, 2020.

[6] O. Solgi, J. Gheidar, E. Dehghani, and A. Torami, "Resilient supplier selection in complex product and its subsystems' supply chain under uncertainty and risk disruption: A case study for satellite components," Scientia Iranica,vol. 28(3), pp. 1802-1826, 2019.

[7] I.-H Hong and J.-S. Yeh, "Modeling closed-loop supply chains in the electronics industry: A retailer collection application," Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, vol.48(4), pp. 817-829, 2012.

[8] J. Wei, K. Govindan, Y. Li, and J. Zhao, "Pricing and collecting decisions in a closed-loop supply chain with symmetric and asymmetric information," Computers & Operations Research,vol.54, pp. 257-265, 2015.

[9] U. Soni, V. Jain, and S. Kumar, "Measuring supply chain resilience using a deterministic modeling approach, " Computers & Industrial Engineering, vol. 74, pp. 11-25, 2014.

[10] A. Genovese,A. Acquaye, A. Figueroa and S. C. Lenny Koh,"Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications, " Omega, vol. 66, pp. 344-357, 2017.

[11] S. S. Syam and A. Bhatnagar, "A decision support model for determining the level of product variety with marketing and supply chain considerations," Journal of Retailing and Consumer Services, vol. 25, pp. 12-21, 2015.

[12] A. Sadia, T. Paksoy, B. Torğul, and R. Kaur, "Reverse logistics optimization of an industrial air conditioner manufacturing company for designing sustainable supply chain: a fuzzy hybrid multi-criteria decision-making approach," Wireless Networks, vol.26, pp. 5759-5782, 2020.

[13] P. de Camargo Fiorini, and C.J.C. Jabbour, "Information systems and sustainable supply chain management towards a more sustainable society: Where we are and where we are going," International Journal of Information Management, vol.37(4), pp. 241-249, 2017.

[14] S. Saberi, M. Kouhizadeh, J. Sarkis, and L. Shen,"Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management," International Journal of Production Research, vol.57(7), pp. 2117-2135, 2018.

[15] P. Ghadimi, C. Wang ,and M.K. Lim, "Sustainable supply chain modeling and analysis: Past debate, present problems and future challenges,"Resources, Conservation and Recycling, vol. 140, pp. 72-84, 2019.

[16] R.-J Lin,"Using fuzzy DEMATEL to evaluate the green supply chain management practices," Journal of Cleaner Production, vol. 40, pp. 32-39, 2013.

[17] R. Rajesh and V. Ravi, "Modeling enablers of supply chain risk mitigation in electronic supply chains: A Grey–DEMATEL approach," Computers & Industrial Engineering, vol. 87, pp. 126-139, 2015.

[18] A. K Nasr, M. Tavana, B. Alavi, and H. Mina, "A novel fuzzy multi-objective circular supplier selection and order allocation model for sustainable closed-loop supply chains," Journal of Cleaner Production, vol. 287, p.124994, 2021.

[19] J. Dong, L. Jiang, W. Lu, and Q. Guo, "Closed-loop supply chain models with product remanufacturing under random demand," Optimization, vol.70(1), pp. 27-53, 2021.

[20] S. Moradi and M. S. Sangari, "A robust optimisation approach for designing a multi-echelon, multi-product, multi-period supply chain network with outsourcing,"International Journal of Logistics Systems and Management, vol. 38(4), pp. 488-505, 2021.

[21] A. Diabat and A. Jebali, "Multi-product and multi-period closed loop supply chain network design under take-back legislation," International Journal of Production Economics, vol. 231, p. 107879, 2021.

[22] W. Liu, N. Shen, Z. Xu, N. Xie, J. Chen, and H. Zhou,"Pricing and collection decisions of a closed-loop supply chain with fuzzy demand," International Journal of Production Economics, vol. 245, pp. 108409, 2022.

[23] A. Salehi-Amiri, A. Zahedi, F. Gholian-Jouybari,E. Z. R. Calvo, and M. Hajiaghaei-Keshteli, "Designing a closed-loop supply chain network considering social factors; a case study on avocado industry," Applied Mathematical Modelling,vol. 101, pp. 600-631, 2022.

[24] A. Garai,and B. Sarkar, "Economically independent reverse logistics of customer-centric closed-loop supply chain for herbal medicines and biofuel," Journal of Cleaner Production,vol. 334, p. 129977, 2022.

[25] R. Z. Farahani, S. Rezapour, T. Drezner, and S. Fallah,"Competitive supply chain network design: An overview of classifications, models, solution techniques and applications," Omega, vol. 45, pp. 92-118, 2014.

[26] S. Rezapour, and R. Z. Farahani, "Strategic design of competing centralized supply chain networks for markets with deterministic demands," Advances in Engineering Software, vol.41(5), pp. 810-822, 2010.

[27] M. Jimenez, M. Arenas, A. Bilbao, and M. V. Rodriguez,"Linear programming with fuzzy parameters: an interactive method resolution, " European Journal of Operational Research, vol. 177, pp. 1599-1609, 2007.

Iranian Journal of Supply Chain Management

Vol. 24, No. 74, Spring, 2022

A Closed-Loop Supply Chain Network Design with Economic Pricing and Environmental Considerations under Fuzzy Uncertainty

H. Amoozadkhalili*

*Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Sari Branch, Islamic Azad University, Sari, Iran

(Received: 07/02/2022; Accepted: 24/04/2022)

Abstract

Today due to the significance of environmental pollutants and the increase of global standards for the environment, more attention has been paid to the design of closed-loop supply chain networks with green considerations. On the other hand, the direct and inverse chains affect each other in terms of the efficiency rate. As a result, the performance of each chain has its own effect on other chains and on the entire supply chain. In this research, we design a mathematical model for the green closed-loop heavy-duty supply chain network, which considers products under conditions of uncertainty with the concept of economic pricing. Economic pricing in this issue increases economic profitability. The designed mathematical model has a fuzzy basis and pursues two objectives. The first goal is to minimize costs and the second goal is to minimize environmental pollutants. The decisions made in this model include determining the optimal location of each center based on potential locations, the optimal amounts of production, distribution, collection and recycling, and also the reproduction of products. Furthermore, a two-sample independent t-test is used to validate the results of the definite and indefinite models. To solve the two-objective function model, the ε-constraint method is used so that the problem can guarantee strong Pareto optimal solutions and prevent weak Pareto solutions. Finally, to evaluate the efficiency of the proposed method, a case in the field of heavy tires is studied, solved and implemented to produce and present valuable management results.

Keywords : Fuzzy Programming, Closed-Loop Supply Chain, Environmental Purpose, Pricing, E-Constraint

*Corresponding Author E-mail: amoozad92@yahoo.com