مجله نخبگان علوم و مهندسی

Journal of Science and Engineering Elites

جلد ۷- شماره ۲ - سال ۱۴۰۱

www.ElitesJournal.ir

ارائه یک مدل ریاضی زنجیرهٔ تأمین سبز جهت کاهش آسیب های زیست محیطی (مطالعه موردی: شرکت شیر آلات آبراه تزئین)

افرا فاطمی

کارشناسی ارشد مهندسی صنایع،گرایش مدیریت مهندسی، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران

Afra.fatemi1361@yahoo.com

ارسال: خرداد ماه ۱۴۰۱ پذیرش: خرداد ماه ۱۴۰۱

چکیده

جهان امروز با مسائلی چون گرم شدن زمین، انواع آلودگی ها، افزایش مقدار گازهای گلخانه ای و... مواجه است که این مسائل به طور بالقوه می تواند منجر به انقراض نوع بشر شود. بنابراین حفظ محیط زیست و استراتژی های مربوط به آن خیلی زود در اولویت برنامه ها، به عنوان یک نوآوری مهم سازمانی قرار گرفت.در این مقاله یک مدل ریاضی زنجیرهٔ تأمین سبز جهت کاهش آسیب های زیست محیطی در شرایط عدم قطعیت بررسی شد. ریسک های عملیاتی به صورت خرابی در قسمت تامین کنندگان و کارخانه در نظر گرفته شد. مدل ریاضی تامین کنندگان مناسب را بر اساس معیارهایی مانند قیمت فروش، متوسط خرابی، و هزینه های حمل و نقل انتخاب می کند.به دلیل NP-Hard بودن مسائل زنجیره تامین، در این تحقیق، برای حل مساله در اندازه های بزرگ از روش NSGA II استفاده شد.یافته ها نشان داد که مدل ارائه شده باعث کاهش هزینه های زیست محیطی و بهبود عملکرد شرکت خواهد شد.

کلمات کلیدی: محیط زیست، زنجیره تامین سبز، حلقه بسته.

۱– مقدمه

مدیریت زنجیره تأمین حوزه ای حیاتی برای شرکت هاست. در دنیای کسب و کار امروز، شرکت ها نمی توانند انتظار داشته باشند بدون توجه به یکپارچگی استراتژی های شرکت و سیستم های زنجیره تأمین که ارتباط تنگاتنگی با هم دارند، محصول، خدمت یا فرایند سودآوری داشته باشند.مدیریت زنجیره تامین دارای سه فرایند اصلی است. گردش مناسب و انتقال صحیح اطلاعات باعث می شود تا فرایندها موثرتر و کاراتر گشته و مدیریت آن آسان تر گردد. این فرایند به نام فرایند مدیریت اطلاعات شناخته میشود در زنجیره تامین موضوع هماهنگی در فعالیتها بسیار اهمیت دارد. مدیریت اطلاعات هماهنگ و مناسب میان شرکاء باعث خواهد شد تا تاثیرات فزاینده ای در تصمیم گیری ها و سرعت، دقت، کیفیت و جنبه های دیگر وجود داشته باشد .مدیریت لجستیک یکی دیگر از فرایندهای زنجیره تامین است. این بخش کلیه فعالیتهای فیزیکی از مرحله تهیه مواد خام تا محصول نهایی شامل فعالیتهای حمل ونقل، انبارداری، زمانبندی تولید و ... را شامل می شود. اما آخرین و مهمترین فرایند در مباحث مربوط به زنجیره تامین که تاثیر شگرفی بر همه زمینه ها در زنجیره تامین و سطح عملکرد آن دارد مدیریت روابط است.همچنین به نظر می رسد منابع داخلی می توانند ، منابع یا توانمندی های خارجی را تغذیه کنند و قابلیت رقابتی و عملکرد شرکت را بیش از پیش بهبود ببخشند. مطالعه سیر تحول مدیریت نشان میدهد که شرکتها ابتدا به منظور مقابله با تغییرات شدید محیطی و بهبود عملکرد سازمانی

و سپس برای کسب سهم بازار بیشتر و کسب مزیت رقابتی، مدیریت زنجیره تامین را مورد توجه قرار داده اند. شرکتهای شیر آلات با توجه به کمیت گسترده مجموعه قطعات، جزو شرکتهای پیشرو در این زمینه بوده اند به این منظور شرکت طراحی و تامین قطعات با مدیریت زنجیره تامین این مجموعه درصدد افزایش عملکرد و کسب مزیت رقابتی است.از این رو هدف مقاله حاضر ارائه یک مدل ریاضی زنجیرهٔ تأمین سبز حلقه بسته در شرایط عدم قطعیت می باشد.

زنجیره تامین از دو یا چند سازمان تشکیل می‌شود که رسماً از یکدیگر جدا هستند و به وسیله جریان‌های مواد، اطلاعات و جریان‌های مالی به یکدیگر مربوط می‌شوند. این سازمان‌ها می‌توانند بنگاه‌هایی باشند که مواد اولیه، قطعات، محصول نهایی و یا خدماتی چون توزیع، انبارش، عمده فروشی و خرده فروشی تولید می‌کنند. حتی خود مصرف کننده نهایی را نیز می‌توان یکی از این سازمان‌ها در نظر گرفت . دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ میلادی بود که سازمان‌ها برای افزایش توان رقابتی خود تلاش میکردند تا با استانداردسازی و بهبود فرآیندهای داخلی خود، محصولی با کیفیت بهتر و هزینه کمتر تولید کنند. در آن زمان تفکر غالب این بود که مهندسی و طراحی قوی و نیز عملیات تولید منسجم و هماهنگ، پیشنیاز دستیابی به خواسته های بازار و در نتیجه کسب سهم بازار بیشتری است، لذا سازمان‌ها تمام تلاش خود را بر افزایش کارایی معطوف کردند و به تولید انبوه پرداختند[۳].

در واقع متبکر این سیستم‌ها هنری فورد بوده است. این نوع سیستم تولید که مثالی از سیستم‌های پیوسته است، محصول در حجم بالا تولید می‌شود و استانداردهای مشخص برای قطعات محصول وضع می‌گردد [۷] در دهه ۸۰ میلادی با افزایش تنوع در الگوهای مورد انتظار مشتریان، سازمان‌ها به طور فزاینده‌ای به افزایش انعطاف‌پذیری در خطوط تولید و توسعه‌ی محصولات جدید برای ارضای نیازهای مشتریان علاقه مند شدند و تولید منعطف را در پیش گرفتند.

در اوایل دهه ۹۰ میلادی، به همراه بهبود در فرآیندهای تولید و به‌کارگیری الگوهای مهندسی مجدد، مدیران بسیاری از صنایع دریافتند که برای ادامه حضور در بازار تنها بهبود فرآیندهای داخلی و انعطاف‌پذیری در تواناییهای شرکت کافی نیست، بلکه تامین کنندگان قطعات و مواد نیز باید موادی با بهترین کیفیت و کمترین هزینه تولید کنند و توزیع‌کنندگان محصولات نیز باید ارتباط نزدیکی با سیاستهای توسعه بازار تولیدکننده داشته باشند[۳] که از اصطلاحاتی چون تولید بهنگام و تولید ناب استفاده می‌شود. در سیستم‌های تولید ناب، تولید محصول بر اساس سلیقه مشتری و با دریافت سفارش انجام می‌شود، بنابراین پس از تکمیل محصول برای مشتری ارسال می‌گردد و نیاز به ذخیره سازی به میزان زیاد نیز کاهش می‌یابد. سازمان‌هایی که از تولید ناب استفاده می‌کنند با عرضه‌کنندگان مواد اولیه خود در قالب زنجیره تامین، روابط بلند مدت برقرار می‌کنند[۷].

با چنین نگرشی و با تعریف مدیریت زنجیره تامین به عنوان مجموعه اقداماتی که طی آن سعی میشود عرضه‌کنندگان خدمات و کالا، تولیدکنندگان، انبارها و فروشندگان طوری ادغام شوند که کالا به مقدار بهینه تولید شود و مقادیر بهینه به مکانهای مناسب و در اسرع وقت ارسال شود و انجام این مجموعه عملیات در حالی که رضایت مشتری حاصل می‌شود و هزینه‌ها به حداقل میرسد، رویکردهای زنجیره تامین و مدیریت آن پا به عرصه وجود نهاد [۳] و امروزه سازمان‌هایی که بتوانند به سرعت محصولات را مطابق نیاز مشتریان تولید کنند، سازمان‌های دارای سیستم تولید چابک به شمار می‌روند. از طرف دیگر با توسعه سریع فناوری اطلاعات در سال های اخیر و کاربرد وسیع آن در مدیریت زنجیره تامین، بسیاری از فعالیت های اساسی مدیریت زنجیره تامین با روش‌های جدید در حال انجام است [۱۵].

سابقه مدیریت زنجیره تامین سبز، به اوایل سال ۱۹۹۰ بر می‌گردد که برای نخستین بار در دانشگاه ایالتی میشیگان مطرح شد. باظهور مدیریت محیط زیست، استراتژی‌های تولید زیست‌سازگار و ادبیات مربوط به مدیریت زنجیره تامین سبز، رشد یافت. پیدایش زنجیره تامین سبز یکی از چشمگیرترین پیشرفت‌هایی بوده که در دهه گذشته رخ داده است و فرصت‌هایی را برای شرکت‌ها ایجاد نموده تا زنجیره تأمین خود را بر اساس اهداف زیست‌محیطی تنظیم کنند [۵]. مجموعه اقدامات داخلی و خارجی هر بنگاه در سراسر زنجیره تامین که به جلوگیری از ایجاد آلودگی می‌انجامد و به بهبود محیط زیست کمک کند زنجیره تامین سبز گویند[۸]. سبزکردن زنجیره تأمین یک فرصت عالی برای کسانی ایجاد می کند که نگران موضوعات مصرف پایدار و عملکردهای تجاری محیطی اند[۶].

ایده اصلی زنجیره تامین سبز، کاهش ضایعات است. در سال‌های اخیر، مدیریت زنجیره تامین سبز به رویکردی پیشگیرانه برای بهبود عملکرد زیست محیطی تبدیل شده است و نقش مهمی در مدیریت زنجیره سنتی، ایفا می‌کند. برخلاف مدیریت محیط‌زیست سنتی، مفهوم مدیریت زنجیره تامین سبز، مسئولیت کامل یک شرکت را نسبت به محصولاتش، از مرحله استخراج و تهیه مواد اولیه تا محصول نهایی و زباله بر عهده می‌گیرد [۹].

با افزایش نگرانی‌ها در مورد محیط زیست در دهه گذشته، در کنار توسعه صنعت و در فرآیند عملیاتی مدیریت زنجیره تامین باید به آلودگی‌های محیطی نیز توجه شود. همه راه حل‌های این مسئله بهتر است در قالب یک رویه زنجیره تامین جامع ترکیب شود. (شو و همکاران، ۲۰۱۴) مدیریت زنجیره تامین فاکتور مهمی است که بطور مستقیم با بهره‌وری و موقعیت رقابتی شرکت در ارتباط است. سبز کردن زنجیره تامین یک مفهوم جدید است. بر اساس این مفهوم خریدار از قدرت خرید خود برای تقاضای عملکرد محیطی بهتر از عرضه کننده بالادستی در زنجیره تامین استفاده می‌کند. این بدین معنی است که خریدار برای تامین کنندگانش نقش تسهیل‌کننده را دارد و به آنها در تبدیل شدن به یک سازمان دوستدار محیط زیست کمک می‌کند[۶].

اجرای اثربخش مدیریت زنجیره تامین سبز، نوآوری در محصول و خدمت را افزایش داده، بهره برداری از دارایی‌ها را بهبود می‌بخشد و روابط با مشتریان و سطح خدمت را از طریق تمرکز مشترک بر روی کاهش ضایعات و هزینه، تقویت می‌نماید و مزایای آن را می‌توان هم در سطح ملی و هم در سطح فردی مشاهده کرد. (اندیک و همکارن، ۲۰۱۸) زنجیره تامین سبز علاوه بر کاهش هزینه‌ها، از طریق همکاری نزدیک با تامین‌کنندگان می‌تواند گستره تولید محصولات سبز را وسیع‌تر کند. مطالعات نشان می‌دهد که بیش از ۷۰٪ اثرات محیطی محصولات و تقاضا برای منابع، توسط طراحی محصولات مشخص می‌شود. بهبود طراحی، نیازمند همکاری نزدیک با تامین‌کنندگان است. همکاری‌ای که موجب مشخص‌شدن ورودیها یا تغییرات برای تولید محصولاتی قابل بازیافت‌تر، کاهش میزان مواد اولیه سمی مورد استفاده، افزایش قابلیت استفاده مجدد و... می‌شود. در حقیقت، تقریباً همه‌ی شرکتها باید در مورد محصولاتشان تجدید نظر کنند و آنها را با محیط سازگارتر نمایند و در این راستا برای موفقیت باید همکاری قوی‌ای با تامین کنندگان خود داشته باشند [۶].

شوان (۲۰۱۹) در مقاله ای با عنوان مدلسازی فازی ساختارهای حلقه بسته مدیریت زنجیره تامین مبتنی بر بازاریابی سبز بیان داشت که این تحقیق در صنعت تجهیزات مترو صورت گرفته است و گروهی از خبرگان حوزه مورد مطالعه به عنوان نمونه انتخاب شده‌اند. برای گردآوری داده‌های پژوهش از ابزار پرسشنامه استفاده شده است. روابط میان متغیرهای اصلی مدل و الگوی روابط علی میان معیارها با تکنیک دیمتل فازی شناسائی شده است. ماتریس حاصله از تکنیک دیمتل (ماتریس ارتباطات داخلی)، هم رابطه علی و معلولی بین عوامل را نشان می‌دهد و هم اثرپذیری و اثرگذاری متغیرها را نمایش می‌دهد.مدلسازی روابط میان متغیرهای تحقیق نشان داده است حمایت مدیریت ارشد عاملی است که بیشترین تاثیرگذاری را دارد. از سوی دیگر تمرکز بر مشتریان بیشترین تاثیرپذیری را دارد. میزان تاثیر و تاثر عامل مورد نظر در سیستم نشان می‌دهد، آن عامل تعامل بیشتری با سایر عوامل سیستم دارد. براین اساس حمایت مدیریت ارشد از بیشترین تعامل با سایر معیارها برخوردار هستند. تمرکز بر مشتریان در جایگاه دوم است، کنترل فرایندها و تعامل با تامین‌کنندگان نیز در رتبه‌های بعدی قرار دارند. در نهایت مشخص گردید حمایت مدیریت ارشد و کنترل فرایندها بوده و تمرکز بر مشتریان و تعامل با تامین‌کنندگان معلول هستند. سو (۲۰۱۸) در مقاله ای با عنوان طراحی شبکه زنجیره تامین چند محصولی، چند سطحی، حلقه بسته تحت شرایط کاملا فازی بیان داشت که مسئله ی طراحی شبکه زنجیره تامین شامل تصمیمات استراتژیکی است که بر پیکربندی و تصمیمات تاکتیکی و عملیاتی تاثیر بسزایی دارد. در این تحقیق کاربرد مجموعه های فازی در طراحی شبکه زنجیره تامین یکپارچه حلقه بسته در محیط کاملا فازی پیشنهاد شده است. شبکه پیشنهادی در این پژوهش دارای سه سطح در جهت رو به جلو (تامین کنندگان، تولید و توزیع، مشتریان میانی) و درای سه سطح در جهت معکوس (مراکز جمع آوری و بازرسی، انهدام) می باشد. تابع هدف مدل حداکثر کردن سود است. برای حل ابتدا برنامه ریزی خطی آمیخته را به یک مدل قطعی تبدیل می گردد و با استفاده از داده های تجربی نشان می دهیم که روش حل پیشنهادی روش حل خوبی می باشد. چیو (۲۰۱۷) در مقاله دیگری بیان داشتند که در این مقاله یک مدل بهینه سازی استوار برای

طراحی زنجیره تامین حلقه بسته ارائه شده است. هدف آن حداقل کردن هزینه ها با در نظر گرفتن اثرات زیست محیطی انتشار گازهای گلخانه ای می باشد. برای مقابله با عدم قطعیت بعضی پارامترها در مسئله از رویکرد بهینه سازی استوار بر اساس یکی از نظریه های اخیر ارائه شده توسط بنتال و نمیروفسکی پیشنهاد شده است. سپس با توجه به پارامترهای غیر قطعی همتای استوار مدل قطعی برای پیدا کردن جواب های استوار نوشته شد. چهار سیاست مختلف برای در نظر گرفتن انتشار کربن ارائه شد و هر کدام با توجه به مثال ارائه شده مورد بررسی قرار گرفتند. در نهایت هر تصمیم گیرنده می تواند با توجه به شرایط موجود خود و نتایج حاصل از آنها اقدام به انتخاب یکی از سیاست ای موجود نماید.

آنورگ (۲۰۱۶).در مقاله خود با عنوان ارائه یک الگوریتم NSGAII جهت طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته سبز ،در ابتدا با ارائه یک مدل با معیارهای سبز بودن زنجیره تامین سبز پرداخت و سپس یک تابع هدف سه سطحی تعریف نمود و در پایان با روش الگوریتم NSGAII به حل مسئله پرداخت که نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات قبلی مشابه مقایسه گردید که بیانگر مناسب بودن مدل می باشد.رومین (۲۰۱۶). در مقاله خود باد عنوان طراحی یک زنجیره تامین حلقه بسته سبز تحت شرایط عدم قطعیت و حل آن با الگوریتمECLSC ،در ابتدا یک مدل برنا مه ریزی غیر خطی با معیارهای سبز بودن ارائه داد و مدل را الگوریتم ECLSC حل نمود که نتایج بیانگر قابل استفاده بودن مدل در دنیای واقعی است. زالچین (۲۰۱۶).در مقاله خود با عنوان طراحی یک زنجیره تامین حلقه بسته سبز جهت مسیریابی موجودی در شرایط عدم قطعیت، نخست عوامل موثر بر محیط زیست را شناسایی نموده و بعد یک مدل با برنامه ریزی عدد صحیحی تصادفی تنظیم کرد و در ادامه با الگوریتم فرا ابتکاری به حل مدل پرداخت که نتایج بیانگر این است که مدل فوق مطابق با شرایط دنیای واقعی بوده و منجر به کاهش عوامل موثر بر محیط زیست می باشد.مین لانگ (۲۰۱۴).در مقاله خود تحت عنوان طراحی ساختار مدیریت زنجیره حلقه بسته سبز در شرایط عدم قطعیت به بررسی وابستگی متقابل بین جنبه ها و معیارهای موجود در زنجیره تامین حلقه بسته سبز پرداخته و بیان داشت که ساختار های سلسله مراتبی زنجیره تامین حلقه بسته سبز با عملیاتهای دنیای واقعی شباهت زیادی دارن و یک مدل مناسب با توجه به معیارهای موجود طراحی نمود و با روش ANP به حل مدل پرداخت.ونگ (۲۰۱۳).در مقاله دیگری با عنوان کاربرد الگوریتم ژنتیک در بهینه سازی تابع چند هدفه شبکه زنجیره تامین حلقه بسته سبز ،نخست یک مدل با دو تابع هدف کاهش هزینه کل و کاهش عوامل موثر بر آلودگی زیست محیطی ارائه نمود و در ادامه با الگوریتم MOGA به حل آن پرداخت که نتایج در مقایسه با نتایج تحقیقات مشابه تائید کننده مناسب بودن مدل می باشد.

۲–طرح مسئله، مدلسازی و اعتبارسنجی

در این بخش مدل پژوهشی به همراه مفروضات، اندیس ها و محدویت ها ارائه می گردد. یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای طراحی شبکه توسعه داده شده است. مدل پیشنهادی چند محصولی، چند دوره ای و تک هدفه است. مجموعه ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم به شرح زیر میباشند:

مجموعه ها:

S	مجموعه تأمین کنندگان (S=1,….,s
I	مجموعه کارخانه های تولیدکننده (I=1,….,i
K	مجموعه خرده فروشان نوع یک (K=1,….,k
L	مجموعه خرده فروشان نوع دو (L=1,…,l
R	مجموعه ضایعاتیها (R=1,….,r
J	مجموعه محصولات تولیدی (J=1,…,j
E	مجموعه مواد اولیه موردنیاز برای تولید محصولات (E=1,…e) (فلز برنج =e۱
T	مجموعه دوره ها (T=1,….,t

پارامترها:

D_{jkt} تقاضای محصول j ام در خرده فروش نوع یک k ام در دوره t ام.

DD_{jlt} تقاضای محصول j ام در خرده فروش نوع دو l ام در دوره t ام.

BOM_{ej} مقدار (کیلوگرم یا تعداد) ماده اولیه e ام به کاررفته در محصول j ام.

CTA_{set} ظرفیت تأمین کننده s ام برای تأمین ماده اولیه e ام در دوره t ام.

VB_j حجم بسته بندی هر محصول j ام تولیدی.

CTO_{it} مدت زمان قابل استفاده برای تولید در کارخانه i ام در دوره t ام.

VA_e حجم هر واحد ماده اولیه e ام.

CF_i ظرفیت انبار کارخانه i ام برای شیرآلات فرسوده بازگشتی.

VF میانگین حجم هر شیر فرسوده بازگشتی.

α درصد مشتریان خرده فروش نوع دو که خواهان طرح تعویض اند.

ZT_J سیکل تولید محصول j ام.

CA_i میزان انتشار گاز CO_2 در دوره زمانی i

CM_i میزان انتشار گاز CO_2 به ازای تولید یک محصول

M مجموعه مواد خام مصرفی

B= فلز برنج به کاررفته در هر شیر برگشتی.

متغیرهای تصمیم:

P_{esit} مقدار (کیلوگرم یا تعداد) ماده اولیه e ام ارسال شده از تأمین کننده s ام به کارخانه i ام در دوره t ام.

Q_{jikt} تعداد محصول j ام ارسال شده از کارخانه i ام به خرده فروش نوع یک k ام در دوره t ام.

O_{jilt} تعداد محصول j ام ارسال شده از کارخانه i ام به خرده فروش نوع دو l ام در دوره t ام.

U_{lit} تعداد شیرآلات فرسوده ارسال شده از خرده فروش نوع دو l ام به کارخانه i ام در دوره t ام.

V_{lrt} تعداد شیرآلات فرسوده ارسال شده از خرده فروش نوع دو l ام به ضایعاتی r ام در دوره t ام.

IM_{jit} موجودی محصول j ام در کارخانه i ام در دوره t ام.

IMA_{eit} موجودی ماده اولیه e ام در کارخانه i ام در دوره t ام.

TM_{jit} تعداد محصول j ام تولیدشده در کارخانه i ام در دوره t ام.

IFT_s اگر تأمین کننده s ام برای تأمین مواد اولیه انتخاب شود ۱، در غیر این صورت ۰.

RD_{lt} تعداد شیرآلات فرسوده بازگشتی به خرده فروش نوع دو l ام در دوره t ام.

D_{ij} =فاصله بین انبار i ام و کارخانه j ام.

CB_N=گاز CO_2 منتشرشده از وسیله نقلیه t ام به ازای هر کیلومتر

I_{jkt} = مقداری از محصول نوع j ام.که در زمان t ام که در مرکز بازیافت K ام.بازیافت میشود.

NOM_m= تعداد ماشین خریداری شده در مرکز تعمیر m ام.

PTN_n = زمان لازم برای بازیافت یک واحد از محصول n ام.

TN= زمان در دسترس یک ماشین در مرکز بازیافت.

B_{nt}= میانگین مقدار (کیلوگرم) فلز برنج به کاررفته در هر شیر برگشتی.

$\mathring{a}^T$= مسیر حرکت بهینه ماشین حمل و نقل در زمان t

OCS^{t}_{ip}=حمل نعداد محصول i با وسیله نقلیه t به انبار p

i_i=تعداد انبارهای i در کارخانه i ام.

I_b= ظرفیت کارخانه i جهت حجم بسته بندی هر محصول b

ε^{t}= جزء خطا که برابر است با ۰.۰۵.

تابع هدف:

تابع هدف نشان میدهد که شرکت از طریق حمل و نقل بهینه محصولات به انبارها،بازیافت آنها،توجه به نگهداری و تعمیرات ماشین آلات به صورت دوره ای، حضور به موقع ماشین آلات در مرکز بازیافت ،میزان سوخت مصرفی به دنبال کاهش هزینه های ناشی از آسیب های زیست محیطی می باشد.

$$\textbf{MIN Z} = \mathring{a}^{T}_{t=1}\left(OCS^{t}_{ip} . D_{ij} \right)+\left(PTN_n .NOMm \right)+TN.I_{jkt}\,(1+i_i)^{t-1} +C_{Bn}\,B_{nt}(1+i_b)^{t-1}+\varepsilon^{t}$$

Sto:

$$\Sigma Q_{jikt} \le D_{jkt} \quad \forall j,k,t \quad (2)$$

$$\Sigma Q_{jilt} \le DD_{jlt} \quad \forall j,l,t \quad (3)$$

$$RD_{lt} = \alpha \Sigma\Sigma O_{jilt} \quad \forall l,t \quad (4)$$

$$RD_{lt} = \Sigma U_{lit} - \Sigma V_{lrt} \quad \forall l,t \quad (5)$$

$$IM_{jit} = IM_{ji,t-1} - TM_{jit} - \Sigma Q_{JIKT} - \Sigma O_{jilt} \quad \forall j,l,t \quad (6)$$

$$IMA_{eit} = IMA_{ei,t-1} + \Sigma P_{esit} - \Sigma(TM_{jit} * BOM_{ej}) \quad \forall e \neq 1,I,t \quad (7)$$

$$IMA_{eit} = IMA_{ei,t-1} + \Sigma P_{esit} - \Sigma(B * \Sigma U_{lit}) - \Sigma(TM_{jit} * BOM_{ej}) \quad \forall e = 1,I,t \quad (8)$$

$$\Sigma P_{esit} \le CTA_{set} \quad \forall ,s,e,t \quad (9)$$

$$\Sigma(VA_e * \Sigma \Sigma P_{esit}) \le CA_i \quad \forall ,I,t \quad (10)$$

$$\Sigma(TM_{jit} * ZT_j) \le CTO_{it} \quad \forall ,I,t \quad (11)$$

$$\Sigma (VB_j * TM_{jit}) \le CM_i \quad \forall ,I,t \quad (12)$$

$$VF * \Sigma U_{lit} \le CF_i \quad \forall ,I,t \quad (13)$$

$$P_{esit} \le M * IFT_s \quad \forall e,s,I,t \quad (14)$$

تابع هدف آسیب های زیست محیطی را کمینه می کند. همچنین عبارت (۲)و (۳) نشان دهنده پاسخ به تقاضای مشتریان توسط خرده فروشان می باشد. عبارت (۴) نشاندهنده جمع آوری شیرآلات فرسوده در خرده فروشان نوع دو میباشد. عبارت (۵) نشان دهنده ارسال شیرآلات فرسوده جمع آوری شده به کارخانه ها و ضایعاتی ها است. عبارت های (۶) تعادل جریان محصولات تولیدی در انبار محصولات تولیدی را نشان میدهد. عبارتهای (۷) تعادل جریان مواد اولیه به جز فلز برنج در انبار مواد اولیه را نشان می دهد. عبارتهای (۸) تعادل جریان فلز برنج در انبار مواد اولیه را نشان می دهد. عبارت (۹) محدودیت ظرفیت تأمین کنندگان در تأمین مواد اولیه را نشان میدهد. عبارت (۱۰) محدودیت ظرفیت انبار مواد اولیه در کارخانه های تولیدکننده را نشان می دهد. عبارت (۱۱) محدودیت ظرفیت تولید در کارخانه های تولیدکننده را نشان میدهد. عبارت (۱۲) محدودیت ظرفیت انبار محصولات نهایی در کارخانه های تولیدکننده را نشان میدهد. عبارت (۱۳) محدودیت ظرفیت انبار شیرآلات فرسوده در کارخانه های تولیدکننده را نشان میدهد. عبارت (۱۴) انتخاب یا عدم انتخاب تأمین کنندگان برای تأمین مواد اولیه را نشان می دهد.تابع هدف آسیب های زیست محیطی ۴ بخش دارد که بخش اول در خصوص مسیر و حمل تعداد محصولات است.بخش دوم مربوط به بازیافت محصولات معیوب است.بخش سوم در خصوص ماشین آلات مرکز بازیافت است و بخش چهارم در مورد ظرفیت انبارها و کارخانه ها جهت بسته بندی و نگهداری محصولات است.در مقاله حاضر بعد از جمع آوری داده های مورد نیاز ،با استفاده از مدلسازی ریاضی تک هدفه با توجه به مفروضات به طراحی و حل مدل پرداخته خواهد شد. همچنین جهت تجزیه و تحلیل داده ها و حل مدل از نرم افزار GAMS استفاده گردید. این نرم افزار به کاربر این امکان را می دهد تا مدل ریاضی را در نرم افزار برنامه نویسی کرده و جواب بهینه آن را به دست آورد. به دلیل طیف بسیار بالای حل کننده های (Solver) این نرم افزار،

بسیاری از مسائل پیچیده با ابعاد بزرگ را می توان با استفاده از این نرم افزار حل نمود. برای حل مدل پیشنهادی مسئله داده های مورد نظر از سازمان تحت مطالعه جمع آوری گردید.که به شرح جدول زیر می باشد.

جدول ۱- اطلاعات عددی زیست محیطی

مشتریان مواد اولیه	تعداد تامین کنندگان	مراکز بازیافت	مراکز تعمیر	مراکز جمع آوری	مشتریان محصولات	مراکز توزیع	مراکز تولید
۱۲	۴۶	۱	۲	۴	۳۰۰	۹	۵

نتایج حل مسئله با نرم افزار GAMS جدول ۲ آمده است. ممیز اول نشان میدهد که اعداد بدست آمده به صورت صدم هستند و ممیز دوم نشان میدهد که اعداد بدست آمده عدد صحیح نیستد و دارای اعشار می باشد و اعداد گرد نشده اند.

جدول ۲- نتایج محاسبات حاصل از نرم افزارGAMS

λ	v1	v2	μ1	μ2	هزینه	CO2
1	0,9	0,1	0,890	0.871	E+0.07654	E+0.06293
	0,8	0,2	0,941	0.560	E+0.07724	E+0.06263
	0,5	0,5	0,832	0,981	E+0.07671	E+0.06226
0,9	0,2	0,8	0,943	0,965	E+0.07853	E+0.06233
	0,1	1	0,974	0,851	E+0.07641	E+0.06245
	0,9	0,1	0,982	0,863	E+0.07762	E+0.06271
	0,2	0,2	0,911	0,874	E+0.07891	E+0.06294
	0,5	0,5	0,875	0,850	E+0.07723	E+0.06265
	0,2	0,8	0,865	0,965	E+0.07778	E+0.06532
	0,1	1	0,765	0,890	E+0.07655	E+0.06271
	0,9	0,1	۹۶۴,۰	۸۵۳,۰	E+0.07776	E+0.6243
	0,8	0,2	۸۷۰,	۸۷۰,۰	E+0.07653	E+0.06228
0,8	0,5	0,5	0,631	۷۶۰,۰	E+0.07976	E+0.06254
	0,2	0,8	0,881	0,752	E+0.07685	E+0.06298
	0,1	1	0,932	0,653	E+0.07794	E+0.06270

مهم ترین تفاوت این مدل با مدلهای قبلی این است که مدل توسعه یافته در این پژوهش عوامل زیست محیطی را لحاظ کرده و این موضوع موجب ایجاد تعادل بین هزینه های حمل و نقل و هزینه های ناشی از انتشار گازCO_2 شده است. در این پژوهش، مدل تعیین می کند چه تعداد ماشین آلات در قسمت تولید، تعمیر، و بازیافت خریداری شود .در واقع هزینهٔ خرید ماشین آلات نیز لحاظ شد ؛ هرچند در مدل این تحقیق درآمد ناشی از فروش مواد اولیه در نظر گرفته شد، این افزایش درآمد آن قدر نیست که بتواند از افزایش هزینه های مدل بررسی شده، نسبت به مدل های ادبیات تحقیق جلوگیری کند.همچنین به دلیلNP-Hard بودن مسئله از الگوریتم NSGA II برای حل مسئله استفاده گردید. جهت تنظیم کردن پارامترهای الگوریتم مسئله به دو دستهٔ با اندازهٔ بزرگ و اندازهٔ کوچک تقسیم شد و برای هر دسته از مسائل بهترین مجموعهٔ پارامترها تخمین زده شد.. جواب ها در جدول ۳ می آید .روشسطوح پاسخ برای تخمین بهینهٔ پارامترهای مختلف تأثیرگذار بر یک فرآیند به کار می رود .در این روش، از روش معادلهٔرگرسیونی برای ارزیابی سطوح مختلف پارامترها استفاده می شود .روش کار بدین گونه است که یک سری سطوح مختلفپارامترهای مؤثر الگوریتم بر مبنای شاخص های ورودی (معمولاً از مقدار تابع هدف استفاده می شود) بررسی وبا برازش بهترین معادلهٔ رگرسیونی بر سطوح مختلف پارامترها مقادیر مطلوب برای تنظیم پارامترها پیشنهاد می شود. جدول ۳ تنظیم پارامترهای الگوریتم NSGA-II را با روش سطوح پاسخ نشان می دهد.

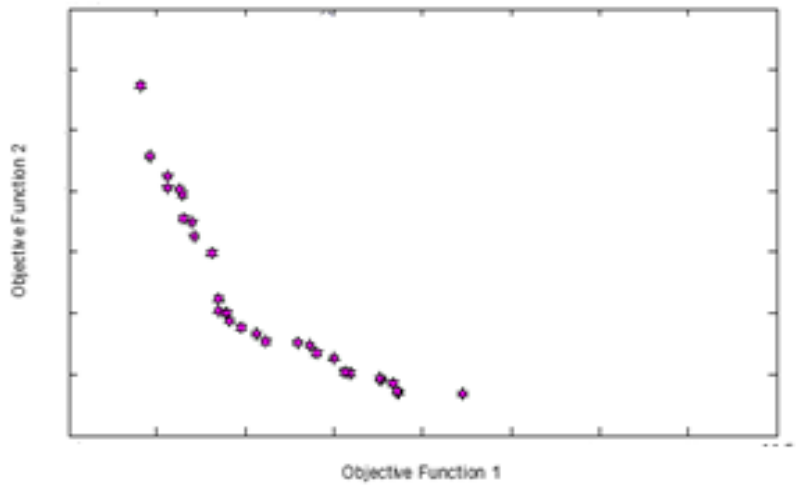
جدول ۳- تنظیم پارامتر الگوریتمNSGA-II

	اندازه بزرگ	اندازه کوچک
اولیه جمعیت تعداد	۳۰۰	۲۰۰
شرط توقف الگوریتم	۱۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰
تقاطع میزان	۰/۸	
میزان جهش	۰/۲	

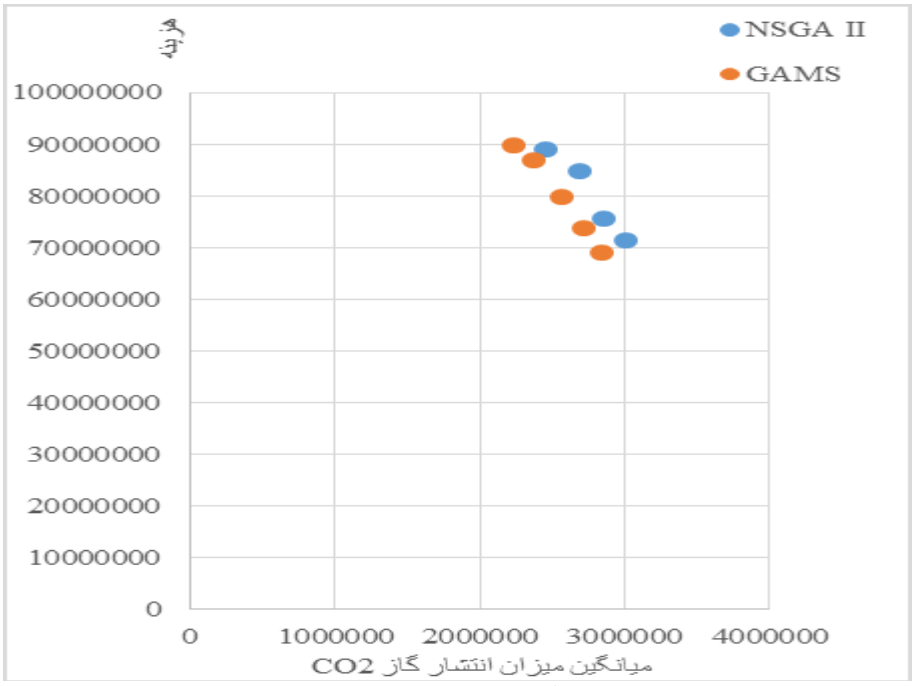
جدول ۴- نتایج محاسباتی به کمک نرم افزارNSGA-II

شماره مسئله	گاز انتشار میزان میانگین	هزینه تابع میانگین	پراکندگی شاخص	مقدار آلفا
۱	۷۷۴۹۲۳۳۹۷	۹۹۱۱۰۹۶۷۸۸۴	۰.۷۲۷	۰.۷
۲	۷۸۹۳۲۶۶۸۵	۹۸۶۳۰۰۶۴۸۵۶	۰.۷۴۴	۰.۸
۳	۷۹۴۷۲۹۸۱۶	۸۲۶۴۰۴۳۳۳۱۶	۰.۷۱	۰.۹
۴	۸۶۵۱۳۹۴۴۶	۸۱۴۰۴۴۹۸۲۱۱	۰.۷۳۸	۰.۷
۵	۸۴۰۵۶۰۴۷۸	۸۶۸۳۱۳۸۳۳۴۷	۰.۵۷۱	۰.۸
۶	۸۵۶۹۱۲۰۶۸	۸۶۵۲۱۴۵۳۹۹۱	۰.۴۹۹	۰.۹
۷	۸۸۱۵۶۴۱۷۲	۸۳۶۷۱۱۱۰۹۷۸	۰.۷۹۳	۰.۷
۸	۸۷۷۹۲۹۶۵۴	۸۹۷۶۳۲۴۳۰۲۳	۰.۹۸۳	۰.۸
۹	۹۹۴۴۶۵۷۴۳	۹۴۸۰۰۷۰۷۳۹۶	۰.۸۵۳	۰.۹
۱۰	۹۳۳۵۶۷۳۸۵	۷۴۰۷۷۵۱۳۰۲۹	۱.۱۰۱	۰.۷
۱۱	۹۴۵۸۷۲۱۰۶	۸۱۱۳۷۵۳۰۱۱۰	۱.۳۱۱	۰.۸
۱۲	۹۹۲۳۸۶۵۷۴	۹۱۹۳۵۸۳۰۶۷۴	۰.۹۴۵	۰.۹
۱۳	۱۱۳۷۸۴۳۹۰۷	۹۶۰۲۶۵۷۲۶۱۳	۰.۹۶۴	۰.۷
۱۴	۱۱۵۶۳۴۷۸۹۴	۹۸۵۸۸۷۴۴۷۲۳	۰.۷۳۱	۰.۸
۱۵	۱۲۰۳۶۸۹۸۹۲	۹۹۴۰۷۷۸۱۴۵۶	۱.۸۰۹	۰.۹
۱۶	۱۱۵۹۸۷۶۷۶۹	۹۲۳۴۸۲۰۴۸۴۲	۰.۹۸۴	۰.۷
۱۷	۱۲۳۰۹۵۸۴۹۰	۹۵۶۳۹۵۸۳۷۲۱	۰.۷۷۰	۰.۸
۱۸	۱۲۷۸۴۵۶۴۲۴	۹۸۴۷۲۷۵۸۲۹۱	۰.۹۳۹	۰.۹

با توجه به نتایج به دست آمده، نمودار پارتو در شکل ۱ می آید. همان طور که مشاهده می شود، کارکرد مدل تک هدفه مطلوب و مؤثر است. این موضوع نشان دهندهٔ کارکرد مطلوب الگوریتم NSGA II است.



شکل ۱- نمودار بهینهٔ پارتو الگوریتم NSGA II



شکل ۲- مقایسهٔ جواب الگوریتم فراابتکاری با حل دقیق در مسائل کوچک

آنچه اهمیت طراحی یک شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین را روزافزون می کند تأثیر آن بر مکان یابی تسهیلات و تجهیزات، جریان تولید و خرید کالا و مواد اولیه، حمل و توزیع آن ها ، و میزان رضایتمندی مشتریان است .در سال های اخیر، با توجه به زیان های ناشی از خرابی محصولات، هم از نظر اقتصادی و هم از نظر سطح رضایتمندی مشتری، جریانات برگشتی، اعم از تحویل کالاهای معیوب از مشتریان و تعمیر و بازیافت آن ها، در طراحی شبکه گنجانده شد. این تحقیق با رویکردی یکپارچه، با درنظرگرفتن جریانات رو به جلو و معکوس، نه تنها سطح رضایتمندی مشتریان را بهینه کند، بلکه از لحاظ اقتصادی هزینه های تولید دوباره راکاهش می دهد و حتی از فروش مواد بازیافتی سود به دست می آورد. همچنین برای اولین بار در طراحی یک شبکهٔ یکپارچهٔ زنجیرهٔ تأمین مسائل زیست محیطی به صورت جدی و تحت شرایط عدم قطعیت تأثیر خو د را بر چگونگی طراحی شبکه نشان می دهد .این تأثیرات، چه در بخش حمل ونقل چه در جریان برگشتی (تعمیر و بازیافت) مشاهده می شود. نتایج حاصل از حل مدل نشان دهندهٔ کارکرد منطقی و مطلوب مدل در رسیدن به جواب بهینه است. همان طورکه در شکل ۲ مشاهده می شود، هر چه هزینهٔ بیشتری برای سیستم حمل ونقل بهینه صرف شود تابع میزان انتشار آلاینده ها بهینه تر و کمتر خواهد شد. این درتضاد بودن توابع هدف را نشان می دهد.

۳- بحث و نتیجه گیری

براین اساس، مدل ریاضی تک هدفه در این پژوهش با در نظر گرفتن چرخه زنجیره تامین که شامل تامین، تولید و توزیع جهت رساندن محصول به دست مشتریان نهایی و جمع آوری محصولات معیوب از آنها و بازیافت قطعاتی از آن، جهت ساخت مجدد در مراکز تولیدی و از بین بردن قطعا تغییر قابل استفاده در مراکز انهدام ارایه شد مدل به دنبال یافتن مکان بهینهٔ استقرار مراکز توزیع، جمع آوری و بازرسی، مراکز تعمیر، و مراکز بازیافت است. مقدار جریان بهینه را بین همهٔ تسهیلاتی که در کل شبکه با هم مرتبط اند تعیین می کند .تعیین می کند چه تعداد ماشین آلات برای کدام مرکز تولید و تعمیر و بازیافت خریداری شود .چه تعداد از کدام محصول با کدام ماشین تولید و تعمیر یا بازیافت شوند .چه مقدار از مواد اولیه به کدام مشتری مواد اولیه فروخته شود و چه تعداد از کدام محصول از کدام تأمین کننده خریده شود. نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر آن است که با بازیافت محصولات معیوب، ضمن برآورد نمودن سطح بالایی از تقاضای مشتریان و تحویل محصول مرغوب با هزینه پایین به مشتری، اهداف زیست محیطی این مدل نیز محقق می یابد. با توجه به نتایج، به دست آمده، نمودار پارتو در شکل ۱ می توان بیان داشت که کارکرد مدل دوهدفه مطلوب بوده است. همچنین با مقایسهٔ جواب به دست آمده در مسائل با اندازهٔ کوچک و بزرگ مشاهده شد جواب به دست آمده از الگوریتم فراابتکاری در مقایسه با نرم افزار GAMS اختلاف ناچیزی دارد این موضوع نشان دهندهٔ کارکرد مطلوب الگوریتم NSGA II است.نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر با نتایج رومین (۲۰۱۶) که معتقد است با بازیافت محصول و چند بخشی در نظر گرفتن مراکز جمع آوری ،علاوه بر این که دولت به اهداف زیست محیطی خود می رسد ،مشتری نیز محصول مرغوب تر و با هزینه کمتر در دسترس خواهد داشت. شوان (۲۰۱۹) در یافت که نتایج بدست آمده از حل مدلهای پایدار و قطعی موجه بودن جواب ها را در تمامی سطوح عدم قطعیت توجیه می نماید. آکشای ،آندریک(۲۰۱۶) ، زالچین(۲۰۱۶) نشان دادند که مدل فوق مطابق با شرایط دنیای واقعی بوده و منجر به کاهش عوامل موثر بر محیط زیست می باشد. سو (۲۰۱۸) مدل دوم خود را برای کاهش اثرات مخرب زیست محیطی از طریق آلاینده ها ارائه نمود. لانگ (۲۰۱۴) عنوان داشت که ساختار های سلسله مراتبی زنجیره تامین حلقه بسته سبز با عملیاتهای دنیای واقعی شباهت زیادی دارند. ونگ(۲۰۱۳) یک مدل با دو تابع هدف کاهش هزینه کل و کاهش عوامل موثر بر آلودگی زیست محیطی ارائه نمود که نتایج در مقایسه با نتایج تحقیقات مشابه تائید کننده مناسب بودن مدل می باشد.

با توجه به یافته ها پیشنهاد می گردد که شرکت از طریق بازیافت محصولات معیوب از طریق (توجه به واحدهای تعمیر و بازیافت) به مسائل زیست محیطی توجه بیشتری نماید. همچنین نتایج حاصل از این پایاننامه میتواند برای سازمان هایی که در حوزه زنجیره تامین حلقه بسته و لجستیک معکوس فعالیت میکنند مورد استفاده قرارگیرد و با تعیین مکان بهینه تسهیلات ، تخصیص بهینه و همچنین بهینه سازی هزینه های موجودی شبکه میتوان هزینه ها را کاهش داد و از لحاظ مزایای اقتصادی به صرفه میباشد. در زمینه محیط زیست، با بازیافت کالا و استفاده مجدد از محصولات، ضایعات باعث کاهش اثرات زیان آور و مخرب میشود. در پایان نیز می توان بیان داشت محدودیت نتایج تحقیق به دوره زمانی که اطلاعات در آن جمع آوری شده و محدودیت استفاده از روش های مختلف برای حل مدل از مهمترین محدودیت های تحقیق هستند پژوهشگران نیز می توانند با در نظر گرفتن معیارهای دیگر زیست محیطی و همچنین شاخص های ارزیابی اجتماعی در مدل های بهینه سازی لجستیک و مرتبط کردن مدل های ارائه شده با زنجیره سبز می تواند تحقیقات بیشتری انجام دهند.

۴- مراجع

1. Anderik, C., Ruz-Femenia, R., Caballero, J., Guilln-Goslbez, G., Jimnez, L., (2018). On the use of principal component analysis for reducing the number of environmental objectives in multi-objective optimization: application to the design of chemical supply chains. Chem. Eng. Sci. 69 (1), 146–158

2. Anork, K., (2016). Green Supply Chain Design Using Multi-Objective Optimization (Master's thesis). University of Minho, Portugal

3. Chio,R., (2017(. Transportation in America: A Statistical Analysis of Transportation in the United States. Technical Report. 14th edition, Eno Transportation Foundation, New York.

4. Long, , J., (2014). Optimal production and pricing policy for a closed loop system. Resour. Conserv. Recycl. 55 (6), 639–647, Environmental Supply Chain Management.

5. Jhon, M.I.G., (2018). A strategic and tactical model for closed-loop supply chains. OR Spectr. 31 (3), 573–599.

6. Imani, M, Ahmadi, R (2018). Prioritization of sustainable green supply chain criteria in the steel industry. Fourth International Conference on Environmental Planning and Management. Tehran: Faculty of Environment, University of Tehran.

7. Khairabadi, A (2015). Investigating the conceptual model of augmented reality technology functions in supply chain management of Khuzestan Steel Company, International Conference on Science, Engineering, Technology and Technological Businesses, Tehran, Arvin Alborz Conference Company. Jamali, A (2015). The Role of ERP in Improving the Performance of Supply Chain Management, 4th National Conference on Community Empowerment in Humanities and Management Studies, Tehran, Center for Cultural and Social Skills Empowerment.

8. Fallah, H (2018). Supply chain management and its role in labor relations as well as improving the performance of organizations, the first national conference on modern management studies in Iran, Karaj, Allameh Khoei Institute of Higher Education and Meraj Institute of Higher Education,

9. Safaei, A (2016). A comprehensive approach to supply chain management, University of Science and Technology Press. Shekari, Bahram (2018). Supply Chain Management, Tadbir Scientific-Educational Journal No. 117.

10. Mottaqi, M (2017). Evaluating the efficiency and performance of supply chain management, the first national conference on applied research in science and engineering, Mashhad, Iqbal Lahori Institute of Higher Education in Mashhad.

11. Naseri, M (2014). Transformation in SCM Supply Chain Management with the Adoption of Information Technology Approach, 3rd International Conference on Industrial Management and Engineering, Tehran, Ardabil Holy University,

12. Nouri, Z (2018). Supply Chain Environmental Assessment Criteria in Sustainable Development Environment, 2nd National Conference on Environmental Protection and Planning, Tehran.

13. Niknejad, A; (2018). Identify and prioritize the indicators involved in the sustainability of the food supply chain. Journal of Environmental Science and Technology, 19 (4), 369-382.

14. Shoan, C.-T., (2019). Research on coordination mechanism in three-level green supply chain under non-cooperative game. Appl. Math. Model. 37 (5), 3369–3379.

15. So, P., (2018). Sequential and global optimization for a closed-loop deteriorating inventory supply chain. Math. Comput. Model. 52 (12), 161–176

16. Shou, G., Vecchietti, A. R., & Montagna, J. M. (2014). Optimal design for sustainable bioethanol supply chain considering detailed plant performance model. Computers and Chemical Engineering, 35(8, S1), 1384–1398.

17. Romin, V., , H., (2016). Multi-objective optimization of closed-loop supply chains in uncertain environment. J. Clean. Prod. 41 (0), 114–125.

18. Zalchin, M.S., A., (2016). A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty. Appl. Math. Model. 35 (2), 637–649.

19. Wang, K.(2013). Supplier selection using fuzzy {AHP} and fuzzy multi-objective linear programming for developing low carbon supply chain. Expert Syst. Appl. 39 (9), 8182–8192.