



طراحی مدل ریاضی شبکه زنجیره تأمین سبز چند محصولی صنعت خودرو در شرایط عدم اطمینان

داود خدادادیان

دانشجوی دکترا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران

رضا رادفر

دکترای تخصصی، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران (مسئول مکاتبات)
radfar@gmail.com

عباس طلوعی اشلقی

دکترای تخصصی، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۸/۰۷

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۰۱

چکیده

امروزه شبکه های زنجیره تامین به عنوان ستون اصلی فعالیتهای اقتصادی شناخته می شوند. اهمیت آنها به دلیل تحویل به موقع و کارآمد بودن محصولات گوناگون نظیر مواد غذایی، پوشاک، انرژی و سخت افزارهای کامپیوتری باعث علاقمندی محققان و متخصصان جهت تجزیه و تحلیل مسایل زنجیره تامین شده است. از سوی دیگر عدم اطمینان مسایل در همه سطوح زندگی ما وارد شده و روزمره با آنها در ارتباط هستیم. مقاله حاضر در حیطه زنجیره تامین سبز تهیه شده که با در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت به حل یک مدل برای طراحی شبکه زنجیره تامین سبز (زیست محیطی) رو به جلو و تحت عدم اطمینان شرایط اقتصادی آینده در شرکت ایران خودرو می پردازد. مسأله طراحی شبکه مورد نظر شامل فرضیاتی از قبیل: چند محصولی، چند سطحی و تک دوره ای می باشد. به علت عدم ثبات شرایط اقتصادی، عدم اطمینان در این مسأله به شکلی متفاوت با مقالات گذشته در نظر گرفته شده است. در این مساله چندین پارامتر مهم از قبیل تقاضای مشتریان، هزینه های عملیاتی و ظرفیت تولیدی و ارسالی تسهیلات به صورت غیر قطعی در نظر گرفته شده اند. اهداف این تحقیق شامل مینیمم سازی هزینه ها و مینیمم سازی اثرات زیست محیطی با استفاده از روش ECO-99 indicator می باشد. از مزایای این روش صرفه جویی در هزینه ها و کاهش آلودگی در نتیجهی استفاده از تجهیزات حمل و نقل و زیرساخت های مشترک می باشد. با توجه به پیچیدگی حل این مسأله و NP-hard بودن آن روش فرا ابتکاری^۱ الگوریتم ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب (NSGA-II)^۲ تشریح و در انتها نیز نحوه عملکرد مدل با یک مثال عددی و حل آن با نرم افزارهای MATLAB^۳ و GAMS مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می دهند که الگوریتم NSGA-II پیشنهادی دارای عملکرد قابل قبولی در مدت زمان مناسبی می باشد.

واژه های کلیدی: طراحی شبکه زنجیره تامین، زنجیره تامین سبز، بهینه سازی چندهدفه، الگوریتم ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب.

۱- مقدمه

طراحی شبکه زنجیره تأمین شامل تمام اجزای داخلی و خارجی مدیریت زنجیره تأمین (SCM) می باشد (تیواری و همکاران، ۲۰۱۶). نخستین هدف وجودی یک زنجیره، تأمین و راضی کردن نیازهای مشتری در فرایند تولید ارزش برای خویش است. فعالیت های زنجیره تأمین با سفارش مشتری شروع می شود و زمانی که مشتری پول خرید کالا و خدمات دریافتی خود را پرداخت می کند، خاتمه می یابد. اکثر زنجیره ها در واقع بصورت شبکه هستند. زنجیره تأمین سبز زنجیره ای است که در طی آن طرح های مربوط به محیط زیست مورد توجه قرار گرفته است (سلیمانی و همکاران، ۲۰۱۷). با توجه به شتاب بالای تغییرهای اجتماعی و فن آورانه، اندیشیدن به آینده بیش از پیش از اهمیت برخوردار شده است. ملت ها، سازمان ها و حتی افراد در این مسیر باید اقدام خود را بر دانشی آمیخته با عدم قطعیت و احتمال استوار سازند تا بتوانند واقع بینانه و خلاقانه درباره آینده تفکر کنند. انسان ها با توجه به داشتن قدرت اختیار، می توانند با اقدام های خود فرصت های بسیاری برای معماری آینده خود ایجاد کنند. (پدرام، جلالی وند، ۱۳۹۲). پس آینده به این دلیل مطالعه می شود که فعالیت و عاملیت در برابر آن افزایش یابد تا بتوان آینده بهتری ساخت؛ چرا که آینده یک "امکان" است و برحسب اراده و تصمیم های امروز می تواند به هر ترتیبی که مد نظر باشد ساخته شود. (ملکی فر و همکاران، ۱۳۸۶). آینده پژوهی دانش و معرفت شکل بخشیدن به آینده، به شیوه های آگاهانه، عاملانه و پیش دستانه است و انسان را از غافل گیری در برابر توفان سهمگین تغییرها و پیشرفت های سرسام آور محافظت می کند. یکی از پیش فرض های اساسی آینده پژوهی آن است که آینده محتوم و قطعی نیست و پدید آمدن آن بستگی بی واسطه به اراده انسان ها دارد (برین، ۱۳۹۳).

زنجیره تأمین اصطلاحی است که امروزه به صورتی گسترده مورد استفاده قرار می گیرد و در برگیرنده تمامی فعالیتها در زمینه تولید و توزیع محصول نهایی با ارائه خدمت از ابتدایی ترین مرحله، یعنی تهیه مواد خام تا انتهای ترین مرحله، یعنی تحویل به مشتری است.

مدیریت زنجیره تأمین شامل مدیریت توزیع و تقاضا، تأمین اجزا و مواد اولیه، ساخت و مونتاژ، ذخیره سازی و حمل موجودی، مدیریت سفارش و تحویل به مشتری است. مدیریت زنجیره تأمین مؤثر تنها با همکاری تمامی اعضای زنجیره تأمین حاصل می شود. در بازار اقتصادی امروز، برای دستیابی به موفقیت، لازم است که تأمین کنندگان مواد خام (مواد اولیه)، تولیدکنندگان و توزیع کنندگان به امر بهینه سازی کاملاً متعهد باشند. شرکتها باید همواره به دنبال یافتن راه حل کارا و اثربخش برای تولید محصولات و انجام خدمت باشند. خوشبختانه در سالیان اخیر، تکنولوژی اطلاعات، زمینه مناسبی را برای یکپارچه سازی فعالیتهای داخلی و خارجی زنجیره تأمین فراهم نموده است (سون و لین^۴، ۲۰۰۰). در نتیجه، اعضای زنجیره تأمین همواره به دنبال روش های نوین به منظور بهبود شبکه زنجیره تأمین با استفاده از تلفیق رده های شبکه می گردند (کارا^۵ و همکاران، ۲۰۰۷). در سال های اخیر مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین به دلیل افزایش رقابت در بازارهای جهانی اهمیت زیادی پیدا کرده است. شرکت ها مجبور شده اند تا سطح خدمت مطلوب تری به مشتری ارائه دهند در حالی که بایستی قیمت تمام شده محصول را کاهش داده و در عین حال حاشیه سود شرکت را نیز تضمین نمایند (جبور و جبور^۶، ۲۰۰۹). جهانی شدن اقتصاد و توسعه فن آوری اطلاعات باعث گردیده بازار عرضه محور به شکل گسترده ای به بازار تقاضا محور تغییر یابد و سازمان ها برای حفظ و بقای خود به اهمیت ارضای نیاز مشتریان پی بردند. بر این اساس مدیریت زنجیره تأمین اهمیت پیدا می کند، زیرا ارضای نیازها و علایق مشتریان نه فقط توسط آخرین موجودیت چسبیده به مشتری یعنی محصول نهایی است، بلکه توسط سایر تأمین کنندگان بالادست نیز صورت می گیرد.

در دیدگاه مرسوم و گذشته، مدیریت زنجیره تأمین شامل هدایت تمام اعضای زنجیره تأمین به صورت یکپارچه و هماهنگ با هدف بهبود عملکرد جهت ارتقای بهره وری و سود بیشتر بود و مدیران زنجیره تأمین به دنبال تحویل سریع تر کالا و خدمات، کاهش هزینه بودند، اما بهبود عملکرد زیست محیطی زنجیره تأمین و اهمیت

تأمین سبز ارائه می‌نماییم که ضمن در نظر گرفتن چندین هدف بصورت همزمان به صورت چند محصولی و در شرایط عدم قطعیت عمل نماید. طبق تحقیقات انجام شده در حوزه‌ی زنجیره تأمین توام، مقالات اندکی پارامتر همراه با عدم قطعیت را در مدل پیشنهادی خود در نظر گرفته‌اند و در اکثر این مقالات از برنامه‌ریزی احتمالی استفاده شده است. همچنین در اکثر مقالات تنها عدم قطعیت تقاضا و یا عدم قطعیت هزینه‌ها در نظر گرفته شده است، اما در این رساله عدم قطعیت هر دو مورد هم تقاضا و هم هزینه به صورت توام بررسی شده است. همچنین مدل‌های ارائه شده فرضیات ساده‌ای نظیر تک محصولی بودن را در نظر گرفته‌اند و ما آن را به چندمحصولی بسط داده‌ایم. تفاوت دیگر این کار، در نظر گرفتن سبز بودن آن است که در مقاله‌هایی که مطالعه شده به این شکل کار نشده است.

۲- مطالعات پیشین

در دهه ۸۰ میلادی با افزایش تنوع در الگوهای مورد انتظار مشتریان، سازمانها به طور فزاینده‌ای به افزایش انعطاف‌پذیری در خطوط تولید و توسعه محصولات جدید برای ارضای نیازهای مشتریان علاقه‌مند شدند. در دهه ۹۰ میلادی، به همراه بهبود در فرایندهای تولید و به کارگیری الگوهای مهندسی مجدد، مدیران بسیاری از صنایع دریافتند که برای ادامه حضور در بازار تنها بهبود فرایندهای داخلی و انعطاف‌پذیری در توانایی‌های شرکت کافی نیست بلکه تأمین‌کنندگان 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؛ با چنین نگرشی، رویکردهای زنجیره تأمین و مدیریت آن پا به عرصه وجود نهاد (قاسمی نژاد، ۱۳۹۳). نخستین هدف وجودی یک زنجیره، تأمین و راضی کردن نیازهای مشتری در فرایند تولید ارزش برای خویش است. فعالیت‌های زنجیره تأمین با سفارش مشتری شروع می‌شود و زمانی که مشتری پول خرید کالا و خدمات دریافتی خود را پرداخت می‌کند، خاتمه می‌یابد. اکثر زنجیره‌ها در واقع بصورت شبکه هستند (پیشوایی و

هزینه‌های اجتماعی و تخریب محیط زیست لحاظ نمی‌گردد. مدل تصمیم‌گیری طراحی زنجیره تأمین در برگرنده تعیین تعداد اجزای زنجیره، نظیر تأمین‌کنندگان مواد اولیه و قطعات مورد نیاز، تولیدکنندگان و مونتاژکنندگان، مراکز نگهداری و توزیع با هدف ارائه یک ترکیب مناسب از این اجزا می‌باشد. هدف از ارائه این ترکیب که پیکربندی زنجیره در پی آن تعیین می‌گردد، آن است که محصولات در مقدار، زمان و مکان مناسب تولید و توزیع گردند (اسچوز و همکاران^۷، ۲۰۰۹). طی پژوهش‌هایی که صورت گرفته است با افزودن یک کلمه سه حرفی به مدیریت زنجیره تأمین، بار دیگر بر قابلیت‌های این الگوی صحیح تأکید شده است. "سبز" پسوندی است که این مفهوم را به مدیریت زنجیره تأمین سبز تبدیل کرده است به این معنا که با اجرای سیاست‌های سبز در طول زنجیره تأمین شاهد انتقال پاکیزگی و سلامت از سازمان به محیط و فرد و سازمان دیگر باشیم و نگاهی زیست‌محیطی به زنجیره تأمین داشته باشیم (ژو و همکاران^۸، ۲۰۱۰).

البته شواهد حکایت از آن دارد که سازمان‌ها برای پاسخگویی به نیاز مشتریان و همچنین فشارهای سازمان‌های بین‌المللی و دولتی حامی مسایل زیست‌محیطی، چند سالی است که واکنش نشان داده‌اند و ضرورت مدیریت زیست‌محیطی را پذیرفته‌اند و جهت رقابت با بازارهای جهانی به اجرای مدیریت زنجیره تأمین سبز پرداخته‌اند (لی^۹، ۲۰۱۱). بسیاری از شرکت‌های خریدار تقاضا دارند که تأمین‌کنندگانشان، شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز را اجرا کنند و حتی الزامات زیست‌محیطی اضافی را نیز انجام دهند (جبور و جبور^{۱۰}، ۲۰۰۹). (لی^{۱۱}، ۲۰۰۹). و اهمیت این موضوع در سطح جهانی به اندازه‌ای است که تأمین‌کنندگان برای پیدا کردن هر فرصت کسب و کار در فضایی جدید، بدون تمرین‌ها و شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز، سخت تحت فشار هستند (لین و وانگ^{۱۲}، ۲۰۱۱). نگاه زیست‌محیطی به زنجیره تأمین در هر کشوری، در هر صنعتی و در هر سطحی، موضوعیت پیدا میکند. باتوجه به مطالب بیان شده در راستای آینده‌نگری اقتصادی و زیست‌محیطی، در این مقاله مدلی ریاضی را برای شبکه زنجیره

رامادهین و همکارانش^{۲۰} (۲۰۰۹) و یاکووو و همکارانش^{۲۱} (۲۰۱۰) مورد تحقیق قرار گرفته است. (۳) انباریابی سبز که توسط ایمت و سود^{۲۲} (۲۰۱۰) و مکینون و همکارانش^{۲۳} (۲۰۱۰) انجام شده است. (۴) لجستیک معکوس که توسط فلیشمن و همکارانش^{۲۴} (۱۹۹۷) و هو و همکارانش^{۲۵} (۲۰۰۲) بررسی شده است.

به طور تخصصی برای طراحی زنجیره تأمین، لی و همکارانش در سال ۲۰۰۸ یک روش برنامه‌ریزی ریاضی دو هدفه (با اهداف حداکثر کردن سود و حداقل کردن آلودگی‌ها) برای بهینه‌سازی مراکز توزیع با در نظر گرفتن هزینه‌های حمل و نقل و آلودگی‌های کربن ناشی از تولید و حمل پیشنهاد داده‌اند. آنها تأثیر تغییرات قیمت نفت خام را بر تصمیمات مکان‌یابی نیز بررسی کردند. نتو و همکارانش در سال ۲۰۰۸ یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه پیشنهاد داده‌اند که این مدل هر دو هدف (تأثیر هزینه و تأثیر زیست‌محیطی) را به طور همزمان بهینه می‌سازد و موازنه‌ای بین هزینه و محیط‌زیست برقرار می‌کند. تأثیر محیطی (از گرم شدن جهانی، سمی شدن اکوسیستم، اکسیداسیون نور-شیمیایی، اسیدی شدن و زباله‌های جامد) به شکل مقادیر موزون به جای مقادیر مطلق نشان داده می‌شوند تا مکان‌های بهینه تسهیلات را در زنجیره تأمین بدست آورند.

رامودهین و همکارانش در سال ۲۰۰۹ چارچوبی جامع برای طراحی شبکه زنجیره تأمین سازگار با محیط زیست تدوین کرده‌اند. آنها یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته چند هدفه را به عنوان ابزار حمایتی تصمیم‌گیری برای انتخاب تأمین‌کنندگان و پیمانکاران فرعی، تخصیص محصولات به مکان‌ها، بهره‌برداری از ظرفیت و پیکربندی حمل و نقل و همچنین تصمیمات در رابطه با کاهش آلودگی‌های کربنی زنجیره تأمین پیشنهاد داده‌اند. آونیس و همکارانش^{۲۶} در سال ۲۰۱۲ تأثیر سبز کردن زنجیره تأمین را بر روی طراحی شبکه و هزینه آن بررسی کرده‌اند. آنها تصمیمات استراتژیکی و تاکتیکی را برای کمک به مدیران در ارزیابی تأثیر موضوعات محیطی توسعه داده‌اند. برای این کار، انواع مختلف وسایل نقلیه را در نظر گرفته و تصمیمات استفاده از انبارها و

همکاران، (۲۰۰۹). هدف هر زنجیره‌ای، حداکثر کردن کل ارزش تولیدی توسط آن است. اختلاف بین پولی که مشتری می‌پردازد با کل هزینه‌های متحمل شده توسط زنجیره برای تولید و توزیع کالا، میزان سود دهی زنجیره را نشان می‌دهد. میزان سود دهی زنجیره، کل سودی است که باید بین کلیه مراحل زنجیره تقسیم شود. بر همین اساس موفقیت یک زنجیره بر حسب میزان سود دهی آن تعریف می‌شود و مدیریت زنجیره تأمین مستلزم مدیریت جریان‌های بین و داخل مراحل یک زنجیره برای حداکثر کردن کل سوددهی آن است (اسچوز و همکاران، ۲۰۰۹).

زنجیره تأمین سبز، به زنجیره‌هایی اطلاق می‌شود که در آنها مباحث محیطی بسیار مهم تلقی می‌شوند. بوجود آمدن چنین زنجیره‌هایی می‌تواند دو دلیل عمده داشته باشد. اول آنکه نگرانی‌های عمومی در مورد شرایط محیطی بیش از پیش به چشم می‌خورد و دوم قوانین محیطی شدید و بعضاً جریمه‌های هنگفتی است که سازمان‌های حفظ محیط زیست برای شرکت‌ها و کارخانه‌های خاطی در نظر می‌گیرند. در ضمن نباید از این مساله هم فارغ بود که منابع مواد اولیه کارخانه‌ها، محدود و تجدیدناپذیر است. دلایل فوق تنها جزیی کوچک از مجموعه دلایلی است که باعث می‌شود امروزه، زنجیره تأمین سبز بسیار مورد توجه قرار گیرد. ابعاد و ابزار بسیاری در سبز کردن یک زنجیره تأمین وجود دارد. به زعم آقای گوپتا^{۱۳} چهار مجموعه اصلی به شرح زیر در سبز شدن یک زنجیره تأمین تأثیر دارند. اگرچه تحقیقات مدیریت زنجیره تأمین، اخیراً بررسی‌های زیست‌محیطی را نیز در نظر می‌گیرد، جدیداً مروری توسط دکر و همکارانش^{۱۴} در سال ۲۰۱۱ بر روی طراحی شبکه‌های لجستیک سبز انجام گرفته است. طبقه‌بندی اولیه این تحقیق شامل موارد زیر می‌باشد:

- (۱) طراحی و تولید محصول سبز که توسط لو و همکارانش^{۱۵} (۲۰۱۰)، چو و همکارانش^{۱۶} (۲۰۰۹) و اوبرین و همکارانش^{۱۷} (۱۹۹۹) مطالعه شده است.
- (۲) توزیع و حمل و نقل سبز که توسط نتو و همکارانش^{۱۸} (۲۰۰۸)، لی و همکارانش^{۱۹} (۲۰۰۸)،

مختلف، موجودی اطمینان، هزینه کمبود و توزیع پواسون برای تقاضا مهم‌ترین مواردی بود که در مدل لحاظ شد و این امکان وجود داشت که سطح خدمتی بالاتر از مقدار از پیش تعیین شده برای مشتریان در نظر گرفته شود.

۳- روش پژوهش و ارائه مدل پیشنهادی

در این پژوهش یک مدل ریاضی برای مساله طراحی شبکه زنجیره تأمین سبز و چند محصولی ارائه میشود. همچنین از روش‌های فراابتکاری برای یافتن جوابی نزدیک به جواب بهینه با توجه به معیارهای بهینه‌سازی برای مساله مورد نظر استفاده می‌شود. شبکه زنجیره تأمین مورد نظر شامل تأمین‌کنندگان مواد اولیه، تأمین‌کنندگان قطعات، مراکز تولیدی، مراکز توزیع و مشتریان می‌باشد. واحدهای تولید محصولات نهایی (مراکز تولیدی) از توانایی ساخت مواد اولیه و نیم ساخته برخوردار نیستند.

در این بخش نماد‌های مورد نیاز معرفی شده و برای درک بهتر، آنها را تعریف مینماییم. همچنین پارامترهای مسئله، شامل پارامترهای ورودی مدل ارائه شده، پارامترهای سبز و متغیرهای تصمیم‌گیری را معرفی کرده و در نهایت تابع هدف مسئله را به همراه محدودیتهای تعریف شده ارائه می‌نماییم.

• نمادها و تعاریف

نمادهای (اندیس) به کار گرفته شده در مدل ریاضی این تحقیق عبارتند از:

K : مجموعه تأمین‌کنندگان مواد اولیه (سطح یکم) ($k=1,2,\dots,K$)

I : مجموعه مواد اولیه ($i=1,2,\dots,I$)

S : مجموعه تأمین‌کنندگان قطعات (سطح دوم) ($s=1,2,\dots,S$)

R : مجموعه قطعات ($r=1,2,\dots,R$)

C : مجموعه مشتریان ($c=1,2,\dots,C$)

D : مجموعه تقاضا ($d=1,2,\dots,D$)

P : مجموعه کارخانه‌های تولیدی ($p=1,2,\dots,P$)

F : مجموعه محصولات نهایی ($f=1,2,\dots,F$)

W : مجموعه مراکز پخش ($w=1,2,\dots,W$)

N : مجموعه سناریوها ($n=1,2,\dots,N$)

A : نشانگر مجموعه بالقوه مکان‌های تولیدی و بازافت

B : نشانگر مجموعه بالقوه مکان‌های توزیع و بازرسی

E : نشانگر مجموعه مکان‌های ثابت دورریز

وسایل نقلیه مشترک را در مقابل تخصیص داده شده بررسی کرده‌اند. پیشوایی و رزمی در سال ۲۰۱۲ مدلی دو هدفه برای شبکه زنجیره تأمین زیست‌محیطی تحت عدم قطعیت ذاتی داده‌های ورودی طراحی کرده‌اند. آنها از روش مبتنی بر ارزیابی چرخه عمر محصول برای سبز نمودن طراحی استفاده کرده‌اند و همچنین روش فازی را برای حل آن به کار برده‌اند.

عدم قطعیت یکی از مهم‌ترین فاکتورهایی است که در مقالات اخیر به آن توجه شده است، به طوری که به ندرت شاهد مقالاتی هستیم که در فضای قطعی منتشر می‌شوند. روش‌های متفاوتی وجود دارد که می‌توان عدم قطعیت را در مدل وارد نمود. پژوهش‌های زیادی در زمینه تجمیع موجودی در مراکز خرده فروش/جمع‌آوری صورت گرفته است. کارهای اولیه‌ای که در این زمینه صورت گرفت، دارای شبکه‌های بسیار ساده‌ای بودند که هیچ‌گونه محدودیت ظرفیت در نظر گرفته نشده بود، (به-طور مثال چن و دیگران (چن و لین، ۱۹۸۹)). نمونه‌ی دیگر مقاله‌ای است که توسط گئونس و دیگران در سال ۲۰۰۵ ارائه شد. مدل آن‌ها دارای هزینه‌های انتقال و موجودی بود، ولی بحث مکانیابی جایگاهی در مدل نداشت، به عبارت دیگر هزینه‌هایی مانند ساخت در مدل لحاظ نشده بود.

در مقاله‌ای که توسط رمژین در سال ۲۰۰۷ منتشر شد، نه تنها موجودی در مراکز خرده فروش/جمع‌آوری تجمیع می‌شد، بلکه قسمتی از آن می‌توانست در خرده فروشان قرار گیرد. مدل آن‌ها دارای یک شبکه ساده شامل یک منبع به عنوان کارخانه، مراکز خرده فروش/جمع‌آوری و خرده‌فروشان بود. هدف یافتن بهترین مکان برای مراکز خرده فروش/جمع‌آوری بود به طوری که هزینه‌های ثابت موجودی و حمل‌ونقل در مدل کمینه شود. این رویکرد که هم مراکز خرده فروش/جمع‌آوری موجودی ذخیره کنند و هم خرده‌فروشان، در مقاله‌ی دیگری که توسط قضاوتی، جبل عاملی و ماکویی در سال ۲۰۰۹ منتشر شد، نیز مورد استفاده قرار گرفت. آن‌ها شبکه‌ی خرده فروش/جمع‌آوری را معرفی کردند که شامل مرکز تأمین کالا (مانند کارخانه)، مراکز خرده فروش/جمع‌آوری و مشتریان (یا خرده‌فروشان) بود. سناریوهای

• پارامترها

پارامترهای ورودی مدل به صورت زیر می باشند:

- a_i^r : مقدار ماده اولیه i مورد نیاز برای ساخت یک واحد قطعه r : تقاضای مشتری منطقه مشتریان c از قطعات r
- d_{cr} : متوسط نسبت قطعات r فرستاده شده به واحد دورریز E
- $S1_r$: متوسط نسبت قطعات r فرستاده شده به واحد بازیافت A
- dpw_{fpw}^n : هزینه واحد تهیه محصول f توسط کارخانه p برای مرکز پخش w تحت سناریوی n
- dwc_{fwc}^n : هزینه واحد تهیه محصول f توسط مرکز پخش w برای مشتری c تحت سناریوی n
- p^n : احتمال وقوع سناریوی n
- $S2_r$: مقدار قطعه r مورد نیاز برای ساخت یک واحد محصول نهایی f
- b^{rf} : تقاضای مشتری c برای کالای f تحت سناریوی n
- D_{cf}^n : هزینه ثابت انتخاب تأمین کننده سطح یکم (مواد اولیه) k
- CK_k : هزینه ثابت انتخاب تأمین کننده سطح دوم (قطعات) s
- CS_s : هزینه ثابت انتخاب کارخانه تولیدی p
- CP_p : هزینه ثابت انتخاب مرکز پخش w
- k_{ik}^n : حد بالای ماده اولیه i فرستاده شده توسط تأمین کننده سطح اول k تحت سناریوی n
- s_{rs}^n : حد بالایی قطعه r فرستاده شده وسط تأمین کننده سطح دوم sk تحت سناریوی n
- p_{fp}^n : حد بالای محصول نهایی f فرستاده شده توسط تأمین کننده کارخانه p تحت سناریوی n
- w_{fw}^n : حد بالای محصول نهایی f فرستاده شده توسط مرکز پخش w تحت سناریوی n
- ks_{iks}^n : حد بالای ماده اولیه i فرستاده شده توسط تأمین کننده سطح اول k به تأمین کننده سطح دوم s تحت سناریوی n
- sp_{rsp}^n : حد بالای قطعه r فرستاده شده توسط تأمین کننده سطح دوم s به کارخانه تولیدی p تحت سناریوی n
- CW_w : هزینه ثابت تخصیص ماده اولیه i به تأمین کننده سطح یکم k
- CK_{ik} : هزینه ثابت تخصیص قطعه r به تأمین کننده سطح دوم s
- CS_{rs} : هزینه ثابت تخصیص محصول نهایی f به کارخانه تولیدی p
- pw_{fpw}^n : حد بالای محصول نهایی f فرستاده شده توسط کارخانه p به مرکز پخش w تحت سناریوی n
- wc_{fwc}^n : حد بالای محصول f فرستاده شده توسط مرکز پخش w به مشتری c تحت سناریوی n
- UK_k^n : ظرفیت تأمین کننده سطح اول k تحت سناریوی n
- CP_{fp} : هزینه ثابت تخصیص محصول نهایی f به مرکز پخش w
- CW_{fw} : هزینه ثابت تهیه ماده اولیه i توسط تأمین کننده سطح اول k برای تأمین کننده سطح دوم s
- CKS_{iks} : هزینه ثابت تهیه قطعه r توسط تأمین کننده سطح دوم s برای کارخانه p
- US_s^n : ظرفیت تأمین کننده سطح دوم s تحت سناریوی n
- UP_p^n : ظرفیت کارخانه p تحت سناریوی n
- UW_w^n : ظرفیت مرکز پخش w تحت سناریوی n
- CSP_{rsp} : هزینه ثابت تهیه محصول f توسط کارخانه p برای مرکز پخش w
- CPW_{fpw} : هزینه ثابت تهیه محصول f توسط مرکز پخش w برای مشتری c
- CWC_{fwc} : هزینه واحد تهیه ماده اولیه i توسط تأمین کننده سطح اول k برای تأمین کننده سطح دوم s تحت سناریوی n
- dk_{iks}^n : هزینه واحد تهیه قطعه r توسط تأمین کننده سطح دوم s برای کارخانه p تحت سناریوی n
- dsp_{rsp}^n : مقدار ماده اولیه i مورد نیاز برای ساخت یک واحد قطعه r : تقاضای مشتری منطقه مشتریان c از قطعات r
- E_{cf}^n : اگر تقاضای مشتری c برای کالای f تحت سناریوی n بزرگتر از صفر باشد λ ، در غیر اینصورت \cdot
- UK_{ik} : منبع مورد استفاده یک واحد ماده اولیه i در تأمین کننده سطح اول k
- US_{rs} : منبع مورد استفاده یک واحد قطعه r در تأمین کننده سطح دوم s
- UP_{fp} : منبع مورد استفاده یک واحد محصول نهایی f در کارخانه p
- UW_{fw} : منبع مورد استفاده یک واحد محصول نهایی f در مرکز پخش w
- M : یک عدد بزرگ نزدیک بی نهایت
- HP_{fp} : اگر کارخانه p بتواند محصول نهایی f را تولید کند λ ، در غیر اینصورت \cdot

- HK_{ik} : اگر تامین کننده مواد اولیه k ام بتواند ماده اولیه i تولید کند، در غیر اینصورت.
- HS_{rs} : اگر تامین کننده قطعات s ام بتوانند قطعه r تولید کند، در غیر اینصورت.
- HW_{fw} : اگر مرکز پخش w متقاضی پخش محصول نهایی f باشد، در غیر اینصورت.

• پارامترهای سبز (زیست محیطی)

- e_i^{tr} : تأثیر محیطی تولید یک واحد محصول r
- e_{abr}^{id} : تأثیر محیطی حمل یک واحد محصول r از مکان a به مکان b
- e_{bcr}^{dc} : تأثیر محیطی حمل یک واحد محصول r از مکان b به مکان c
- e_{bar}^{ar} : تأثیر محیطی حمل یک واحد محصول r از مکان b به مکان a
- e_{ber}^{ad} : تأثیر محیطی حمل یک واحد محصول r از مکان b به مکان e
- e_{br}^{an} : تأثیر محیطی بازرسی یک واحد محصول r در مکان b
- e_{ar}^{te} : تأثیر محیطی بازیافت یک واحد محصول r در مکان a
- e_{er}^{da} : تأثیر محیطی دفع یک واحد محصول r در مکان e

• متغیرهای تصمیم گیری

- XKS_{iks}^n : متغیرهای تصمیم به کار گرفته شده در مدل ریاضی پیشنهادی بصورت زیر می باشد:
- XSP_{rsp}^n : مقدار ماده اولیه i تهیه شده با بوسیله تامین کننده سطح یکم k برای تامین کننده سطح دوم s تحت سناریوی n
- XPW_{fpw}^n : مقدار قطعه r تهیه شده بوسیله تامین کننده سطح دوم s برای کارخانه p تحت سناریوی n
- XWC_{fwc}^n : مقدار محصول نهایی f تهیه شده بوسیله کارخانه p برای مرکز پخش w تحت سناریوی n
- YK_k : مقدار محصول نهایی f تهیه شده بوسیله مرکز پخش w برای مشتری c تحت سناریوی n
- YK_{ik} : تصمیم در مورد تخصیص و یا عدم تخصیص ماده اولیه i به تامین کننده سطح اول k
- YS_{rs} : تصمیم در مورد تخصیص و یا عدم تخصیص قطعه r تامین کننده سطح دوم s
- YP_{fp} : تصمیم در مورد تخصیص و یا عدم تخصیص محصول نهایی f به کارخانه p
- YW_{fw} : تصمیم در مورد تخصیص و یا عدم تخصیص محصول نهایی f به مرکز پخش w
- YKS_{iks} : تصمیم در مورد تهیه و یا عدم تهیه ماده اولیه i برای تامین کننده سطح دوم s توسط تامین کننده سطح اول k
- YS_s : تصمیم در مورد انتخاب و یا عدم انتخاب تامین کننده سطح یکم k
- YP_p : تصمیم در مورد انتخاب و یا عدم انتخاب تامین کننده سطح دوم s
- YW_w : تصمیم در مورد انتخاب و یا عدم انتخاب کارخانه تولیدی p
- T_{cf}^n : اگر تقاضای مشتری c برای کالای f تحت سناریوی n ارضاء شود، در غیر این صورت.
- Y : سطح رضایت مشتریان
- YSP_{rsp} : تصمیم در مورد تهیه و یا عدم تهیه قطعه r برای کارخانه p توسط تامین کننده سطح دوم s
- YPW_{fpw} : تصمیم در مورد تهیه و یا عدم تهیه محصول نهایی f برای مرکز پخش w توسط کارخانه p
- YWC_{fwc} : تصمیم در مورد تهیه و یا عدم تهیه محصول نهایی برای مشتری c توسط مرکز پخش w
- v_{bar} : تعداد محصولات r حمل شده از مرکز توزیع b به مرکز بازیافت a
- T_{ber} : تعداد محصولات r حمل شده از مرکز توزیع b به مرکز دورریز e
- x_{abr} : تعداد محصولات r حمل شده از مرکز تولید a به مرکز توزیع b
- u_{bcr} : تعداد محصولات r حمل شده از مرکز توزیع b به مکان مشتری c
- w_a : متغیر صفر و یک نشانگر باز بودن و یا بسته بودن مرکز تولیدی a
- v_b : متغیر صفر و یک نشانگر باز بودن و یا بسته بودن مرکز توزیع b

• تابع هدف و محدودیت های مسأله مورد نظر

مسأله مورد نظر به صورت سه هدفه و شامل کمینه کردن هزینه های کل زنجیره تأمین (مجموع کل هزینه های ثابت و کل هزینه های متغییر مورد انتظار) و همچنین بیشینه کردن سطح رضایت مشتریان (سطح سرویس) و کمینه نمودن تأثیرات زیست محیطی می باشد. (رابطه ۱)

Minimize:

$$\begin{aligned} & \sum_k CK_k \cdot YK_k + \sum_s CS_s \cdot YS_s + \sum_p CP_p \cdot YP_p \\ & + \sum_w CW_w \cdot YW_w + \sum_i CK_{ik} \cdot YK_{ik} \\ & + \sum_r CS_{rs} \cdot YS_{rs} + \sum_f \sum_p CP_{fp} \cdot YP_{fp} \\ & + \sum_f \sum_w CW_{fw} \cdot YW_{fw} + \sum_i \sum_k \sum_s CKS_{iks} \cdot YKS_{iks} \\ & + \sum_r \sum_s \sum_p CSP_{rsp} \cdot YSP_{rsp} \\ & + \sum_f \sum_p \sum_w CPW_{fpw} \cdot YPW_{fpw} \\ & + \sum_f \sum_w \sum_c CWC_{fwc} \cdot YWC_{fwc} \\ & + \sum_{neN} P^n \sum_i \sum_k \sum_s dks_{iks}^n \cdot XKS_{iks}^n \\ & + \sum_r \sum_s \sum_p dsp_{rsp}^n \cdot XSP_{rsp}^n \\ & + \sum_f \sum_p \sum_w dpw_{fpw}^n \cdot XPW_{fpw}^n \\ & + \sum_f \sum_w \sum_c dwc_{fwc}^n \cdot XWC_{fwc}^n \end{aligned}$$

(رابطه ۲)

Maximize y

• تابع هدف سوم (حداقل کردن تأثیرات زیست محیطی کل)

این تابع هدف تأثیرات زیست محیطی شبکه شامل تأثیراتی که بخش تولید، توزیع، بازرسی و دورریز بر روی محیط زیست می گذارند؛ همچنین آلودگی هایی که بخش حمل و نقل وارد محیط می کند، را حداقل می سازد. برای بدست آوردن ضرایب به کار برده شده در معادله از یک روش مبتنی بر LCA مانند روش 99 Eco-indicator استفاده شده است. همان طوری که در فصل ۲ توضیح داده شد، روش 99 Eco-indicator برای تخمین تأثیرات زیست محیطی پیکربندی های مختلف شبکه زنجیره تأمین به کار می رود. برای استفاده از این روش، ابتدا محدوده ی سیستم و واحد عملکردی آن و هدف استفاده از Eco-indicator باید تعریف گردد. در اینجا محدوده ی سیستم مورد مطالعه می تواند به عنوان حدود اطراف شبکه زنجیره تأمین و واحد عملکردی شبکه زنجیره تأمین می تواند ارضای موثر تقاضای مشتریان با تولید و توزیع محصولات در شبکه رو به جلو و مدیریت

محصولات بی کیفیت برگشتی در شبکه معکوس باشد. همچنین هدف استفاده از Eco-indicator تخمین تأثیر زیست محیطی پیکربندی شبکه زنجیره تأمین می باشد. در گام دوم، چرخه عمر محصول بایستی تعریف گردد. در مسئله مورد بررسی ما که صنعت خودرو در نظر گرفته شده است، گام های چرخه عمر شامل موارد زیر می باشد: (۱) تولید (rro)، (۲) حمل از مراکز تولید به مراکز توزیع (rd)، (۳) بازرسی در مراکز بازرسی (an)، (۴) حمل به مشتری (dc)، (۵) حمل به مراکز بازیافت (ar)، (۶) حمل به مراکز دورریز (ad)، (۷) عملیات بازیافت (re)، (۸) عملیات دورریز (da). در اینجا مرحله استفاده در مراکز مشتری از گام های چرخه عمر حذف شده است به این دلیل که هیچ تأثیری بر روی متغیرهای تصمیم گیری مدل و در نتیجه بر پیکره کلی شبکه زنجیره تأمین ندارد.

در گام سوم، مواد و فرآیندها از طریق گام های چرخه عمر محصول باید کمی سازی شوند و سپس، در گام چهارم، عدد نهایی توسط (۱) پیدا کردن Eco-indicator مربوطه و (۲) ضرب کردن مقادیر در عدد بدست آمده شاخص و (۳) جمع کردن نتایج بدست آمده مرحله قبل، محاسبه می شود [۲۶].

بر مبنای توضیحات بالا تابع هدف دوم به صورت معادله ۳ فرموله می شود.

(رابطه ۳)

$$\begin{aligned} \text{Min} \sum_{a,b,r} (ei_{abr}^{rd} + ei_{ar}^{rro}) x_{abr} \\ + \sum_{b,c,r} (ei_{bcr}^{dc} + ei_{br}^{an}) u_{bcr} \\ + \sum_{a,b,r} (ei_{bar}^{ar} + ei_{ar}^{re}) v_{bar} \\ + \sum_{b,e,r} (ei_{ber}^{ad} + ei_{er}^{da}) T_{ber} \end{aligned}$$

محدودیت‌های مسأله نیز به صورت زیر می‌باشند :

s.t:

$$\sum_k XKS_{iks}^n - \sum_r \sum_p a^{ir} \cdot XSP_{rsp}^n = 0 \quad \forall n, i, s \quad \text{(رابطه ۴)}$$

$$\sum_s XSP_{rsp}^n - \sum_f \sum_w b^{rf} \cdot XPW_{fpw}^n = 0 \quad \forall n, r, p \quad \text{(رابطه ۵)}$$

$$\sum_p XPW_{fpw}^n - \sum_c XWC_{fwc}^n = 0 \quad \forall n, f, w \quad \text{(رابطه ۶)}$$

$$\sum_i \sum_s UK_{ik} \cdot XKS_{iks}^n \leq UK_k^n \cdot YK_k \forall n, k \quad \text{(رابطه ۷)}$$

$$\sum_r \sum_p US_{rs} \cdot XSP_{rsp}^n \leq US_s^n \cdot YS_s \forall n, s \quad \text{(رابطه ۸)}$$

$$\sum_f \sum_w UP_{fp} \cdot XPW_{fpw}^n \leq UP_p^n \cdot YP_p \forall n, p \quad \text{(رابطه ۹)}$$

$$\sum_f \sum_c UW_{fw} \cdot XWC_{fwc}^n \leq UW_w^n \cdot YW_w \forall n, w \quad \text{(رابطه ۱۰)}$$

$$\sum_s XKS_{iks}^n \leq k_{ik}^n \cdot YK_{ik} \forall n, i, k \quad \text{(رابطه ۱۱)}$$

$$\sum_p XSP_{rsp}^n \leq s_{rs}^n \cdot YS_{rs} \forall n, r, s \quad \text{(رابطه ۱۲)}$$

$$\sum_w XPW_{fpw}^n \leq p_{fp}^n \cdot YP_{fp} \forall n, f, p \quad \text{(رابطه ۱۳)}$$

$$\sum_c XWC_{fwc}^n \leq w_{fw}^n \cdot YW_{fw} \forall n, f, w \quad \text{(رابطه ۱۴)}$$

$$XKS_{iks}^n \leq HK_{ik} \cdot ks_{iks}^n \cdot YKS_{iks} \forall n, i, k, s \quad \text{(رابطه ۱۵)}$$

$$XSP_{rsp}^n \leq HS_{rs} \cdot sp_{rsp}^n \cdot YSP_{rsp} \forall n, r, s, p \quad \text{(رابطه ۱۶)}$$

$$XPW_{fpw}^n \leq HP_{fp} \cdot pw_{fpw}^n \cdot Ypw_{fpw} \forall n, f, p, w \quad \text{(رابطه ۱۷)}$$

$$XWC_{fwc}^n \leq HW_{fw} \cdot wc_{fwc}^n \cdot YWC_{fwc} \forall n, f, w, c \quad \text{(رابطه ۱۸)}$$

$$\sum_k (\sum_{n \in N} P^n \cdot UK_k^n) / UK_{ik} \cdot YK_{ik} \geq \sum_r a^{ir} \cdot \sum_f b^{rf} \cdot \sum_c (\sum_{n \in N} P^n \cdot D_{cf}^n) \forall i \quad \text{(رابطه ۱۹)}$$

$$\sum_s (\sum_{n \in N} P^n \cdot US_s^n) / US_{rs} \cdot YS_{rs} \geq \sum_f b^{rf} \cdot \sum_c (\sum_{n \in N} P^n \cdot D_{cf}^n) \forall r \quad \text{(رابطه ۲۰)}$$

$$\sum_p (\sum_{n \in N} P^n \cdot UP_p^n) / UP_{fp} \cdot YP_{fp} \geq \sum_c (\sum_{n \in N} P^n \cdot D_{cf}^n) \forall f \quad \text{(رابطه ۲۱)}$$

$$\sum_w (\sum_{n \in N} P^n \cdot UW_w^n) / UW_{fw} \cdot YW_{fw} \geq \sum_c (\sum_{n \in N} P^n \cdot D_{cf}^n) \forall f \quad \text{(رابطه ۲۲)}$$

$$\sum_w XWC_{fwc}^n - D_{cf}^n \leq M \cdot T_{cf}^n \forall n, f, c \quad \text{(رابطه ۲۳)}$$

$$\sum_w XWC_{fwc}^n - D_{cf}^n \geq M \cdot (T_{cf}^n - 1) \quad \forall n, f, c \quad \text{(رابطه ۲۴)}$$

$$(\sum_f T_{cf}^n) / (\sum_f E_{cf}^n) \geq y \quad \forall n, c \quad \text{(رابطه ۲۵)}$$

$$XKS_{iks}^n, XSP_{rsp}^n, XPW_{fpw}^n, XWC_{fwc}^n \geq 0 \quad \forall i, r, f, s, p, w, c, n \quad \text{(رابطه ۲۶)}$$

$$YK_k, YS_s, YP_p, YW_w, YK_{ik}, YS_{rs}, YP_{fp}, YW_{fw} \in \{0, 1\} \quad \forall i, r, f, s, p, w, c \quad \text{(رابطه ۲۷)}$$

$$YKS_{iks}, YSP_{rsp}, YPW_{fpw}, YWC_{fwc}, T_{cf}^n \in \{0, 1\} \quad \text{(رابطه ۲۸)}$$

$$\sum_a x_{abr} - \sum_{a,e} (v_{bar} + T_{ber}) = \sum_c u_{bcr} \forall b \in J, \quad \forall r \in P \quad \text{(رابطه ۲۹)}$$

$$\sum_c u_{bcr} - (1 - s1_r - s2_r) \sum_a x_{abr} = 0 \quad \forall b \in J, \quad \forall r \in P \quad \text{(رابطه ۳۰)}$$

$$\sum_e T_{ber} - s1_r \sum_a x_{abr} = 0 \quad \forall b \in J, \quad \forall r \in P \quad \text{(رابطه ۳۱)}$$

$$\sum_a v_{bar} - s2_r \sum_a x_{abr} = 0 \quad \forall b \in J, \quad \forall r \in P \quad \text{(رابطه ۳۲)}$$

$$\sum_b v_{bar} - \sum_b x_{abr} \leq 0 \quad \forall a \in I, \quad \forall r \in P \quad \text{(رابطه ۳۳)}$$

$$\sum_b u_{bcr} \geq d_{cr} \forall c \in C, \quad \forall r \in P \quad \text{(رابطه ۳۴)}$$

۴- تفسیر محدودیت های مسأله

تفسیر محدودیت های فوق به صورت زیر می باشد :

محدودیت (۴) : تضمین می کند که مقدار کل ماده اولیه i فرستاده شده به تأمین کننده قطعات s_m ، برابر است با کل مقدار ماده اولیه ای که برای ساخت قطعات در این تأمین کننده مورد نیاز است. محدودیت (۵) : تضمین می کند که مقدار (تعداد) کل قطعه i فرستاده شده به کارخانه p ، برابر است با کل تعداد قطعه ای که برای ساخت محصولات نهایی در این کارخانه مورد نیاز است. محدودیت (۶) : تضمین می کند که تمام محصولات نهایی که وارد یک مرکز پخش می شوند، از همان مرکز پخش نیز خارج می شوند. محدودیت های (۷)-(۱۰) : این محدودیت ها بیانگر این موضوع هستند که مقدار منابع مورد استفاده در هر یک از تأمین کنندگان مواد اولیه، قطعات، کارخانه ها و مراکز پخش در صورت انتخاب بایستی کوچکتر یا مساوی حداکثر منابع (ظرفیت واحد) موجود خود باشند. محدودیت های (۱۱)-(۱۴) : این محدودیت ها با توجه به حداکثر توان هر واحد (تأمین کننده ها، کارخانه ها، مراکز پخش) در ارسال مواد اولیه، قطعات و محصولات نهایی نشان می دهد که مقدار مواد اولیه یا قطعات یا محصولات نهایی که از یک واحد در صورت انتخاب به واحدی در لایه دیگر بایستی کوچکتر یا مساوی حد بالای آن واحد برای آن کالای خاص باشد. محدودیت های (۱۵)-(۱۸) : این محدودیت ها بیانگر این هستند که واحدهای یک کالا فراهم خواهند شد از یک مبدأ برای یک مقصد، اگر و فقط اگر مبدأ ذکر شده انتخاب شده باشد برای فراهم کردن کالا به مقصد ذکر شده ارسالی آن واحد. محدودیت های (۱۹)-(۲۲) : تضمین می کند که ظرفیت کل تسهیلات باز شده بزرگتر یا مساوی تقاضای کل می باشد. محدودیت های (۲۳)-(۲۴) : این محدودیت ها همچون سنسور هایی برای تحقق تقاضا می باشند، به عبارت دیگر اگر تقاضا ارضاء شود سنسور T_{cf}^n برابر با یک و در غیر اینصورت برابر با صفر خواهد شد. محدودیت (۲۵) : بنابراین بوسیله این محدودیت متوسط تعداد سنسورهایی که برابر با یک شده اند بایستی بیشتر از سطح رضایت باشد. محدودیت (۲۶) : این محدودیت ها برای بیان

بزرگتر و یا مساوی صفر بودن متغیر های تصمیم مربوط به حجم کالا های ارسالی در شبکه مورد نظر می باشد. محدودیت (۲۷) : این محدودیت ها نیز مربوط به متغیر های صفر و یک (باینری) که مختص پیکر بندی شبکه اند می باشند. محدودیت های (۲۸) تا (۳۴) بالانس جریان محصول را در مکان های تولید/ بازیافت و مراکز بازرسی/ توزیع در جریان رو به جلو و معکوس تضمین می کنند.

۵- حل مدل

برای مثال اگر مسأله تحت بررسی دارای ۱۳ مکان تولیدی بالقوه و ۱۳ مکان توزیع و بازرسی بالقوه باشد و مراکز تولیدی در نقاط ۱، ۲، ۵، ۷ و ۱۳ و مراکز توزیع و بازرسی در نقاط ۴، ۶، ۱۱ و ۱۲ تاسیس گردند. همچنین، از یک ماتریس با دوازده سطر که تمامی درایه های آن اعداد صفر و یک می باشند نیز برای نمایش جواب استفاده می شود. در سطر اول این ماتریس، k ستون وجود دارد و چنانچه تأمین کننده سطح یکم k انتخاب شود، k امین درایه از این سطر مقدار یک را به خود می گیرد. در سطر دوم ماتریس، s ستون وجود دارد و چنانچه تأمین کننده سطح دوم s انتخاب شود، s امین درایه از این سطر مقدار یک را به خود می گیرد. سطر سوم ماتریس نیز دارای P ستون است و اگر کارخانه تولیدی p انتخاب شود، p امین درایه از این سطر مقدار یک را به خود می گیرد. سطر چهارم ماتریس نیز دارای W ستون است که اگر مرکز پخش w انتخاب شود، w امین درایه از این سطر مقدار یک را به خود می گیرد.

۶- تولید نمونه های تصادفی

جهت تایید اعتبار مدل پیشنهادی و تعیین کارایی الگوریتم پیشنهادی پنج مسأله در ابعاد مختلف طراحی می شود که در جدول ۱ اطلاعات مرتبط با آن ها تشریح می شود. در جدول ۲ نیز حدود در نظر گرفته شده برای پارامترهای مسأله تشریح خواهد شد. لازم به ذکر است که مسائل شماره ۱۱ الی ۳ را مسائل سایز کوچک و مسائل ۴ الی ۵ را مسائل سایز بزرگ در نظر می گیریم.

فواصل زمانی مناسب ایجاد شدند. حال پس از تولید نمونه های تصادفی در ابعاد مختلف مسائل در نرم افزار GAMS پیاده سازی شده و سپس با مقادیر پیشنهادی، مسائل را در سایزهای مختلف به اجرا گذاشته و پس از حل نتایج در جداول زیر ارائه می شود.

۷- یافته ها

در این بخش کارایی الگوریتم ژنتیک پیشنهادی با حل مساله نمونه نشان داده می شود.

در روش محدودیت اپسیلون پیشنهادی، تابع هدف اول به عنوان تابع هدف اصلی در نظر گرفته می شود و تابع هدف دوم به عنوان تابع هدف فرعی؛ سپس تعداد ۱۰ نقطه شکست برای تابع هدف دوم در نظر گرفته شد و در مجموع ۱۰ نقطه پارتویی برای هر مساله تولید می شود. در این قسمت مسائل پنجگانه طراحی شده در بخش های قبلی را با وجود هر دو تابع هدف توسط الگوریتم اپسیلون محدودیت و الگوریتم NSGA II پیشنهادی نیز حل کرده و جواب های پارتوی یافت شده گزارش شده است. برای تشریح روش حل محدودیت اپسیلون، مساله شماره ۳ به عنوان نمونه انتخاب شده است. ابتدا برای تعیین نقاط پارتو براساس هر یک از توابع هدف به صورت جداگانه مسائل حل می شوند. نتایج کار در جدول ۳ گزارش شده است.

جدول ۳- مقادیر بهینه توابع هدف به ازای حل جداگانه

شماره مساله	نوع اهداف	f1	f2	f3
۳	Min f1	164	0	1015
	Max f2	178	1	929
	Min f3	923	0	854

پس از مشخص شدن مقادیر جدول ۳، بر اساس گام سوم روش محدودیت اپسیلون، ۱۰ مقدار اپسیلون برای تابع هدف دوم در نظر گرفته می شود. در ادامه در جدول ۴ مقادیر اپسیلون های نقاط مختلف شکست برای توابع هدف دوم تا سوم محاسبه می گردد. میزان نقاط شکست در نظر گرفته شده نیز برابر با ۱۰ نقطه شکست می باشد. جدول ۴ مقادیر نقاط شکست و توابع هدف منتج شده در هر یک از نقاط شکست را نشان می دهد.

جدول ۱- تعداد سطوح مختلف مسائل نمونه

مساله	K	I	S	R	C	D	P	F	W	N	A	B	E
۱	۱	۱	۲	۳	۳	۵	۲	۲	۳	۳	۲	۲	۲
۲	۲	۳	۲	۳	۵	۷	۲	۲	۴	۳	۲	۲	۲
۳	۳	۴	۵	۵	۸	۱۰	۳	۳	۶	۴	۳	۳	۳
۴	۵	۸	۹	۹	۱۵	۱۸	۵	۵	۸	۹	۴	۴	۴
۵	۸	۱۲	۱۲	۱۴	۲۰	۲۵	۶	۶	۱۰	۱۲	۵	۵	۵

جدول ۲- توزیع پارامترهای ورودی برای مسائل نمونه

پارامترها	مقادیر	پارامترها	مقادیر
a^{ir}	uniform(1,2)	P^n	1/n
b^{rf}	uniform(2,3)	k_{ik}^n	uniform(5,7)
D_{cf}^n	uniform(4,8)	s_{rs}^n	uniform(5,7)
CK_k	uniform(20,26)	UK_k^n	uniform(50,80)
CS_s	uniform(20,26)	US_s^n	uniform(50,80)
CP_p	uniform(20,26)	UP_p^n	uniform(50,80)
CW_w	uniform(20,26)	UW_w^n	uniform(50,80)
CK_{ik}	uniform(20,26)	UK_{ik}	uniform(50,80)
CS_{rs}	uniform(20,26)	US_{rs}	uniform(50,80)
CP_{fp}	uniform(20,26)	UP_{fp}	uniform(50,80)
CW_{fw}	uniform(20,26)	UW_{fw}	uniform(50,80)
CKS_{iks}	uniform(20,26)	ei_r^{rro}	uniform(0.2,0.4)
CSP_{rsp}	uniform(20,26)	ei_{abr}^{rd}	uniform(0.2,0.4)
CPW_{fpw}	uniform(20,26)	ei_{bcr}^{dc}	uniform(0.2,0.4)
CWC_{fwc}	uniform(20,26)	ei_{bar}^{ar}	uniform(0.2,0.4)
dkS_{iks}^n	uniform(20,26)	ei_{ber}^{ad}	uniform(0.2,0.4)
dsp_{rsp}^n	uniform(20,26)	ei_{br}^{an}	uniform(0.2,0.4)
dpw_{fpw}^n	uniform(20,26)	ei_{ar}^{re}	uniform(0.2,0.4)
dwc_{fwc}^n	uniform(20,26)	ei_{er}^{da}	uniform(0.2,0.4)

در جدول ۱، ستون اول بیانگر شماره مساله، ستون دوم بیانگر تعداد تأمین کنندگان ماده اولیه (سطح یکم)، ستون سوم بیانگر تعداد ماده اولیه، ستون چهارم بیانگر تعداد تأمین کنندگان قطعات (سطح دوم)، ستون پنجم بیانگر تعداد قطعات، ستون ششم بیانگر تعداد مشتریان، ستون هفتم بیانگر تعداد تقاضا، ستون هشتم بیانگر تعداد کارخانه های تولیدی، ستون نهم بیانگر تعداد محصولات نهایی، ستون دهم بیانگر تعداد مراکز پخش، ستون یازدهم بیانگر تعداد سطوح کیفی، ستون دوازدهم بیانگر تعداد سناریوها، ستون سیزدهم بیانگر تعداد بالقوه مکان های تولیدی و بازیافت، ستون چهاردهم بیانگر تعداد بالقوه مکان های توزیع و بازرسی و ستون پانزدهم بیانگر تعداد مکان های ثابت دورریزدر هر مسئله می باشد.

همچنین در جدول ۲، پارامترهای مورد نیاز برای این مسئله به طور تصادفی با استفاده از توزیع یکنواخت در

در ادامه، در جدول ۵ مرز پارتوی تشکیل شده توسط دو الگوریتم استفاده شده برای مساله شماره ۳ مشاهده می‌شود. همان‌طور که واضح است، الگوریتم NSGA II موفق به یافتن نه جواب پارتو برای مساله شماره ۳ شده است.

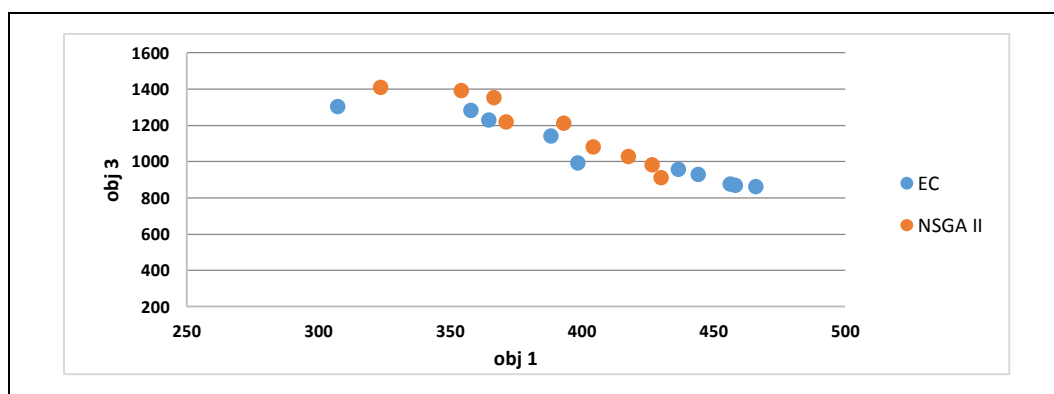
در شکل ۱ نقاط پارتو بدست آمده توسط دو الگوریتم برای مساله شماره ۳ به عنوان مثالی از ابعاد کوچک تشریح می‌گردد. لازم به ذکر است، این نقاط و توابع هدف به صورت دو به دو نشان داده شده‌اند.

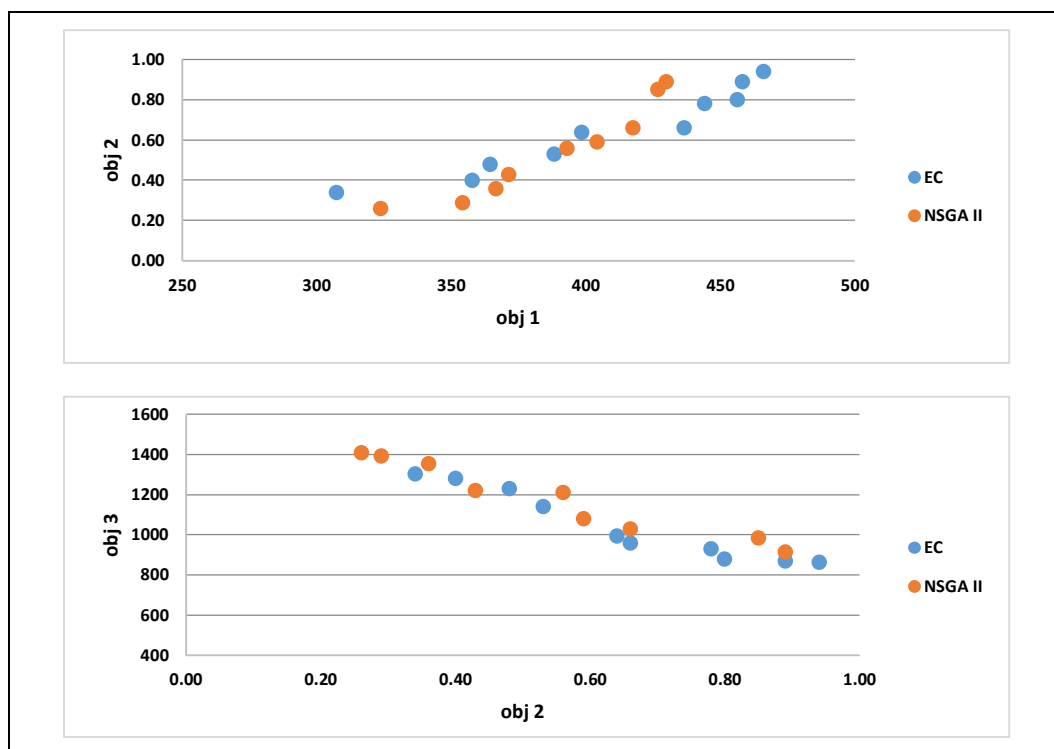
جدول ۴- مقادیر مختلف اپسیلونها بدست آمده و مقادیر توابع هدف برای مساله شماره ۳

شماره	مقدار اپسیلون (ϵ_2)	مقدار اپسیلون (ϵ_3)	Obj 1	Obj 2	Obj 3
۱	0.1	861.9173	307	0.34	1302
۲	0.2	869.4276	358	0.40	1280
۳	0.3	876.9379	365	0.48	1229
۴	0.4	884.4482	388	0.53	1140
۵	0.5	891.9585	398	0.64	992
۶	0.6	899.4688	437	0.66	957
۷	0.7	906.9791	444	0.78	930
۸	0.8	914.4894	456	0.80	876
۹	0.9	921.9997	458	0.89	870
۱۰	1	929.51	466	0.94	861

جدول ۵- جواب بهینه پارتو حاصل از حل نمونه شماره ۳ توسط روش EC و الگوریتم NSGA II

شماره	EC			NSGA II		
	هدف اول	هدف دوم	هدف سوم	هدف اول	هدف دوم	هدف سوم
۱	307	0.34	1302	324	0.26	1408
۲	358	0.40	1280	354	0.29	1391
۳	365	0.48	1229	367	0.36	1352
۴	388	0.53	1140	371	0.43	1219
۵	398	0.64	992	393	0.56	1211
۶	437	0.66	957	404	0.59	1079
۷	444	0.78	930	418	0.66	1028
۸	456	0.80	876	427	0.85	982
۹	458	0.89	870	430	0.89	912
۱۰	466	0.94	861	-	-	-



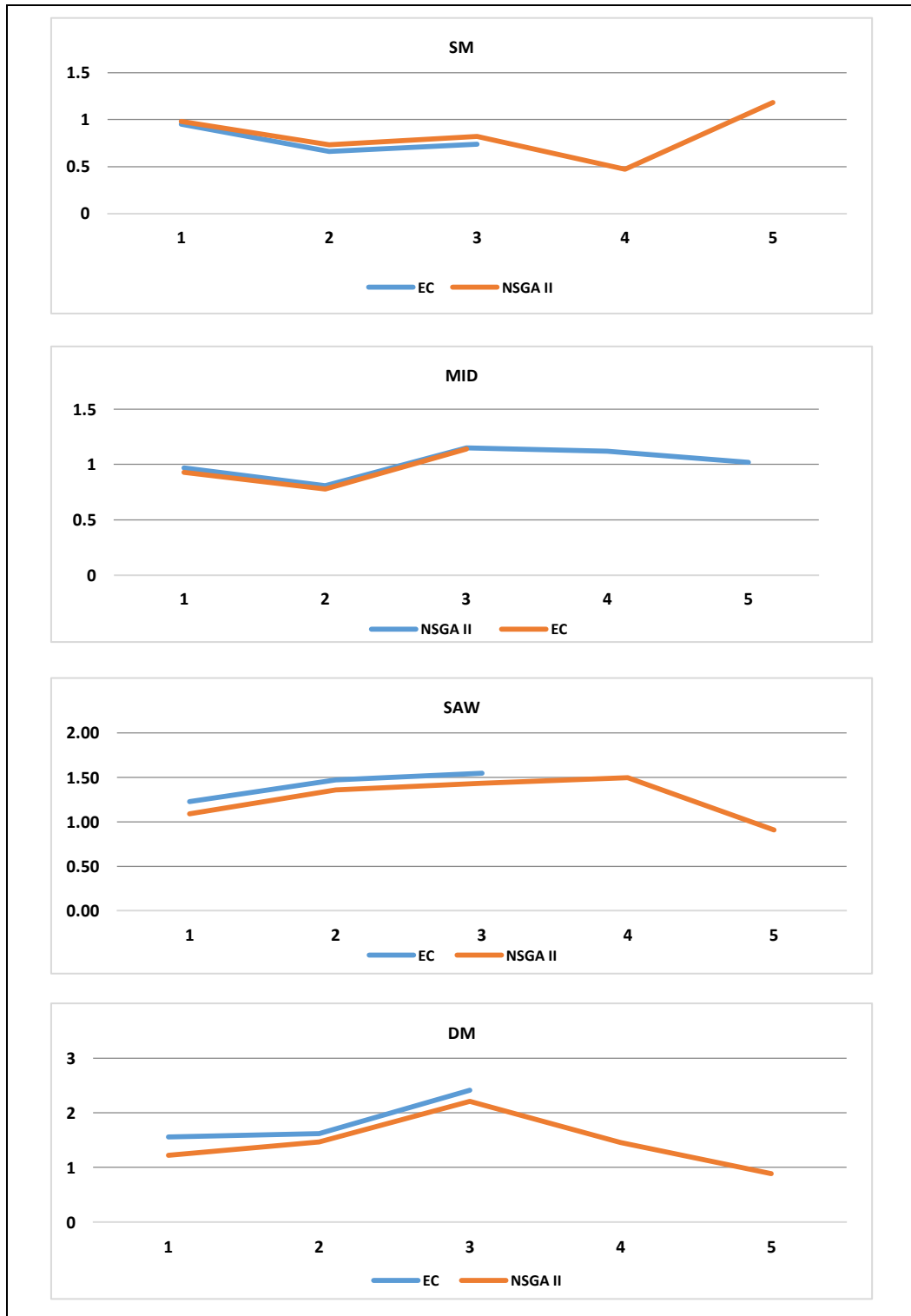


شکل ۱- مرزهای پارتوی ایجادشده در مساله نمونه برای توابع هدف اول و دوم و سوم

کرده و با توجه به مقادیر SAW منتج شده از این سه شاخص، عملکرد الگوریتم پیشنهادی را بررسی می‌نماییم. مقادیر محاسبه شده برای مرزهای به دست آمده توسط دو الگوریتم برای مساله نمونه شماره ۱ الی ۵ شکل ۲ می‌باشد.

همچنین، مقایسه‌ی شاخص‌های MID، SM و DM و همچنین مقایسه کلی عملکرد دو الگوریتم در نمودارهای شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۲ مشخص است که در ابعاد کوچک (مسائل ۱ الی ۳)، یعنی تا جایی که حل دقیق در محدودیت زمانی ۳۶۰۰ ثانیه ممکن است، الگوریتم NSGA II بسیار نزدیک به روش اپسیلون محدودیت عمل می‌کند. بنابراین، الگوریتم فرا ابتکاری استفاده شده در این تحقیق نزدیک به حل دقیق عمل می‌کند و بنابراین می‌تواند ابزار مناسبی برای حل این مساله در زمان عدم کارایی حل دقیق باشند. برای مثال، از مساله شماره ۴ به بعد، روش اپسیلون محدودیت قادر به حل دقیق مسائل در محدودیت زمانی ذکر شده نمی‌باشد. بنابراین، با توجه به عملکرد مناسب الگوریتم NSGA II، از این الگوریتم برای حل مسائل با ابعاد بالا استفاده می‌شود.

شکل ۱ مرز پارتو ایجاد شده برای توابع هدف اول و دوم را نشان می‌دهد. با توجه به ذات تابع هدف اول (میزان هزینه) و تابع هدف دوم (سطح رضایت مشتریان)، در نمودار این شکل واضح است که خرج هزینه بیشتر رضایت بیشتری برای مشتریان را در پی داشته است. چرا که با افزایش هزینه، سطح رضایت مشتریان افزایش نشان داده است. شکل ۴-۹ توابع هدف اول و سوم را مورد بررسی قرار می‌دهد. با افزایش هزینه‌ها مقدار تاثیر مخرب روی محیط زیست کمتر شده که نشان از عملکرد مناسب مدل ارائه شده دارد. همچنین، در شکل ۱ مشاهده می‌گردد که با کاهش میزان تاثیر مخرب بر روی محیط زیست به طور همزمان سطح رضایت نیز افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، با توجه به شکل ۱، واضح است که مرز پارتوی پیشنهادی توسط الگوریتم NSGA II تا حدود زیادی نزدیک به مرز به دست آمده از روش دقیق اپسیلون محدودیت می‌باشد. اما برای اعتبارسنجی دقیق‌تر الگوریتم پیشنهادی و این‌که این الگوریتم تا چه میزان قادر به شناسایی مرز بهینه پارتو می‌باشد، از شاخص‌های معرفی شده در بخش‌های قبلی استفاده می‌کنیم. برای این منظور، سه شاخص MID، SM و DM را محاسبه



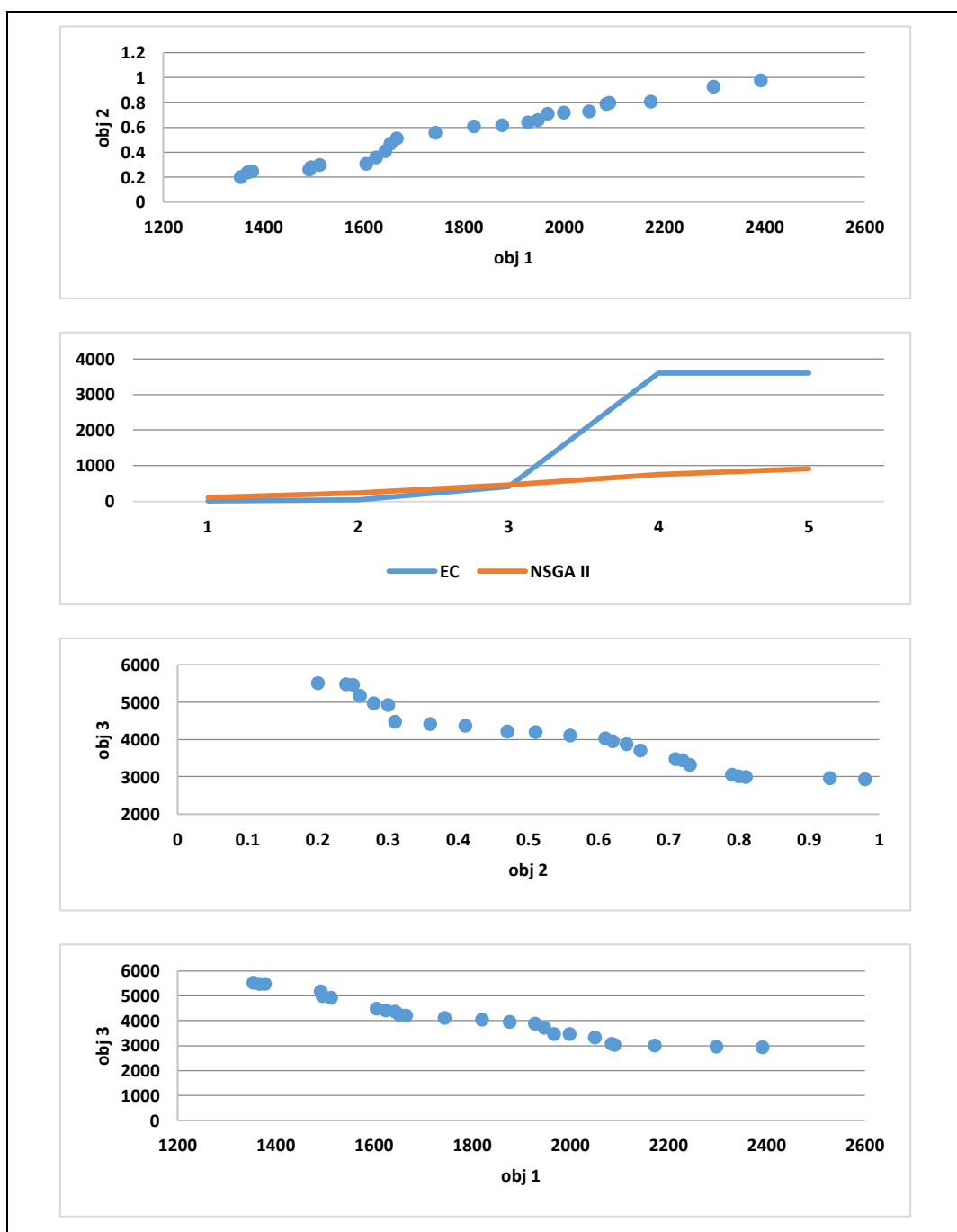
شکل ۲- مقادیر شاخص فاصله از نقطه ایده آل و شاخص گوناگونی برای دو الگوریتم

و نزدیکی به روش دقیق داشته است و بنابراین، عملکرد نهایی آن نیز نزدیک خواهد بود. با توجه به شکل ۲، آن چه که مهم است این است که خروجی الگوریتم NSGA

با توجه به نمودارهای شاخص‌های فاصله از نقطه ایده آل، فاصله و گوناگونی، باز هم متوجه این موضوع می‌شویم که الگوریتم NSGA II در تمامی شاخص‌ها عملکرد مناسب

نظر گرفته شده عاجز مانده است. اما الگوریتم فرا ابتکاری در زمان بسیار کوتاهتری قادر به حل مساله می‌باشد. بنابراین، الگوریتم NSGA II دارای عملکرد قابل قبولی در مدت زمان حل مناسبی می‌باشند. این قضیه را در شکل ۳ نیز می‌توان مشاهده نمود.

II قابل اتکا بوده و جواب‌های حاصله از اعتبار مناسبی برخوردارند. بنابراین، می‌توان از آن به عنوان یک روش حل مناسب برای حل مساله در مقیاس بالا استفاده نمود. با افزایش ابعاد مساله زمان حل دقیق به‌طور چشمگیری افزایش یافته تا جایی که از مساله نمونه شماره ۳ به بعد، روش اسپیلون از حل دقیق مساله در محدودیت زمانی در



شکل ۳- زمان حل دو روش EC و NSGA II (ثانیه) و مرز پارتوی ایجاد شده برای توابع هدف توسط الگوریتم NSGA II

همچنین، با توجه به کارایی مناسب الگوریتم NSGA II، حل مسائل سباز بزرگ در این تحقیق را به این الگوریتم سپرده و به عنوان یک مثال از مسائل سباز بزرگ، مرز پارتوی بهینه به دست آمده توسط الگوریتم NSGA II برای مساله شماره ۵ را در شکل ۳ می‌توان مشاهده نمود.

۸- بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش برای یک زنجیره تأمین چند سطحی که شامل مراکز تولید/بازيافت، بازرسی/ توزیع، مکان‌های مشتری و مکان‌های دورریز زباله می‌باشد، مدل برنامه‌ریزی سبز که حمل و نقل محصولات را سبز نموده و تاثیرات زیست محیطی حمل محصولات را کمینه می‌کند و از طرف دیگر کلیه هزینه‌های زنجیره تأمین را حداقل می‌نماید، توسعه داده شده است. مدل ارائه شده در ابتدا یک مدل غیر خطی بود که در ادامه با استفاده از تکنیک‌های تحقیق در عملیات به یک مدل برنامه‌ریزی خطی تبدیل و با یک مسأله در ابعاد کوچک توسط نرم افزار گمز اعتبار دهی شد. از طرفی چون این مسأله از پیچیدگی محاسباتی زمانی زیادی برخوردار است و مسائل زنجیره تأمین واقعی دارای دهها و یا حتی صدها تأمین کننده، تولید کننده و مشتری هستند، برای حل اینگونه مسائل از روش‌های فراابتکاری که در زمان بسیار کمتری جواب‌های نزدیک به بهینه را می‌یابند، بهره گرفته می‌شود. این مدل، تمامی هزینه‌ها اعم از احداث واحدها، تأمین مواد خام، تولید و حمل و نقل را کمینه میکند و از سوی دیگر تاثیرات زیست محیطی حاصل از تولید، حمل، بازرسی، بازيافت و دفع محصولات معیوب را کاهش داده و در نهایت رضایت مشتریان را بیشینه می‌نماید. نتایج نشان می‌دهد که حتی بدون در نظر گرفتن محدودیت‌های زیست محیطی، هزینه کل مقرون به صرفه می‌باشد. علت این امر صرفه جویی‌های است که در خرید مواد اولیه و همچنین فروش محصولات بازيافتی در بازارهای ثانویه ایجاد می‌کند. با احداث مراکز جمع آوری و بازيافت بیشتر، فاصله حمل و نقل بین تسهیلات کاهش می‌یابد و محصولات بیشتری بازيافت می‌شود که این باعث کاهش اثرات زیست محیطی می‌شود. هرچند

باید در نظر گرفت که در مساله پیشنهادی قیمت مواد اولیه، هزینه احداث تسهیلات و تقاضای مشتریان به عنوان پارامترهایی شناخته می‌شوند که امکان نوسان آنها در دنیای واقعی وجود دارد.

در پایان پیشنهاداتی در زمینه‌های توسعه ساختار زنجیره، توسعه پارامترها و توسعه معیارهای ارزیابی به علاقه مندان در این زمینه ارائه می‌گردد:

در شبکه بررسی شده محصولات تولیدی از مواد اولیه اصلی هیچ تفاوتی با محصولات بازيافتی و یا اصلاحی ندارند می‌توان تفاوت‌هایی در قیمت و یا میزان تقاضا یا موارد دیگر برای این دو نوع محصول لحاظ کرد. مدل ارائه شده تک دوره‌ای می‌باشد که پژوهشگر می‌تواند برای توسعه مدل آن را به صورت چند دوره‌ای نیز بسط دهد. همچنین برای سبز نمودن مدل طراحی شبکه، یک تابع هدف به مدل قطعی اضافه شده است که روش‌های دیگری مانند اضافه نمودن چند محدودیت از قبیل حداکثر آلودگی مجاز بخش تولید و حمل و نقل نیز وجود دارد و می‌تواند در تحقیقات آینده بررسی گردد. هزینه‌های فرآیند و هزینه‌های حمل و نقل قطعی فرض شده است که برای توسعه مدل می‌توان تعداد این پارامترها را غیرقطعی فرض نمود. از طرفی می‌توان کلیه فاکتورهای موثر بر یکدیگر را مشخص نمود و با رویکرد تحلیل سیستم‌ها و نرم‌افزار ونسیم مدلی با واقعیت بسیار بالاتر از مدل کنونی ارائه داد. همچنین در تحقیقات آتی عدم قطعیت بر تقاضا و هزینه‌ها می‌تواند بر روی کیفیت و کمیت محصولات مرجوعی نیز در نظر گرفته شود.

فهرست منابع

- ۱) برین، رسول، (۱۳۹۳) «بررسی ضرورت‌ها و ابعاد آینده پژوهی در سازمان حج و زیارت»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی.
- ۲) پدرام، عبدالرحیم و عباس جلالی‌وند (۱۳۹۲) «روش شناسی»، جلد دوم مجموعه ۷ جلدی کتابچه‌های مقدمه‌ای بر آینده‌پژوهی، انتشارات مؤسسه آموزش و تحقیقات صنایع دفاعی.

- review". *European Journal of Operational Research*, 103, 1-17.
- 14) Fortes, J. (2007). "Green supply chain management: a literature review". *Otago Management Graduate, Review*, 7.
 - 15) Ghezavati, V. R., Jabal-Ameli, M. S., & Makui, A. (2009). A new heuristic method for distribution networks considering service level constraint and coverage radius. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 5620-5629.
 - 16) Hu, T.L, Sheu, J.B., & Huang, K.H. (2002) "A reverse logistics cost minimization model for the treatment of hazardous wastes. *Transportation Research part E*, 38, 457-473.
 - 17) Huang, W., Romeijn, H. E., & Geunes, J. (2005). The continuous-time single-sourcing problem with capacity expansion opportunities. *Naval Research Logistics (NRL)*, 52(3), 193-211.
 - 18) Iakovou, E., Vlachos, D., Chatzipanagioti, M., & Mallidis, I. (2010) "A comprehensive optimization framework for sustainable supply chain networks". *Seventh International Conference on Logistics and Sustainable Transport, Slovenia*,
 - 19) Ilgin, M. A., & Gupta, S. M. (2010). Environmentally conscious manufacturing and product recovery (ECMPRO): a review of the state of the art. *Journal of environmental management*, 91(3), 563-591.
 - 20) Ioannis M, Rommert D, & Dimitrios V. (2012) "The impact of greening on supply chain design and cost: a case for a developing region" *Journal of Transport Geography*, 22 , 118-128.
 - 21) Jabbour, A.B. and Jabbour, C. (2009) Are supplier selection criteria going green? Case studies of. *Industrial Management & Data Systems*, 95-477.
 - 22) Kara, S., Rugrungruang, F., Kaebernick, H. (2007). "Simulation modelling of reverse logistics network". *International Journal of Production Economics*, 106, 61-69.
 - 23) Lambert, D. M., & Cooper, M. C. (2000). "Issues in Supply Chain Management, *Industrial Marketing Management*", 29, pp. 65-83.
 - 24) Lee, K. (2009) Why and how to adopt green management into business organizations? *Management Decision*, 1101-1121.
 - 25) Lee, K. (2011) Motivations, barriers, and incentives for adopting environmental management (cost) accounting and related guidelines: a study of the Republic of Korea. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 39-49.
 - 26) Lin, C-C., Wang, T-H. (2011) "Build-to-order supply chain network design under supply and
- ۳) قاسمی نژاد، رضا، (۱۳۹۳) «توسعه یک مدل بهینه‌سازی چند هدفه برای طراحی شبکه زنجیره تأمین در شرایط عدم قطعیت با در نظر گرفتن سطوح کیفی»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم و فنون مازندران.
- ۴) ملکی فر، عقیل. (۱۳۸۵) «آینده‌پژوهی و آینده‌نگاری دفاعی»، سمینار آینده پژوهی و بخش دفاعی، دانشگاه امام حسین (ع).
- 5) Yeh W-C., "A hybrid heuristic algorithm for the multistage supply chain network problem". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 26, 675-85. (2005).
 - 6) Tiwari A, Chang P.C, Tiwari M.K., Kandhway R., A Hybrid Territory Defined evolutionary algorithm approach for closed loop green supply chain network design, *Computers & Industrial Engineering*, Volume 99, September 2016, Pages 432-447, (2016).
 - 7) Soleimani H, Govindan K, Saghafi H, Jafari H., *Computers & Industrial Engineering*, Volume 109, July 2017, Pages 191-203, (2017).
 - 8) Chen, M. S., & Lin, C. T. (1989). Effects of centralization on expected costs in a multi-location newsboy problem. *Journal of the Operational Research Society*, 597-602.
 - 9) Chian-Son, Y., & Han-Lin, L. (2000). "A Robust optimization model for stochastic logistic problems". *International Journal of Production Economics*, 64, 385-397.
 - 10) Chu, C.H., Luh, Y.P., Li, T.C., Chen, H. (2009) "Economical green product design based on simplified computer- aided product structure variation". *Computers in industry*, 60, 485-500.
 - 11) Dekker, R, Bloemhof, J., Mallidis, I. (2011) in press "Operation research for green logistics-an overview of aspects, issues, contributions and challenges". *European Journal of Operational Research*, doi: 10.1016/j.ejor.
 - 12) Emmet, S., & Sood, V. (2010) "Green supply chains: An action Manifesto. Willey, UK.". *European Commission*, 2007. *Freight Transport Logistics Action Plan, COM (2007) 607 Final*. <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0607:FIN:EN:PDF>> (accessed 12.01.12).
 - 13) Fleischmann, M., Bloemhof- Ruwaard, J.M., Dekker, R., Van Der Laan, E., Van Nunen, J.A.E.E., & Van Wassenhove, L. N. (1997) "Quantitative models for reverse logistics: a

یادداشت

1. Metahuristics
2. Non-dominated Sorting Genetic Algorithm
3. Matlab
4. Chian-Son Y, Han-Lin L
5. Kara, S., Rugrungruang, F., Kaebernick, H
6. Jabbour, A.B. and Jabbour, C
7. Schutz P, Tomasgard A, Ahmed S
8. Zhu, G., Geng, Y. and Lai, K
9. Lee
10. Jabbour, A.B. and Jabbour, C
11. Lee
12. Lin, C-C., Wang, T-H
13. Ilgin, M. A., & Gupta
14. Dekker et al
15. Luh et al
16. Chu et al
17. O Brien et al
18. Neto et al
19. Li et al
20. Ramadhin et al
21. Iakovou et al
22. Emmet & Sood
23. Mckinnon et al
24. Fleischmann et al
25. Hu et al
26. Ioannis et al

- demand uncertain-ties”, Transportation Research, part B 45, 1-15.
- 27) Luh, Y.P., Chu, C.H., Pan, C.C. (2010) “Data management of green product development with genetic modularized product architecture”. Computers in industry, 61, 223-234.
 - 28) Mckinnon, A., Cullinane, S., Browne, M., & Whiteing, A. (2010) “Green logistics: Improving the environmental sustainability of logistics. Kogan, London”.
 - 29) Neto, J.Q.F., Ruwaard, J.M.B., Van Nunen, J.A.E.E., & Van Heck, E. (2008) “Designing and evaluating sustainable logistics networks”. International Journal of Production Economics, 111, 195-208. Li, F., Liu, T., Zhang, H., Cao, R., Ding, W., Fasano, J.P., “Distribution center location for green supply chain”. International Conference on service Operations and Logistics and informatics, IEEE, pp., 2951-2956.
 - 30) O Brien, C. (1999). “Sustainable production, new paradigm for a new millennium”. International Journal of Production Economics, 60-61, 1-7.
 - 31) Pishvae MS, & Razmi J. (2012) “Environmental supply chain network design using multi-objective fuzzy mathematical programming”. Applied Mathematical Modelling. 36, 3433-3446.
 - 32) Pishvae, M.S, Jolai, F., & Razmi, R. (2009) “A stochastic optimization model for integrated forward/ reverse logistics network design”. Journal of Manufacturing Systems, 28, 107-114.
 - 33) Ramudhin, A., Chaabane, A., & Parquet, A.M. (2009) “On the design of sustainable green supply chains”, International Conference on Computers and Industrial Engineering, CIE, pp. 979-984.
 - 34) Romeijn, H. E., Shu, J., & Teo, C. P. (2007) Designing two-echelon supply networks. European Journal of Operational Research, 178(2), 449-462.
 - 35) Schutz, P., Tomasgard, A., & Ahmed, S. (2009) “Supply chain design under uncertainty using sample average approximation and dual decomposition”. European Journal of Operational Research, 199, 409-419.
 - 36) Zhu, G., Geng, Y. & Lai, K. (2010) Circular economy practices among Chinese manufacturers varying in environmental-oriented supply chain cooperation and the performance implications. Journal of Environmental Management, 1324-1331.

Designing a mathematical model for the multi-product green supply chain of automobile industry under uncertainty

Davood Khodadadian

Ph.D. student of industrial management, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

Reza Radfar

Full Professor, faculty of management and economics, Industrial management department, science and research branch, Tehran, Iran
(Corresponding Author)
radfar@gmail.com

Abbas Toloie Eshlaghi

Full Professor, faculty of management and economics, Industrial management department, science and research branch, Tehran, Iran

Abstract

Today supply chain network is recognized as the main bases in economic activity. Their significance is due to just in time delivery and the efficiency of different commodities including food, clothing, energy, computer hardware. This has stimulated researchers and experts to analyze supply chain problems. Meanwhile, uncertainty has penetrated every level of our lives and we encounter it every day. The present paper focuses on green supply chain that consider uncertainty conditions to solve a model for designing a forward green supply network (environmental) under uncertainty of future economic conditions in Iran Khodro Company. The problem of designing the aforementioned network includes hypotheses including multi-commodity, multi-layer and one-period. Due to inconsistent economic conditions, uncertainty has been differently tackled here as compared with previous literature. In this problem, several important parameters have been considered as indefinite including customers' demands, operating expenses, the productive capacity and relocating capacity of facilities. The proposed model also considers the contamination of production section and the transportation system of the chain and tries to reduce it by suggesting an objective function and Eco-indicator 99 method. As well, production and distribution centers operate in a dual-purpose manner. Saving costs and reducing contamination due to applying transportation supplies and common infrastructures are among the benefits of this method. Considering the complexity of solving this problem and its NP-hard nature, the meta heuristic method of genetic algorithm with non-dominated sorting (NSGAI) was analyzed and finally model performance was examined with a numerical example and solving it with MATLAB and GAMS software.

Keywords: Designing Supply Chain Network, Green Supply, Multi-Objective Optimization, Non-dominated Sorting Genetic Algorithm