Archive of SID

فصلنامه آینده‌پژوهی مدیریت
سال بیست و نهم/ شماره ۱۱۵ / زمستان ۱۳۹۷

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 دریافت: ۹۶/۱۱/۰۱ **تاریخ پذیرش:** ۹۷/۰۸/۰۷

چکیده

امروزه شبکه های زنجیره تامین به عنوان ستون اصلی فعالیتهای اقتصادی شناخته می شوند. اهمیت آنها به دلیل تحویل به موقع و کارامد 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 دوره‌ای می‌باشد. به علت عدم ثبات شرایط اقتصادی، عدم اطمینان در این مسأله به شکلی متفاوت با مقالات گذشته در نظر گرفته شده‌است. 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 شده‌اند. اهداف این تحقیق شامل مینیمم سازی هزینه ها و مینیمم سازی اثرات زیست محیطی با استفاده از روش ECO-indicator 99 می باشد. از مزایای این روش صرفه‌جویی در هزینه‌ها و کاهش آلودگی در نتیجه‌ی استفاده از تجهیزات حمل‌ونقل و زیرساخت‌های مشترک می‌باشد. با توجه به پیچیدگی حل این مسأله وNP-hard بودن آن روش فرا ابتکاری[1] الگوریتم ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب (NSGA-II)[2] تشریح و در انتها نیز نحوه عملکرد مدل با یک مثال عددی و حل آن با نرم افزارهای MATLAB[3] 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.

واژه‌های کلیدی: طراحی شبکه زنجیره تامین، زنجیره تأمین سبز، بهینه‌سازی چندهدفه، الگوریتم ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب.

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

طراحی شبکه زنجیره تامین شامل تمام اجزای داخلی و خارجی مدیریت زنجیره تامین (SCM) می باشد(تیواری و همکاران،۲۰۱۶). نخستین هدف وجودی یک زنجیره، تامین و راضی کردن نیازهای مشتری در فرایند تولید ارزش برای خویش است. فعالیت های زنجیره تامین 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 تامین 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 فن‌آورانه، اندیشیدن به آینده بیش از پیش از اهمیت برخوردار شده است. ملت‌ها، سازمان‌ها 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. انسان‌ها با توجه به داشتن قدرت اختیار، می‌توانند با اقدام‌های خود فرصت‌های بسیاری برای معماری آینده خود ایجاد کنند. (پدرام، جلالی وند، ۱۳۹۲). پس آینده به این دلیل مطالعه می‌شود که فاعلیت و عاملیت در برابر آن افزایش یابد تا بتوان آینده بهتری ساخت؛ چرا که آینده یک "امکان" است و برحسب اراده و تصمیم‌های امروز می‌تواند به هر ترتیبی که مد نظر باشد ساخته شود. (ملکی فر و همکاران، ۱۳۸۶). آینده‌پژوهی دانش و معرفت شکل بخشیدن به آینده، به شیوه‌ای آگاهانه، عاملانه و پیش‌دستانه است و انسان را از غافل‌گیری در برابر توفان سهمگین تغییرها و پیشرفت‌های سرسام آور محافظت می‌کند. یکی از پیش فرض‌های اساسی آینده‌پژوهی آن است که آینده محتوم و قطعی نیست و پدید آمدن آن بستگی بی واسطه به اراده انسان‌ها 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 انتهایی ترین مرحله، یعنی تحویل به مشتری است. مدیریت زنجیره تأمین شامل مدیریت توزیع وتقاضا، تأمین اجزا و مواداولیه، ساخت ومونتاژ، ذخیره سازی و حمل موجودی، مدیریت سفارش وتحویل به مشتری است. مدیریت زنجیره تأمین مؤثرتنها با همکاری تمامی اعضای زنجیره تأمین حاصل می شود. دربازار اقتصادی امروز، برای دستیابی به موفقیت، لازم است که تأمین کنندگان مواد خام (مواداولیه)، تولیدکنندگان وتوزیع کنندگان به امر بهینه سازی کاملا متعهد باشند. شرکتها باید همواره به دنبال یافتن راه حل کارا و اثربخش برای تولید محصولات وانجام خدمت باشند. خوشبختانه در سالیان اخیر، تکنولوژی اطلاعات، زمینه مناسبی را برای یکپارچه سازی فعالیتهای داخلی و خارجی زنجیرۀ تأمین فراهم نموده است (سون و لین[۴]، ۲۰۰۰). درنتیجه، اعضای زنجیرۀ تأمین همواره به دنبال روش‌های نوین به منظور بهبود شبکۀ زنجیرۀ تأمین با استفاده از تلفیق رده های شبکه می‌گردند (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 قمیت 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 فن‌آوری اطلاعات باعث گردیده بازار عرضه محور به شکل گسترده‌ای به بازار تقاضا محور تغییر یابد و سازمان‌ها برای حفظ و بقای خود به اهمیت ارضای نیاز مشتریان پی بردند. بر این اساس مدیریت زنجیره تأمین اهمیت پیدا می‌کند، زیرا ارضای نیازها و علایق مشتریان نه فقط توسط آخرین موجودیت چسبیده به مشتری یعنی محصول نهایی است، بلکه توسط سایر تأمین‌کنندگان بالادست نیز صورت می‌گیرد.

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 بهره‌وری و سود بیشتر بود و مدیران زنجیره تأمین به دنبال تحویل سریع‌تر کالا و خدمات، کاهش هزینه بودند، اما بهبود عملکرد زیست‌محیطی زنجیره تأمین و اهمیت

www.SID.ir

Archive of SID

هزینه‌های اجتماعی و تخریب محیط زیست لحاظ نمی-گردید. مدل تصمیم‌گیری طراحی زنجیره تأمین در برگیرنده تعیین تعداد اجزای زنجیره، نظیر تأمین کنندگان مواد اولیه و قطعات مورد نیاز، تولیدکنندگان و مونتاژ کنندگان، 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 ست 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 راپذیرفته‌اند و جهت رقابت با بازارهای جهانی به اجرای مدیریت زنجیره تأمین سبز پرداخته اند (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 پیداکردن 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 زیست محیطی به زنجیره تأمین در هر کشوری، در هر صنعتی و در هر سطحی، موضوعیت پیدا میکند. باتوجه به مطالب بیان شده در راستای آینده نگری اقتصادی و زیست محیطی، در این مقاله مدلی ریاضی را برای شبکه زنجیره تأمین سبز ارائه می نماییم 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 انعطاف پذیری 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، تامین و راضی کردن نیازهای مشتری در فرایند تولید ارزش برای خویش است. فعالیت های زنجیره تامین 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 (پیشوایی و

www.SID.ir

Archive of SID

همکاران، ۲۰۰۹). هدف هر زنجیره‌ای، حداکثر کردن کل ارزش تولیدی توسط آن است. اختلاف بین پولی که مشتری می پردازد با کل هزینه های متحمل شده توسط زنجیره برای تولید و توزیع کالا، میزان سود دهی زنجیره را نشان می دهد. 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 می شود و مدیریت زنجیره تامین مستلزم مدیریت جریان های بین و داخل مراحل یک زنجیره برای حداکثر کردن کل سوددهی آن است (اسچوز و همکاران، ۲۰۰۹).

زنجیره تامین سبز، به زنجیره‌هایی اطلاق می‌شود که در آن‌ها مباحث محیطی بسیار مهم تلقی می‌شوند. بوجود آمدن چنین زنجیره هایی می‌تواند دو دلیل عمده داشته باشد. اول آنکه نگرانی های عمومی در مورد شرایط محیطی بیش از پیش به چشم می‌خورد و دوم قوانین محیطی شدید و بعضا جریمه های هنگفتی است که سازمان های حفظ محیط زیست برای شرکت‌ها و کارخانه های 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 تامین سبز بسیار مورد توجه قرار گیرد. ابعاد و ابزار بسیاری در سبز کردن یک زنجیره تامین وجود دارد.

به زعم آقای گوپتا[۱۳] چهار مجموعه اصلی به شرح زیر در سبز شدن یک زنجیره تامین تاثیر دارند. اگرچه تحقیقات مدیریت زنجیره تأمین، اخیراً بررسی‌های زیست‌محیطی را نیز در نظر می‌گیرد، جدیدا 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)، رامادهین و همکارانش[۲۰] (۲۰۰۹) و یاکووو و همکارانش[۲۱] (۲۰۱۰) مورد تحقیق قرار گرفته است.

۳) انبارایابی 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 حمل‌و 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 حمل‌و نقل و همچنین تصمیمات در رابطه با کاهش آلودگی‌های کربنی زنجیره تأمین پیشنهاد داده‌اند. آونیس و همکارانش[۲۶] در سال ۲۰۱۲ تأثیر سبزکردن 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

www.SID.ir

Archive of SID

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، به‌طوری‌که به ندرت شاهد مقالاتی هستیم که در فضای قطعی منتشر می-شوند. روش‌های متفاوتی وجود دارد که می‌توان عدم قطعیت را در مدل وارد نمود. پژوهش های زیادی در زمینه تجمیع موجودی در مراکز خرده فروش/جمع آوری صورت گرفته است. کارهای اولیه‌ای که در این زمینه صورت گرفت، دارای شبکه های 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 مقاله ای که توسط رمژین در سال ۲۰۰۷ منتشر شد، نه‌تنها موجودی در مراکز خرده فروش/جمع آوری 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/ جمع آوری و خرده‌فروشان بود. هدف یافتن بهترین مکان برای مراکزخرده فروش/جمع آوری بود به‌طوری‌که هزینه های ثابت موجودی و حمل‌ونقل در مدل کمینه شود. این رویکرد که هم مراکز خرده فروش/جمع آوری 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/جمع آوریی را معرفی کردند که شامل مرکز تأمین کالا (مانند کارخانه)، مراکز خرده فروش/جمع آوری و مشتریان (یا خرده‌فروشان) بود. سناریوهای 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 روش های فراابتکاری برای یافتن جوابی نزدیک به جواب بهینه با توجه به معیارهای بهینه سازی برای مساله مورد نظر استفاده می شود. شبکه زنجیره تامین مورد نظر شامل تأمین کنندگان مواد اولیه، تأمین کنندگان قطعات، مراکز تولیدی، مراکز توزیع و مشتریان می باشد. واحدهای تولید محصولات نهایی (مراکز تولیدی) از توانایی ساخت مواد اولیه و نیم ساخته برخوردار نیستند.

در این بخش نماد های 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 تصمیم گیری را معرفی کرده و در نهایت تابع هدف مسئله را به همراه محدودیتهای تعریف شده ارائه می نماییم.

- **نمادها و تعاریف**

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

K : مجموعه تأمین کنندگان مواد اولیه (سطح یکم)$(k=1,2,\ldots,K)$

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

S : مجموعه تأمین کنندگان قطعات (سطح دوم)$(s=1,2,\ldots,S)$

R : مجموعه قطعات $(r=1,2,\ldots,R)$

C : مجموعه مشتریان $(c=1,2,\ldots,C)$

D : مجموعه تقاضا $(d=1,2,\ldots,D)$

P : مجموعه کارخانه های تولیدی $(p=1,2,\ldots,P)$

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

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

N : مجموعه سناریوها $(n=1,2,\ldots,N)$

A : نشانگر مجموعه بالقوه مکان‌های تولیدی و بازیافت

B : نشانگر مجموعه بالقوه مکان‌های توزیع و بازرسی

E : نشانگر مجموعه مکان‌های ثابت دورریز

www.SID.ir

Archive of SID

- **پارامترها**

پارامترهای ورودی مدل به صورت زیر می باشند:

a^{ir}: مقدار ماده اولیه i مورد نیاز برای ساخت یک واحد قطعه r: تقاضای مشتری منطقه مشتریان c از قطعاتr

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 تامین کننده سطح یکم (مواد اولیه) k

CK_k: هزینه ثابت انتخاب تامین 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 تامین کننده سطح اول k تحت سناریوی n

s_{rs}^{n}: حد بالایقطعه r فرستاده شده وسط تامین کننده سطح دوم sk تحت سناریوی n

p_{fp}^{n}: حد بالای محصول نهایی f فرستاده شده توسط تامین 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 تامین کننده سطح اول k به تامین کننده سطح دوم s تحت سناریوی n

sp_{rsp}^{n}: حد بالای قطعه r فرستاده شده توسط تامین کننده سطح دوم s به کارخانه تولیدی p تحت سناریوی n

CW_w: هزینه ثابت تخصیص ماده اولیه i به تامین کننده سطح یکم k

CK_{ik} : هزینه ثابت تخصیص قطعه r به تامین 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 تامین 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 تامین کننده سطح اول k برای تامین کننده سطح دوم s

CKS_{iks} : هزینه ثابت تهیه قطعه r توسط تامین کننده سطح دوم s برای کارخانه p

US_s^n: ظرفیت تامین 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 تامین کننده سطح اول k برای تامین کننده سطح دوم s تحت سناریوی n

dks_{iks}^{n}: هزینه واحد تهیه قطعه r توسط تامین 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 قطعاتr

E_{cf}^{n} : اگر تقاضای مشتری c برای کالای f تحت سناریوی n بزرگتر از صفر باشد۱ ، در غیر اینصورت۰

UK_{ik}: منبع مورد استفاده یک واحد ماده اولیه i در تامین کننده سطح اول k

US_{rs}: منبع مورد استفاده یک واحد قطعه rدر تامین 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 fام را تولید کند۱، در غیر اینصورت۰

www.SID.ir

Archive of SID

HK_{ik}: اگر تامین کننده مواد اولیه kام بتواند ماده اولیه i تولید کند۱، در غیر اینصورت۰

HS_{rs}: اگر تامین کننده قطعات sام بتوانند قطعه r تولید کند ۱، در غیر اینصورت۰

HW_{fw}: اگر مرکز پخش w متقاضی پخش محصول نهایی f باشد۱، در غیر اینصورت۰

- **پارامترهای سبز (زیست محیطی)**

ei_r^{rro}: تأثیر محیطی تولید یک واحد محصول r

ei_{abr}^{rd}: تأثیر محیطی حمل یک واحد محصول r از مکان a به مکان b

ei_{bcr}^{dc}: تأثیر محیطی حمل یک واحد محصول r از مکان bبه مکان c

ei_{bar}^{ar}: تأثیر محیطی حمل یک واحد محصول r از مکان b به مکانa

ei_{ber}^{ad}: تأثیر محیطی حمل یک واحد محصول r از مکان b به مکان e

ei_{br}^{an}: تأثیر محیطی بازرسی یک واحد محصول r در مکان b

ei_{ar}^{re}: تأثیر محیطی بازیافت یک واحد محصول r در مکان a

ei_{er}^{da}: تأثیر محیطی دفع یک واحد محصول r در مکان e

- **متغیرهای تصمیم گیری**

XKS_{iks}^{n}: متغییرهای 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: مقدارمحصول 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 iبرای 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 شود۱، در غیر این صورت ۰

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 دورریزe

x_{abr}: تعداد محصولاتr حمل شده از مرکز تولیدa 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

y_b: متغیر صفر و یک نشانگر باز بودن و یا بسته بودن مرکز توزیعb

www.SID.ir

Archive of SID

- **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 تاثیرات زیست محیطی می باشد.

(رابطه ۱)

Minimize:

$$\begin{aligned}&\sum_k CK_k \cdot YK_k + \sum_s CS_s \cdot YS_s + \sum_p CP_p \cdot YP_p \\ &+ \sum_w CW_w \cdot YW_w + \sum_i \sum_k CK_{ik} \cdot YK_{ik} \\ &+ \sum_r \sum_s CS_{rs} \cdot YS_{rs} + \sum_f \sum_p CP_{fp} \cdot YP_{fp} \\ &+ \sum_f \sum_w CW_{fw} \cdot YW_{fw} + \sum_i \sum_k \sum_s CKS_{iks} \cdot YKS_{iks} \\ &+ \sum_r \sum_s \sum_p CSP_{rsp} \cdot YSP_{rsp} \\ &+ \sum_f \sum_p \sum_w CPW_{fpw} \cdot YPW_{fpw} \\ &+ \sum_f \sum_w \sum_c CWC_{fwc} \cdot YWC_{fwc} \\ &+ \sum_{n\epsilon N} P^n \sum_i \sum_k \sum_s dks^n_{iks} \cdot XKS^n_{iks} \\ &+ \sum_r \sum_s \sum_p dsp^n_{rsp} \cdot XSP^n_{rsp} \\ &+ \sum_f \sum_p \sum_w dpw^n_{fpw} \cdot XPW^n_{fpw} \\ &+ \sum_f \sum_w \sum_c dwc^n_{fwc} \cdot XWC^n_{fwc}\end{aligned}$$

(رابطه ۲)

Maximize y

- **تابع هدف سوم (حداقل کردن تأثیرات زیست محیطی کل)**

این تابع هدف تأثیرات زیست‌محیطی شبکه شامل تأثیراتی که بخش تولید، توزیع، بازرسی و دورریز بر روی محیط زیست می‌گذارند؛ همچنین آلودگی‌هایی که بخش حمل‌و نقل وارد محیط می‌کند، را حداقل می‌سازد. برای بدست آوردن ضرایب به کار برده شده در معادله از یک روش مبتنی برLCA مانند روش Eco-indicator 99 استفاده شده است. همان طوری که در فصل ۲ توضیح داده شد، روش Eco-indicator 99 برای تخمین تأثیرات زیست‌محیطی پیکربندی‌های مختلف شبکه زنجیره تأمین به کار می‌رود. برای استفاده از این روش، ابتدا محدوده‌ی سیستم و واحد عملکردی آن و هدف استفاده از Eco-indicator باید تعریف گردد. در اینجا محدوده‌ی سیستم مورد مطالعه می‌تواند به عنوان حدود اطراف شبکه زنجیره تأمین و واحد عملکردی شبکه زنجیره تأمین می‌تواند ارضای موثر تقاضای مشتریان با تولید و توزیع محصولات در شبکه رو به جلو و مدیریت محصولات بی‌کیفیت برگشتی در شبکه معکوس باشد. همچنین هدف استفاده از Eco-indicator تخمین تأثیر زیست‌محیطی پیکربندی شبکه زنجیره تأمین می‌باشد.

در گام دوم، چرخه عمر محصول بایستی تعریف گردد. در مسئله مورد بررسی ما که صنعت خودرو در نظر گرفته شده است، گام‌های چرخه عمر شامل موارد زیر می‌باشد: (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 گام‌های چرخه عمر حذف شده است به این دلیل که هیچ تأثیری بر روی متغیرهای تصمیم‌گیری مدل و در نتیجه بر پیکره کلی شبکه زنجیره تأمین ندارد.

در گام سوم، مواد و فرآیندها از طریق گام‌های چرخه عمر محصول باید کمی‌سازی 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 می‌شود [۲۶].

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

(رابطه ۳)

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

www.SID.ir

Archive of SID

محدودیت‌های مسأله نیز به صورت زیر می باشند :

s.t:

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

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

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

$\sum_i \sum_s UK_{ik} . XKS_{iks}^n \le UK_k^n . YK_k \forall n,k$ (رابطه ۷)

$\sum_r \sum_p US_{rs} . XSP_{rsp}^n \le US_s^n . YS_s \forall n,s$ (رابطه ۸)

$\sum_f \sum_w UP_{fp} . XPW_{fpw}^n \le UP_p^n . YP_p \forall n,p$ (رابطه ۹)

$\sum_f \sum_c UW_{fw} . XWC_{fwc}^n \le UW_w^n . YW_w \forall n,w$ (رابطه ۱۰)

$\sum_s XKS_{iks}^n \le k_{ik}^n . YK_{ik} \forall n,i,k$ (رابطه ۱۱)

$\sum_p XSP_{rsp}^n \le s_{rs}^n . YS_{rs} \forall n,r,s$ (رابطه ۱۲)

$\sum_w XPW_{fpw}^n \le p_{fp}^n . YP_{fp} \forall n,f,p$ (رابطه ۱۳)

$\sum_c XWC_{fwc}^n \le w_{fw}^n . YW_{fw} \forall n,f,w$ (رابطه ۱۴)

$XKS_{iks}^n \le HK_{ik} . ks_{iks}^n . YKS_{iks} \forall n,i,k,s$ (رابطه ۱۵)

$XSP_{rsp}^n \le HS_{rs} . sp_{rsp}^n . YSP_{rsp} \forall n,r,s.p$ (رابطه ۱۶)

$XPW_{fpw}^n \le HP_{fp} . pw_{fpw}^n . Ypw_{fpw} \forall n,f,p,w$ (رابطه ۱۷)

$XWC_{fwc}^n \le HW_{fw} . wc_{fwc}^n . YWC_{fwc} \forall n,f,w,c$ (رابطه ۱۸)

$\sum_k (\sum_{n\epsilon N} P^n . UK_k^n) / UK_{ik} . YK_{ik} \ge \sum_r a^{ir} . \sum_f b^{rf} . \sum_c (\sum_n P^n . D_{cf}^n) \forall i$ (رابطه ۱۹)

$\sum_s (\sum_{n\epsilon N} P^n . US_s^n) / US_{rs} . YS_{rs} \ge \sum_f b^{rf} . \sum_c (\sum_{n\epsilon N} P^n . D_{cf}^n) \forall r$ (رابطه ۲۰)

$\sum_p (\sum_{n\epsilon N} P^n . UP_p^n) / UP_{fp} . YP_{fp} \ge \sum_c (\sum_{n\epsilon N} P^n . D_{cf}^n) \forall f$ (رابطه ۲۱)

$\sum_w (\sum_{n\epsilon N} P^n . UW_w^n) / UW_{fw} . YW_{fw} \ge \sum_c (\sum_{n\epsilon N} P^n . D_{cf}^n) \forall f$ (رابطه ۲۲)

$\sum_w XWC_{fwc}^n - D_{cf}^n \le M . T_{cf}^n \forall\, n,f,c$ (رابطه ۲۳)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

www.SID.ir

Archive of SID

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 sام، 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 r فرستاده شده به کارخانه pام، 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، کار خانه 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 متغییر های تصمیم مربوط به حجم کالا های ارسالی در شبکه مورد نظر می باشد.محدودیت (۲۷) : این محدودیت ها نیز مر بوط به متغییر های صفر و یک (باینری) که مختص پیکر بندی شبکه اند می باشند.محدودیت‌های (۲۸) تا (۳۴) بالانس جریان محصول را در مکان‌های تولید/ بازیافت و مراکز بازرسی/ توزیع در جریان رو به جلو و معکوس تضمین می‌کنند.

۵- حل مدل

برای مثال اگر مساله 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 درایه‌های آن اعداد صفر و یک می‌باشند نیز برای نمایش جواب استفاده می‌شود. در سطر اول این ماتریس، k ستون وجود دارد و چنانچه تامین کننده سطح یکم k انتخاب شود، k امین درایه از این سطر مقدار یک را به خود می‌گیرد. در سطر دوم ماتریس، S ستون وجود دارد و چنانچه تامین کننده سطح دومs انتخاب شود، s امین درایه از این سطر مقدار یک را به خود می‌گیرد. سطر سوم ماتریس نیز دارای P ستون است و اگر کارخانهتولیدیp انتخاب شود ، p امین درایه از این سطر مقدار یک را به خود می‌گیرد. سطر چهارم ماتریس نیز دارای W ستون است که اگر مرکز پخش wانتخاب شود، w امین درایه از این سطر مقدار یک را به خود می‌گیرد.

۶- تولید نمونه‌های 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 ۱الی ۳ را مسائل سایز کوچک و مسائل ۴الی ۵ را مسائل سایز بزرگ در نظر می‌گیریم.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- تعداد سطوح مختلف مسائل نمونه

مسأله	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^{n}_{ik}	uniform(5,7)
D^{n}_{cf}	uniform(4,8)	s^{n}_{rs}	uniform(5,7)
CK_{k}	uniform(20,26)	UK^{n}_{k}	uniform(50,80)
CS_{s}	uniform(20,26)	US^{n}_{s}	uniform(50,80)
CP_{p}	uniform(20,26)	UP^{n}_{p}	uniform(50,80)
CW_{w}	uniform(20,26)	UW^{n}_{w}	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^{rro}_{r}	uniform(0.2,0.4)
CSP_{rsp}	uniform(20,26)	ei^{rd}_{abr}	uniform(0.2,0.4)
CPW_{fpw}	uniform(20,26)	ei^{dc}_{bcr}	uniform(0.2,0.4)
CWC_{fwc}	uniform(20,26)	ei^{ar}_{bar}	uniform(0.2,0.4)
dks^{n}_{iks}	uniform(20,26)	ei^{ad}_{ber}	uniform(0.2,0.4)
dsp^{n}_{rsp}	uniform(20,26)	ei^{an}_{br}	uniform(0.2,0.4)
dpw^{n}_{fpw}	uniform(20,26)	ei^{re}_{ar}	uniform(0.2,0.4)
dwc^{n}_{fwc}	uniform(20,26)	ei^{da}_{er}	uniform(0.2,0.4)

در جدول ۱، ستون اول بیانگر شماره مساله، ستون دوم بیانگر تعداد تأمین کنندگان مواد اولیه (سطح یکم)، ستون سوم بیانگر تعداد مواد 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 تعدادمراکز پخش، ستون یازدهم بیانگر تعداد سطوح کیفی، ستون دوازدهم بیانگر تعداد سناریوها، ستون سیزدهم بیانگر تعداد بالقوه مکان‌های تولیدی و بازیافت، ستون چهاردهم بیانگر تعداد بالقوه مکان‌های توزیع و بازرسی و ستون پانزدهم بیانگر تعداد مکان‌های ثابت دورریزدر هر مسئله می‌باشد.

همچنین در جدول ۲، پارامترهای مورد نیاز برای این مسئله به طور تصادفی با استفاده از توزیع یکنواخت در 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 مسأله تولید می شود. در این قسمت مسائل پنجگانه طراحی شده در بخش‌های قبلی را با وجود هر دو تابع هدف توسط الگوریتم اپسیلون محدودیت و الگوریتم NSGA II پیشنهادی نیز حل کرده و جواب‌های پارتوی یافت‌شده گزارش شده است. برای تشریح روش حل محدودیت اپسیلون، مسأله 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 مسأله	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 می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID

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.

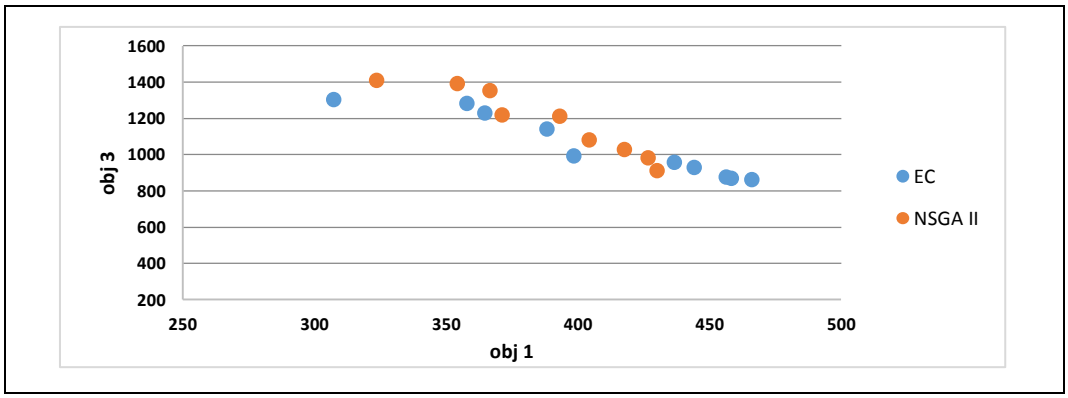
در شکل ۱ نقاط پارتو بدست آمده توسط دو الگوریتم برای مساله شماره ۳ به عنوان مثالی از ابعاد کوچک تشریح می گردد. لازم به ذکر است، این نقاط و توابع هدف به صورت دو به دو نشان داده شده اند.

جدول ۴- مقادیر مختلف اپسیلونهای 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

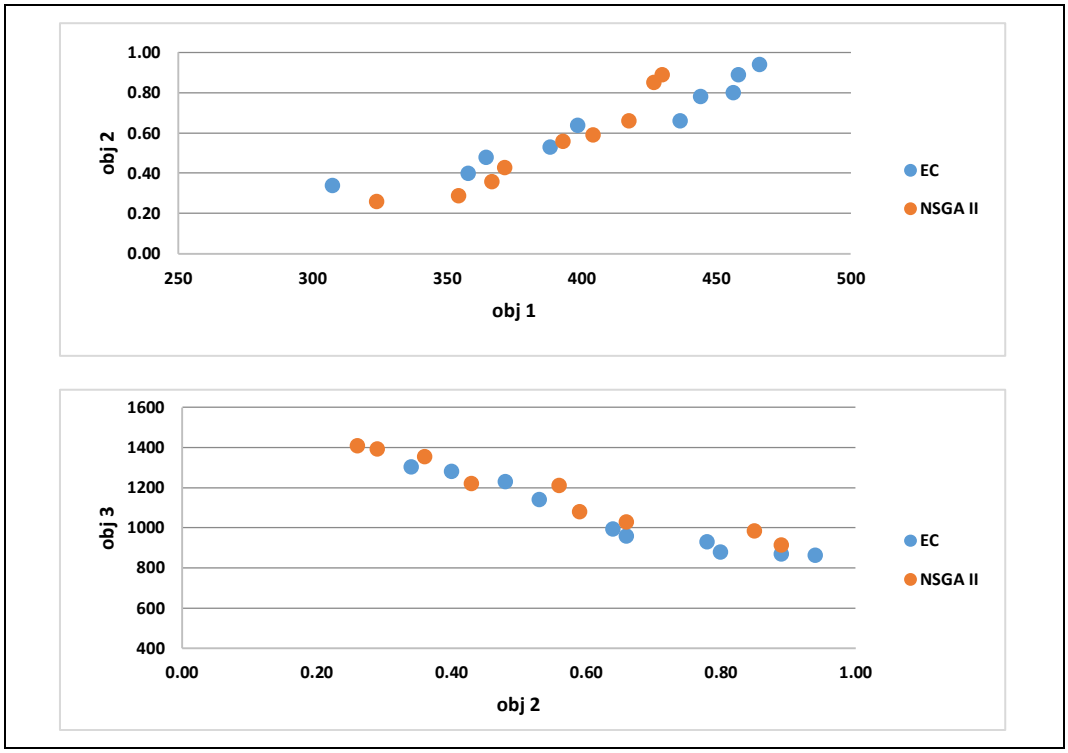
جدول ۵- جواب بهینه پارتو حاصل از حل نمونه شماره ۳ توسط روش EC و الگوریتم NSGA II

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	-	-	-



www.SID.ir

Archive of SID



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

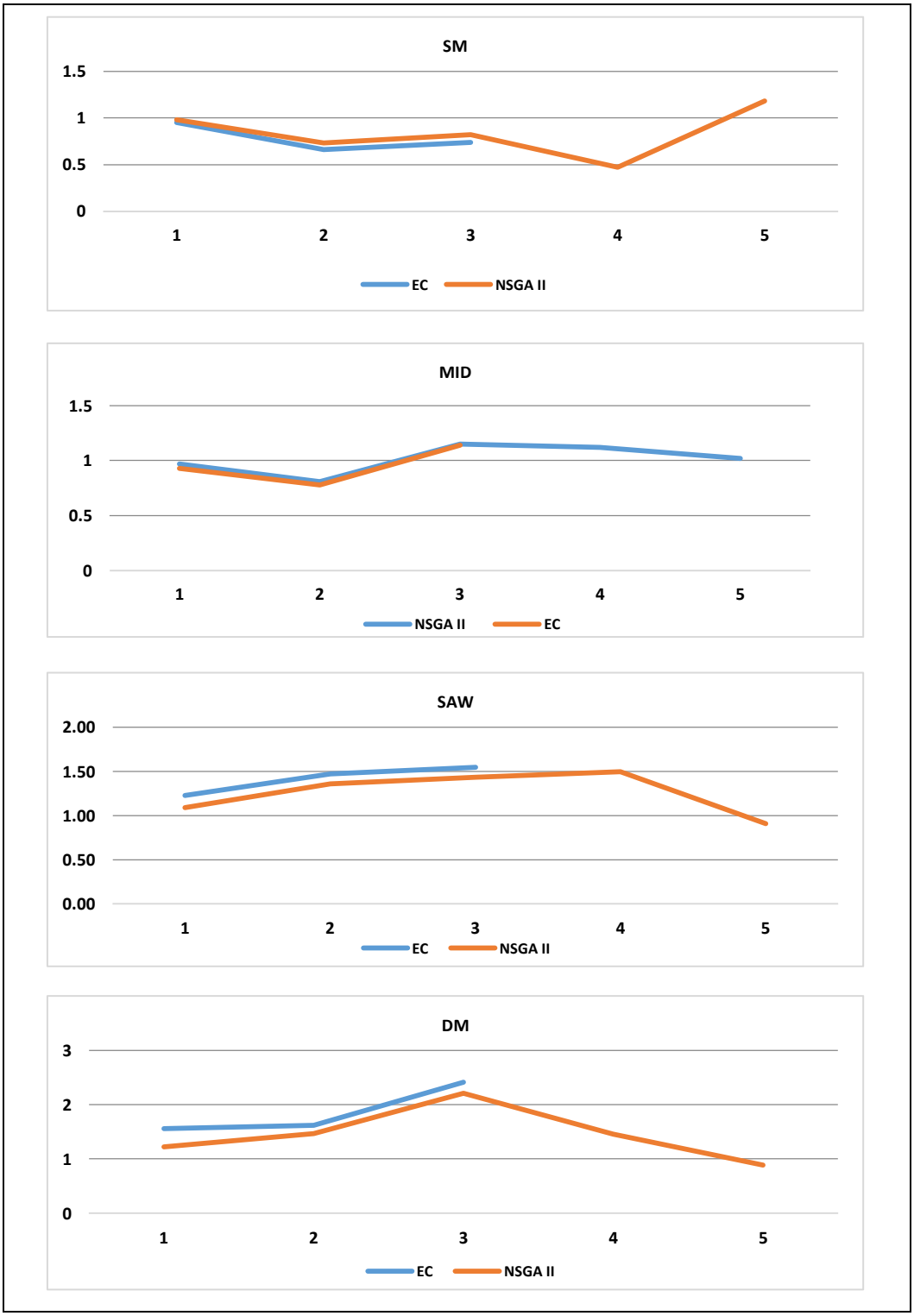
شکل ۱ مرز پارتو ایجاد شده برای توابع هدف اول و دوم را نشان می‌دهد. با توجه به ذات تابع هدف اول (میزان هزینه) و تابع هدف دوم (سطح رضایت مشتریان)، در نمودار این شکل واضح است که خرج هزینه بیشتر رضایت بیشتری برای مشتریان را در پی داشته است. چرا که با افزایش هزینه، سطح رضایت مشتریان افزایش نشان داده است. 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 می گردد که با کاهش میزان تاثیر مخرب بر روی محیط زیست به طور همزمان سطح رضایت نیز افزایش می یابد.

از طرف دیگر، با توجه به شکل۱ ، واضح است که مرز پارتوی پیشنهادی توسط الگوریتم NSGA II تا حدود زیادی نزدیک به مرز به‌دست 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 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 ۵شکل 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 شکل۲ 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.

www.SID.ir

Archive of SID



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

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 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

www.SID.ir

Archive of SID

II قابل اتکا بوده و جواب‌های حاصله از اعتبار مناسبی برخوردارند. بنابراین، می توان 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 اپسیلون از حل دقیق مساله در محدودیت زمانی در 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.

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

www.SID.ir

Archive of SID

همچنین، با توجه به کارایی مناسب الگوریتم NSGA II، حل مسائل سایز بزرگ در این تحقیق را به این الگوریتم سپرده و به عنوان یک مثال از مسائل سایز بزرگ، مرز پارتوی بهینه به‌دست 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/ بازیافت، 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 می کند و از طرف دیگر کلیه هزینه های زنجیره تامین را حداقل می نماید، 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 برنامه ریزی 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 ویا حتی صدها تأمین کننده، تولید کننده و مشتری هستند، برای حل اینگونه مسائل از روش های فراابتکاری که در زمان بسیار کمتری جواب های نزدیک به بهینه را می یابند، بهره گرفته می شود. این مدل، تمامی هزینه ها اعم از احداث واحدها، تامین مواد خام، تولید و حمل و نقل را کمینه میکند و از سوی دیگر تاثیرات زیست محیطی حاصل از تولید، حمل، بازرسی، بازیافت و دفع محصولات معیوب را کاهش داده و در نهایت رضایت مشتریان را بیشینه می نماید. نتایج نشان می دهد که حتی بدون در نظر گرفتن محدودیت های زیست محیطی، هزینه کل مقرون به صرفه می باشد. علت این امر صرفه جویی های است که در خرید مواد اولیه و همچنین فروش محصولات بازیافتی در بازارهای ثانویه ایجاد می کند. با احداث مراکز جمع آوری و بازیافت بیشتر، فاصله حمل و نقل بین تسهیلات کاهش می یابد و محصولات بیشتری بازیافت می شود که این باعث کاهش اثرات زیست محیطی می شود. هرچند باید در نظر گرفت که در مساله پیشنهادی قیمت مواد اولیه، هزینه احداث تسهیلات و تقاضای مشتریان به عنوان پارامترهایی شناخته می شوند 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 بازیافتی 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.

www.SID.ir

Archive of SID

۳) قاسمی نژاد، رضا، (۱۳۹۳) «توسعه یک مدل بهینه‌سازی چند هدفه برای طراحی شبکه زنجیره تأمین در شرایط عدم قطعیت با در نظرگرفتن 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 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

www.SID.ir

Archive of SID

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) Pishvaee MS, & Razmi J. (2012) "Environmental supply chain network design using multi-objective fuzzy mathematical programming". Applied Mathematical Modelling. 36, 3433-3446.
32) Pishvaee, 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.

www.SID.ir

Archive of SID

Designing a mathematical model for the multi-product green supply chain of autobobile 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 (NSGAII) 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

www.SID.ir