Archive of SID

فصلنامـه علمی پژوهشـی حسابداری مدیریت
سال یازدهم/ شماره سی‌وهشتم/ پائیز ۱۳۹۷

بهینه سازی هزینه، زمان و نرخ قابلیت اطمینان سیستم حمل و نقل در زنجیره تأمین چهار سطحی؛ با بهره گیری از مدلسازی برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط

پوریا محمدزاده سقاء[۱]
احمد ابراهیمی[۲]
مریم لطفی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۰۹ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۱/۱۲

چکیده

کارایی و اثربخشی هر سازمان حاصل عملکرد مدیریت و ساختار زنجیره تامین آن سازمان می‌باشد. در این مقاله با ارائه یک مدل ریاضی از نوع برنامه ریزی عدد صحیح مختلط با اهداف بهینه سازی مجموع هزینه های تمام سطوح زنجیره تأمین، مدت زمان تحویل محصول و نرخ قابلیت اطمینان سیستم های حمل و نقل محصول به مشتریان، به طراحی ساختار یک زنجیره تأمین چهار سطحی شامل تأمین کنندگان، تولید کنندگان، توزیع کنندگان و مشتریان پرداخته شده است. بهینه سازی هزینه ها با لحاظ شدن تقاضای احتمالی مشتریان و مجاز بودن کمبود محصولات در مدل ارائه شده نظر گرفته شده است. در این مقاله، تقاضای غیر قطعی با به کارگیری برنامه ریزی با قیود احتمالی، مورد بررسی قرار گرفته و به صورت قطعی تبدیل شده است. جهت حل مساله با توجه به میزان پیچیدگی مدل در ابعاد بزرگ، از الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک مبتنی بر مرتب سازی نامغلوب(NSGAII) استفاده شده و نتایج آن مورد تحلیل قرار گرفته است. نتایج و خروجی آزمایشات عددی حاصل از مقایسه حل دقیق مدل با الگوریتم پیشنهادی، به کارایی روش فرا ابتکاری در مقیاس پایین اعتبار بخشیده است.

واژه‌های کلیدی: زنجیره تأمین چهارسطحی، هزینه های زنجیره تامین، تقاضای احتمالی، برنامه ریزی با قیود احتمالی، الگوریتم NSGAII.

۱- کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران
۲- عضو هیات علمی و استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران. (نویسنده مسئول) ahmad.ebrahimi@srbiau.ac.ir
۳- عضو هیات علمی و استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

فلسفه اصلی یکپارچگی تولید و توزیع در زنجیره تامین به عنوان یکی از مهمترین مسائل بهینه سازی در شبکه های زنجیره تامین، هماهنگ کردن سطوح مختلف زنجیره تامین در راستای نیل به اهداف هر یک از اعضا و زنجیره است. یکپارچگی زنجیره یک چرخه تعاملی را ارائه می‌کند که طی آن تکنولوژی، عملکردهای افراد و دانش فرآیندهای عملیاتی با یکدیگر ترکیب و به هم پیوسته می‌شوند (براون و همکاران، ۱۹۹۶).

نیازهای مشتریان شامل تحویل به موقع محصول که می‌تواند تحت تاثیر فاکتورهای قابل کنترل همچون ناکارایی شیوه های حمل، عدم کارایی سیستم های اطلاعاتی مرتبط با ارسال کالا، تاخیر زمانی بین وصول سفارش و برنامه ریزی برای برآوردن آن و فاکتورهای غیر قابل کنترل مانند شرایط جوی در حمل و نقل، حوادث غیرمترقبه، مسائل گمرکی باشد.

سیستم های حمل و نقل با توجه به شرایط محیطی در رساندن محصول نهایی به مشتری نقش مهمی‌ایفا می‌کنند. هر وسیله نقلیه غیر قابل اعتماد منجر به ایجاد ضرر بسیاری در هنگام حمل محصولات در زنجیره تأمین می‌گردد (سیف برقی و همکاران، ۲۰۱۵).

در این راستا، ابتدا با استفاده از یک مدل ریاضی برنامه ریزی عدد صحیح مختلط، اقدام به طراحی و بهبود یک زنجیره تامین چهار سطحی چند محصولی چند دوره ای با سه هدف متضاد مورد نظر مشتری گردیده و سپس محدودیت هایی در شرایط تقاضای احتمالی، با مجاز شمردن کمبود موجودی در نظر گرفته شده است. با توجه به NP-hard بودن ساختار مساله، حل مدل از طریق الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک مبتنی بر مرتب سازی نامغلوب، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته که توضیحات آن در ادامه آورده شده است.

در این مقاله سعی گردیده، به نیازهای اساسی مشتریان در زنجیره تامین به صورت همزمان پرداخته شود. لیکن سه تصمیم و هدف اصلی؛ کمینه کردن هزینه ها در زنجیره تأمین، کمینه کردن مدت زمان تحویل محصول به مشتری و بیشینه ساختن قابلیت اطمینان سیستم های حمل ونقل از توزیع کننده به مشتری مورد توجه قرار گرفته است.

۲- مروری بر پیشینه پژوهش

در دنیای واقعی به دلیل تغییرات ذاتی و بعضا شدید محیط های عملیاتی، همواره عدم قطعیتی مشاهده می‌شود که موجب بروز انحرافات مثبت و منفی از نتایج غیرقابل پیش بینی و ناخواسته می‌گردد. فرآیندهای تولید که در پی برآورده نمودن سفارش مشتری و هماهنگی بین عرضه و منابع موجود می‌باشند، این عدم قطعیت را به همراه دارند و بی توجهی به آن، نتایج متفاوت و فاصله ای عمیق را نسبت به شرایط واقعی ایجاد می‌نماید. در این مقاله نیز سعی گردیده در کنار تامین سه هدف مورد نظر مشتری، شرایط عدم قطعیت تقاضا نیز جهت واقعی شدن شرایط عملیاتی در زنجیره تامین مورد نظر قرار گیرد.

هوانگ (۲۰۱۱) یک روش بهینه سازی ارائه نمود که نه تنها استراتژی های زنجیره تأمین و سازمان ها را یکپارچه می‌کند، بلکه اهداف متفاوت اعضای زنجیره را به منظور بیشینه سازی عملکرد زنجیره تأمین هماهنگ می‌نماید. میرزاپور آل هاشم و همکاران (۲۰۱۱)، در زنجیره تأمینی متشکل از چند تأمین کننده، تولید کننده و چندین مشتری، یک مدل برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح مختلط چندهدفه را برای مسئله برنامه ریزی تولید ادغامی‌در شرایط عدم قطعیت ارائه نمودند. در این مدل، تابع هدف اول، کل هزینه های زنجیره تأمین شامل هزینه تولید، هزینه های استخدام، اخراج و آموزش، هزینه حمل و نقل، هزینه کمبود و هزینه نگهداری موجودی را کمینه می‌نماید. تابع هدف دوم، رضایت مشتریان را از طریق کمینه سازی مجموع ماکزیمم مقدار کمبودها در تمام دوره ها برآورده می‌سازد. مدل پیشنهادی با به کارگیری روش وزنی متریک به صورت تک هدفه حل شده است. جولای و همکاران(۲۰۱۱)، یک مدل برنامه ریزی خطی چند هدفه را به منظور یکپارچه

www.SID.ir

Archive of SID

سازی برنامه ریزی تولید و توزیع در زنجیره تأمینی چند محصولی متشکل از چندین کارخانه، مرکز توزیع، خرده فروشی و مشتری ارائه نمودند. سطوح آرمانی مبهم تصمیم گیرندگان برای اهداف، با استفاده از رویکرد برنامه ریزی آرمانی فازی در مدل وارد شده است.لیانگ (۲۰۱۱)، با در نظر گرفتن عدم قطعیت و ابهام پارامترها و ضرایب در مسائل یکپارچه سازی برنامه ریزی تولید و توزیع در زنجیره های تأمین دنیای واقعی، یک مدل برنامه ریزی خطی فازی براساس تئوری احتمالات ارائه داد.

آرچتی و همکاران (۲۰۱۱)، یک مسئله تولید- توزیع را که شامل یک تولید کننده، یک محصول و چند خرده فروش می‌باشد، توسط گروهی از وسایل نقلیه مورد توجه قرار دادند و برای حل آن یک الگوریتم دقیق ارائه کردند. هدف مسئله، کمینه کردن کل هزینه های ثابت و متغیر حمل و نقل از تولید کننده به خرده فروش می‌باشد. کائو و هان (۲۰۱۱)، یک مدل دو سطحی برنامه ریزی خطی برای یک مسئله توزیع در زنجیره تأمین ارائه کردند. آن ها یک روش مؤثری براساس الگوریتم های ژنتیک و بهینه سازی ازدحام ذرات برای حل مدل به کار بردند. آرمنتانو و همکاران (۲۰۱۱)، یک مسئله تولید-توزیع را که شامل چند دوره زمانی، چند توزیع کننده، چند محصول و یک تولید کننده می‌باشد با توجه به ظرفیت محدود ارائه کردند. آن ها یک مدل ریاضی برای حداقل کردن هزینه های تولید و موجودی طراحی کردند و روش جستجو ممنوع را برای حل مدل به کار بردند. سجادی و داوودپور (۲۰۱۲)، به مسئله طراحی یک شبکه زنجیره تأمین دو سطحی، چندمحصولی و تک دوره ای پرداختند. این مسئله در قالب مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط فرموله شده است. این مدل، کل هزینه های شبکه شامل هزینه های حمل و نقل، مدت زمان های تحویل، هزینه های نگهداری موجودی، هزینه های راه اندازی و هزینه های عملیاتی تسهیلات را کمینه نموده است. پاکسوی و همکاران (۲۰۱۲) از مجموعه های فازی به منظور یکپارچه سازی شبکه زنجیره تأمین یک تولید کننده روغن های گیاهی خوراکی استفاده نمودند. مدل برنامه ریزی خطی چند هدفه فازی پیشنهادی، به طور هم زمان کل هزینه های حمل و نقل بین تأمین کنندگان و سیلوها و بین تولیدکنندگان و انبارها را کمینه کرده است. لیو و پاپاگرگیو (۲۰۱۳)، یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط را به منظور برنامه ریزی تولید، توزیع و ظرفیت در زنجیره های تأمین جهانی ارائه نمودند. مدل پیشنهادی به طور همزمان سه هدف هزینه، پاسخگویی و سطح خدمت به مشتری را در نظر گرفته و از دو استراتژی به منظور حل آن استفاده گردیده است. روش ε- محدودیت مجموعه ای از حل های بهینه پارتو را حاصل می‌کند و روش لکسیوگرافی حل رضایت بخشی را در منحنی بهینه پارتو می‌یابد. وینای و سریدهاران (۲۰۱۳) با ارائه مدلی در یک زنجیره تأمین سه سطحی مسئله توزیع- تخصیص را با یک محصول و در یک دوره زمانی در نظر گرفتند. هدف در مدل آنها کمینه کردن کل هزینه های تأمین محصولات از تولید کنندگان به خرده فروشان از میان مراکز توزیع می‌باشد. باندیوپادهای و باتاچاریا (۲۰۱۴)، یک مسئله چند هدفه برای زنجیره تأمین دوسطحی ارائه کردند. مدل آن ها هزینه کل، واریانس مقدار سفارش و کل موجودی را حداقل کرده است. مدل، با استفاده از الگوریتم ژنتیک مبتنی بر مرتب سازی نامغلوب حل شده و با الگوریتم تکاملی مبتنی بر قوت پارتو مقایسه گشته است.

گراس من و همکاران (۲۰۱۴)، یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح برای مسئله زنجیره تأمین سه سطحی تحویل قطعات یدکی ارائه نمودند و هدف کمینه سازی هزینه های زنجیره تأمین را دنبال می‌کنند. از روش ابتکاری نیز برای حل مدل استفاده کرده اند. اخوان نیاکی و همکاران (۲۰۱۵)، یک شبکه زنجیره تأمین سه سطحی چند دوره ای چند محصولی شامل کارخانه های تولیدی، مراکز توزیع و مشتریان در نظر گرفتند. دو هدف این مسئله، کمینه کردن کل هزینه ها به همراه بیشینه کردن میانگین تعداد محصولات ارسال شده به مشتریان می‌باشد. نوع مدل

www.SID.ir

Archive of SID

به کار رفته برنامه ریزی عدد صحیح و روش حل آن نیز تصمیم گیری چند هدفه می‌باشد. لی و همکاران (۲۰۱۵)، یک شبکه زنجیره تأمین سه سطحی با تقاضای بازار احتمالی در نظر گرفتند. مدل در نظر گرفته شده از نوع EOQ و تابع هدف مسئله کمینه کردن هزینه های زنجیره تأمین بوده که در حل آن، از یک روش حل ابتکاری بهره گرفته شده است. سیف برقی و همکاران (۲۰۱۵)، یک شبکه زنجیره تأمین چهار سطحی شامل چند تأمین کننده، چندتولید کننده، چند توزیع کننده و چند مشتری طراحی کردند. اهداف مورد نظر، حداقل کردن هزینه های عملیاتی زنجیره تأمین و حداکثر کردن قابلیت اطمینان سیستم می‌باشد. مدل مربوطه از نوع برنامه ریزی عدد صحیح می‌باشد. برای حل مدل نیز از چند الگوریتم ابتکاری جدید از مجموعه بهینه سازی نسبی ازدحام ذرات استفاده شده و عملکرد آن ها مقایسه گشته است.

بهرام پور و همکاران (۲۰۱۶)، یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح برای شبکه زنجیره تأمین سه سطحی چند محصولی ارائه کردند. تقاضای مشتری ممکن است پاسخ داده نشود و سیستم با کمبود مواجه گردد. یانگ و همکاران (۲۰۱۶)، یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح به جهت بهینه سازی زنجیره تأمین سه سطحی قطعات یدکی ارائه نمودند. اهداف مدل، کمینه کردن هزینه ها و میزان کمبود موجودی می‌باشد. تقاضای مشتریان احتمالی در نظر گرفته شده و برای حل مدل نیز از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. سلیمانی و زحل (۲۰۱۶)، یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح برای زنجیره تأمین چهار سطحی ارائه نمودند که اهداف کمینه سازی هزینه های زنجیره و بیشینه کردن درآمد حاصل از فروش محصولات را دنبال می‌کند. برای حل مدل نیز از روش الگوریتم کلونی مورچگان استفاده شده است.سیف و همکاران (۲۰۱۷) به تعیین یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چهار سطحی بهینه که از چند تولید کننده، مراکز بازسازی، مراکز میانی و مشتریان تشکیل شده است، کمک کردند. علاوه بر این، عدم قطعیت در تقاضا و مقدار محصولات بازگشتی در این شبکه مورد توجه قرار گرفته است.

کیوان فر و همکارانش (۲۰۱۸) به ارائه یک مدل احتمالی چند سطحی چند محصولی در زنجیره تامین برای سازمان های کوچک و متوسط پرداخته و از الگوریتم تجزیه بند انگشتی برای حل آن بهره گرفته اند.

بنا بر مرور ادبیات صورت گرفته، ارائه یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط با رویکرد بهینه سازی همزمان سه هدف هزینه، زمان و نرخ قابلیت اطمینان سیستم حمل و نقل در یک زنجیره تامین چهار سطحی، با لحاظ شدن تقاضای غیر قطعی و احتمالی مشتریان به عنوان شکاف تحقیقاتی شناسایی گردید. در بخش دوم به شرح مساله و ارائه مدل ریاضی مورد نظر پرداخته خواهد شد.

۳- روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش بر روی یک شبکه زنجیره تأمین چهار سطحی چند محصولی و چند دوره ای شامل تأمین کنندگان، تولید کنندگان، توزیع کنندگان و مشتریان تمرکز دارد که ساختار شبکه زنجیره تأمین مدل پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده است.

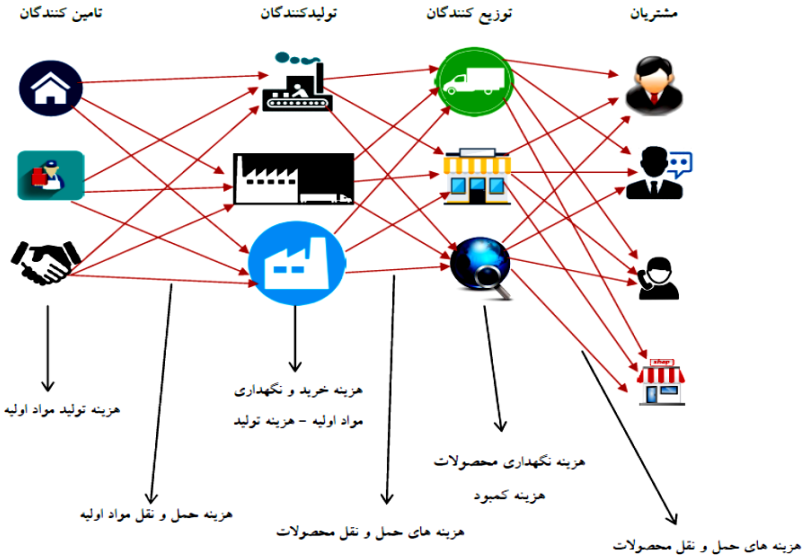
در سطح اول، مواد اولیه در هر تأمین کننده تولید و به سمت کارخانه ها (تولید کنندگان) فرستاده می‌شود. در سطح دوم در هر تولید کننده مواد اولیه از تأمین کنندگان خریداری می‌گردد. همچنین محصولات مختلف تولید و به توزیع کنندگان فرستاده می‌شود. مقداری از مواد اولیه نیز در انبار تولید کننده نگهداری می‌گردد. در سطح سوم، محصولات توسط چند نوع سیستم حمل و نقل با نرخ قابلیت اطمینان ثابت و ظرفیت محدود از توزیع کنندگان به مشتری ارسال می‌شوند. این نرخ برای هر سیستم حمل و نقل با توجه به تعداد تصادفات جاده ای، شرایط جغرافیایی و ... مطرح می‌گردد. در واقع هم سیستم حمل و نقل و هم مسیری که در آن، محصول حمل می‌گردد، برای پاسخگویی به تقاضای مشتریان قابلیت اطمینان جداگانه ای دارند. از ضرب این دو مقدار، نرخ قابلیت

www.SID.ir

Archive of SID

اطمینان کلی حاصل می‌شود (سیف برقی، ۲۰۱۵). مقداری از محصولات نیز در انبار توزیع کننده نگهداری می‌گردند. در سطح چهارم که مشتریان به عنوان خروجی سیستم قرار دارند محصولی را سفارش می‌دهند و بعد از گذشت زمان مورد انتظار آن را از توزیع کنندگان تحویل می‌گیرند.

در هر دوره زمانی، تعدادی تقاضا از سوی مشتری به سمت توزیع کنندگان ارسال می‌شود. تعداد تقاضاهایی که در هر دوره زمانی تأمین می‌گردد احتمالی بوده و از توزیع پواسون پیروی می‌کنند. توزیع کنندگان برای بهبود زنجیره تأمین، تقاضای مشتریان را در کمترین زمان و با قابلیت اطمینان بالا پاسخ می‌دهند. اما گاهی مسائل داخلی وخارجی تهدیدکننده محیط زنجیره منجر به عدم قطعیت در تقاضا می‌شوند، و زمان تحویل محصول طولانی می‌گردد. از طرف دیگر، ممکن است به جهت شرایط نامساعد مسیر و وسیله نقلیه، محصولات به مشتری نرسند یا سالم تحویل نگردند. تقاضای پاسخ داده نشده هر مشتری از هر محصول در هر دوره زمانی می‌توان بازگشت داده شود. در این هنگام سیستم کمبود را مجاز می‌شمارد و برای جبران آن هزینه ای در نظر می‌گیرد.



شکل۱- شبکه زنجیره تأمین مدل پیشنهادی

۳-۱- توصیف مدل ریاضی مسئله

در این بخش به تشریح بخشهای مدل در نظر گرفته شده در مقاله، شامل: مفروضات مدل، توابع هدف، اندیس ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم در نظر گرفته شده در مدل پرداخته شده است.

۳-۱-۱- مفروضات مدل

مفروضات در نظر گرفته شده در مدل عبارتند از:

- زنجیره تامین، چهار سطحی و شامل تامین کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع کنندگان و مشتریان در نظر گرفته شده است.
- دوره های زمانی مختلفی برای تصمیم گیری اتخاذ شده است.
- تأمین کننده به عنوان یک ورودی که فقط تولید و حمل مواد اولیه در آن صورت می‌گیرد، در نظر گرفته شده است و انبارش در آن وجود ندارد.
- تامین کنندگان از یک ظرفیت تامین جهت ارسال مواد اولیه برخوردار هستند.
- محصولات مختلفی توسط تولید کنندگان ساخته شده است.
- تولید همزمان محصولات مقدور نمی‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

- تولید کنندگان از یک ظرفیت تولید جهت ارسال محصولات برخوردار هستند.
- کمبود مواد اولیه در انبار تولید کننده مجاز نمی‌باشد زیرا تدارک مواد اولیه به موقع و به مقدار مناسب صورت گرفته است.
- ظرفیت انبارش برای تولید کنندگان و توزیع کنندگان وجود دارد.
- تقاضای مشتریان را می‌توان به عنوان یک محدودیت مهم، احتمالی در نظر گرفت.در این تحقیق پارامتر تقاضا از توزیع پواسون پیروی می‌کند.
- کمبود در انبار توزیع کننده مجاز در نظر گرفته شده است.
- به علت تعدد وسایل نقلیه برای حمل محصولات نهایی به مشتری، قابلیت اطمینان برای سیستم های حمل و نقل تنها در این سطح از زنجیره در نظر گرفته شده است.
- هر تولید کننده مواد اولیه را از چند تأمین کننده، هر توزیع کننده محصولات را از چند تولید کننده و هر مشتری می‌تواند از چند توزیع کننده محصولات نهایی خود را دریافت کند.
- منظور از موعد تحویل در این تحقیق، زمان حمل محصولات از توزیع کننده به مشتری بوده که توسط آن ها تعیین گردیده است.

۳-۱-۳- توابع هدف

در این مقاله، سه هدف مورد نظر مشتری به شرح ذیل در نظر گرفته شده اند:

- حداقل کردن هزینه های زنجیره تأمین شامل خرید و تولید مواد اولیه و تولید محصول، حمل و نقل، نگهداری و کمبود
- حداقل کردن مدت زمان تحویل محصول به مشتری
- حداکثر کردن نرخ قابلیت اطمینان سیستم های حمل و نقل موجود بین توزیع کننده و مشتری

این مقاله یک شبکه زنجیره تأمین چهار سطحی را با چند تأمین کننده، چند تولید کننده، چند توزیع کننده و چند مشتری در نظر گرفته است. اندیس ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم مدل به شرح زیر است:

۳-۱-۴- اندیس ها

s تعداد تأمین کنندگان(s=1,2,…,S)

m تعداد تولیدکنندگان (m=1,2,…,M)

d تعداد توزیع کنندگان(d=1,2,…,D)

c تعداد مشتریان(c=1,2,…,C)

t تعداد دوره های زمانی(t=1,2…,,T)

p تعداد محصولات(p=1,2…,P)

i تعداد سیستم های حمل و نقل(i=1,2,…,I)

۳-۱-۵- پارامترها

Pcr_{st} هزینه تولید هر واحد مواد اولیه توسط تأمین کننده s در دوره t

F_{sm} هزینه ثابت حمل هر واحد مواد اولیه از تأمین کننده s به تولیدکننده m

C_{smt} هزینه حمل هر واحد مواد اولیه از تأمین کننده s به تولید کننده m در دوره t

R_{st} قیمت خرید هر واحد مواد اولیه از تأمین کننده s در دوره t

PC_{pmt} هزینه تولید هر واحد محصول p توسط تولید کننده m در دوره t

F_{md} هزینه ثابت حمل محصولات تولید شده از تولید کننده m به توزیع کننده d

C_{pmdt} هزینه حمل هرواحد محصول p از تولید کننده m به توزیع کننده d در دوره t

HC_{mt} هزینه نگهداری هر واحد مواد اولیه توسط تولید کننده m در دوره t

F_{dci} هزینه ثابت حمل محصولات از توزیع کننده d به مشتری c توسط سیستم حمل و نقل i

C_{pdcit} هزینه حمل هرواحد محصول p از توزیع کننده d به مشتری c توسط سیستم حمل و نقل i در دوره t

HC_{pdt} هزینه نگهداری موجودی هر واحد محصول p

www.SID.ir

Archive of SID

برای توزیع کننده d در دوره t

Shc_{pct} هزینه کمبود محصول p برای مشتری c در دوره t

L_{pdcit} زمان تحویل هر واحد محصول p از توزیع کننده d به مشتری c توسط سیستم حمل ونقل i در دوره t

rak_{idct} نرخ قابلیت اطمینان سیستم حمل و نقل i ، از مسیر توزیع کننده d به مشتری c در دوره t

S_{st} ظرفیت تأمین مواد اولیه توسط تأمین کننده s در دوره t

Ur_{pmt} نرخ استفاده مواد خام در تولید محصول p در دوره t

S_{pmt} ظرفیت تولید هرواحد محصول p برای تولید کننده m در دوره t

DC_{mt} ظرفیت انبارش مواد اولیه برای تولید کننده m در دوره t

DC_{dt} ظرفیت انبارش محصولات برای توزیع کننده d در دوره t

$capt_{it}$ ظرفیت هر سیستم حمل و نقل i در دوره t

D_{pct} مقدار تقاضای محصول p توسط مشتری c در دوره t

M یک عدد مثبت بزرگ

۳-۱-۶- متغیرهای تصمیم

Q_{st} مقدار تولید مواد اولیه توسط تأمین کننده s در دوره t

X_{smt} متغیر مقدار مواد اولیه حمل شده از تأمین کننده s به تولید کننده m در دوره t

Q_{pmt} مقدار تولید محصول p توسط تولید کننده m در دوره t

X_{pmdt} متغیر مقدار محصول p حمل شده از تولید کننده m به توزیع کننده d در دوره t

X_{pdcit} متغیر مقدار محصول p حمل شده از توزیع کننده d به مشتری c توسط سیستم حمل و نقل i در دوره t

I_{mt} متغیر موجودی مواد اولیه برای تولید کننده m در دوره t

I_{pdt} متغیر موجودی هر واحد محصول p برای توزیع کننده d در دوره t

SH_{pct} متغیر مقدار تقاضای پاسخ داده نشده محصول p از مشتری c در پایان دوره t

۴- مدل پژوهش

در این بخش، به تشریح مدل ریاضی شامل: اهداف و محدودیتهای مورد نظر پرداخته شده است.

تابع هدف (۱) هزینه های زنجیره تأمین شامل هزینه تولید و حمل مواد اولیه از تأمین کننده به تولیدکننده، هزینه خرید مواد اولیه از تأمین کننده، هزینه تولید و حمل محصولات از تولید کننده به توزیع کننده، هزینه نگهداری مواد اولیه در انبار تولید کننده، هزینه حمل محصولات از توزیع کننده به مشتریان، هزینه نگهداری موجودی در انبار توزیع کننده و هزینه کمبود را کمینه می‌کند.

تابع هدف (۲) مدت زمان تحویل محصولات به مشتری را کمینه می‌کند. تابع هدف (۳) قابلیت اطمینان سیستم های حمل ونقل بین توزیع کننده و مشتری را بیشینه می‌کند.

محدودیت (۴) بیان می‌کند مقدار مواد اولیه که در یک تأمین کننده تولید می‌شود، به تولیدکنندگان مختلف حمل می‌شود و انبارش وجود ندارد. محدودیت (۵) ظرفیت تأمین مواد اولیه هر تامین کننده برای تولیدکنندگان و در هر دوره زمانی می‌باشد. محدودیت (۶) بیان می‌کند محصولاتی که در یک تولید کننده تولید می‌شود عینا به توزیع کنندگان مختلف حمل می‌شود. محدودیت (۷) بیان می‌کند به مقدار انتقال مواد اولیه از تأمین کننده به تولیدکننده، محصول تولید نمی‌گردد. در نتیجه مقداری ماده اولیه نگهداری می‌شود. محدودیت (۸) محدودیت ظرفیت هر تولید کننده به منظور ارسال هر واحد محصول به تمامی توزیع کنندگان و در هر دوره زمانی می‌باشد. محدودیت (۹) حداکثر ظرفیت انبارش مواد اولیه توسط تولید کننده در هر دوره زمانی را بیان می‌کند. محدودیت (۱۰) بیانگر تعادل موجودی مواد اولیه برای هرتولید کننده در هر دوره زمانی می‌باشد. محدودیت (۱۱) بیانگر

www.SID.ir

Archive of SID

حداکثر اندازه ظرفیت انبارش محصولات مختلف توسط توزیع کننده در هر دوره زمانی می‌باشد. محدودیت (۱۲) به این معنی است که همواره مقداری محصول ارسال شده از تولیدکنندگان به هر توزیع کننده در هر دوره زمانی انبار می‌شود. محدودیت (۱۳) متضمن تعادل موجودی هر واحد محصول برای توزیع کننده در هر دوره زمانی میباشد. محدودیت (۱۴) بیانگرحداکثر ظرفیت سیستم های حمل و نقل در ارسال محصولات از توزیع کنندگان مختلف به مشتری در هر دوره زمانی می‌باشد. محدودیت (۱۵) ماهیت احتمالی تقاضای محصولات با توجه به کمبود موجود بیان می‌شود که ساختار این محدودیت را از تساوی به نامساوی تغییر داده است. محدودیت (۱۶) محدودیت کنترلی مقادیر تولید، حمل مواد اولیه و محصول را در سطوح مختلف زنجیره نشان می‌دهد. محدودیت (۱۷) به بیان مقدار اولیه موجودی مواد خام، موجودی هر محصول و میزان کمبود می‌پردازد. محدودیت (۱۸) نیز غیرمنفی بودن متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهد.

(۱)

$$\min Z_1 = \sum_{s=1}^{S}\sum_{t=1}^{T}(Pcr_{st} \times Q_{st}) + \sum_{s=1}^{S}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T}F_{sm} + (C_{smt} \times X_{smt}) + \sum_{s=1}^{S}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T}(R_{st} \times X_{smt}) + \sum_{p=1}^{P}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T}(PC_{pmt} \times Q_{pmt}) + \sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T}(HC_{mt} \times I_{mt}) + \sum_{p=1}^{P}\sum_{m=1}^{M}\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}F_{md} + (C_{pmdt} \times X_{pmdt}) + \sum_{p=1}^{P}\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}(HC_{pdt} \times I_{pdt}) + \sum_{p=1}^{P}\sum_{d=1}^{D}\sum_{c=1}^{C}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T}F_{dci} + (C_{pdcit} \times X_{pdcit}) + \sum_{p=1}^{P}\sum_{c=1}^{C}\sum_{t=1}^{T}(Shc_{pct} \times SH_{pct})$$

(۲)

$$\min Z_2 = \sum_{p=1}^{P}\sum_{d=1}^{D}\sum_{c=1}^{C}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T}(L_{pdcit} \times X_{pdcit})$$

(۳)

$$\max Z_3 = \sum_{p=1}^{P}\sum_{d=1}^{D}\sum_{c=1}^{C}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T}(rak_{idct} \times X_{pdcit})$$

(۴)

$$\sum_{m=1}^{M} X_{smt} = Q_{st} \qquad \forall\ s.t$$

(۵)

$$\sum_{m=1}^{M} X_{smt} \le S_{st} \qquad \forall\ s.t$$

(۶)

$$\sum_{d=1}^{D} X_{pmdt} = Q_{pmt} \qquad \forall\ p.m.t$$

(۷)

$$\sum_{s=1}^{S} X_{smt} - \sum_{p=1}^{P}(Ur_{pmt} \times Q_{pmt}) \ge 0 \qquad \forall\ m.t$$

(۸)

$$\sum_{d=1}^{D} X_{pmdt} \le S_{pmt} \qquad \forall\ p.m.t$$

(۹)

$$\sum_{s=1}^{S} X_{smt} + I_{mt} \le DC_{mt} \qquad \forall\ m.t$$

(۱۰)

$$I_{mt} = I_{m(t-1)} + \sum_{s=1}^{S} X_{smt} - \sum_{p=1}^{P}(Ur_{pmt} \times Q_{pmt}) \qquad \forall\ m.t$$

(۱۱)

$$\sum_{p=1}^{P}\sum_{m=1}^{M} X_{pmdt} + \sum_{p=1}^{P} I_{pdt} \le DC_{dt} \qquad \forall\ d.t$$

(۱۲)

$$\sum_{m=1}^{M} X_{pmdt} - \sum_{c=1}^{C}\sum_{i=1}^{I} X_{pdcit} \ge 0 \qquad \forall\ p.d.t$$

(۱۳)

$$I_{pdt} = I_{pd(t-1)} + \sum_{m=1}^{M} X_{pmdt} - \sum_{c=1}^{C}\sum_{i=1}^{I} X_{pdcit} \qquad \forall\ p.d.t$$

(۱۴)

$$\sum_{p=1}^{P}\sum_{d=1}^{D} X_{pdcit} \le capt_{it} \qquad \forall\ c.i.t$$

www.SID.ir

Archive of SID

(۱۵)

$$SH_{pct} - SH_{pc(t-1)} > D_{pct} - \sum_{d=1}^{D}\sum_{i=1}^{I} X_{pdcit} \qquad \forall\ c.p.t$$

(۱۶)

$$X_{smt}.X_{pmdt}.X_{pdcit}.Q_{st}.Q_{pmt} \leq M \qquad \forall\ s.m.d.c.p.i.t$$

(۱۷)

$$I_{pdt}.I_{mt}.SH_{cpt} = 0 \qquad \forall\ p.m.d.t$$

(۱۸)

$$Q_{st}.X_{smt}.Q_{pmt}.X_{pmdt}.X_{pdcit}.I_{mt}.I_{pdt}.SH_{cpt} \geq 0 \quad \forall\ s.m.d.c.p.i.t$$

پیش از حل مسئله، محدودیت احتمالی مدل ریاضی ارائه شده (شماره ۱۵) به محدودیت قطعی تبدیل شده است. برای این کار از روش برنامه ریزی با قیود احتمالی استفاده شده است. در این تحقیق فرض می‌شود در هر دوره زمانی، احتمال اینکه تعداد تقاضاهای مشخصی از مشتریان پاسخ داده شود از توزیع پواسون پیروی می‌کند. اما با توجه به این که در روش برنامه ریزی با قیود احتمالی بایستی از توابع توزیع پیوسته استفاده کرد، لذا در این مقاله، تقریب توزیع پواسون به وسیله توزیع نرمال با شرط ($\lambda \geq$۱۰) در نظر گرفته می‌شود که λ در این جا میانگین توزیع پواسون می‌باشد. در این جا چون میانگین تعداد تقاضاهای پاسخ داده شده در طول زمان (λ)، قطعا بزرگتر از ۱۰ می‌باشد، پس می‌توان توزیع نرمال را به جای پواسون به کار برد و در ادامه مسئله از آن استفاده کرد.

فرض کنید تقاضا دارای توزیع نرمال با پارامترهای μ_{ct} و σ_{ct} می‌باشد. هدف، قطعی کردن تقاضا با در نظرگرفتن یک ضریب اطمینان یعنی $(D_{pct})_{\alpha}$ است به نحوی که رابطه $prob(D_{pct}<(D_{pct})_{\alpha})=1-\alpha$ برقرار باشد. بر همین اساس باید رابطه $\int_{-\infty}^{(D_{pct})_{\alpha}} f(D_{pct})dD_{pct} = (1-\alpha)$ را برای توزیع نرمال تشکیل داد. این عبارت همان تابع توزیع تجمعی نرمال استاندارد می‌باشد. روش محاسبه $(D_{pct})_{\alpha}$ در روابط ۱۹ الی ۲۴ نشان داده شده است.

(۱۹)

$$prob\ (D_{pct} < (D_{pct})_{\alpha}) = 1-\alpha$$

(۲۰)

$$\int_{-\infty}^{(D_{pct})_{\alpha}} N(\mu_{ct},\sigma_{ct}^{2})d(D_{pct})_{\alpha} = (1-\alpha)$$

(۲۱)

$$prob\ (Z \leq (D_{pct})_{\alpha}) = 1-\alpha$$

(۲۲)

$$prob\ (Z \leq \frac{(Dpct)\alpha-\mu_{ct}}{\sigma_{ct}}) = 1-\alpha$$

(۲۳)

$$\frac{(Dpct)\alpha-\mu_{ct}}{\sigma_{ct}} = Z_{\alpha}$$

(۲۴)

$$(D_{pct})_{\alpha} = Z_{\alpha}.\sigma_{ct} + \mu_{ct}$$

پس با جایگذاری $(D_{pct})_{\alpha}$ به جای D_{pct} محدودیت احتمالی مسئله به صورت زیر تبدیل گردیده است:

(۲۵)

$$SH_{pct} - SH_{pc(t-1)} + \sum_{d=1}^{D}\sum_{i=1}^{I} X_{pdcit} = (D_{pct})_{\alpha} = Z_{\alpha}.\sigma_{ct} + \mu_{ct}$$

Z_{α} مقدار توزیع نرمال استاندارد با ضریب اطمینان α ، μ_{ct} و σ_{ct} نیز به ترتیب میانگین و انحراف معیار توزیع نرمال برای تقاضای مشتری c در دوره t می‌باشند.

۵- نتایج پژوهش

با توجه به اینکه الگوریتم NSGAII یک الگوریتم جمعیتی است و برای مسائل چند هدفه عملکردی سیستماتیک در مواجهه با جواب های نامغلوب هر نسل و پراکندگی مناسب جواب ها در مرز بهینه پارتو دارد، مورد توجه این تحقیق قرار گرفته است.

در این مقاله، ابتدا پارامترها و حدود اولیه آنها از ادبیات موضوع استخراج گردید (مرادی نقده، ۲۰۱۴). هر چند که برای تعیین حدود پارامترها، روشهای متعددی چون استفاده از طرحهای متعامد تاگوچی در ادبیات موضوع به چشم می‌خورد، لیکن در این مقاله از روشهای ساده تر و استفاده از چندین دوره سعی و خطا بهره گرفته شده و نهایتا حدود پارامترها نهایی و مشخص شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

به جهت ارزیابی عملکرد الگوریتم مورد نظر، ۱۰ نمونه با اندازه های متفاوت در جدول۲ ایجاد شده است. همچنین جدول ۳ محدوده پارامترهای ورودی مدل را نشان می‌دهد. این پارامترها به صورت بازه های تصادفی با توزیع یکنواخت در نظر گرفته شده اند. پارامتر تقاضای احتمالی نیز در همین جدول با استفاده از رابطه ۲۴ یعنی $(D_{pct})_\alpha = Z_\alpha . \sigma_{ct} + \mu_{ct}$ و جایگذاری مقادیر نرمال استاندارد، انحراف معیار و میانگین توزیع نرمال به تقاضای قطعی تبدیل شده است.

جدول۲- ابعاد مسئله در نمونه های مختلف

		شماره نمونه									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
نمادها	S	1	3	3	3	3	4	4	4	4	5
	M	2	2	3	3	4	4	5	5	6	7
	D	2	3	3	3	3	3	4	4	4	5
	C	2	5	5	6	7	7	8	8	9	9
	P	1	2	3	4	4	4	4	4	4	5
	T	2	3	3	4	4	6	6	7	8	8
	I	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3

حال در هر نمونه ای از مسئله با ابعاد و پارامترهای ورودی مشخص، مدل ریاضی مربوطه حل می‌گردد. با توجه به این که این مدل برای اولین بار مطرح گردیده است برای اعتبارسنجی آن از حل کننده CPLEX نرم افزار GAMS استفاده شده است. همچنین جهت اعتبار سنجی و ارزیابی، الگوریتم فرا ابتکاری پیشنهادی (NSGAII) نیز در نرم افزار matlab ورژن R2016b اجرا شده است. پردازنده مورد استفاده 2.5GHZ,Intel core i7 با RAM 16 GB می‌باشد.

با توجه به جدول ۶، مشاهده می‌شود تا جایی که نرم افزار GAMS قادر به حل مسئله بوده است، یعنی تا آزمایش شماره ۵ الگوریتم NSGAII و نرم افزار GAMS به یک جواب رسیده اند.

بررسی نمودار زمان حل مسائل در دو بخش نرم افزار GAMS و الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک مبتنی بر مرتب سازی نامغلوب در شکل ۲ نشان از افزایش شیب نمودار روند زمان حل با استفاده از نرم افزار GAMS دارد که این مقدار با افزایش اندازه مسائل به شدت افزایش یافته است.

با مقایسه جواب های به دست آمده و زمان حل هر دو روش بالا عملکرد بسیار خوب الگوریتم فرا ابتکاری پیشنهادی اثبات می‌گردد. بنابراین می‌توان به نتایج مسئله در ابعاد بزرگ به عنوان جواب های بهینه اطمینان نمود.

جدول ۳- مقادیر پارامترهای ورودی مدل

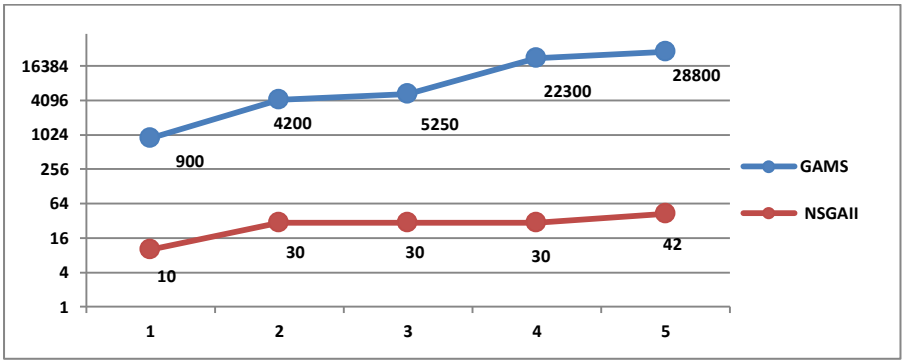
مقدار	پارامترها	
(۵،۱۰)	(هزینه تولید هرواحد مواد اولیه) Pcr_{st}	
۵۰	(هزینه ثابت حمل هر واحد مواد اولیه) F_{sm}	
(۵،۱۰)	(هزینه حمل هر واحد مواد اولیه) C_{smt}	
(۱۰،۲۰)	(قیمت خرید هر واحد مواد اولیه) R_{st}	
(۴۰،۷۰)	(هزینه تولید هر واحد محصول) PC_{pmt}	
۵۰	(هزینه ثابت حمل محصولات تولید شده) F_{md}	
(۱۰،۲۰)	(هزینه حمل هر واحد محصول) C_{pmdt}	
(۲،۶)	(هزینه نگهداری هر واحد مواد اولیه) HC_{mt}	
(۳۰،۵۰)	(هزینه ثابت حمل محصولات) F_{dci}	
(۵،۱۰)	(هزینه حمل هر واحد محصول) C_{pdcit}	
(۱۵،۱۰)	(هزینه نگهداری موجودی هر واحد محصول) HC_{pdt}	
(۱۵،۱۰)	(هزینه کمبود محصول) Shc_{pct}	
(۴۰،۲۲)	(زمان تحویل هر واحد محصول) L_{pdcit}	
(۰.۶ ، ۰.۹۵)	(نرخ قابلیت اطمینان سیستم حمل و نقل) rak_{idct}	
(۲۵۰۰،۳۰۰۰)	(ظرفیت تأمین مواد اولیه) S_{st}	
(۱،۳)	(نرخ استفاده مواد خام در تولید محصول) Ur_{pmt}	
(۱۰۰۰،۱۵۰۰)	(ظرفیت تولید هر واحد محصول) S_{pmt}	
(۲۰۰۰،۲۵۰۰)	(ظرفیت انبارش مواد اولیه) DC_{mt}	
(۴۰۰۰،۴۵۰۰)	(ظرفیت انبارش محصولات) DC_{dt}	
(۱۵،۱۰)	(ظرفیت هر سیستم حمل و نقل) $capt_{it}$	
۰۵.۰	(ضریب اطمینان) α	$D_{pct} \sim N(\mu_{ct}, \sigma_{ct}^2)$ (مقدار تقاضای محصول)
۵۱۹۹.۰	(مقدار نرمال استاندارد) Z_α	
۵۴	(میانگین توزیع نرمال) μ_{ct}	
۵۴	انحراف معیار توزیع (σ_{ct} (نرمال	
۸۲	(تقاضای قطعی) $(D_{pct})_\alpha$	

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶- نتایج محاسباتی حاصل از روش حل دقیق و الگوریتم NSGAII

شماره مسئله	GAMS				NSGAII				خطا	خطا	خطا
	تابع هدف ۱	تابع هدف ۲	تابع هدف ۳	زمان (ثانیه)	تابع هدف ۱	تابع هدف ۲	تابع هدف ۳	زمان (ثانیه)	٪	٪	٪
۱	۶۱۶۴	۳۲۶۵	۱۲۶	۹۰۰	۶۱۶۴	۳۲۶۵	۱۲۶	۱۰	۰	۰	۰
۲	۱۲۱۳۲	۵۸۸۵	۲۵۰	۴۲۰۰	۱۲۱۳۲	۵۸۸۵	۲۵۰	۳۰	۰	۰	۰
۳	۱۵۳۶۵	۶۱۷۰	۳۲۰	۵۲۵۰	۱۵۳۶۵	۶۱۷۰	۳۲۰	۳۰	۰	۰	۰
۴	۲۷۲۸۵	۱۱۱۶۵	۵۸۰	۲۲۳۰۰	۲۷۲۸۵	۱۱۱۶۵	۵۸۰	۳۰	۰	۰	۰
۵	۲۸۲۵۳	۱۳۶۵۴	۶۲۳	۲۸۸۰۰	۲۸۲۵۳	۱۳۶۵۴	۶۲۳	۴۲	۰	۰	۰
۶	*	*	*	*	۳۶۵۴۲	۱۷۶۷۸	۷۸۰	۴۵	*	*	*
۷	*	*	*	*	۴۵۶۵۲	۱۸۳۶۵	۹۰۰	۴۵	*	*	*
۸	*	*	*	*	۵۲۶۶۵	۲۱۳۶۵	۱۰۲۰	۴۵	*	*	*
۹	*	*	*	*	۵۹۱۳۵	۲۳۵۰۰	۱۲۳۵	۴۵	*	*	*
۱۰	*	*	*	*	۶۲۳۵۵	۲۴۱۶۰	۱۳۶۵	۴۵	*	*	*



شکل۲- نمودار روند زمان محاسبات مسائل با نرم افزار GAMS و الگوریتم NSGAII

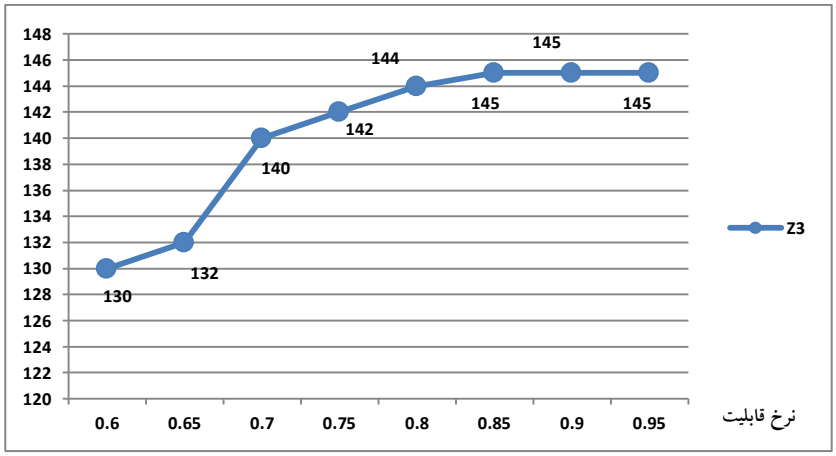
۵-۱- تحلیل حساسیت

جهت تحلیل حساسیت، ابعاد مسئله در نمونه شماره ۱ جدول۳ و پارامتر نرخ قابلیت اطمینان در نظر گرفته شده است. این پارامتر بر تابع هدف سوم یعنی بیشینه کردن قابلیت اطمینان سیستم های حمل و نقل، تأثیر گذار می‌باشد و انتظار می‌رود با افزایش آن تابع هدف سوم نیز افزایش یابد. شکل ۳ نمودار مربوط به تحلیل حساسیت را نشان داده است.

طبق انتظار با افزایش نرخ قابلیت اطمینان، تابع هدف سوم افزایش یافته است و چون این هدف سعی در بیشینه کردن قابلیت اطمینان سیستم های حمل ونقل دارد در نتیجه، مدل در رابطه با این پارامتر از عملکرد خوبی برخوردار است. اما از مقدار ۰.۸۵ به بعد تابع هدف بهینه مقدار ثابت ۱۴۵ را نشان داده است. پس مدل از یک نمونه به بعد روی پارامتر نرخ قابلیت اطمینان حساسیتی نداشته است. به عبارت دیگر می‌توان گفت که در فاصله (۰.۸۵ ، ۰.۶) هدف سوم حداکثر شده است و افزایش هر چه بیشتر پارامتر مورد نظر تأثیری بر آن نخواهد داشت.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۳- نمودار تحلیل حساسیت روی پارامتر نرخ قابلیت اطمینان

۶- نتیجه گیری و بحث

در این مقاله، یک مدل ریاضی چند هدفه به منظور طراحی یک شبکه زنجیره تأمین چهار سطحی، شامل تأمین کنندگان، تولید کنندگان، توزیع کنندگان و مشتریان با لحاظ نمودن تنوع محصولات در چندین دوره زمانی، با بهره گیری از برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط توسعه داده شده است. سه هدف اصلی در نظر گرفته شده در مدل شامل: بهینه سازی مجموع هزینه های تمام سطوح زنجیره تأمین، مدت زمان تحویل محصول و نرخ قابلیت اطمینان سیستم های حمل و نقل محصول به مشتریان در نظر گرفته شده، به طوری که عدم قطعیت مربوط به تقاضای مشتریان نیز با بهره گیری از برنامه ریزی قیود احتمالی در مدل، مورد توجه قرار گرفته است.

از آنجایی که با گسترش ابعاد مساله، پیچیدگی ساختار مساله افزایش یافته و روش های حل دقیق عملکرد خوبی را ارائه نداده است، به کارگیری الگوریتم فرا ابتکاری NSGAII به جهت عملکرد سیستماتیک آن در مواجهه با جواب های نامغلوب هر نسل و پراکندگی مناسب جواب ها در مرز بهینه پارتو، مورد استفاده و تحلیل قرار گرفته شد و با مقایسه نتایج آن در مقیاس پایین با الگوریتمهای حل دقیق، اعتبار سنجی گردید. با تحلیل حساسیت پارامتر نرخ قابلیت اطمینان و افزایش مقادیر آن، مشاهده گردید که تغییرات قابل پیش بینی ای در تابع هدف سوم مساله مشاهده می‌گردد و بر این مبنا، میزان حساسیت تابع هدف مربوطه تحلیل گردید. از مدل سازی در نظر گرفته شده در این مقاله می‌توان برای صنایعی که توانایی تولید محصولات متفاوت را با قصدِ کسب رضایت مشتری با تکیه بر سه مولفه هزینه کم ، زمان تحویل مناسب و قابلیت اطمینان قابل قبول را دارند، استفاده نمود. به منظور کاربرد بیشتر و توسعه مدل موجود، پیشنهاد می‌گردد، تامین کنندگانی با ظرفیتهای تامین مختلف و با ملاحظه انبارش جهت ارسال مواد اولیه، در تحقیقات آتی مورد توجه و بررسی قرارگیرد.

فهرست منابع

* مرادی نقده، محمد(۱۳۹۲). ارایه مدهی به منظور طراحی و بهینه سازی یک شبکه زنجیره تأمین چند سطحی و چند دوره ای .پایا نامه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع گرایش مدیری سیستم و بهره وری .دانشگاه آزاد اسلامی‌واحد قزوین.
* سیف برقی، مهدی و نوری، سیامک(۱۳۹۱) .مدیریت زنجیره تأمین :مفاهیم، تکنیک ها و مدل های ریاضی. نشر حفیظ. صفحات 2 - 10 و - 65 44
* Browne J, Harhen J, Shivnan J. Production management system: an integrated perspective, Addision-Wesley; 1996.
* Seifbarghy M, Khaliffehzadeh S, Naderi B. A four-echelon supply chain network design with shortage: mathematical modeling and

www.SID.ir

Archive of SID

* Liu S, Papageorgiou L G. Multi objective optimization of production -distribution and capacity planning of global supply chains in the process industry. Omega 2013; 41(2): 369-382.
* Vinay V P, Sridharan R. Taguchi method for parameter design in ACO algorithm for distribution-allocation in a two-stage supply chain. International Journal Advanced Manufacturing Technology 2013; 64: 1333-1343.
* Bandyopadhyay S, Bhattacharya R. Solving a tri-objective supply chain problem with modified NSGA-II algorithm. Int J Manuf Syst 2014; 33: 41-50.
* Grossmann I E, Rodriguez M A, Vecchietti A R, Harjunkoski I. Optimal supply chain design and management over a multi-period horizon under demand uncertainty. Part I: MINLP and MILP models. Computers and Chemical Engineering 2014; 62: 194-210.
* Akhavan- Niaki S T, Pasandideh S H R, Asadi K. Optimizing a bi-objective multi-product multi-period three echelon supply chain network with warehouse reliability. Expert Systems with Applications 2015; 42:2615-2623.
* Li J, Chen W, Jin X. The replenishment policy of agree-products with stochastic demand in integrated agricultural supply chains. Expert Systems with Applications 2015; 48: 55-66.
* Bahrampour P, Safari M, Taraghdari M B. Modeling multi-product multi-stage supply chain network design. Procedia Economics and Finance 2016; 36:70-80.
* Yang Y, Wen M, Han Q, Rui K. Uncertain optimization model for multi-echelon spare parts supply system. Applied Soft Computing 2016; 56: 646-654.
* Naderi B, Ardalan Z, Karimi S, Arshadi-Khamesh A. Supply chain networks design with multi-mode demand satisfaction policy. Computers & Industrial Engineering 2016; 96: 108-117.
* Soleimani H, Zohal M. Developing an ant colony approach for green closed-loop supply chain network design: A case study in Gold industry. Journal of Cleaner Production 2016; 133: 314-337.
* Saif U, Cui Y Y, Guan Z, Zhang L, Zhang F, Mirza J. Close loop supply chain network problem with uncertainty in demand and returned products: Genetic artificial bee colony algorithm approach. Journal of Cleaner Production 2017; 162: 717-742.
solution methods. Journal of Manufacturing Systems 2015; 35:164-175.
* Kheyri S. Economic lot and delivery scheduling problem in a three-echelon supply chain with stochastic demand. M.Sc.Thesis on Industrial Engineering, Yazd University, Yazd, Iran, 2013.
* Hwang M H, Huang Y F. Development of an approach to coordinate the objectives for members of a supply chain. African Journal of Business Management 2011; 5(3): 1001-1013.
* MirzapourAl-e-hashem S M J, Malekly H, Aryanezhad M B. A multi-objective robust optimization model for multi-product multi-site aggregate production planning in a supply chain under uncertainty. International Journal of Production Economics 2011; 134(91): 28-42.
* Jolai F, Razmi J, Rostami N K M. A fuzzy goal programming and meta-heuristic algorithms for solving integrated production / distribution planning problem. Central European Journal of Operations Research 2011; 19 (4): 547-569.
* Liang T F. Application of fuzzy sets to manufacturing / distribution planning decisions in supply chains.Information Science 2011; 181(4): 842-854.
* Archetti C, Bertazzi L, Paletta G, Speranza M G. Analysis of the maximum level policy in a production-distribution system. Int J Comput Oper Res 2011; 38: 1731-1746.
* Kuo R J, Han,Y S. A hybrid of genetic algorithm and particle swarm optimization for solving bi-level linear programming problem- a case study on supply chain model. Int J Appl Math Model 2011; 35: 3905-3917.
* Armentano V A, Shiguemoto A L, Lokketangen A. A tabu search with path relinking for an integrated production-distribution problem. Comput Oper Res 2011; 38: 1199-1209.
* Sajady H, Davoudpour H. Two-echelon, multi-commodity supply chain network design with mode selection lead-times and inventory costs. Computers &Operation Research 2012; 39(7): 1345-1354.
* Paksoy T, Pehlivan N Y, Ozceylan E. Application of fuzzy optimization to a supply chain network design: A case study of an edible vegetable oils manufacturer. Applied mathematical modeling 2012; 36(6): 2762-2776.

www.SID.ir

Archive of SID

* Keyvanfar V., Moattar Husseini S.M., Sajadieh M.S., Karimi B. A multi-echelon multi-product stochastic model to supply chain of small and medium enterprise in industrial cludters. Journal of computer & Industrial Engineering 2018: volume 115, pages 69-79

www.SID.ir