

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

احمد ابراهیمی^۱

پوریا محمدزاده سقاء^۲

مریم لطفی^۳

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۱/۱۲

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۰۹

چکیده

کارایی و اثربخشی هر سازمان حاصل عملکرد مدیریت و ساختار زنجیره تأمین آن سازمان می باشد. 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 (NSGAI) 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.

واژه های کلیدی: زنجیره تأمین چهارسطحی، هزینه های زنجیره تأمین، تقاضای احتمالی، برنامه ریزی با قیود احتمالی، الگوریتم NSGAI.

۱- 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

۲- کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران

۳- عضو هیات علمی و استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران

۱- مقدمه

تحويل محصول به مشتری و بیشینه ساختن قابلیت اطمینان سیستم های حمل و نقل از توزیع کننده به مشتری مورد توجه قرار گرفته است.

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 می کند که طی آن تکنولوژی، عملکردهای افراد و دانش فرآیندهای عملیاتی با یکدیگر ترکیب و به هم پیوسته می شوند (براون و همکاران، ۱۹۹۶).

۲- مروری بر پیشینه پژوهش

در دنیای واقعی به دلیل تغییرات ذاتی و بعضاً شدید محیط های عملیاتی، همواره عدم قطعیتی مشاهده می شود که موجب بروز انحرافات مثبت و منفی از نتایج غیرقابل پیش بینی و ناخواسته می گردد. فرآیندهای تولید که در پی برآورده نمودن سفارش مشتری و هماهنگی بین عرضه و منابع موجود می باشند، این عدم قطعیت را به همراه دارند و بی توجهی به آن، نتایج متفاوت و فاصله ای عمیق را نسبت به شرایط واقعی ایجاد می نماید. 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.

نیازهای مشتریان شامل تحويل به موقع محصول که می تواند 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 مهمی ایفا می کنند. هر وسیله نقلیه غیر قابل اعتماد منجر به ایجاد ضرر بسیاری در هنگام حمل محصولات در زنجیره تامین می گردد (سیف برقی و همکاران، ۲۰۱۵).

هوانگ (۲۰۱۱) یک روش بهینه سازی ارائه نمود که نه تنها استراتژی های زنجیره تامین و سازمان ها را یکپارچه می کند، بلکه اهداف متفاوت اعضای زنجیره را به منظور بیشینه سازی عملکرد زنجیره تامین هماهنگ می نماید. میرزاپور آل هاشم و همکاران (۲۰۱۱)، در زنجیره تأمین 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 ادغامی در شرایط عدم قطعیت ارائه نمودند. در این مدل، تابع هدف اول، کل هزینه های زنجیره تامین شامل هزینه تولید، هزینه های استخدام، اخراج و آموزش، هزینه حمل و نقل، هزینه کمبود و هزینه نگهداری موجودی را کمینه می نماید. تابع هدف دوم، رضایت مشتریان را از طریق کمینه سازی مجموع ماکزیمم مقدار کمبودها در تمام دوره ها برآورده می سازد. 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

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 تامین، کمینه کردن مدت زمان

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 پاپاگریو (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 E- محدودیت مجموعه ای از حل های بهینه پارتو را حاصل می کند و روش لکسیوگرافی حل رضایت بخشی را در منحنی بهینه پارتو می یابد. 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 می باشد. 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 می کنند. از روش ابتکاری نیز برای حل مدل استفاده کرده اند. اخوان نیایکی 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 می باشد. نوع مدل

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 فروشی می باشد، 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 فروشی می باشد. 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 می باشد 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، چند محصولی 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

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- روش شناسی پژوهش

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

در سطح اول، مواد اولیه در هر تامین کننده تولید و به سمت کارخانه ها (تولید کنندگان) فرستاده می شود. در سطح دوم در هر تولید کننده مواد اولیه از تامین کنندگان خریداری می گردد. همچنین محصولات مختلف تولید و به توزیع کنندگان فرستاده می شود. مقداری از مواد اولیه نیز در انبار تولید کننده نگهداری می گردد. 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 می شوند. این نرخ برای هر سیستم حمل و نقل با توجه به تعداد تصادفات جاده ای، شرایط جغرافیایی و ... مطرح می گردد. در واقع هم سیستم حمل و نقل و هم مسیری که در آن، محصول حمل می گردد، برای پاسخگویی به تقاضای مشتریان قابلیت اطمینان جداگانه ای دارند. از ضرب این دو مقدار، نرخ قابلیت

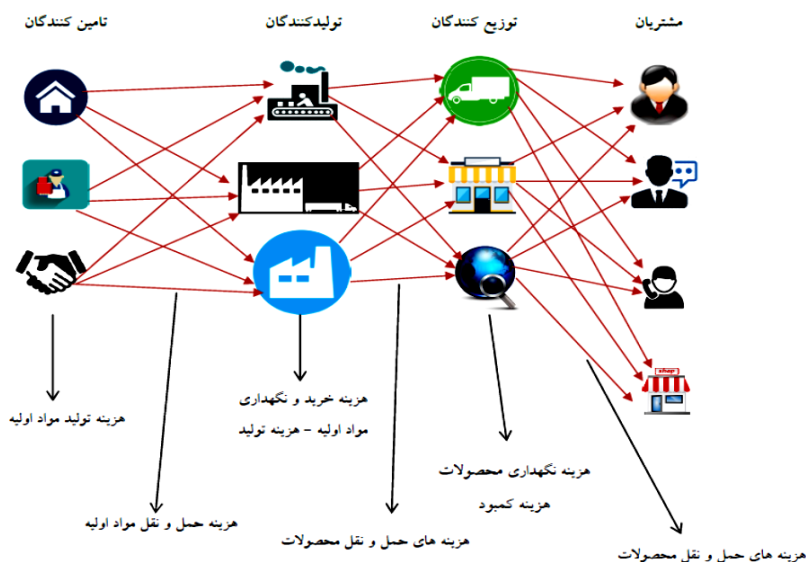
به کار رفته برنامه ریزی عدد صحیح و روش حل آن نیز تصمیم گیری چند هدفه می باشد. لی و همکاران (۲۰۱۵)، یک شبکه زنجیره تامین سه سطحی با تقاضای بازار احتمالی در نظر گرفتند. مدل در نظر گرفته شده از نوع EOQ و تابع هدف مسئله کمینه کردن هزینه های زنجیره تامین بوده که در حل آن، از یک روش حل ابتکاری بهره گرفته شده است. سیف برقی و همکاران (۲۰۱۵)، یک شبکه زنجیره تامین چهار سطحی شامل چند تامین کننده، چند مشتری طراحی کننده، چند توزیع کننده و چند مشتری طراحی کردند. اهداف مورد نظر، حداقل کردن هزینه های عملیاتی زنجیره تامین و حداکثر کردن قابلیت اطمینان سیستم می باشد. مدل مربوطه از نوع برنامه ریزی عدد صحیح می باشد. 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 تامین 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 تامین سه سطحی قطعات یدکی ارائه نمودند. اهداف مدل، کمینه کردن هزینه ها و میزان کمبود موجودی می باشد. 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 تامین چهار سطحی ارائه نمودند که اهداف کمینه سازی هزینه های زنجیره و بیشینه کردن درآمد حاصل از فروش محصولات را دنبال می کند. برای حل مدل نیز از روش الگوریتم کلونی مورچگان استفاده شده است. سیف و همکاران (۲۰۱۷) به تعیین یک شبکه زنجیره تامین 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

مشتریان را در کمترین زمان و با قابلیت اطمینان بالا پاسخ می‌دهند. اما گاهی مسائل داخلی و خارجی 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.

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



شکل ۱- شبکه زنجیره تأمین مدل پیشنهادی

- 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.

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.

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 ($s=1,2,\dots,S$)
m	تعداد تولید کنندگان ($m=1,2,\dots,M$)
d	تعداد توزیع کنندگان ($d=1,2,\dots,D$)
c	تعداد مشتریان ($c=1,2,\dots,C$)
t	تعداد دوره های زمانی ($t=1,2,\dots,T$)
p	تعداد محصولات ($p=1,2,\dots,P$)
i	تعداد سیستم های حمل و نقل ($i=1,2,\dots,I$)

۳-۱-۵- پارامترها

PC_{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 تولید کننده 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 هر واحد 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_{dei}	هزینه ثابت حمل محصولات از توزیع کننده d به مشتری c توسط سیستم حمل و نقل i
C_{pdcit}	هزینه حمل هر واحد 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

- تولید کنندگان از یک ظرفیت تولید جهت ارسال محصولات برخوردار هستند.
- کمبود مواد اولیه در انبار تولید کننده مجاز نمی باشد 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 می توان به عنوان یک محدودیت مهم، احتمالی در نظر گرفت. در این تحقیق پارامتر تقاضا از توزیع پواسون پیروی می کند.
- 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 می تواند 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

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 و نقل 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 هر تولید کننده در هر دوره زمانی می‌باشد. محدودیت (۱۱) بیانگر

برای توزیع کننده d در دوره t
 SH_{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 و نقل i در دوره t
 rak_{idet} 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
 $U_{r_{pmt}}$ نرخ استفاده مواد خام در تولید محصول p در دوره t
 S_{pmt} ظرفیت تولید هر واحد 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

$$\max Z_3 = \sum_{p=1}^P \sum_{d=1}^D \sum_{c=1}^C \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T (\text{rak}_{idct} \times X_{pdct}) \quad (3)$$

$$\sum_{m=1}^M X_{smt} = Q_{st} \quad \forall s.t \quad (4)$$

$$\sum_{m=1}^M X_{smt} \leq S_{st} \quad \forall s.t \quad (5)$$

$$\sum_{d=1}^D X_{pmdt} = Q_{pmt} \quad \forall p.m.t \quad (6)$$

$$\sum_{s=1}^S X_{smt} - \sum_{p=1}^P (Ur_{pmt} \times Q_{pmt}) \geq 0 \quad \forall m.t \quad (7)$$

$$\sum_{d=1}^D X_{pmdt} \leq S_{pmt} \quad \forall p.m.t \quad (8)$$

$$\sum_{s=1}^S X_{smt} + I_{mt} \leq DC_{mt} \quad \forall m.t \quad (9)$$

$$I_{mt} = I_{m(t-1)} + \sum_{s=1}^S X_{smt} - \sum_{p=1}^P (Ur_{pmt} \times Q_{pmt}) \quad \forall m.t \quad (10)$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M X_{pmdt} + \sum_{p=1}^P I_{pdt} \leq DC_{dt} \quad \forall d.t \quad (11)$$

$$\sum_{m=1}^M X_{pmdt} - \sum_{c=1}^C \sum_{i=1}^I X_{pdct} \geq 0 \quad \forall p.d.t \quad (12)$$

$$I_{pdt} = I_{pd(t-1)} + \sum_{m=1}^M X_{pmdt} - \sum_{c=1}^C \sum_{i=1}^I X_{pdct} \quad \forall p.d.t \quad (13)$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{d=1}^D X_{pdct} \leq \text{capt}_{it} \quad \forall c.i.t \quad (14)$$

حداکثر اندازه ظرفیت انبارش محصولات مختلف توسط توزیع کننده در هر دوره زمانی می باشد. محدودیت (۱۲) به این معنی است که همواره مقداری محصول ارسال شده از تولیدکنندگان به هر توزیع کننده در هر دوره زمانی انبار می شود. محدودیت (۱۳) متضمن تعادل موجودی هر واحد محصول برای توزیع کننده در هر دوره زمانی می باشد. محدودیت (۱۴) بیانگر حداکثر ظرفیت سیستم های حمل و نقل در ارسال محصولات از توزیع کنندگان مختلف به مشتری در هر دوره زمانی می باشد. محدودیت (۱۵) ماهیت احتمالی تقاضای محصولات با توجه به کمبود موجود بیان می شود 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 می دهد. محدودیت (۱۷) به بیان مقدار اولیه موجودی مواد خام، موجودی هر محصول و میزان کمبود می پردازد. محدودیت (۱۸) نیز غیرمنفی بودن متغیرهای تصمیم را نشان می دهد.

$$\min Z_1 = \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T (Pcr_{st} \times Q_{st}) + \sum_{s=1}^S \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T F_{sm} + (C_{smt} \times X_{smt}) + \sum_{s=1}^S \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T (R_{st} \times X_{smt}) + \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T (PC_{pmt} \times Q_{pmt}) + \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M (HC_{mt} \times I_{mt}) + \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M \sum_{d=1}^D \sum_{t=1}^T F_{md} + (C_{pmdt} \times X_{pmdt}) + \sum_{p=1}^P \sum_{d=1}^D \sum_{t=1}^T (HC_{pdt} \times I_{pdt}) + \sum_{p=1}^P \sum_{d=1}^D \sum_{c=1}^C \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T F_{dci} + (C_{pdct} \times X_{pdct}) + \sum_{p=1}^P \sum_{c=1}^C \sum_{t=1}^T (Shc_{pct} \times SH_{pct}) \quad (2)$$

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

$$\begin{aligned} \text{prob}(D_{pct} < (D_{pct})_\alpha) &= 1 - \alpha & (19) \\ \int_{-\infty}^{(D_{pct})_\alpha} N(\mu_{ct}, \sigma_{ct}^2) d(D_{pct})_\alpha &= (1 - \alpha) & (20) \\ \text{prob}(Z \leq (D_{pct})_\alpha) &= 1 - \alpha & (21) \\ \text{prob}(Z \leq \frac{(D_{pct})_\alpha - \mu_{ct}}{\sigma_{ct}}) &= 1 - \alpha & (22) \\ \frac{(D_{pct})_\alpha - \mu_{ct}}{\sigma_{ct}} &= Z_\alpha & (23) \\ (D_{pct})_\alpha &= Z_\alpha \cdot \sigma_{ct} + \mu_{ct} & (24) \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} SH_{pct} - SH_{pct(t-1)} + \sum_{d=1}^D \sum_{i=1}^I X_{pdcit} &= \\ (D_{pct})_\alpha &= Z_\alpha \cdot \sigma_{ct} + \mu_{ct} \end{aligned} \quad (25)$$

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 می باشند.

۵- نتایج پژوهش

با توجه به اینکه الگوریتم NSGAI 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 می خورد، لیکن در این مقاله از روشهای ساده تر و استفاده از چندین دوره سعی و خطا بهره گرفته شده و نهایتاً حدود پارامترها نهایی و مشخص شده است.

$$\begin{aligned} SH_{pct} - SH_{pct(t-1)} & & (15) \\ > D_{pct} - \sum_{d=1}^D \sum_{i=1}^I X_{pdcit} & \quad \forall c.p.t & (16) \\ X_{smt} \cdot X_{pmdt} \cdot X_{pdcit} \cdot Q_{st} \cdot Q_{pmt} & \leq M \quad \forall s.m.d.c.p.i.t & (17) \\ I_{pdt} \cdot I_{mt} \cdot SH_{cpt} & = 0 \quad \forall p.m.d.t & (18) \\ Q_{st} \cdot X_{smt} \cdot Q_{pmt} \cdot X_{pmdt} \cdot X_{pdcit} \cdot I_{mt} \cdot I_{pdt} \cdot SH_{cpt} & \geq 0 \quad \forall s.m.d.c.p.i.t \end{aligned}$$

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 می شود در هر دوره زمانی، احتمال اینکه تعداد تقاضاهای مشخصی از مشتریان پاسخ داده شود از توزیع پواسون پیروی می کند. 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 $(\lambda \geq 10)$ در نظر گرفته می شود که λ در این جا میانگین توزیع پواسون می باشد. در این جا چون میانگین تعداد تقاضاهای پاسخ داده شده در طول زمان (λ) ، قطعاً بزرگتر از ۱۰ می باشد، پس می توان 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} می باشد. هدف، قطعی کردن تقاضا با در نظر گرفتن یک ضریب اطمینان یعنی $(D_{pct})_\alpha$ است به نحوی که رابطه $\text{prob}(D_{pct} < (D_{pct})_\alpha) = 1 - \alpha$ 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 می باشد. روش محاسبه $(D_{pct})_\alpha$ در روابط ۱۹ الی ۲۴ نشان داده شده است.

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

جدول ۳- مقادیر پارامترهای ورودی مدل

پارامترها	مقدار	
PC_{rst} (هزینه تولید هر واحد مواد اولیه)	(۵,۱۰)	
F_{sm} (هزینه ثابت حمل هر واحد مواد اولیه)	۵۰	
C_{smt} (هزینه حمل هر واحد مواد اولیه)	(۵,۱۰)	
R_{st} (قیمت خرید هر واحد مواد اولیه)	(۱۰,۲۰)	
PC_{pmt} (هزینه تولید هر واحد محصول)	(۴۰,۷۰)	
F_{md} (هزینه ثابت حمل محصولات تولید شده)	۵۰	
C_{pmdt} (هزینه حمل هر واحد محصول)	(۱۰,۲۰)	
HC_{mt} (هزینه نگهداری هر واحد مواد اولیه)	(۲,۶)	
F_{dci} (هزینه ثابت حمل محصولات)	(۳۰,۵۰)	
C_{pdci} (هزینه حمل هر واحد محصول)	(۵,۱۰)	
HC_{pdt} (هزینه نگهداری موجودی هر واحد محصول)	(۱۵,۱۰)	
Shc_{pct} (هزینه کمبود محصول)	(۱۵,۱۰)	
L_{pdci} (زمان تحویل هر واحد محصول)	(۴۰,۲۲)	
rak_{idct} (نرخ قابلیت اطمینان سیستم حمل و نقل)	(۰,۶, ۰,۹۵)	
S_{st} (ظرفیت تأمین مواد اولیه)	(۲۵۰۰,۳۰۰۰)	
Ur_{pmt} (نرخ استفاده مواد خام در تولید محصول)	(۱,۳)	
S_{pmt} (ظرفیت تولید هر واحد محصول)	(۱۰۰۰,۱۵۰۰)	
DC_{mt} (ظرفیت انبارش مواد اولیه)	(۲۰۰۰,۲۵۰۰)	
DC_{dt} (ظرفیت انبارش محصولات)	(۴۰۰۰,۴۵۰۰)	
$capt_{it}$ (ظرفیت هر سیستم حمل و نقل)	(۱۵,۱۰)	
$D_{pct} \sim N(\mu_{ct}, \sigma_{ct}^2)$ (مقدار تقاضای محصول)	α (ضریب اطمینان)	۰,۵۰
	Z_{α} (مقدار نرمال استاندارد)	۵۱۹۹,۰
	μ_{ct} (میانگین توزیع نرمال)	۵۴
	σ_{ct} (انحراف معیار توزیع نرمال)	۵۴
	$(D_{pct})_{\alpha}$ (تقاضای قطعی)	۸۲

به جهت ارزیابی عملکرد الگوریتم مورد نظر، ۱۰ نمونه با اندازه های متفاوت در جدول ۲ ایجاد شده است. همچنین جدول ۳ محدوده پارامترهای ورودی مدل را نشان می دهد. 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 $(D_{pct})_{\alpha} = Z_{\alpha} \cdot \sigma_{ct} + \mu_{ct}$ و جایگذاری مقادیر نرمال استاندارد، انحراف معیار و میانگین توزیع نرمال به تقاضای قطعی تبدیل شده است.

جدول ۲- ابعاد مسئله در نمونه های مختلف

		شماره نمونه									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	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

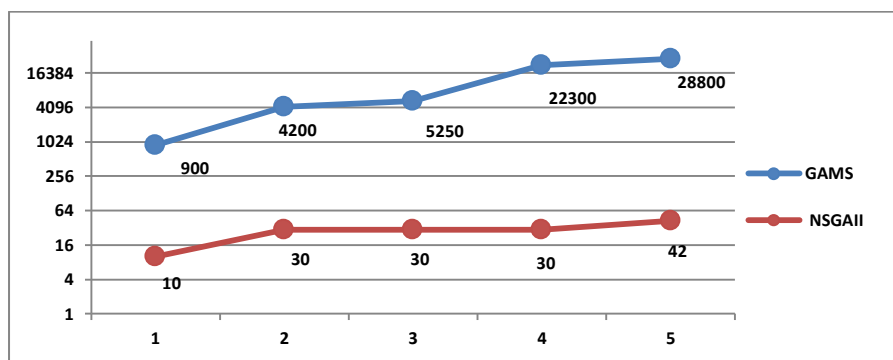
حال در هر نمونه ای از مسئله با ابعاد و پارامترهای ورودی مشخص، مدل ریاضی مربوطه حل می گردد. با توجه به این که این مدل برای اولین بار مطرح گردیده است برای اعتبارسنجی آن از حل کننده CPLEX نرم افزار GAMS استفاده شده است. همچنین جهت اعتبار سنجی و ارزیابی، الگوریتم فرا ابتکاری پیشنهادی (NSGAI) نیز در نرم افزار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

با توجه به جدول ۶، مشاهده می شود تا جایی که نرم افزار GAMS قادر به حل مسئله بوده است، یعنی تا آزمایش شماره ۵ الگوریتم NSGAI 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.

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

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

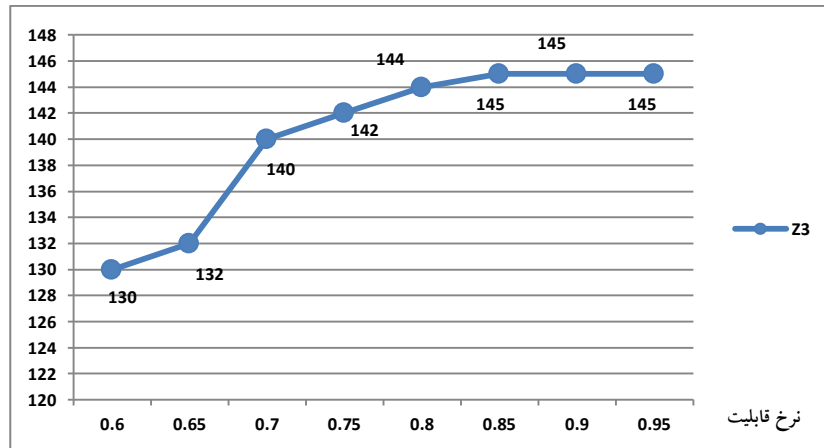


شکل ۲- نمودار روند زمان محاسبات مسائل با نرم افزار GAMS و الگوریتم NSGAI

۵-۱- تحلیل حساسیت

جهت تحلیل حساسیت، ابعاد مسئله در نمونه شماره ۱ جدول ۳ 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 می باشد و انتظار می رود 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 و نقل 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 می توان 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.



شکل ۳- 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 می گردد و بر این مبنا، میزان

حساسیت تابع هدف مربوطه تحلیل گردید. از مدل سازی در نظر گرفته شده در این مقاله می توان برای صناعی که توانایی تولید محصولات متفاوت را با قصد 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 می گردد، تأمین کنندگانی با ظرفیتهای تأمین مختلف و با ملاحظه انبارش جهت ارسال مواد اولیه، در تحقیقات آتی مورد توجه و بررسی قرار گیرد.

فهرست منابع

* مرادی نقده، محمد (۱۳۹۲). آرایه 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 اسلامی واحد 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, Addison-Wesley; 1996.

* Seifbarghy M, Khaliffhezadeh S, Naderi B. A four-echelon supply chain network design with shortage: mathematical modeling and

- * 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.
- * Bahrapour 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.

- * 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