

طراحی مدل استوار-فازی-احتمالی در مدل سازی شبکه زنجیره تامین داروی چند سطحی تحت عدم قطعیت

چکیده

در این مقاله یک شبکه زنجیره تامین 5 سطحی شامل تامین کننده های مواد اولیه، مراکز تولید دارو، توزیع کننده ها، خرده فروشان و مشتریان نهایی تحت عدم قطعیت مدل سازی شده است. ویژگی های اصلی مدل در نظر گرفتن تخفیف کلی در خرید مواد اولیه توسط مراکز تولید، قابلیت اطمینان در انتقال دارو به مشتریان نهایی و کنترل پارامترهای غیر قطعی با روش برنامه ریزی استوار-فازی-احتمالی می باشد. اهداف اصلی مدل کمینه سازی هزینه های کل طراحی شبکه، بیشینه سازی قابلیت اطمینان و کمینه سازی تقاضای برآورده نشده ارائه شده است. برای حل مسئله از روش های دقیق نظیر روش تصمیم گیری چند هدفه معیار جامع در سائز کوچک و الگوریتم های فرا ابتکاری NSGA II و MOWOA در سائزهای بزرگتر به کار گرفته شده است. نتایج حاصل از محاسبات نشان می دهد، با افزایش نرخ عدم قطعیت هزینه های کل طراحی شبکه و همچنین کمبود بوجود آمده افزایش یافته است. از سویی با انجام تحلیل حساسیت بر روی پارامتر مهم فسادپذیری مشخص گردید با افزایش زمان فساد پذیری هزینه های کل شبکه کاهش، قابلیت اطمینان در انتقال محصولات فسادپذیر افزایش و کمبود نیز کاهش پیدا کرده است. در سائزهای بزرگتر نیز 15 مسئله نمونه در سائزهای مختلف طراحی و نتایج حاصل از آن نشان می دهد که اختلاف معناداری بین میانگین های الگوریتم های فرا ابتکاری بین شاخص های وجود ندارد.

کلیدواژه: زنجیره تامین دارو، برنامه ریزی استوار-فازی-احتمالی، تخفیف کلی، الگوریتم MOWOA

1- مقدمه

مساله طراحی شبکه زنجیره تامین عمدتاً با هدف ساختاریابی مطلوب شبکه از نظر مکان یابی تسهیلات، تولید محصول، ذخیره محصولات و توزیع مناسب، برای خدمات سریع و کارآمد به مشتریان انجام می شود (علی احمدی و همکاران، 2023) و مردان و همکاران، 2019). در مورد طراحی شبکه زنجیره تامین، در نظر گرفتن همزمان هر سه تصمیم استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی بسیار مهم است. زیرا تصمیمات تاکتیکی و عملیاتی عمیقاً تحت تأثیر تصمیمات استراتژیک قرار دارند (اوزسن و همکاران، 2008). مساله طراحی شبکه زنجیره تامین هنگامی که خصوصیات متمایز محصولات فاسدشدنی در نظر گرفته شود پیچیده تر می شود. محصولات فاسدشدنی در بخشهای مختلف، از صنایع غذایی و دارویی گرفته تا بخشهایی با فناوری بالا، از اهمیت بالایی برخوردار هستند. کیفیت یا کمیت محصولات فاسدشدنی به طور کلی با گذشت زمان خراب می شود و ارزش یا عملکرد آنها کاهش می یابد و ممکن است عواقب ناخواسته ای را در پی داشته باشد (بیوکی و همکاران، 2020). چنین عواقبی بطور قابل توجهی پیچیدگی مسائل مدیریت زنجیره تامین را افزایش می دهد و فرایندهای تصمیم گیری را به چالش می کشد (دیابات و همکاران، 2020). ماندگاری محدود محصول مستقیماً بر مکان یابی تسهیلات، کنترل موجودی کالا و تصمیمات مدیریت تأثیر می گذارد (دیابات و همکاران، 2016). صنعت داروسازی صنعتی است که در آن فسادپذیری محصول و در نتیجه، مسائل طراحی شبکه زنجیره تامین نقش مهمی در کاهش هزینه ها، افزایش رضایت مشتری و دستیابی به توسعه پایدار دارد (نوذری و همکاران، 2022). صنعت داروسازی مجموعه ای از سازمان ها، فرایندها و عملیات مربوط به کشف، توسعه و تولید داروها است. بخش عمده ای از بخش مراقبت های بهداشتی به طور مستقیم با صنعت داروسازی در ارتباط است، زیرا شامل بخش قابل توجهی از هزینه های مراقبت های بهداشتی است.

به عنوان مثال در سال 2009 میلادی، 10 درصد از هزینه های مراقبت های بهداشتی در ایالات متحده متعلق به صنعت داروسازی است و این میزان در سال 2015 میلادی به 13.8٪ افزایش یافته است (سوادکوهی و همکاران، 2018). داروخانه ها و بیمارستان ها مشتریان اصلی در صنعت داروسازی هستند که تقاضای آنها به طور گسترده ای در نوسان است. این عدم قطعیت در تقاضا باعث بروز مشکلاتی در این صنعت شده است. به عنوان مثال، کمبود برخی داروها ممکن است عواقب شدیدی

را برای بیماران به دنبال داشته باشد، با این وجود خرید مقدار زیادی محصول ممکن است منجر به فسادپذیری محصول و به تبع آن افزایش هزینه ها در شبکه شود (ورایکات و همکاران، 2016). باوجود تمام پیشرفت‌ها و بهبود در روش‌های تولید، ذخیره‌سازی و توزیع، شرکت‌های دارویی هنوز هم به‌طور قابل‌توجهی از اثربخشی ارضای تقاضای بازار دور هستند و هزینه هنگفتی از بابت تأمین دارو پرداخت می‌کنند. از این‌رو طراحی یک شبکه زنجیره تأمین دارو که بتواند به نیازهای دارویی جامعه به نحوی پاسخ دهد که همه هزینه تحمیل‌شده به زنجیره تأمین کمینه شود و از سویی تقاضای مشتریان از داروهای مختلف برطرف گردد، ضروری به نظر می‌رسد (معصومی و همکاران، 2012). با این حال، به دلیل وجود مشکلاتی در غیردقیق بودن اطلاعات موجود از تقاضای دارویی کشور، فضای رقابتی زنجیره تأمین در تصمیم‌گیری‌های استراتژیک و تاکتیکی خود با مشکل جدی مواجه شده است. همچنین از سویی باوجود فسادپذیری دارو و عمر کوتاه برخی داروها، بایستی کنترل دقیق در میزان سفارش و همچنین توزیع و تولید آن‌ها صورت پذیرد تا بتوان هم هزینه امحاء دارو رو کاهش داد و هم تقاضای مشتری را برآورد نمود. عدم توجه به فسادپذیری دارو و همچنین عدم طراحی درست شبکه حمل‌ونقل موجب زیان‌های مالی فراوان از یک‌سو و از سوی دیگر موجب ضررهای جانی از بابت عدم دریافت دارو توسط بیمار یا مشتری می‌شود. از آنجاکه فاکتورهای غیرقابل‌پیش‌بینی زیادی در معیارهای فوق وجود دارد بایستی از مدل‌های برنامه‌ریزی بخصوصی برای حل این مشکل استفاده کرد. درنهایت با توجه به وجود صنایع دارویی محدود در کشور و وضع تحریم‌ها، نیازمند یک شبکه زنجیره تأمین داروی مناسب در کشور ضروری می‌باشد تا تقاضای مشتریان از هر دارویی به‌درستی تأمین گردد تا درعین حال قیمت دارو و هزینه کل سیستم دارویی کشور نیز کاهش یابد. همچنین به دلیل حساس بودن دارو و محدود بودن عمر برخی داروها نیازمند تعیین مقدار بهینه سفارش و تولید با توجه به فسادپذیری دارو در کشور ضروری است.

با توجه به اهمیت طراحی شبکه زنجیره تأمین دارو، در این تحقیق یک شبکه زنجیره تأمین دارو چند هدفه تحت عدم قطعیت پیشنهاد شده است. توابع اهداف اصلی مسئله شامل کمینه سازی هزینه های کل، بیشینه سازی قابلیت اطمینان و کمینه سازی حداکثر تقاضای برآورده نشده می باشد. لذا در این شبکه به جنبه های اقتصادی و اجتماعی مسئله پرداخته خواهد شد. در جنبه های اقتصادی هدف اصلی کاهش هزینه های کل طراحی شبکه زنجیره تأمین به منظور کاهش قیمت تمام شده دارو ها می باشد. در جنبه های اجتماعی نیز هدف اصلی کمینه سازی حداکثر تقاضای برآورده نشده از تأمین داروی مشتریان توسط مراکز توزیع و همچنین بیشینه سازی قابلیت اطمینان از ارسال بی نقص دارو ها به مشتریان نهایی است. در شبکه مورد نظر 5 سطح تولید کنندگان اولیه دارو (تأمین کننده ها)، تولید کننده های ثانویه دارو، توزیع کننده ها، خرده فروشان و مشتریان نهایی در نظر گرفته شده اند که دو تصمیم استراتژیکی شامل مکان یابی تسهیلات مراکز تولید کننده اولیه دارو، تولید کننده ثانویه دارو و توزیع کننده ها و تصمیم تاکتیکی شامل تخصیص بهینه جریان دارو بین تسهیلات، تعیین بازه بهینه تخفیف و تعیین مقدار بهینه تولید، توزیع و انبارش دارو مد نظر قرار گرفته است. از آنجایی که عدم قطعیت در دنیای امروزی جزو لاینفک تصمیمات می باشد، لذا پارامترهایی نظیر تقاضا، هزینه های انتقال و هزینه نگهداری به عنوان پارامترهای غیر قطعی در نظر گرفته شده است که جهت کنترل این پارامترها روش بهینه سازی استوار-فازی-احتمالی پیشنهاد می گردد. چند تابع هدفه بودن مدل پیشنهادی نیز منجر به آن شده است تا دستیابی به جواب بهینه غیر ممکن شود. لذا جهت تشکیل جبهه پارتو و همچنین تعیین جواب های کارا، روش های تصمیم گیری چند هدفه نظیر معیار جامع و برای حل مسائل نمونه در سایزهای بسیار بزرگتر از الگوریتم های فرا ابتکاری NSGA II و MOWOA بهره گرفته شده است.

ساختار مقاله بدین ترتیب می باشد، در بخش دوم به ارائه پیشینه تحقیقات مرتبط با ادبیات موضوع و شبکه زنجیره تأمین پرداخته شده است. در بخش سوم مدل ریاضی شبکه زنجیره تأمین دارو تحت شرایط عدم قطعیت و پیاده سازی روش استوار-فازی-احتمالی ارائه شده است. در بخش چهارم به ارائه جواب اولیه الگوریتم های فرا ابتکاری، تنظیم پارامتر الگوریتم ها و نتایج حل پرداخته شده است. در بخش پنجم نیز نتیجه گیری و پیشنهاد های اتی تحقیق بیان شده است.

علی احمدی و همکاران و همکاران (2023) فرضیه های اصلی مساله، شامل امکان تخفیف در خرید از تامین کنندگان، ذخیره سازی برای دوره های آینده، احتمال مواجه شدن با کمبود، در نظر گرفتن طول عمر محصولات، در نظر گرفتن پنجره های زمانی و عدم قطعیت تقاضا است. مدل پیشنهادی با هدف به حداقل رساندن کل هزینه ها و تقاضای از دست رفته ارائه شده است. برای حل این مدل دو هدفه، یک رویکرد جدید فازی پیشنهاد شده است و سپس، عملکرد مدل پیشنهادی با استفاده از داده های یک صنعت دارویی فاسدشدنی در ایران ارزیابی شده است. اگرچه تحقیقات قابل توجهی در صنعت داروسازی انجام شده است. اما بیشتر این تحقیقات بر چالش های مختلف و مسائل مدیریتی در زنجیره تامین داروسازی متمرکز بوده است.

تحقیقات کمی، طراحی بهینه شبکه های دارویی را بررسی کرده است (ناگورنی و لی، 2015). صبوچی و همکاران (2018) یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای توسعه شبکه زنجیره تامین را ارائه دادند که در آن داده های صنعت داروسازی برای اعتبارسنجی مدل ها مورد استفاده قرار گرفته است. برای همسان سازی بررسی مرور ادبیات با سوالات تحقیق، تحقیقات در حوزه زنجیره تامین دارویی مورد بررسی قرار می گیرد که حداقل یکی از این کلمات کلیدی زیر را دارا باشد: الف- فسادپذیری، چند هدفه، مساله مکان یابی، و ب- مساله موجودی و / یا مسیریابی.

بابولی و همکاران (2011) یک رویکرد مبتنی بر موجودی با سیاست های مختلف از جمله جبران مجدد برای بهینه سازی زنجیره تامین دارویی را ارائه دادند. هدف مساله پیشنهادی آنها، به حداقل رساندن کل هزینه های شبکه است. و همچنین کمبود موجودی در مدل پیشنهادی آنها مجاز نیست. علی احمدی و نوذری (2022) یک شبکه زنجیره تامین دو مرحله ای شامل سطح بیمارستان و شرکت های دارویی برای مدیریت موجودی کالا و به حداقل رساندن هزینه کل شبکه را طراحی کردند. پس از آن، موسی زاده و همکاران (2015) یک مساله ای را ارائه دادند که هدف آن به حداقل رساندن کل هزینه ها و حداکثر تقاضای ارضا نشده به طور همزمان بود. در حقیقت، آنها سعی کردند با استفاده از یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط یک شبکه زنجیره تامین دارویی چند دوره ای و چند محصولی را تحت شرایط عدم قطعیت طراحی کنند. ظهیری و همکاران (2017) یک مدل چند هدفه با در نظر گرفتن مساله مکان یابی-موجودی برای طراحی شبکه زنجیره تامین دارویی تحت شرایط عدم اطمینان را ارائه دادند. آنها از یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای به حداقل رساندن کل هزینه ها، به حداکثر رساندن تأثیرات اجتماعی، به حداقل رساندن تخریب محیط زیست و کاهش عدم انعطاف پذیری همزمان در شبکه استفاده کردند. آنها برای حل مسائل در شرایط عدم قطعیت از رویکرد احتمالی-تصادفی فازی استفاده کردند. علاوه بر این، ظهیری و همکاران (2018) با در نظر گرفتن دو مورد فاسدشدنی و جایگزینی داروها، طرح شبکه زنجیره تامین SCN دارویی چند دوره ای را ارائه دادند. علاوه بر این، آنها از یک روش بهینه سازی احتمالات جدید برای حل مدل دو هدفه استفاده کردند.

سوادکوهی و همکاران (2018) یک شبکه دارویی فاسدشدنی برای یک شبکه زنجیره تامین با تمرکز بر مساله مکان یابی-موجودی در شرایط عدم قطعیت سه سطحی را توسعه دادند. آنها برای به حداقل رساندن هزینه ها از یک مدل برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح مختلط و از یک روش برنامه ریزی احتمالی برای حل مسئله و ترکیب عدم قطعیت استفاده کردند. شبکه زنجیره تامین سه مرحله ای، شامل تامین کنندگان، تولید کنندگان و بیمارستان ها (مشتریان) توسط گوو و سین (2018) مورد بحث و بررسی قرار گرفت. آنها یک مدل چند هدفه برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط با هدف به حداکثر رساندن ارزش خرید و به حداقل رساندن هزینه شبکه را ارائه دادند و از یک روش فازی برای حل آن استفاده کردند.

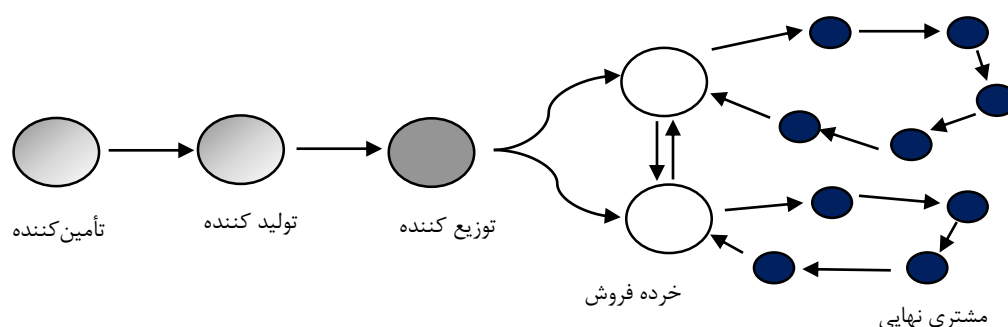
نصراللهی و رزمی (2019) با بررسی چهار مرحله ای شبکه زنجیره تامین دارویی چند دوره ای، میزان پاسخگویی به تقاضا در بیمارستان را افزایش دادند و هزینه ها را کاهش دادند. با این کار، برخی از اولویت ها برای اقلام دارویی مطابق با ویژگی های بیماران در هر یک از بیمارستان ها که از شاخص اطمینان برای اقلام دارویی استفاده شده است، در نظر گرفته شدند. به همین ترتیب، سیستم موجودی مدیریت شده توسط فروشنده برای داروی شبکه زنجیره تامین برای تعیین میزان مطلوب اقلام پزشکی بیمارستان ها که در هر بازه زمانی توسط وریکات و همکاران (2019) اجرا شد. هدف اصلی، پایداری شبکه زنجیره تامین دارویی با به حداقل رساندن کمبود اقلام پزشکی در محل تولید و اقلام منقضی شده در هر یک از بیمارستان ها است. اکبرپور و همکاران

(2020) یک مدل دو هدفه برای طراحی شبکه دارویی با در نظر گرفتن محصولات فاسدشدنی تحت شرایط عدم قطعیت تقاضا را ارائه دادند. برای این منظور، آنها از یک رویکرد استوار استفاده کردند. با بررسی مرور ادبیات مربوطه، تعداد قابل توجهی از تحقیقات با استفاده از انواع مفروضات رایج و نزدیک به شرایط دنیای واقعی، به طراحی شبکه زنجیره تامین در صنایع مختلف پرداختند. نوذری و همکاران (2022) یک زنجیره تامین دارویی دو مرحله ای را ارائه دادند. آنها دو سناریو برای سه ساختار مختلف قدرت زنجیره تامین را در نظر گرفتند. یکی از سناریوها شامل تنظیم کیفیت و دیگری بدون تنظیم کیفیت است. آنها با مقایسه دو سناریو تحت ساختارهای مختلف، تأثیرات تنظیم کیفیت و ساختار قدرت بر تصمیمات، سود و رفاه اجتماعی شرکت های دارویی را ارزیابی کردند. سپس نتایج نشان داد که تمایز محصول بین دو تولید کننده دارویی از طریق تنظیم کیفیت کاهش می یابد و در نتیجه باعث افزایش رقابت قیمتی بین آنها می شود. این امر تأثیر منفی بر روی دو تولید کننده دارو دارد اما بر سود داروخانه تأثیر مثبت دارد. با این حال، سطح مناسبی از حداقل استانداردهای کیفیت می تواند رفاه اجتماعی و عملکرد اقتصادی کل زنجیره تامین دارویی را افزایش دهد. علاوه بر این، نتایج نشان داد که ساختار قدرت متعادل تأثیر مثبتی بر عملکرد اقتصادی و رفاه اجتماعی زنجیره تامین دارو دارد.

با توجه به مرور ادبیات انجام شده مشاهده می گردد تاکنون به بحث قابلیت اطمینان در شبکه زنجیره تامین دارو پرداخته نشده است. از این رو با در نظر گرفتن این موضوع هدف اصلی در این تحقیق ارائه یک مدل سه هدفه زنجیره تامین دارو شامل کمینه سازی هزینه های کل شبکه، بیشینه سازی قابلیت اطمینان و کمینه سازی حداکثر تقاضای برآورده نشده از توزیع دارو به مشتریان می باشد.

3- تعریف مسئله و مدل سازی

شکل (1) یک شبکه زنجیره تامین داروی پنج سطحی را نشان میدهد که در مقاله حاضر به مدل سازی این شبکه پرداخته شده است. مطابق با شکل (1) هدف اصلی در طراحی شبکه زنجیره تامین، تلاش برای تامین حداکثری از تقاضای مشتریان نهایی با کمترین هزینه و بیشترین قابلیت اطمینان است. لذا سه تابع هدف کمینه سازی هزینه های کل طراحی شبکه زنجیره تامین (هزینه های احداث، حمل و نقل و نگهداری)، بیشینه سازی قابلیت اطمینان در انتقال دارو به مشتریان نهایی و کمینه سازی بیشترین تقاضای برآورده نشده می باشد. مطابق با شکل (1) تامین کنندگان مواد اولیه، مسئول تامین مواد اولیه مورد نیاز برای تولید دارو در مراکز تولید دارو هستند. در این سطح از شبکه زنجیره تامین، هر تامین کننده دارای یک سطح تخفیف از ارائه مواد اولیه به تولید کنندگان در هر دوره زمانی می باشد و تولید کنندگان بر حسب نیاز و یا با توجه ظرفیت انبار، اقدام به خرید مواد اولیه از تامین کنندگان می کنند. از آنجایی که محصولات مد نظر در این شبکه از نوع داروهای فساد پذیر می باشد. لذا مقدار تولید و انبارش محصولات در مراکز تولید و توزیع یکی از مهمترین تصمیمات تاکتیکی مدل به شمار می رود. پس از انتقال محصولات به خرده فروشان جهت توزیع دارو ها به مشتریان نهایی، این امر با استفاده از مسیر یابی صحیح حمل و نقل و با استفاده از ناوگان مناسب حمل و نقل صورت می پذیرد. تصمیمات استراتژیکی مدل پیشنهادی در شبکه زنجیره تامین دارو شامل مکان یابی تسهیلات بالقوه نظیر تامین کننده ها، تولید کننده ها، توزیع کننده ها و خرده فروشان می باشد. در تصمیمات تاکتیکی نیز مواردی نظیر تعیین سطح بهینه تخفیف خرید مواد اولیه، تعیین صیغ بهینه انباشته دارو در مراکز تولید و توزیع، مسیریابی بهینه حمل و نقل دارو بین هر سطح از زنجیره تامین بایستی اتخاذ گردد. فساد پذیری در این شبکه به صورتی در نظر گرفته شده است که قبل از فرا رسیدن تاریخ امحا، بایستی کالا به مشتریان نهایی تحویل داده شده باشد. در غیر این صورت محصول فاسد شده و امکان تحویل به مشتری وجود ندارد.



شکل 1- شبکه چند سطحی زنجیره تأمین دارو

- با توجه به تعریف مسئله، مدل شبکه زنجیره تأمین داروی پیشنهادی با توجه به مفروضات زیر قابل مدل سازی می باشد.
 - مدل طراحی شده چند دوره‌ای، چند محصولی و در سناریوهای مختلف می باشد.
 - تقاضای دارویی مشتری در هر دوره زمانی و هزینه عملیاتی (نگهداری-حمل و نقل) غیرقطعی و به صورت اعداد فازی دوزنقه ای در هر سناریو در نظر گرفته شده است.
 - ظرفیت تسهیلات قطعی و از قبل مشخص می باشد.
 - سطح تخفیف و قیمت فروش مواد اولیه توسط تأمین کننده ها مشخص می باشد.
 - کمبود مجاز می باشد و هدف کمینه سازی بیشترین تقاضای برآورده نشده مشتریان بر اساس اهمیت هر مشتری می باشد.
 - ظرفیت وسائط نقلیه ناهمگن در توزیع دارو بین خرده فروش و مشتری معلوم و مشخص می باشد.
- با توجه به مفروضات بیان شده، توابع هدف مسئله شامل کمینه سازی هزینه های کل طراحی شبکه زنجیره تأمین، بیشینه سازی قابلیت اطمینان در انقال دارو و کمینه سازی بیشترین تقاضای برآورده نشده از مشتریان نهایی است. جهت دستیابی همزمان به سه تابع هدف فوق، تصمیمات استراتژیکی نظیر مکان یابی تسهیلات بالقوه و تصمیمات تاکتیکی نظیر تخصیص-مسیریابی و موجودی بایستی اتخاذ گردد.

1-3- مدل سازی شبکه چند سطحی زنجیره تأمین دارو

برای مدل سازی مجموعه ها، پارامتر و متغیرهای تصمیم گیری مسئله شبکه چند سطحی زنجیره تأمین دارو به صورت زیر تعریف می شوند:

مجموعه ها

$p = \{1, \dots, P\}$ مجموعه داروها	P	$i = \{1, \dots, I\}$ مجموعه تأمین کننده ها	I
$t = \{1, \dots, T\}$ مجموعه دوره زمانی	T	$j = \{1, \dots, J\}$ مجموعه تولید کننده ها	J
$r = \{1, \dots, T\}$ مجموعه دوره زمانی تولید	T	$k = \{1, \dots, K\}$ مجموعه توزیع کننده ها	K
$v = \{1, \dots, V\}$ مجموعه وسایل نقلیه	V	$l, l' = \{1, \dots, L\}$ مجموعه خرده فروشان	L
$b = \{1, \dots, B\}$ مجموعه سطوح تخفیف	B	$m, c = \{1, \dots, C\}$ مجموعه مشتریان ثابت	C
		$S = \{1, \dots, S\}$ مجموعه سناریو ها	S

پارامترها

هزینه انتخاب تأمین کننده i	G_i
هزینه انتخاب مرکز تولید j	O_j
هزینه انتخاب مرکز توزیع k	H_k
هزینه انتخاب خردهفروش l	U_l
هزینه حمل و نقل به ازای هر واحد دارو p بین تأمین کننده i و مرکز تولیدی j در سناریو S	$\tilde{T}_{ijps}$
هزینه حمل و نقل به ازای هر واحد دارو p بین مرکز تولیدی j و مرکز توزیع k در سناریو S	$\tilde{T}_{jkps}$
هزینه حمل و نقل به ازای هر واحد دارو p بین مرکز توزیع k و خردهفروش l در سناریو S	$\tilde{T}_{klps}$
هزینه حمل و نقل به ازای هر واحد دارو p بین خردهفروشان l و l' در سناریو S	$\tilde{T}_{ll'ps}$
هزینه حمل و نقل به ازای هر واحد دارو بین خردهفروش l و مشتری c توسط وسیله نقلیه v در سناریو S و $l, c \in L \cup C$	$\tilde{T}_{lcvs}$
قابلیت اطمینان به ازای انتقال هر واحد دارو بین تأمین کننده i و مرکز تولیدی j توسط وسیله نقلیه v در سناریو S	Re_{ijvs}
قابلیت اطمینان به ازای انتقال هر واحد دارو بین مرکز تولیدی j و مرکز توزیع k توسط وسیله نقلیه v در سناریو S	Re_{jkvs}
قابلیت اطمینان به ازای انتقال هر واحد دارو بین مرکز توزیع k و خردهفروش l توسط وسیله نقلیه v در سناریو S	Re_{klvs}
قابلیت اطمینان به ازای انتقال هر واحد دارو بین خردهفروشان l و l' توسط وسیله نقلیه v در سناریو S	$Re_{ll'vs}$
قابلیت اطمینان به ازای انتقال هر واحد دارو بین خردهفروش l و مشتری c توسط وسیله نقلیه v در سناریو S و $l, c \in L \cup C$	Re_{lcvs}
تقاضای مشتری c از داروی p در دوره زمانی t در سناریو S	$\tilde{D}_{cptS}$
زمان فسادپذیری داروی p	u_p
حداکثر ظرفیت تأمین کننده i از تأمین مواد اولیه دارو p در سناریو S	$CapI_{ips}$
حداکثر ظرفیت مرکز تولیدی j از تولید دارو p در سناریو S	$CapJ_{jps}$
حداکثر ظرفیت مرکز توزیع k از توزیع دارو p در سناریو S	$CapK_{kps}$
حداکثر ظرفیت خردهفروش l از توزیع دارو p در سناریو S	$CapL_{lps}$
ظرفیت وسیله نقلیه ناهمگن v	$CapV_v$
هزینه نگهداری محصول p در مرکز توزیع کننده k	$\tilde{h}_{kp}$
هزینه نگهداری محصول p در مرکز خردهفروش l	$\tilde{h}'_{lp}$
احتمال رخداد سناریو S	P_S
قیمت خرید ماده اولیه p از تأمین کننده ماده اولیه i با سطح تخفیف b در سناریو S	pr_{ibps}
کران پایین بازه تخفیف ماده اولیه p در سطح تخفیف b از سوی تأمین کننده ماده اولیه i در دوره زمانی t در سناریو S	Ψ_{ibpts}
اهمیت تحویل محصول p به مشتری c	ϑ_{cp}
هزینه توزیع محصول p توسط خرده فروش l در سناریو S	$\tilde{C}_{lps}$

متغیرهای تصمیم گیری

مقدار دارو انتقال یافته p بین تأمین کننده i و مرکز تولید j در دوره زمانی t در سناریو S	X_{ijpts}
مقدار دارو انتقال یافته p بین مرکز تولید j و مرکز توزیع k در دوره زمانی t در سناریو S	Y_{jkpts}
مقدار دارو انتقال یافته p بین مرکز توزیع k و خرده فروش l در دوره زمانی t در سناریو S	W_{klpts}
مقدار دارو انتقال یافته p بین خرده فروشان l و l' در دوره زمانی t در سناریو S	$S_{ll'pts}$
کل مقدار دارو انتقال یافته p از خرده فروش l در دوره زمانی t در سناریو S	V'_{lpts}
مقدار دارو انتقال یافته p بین مرکز توزیع k و خرده فروش l در دوره زمانی t و تولید شده در دوره زمانی r در سناریو S	T_{klptrs}
مقدار دارو انتقال یافته p بین خرده فروشان l و l' در دوره زمانی t و تولید شده در دوره زمانی r در سناریو S	$A_{l'lptrs}$
سطح موجودی دارو p در انبار مرکز توزیع k در دوره زمانی t و تولید شده در دوره زمانی r در سناریو S	Q_{kptrs}
سطح موجودی دارو p در انبار خرده فروش l در دوره زمانی t و تولید شده در دوره زمانی r در سناریو S	Q'_{lptrs}
کل خرید ماده اولیه p از تأمین کننده i در دوره زمانی t در سناریو S	θ_{ipts}
در صورتی که تأمین کننده i انتخاب گردد، مقدار 1 و در غیر این صورت 0 می گیرد.	Z_i
در صورتی که مرکز تولید j انتخاب گردد، مقدار 1 و در غیر این صورت 0 می گیرد.	Z_j
در صورتی که مرکز توزیع k انتخاب گردد، مقدار 1 و در غیر این صورت 0 می گیرد.	Z_k
در صورتی که خرده فروش l انتخاب گردد، مقدار 1 و در غیر این صورت 0 می گیرد.	Z_l
در صورتی که مشتری c به خرده فروش l در دوره زمانی t در سناریو S تخصیص یابد، مقدار 1 و در غیر این صورت 0 می گیرد.	Z_{lcts}
در صورتی که مشتری c بعد از خرده فروش l توسط وسیله نقلیه v در دوره زمانی t در سناریو S بازدید شود، مقدار 1 و در غیر این صورت 0 می گیرد. $l, c \in L \cup C$	Z_{lcvt}
در صورتی که مشتری c بعد از خرده فروش l توسط وسیله نقلیه v در دوره زمانی t در سناریو S بازدید شود، مقدار 1 و در غیر این صورت 0 می گیرد. $l, c \in L \cup C$	Z_{lcvt}
مقدار کمبود رخ داده از محصول p برای مشتری c در دوره زمانی t در سناریو S	Sh_{cpt}
متغیر کمکی برای محدودیت حذف زیر تور	U_{cvt}
در صورتی که دارو بین تأمین کننده i و مرکز تولید j در دوره زمانی t توسط وسیله نقلیه v در سناریو S انتقال یابد، مقدار 1 و در غیر این صورت 0 می گیرد.	XR_{ijvts}
در صورتی که دارو بین مرکز تولید j و مرکز توزیع k در دوره زمانی t توسط وسیله نقلیه v در سناریو S انتقال یابد، مقدار 1 و در غیر این صورت 0 می گیرد.	YR_{jkvts}
در صورتی که دارو بین مرکز توزیع k و خرده فروش l در دوره زمانی t توسط وسیله نقلیه v در سناریو S انتقال یابد، مقدار 1 و در غیر این صورت 0 می گیرد.	WR_{klvts}
در صورتی که دارو بین خرده فروشان l و l' در دوره زمانی t توسط وسیله نقلیه v در سناریو S انتقال یابد، مقدار 1 و در غیر این صورت 0 می گیرد.	$S_{ll'vts}$
در صورتی که سطح تخفیف b برای خرید ماده اولیه p از تأمین کننده مواد اولیه i در دوره t در سناریو S انتخاب شود، مقدار 1 و در غیر این صورت 0 می گیرد.	M_{ibpts}

2-3- مدل سازی شبکه چند سطحی زنجیره تأمین دارو در حالت غیرقطعی

با توجه به بیان مجموعه ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم بیان شده، مسئله طراحی شبکه چند سطحی زنجیره تأمین دارو به عنوان یک مدل برنامه ریزی ریاضی غیرخطی عدد صحیح مختلط به صورت ذیل مدل سازی می شود:

$$Min\omega_1 = \sum_{i=1}^I G_i Z_i + \sum_{j=1}^J O_j Z_j + \sum_{k=1}^K H_k Z_k + \sum_{l=1}^L U_l Z_L +$$

$$\sum_{s=1}^S P_s \left[\begin{aligned} & \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^t \tilde{h}_{kps} Q_{kptrs} + \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^t \tilde{h}'_{lps} Q'_{lptrs} + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \tilde{T}_{ijps} X_{ijpts} + \\ & \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \tilde{T}_{jkps} Y_{jkpts} + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \tilde{T}_{klps} W_{klpts} + \sum_{l=1}^L \sum_{c=1}^C \sum_{v=1}^V \sum_{t=1}^T \tilde{T}_{lcvs} Z_{lcpts} + \\ & \sum_{l=1}^L \sum_{l'=1}^L \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \tilde{T}_{ll'ps} S_{ll'pts} + \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \tilde{C}_{lps} V'_{lpts} + \sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T pr_{ibps} M_{ibpts} X_{ijpts} \end{aligned} \right] \quad (1)$$

$$Min\omega_2 = \left(\sum_{c=1}^C \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \vartheta_{cp} Sh_{cpts} \right) \quad (2)$$

$$max\omega_3 = 1 - \prod_{i=1}^I \prod_{c=1}^C \left(1 - \left(1 - \prod_{j=1}^J \prod_{k=1}^K \prod_{l=1}^L \prod_{l'=1}^L \prod_{t=1}^T \prod_{v=1}^V \prod_{s=1}^S \left(1 - \left(\begin{aligned} & Re_{ijvs} X R_{ijvts}^* \\ & Re_{jkvs} Y R_{jkvts}^* \\ & Re_{klps} W R_{klvts}^* \\ & Re_{ll'vs} S R_{ll'vts}^* \\ & Re_{lcvs} Z_{lcts} \end{aligned} \right) \right) \right) \right) \quad (3)$$

s. t.:

$$\sum_{i=1}^I X_{ijpts} = \sum_{k=1}^K Y_{jkpts}, \quad \forall j, p, t, s \quad (4)$$

$$\sum_{r=1}^t Q_{kptrs} = \sum_{j=1}^J Y_{jkpts} - \sum_{l=1}^L W_{klpts}, \quad \forall k, p, s, t = 1 < u_p \quad (5)$$

$$\sum_{r=1}^t Q_{kptrs} = \sum_{r=1}^{t-1} Q_{kpt-1rs} + \sum_{j=1}^J Y_{jkpts} - \sum_{l=1}^L W_{klpts}, \quad \forall k, p, s, 1 < t < u_p \quad (6)$$

$$\sum_{r=t+1-u_p}^t Q_{kptrs} = \sum_{r=t+1-u_p}^{t-1} Q_{kpt-1rs} + \sum_{j=1}^J Y_{jkpts} - \sum_{l=1}^L W_{klpts}, \quad \forall k, p, s, t \geq u_p \quad (7)$$

$$W_{klpts} = \sum_{r=1}^t T_{klptrs}, \quad \forall k, l, p, s, t < u_p \quad (8)$$

$$W_{klpts} = \sum_{r=t+1-u_p}^t T_{klptrs}, \quad \forall k, l, p, s, t \geq u_p \quad (9)$$

$$Q_{kptrs} = \sum_{j=1}^J Y_{jkpts} - \sum_{l=1}^L T_{klptrs}, \quad \forall k, p, s, t = r \quad (10)$$

$$Q_{kptrs} = Q_{kpt-1rs} - \sum_{l=1}^L T_{klptrs}, \quad \forall k, p, s, t - r < u_p \quad (11)$$

$$\sum_{r=1}^t Q'_{lptrs} = \sum_{k=1}^K W_{klpts} - V'_{lpts} + \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^L S_{l'lpts} - \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^L S_{ll'pts}, \quad \forall l, p, s, t = 1 < u_p \quad (12)$$

$$\sum_{r=1}^t Q'_{lptrs} = \sum_{r=1}^{t-1} Q'_{lpt-1rs} + \sum_{k=1}^K W_{klpts} - V'_{lpts} + \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^L S_{l'lpts} - \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^L S_{ll'pts}, \quad \forall l, p, s, 1 < t < u_p \quad (13)$$

$$\sum_{r=t-u_p+1}^t Q'_{lptrs} = \sum_{r=t-u_p+1}^{t-1} Q'_{lpt-1rs} + \sum_{k=1}^K W_{klpts} - V'_{lpts} + \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^L S_{l'lpts} - \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^L S_{ll'pts}, \quad \forall l, p, s, t \geq u_p \quad (14)$$

$$V'_{lpts} = \sum_{r=1}^t \sum_{c=1}^C B_{lcptrs}, \quad \forall l, c, p, s, t < u_p \quad (15)$$

$$V'_{lpts} = \sum_{r=t-u_p+1}^t \sum_{c=1}^C B_{lcptrs}, \quad \forall l, c, p, s, t \geq u_p \quad (16)$$

$$S_{ll'pts} = \sum_{r=1}^t A_{l'lptrs}, \quad \forall l, l', p, s, t < u_p \quad (17)$$

$$S_{ll'pts} = \sum_{r=t-u_p+1}^t A_{l'lptrs}, \quad \forall l, l', p, s, t \geq u_p \quad (18)$$

$$Q'_{lptrs} = \sum_{k=1}^K T_{klptrs} - \sum_{c=1}^C B_{lcptrs} + \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^L A_{l'lptrs} - \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^L A_{ll'ptrs}, \quad \forall l, p, s, t = r \quad (19)$$

$$Q'_{lptrs} = Q'_{lpt-1rs} - \sum_{c=1}^C B_{lcptrs} - \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^L A_{ll'ptrs}, \quad \forall l, p, s, t - r < u_p \quad (20)$$

$$\sum_{j=1}^J X_{ijpts} \leq CapI_{ips} Z_i, \quad \forall i, p, t, s \quad (21)$$

$$\sum_{k=1}^K Y_{jkpts} \leq CapJ_{jps} Z_j, \quad \forall j, p, t, s \quad (22)$$

$$\sum_{k=1}^K W_{klpts} + \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^L S_{l'lpts} \leq CapL_{lps} Z_l, \quad \forall l, p, t, s \quad (23)$$

$$\sum_{j=1}^J Y_{jkpts} \leq CapK_{kps} Z_k, \quad \forall k, p, t, s \quad (24)$$

$$V'_{lpts} = \sum_{c=1}^C (\tilde{D}_{cpts} - Sh_{cpts}) Z_{lcts}, \quad \forall l, p, t, s \quad (25)$$

$$\sum_{v=1}^V \sum_{l=1}^{CUL} Z_{lcvt s} = 1, \quad \forall c, t, s \quad (26)$$

$$\sum_{c=1}^C \sum_{l=1}^{CUL} \sum_{p=1}^P (\tilde{D}_{cpts} - Sh_{cpts}) Z_{lcvt s} \leq CapV_v, \quad \forall v, t, s \quad (27)$$

$$U_{mvt} - U_{cvt} + CZ_{mcvt s} \leq C - 1, \quad \forall m, c \in C, v, t, s \quad (28)$$

$$\sum_{c=1}^{CUL} Z_{lcvt s} = \sum_{c=1}^{CUL} Z_{clvt s}, \quad \forall v, t, l \in C \cup L, s \quad (29)$$

$$\sum_{l=1}^L \sum_{c=1}^C Z_{lcvt s} \leq 1, \quad \forall v, t, s \quad (30)$$

$$\sum_{p=1}^P V'_{lpts} \leq \sum_{p=1}^P CapL_{lps} Z_l, \quad \forall l, t, s \quad (31)$$

$$-Z_{lcts} + \sum_{u=1}^{CUL} (Z_{luvt s} + Z_{ucvt s}) \leq 1, \quad \forall l, c, v, t, s \quad (32)$$

$$\sum_{p=1}^P X_{ijpts} \leq \sum_{v=1}^V CapV_v \cdot XR_{ijvts}, \quad \forall i, j, t, s \quad (33)$$

$$\sum_{p=1}^P Y_{jkpts} \leq \sum_{v=1}^V CapV_v \cdot YR_{jkvts}, \quad \forall j, k, t, s \quad (34)$$

$$\sum_{p=1}^P W_{klpts} \leq \sum_{v=1}^V CapV_v \cdot WR_{klvts}, \quad \forall k, l, t, s \quad (35)$$

$$\sum_{p=1}^P S_{l'lpts} \leq \sum_{v=1}^V CapV_v \cdot SR_{l'lvt s}, \quad \forall l, l', t, s \quad (36)$$

$$M_{ibpts}\Psi_{ibpts} \leq \theta_{ipts}, \quad \forall i, b, p, t, s \quad (37)$$

$$\sum_{b=1}^B M_{ibpts} = Z_i, \quad \forall i, p, t, s \quad (38)$$

$$\theta_{ipts} = \sum_{j=1}^J X_{ijpts}, \quad \forall i, p, t, s \quad (39)$$

$$Q_{kptrs} = 0, \quad \forall k, p, t < r \quad (40)$$

$$Q'_{lptrs} = 0, \quad \forall l, p, s, t < r \quad (41)$$

$$X_{ijpts}, Y_{jkpts}, W_{klpts}, S_{l'lpts}, U_{lvt} \geq 0, \quad \forall i, j, k, c, l, l', p, v, t, s \quad (42)$$

$$B_{lcptrs}, A_{ll'ptrs}, T_{klptrs}, Q'_{lptrs}, Q_{kptrs}, \theta_{ipts} \geq 0, \quad \forall l, l', c, k, p, t, r, s \quad (43)$$

$$Z_l, Z_k, Z_{lcts}, Z_{lcvt}, M_{ibpts} \in \{0,1\}, \quad \forall k, l, v, t, c, s \quad (44)$$

$$XR_{ijvts}, YR_{jkvts}, WR_{klvts}, SR_{l'lpts} \in \{0,1\}, \quad \forall i, j, k, l, l', v, t, s \quad (45)$$

رابطه (1) تابع هدف اول را نشان می‌دهد و شامل کمینه‌سازی هزینه‌های کل شبکه زنجیره تأمین (هزینه‌های احداث، هزینه‌های نگهداری، هزینه‌های حمل‌ونقل دارو بین مراکز و خرید مواد اولیه با تخفیف از تأمین کننده) می‌باشد. رابطه (2) تابع هدف دوم مسئله را نشان می‌دهد و شامل کمینه‌سازی تقاضای برآورده نشده از تحویل دارو به مشتریان نهایی با توجه به ضریب اهمیت هر مشتری است. رابطه (3) تابع هدف سوم را نشان می‌دهد و شامل بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان انتقال دارو توسط وسایل نقلیه ناهمگن از تأمین کننده به سوی مشتریان نهایی است. محدودیت (4) مقدار انتقال مواد اولیه موردنیاز برای تولید دارو را از تأمین کننده به تولیدکننده نشان می‌دهد. محدودیت‌های (5) تا (7) مربوط به میزان نگهداری دارو در انبارهای مراکز توزیع را در زمان تولیدشان با توجه به زمان فسادپذیری هر دارو و در هر دوره زمانی را نشان می‌دهد. محدودیت‌های (8) و (9) میزان انتقال داروها را از مراکز توزیع به خرده‌فروشان با توجه به فسادپذیری داروها نشان می‌دهد. محدودیت‌های (10) و (11) سطح موجودی هر نوع دارو را در انبارهای خرده‌فروشان و محدودیت‌های (12) تا (14) سطح موجودی هر نوع دارو را در انبارهای خرده‌فروشان در کل زمان تولیدشان نشان می‌دهد. محدودیت‌های (15) و (16) میزان انتقال دارو را از خرده‌فروشان به تمامی نقاط تقاضای مشتری در هر دوره زمانی نشان می‌دهد. محدودیت‌های (17) و (18) میزان انتقال دارو بین خرده‌فروشان را با توجه به تقاضای مشتریان و با لحاظ کرده زمان فسادپذیری نشان می‌دهد. محدودیت‌های (19) و (20) رابطه تعادلی را در مرکز خرده‌فروش نشان می‌دهد و تضمین می‌کند تا قبل از دوره فسادپذیری دارو، داروها به مشتریان انتقال می‌یابد. محدودیت‌های (21) تا (24) مربوط به محدودیت‌های ظرفیت تأمین‌کننده‌ها، مراکز تولید، مراکز توزیع و خرده‌فروشان می‌باشد و تضمین می‌کند تا زمانی که مرکز تأسیس نشده باشد نمی‌توان از حداکثر ظرفیت آن مرکز استفاده نمود. رابطه (25) کل میزان جریان محصولات (تقاضا) را در مراکز خرده‌فروش برای انتقال به مشتریان نشان می‌دهد. محدودیت (26) تضمین می‌کند هر خرده‌فروش تنها به یک مشتری می‌تواند تخصیص پیدا کند. محدودیت (27) حداکثر ظرفیت حمل‌ونقل دارو را توسط وسیله نقلیه در دسترس نشان می‌دهد. محدودیت (28) محدودیت مربوط به حذف زیر تور می‌باشد. محدودیت (29) تضمین می‌کند وسیله نقلیه تنها یک‌بار می‌تواند به هر خوشه مشتری وارد و از آن خارج شود. محدودیت (30) تا (32) تضمین می‌کند که نقاط ابتدا و انتهای مسیریابی وسیله نقلیه در توزیع دارو به مشتریان، خرده‌فروش می‌باشد. محدودیت (33) تا (36) نوع وسیله نقلیه موردنیاز برای انتقال محصولات بین سطوح مختلف زنجیره تأمین دارو را نشان می‌دهد و تضمین می‌کند که مقدار انتقال دارو نباید از ظرفیت وسیله نقلیه بیشتر باشد. محدودیت (37) تا (39) سطح بهینه تخفیف را در هر دوره زمانی و در هر سناریو نشان می‌دهد. محدودیت‌های (40) و (41) روابط منطقی در موجودی دارو را در انبارهای مراکز تولید و توزیع نشان می‌دهد. محدودیت‌های (42) تا (45) نوع و جنس متغیرهای تصمیم‌گیری را نشان می‌دهد.

3-3- مدل برنامه ریزی استوار-فازی-احتمالی

توجه به ذات پویا و نوسانی برخی از پارامترهای مهم (از جمله هزینه‌های حمل و نقل، تقاضا و هزینه‌های نگهداری) که تعیین آن‌ها مافوق برنامه‌ریزی است و همچنین در دسترس نبودن و حتی غیرقابل حصول بودن داده‌های تاریخی موردنیاز در مرحله طراحی، این پارامترها عمدتاً با تکیه بر نظرات و تجارب ذهنی کارشناسان تخمین زده می‌شود؛ بنابراین، پارامترهای مبهم فوق به‌عنوان داده غیرقطعی در قالب اعداد فازی دوزنقه‌ای فرموله شده است. شایان‌ذکر است که برای تصمیم‌گیری‌های بلندمدت، ارزیابی قطعی هزینه حمل و نقل، تقاضا و هزینه نگهداری، سخت و حتی گاهی غیرممکن است. حتی اگر یک نفر بتواند یک تابع توزیع احتمالی برای این پارامترها را برآورد کند، ممکن است که این پارامترها رفتار مشابهی با داده‌های گذشته نداشته باشند. لذا این پارامترها که در یک افق برنامه‌ریزی بلندمدت تغییر می‌کند به‌عنوان داده‌های فازی در نظر گرفته شده است.

علاوه بر این، برای مقابله با محدودیت‌های غیرقطعی (محتمل) که داده‌های غیرقطعی در طرف چپ یا راست تساوی خود دارند، معمولاً از روش برنامه‌ریزی محدود غیرقطعی استفاده می‌شود. در صورت استفاده از این روش، به‌منظور کنترل سطح اطمینان برقراری این محدودیت‌های غیرقطعی، مفهوم تصمیم‌گیری می‌تواند سطح اطمینان حداقل را به‌عنوان یک حاشیه امن مناسب برای برقراری هر یک از این محدودیت‌ها به دست آورد. برای انجام این کار، دو اقدام روش استاندارد فازی، با عناوین فازی خوش‌بینانه و فازی بدبینانه معمولاً استفاده می‌شود. شایان‌ذکر است که فازی خوش‌بینانه نشان‌دهنده سطح احتمال خوش‌بینانه از وقوع یک رویداد نامشخص شامل پارامترهای غیرقطعی است، درحالی‌که فازی بدبینانه، نشان‌دهنده تصمیم‌گیری بدبینانه در مورد رویداد نامشخص است. با این اوصاف، محافظه‌کارانه‌تر است که از فازی بدبینانه استفاده شود؛ یعنی فرض می‌کنیم تصمیم‌گیری دارای، نگرش بدبینانه برای برقراری محدودیت‌های غیرقطعی است. در حال حاضر، بر اساس پارامترهای مبهم مذکور و استفاده از مقدار مورد انتظار برای تابع هدف و اقدام بدبینانه برای محدودیت‌های غیرقطعی، معادل بدیهی از مدل غیرقطعی اصلی می‌تواند فرموله شود. برای انجام این کار، ابتدا فرم اختصاری از مدل ارائه‌شده را در نظر بگیرید:

$$\begin{aligned} \min Z &= F \cdot y + \tilde{C}_s \cdot x_s \\ s. t.: \\ Ax_s &\geq \tilde{D}_s \\ Ex_s &\leq \tilde{S}_s y \\ y &\in \{0,1\}, \quad x_s \geq 0 \end{aligned} \quad (46)$$

که در آن بردارهای $F, \tilde{D}_s, \tilde{C}_s$ و $\tilde{S}_s$ به ترتیب نشان‌دهنده هزینه ثابت احداث، هزینه متغیر (حمل و نقل)، مقدار تقاضا و ظرفیت تسهیلات می‌باشد. همچنین A و E ماتریس ضرایب بوده و درنهایت x_s و y به ترتیب متغیرهای پیوسته و صفر و یک تحت سناریو s می‌باشند. حال فرض می‌شود که بردارهای $\tilde{D}_s, \tilde{C}_s$ و $\tilde{S}_s$ در مدل فوق به‌صورت پارامترهای غیرقطعی ارائه شده است. با توجه به شکل عمومی برنامه‌ریزی محدود غیرقطعی، مقدار انتظاری تابع هدف و فازی بدبینانه به ترتیب برای مقابله با تابع هدف و محدودیت غیرقطعی اخذ گردد. حال با توجه به فرم اختصاری، مدل پایه‌ای فازی بدبینانه به‌صورت زیر است:

$$\begin{aligned} \min Z &= E[Z] = F \cdot y + E[\tilde{C}_s] \cdot x_s \\ s. t.: \\ NEC\{Ax_s \geq \tilde{D}_s\} &\geq \alpha_s \\ NEC\{Ex_s \leq \tilde{S}_s y\} &\geq \beta_s \\ y &\in \{0,1\}, \quad x_s \geq 0 \end{aligned} \quad (47)$$

که در آن α_s و β_s حداقل درجه اطمینان برقراری محدودیت غیرقطعی را با رویکرد تصمیم‌گیری (بدبینانه) کنترل می‌کند. با توجه به توزیع احتمال دوزنقه‌ای برای پارامترهای مبهم، شکل کلی روابط (47) به شرح زیر است:

$$\begin{aligned} \min Z &= F \cdot y + \left(\frac{C_s^1 + C_s^2 + C_s^3 + C_s^4}{4} \right) x_s \\ s. t.: \\ Ax_s &\geq (1 - \alpha_s) D_s^3 + \alpha_s D_s^4 \\ Bx_s &\leq ((1 - \beta_s) S_s^2 + \beta_s S_s^1) y \\ y &\in \{0,1\}, \quad x_s \geq 0, \quad \alpha_s, \beta_s \in [0.1, 0.9] \end{aligned} \quad (48)$$

در مدل‌های احتمالی، حداقل سطح اطمینان برای برقراری محدودیت غیرقطعی باید با لحاظ ترجیحات تصمیم‌گیری تعیین شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در مدل‌های ارائه‌شده تابع هدف نسبت به انحراف از مقدار مورد انتظار خود حساس نیست که بدین معنی است که دستیابی به راه‌حل‌های استوار در مدل پایه تضمین نمی‌شود. در چنین مواردی، ممکن است ریسک بالایی در بسیاری از موارد واقعی به تصمیم‌گیری تحمیل شود، به‌خصوص در تصمیم‌گیری‌های استراتژیک که استوار سازی راه‌حل تا حد زیادی حیاتی است. از این‌رو، برای مقابله با این وضعیت ناکارآمد، رویکرد برنامه‌ریزی غیرقطعی استوار-احتمالی برای مسئله، استفاده می‌شود. این رویکرد از مزایای قابل توجه هر دو برنامه‌ریزی استوار و برنامه‌ریزی احتمالی بهره می‌برد که به‌وضوح آن را از دیگر رویکردهای برنامه‌ریزی عدم قطعیت متفاوت می‌سازد. در این تحقیق از برنامه‌ریزی عدم قطعی استوار به مدل ارائه‌شده، اعمال می‌شود که به شرح زیر می‌باشد:

$$\begin{aligned} \min \omega_1 = & E[\omega] + \xi(\omega_{(\max)} - \omega_{(\min)}) + \aleph \sum_s P_s \{E[\omega] - E[\omega_s] + 2\theta_s\} + \\ & \eta_1 \sum_s P_s \left[D_s^4 - \frac{(\alpha_s - \lambda)D_s^4 + (1 - \alpha_s)D_s^3}{1 - \lambda} \right] + \\ & \eta_2 \sum_s P_s \left[\frac{(\beta_s y - \lambda)S_s^1 + (y - \beta_s y)S_s^2}{1 - \lambda} - S_s^1 \cdot y \right] \end{aligned} \quad (49)$$

s. t.:

$$Ax_s \geq (1 - \alpha_s)D_s^3 + \alpha_s D_s^4$$

$$Bx_s \leq ((1 - \beta_s)S_s^2 + \beta_s S_s^1)y$$

$$y, \in \{0,1\}, \quad x_s \geq 0, \quad \alpha_s, \beta_s \in [0.1, 0.9]$$

که در آن M یک عدد نامنفی بسیار بزرگ و $\omega_{(\max)}$ و $\omega_{(\min)}$ و $E[\omega_s]$ می‌تواند به شرح زیر بیان شود:

$$\begin{aligned} \omega_{(\max)} = & F \cdot y + \sum_s P_s C_s^4 x_s \\ \omega_{(\min)} = & F \cdot y + \sum_s P_s C_s^1 x_s \\ E[\omega_s] = & F \cdot y + \left[\frac{1 - \lambda}{2} (C_s^1 + C_s^2) + \frac{\lambda}{2} (C_s^3 + C_s^4) \right] \cdot x_s \end{aligned} \quad (50)$$

در تابع هدف اول رابطه (50)، عبارت اول به مقدار مورد انتظار تابع هدف اول با استفاده از مقادیر متوسط پارامترهای غیرقطعی مدل اشاره دارد. عبارت دوم به هزینه جریمه برای انحراف بیش از مقدار مورد انتظار تابع هدف اول (استواری بهینگی) اشاره می‌کند. جمله سوم نیز هزینه کل جریمه انحراف از تقاضا (پارامتر غیرقطعی) را نشان می‌دهد. از این‌رو، پارامتر ξ ضریب وزنی تابع هدف، η_1 هزینه جریمه عدم برآورد تقاضا، η_2 تابع جریمه مواجهه با تجاوز از ظرفیت تسهیلات می‌باشد. پارامترهای α_s, β_s به‌عنوان ضرایب تصحیح در مقدار سطوح فازی اعداد را نشان می‌دهد که بایستی عددی مابین 0.1 و 0.9 باشد. در نهایت مدل کنترل شده شبکه زنجیره تامین دارو با روش برنامه‌ریزی استوار-فازی-احتمالی به شرح زیر می‌باشد.

$$\min \omega_1 = E[\omega] + \xi(\omega_{(\max)} - \omega_{(\min)}) + \aleph \sum_s P_s \{E[\omega] - E[\omega_s] + 2\theta_s\} + \quad (51)$$

$$\begin{aligned} & \eta \sum_s P_s \sum_{c=1}^C \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \left[D_{cpts}^4 - \frac{(\alpha_s - \lambda)D_{cpts}^4 + (1 - \alpha_s)D_{cpts}^3}{1 - \lambda} \right] \\ \omega_{(\max)} = & \sum_{i=1}^I G_i Z_i + \sum_{j=1}^J O_j Z_j + \sum_{k=1}^K H_k Z_k + \sum_{l=1}^L U_l Z_L + \end{aligned} \quad (52)$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{s=1}^S P_s \left[\sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^t h_{kps}^4 Q_{kptrs} + \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^t h_{lps}^4 Q'_{lptrs} + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T T_{ijps}^4 X_{ijpts} + \right. \\
& \quad \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T T_{jkps}^4 Y_{jkpts} + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T T_{klps}^4 W_{klpts} + \\
& \quad \sum_{l=1}^L \sum_{c=1}^{LUC} \sum_{v=1}^V \sum_{t=1}^T T_{lcvs}^4 Z_{lcpts} + \sum_{l=1}^L \sum_{l'=1}^L \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T T_{ll'ps}^4 S_{ll'pts} + \\
& \quad \left. \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T C_{lps}^4 V'_{lpts} + \sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T pr_{ibps} M_{ibpts} X_{ijpts} \right] \\
\omega_{(\min)} &= \sum_{i=1}^I G_i Z_i + \sum_{j=1}^J O_j Z_j + \sum_{k=1}^K H_k Z_k + \sum_{l=1}^L U_l Z_L + \\
& \sum_{s=1}^S P_s \left[\sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^t h_{kps}^1 Q_{kptrs} + \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^t h_{lps}^1 Q'_{lptrs} + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T T_{ijps}^1 X_{ijpts} + \right. \\
& \quad \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T T_{jkps}^1 Y_{jkpts} + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T T_{klps}^1 W_{klpts} + \sum_{l=1}^L \sum_{c=1}^{LUC} \sum_{v=1}^V \sum_{t=1}^T T_{lcvs}^1 Z_{lcpts} + \\
& \quad \left. \sum_{l=1}^L \sum_{l'=1}^L \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T T_{ll'ps}^1 S_{ll'pts} + \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T C_{lps}^1 V'_{lpts} + \sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T pr_{ibps} M_{ibpts} X_{ijpts} \right]
\end{aligned} \tag{53}$$

$$\begin{aligned}
E[\omega] &= \sum_{i=1}^I G_i Z_i + \sum_{j=1}^J O_j Z_j + \sum_{k=1}^K H_k Z_k + \sum_{l=1}^L U_l Z_L + \\
& \sum_{s=1}^S P_s \left[\sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^t \left(\frac{h_{kps}^1 + h_{kps}^2 + h_{kps}^3 + h_{kps}^4}{4} \right) Q_{kptrs} + \right. \\
& \quad \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^t \left(\frac{h_{lps}^1 + h_{lps}^2 + h_{lps}^3 + h_{lps}^4}{4} \right) Q'_{lptrs} + \\
& \quad \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \left(\frac{T_{ijps}^1 + T_{ijps}^2 + T_{ijps}^3 + T_{ijps}^4}{4} \right) X_{ijpts} + \\
& \quad \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \left(\frac{T_{jkps}^1 + T_{jkps}^2 + T_{jkps}^3 + T_{jkps}^4}{4} \right) Y_{jkpts} + \\
& \quad \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \left(\frac{T_{klps}^1 + T_{klps}^2 + T_{klps}^3 + T_{klps}^4}{4} \right) W_{klpts} + \\
& \quad \sum_{l=1}^L \sum_{c=1}^{LUC} \sum_{v=1}^V \sum_{t=1}^T \left(\frac{T_{lcvs}^1 + T_{lcvs}^2 + T_{lcvs}^3 + T_{lcvs}^4}{4} \right) Z_{lcpts} + \\
& \quad \sum_{l=1}^L \sum_{l'=1}^L \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \left(\frac{T_{ll'ps}^1 + T_{ll'ps}^2 + T_{ll'ps}^3 + T_{ll'ps}^4}{4} \right) S_{ll'pts} + \\
& \quad \left. \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \left(\frac{C_{lps}^1 + C_{lps}^2 + C_{lps}^3 + C_{lps}^4}{4} \right) V'_{lpts} + \sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T pr_{ibps} M_{ibpts} X_{ijpts} \right]
\end{aligned} \tag{54}$$

$$\begin{aligned}
E[\omega_s] &= \sum_{i=1}^I G_i Z_i + \sum_{j=1}^J O_j Z_j + \sum_{k=1}^K H_k Z_k + \sum_{l=1}^L U_l Z_L + \\
& \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^t \left(\frac{1-\lambda}{2} (h_{kps}^1 + h_{kps}^2) + \frac{\lambda}{2} (h_{kps}^3 + h_{kps}^4) \right) Q_{kptrs} + \\
& \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^t \left(\frac{1-\lambda}{2} (h_{lps}^1 + h_{lps}^2) + \frac{\lambda}{2} (h_{lps}^3 + h_{lps}^4) \right) Q'_{lptrs} +
\end{aligned} \tag{56}$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \left(\frac{1-\lambda}{2} (T_{ijps}^1 + T_{ijps}^2) + \frac{\lambda}{2} (T_{ijps}^3 + T_{ijps}^4) \right) X_{ijpts} + \\
& \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \left(\frac{1-\lambda}{2} (T_{jkps}^1 + T_{jkps}^2) + \frac{\lambda}{2} (T_{jkps}^3 + T_{jkps}^4) \right) Y_{jkpts} + \\
& \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \left(\frac{1-\lambda}{2} (T_{klps}^1 + T_{klps}^2) + \frac{\lambda}{2} (T_{klps}^3 + T_{klps}^4) \right) W_{klpts} + \\
& \sum_{l=1}^L \sum_{c=1}^{LUC} \sum_{v=1}^V \sum_{t=1}^T \left(\frac{1-\lambda}{2} (T_{lcvs}^1 + T_{lcvs}^2) + \frac{\lambda}{2} (T_{lcvs}^3 + T_{lcvs}^4) \right) Z_{lcpts} + \\
& \sum_{l=1}^L \sum_{l'=1}^L \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \left(\frac{1-\lambda}{2} (T_{ll'ps}^1 + T_{ll'ps}^2) + \frac{\lambda}{2} (T_{ll'ps}^3 + T_{ll'ps}^4) \right) S_{ll'pts} + \\
& \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \left(\frac{1-\lambda}{2} (C_{lps}^1 + C_{lps}^2) + \frac{\lambda}{2} (C_{lps}^3 + C_{lps}^4) \right) V'_{lpts} + \sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T pr_{ibps} M_{ibpts} X_{ijpts} \\
V'_{lpts} = & \sum_{c=1}^C \left(((1-\alpha_s) D_{cpts}^3 + \alpha_s D_{cpts}^4) - Sh_{cpts} \right) Z_{lpts}, \quad \forall l, p, t, s \tag{57} \\
& \sum_{c=1}^C \sum_{l=1}^{CUL} \sum_{p=1}^P \left(((1-\alpha_s) D_{cpts}^3 + \alpha_s D_{cpts}^4) - Sh_{cpts} \right) Z_{lcpts} \leq CapV_p, \quad \forall v, t, s \tag{58} \\
& \tag{59}
\end{aligned}$$

محدودیت های (2) تا (24)، (26)، (28) تا (45)

4- تجزیه و تحلیل نتایج

در این بخش به تجزیه و تحلیل نتایج و بررسی متغیرهای خروجی مسئله و همچنین تاثیر پارامترهای مختلف بر روی مقادیر توابع هدف پرداخته شده است. NP-Hard بودن مدل های شبکه زنجیره تأمین در بسیاری از مقالات نشان داده شده است. با توجه به اینکه مدل شبکه زنجیره تأمین داروی طراحی شده شامل سه مسئله مکان یابی تسهیلات ظرفیت دار-مسیریابی بهینه حمل و نقل و بهینه سازی جریان می باشد؛ از این رو پیچیدگی مدل قابلیت کاهش به پیچیدگی مسئله مکان یابی تسهیلات ظرفیت را دارد. از سوی دیگر NP-Hard بودن مسائل مکان یابی تسهیلات ظرفیت دار در مقالات مختلف اثبات شده است. در نتیجه می توان نتیجه گرفت که مدل شبکه زنجیره تأمین دارو طراحی شده NP-Hard بوده و از الگوریتم های فرا ابتکاری چندهدفه NSGA II و MOWOA برای حل آن استفاده شده است. از این رو برای استفاده از این دو الگوریتم نیاز به طراحی کروموزوم اولیه که در هر دو الگوریتم یکسان می باشد، هست.

4-1- حل مسئله نمونه در سایز بسیار کوچک

از این رو قبل از حل مسائل نمونه در سایزهای بزرگتر با الگوریتم های فرا ابتکاری، به حل یک مسئله نمونه در سایز بسیار کوچک جهت بررسی متغیرهای خروجی مدل با استفاده از نرم افزار GAMS و بهره گیری از سولور Baron پرداخته شده است. داده های به کار رفته در مدل نیز به دلیل عدم دسترسی به داده های دنیای واقعی، به صورت تصادفی و بر اساس تابع توزیع یکنواخت استفاده شده است. از این رو مسئله طراحی شده در سایز بسیار کوچک شامل 2 تأمین کننده، 3 مرکز تولید و توزیع، 4 مرکز خرده فروش، 4 مرکز تقاضا (مشتری)، 1 محصول، 3 دوره زمانی، 2 وسیله نقلیه و در 2 سناریو مختلف می باشد. همچنین جدول (1) و (2) به ترتیب حدود بازه ای پارامترهای قطعی و غیر قطعی مسئله را نشان میدهد.

جدول 1- حدود بازه ای پارامترهای قطعی در مسئله سائز بسیار کوچک

پارامتر	حدود بازه ای پارامتر	پارامتر	حدود بازه ای پارامتر
G_i	$\sim U[40000,50000]$	U_l	$\sim U[30000,60000]$
O_j	$\sim U[30000,40000]$	u_p	3
H_k	$\sim U[20000,30000]$	ϑ_{cp}	$\sim U[0.5,1]$
$CapV_v$	$\sim U[500,800]$		

جدول 2- حدود بازه ای پارامترهای غیر قطعی در مسئله سائز بسیار کوچک

سناریو		پارامتر
S_2	S_1	
$1.1 * \begin{cases} \sim U[5,10] & level1 \\ \sim U[10,20] & level2 \\ \sim U[20,30] & level3 \\ \sim U[30,40] & level4 \end{cases}$ $1.1 * \sim U[0.3,0.5]$	$0.9 * \begin{cases} \sim U[5,10] & level1 \\ \sim U[10,20] & level2 \\ \sim U[20,30] & level3 \\ \sim U[30,40] & level4 \end{cases}$ $0.9 * \sim U[0.3,0.5]$	$\tilde{T}_{ijp}, \tilde{T}_{jkp}$ $\tilde{T}_{klp}, \tilde{T}_{ll'p}$ $\tilde{T}_{lcv}$ Re_{ijv}, Re_{jkv} $Re_{klv}, Re_{ll'v}$ Re_{lcv}
$0.9 * \begin{cases} \sim U[50,60] & level1 \\ \sim U[60,70] & level2 \\ \sim U[70,80] & level3 \\ \sim U[80,90] & level4 \end{cases}$ $1.1 * \sim U[200,300]$	$0.9 * \begin{cases} \sim U[50,60] & level1 \\ \sim U[60,70] & level2 \\ \sim U[70,80] & level3 \\ \sim U[80,90] & level4 \end{cases}$ $0.9 * \sim U[200,300]$	$\bar{D}_{cpt}$ $CapI_{ip}, CapJ_{jp}$ $CapK_{kp}, CapL_{lp}$
$0.9 * \begin{cases} \sim U[1,2] & level1 \\ \sim U[2,3] & level2 \\ \sim U[3,4] & level3 \\ \sim U[4,5] & level4 \end{cases}$ $1.1 * \sim U[1,3]$ $1.1 * \sim U[0,200]$	$0.9 * \begin{cases} \sim U[1,2] & level1 \\ \sim U[2,3] & level2 \\ \sim U[3,4] & level3 \\ \sim U[4,5] & level4 \end{cases}$ $0.9 * \sim U[1,3]$ $0.9 * \sim U[0,200]$	$\tilde{h}_{kp}, \tilde{h}'_{lp}$ pr_{ibp} Ψ_{ibpt}
$1.1 * \begin{cases} \sim U[10,12] & level1 \\ \sim U[12,15] & level2 \\ \sim U[15,18] & level3 \\ \sim U[18,20] & level4 \end{cases}$	$0.9 * \begin{cases} \sim U[10,12] & level1 \\ \sim U[12,15] & level2 \\ \sim U[15,18] & level3 \\ \sim U[18,20] & level4 \end{cases}$	$\tilde{C}_{lp}$

با توجه به سه هدفه بودن مدل شبکه زنجیره تامین دارو تحت عدم قطعیت، از روش تصمیم گیری چند هدفه معیار جامع جهت تشکیل جبهه پارتو مطابق با رابطه (60) استفاده شده است. در روش تصمیم گیری معیار جامع، نیاز به کسب بهترین مقدار هر تابع هدف به روش بهینه سازی انفرادی می باشد. یعنی بایستی ابتدا مقدار هر تابع هدف بدون در نظر گرفتن تابع هدف دیگر توسط نرم افزار به دست آید تا در محاسبات از آن بهره گرفته شود.

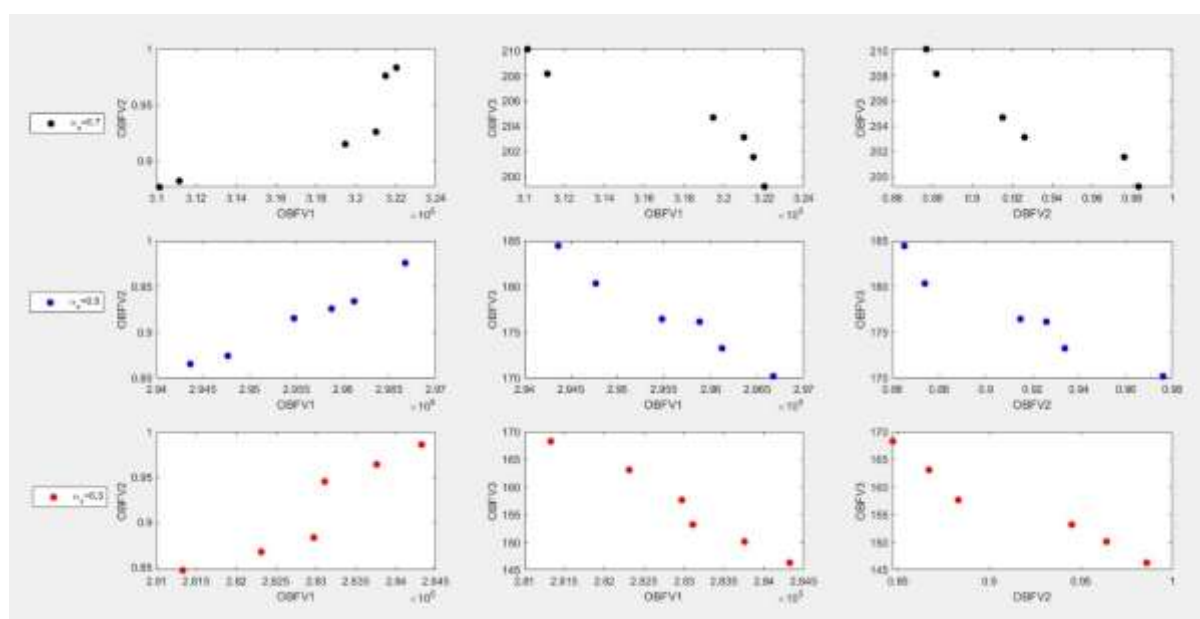
$$L_p = \left\{ \sum_{i=1}^n w_i \left[\frac{(f_i - f_i^*)}{(f_i^*)} \right]^p \right\}^{\frac{1}{p}}, p \geq 1 \quad (60)$$

در رابطه فوق w_i وزن یکسان توابع هدف، f_i^* بهترین مقدار تابع هدف کسب شده از روش بهینه سازی انفرادی و f_i تابع هدف مسئله است. مقدار p به عنوان نرم مسئله و برابر با مقدار 1 فرض شده است. همچنین در این مثال مقدار احتمال رخداد هر سناریو برابر با 50٪ در نظر گرفته شده است. با فرض مقدار λ برابر با 0.1 و α_s برابر با 0.3، 0.5 و 0.7، مجموعه جواب

های کارای بدست آمده از حل مسئله به صورت جدول (3) می باشد. همچنین شکل (2) جبهه پارتو کسب شده از حل مسئله سائز بسیار کوچک را در مقادیر مختلف نرخ عدم قطعیت نشان میدهد.

جدول 3- مجموعه جواب های کارای بدست آمده در مقادیر مختلف نرخ عدم قطعیت

α_s	جواب کارا	OBFV1	OBFV2	OBFV3
0.3	1	281326.15	0.847	168.30
	2	282314.64	0.867	163.15
	3	282975.36	0.883	157.69
	4	283112.36	0.945	153.26
	5	283756.01	0.964	150.15
	6	284326.44	0.986	146.28
0.5	1	294361.35	0.865	184.45
	2	294765.35	0.874	180.34
	3	295476.34	0.915	176.45
	4	295883.14	0.926	176.19
	5	296123.45	0.934	173.25
	6	296673.34	0.976	170.19
0.7	1	310154.64	0.877	210.15
	2	311156.58	0.882	208.16
	3	319453.64	0.915	204.68
	4	320993.25	0.926	203.14
	5	321498.66	0.976	201.54
	6	322016.42	0.983	199.19



شکل 2- جبهه پارتو کسب شده از حل مسئله نمونه در سائز در مقادیر مختلف نرخ عدم قطعیت

با توجه به نتایج جدول (3) و شکل (2) مشاهده می گردد که 6 جواب کارا در نرخ های مختلف عدم قطعیت بدست آمده است که نتایج نشان میدهد که با افزایش هزینه های طراحی شبکه مقدار قابلیت اطمینان افزایش و مقدار مواجهه با کمبود کاهش پیدا کرده است. همچنین با بررسی جبهه پارتو می توان بیان کرد با افزایش نرخ عدم قطعیت، تقاضای مشتریان از دارو های مختلف افزایش یافته و به دلیل افزایش میزان تردد وسایل نقلیه جهت انتقال محصولت به مشتریان، هزینه های انتقال و در نتیجه هزینه های کل افزایش یافته است. از سوی دیگر با افزایش نرخ عدم قطعیت، به دلیل افزایش تقاضا، امکان برآورده سازی

تقاضای مشتریان در دوره های مختلف کاهش یافته و لذا مقدار مجموع کمبود افزایش یافته است. در جدول (4) مکان یابی تسهیلات مختلف در نرخ های مختلف عدم قطعیت برای مسئله نمونه سائز کوچک نشان داده شده است.

جدول 4- مکان یابی تسهیلات بالقوه در مسئله نمونه سائز بسیار کوچک

α_s	تامین کننده	تولید کننده	توزیع کننده	خرده فروش
0.3	2	1	3	4
0.5	2	2	3	3
0.7	2	2	3	4

مطابق با جدول (4) شماره مرکز انتخاب شده در طراحی شبکه زنجیره تامین نشان داده شده است. در جدول (5) نیز مسیر یابی وسیله نقلیه در نرخ های مختلف عدم قطعیت و در سناریو های مختلف نشان داده شده است.

جدول 5- مسیریابی وسیله نقلیه در سناریو ها مختلف در مسئله نمونه سائز بسیار کوچک

α_s	سناریو	دوره زمانی	مسیریابی وسیله نقلیه
0.3	1	1	$L4 \rightarrow C1 \rightarrow C4 \rightarrow C3 \rightarrow C2 \rightarrow L4$
		2	$L4 \rightarrow C1 \rightarrow C4 \rightarrow C3 \rightarrow C2 \rightarrow L4$
		3	$L4 \rightarrow C2 \rightarrow C3 \rightarrow C1 \rightarrow C4 \rightarrow L4$
	2	1	$L4 \rightarrow C2 \rightarrow C4 \rightarrow C1 \rightarrow C3 \rightarrow L4$
		2	$L4 \rightarrow C3 \rightarrow C2 \rightarrow C4 \rightarrow C1 \rightarrow L4$
		3	$L4 \rightarrow C2 \rightarrow C1 \rightarrow C4 \rightarrow C3 \rightarrow L4$
0.5	1	1	$L3 \rightarrow C3 \rightarrow C2 \rightarrow C4 \rightarrow C1 \rightarrow L3$
		2	$L3 \rightarrow C4 \rightarrow C3 \rightarrow C1 \rightarrow C2 \rightarrow L3$
		3	$L3 \rightarrow C2 \rightarrow C4 \rightarrow C1 \rightarrow C3 \rightarrow L3$
	2	1	$L3 \rightarrow C3 \rightarrow C2 \rightarrow C1 \rightarrow C4 \rightarrow L3$
		2	$L3 \rightarrow C2 \rightarrow C1 \rightarrow C3 \rightarrow C4 \rightarrow L3$
		3	$L3 \rightarrow C3 \rightarrow C1 \rightarrow C4 \rightarrow C2 \rightarrow L3$
0.5	1	1	$L4 \rightarrow C2 \rightarrow C4 \rightarrow C3 \rightarrow C1 \rightarrow L4$
		2	$L4 \rightarrow C3 \rightarrow C2 \rightarrow C1 \rightarrow C4 \rightarrow L4$
		3	$L4 \rightarrow C4 \rightarrow C1 \rightarrow C2 \rightarrow C3 \rightarrow L4$
	2	1	$L4 \rightarrow C2 \rightarrow C1 \rightarrow C3 \rightarrow C4 \rightarrow L4$
		2	$L4 \rightarrow C1 \rightarrow C2 \rightarrow C3 \rightarrow C4 \rightarrow L4$
		3	$L4 \rightarrow C3 \rightarrow C4 \rightarrow C1 \rightarrow C2 \rightarrow L4$

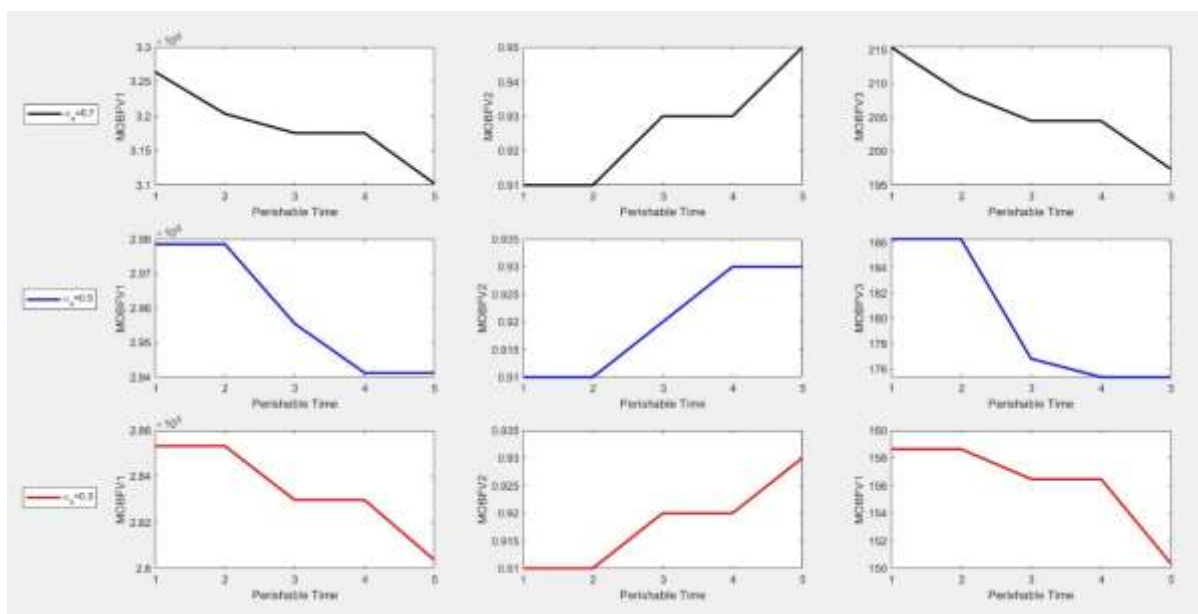
با توجه به تاثیر گذاری زمان فساد پذیری بر روس مقدار انباشته انبارهای و همچنین هزینه های کل شبکه زنجیره تامین در ادامه به بررسی تغییرات مقادیر توابع هدف به ازای تغییرات فساد پذیری در نرخ های مختلف عدم قطعیت پرداخته شده است. با توجه به اینکه زمان فساد پذیری به طور متوسط 3 دوره زمانی برای هر دارو در نظر گرفته شده بود، در جدول (5) تحلیل حساسیت بر روی زمان فساد پذیری از 1 تا 5 دوره زمانی بررسی شده است.

جدول 6- تاثیر زمان فسادپذیری دارو بر روی میانگین توابع هدف در نرخ های مختلف عدم قطعیت

α_s	U_p	MOBFV1	MOBFV2	MOBFV3
0.3	1	285316.3	0.91	158.64
	2	285316.3	0.91	158.64
	3	282968.4	0.92	156.47
	4	282968.4	0.92	156.47

150.34	0.93	280364.2	5	0.5
186.25	0.91	297852.1	1	
186.25	0.91	297852.1	2	
176.81	0.92	295547.1	3	
175.36	0.93	294124.3	4	
175.36	0.93	294124.3	5	
215.36	0.91	326412.3	1	0.7
208.64	0.91	320345.3	2	
204.48	0.93	317545.5	3	
204.48	0.93	317545.5	4	
197.36	0.95	310235.6	5	

مطابق با جدول (6) مشاهده می گردد با افزایش زمان فساد پذیری، هزینه های کل به دلیل نگهداری بالا و توان خرید مواد اولیه بالا با قیمت پایین تر کاهش پیدا کرده است. از سویی به دلیل افزایش میزان موجودی کالا به دلیل افزایش زمان نگهداری در انبارهای توزیع کننده و خرده فروش، مقدار کمبود کاهش پیدا کرده است. نتایج نشان میدهد با افزایش زمان فساد پذیری قابلیت اطمینان در انتقال محصولات فساد پذیر از سوی تامین کننده به مشتری نیز افزایش یافته است. شکل (3) روند تغییرات میانگین جواب های کارا به ازای نرخ های مختلف عدم قطعیت را در زمان های مختلف فساد پذیری نشان میدهد.



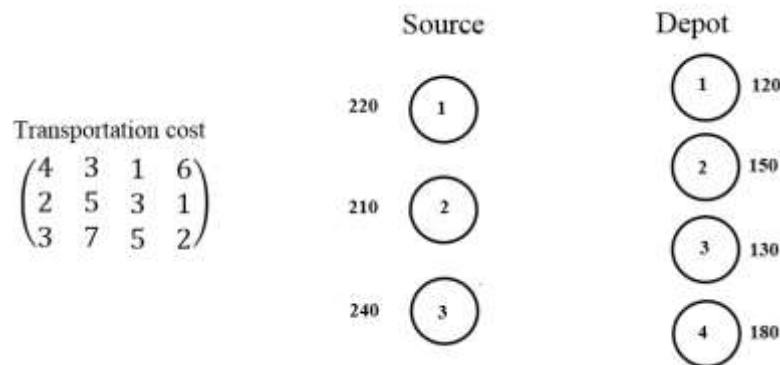
شکل 3- تاثیر زمان فسادپذیری دارو بر روی میانگین توابع هدف در نرخ های مختلف عدم قطعیت

4-2- حل مسئله نمونه در سایز بزرگتر

با توجه به اثبات NP_Hard بودن مدل شبکه زنجیره تامین داروی پیشنهادی در این تحقیق و همچنین غیر خطی بودن مدل ریاضی، در ادامه به منظور حل مسائل نمونه در سایز های بزرگتر از الگوریتم های فرا ابتکاری NSGA II و MOWOA استفاده شده است. از این رو قبل از ارائه نتایج محاسباتی به تشریح جواب اولیه مرتبط با مسئله و تنظیم پارامتر الگوریتم های فرا ابتکاری پرداخته شده است.

جواب اولیه

رمزگذاری بیان شده به رمزگذاری مبتنی بر اولویت مشهور است که توسط جن و همکاران در سال 2008 معرفی شده است. در این رمزگذاری شبکه زنجیره تأمین به سطوح تشکیل دهنده آن تقسیم شده و هر سطح متناسب با ظرفیت، تقاضا، نوع وسیله نقلیه و غیره در طراحی کروموزوم اولیه در نظر گرفته می شود. شکل (4) نمونه ای از شبکه زنجیره تأمین دو سطحی را با سه منبع و 4 دپو نشان می دهد. در این شکل مکان یابی بر روی منابع صورت گرفته و منابع بایستی تقاضاهای دپو را برآورد کنند.



شکل 4- نمونه ای از شبکه زنجیره تأمین دو سطحی

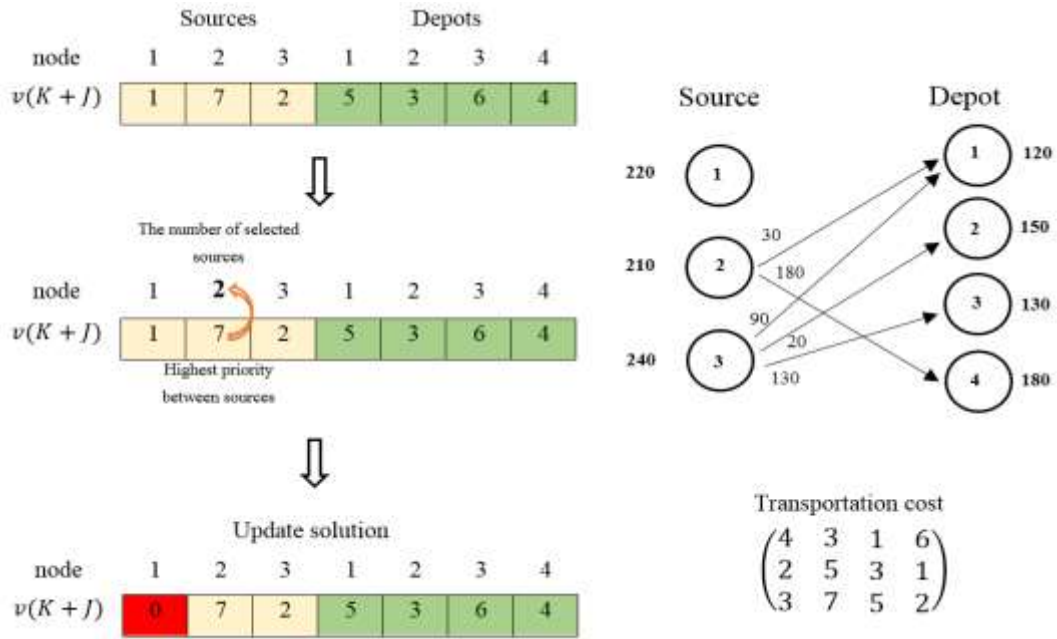
شکل (5) نمونه ای کروموزوم اولیه و رمز گشایی آن را نشان می دهد. رمز گشایی مبتنی بر اولویت اصلاح شده در شکل (5) مطابق با 4 گام زیر می باشد:

گام 1- ابتدا بزرگ ترین اولویت (عدد) از بین کروموزوم مربوط به منابع انتخاب می شود. در صورتی که منبع قادر به تأمین کل دپو ها باشد، اولویت بقیه منابع به صفر کاهش می یابد. در این صورت مکان یابی بر روی منابعی که دارای اولویت صفر نیستند انجام می پذیرد.

گام 2- بزرگ ترین اولویت (عدد) از بین کل کروموزوم به عنوان اولین سطح تخصیص انتخاب می شود.

گام 3- بر اساس هزینه حمل و نقل، کمترین هزینه حمل و نقل از سطح تخصیص انتخاب شده از گام (2)، (منبع / دپو) با سطح قابل تخصیص جدید (دپو / منبع)، برآورد شده و دومین سطح تخصیص مشخص می شود.

گام 4- بعد از تعیین منبع و دپو، حداقل مقدار تقاضای دپو و ظرفیت منبع به عنوان مقدار بهینه تخصیص، در نظر گرفته می شود. پس از انجام عمل تخصیص، مقدار تقاضای دپو و همچنین ظرفیت منبع به روزرسانی می شود.



شکل 5- نحوه رمز گذاری و رمز گشایی مبتنی بر اولویت اصلاح شده

در شکل (6) شبه کد رمز گشایی مبتنی بر اولویت در یک شبکه زنجیره تأمین دو سطحی نشان داده شده است.

Inputs:

K : Set of sources

J : Set of depots

P : Set of Product

Dem_{jp} : Demand on depot j of product p

Cap_k : Capacity of source k

Tr_{kj} : Transportation cost of one unit of product from source k to depot j

$v(K+J)$: Encoded solution

Output:

X_{kjp} : Quantity of shipment between source k and depot j

S_{jp} : Shortage of depot j of product p

Y_k : Opening of a center at location k

For $s = 1$ to S

Step 1. For $p = 1$ to P

Select a node on $l = \arg \max\{v(k), \forall k \in K\}$, so $\sum_k Y_k = l$

Step 2. While $|\{d\}| < l$

Select a node on $d = \arg \max\{v(k), k \in K\}$

If $|\{d\}| = l$ then $v(k-l) = 0, \forall k \in K, l \in L$

$Tr_{(k-l)j} = \inf, \forall j \in J, k \in K, l \in L$

$Cap_{(k-l)} = 0, \forall k \in K, l \in L$

Step 3. While $v(|k| + j) \neq 0, \forall j \in J$

Step 4. $X_{kjp} = 0, S_{jp} = 0, \forall j \in J, k \in K, p \in P$

Step 5. Select a node based on $l = \arg \max\{v(p), p \in |K| + |J|\}, \forall j \in J, k \in K$

Step 6. If $l \in k$ a source is selected $k^* = l$

Then $j^* = \arg \min\{Tr_{kj}|v(j) \neq 0\}, \forall j \in J$ select a depot with minimum cost

Else $l \in j$ a depot is selected $j^* = l$

Then $k^* = \arg \min\{Tr_{kj}|v(k) \neq 0\}, \forall k \in K$ select a source with minimum cost

Step 7. Update demands and capacities

$$X_{k^*j^*p} = \min(Cap_{k^*}, Dem_{j^*p} + S_{j^*p})$$

$$Cap_{k^*} = Cap_{k^*} - X_{k^*j^*p}$$

$$Dem_{j^*p} = Dem_{j^*p} + S_{j^*p} - X_{k^*j^*p}$$

Step 8. If $Cap_{k^*} = 0$ then $v(k^*) = 0$

If $Dem_{j^*p} = 0$ then $v(j^*) = 0$

Step 9. If $\sum_{j,p} X_{kjp} > 0$ then $Y_k = 1$
End

شکل 6- شبه کد رمز گشایی مبتنی بر اولویت در یک شبکه زنجیره تأمین دو سطحی

با توجه به 5 سطحی بودن شبکه زنجیره تأمین دارو طراحی شده، کروموزوم نهایی طراحی شده به شرح شکل (7) می باشد. از آنجایی که مسئله به صورت چند محصولی و در چند سناریو مختلف در نظر گرفته شده است. لذا به ازای هر محصول در هر سناریو بایستی یک کروموزوم نهایی از شکل (7) تولید و مطابق با شبه کد ارائه شده در شکل (6) رمز گشایی گردد.

Product (P) – Senario (S)

Nodes	I	J	J	K	K	L	L	L	L	C
Priority	$v(I + J)$	$v(J + K)$	$v(J + K)$	$v(K + L)$	$v(K + L)$	$v(L + L)$	$v(L + L)$	$v(L + L)$	$v(L + L)$	$v(L + C)$

شکل 7- کروموزوم نهایی طراحی شده برای شبکه زنجیره تأمین دارو

در نهایت با توجه به پیوسته بودن فضای جستجوی دو الگوریتم MOWOA و NSGA II و همچنین گسسته بودن کروموزوم طراحی شده؛ با استفاده از شکل (8)، فضای پیوسته کروموزوم به فضای گسسته تبدیل می شود. در این شکل بزرگترین عدد در کروموزوم پیوسته مشخص شده و شماره خانه مربوط به آن به عنوان اولین اولویت کروموزوم گسسته انتخاب می شود.

Node	1	2	3	4	5	6
Random number in continuous space	0.94	1.19	0.17	5.98	4.16	4.27
Sort of biggest to smaller						
Priority in discrete space	4	6	5	2	1	3
Random number in continuous space	5.98	4.27	4.16	1.19	0.94	0.7

شکل 8- نحوه تبدیل فضای پیوسته به فضای گسسته

از آنجایی که قبل از حل مسئله با الگوریتم های فرا ابتکاری نیاز به تنظیم پارامترهای الگوریتم های به کار رفت در مدل جهت افزایش کارایی الگوریتم در تسریع در رسیدن به جواب های کارا می باشد؛ لذا در ادامه، مقادیر بهینه پارامترهای الگوریتم های فرا ابتکاری نشان داده شده است. برای دستیابی به پارامترهای بهینه از روش تاگوچی استفاده شده است. لذا برای تعیین جواب نهایی هر آزمایش از شاخص های زیر استفاده شده است.

میانگین‌های توابع هدف: از آنجایی که هدف اصلی کسب جواب‌های کارای مطلوب می‌باشد، یعنی به‌طور هم‌زمان به بهترین مقدار سه تابع هدف نائل شدن؛ از این‌رو میانگین‌های سه تابع هدف مسئله نیز جزو شاخص‌های محاسباتی به کار می‌رود. از آنجایی که مقادیر توابع هدف از نوع بیشینه‌سازی می‌باشد. بیشتر بودن میانگین‌های توابع هدف، نتیجه کارایی بالای الگوریتم می‌باشد.

زمان محاسبات (CPU-Time): الگوریتمی که زمان محاسبات کمتری داشته باشد، مطلوب‌تر خواهد بود.

تعداد جواب‌ها در پارتو (Number of Pareto Solution): تعداد جواب‌های نامغلوب در مجموعه پارتو به‌دست آمده برای هر مسئله را نشان می‌دهد و هر مقدار تعداد این نقاط بیشتر باشد بدین معنی است که الگوریتم کارایی بیشتری دارد.

بیش‌ترین گسترش (MSI): این معیار نشان می‌دهد که چه میزان از جواب‌های یک مجموعه پارتو در فضای جواب توزیع شده که از رابطه زیر محاسبه می‌شود. بزرگ‌تر بودن مقدار این معیار، نشان‌دهنده تنوع مناسب جواب‌های مجموعه پارتو است.

$$MSI = \sqrt{\sum_{m=1}^M (\max_{i=1:|Q|} f_m^i - \min_{i=1:|Q|} f_m^i)^2} \quad (61)$$

فاصله‌گذاری (SM): نشان‌دهنده میزان قرار گرفتن جواب‌ها به‌طور یکنواخت در کنار هم بوده که از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$SM = \sqrt{\frac{1}{|Q|} \sum_{i=1}^{|Q|} (d_i - \bar{d})^2} \quad (62)$$

در رابطه بالا، $|Q|$ بیانگر اندازه آرشیو پارتو می‌باشد و مقدار $\bar{d}$ را می‌توان از رابطه زیر محاسبه کرد. الگوریتمی که میزان این معیار کمتر باشد، مطلوب‌تر خواهد بود.

$$\bar{d} = \sum_{i=1}^{|Q|} \frac{\min_{k \in Q, k \neq i} \sum_{m=1}^M |f_m^i - f_m^k|}{|Q|} \quad (63)$$

فاصله از نقطه ایده‌آل (MID): این معیار که برای اندازه‌گیری میزان نزدیکی به سطح بهینه پارتو واقعی، به کار می‌رود که از رابطه زیر محاسبه می‌شود. الگوریتمی که کمترین مقدار این شاخص را داشته باشد، کارایی بالاتری دارد.

$$MID = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(f_{1i} - f_1^*)^2 + (f_{2i} - f_2^*)^2 + \dots + (f_{mi} - f_m^*)^2}}{n} \quad (64)$$

در این رابطه n ، تعداد جواب‌ها در مجموعه بهینه پارتو است.

پس از دستیابی به شاخص‌های فوق، جهت دستیابی به جواب هر آزمایش از روابط زیر استفاده شده است.

$$R_i = \frac{|MOBFV1 + MOBFV2 + MOBFV3 + NPF + MSI + SM + MID + CPU_time|}{7} \quad (64)$$

$$PRD_i = \frac{R_i - R_i^*}{R_i} \quad (65)$$

در روابط فوق، R_i میانگین شاخص‌های بدست آمده در هر آزمایش و R_i^* بهترین مقدار میانگین شاخص بدست آمده در کل آزمایشات می‌باشد. با توجه به آزمایشات انجام شده، پارامترهای بهینه هر الگوریتم به روش تاگوچی به شرح جدول (7) بدست آمده است.

جدول 7- مقدار بهینه پارامترهای الگوریتم NSGA II و MOWOA با روش تاگوچی

MOWOA		NSGA II	
150	Nwhale	150	Npop
200	Max it	200	Max it
1	A	0.3	P _c
1.5	C	0.5	P _m

در ادامه 15 مسئله نمونه در سایزهای بزرگ تر مطابق با داده‌های ارائه شده در جدول (2) و (3) طراحی شده است. هر یک از مسائل نمونه طراحی شده در سایز بزرگ تر توسط الگوریتم‌های MOWOA و NSGA II 5 بار اجرا شده‌اند که میانگین‌های مجموعه شاخص‌های هر یک از اجراها در جدول (8) نشان داده شده است.

جدول 8- میانگین شاخص‌های مقایسه جواب‌های کارا بین الگوریتم‌های فرا ابتکاری در سایز بزرگ

مسئله	MOBFV1	MOBFV2	MOBFV3	NPF	MSI	SM	MID	Cpu_time
MOWOA								
1	292201.84	170.29	0.986	55	2577.9	301.6	0.63	27.23
2	354933.80	305.38	0.994	57	3984.0	281.6	0.88	63.28
3	380156.16	381.02	0.993	65	3595.1	413.3	0.59	95.15
4	415673.04	632.92	0.991	81	3061.0	535.6	0.64	131.26
5	603209.89	729.08	0.994	73	3126.8	337.5	0.55	187.75
6	767019.08	729.57	0.993	80	3981.0	510.7	0.79	237.20
7	821499.57	812.22	0.984	76	2828.0	470.2	0.84	272.88
8	856451.12	865.68	0.983	83	4598.3	208.6	0.77	344.53
9	880676.90	1118.00	1.000	76	4142.3	486.8	0.71	449.80
10	1022201.17	1318.60	0.983	87	4938.2	350.8	0.82	499.83
11	1173669.76	1527.51	0.981	81	4946.7	566.6	0.82	563.06
12	1524203.68	1546.23	0.991	89	4738.5	206.0	0.84	692.97
13	1729207.74	1806.18	0.998	73	2616.1	384.9	0.82	793.68
14	1800951.02	2022.35	0.993	86	2748.2	363.9	0.97	945.18
15	1824006.38	2329.50	0.984	85	3615.9	384.6	0.60	1398.16
NSGA II								
1	290358.06	169.24	0.982	84	4821.6	434.7	0.85	21.23
2	353455.69	312.34	0.987	83	5131.1	296.1	0.62	52.99
3	377096.41	406.37	0.984	79	4510.4	435.1	0.56	76.88
4	413983.81	635.92	0.990	74	5549.5	341.7	0.80	97.45
5	609600.71	735.04	0.987	76	5298.9	212.8	0.73	126.45
6	768416.15	752.48	0.999	82	5926.2	276.2	0.73	149.88
7	858001.38	824.03	0.998	83	4823.3	412.7	0.83	193.71
8	865112.41	875.13	0.981	76	4318.6	342.5	0.89	218.12
9	874469.26	1093.71	0.995	79	3760.7	241.6	0.68	268.44
10	1071152.19	1330.91	0.985	81	5023.9	333.7	0.83	325.88
11	1230331.18	1576.67	0.989	83	5440.0	381.6	0.71	391.66
12	1547216.25	1585.55	0.991	89	4556.3	257.3	0.92	476.78
13	1707971.17	1768.22	0.999	81	3720.5	422.8	0.92	593.56
14	1797490.74	2017.02	0.988	79	4161.7	285.4	0.63	763.45
15	1840703.86	2488.38	1.000	78	3881.4	472.7	0.81	1154.45

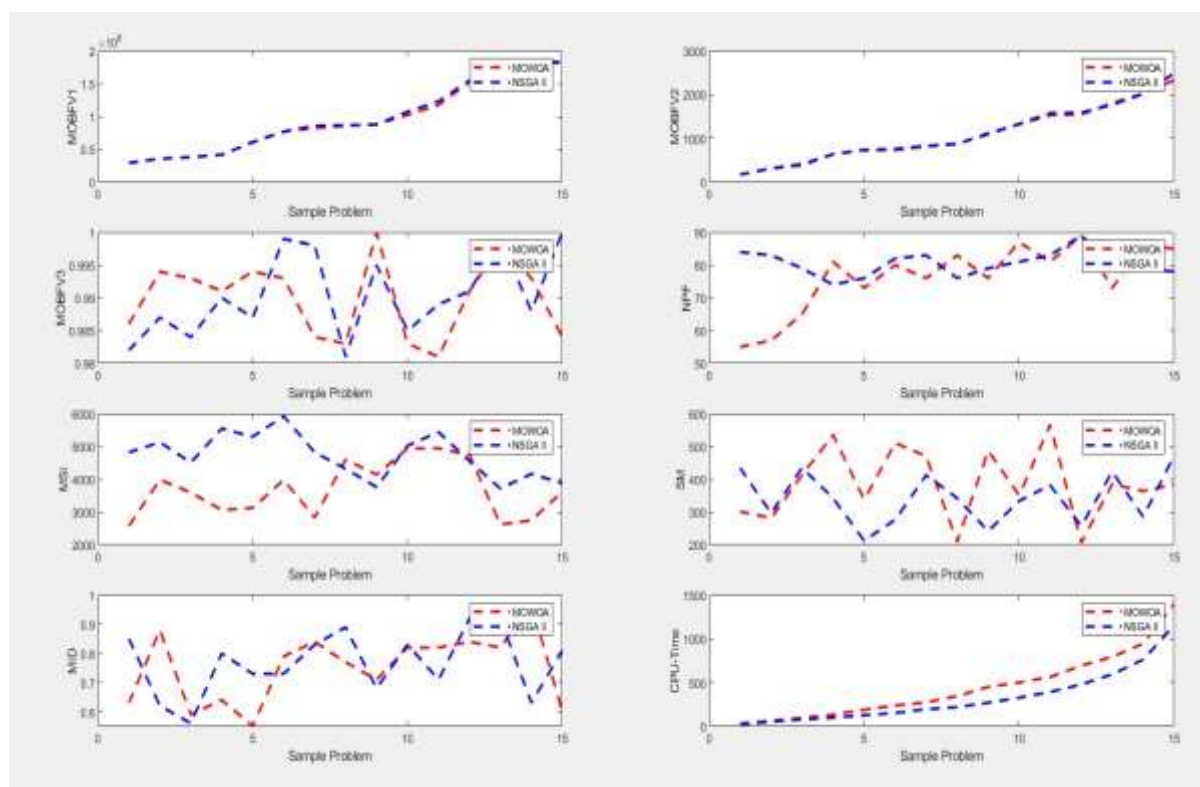
در جدول (8) میانگین‌های توابع هدف و شاخص‌های مقایسه الگوریتم‌های فرا ابتکاری در هر مسئله نمونه با الگوریتم‌های NSGA II و MOWOA نشان داده شده است. برای مقایسه نتایج به دست آمده از آزمون T-Test در سطح اطمینان 95٪ برای مقایسه اختلاف معناداری میانگین‌های هر شاخص استفاده شده است. از این رو، در صورتی که مقدار آماره آزمون P به دست آمده برای هر شاخص، کمتر از مقدار 0/05 باشد؛ رد صفر رد شده و نشان می‌دهد بین میانگین‌های آن شاخص اختلاف معناداری وجود دارد و در صورتی که مقدار آماره آزمون P بیشتر از 0/95 باشد؛ فرض یک رد شده و نشان‌دهنده عدم اختلاف معناداری در میانگین‌های آن شاخص است. جدول (9) نتایج خروجی آزمون T-Test را بر روی میانگین‌های توابع هدف و شاخص‌های مقایسه نشان می‌دهد.

جدول 9- نتایج خروجی آزمون T-Test بر روی میانگین‌های توابع هدف و شاخص‌های محاسباتی

شاخص	الگوریتم	تعداد نمونه	میانگین	انحراف معیار	فاصله اطمینان 95٪	آماره آزمون T	آماره آزمون P
MOBFV1	MOWOA	75	963070.74	538140.5	(22728.1 -1488.3)	1.88	0.081
	NSGA II	75	973690.62	541451.0			
MOBFV2	MOWOA	75	1086.30	650.92	(43.11 -6.25)	1.60	0.132
	NSGA II	75	1104.7	670.5			

0.815	0.239	(-0.00373 0.0466)	0.01	0.99	75	MOWOA	MOBFV3
			0.01	0.99	75	NSGA II	
0.198	1.35	(-2.35 10.35)	10.4	76.47	75	MOWOA	NPF
			3.80	80.47	75	NSGA II	
0.197	1.24	(-1578.12 478.6)	852.86	3699.87	75	MOWOA	MSI
			678.4	4728.27	75	NSGA II	
0.186	1.36	(-2526 12347)	111.65	386.85	75	MOWOA	SM
			80.66	343.13	75	NSGA II	
0.712	0.37	(-0.075 0.107)	0.12	0.75	75	MOWOA	MID
			0.11	0.77	75	NSGA II	
0.601	0.53	(-74.23 164.56)	382.5	446.80	75	MOWOA	CPU_time
			311.83	327.40	75	NSGA II	

مطابق با جدول (9) و با در نظر گرفتن مقدار آماره آزمون P مشاهده می‌شود بین میانگین‌های توابع هدف به‌دست‌آمده و همچنین شاخص‌های مقایسه الگوریتم‌های فرا ابتکاری اختلاف معناداری وجود ندارد. از این رو بایستی برای انتخاب کاراترین الگوریتم از حیث شاخص‌های مورد مقایسه از دیگر روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه استفاده شود. در ادامه و در شکل (9) به مقایسه میانگین‌های توابع هدف و شاخص‌های مقایسه در مسائل نمونه مختلف با الگوریتم‌های فرا ابتکاری پرداخته شده است.



شکل 9- مقایسه میانگین‌های توابع هدف و شاخص‌های مقایسه در مسائل نمونه با الگوریتم‌های فرا ابتکاری

با دقت در شکل (9) می‌توان دریافت که زمان محاسباتی با افزایش اندازه مسائل نمونه به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد که دلیلی بر NP-Hard بودن مسئله می‌باشد. با این حال الگوریتم NSGA II تا مسائل سایز متوسط از نظر زمان محاسباتی بهتر از الگوریتم MOBOA می‌باشد ولی با افزایش سایز مسئله زمان محاسباتی کسب‌شده توسط این الگوریتم به‌شدت افزایش یافته است. با توجه به اینکه نتایج نشان داد که بین هیچ کدام از شاخص‌های مورد محاسبه اول اختلاف معناداری وجود ندارد. در این بخش به‌منظور انتخاب کاراترین الگوریتم از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS استفاده شده است. لذا جدول (10) میانگین‌های کلی کسب‌شده از 75 مسئله نمونه را نشان می‌دهد.

جدول 10- میانگین‌های شاخص‌های به‌دست‌آمده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری

CPU_time	MID	SM	MSI	NPF	MOBFV1	MOBFV1	MOBFV1	الگوریتم
327.40	0.77	343.13	3699.87	80.47	0.99	1086.30	973690.62	NSGA II
446.80	0.75	386.85	4728.27	76.47	0.99	1104.7	963070.74	MOWOA

پس از بی مقیاس سازی نتایج جدول (10)، نتیجه نشان از کارایی الگوریتم MOWOA با کسب وزن مطلوبیت 0.7945 برای حل مدل شبکه زنجیره تامین داروی چند سطحی می باشد.

5- نتیجه گیری

در این مقاله یک شبکه زنجیره تامین 5 سطحی شامل تامین کننده های مواد اولیه، مراکز تولید دارو، توزیع کننده ها، خرده فروشان و مشتریان نهایی تحت عدم قطعیت مدل سازی شده است. ویژگی های اصلی مدل در نظر گرفتن تخفیف کلی در خرید مواد اولیه توسط مراکز تولید، قابلیت اطمینان در انتقال دارو به مشتریان نهایی و کنترل پارامترهای غیر قطعی با روش برنامه ریزی استوار-فازی-احتمالی می باشد. از این رو یک مدل غیر قطعی از مسئله ابتدا طراحی که در آن پارامترهای تقاضا، هزینه های انتقال، نگهداری و عملیاتی به صورت غیر قطعی ارائه گردید که جهت کنترل این پارامترهای روش برنامه ریزی استوار-فازی-احتمالی به کار گرفته شد. اهداف اصلی مدل کمینه سازی هزینه های کل طراحی شبکه، بیشینه سازی قابلیت اطمینان و کمینه سازی تقاضای برآورده نشده می باشد. برای حل مسئله از روش های دقیق نظیر روش تصمیم گیری چند هدفه معیار جامع در سائز کوچک و الگوریتم های فرا ابتکاری NSGA II و MOWOA در سائزهای بزرگتر استفاده شده است. نتایج حاصل از محاسبات نشان داد با افزایش نرخ عدم قطعیت هزینه های کل طراحی شبکه و همچنین کمبود بوجود آمده افزایش یافته است. از سویی با انجام تحلیل حساسیت بر روی پارامتر مهم فسادپذیری مشخص شد با افزایش زمان فساد پذیری هزینه های کل شبکه کاهش، قابلیت اطمینان در انتقال محصولات فسادپذیر افزایش و کمبود نیز کاهش پیدا کرده است. در سائز های بزرگتر نیز 15 مسئله نمونه در سائزهای مختلف طراحی شد که نتایج حاصل از آن نشان داد که اختلاف معناداری بین میانگین های الگوریتم های فرا ابتکاری بین شاخص های وجود ندارد. لذا جهت تصمیم گیری در خصوص کارایی الگوریتم ها روش تاپسیس به کار گرفته شد که نتیجه این امر کارایی بالای الگوریتم MOWOA با کسب وزن مطلوبیت 0.7945 برای حل مدل شبکه زنجیره تامین داروی چند سطحی بود.

منابع

- Akbarpour, M., Torabi, S. A., & Ghavamifar, A. (2020). Designing an integrated pharmaceutical relief chain network under demand uncertainty. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 136, 101867
- Aliahmadi, A., Ghahremani-Nahr, J., & Nozari, H. (2023). Pricing decisions in the closed-loop supply chain network, taking into account the queuing system in production centers. *Expert Systems with Applications*, 212, 118741.
- Alkaabneh, F., Diabat, A., & Gao, H. O. (2020). Benders decomposition for the inventory vehicle routing problem with perishable products and environmental costs. *Computers & Operations Research*, 113, 104751.
- Baboli, A., Fondrevelle, J., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Mehrabi, A. (2011). A replenishment policy based on joint optimization in a downstream pharmaceutical supply chain: centralized vs. decentralized replenishment. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 57(1–4), 367–378.
- Biuki, M., Kazemi, A., & Alinezhad, A. (2020). An integrated location–routing–inventory model for sustainable design of a perishable products supply chain network. *Journal of Cleaner Production*, 260, 120842.
- Diabat, A., Abdallah, T., & Le, T. (2016). A hybrid tabu search based heuristic for the periodic distribution inventory problem with perishable goods. *Annals of Operations Research*, 242(2), 373–398.
- Mardan, E., Govindan, K., Mina, H., & Gholami-Zanjani, S. M. (2019). An accelerated benders decomposition algorithm for a bi-objective green closed loop supply chain network design problem. *Journal of Cleaner Production*, 235, 1499–1514.

Masoumi, A. H., Yu, M., & Nagurney, A. (2012). A supply chain generalized network oligopoly model for pharmaceuticals under brand differentiation and perishability. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(4), 762–780.

Mousazadeh, M., Torabi, S. A., & Zahiri, B. (2015). A robust possibilistic programming approach for pharmaceutical supply chain network design. *Computers & Chemical Engineering*, 82, 115–128.

Nagurney, A., & Li, D. (2015). A supply chain network game theory model with product differentiation, outsourcing of production and distribution, and quality and price competition. *Annals of Operations Research*, 226(1), 479–503.

Nasrollahi, M., & Razmi, J. (2019). A mathematical model for designing an integrated pharmaceutical supply chain with maximum expected coverage under uncertainty. *Operational Research*, 1–28.

Nozari, H., & Aliahmadi, A. (2022). Lean supply chain based on IoT and blockchain: Quantitative analysis of critical success factors (CSF). *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 14(3), 149–167.

Nozari, H., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Gharemani-Nahr, J. (2022). A neutrosophic fuzzy programming method to solve a multi-depot vehicle routing model under uncertainty during the covid-19 pandemic. *International Journal of Engineering*, 35(2), 360–371.

Ozsen, L., Coullard, C. R., & Daskin, M. S. (2008). Capacitated warehouse location model with risk pooling. *Naval Research Logistics (NRL)*, 55(4), 295–312.

Sabouhi, F., Pishvae, M. S., & Jabalameli, M. S. (2018). Resilient supply chain design under operational and disruption risks considering quantity discount: A case study of pharmaceutical supply chain. *Computers & Industrial Engineering*, 126, 657–672.

Savadkoobi, E., Mousazadeh, M., & Torabi, S. A. (2018). A possibilistic location–inventory model for multi-period perishable pharmaceutical supply chain network design. *Chemical Engineering Research and Design*, 138, 490–505.

Singh, S. K., & Goh, M. (2018). Multi-objective mixed integer programming and an application in a pharmaceutical supply chain. *International Journal of Production Research*, 57, 124.

Aliahmadi, A., & Nozari, H. (2023, January). Evaluation of security metrics in AIoT and blockchain-based supply chain by Neutrosophic decision-making method. In *Supply Chain Forum: An International Journal* (Vol. 24, No. 1, pp. 31–42). Taylor & Francis.

Weraikat, D., Zanjani, M. K., & Lehoux, N. (2016). Two-echelon pharmaceutical reverse supply chain coordination with customers incentives. *International Journal of Production Economics*, 176, 41–52.

Weraikat, D., Zanjani, M. K., & Lehoux, N. (2019). Improving sustainability in a two-level pharmaceutical supply chain through vendor-managed inventory system. *Operations Research for Health Care*, 21, 44–55.

Zahiri, B., Jula, P., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2018). Design of a pharmaceutical supply chain network under uncertainty considering perishability and substitutability of products. *Information Sciences*, 423, 257–283.

Zahiri, B., Zhuang, J., & Mohammadi, M. (2017). Toward an integrated sustainable-resilient supply chain: A pharmaceutical case study. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 103, 109–142.