

## روش بهینه‌سازی استوار-امکانی در طراحی شبکه زنجیره تأمین دارو در حالت عدم قطعیت و ارائه تخفیف در خرید مواد اولیه

فرامرز نوری<sup>۱</sup>، جاوید قهرمانی<sup>۲\*</sup>

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۰۸ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۰۸	در این مقاله یک شبکه زنجیره تأمین دارو ۵ سطحی تحت عدم قطعیت مدل‌سازی شده است. سطوح این شبکه زنجیره تأمین شامل تأمین‌کنندگان مواد اولیه، مراکز تولیدی، مراکز توزیع‌کننده، مراکز خرده‌فروش و مشتریان است. همچنین، اهداف این مقاله شامل کمینه‌سازی هزینه‌های کل شبکه زنجیره تأمین، کمینه کردن حداکثر تقاضای برآورده نشده و بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان در تحویل به‌موقع داروها با در نظر گرفتن زمان فسادپذیری دارو، تخفیف کلی در خرید مواد اولیه و مسیریابی بهینه وسایل نقلیه است. متغیرهای تصمیم‌گیری مسئله به دودسته استراتژیکی و تاکتیکی تقسیم شده و به ترتیب شامل تعیین تعداد و مکان بهینه تسهیلات بالقوه و تعیین مقدار بهینه جریان دارو بین تسهیلات انتخاب شده است. برای کنترل پارامترهای غیرقطعی از روش بهینه‌سازی استوار-امکانی بهره گرفته شده و از روش ترکیبی معیار جامع و شبیه‌سازی مونت کارلو برای حل مدل چندهدفه استفاده شده است. در نهایت با ارائه یک مثال موردی واقعی با الگوریتم NSGA II، خروجی‌های به‌دست‌آمده از حل مدل مورد بحث قرار گرفته است.
<b>واژگان کلیدی:</b> روش بهینه‌سازی استوار، امکانی، شبکه زنجیره تأمین دارو، شبیه‌سازی مونت کارلو.	

### ۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین بخش‌های ارائه خدمات بهداشتی و درمانی، در دسترس بودن داروهای موردنیاز برای درمان بیماران است. بدیهی است که این امر در گرو برنامه‌ریزی در سطوح مختلف زنجیره دارو و نیز مدیریت عوامل داخلی و خارجی تأثیرگذار بر بخش‌های مختلف زنجیره دارو است که ضمن ایجاد سهولت ارتباط، با شرایط و ویژگی‌های اقتصادی و اجتماعی و شرایط موجود همخوانی داشته و سبب پایداری و ثبات شرکت در بازار رقابت از طریق افزایش کارایی آن شود [۱]. در این میان شرکت‌های توزیع دارو نیز به‌عنوان بخش مهمی از این زنجیره همواره با عدم اطمینان کامل در بخش‌های مختلف زنجیره از جمله تأمین منابع ضعف مدیریت در بخش مشتری، تحویل به‌موقع محصولات و غیره روبرو هستند. مدیران شرکت‌ها باید با تصمیم‌گیری

صحیح و ارزیابی معتبر عملکردشان به چالش‌های پیشرو پاسخ دهند. بدیهی است که پیشرفت روزافزون فناوری و ارتباط در بخش‌های مختلف زنجیره سبب سهولت در ایجاد ارتباط بین آن‌ها شده، از طرف دیگر عوامل محیطی در حال تغییر، سبب افزایش عدم قطعیت و ریسک در برنامه‌ریزی و عملکردها و در نتیجه کارایی این شرکت‌ها نیز گردیده است [۲].

صنعت داروسازی به‌عنوان یک سیستم متشکل از فرآیندها، عملیات و سازمان‌های درگیر در کشف، توسعه و تولید از مواد مخدر و داروها تعریف شده است. زنجیره تأمین دارو به معنای مسیری است که از طریق آن محصولات دارویی باکیفیت مناسب در مکان و زمان مناسب در بین مصرف‌کنندگان نهایی توزیع می‌شوند [۳]. در گذشته شرکت‌های داروسازی مفهوم مدیریت زنجیره تأمین دارو را

\* پست الکترونیک نویسنده مسئول: Javid.ghahremani@yahoo.com

۱. پژوهشگر پژوهشکده مدیریت توسعه و برنامه ریزی، گروه مدیریت توسعه، جهاد دانشگاهی استان آذربایجان شرقی، تبریز  
۲. عضو هیئت علمی پژوهشکده توسعه و برنامه ریزی، گروه مدیریت توسعه، جهاد دانشگاهی استان آذربایجان شرقی، تبریز، ایران

گرفته می‌شود که باهم برای پوشش و پشتیبانی مواد اولیه به محصولات نهایی و توزیع آن‌ها به مشتریان نهایی باهم کار می‌کنند. طراحی شبکه زنجیره تأمین، به‌عنوان یکی از مسائل تصمیم‌گیری کلیدی در مدیریت زنجیره تأمین شناخته می‌شود که نقش بسیار مهمی در عملکرد زنجیره تأمین دارد [۶]. با در نظر گرفتن کارهای تحقیقاتی منتشرشده بر روی طراحی شبکه زنجیره تأمین، تنها یک تعداد محدودی از این مطالعات به‌طور مستقیم با بخش دارویی سروکار دارد. باوجود تمام پیشرفت‌ها و بهبود در روش‌های تولید، ذخیره‌سازی و توزیع، شرکت‌های دارویی هنوز هم به‌طور قابل توجهی از اثربخشی ارضای تقاضای بازار دور هستند؛ بنابراین این زنجیره تأمین‌های دارویی کاملاً نیازمند دریافت کمک از تکنیک‌های بهینه‌سازی اثربخش هستند. گاتیکا و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط برای فرمول‌بندی یک مدل بهینه‌سازی احتمالی چند دوره‌ای، چندبخشی برای یک سیستم موجودی دارویی تحت ریسک و بازده بالقوه ارائه کردند [۷]. لويس و پاپاجوجیا یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای برنامه‌ریزی ظرفیت چندمرکزی درازمدت از یک کارخانه داروسازی تحت عدم قطعیت با توجه به ساختار تجارت شرکت پیشنهاد دادند [۸]. اوستر و همکاران نیز در همین سال، یک مسئله مکان‌یابی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چند محصولی که در آن مکان‌یابی مراکز جمع‌آوری و بازتولیدی را با در نظر گرفتن هم‌زمان جریان روبه‌جلو و معکوس تصمیم‌گیری می‌شد، ارائه کردند. هدف مسئله نیز کمینه کردن هزینه‌های ثابت، حمل‌ونقل و پردازش بود و برای حل مدل از روش تجزیه بندرز بهره گرفتند [۹]. آرامو و باربوسا یک روش مدل‌سازی برای زمان‌بندی و برنامه‌ریزی متوالی یک ساختار زنجیره تأمین با جریان معکوس پیشنهاد دادند. آن‌ها مدل پیشنهادی خود را در یک مطالعه موردی واقعی دارویی به کاربرند [۱۰]. یکی از انواع عدم قطعیت در داده‌ها در تصادفی بودن پارامترهاست. روش‌های برنامه‌ریزی احتمالی بیشترین کاربرد را برای مقابله با این نوع از عدم قطعیت را دارند. بااین‌وجود، در صورت عدم وجود اطلاعات توزیعی در مورد داده‌های تصادفی (به‌عنوان مثال، فقدان داده‌های عینی تاریخی) که بیشتر در مورد شرایط واقعی زندگی است، روش برنامه‌ریزی استوار به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این میان چندین کار در این حوزه انجام شده است. روزتی و همکاران

نادیده می‌گرفتند اما در حال حاضر عوامل متعددی شرکت‌های داروسازی را به تغییر روش‌های مرسوم کسب‌وکار خود سوق می‌دهد که یکی از این عوامل زنجیره تأمین است که در حال تبدیل شدن به یک مزیت رقابتی است. به‌طوری‌که رشد بازار مصرف دارو در جهان در چند سال اخیر و گسترش دامنه و تنوع این محصولات در بازار مصرف جهانی و اهمیت ارتباط تنگاتنگ آن با مقوله سلامت انسان، منجر به افزایش نیاز به بهینه‌سازی روش‌های توزیع این محصولات جهت دستیابی هرچه آسان‌تر مصرف‌کنندگان شده است [۴]. لذا با افزایش رقابت تجاری در صنعت دارو، شرکت‌های دارویی نیز مجبور به بهبود کارایی در بسیاری از جنبه‌های تجاری خود شدند. مدیران این صنعت، نیز درک کردند که صرفاً تولید یک محصول کیفی کافی نیست، بلکه در کنار آن باید به عرضه محصولات با توجه به خواسته‌های موردنظر مشتری (چه موقع، کجا، چگونه) و تغییرات محیط داخلی و خارجی و ریسک‌های ناشی از آن توجه نماید تا در نتیجه کارایی بالاتری داشته باشد. هدف اصلی هر زنجیره تأمین، حداکثر سازی مجموع ارزش ایجادشده است. در این میان ارزش ایجادشده توسط زنجیره تأمین، به اختلاف بین ارزش کالای نهایی نزد مشتری و مجموع هزینه ایجادشده در زنجیره تأمین جهت برآورده سازی نیاز آن مشتری گفته می‌شود [۵]. با توجه به موضوع بیان شده و مباحث مطرح شده، هدف اصلی زنجیره تأمین دارو را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود:

✓ فراهم نمودن دارو

✓ دسترسی در زمان مناسب

✓ کیفیت مناسب

✓ توانایی پرداخت

✓ حفظ سلامتی جامعه

با توجه به اهمیت موضوع دارو و فسادپذیری آن، در این مقاله به ارائه یک مدل ریاضی در طراحی شبکه زنجیره تأمین دارو در حالت فسادپذیری پرداخته شده است.

## مرور ادبیات

یک زنجیره تأمین معمولاً به‌عنوان یک فرایند یکپارچه از یک گروه از سازمان‌ها، مانند تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و خرده‌فروشان در نظر

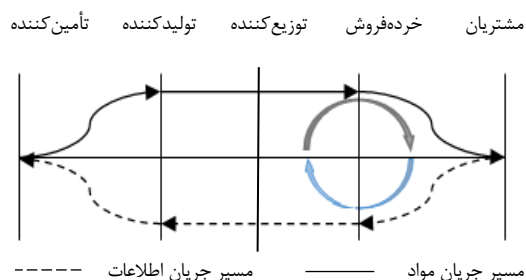
تصمیم‌گیری درباره موضوع استراتژیک همچون تأسیس مراکز تولید دارویی و مراکز توزیع عمده/محلی به همراه موضوع تاکتیکی مانند بهینه جریان مواد در طول یک برنامه‌ریزی میان‌مدت، اشاره می‌کند [۱۹]. سلسبیل و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی استوار امکانی برای مجموعه دارویی آترا طراحی کردند. هدف اصلی تحقیق آن‌ها مدل‌سازی زنجیره دارو در سطح تاکتیکی در شرایط اختلال تحریم بود. نتایج حاصل از مدل نشان داد که در صورتی که مواد اولیه یا نهایی دارای عمر قفسه‌ای باشند و سیستم درصد به حداقل رساندن دورریز باشد، نگهداری ذخیره اطمینان در سیستم به صرفه نیست و هزینه بیشتری را بر سیستم وارد می‌کند [۲۰]. یوسفی سرمد و پیشوایی یک مدل برنامه‌ریزی استوار امکانی در یک شبکه زنجیره تأمین دارو تحت شرایط اختلال ارائه کردند. آن‌ها برای واقعی‌تر کردن مسئله و با توجه به ماهیت غیرقطعی بودن دنیای واقعی و نوسان پارامترها، برخی از پارامترهای مدل، از جمله تقاضای مشتریان را غیرقطعی در نظر گرفتند. در نهایت نتایج حاصله نشان از عملکرد بهتر مدل استوار امکانی نسبت به مدل قطعی را نشان می‌داد [۲۱]. کلانتری و پیشوایی یک مدل برنامه‌ریزی اصلی برای زنجیره تأمین دارو شامل چند تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و چند مرکز توزیع طراحی کردند. هدف اصلی آن‌ها کاهش هزینه‌های لجستیکی و همچنین افزایش سطح رضایت از انتخاب تأمین‌کنندگان بود. نتایج حاصل از مدل غیرقطعی نشان از کارایی بالای این مدل در مقایسه با مدل قطعی بود [۲۲]. حسینی فرد و عباسی تأثیر پایداری و تمرکزگرایی را در زنجیره تأمین خون مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در یک مطالعه موردی نشان دادند که تمرکزگرایی یکی از بهترین فاکتورها در طراحی شبکه زنجیره تأمین است. آن‌ها در نتایج به دست آمده نشان دادند که کاهش دادن تعداد بیمارستان‌هایی که موجودی خون نگهداری می‌کنند می‌تواند تأثیر بسیار زیادی در جلوگیری با مواجهه با کمبود در شرایط اضطراری داشته باشد [۲۳]. ظهیری و پیشوایی یک مدل بهینه‌سازی استوار امکانی دو هدفه برای طراحی شبکه زنجیره تأمین خون توسعه دادند. هدف اول این مدل کاهش هزینه‌های کل شبکه و تابع هدف دوم بهینه کردن تقاضای برآورده نشده است. همچنین آن‌ها برای حل مدل دوهدفه خود از روش ترابی-حسینی استفاده کردند [۲۴].

مارتینس و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی عدد

بر شناسایی و آزمایش نیروهای عمده در زنجیره تأمین دارو که ممکن است خریداری، توزیع و فروش داروهای بیو دارویی را تغییر دهد، تمرکز کردند [۱۱].

سوسا و همکاران در یک مقاله دیگر، یک مدل دینامیکی برنامه‌ریزی-تخصیص باهدف بهینه‌سازی ارزش خالص فعلی در یک شرکت که بر روی زنجیره تأمین دارو جهانی کار می‌کردند پیشنهاد دادند و دو الگوریتم تجزیه متفاوت برای حل مسائل نمونه در سایزهای بزرگ توسعه دادند [۱۲]. سوسارلا و کریمی یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای برنامه‌ریزی زنجیره تأمین یکپارچه‌ی صنایع داروسازی چندملیتی ارائه کردند. مدل ارائه شده توسط آن‌ها به گونه‌ای طراحی شده بود که سود کل زنجیره تأمین را با توجه به برنامه‌ی حمل‌ونقل، تولید و تأمین یکپارچه را با در نظر گرفتن هزینه‌ی نگهداری، مالیات و میزان عمر مواد بهینه کند [۱۳]. جتلی و همکاران یک مدل شبیه‌سازی چندعاملی را برای تحلیل شبکه زنجیره تأمین دارو توسعه دادند [۱۴]. ژانگ و جیانگ یک مدل دو هدفه مخروطی درجه دوم عدد صحیح مختلط برای خدمات پزشکی اورژانس سیستم تحت عدم قطعیت ارائه دادند. برای مقابله با پارامترهای عدم قطعیت، آن‌ها یک مدل بهینه‌سازی استوار را توسعه دادند. در این مقاله به تخصیص نقاط تقاضا به خدمات پزشکی اورژانس و همچنین تعداد و مکان از مراکز اورژانس پرداخته شده است [۱۵]. ظهیری و همکاران یک مدل جدید برنامه‌ریزی امکانی استوار برای تخصیص و مکان‌یابی مراکز پیوند اعضا تحت عدم قطعیت برخی از داده‌ها ارائه کردند. آن‌ها از حداقل‌سازی هزینه‌های کل جهت بالا بردن تأثیر طراحی شبکه‌ی موردنظرشان استفاده و کارایی مدل خود را بر اساس زنجیره تأمین پیوند اعضای ایران بررسی نمودند [۱۶]. جبارزاده و همکاران یک مدل طراحی شبکه پویا برای زنجیره تأمین خون در حوادث توسعه دادند که در آن به دلیل ماهیت نامشخص پارامترهای ورودی از روش بهینه‌سازی استوار استفاده شد [۱۷]. موسی زاده و همکاران بیان کردند ماهیت دینامیکی و غیرقطعی بودن از کمیت و کیفیت محصولات تولیدشده در شبکه صنایع دارویی، موجب یک درجه بالایی از عدم قطعیت در داده‌های موردنیاز موقع طراحی شبکه زنجیره‌های تأمین می‌شود [۱۸]. موسی زاده و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط دو هدفه برای مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین دارویی توسعه دادند. مدل به

نظر گرفتن تخفیف کلی به تولیدکنندگان دارو عرضه می‌کنند. تولیدکنندگان دارو با توجه به تقاضای غیرقطعی مشتریان از هر نوع دارو، به تولید دارو اقدام کرده و برای توزیع به مراکز توزیع دارو انتقال می‌دهند. مراکز توزیع‌کننده دارو با در نظر گرفتن زمان تولید و زمان فسادپذیری دارو در صورت نیاز برخی از داروها را جهت توزیع در دوره‌های بعد در انبار خود ذخیره کرده و برخی از داروها را به مراکز خرده‌فروش جهت فروش به مشتریان انتقال می‌دهند. مراکز خرده‌فروش نیز داروها را با توجه به زمان فسادپذیری، زمان تولید و زمان تحویل یا انبارهای خود ذخیره می‌کنند و یا به صورت مسیریابی وسیله نقلیه به مناطق مشتری انتقال می‌دهند. در این مقاله فسادپذیری دارو به صورت دوره‌های زمانی در نظر گرفته شده داروها قبل از فاسدشدن به مشتری تحویل داده می‌شوند؛ بنابراین مدیریت صحیح انتقال و انبار دارو در مراکز توزیع‌کننده و مراکز خرده‌فروش از مهم‌ترین اهداف این تحقیق به شمار می‌رود.



شکل ۱- شبکه زنجیره تأمین داروی پیشنهادی

با در نظر گرفتن مفروضات زیر، مسئله شبکه زنجیره تأمین دارو مدل‌سازی می‌گردد:

- ۱- مراکز خرده‌فروش جهت برآورده کردن تقاضای مشتریان در صورت نیاز می‌توانند داروهای فسادپذیر را با توجه به زمان فسادپذیری بین خود جابجا کنند.
- ۲- کمبود به صورت فروش از دست رفته می‌باشد.
- ۳- نحوه توزیع دارو به مناطق مشتری از سوی خرده‌فروشان به صورت مسیریابی وسایل نقلیه می‌باشد.
- ۴- هزینه‌های حمل‌ونقل دارو بین تسهیلات، هزینه‌های تولید و توزیع دارو و تقاضای مشتریان از داروها غیرقطعی و به صورت فازی ذوزنقه‌ای در نظر گرفته شده است.

صحیح مختلط باهدف کاهش هزینه‌های زنجیره تأمین دارو ارائه کردند. آن‌ها ۳ سطح مشتری-عمده فروش و تأمین‌کننده را در طراحی مدل خود استفاده کردند. درنهایت یک روش بهینه‌سازی شبیه‌سازی برای حل مدل خود پیشنهاد دادند [۲۵]. ظهیری و همکاران یک شبکه زنجیره تأمین دارو در حالت فسادپذیری دارو با در نظر گرفتن دو تابع هدف کاهش هزینه‌های شبکه زنجیره تأمین و کاهش تقاضای برآورده نشده طراحی کردند. آن‌ها همچنین از روش ترابی حسینی برای حل مدل دو هدفه خود استفاده کردند که نتایج حاکی از کارایی بالای این روش در حل مدل پیشنهادی آن‌ها بود [۲۶]. حبیبی و همکاران در سال ۲۰۱۸ یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه برای طراحی زنجیره تأمین خون پس از بحران ارائه کردند. یک مدل سه سطحی متشکل از اهداکنندگان، مراکز جمع‌آوری خون (دائم و موقت) و مراکز خون را در نظر گرفتند. هدف آن‌ها از این پژوهش تعیین تعداد و مکان تسهیلات، نحوه تخصیص خون به تسهیلات مختلف و همچنین کمینه‌سازی هزینه‌ها و کمبودها که با یکدیگر در تقابل هستند بود. با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی و استفاده از داده‌های واقعی مطالعه موردی شهرستان قائم‌شهر به حل مدل پرداختند [۲۷].

با توجه به مرور ادبیات مطالعه شده، مطالعات گسترده‌ای در خصوص طراحی شبکه زنجیره تأمین در حالت فسادپذیری صورت نپذیرفته است. بامطالعه شکاف‌های تحقیقاتی مقالات مطالعه شده در این مقاله یک شبکه زنجیره تأمین دارو در حالت عدم قطعیت و با در نظر گرفتن زمان فسادپذیری، زمان تولید و زمان تحویل و همچنین اعمال تخفیف در خرید مواد اولیه دارو طراحی شده است. همچنین در این مقاله بر خلاف سایر مقالات در حوزه زنجیره تأمین دارو به بحث مسیریابی وسایل نقلیه و همچنین قابلیت اطمینان در ارسال به موقع محصولات پرداخته شده است.

### تعریف مسئله و مدل سازی

در این مقاله یک شبکه زنجیره تأمین داروی ۵ سطحی شامل تأمین‌کنندگان مواد اولیه دارو، تولیدکنندگان دارویی نهایی، توزیع‌کنندگان، مراکز خرده‌فروش و مشتریان نهایی در نظر گرفته شده است. مطابق با شکل (۱) تأمین‌کنندگان مواد اولیه دارو، مواد اولیه موردنیاز برای تولید دارو را با در

هزینه ثابت استفاده از وسیله نقلیه $v$	$F_v$
هزینه حمل‌ونقل به ازای هر واحد دارو بین مراکز $(b, c) = \{(i, j), (j, k), (k, l), (l, l')\}$	$\bar{T}_{bc}$
هزینه حمل‌ونقل بین مراکز توزیع $l$ و مشتری $c$	$\bar{T}_{lc}$
هزینه نگهداری به ازای یک واحد دارو $p$ در انبار مرکز بالقوه $k$	$hol_{kp}$
هزینه نگهداری به ازای یک واحد دارو $p$ در انبار مرکز بالقوه $l$	$hol_{lp}$
هزینه تولید یک واحد داروی $p$ در مرکز بالقوه $j$	$\bar{C}_{jp}$
هزینه توزیع یک واحد داروی $p$ در مرکز بالقوه $l$	$\bar{C}_{lp}$
تقاضای مشتری $c$ از داروی $p$ در دوره زمانی $t$	$\bar{D}_{cpt}$
زمان فسادپذیری داروی $p$	$u_p$
ظرفیت مرکز بالقوه $d \in \{i, j, k, l\}$ از داروی $p$	$ca_{dp}$
ظرفیت وسیله نقلیه $v$	$ca_v$
قیمت خرید ماده اولیه داروی $p$ از تأمین‌کننده ماده اولیه $i$ با سطح تخفیف $h$	$pr_{ihp}$
کران پایین بازه تخفیف ماده اولیه $p$ در سطح تخفیف $b$ از سوی تأمین‌کننده ماده اولیه $i$ در دوره زمانی $t$	$\Psi_{iht}$
قابلیت اطمینان در ارسال به موقع هر داروی $p$ بین دو سطح $(b, c) = \{(i, j), (j, k), (k, l), (l, l')\}$	$Re_{bcp}$
قابلیت اطمینان در ارسال به موقع هر داروی نهایی $p$ بین مراکز توزیع $l$ و مشتری $c$	$Re_{lcp}$
هزینه جریمه مواجه با عدم برآورده کردن تقاضای مشتری نهایی $c$ از داروی $p$ در دوره زمانی $t$	$\pi_{cpt}$

#### متغیرهای تصمیم:

مقدار دارو انتقال‌یافته $p$ بین دو سطح شبکه $(b, c) = \{(i, j), (j, k), (k, l), (l, l')\}$ در دوره زمانی $t$	$X_{bcpt}$
کل مقدار دارو انتقال‌یافته $p$ به مراکز توزیع $l$ در دوره زمانی $t$	$V'_{lpt}$
مقدار دارو انتقال‌یافته $p$ بین مرکز تولید $k$ و مرکز توزیع $l$ در دوره زمانی $t$ و تولیدشده در دوره زمانی $r$	$T_{kltpr}$
مقدار دارو انتقال‌یافته $p$ بین مراکز توزیع $l$ و $l'$ در دوره زمانی $t$ و تولیدشده در دوره زمانی $r$	$A_{l'lptpr}$
سطح موجودی دارو $p$ در انبار مرکز تولید $k$ در دوره زمانی $t$ و تولیدشده در دوره زمانی $r$	$Q_{kptpr}$
سطح موجودی دارو $p$ در انبار مرکز توزیع $l$ در دوره زمانی $t$ و تولیدشده در دوره زمانی $r$	$Q'_{lptpr}$

- ۵- مکان و تعداد تأمین‌کننده‌های اولیه دارو، تولیدکنندگان دارو، توزیع‌کننده‌ها و مراکز خرده‌فروش نامشخص هستند.
- ۶- مناطق تقاضای مشتریان ثابت و از قبل تعیین‌شده هستند.
- ۷- ظرفیت تسهیلات تمامی مراکز معلوم و مشخص است. اهداف این مقاله شامل دو هدف استراتژیکی و تاکتیکی بوده که هدف استراتژیکی آن مربوط به انتخاب تعداد و مکان تسهیلات بالقوه از جمله تأمین‌کنندگان مواد اولیه دارو، تولیدکنندگان داروهای نهایی، توزیع‌کنندگان عمده دارو و مراکز خرده‌فروش است. هدف تاکتیکی مدل پیشنهادی این مقاله نیز، میزان انتقال صحیح داروها بین تسهیلات انتخاب‌شده، میزان بهینه نگهداری داروها در انبارهای توزیع‌کنندگان دارو و مراکز خرده‌فروش با توجه به زمان تولید و فسادپذیری، انتخاب سطح مناسب تخفیف برای خرید مواد اولیه و مسیریابی بهینه وسایل نقلیه در توزیع دارو به مناطق مشتری به نحوی است که (۱) هزینه‌های ناشی از طراحی شبکه زنجیره تأمین دارو حداقل شود، (۲) حداکثر تقاضای برآورده نشده از تحویل دارو به مشتریان حداقل گردد و (۳) قابلیت اطمینان تسهیلات در تحویل به‌موقع داروها بیشینه شود.

### ۳-۱- مدل‌سازی شبکه چند سطحی زنجیره تأمین دارو

برای مدل‌سازی مجموعه‌ها، پارامتر و متغیرهای تصمیم‌گیری مسئله شبکه چند سطحی زنجیره تأمین دارو به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

#### مجموعه‌ها:

$i = \{1, \dots, I\}$	مجموعه تأمین‌کننده‌ها
$j = \{1, \dots, J\}$	مجموعه مراکز تولیدی
$k = \{1, \dots, K\}$	مجموعه مراکز توزیع‌کننده
$l, l' = \{1, \dots, L\}$	مجموعه مراکز خرده‌فروش
$m, c = \{1, \dots, C\}$	مجموعه مشتریان ثابت
$p = \{1, \dots, P\}$	مجموعه داروها
$t = \{1, \dots, T\}$	مجموعه دوره زمانی
$r = \{1, \dots, T\}$	مجموعه دوره زمانی تولید
$v = \{1, \dots, V\}$	مجموعه وسایل نقلیه
$h = \{1, \dots, H\}$	مجموعه سطوح تخفیف

#### پارامترها:

$$F_a \quad \text{هزینه تأسیس مرکز بالقوه } \{i, j, k, l\} \quad a \in \{i, j, k, l\}$$

$$\min \omega 2 = \max_{c,p,t} \pi_{c,p,t} \left( \sum_{l=1}^L \sigma_{cpt} \bar{D}_{cpt} Z_{lct} \right) \quad (۲)$$

$$\min \omega 3 = \sum_{(b,c)}^{(B,C)} \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T Re_{bc} X_{bcpt} + \sum_{l=1}^{LUC} \sum_{c=1}^{LUC} \sum_{v=1}^V \sum_{t=1}^T Re_{lc} Z_{lcvt} \quad (۳)$$

$$s. t.: \sum_{i=1}^I X_{ijpt} = \sum_{k=1}^K X_{jkpt}, \quad \forall j, p, t \quad (۴)$$

$$\sum_{r=1}^t Q_{kprr} = \sum_{j=1}^J X_{jkpt} - \sum_{l=1}^L X_{klpt}, \quad \forall k, p, t = 1 < u_p \quad (۵)$$

$$\sum_{r=1}^t Q_{kprr} = \sum_{r=1}^{t-1} Q_{kprr} + \sum_{j=1}^J X_{jkpt} - \sum_{l=1}^L X_{klpt}, \quad \forall k, p, 1 < t < u_p \quad (۶)$$

$$\sum_{r=t+1-u_p}^t Q_{kprr} = \sum_{r=t+1-u_p}^{t-1} Q_{kprr} + \sum_{j=1}^J X_{jkpt} - \sum_{l=1}^L X_{klpt}, \quad \forall k, p, t \geq u_p \quad (۷)$$

$$X_{klpt} = \sum_{r=1}^t T_{klptr}, \quad \forall k, l, p, t < u_p \quad (۸)$$

$$X_{klpt} = \sum_{r=t+1-u_p}^t T_{klptr}, \quad \forall k, l, p, t \geq u_p \quad (۹)$$

$$Q_{kprr} = \sum_{j=1}^J X_{jkpt} - \sum_{l=1}^L T_{klptr}, \quad \forall k, p, t = r \quad (۱۰)$$

$$Q_{kprr} = Q_{kprr-1} - \sum_{l=1}^L T_{klptr}, \quad \forall k, p, t = r < u_p \quad (۱۱)$$

$$\sum_{r=1}^t Q'_{lptr} = \sum_{k=1}^K X_{klpt} - V'_{lpt} + \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^L X_{l'lpt} - \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^L X_{l'l'pt}, \quad \forall l, p, t = 1 < u_p \quad (۱۲)$$

$$\sum_{r=1}^t Q'_{lptr} = \sum_{r=1}^{t-1} Q'_{lptr} + \sum_{k=1}^K X_{klpt} - V'_{lpt} \quad (۱۳)$$

در صورتی که مرکز بالقوه  $a \in \{i, j, k, l\}$  تأسیس گردد، مقدار ۱ و در غیر این صورت ۰ می‌گیرد.

در صورتی که مشتری  $c$  به مرکز خرده‌فروش  $l$  در دوره زمانی  $t$  تخصیص یابد، مقدار ۱ و در غیر این صورت ۰ می‌گیرد.

در صورتی که مشتری  $c$  بعد از مرکز خرده‌فروش  $l$  توسط وسیله نقلیه  $v$  در دوره زمانی  $t$  بازدید شود، مقدار ۱ و در غیر این صورت ۰ می‌گیرد.  $l, c \in LUC$

متغیر کمکی برای محدودیت حذف زیر تور درصدی از تقاضای برآورده شده مشتری  $c$  از دارو  $p$  در دوره زمانی  $t$

کل خرید ماده اولیه  $p$  از تأمین‌کننده  $i$  در دوره زمانی  $t$

در صورتی که سطح تخفیف  $h$  برای خرید ماده اولیه  $p$  از تأمین‌کننده مواد اولیه  $i$  در دوره  $t$  انتخاب شود، مقدار ۱ و در غیر این صورت ۰ می‌گیرد.

### مدل‌سازی شبکه چند سطحی زنجیره تأمین دارو در حالت غیرقطعی

با توجه به بیان مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم‌بیان‌شده، مسئله طراحی شبکه چند سطحی زنجیره تأمین دارو به‌عنوان یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی عدد صحیح مختلط به‌صورت ذیل مدل‌سازی می‌شود:

$$\begin{aligned} \min \omega 1 &= \sum_{a=1}^A F_a Z_a + \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^t hol_{kp} Q_{kprr} \\ &+ \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^t hol_{lp} Q'_{lptr} + \sum_{(b,c)}^{(B,C)} \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \tilde{T}_{bc} X_{bcpt} + \sum_{LUC}^{LUC} \sum_{LUC}^{LUC} \sum_{V}^V \sum_{T}^T \tilde{T}_{lc} Z_{lcvt} + \sum_{L}^L \sum_{P}^P \sum_{T}^T \tilde{C}_{lp} V'_{lpt} + \sum_{l=1}^L \sum_{c=1}^C \sum_{v=1}^V \sum_{t=1}^T F_v Z_{lcvt} + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \tilde{C}_{jp} X_{jkpt} + \sum_{i=1}^I \sum_{h=1}^H \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T pr_{ihp} M_{ihpt} X_{ijpt} \end{aligned} \quad (۱)$$

$$\sum_{h=1}^H M_{ihpt} = Z_i, \quad \forall i, p, t \quad (26)$$

$$\Theta_{ipt} = \sum_{j=1}^J X_{ijpt}, \quad \forall i, p, t \quad (27)$$

$$V'_{lpt} = \sum_{c=1}^C \sigma_{cpt} \tilde{D}_{cpt} Z_{lct}, \quad \forall l, p, t \quad (28)$$

$$\sum_{v=1}^V \sum_{l=1}^{CUL} Z_{lcv} = 1, \quad \forall c, v \quad (29)$$

$$\sum_{c=1}^C \sum_{l=1}^{CUL} \sum_{p=1}^P \sigma_{cpt} \tilde{D}_{cpt} Z_{lcv} \leq ca_v, \quad \forall v, t \quad (30)$$

$$U_{mvt} - U_{cvt} + CZ_{mct} \leq C - 1, \quad \forall m, c \in C, v, t \quad (31)$$

$$\sum_{c=1}^{CUL} Z_{lcv} = \sum_{c=1}^{CUL} Z_{cvt}, \quad \forall v, t, l \in C \cup L \quad (32)$$

$$\sum_{l=1}^L \sum_{c=1}^C Z_{lcv} \leq 1, \quad \forall v, t \quad (33)$$

$$\sum_{p=1}^P V'_{lpt} \leq \sum_{p=1}^P ca_{lp} Z_l, \quad \forall l, t \quad (34)$$

$$-Z_{lct} + \sum_{u=1}^{CUL} (Z_{lwt} + Z_{ucvt}) \leq 1, \quad \forall l, c, v, t \quad (35)$$

$$Q_{kptr} = 0, \quad \forall k, b, t < r \quad (36)$$

$$Q'_{lptr} = 0, \quad \forall l, b, t < r \quad (37)$$

$$X_{ijpt}, X_{jkpt}, X_{klpt}, X_{l'ipt}, U_{lvt}, \sigma_{cpt} \geq 0 \quad (38)$$

$$B_{lcptr}, A_{ll'ptr}, T_{klptr}, Q'_{lptr}, Q_{kptr} \geq 0 \quad (39)$$

$$Z_i, Z_j, Z_l, Z_k, Z_{lct}, Z_{lcv} \in \{0,1\} \quad (40)$$

رابطه (۱) تابع هدف اول را نشان می‌دهد و شامل کمینه‌سازی هزینه‌های کل شبکه زنجیره تأمین (هزینه‌های احداث، هزینه‌های نگهداری و هزینه‌های حمل‌ونقل دارو بین مراکز) می‌باشد. رابطه (۲) تابع هدف دوم را نشان می‌دهد و شامل کمینه‌سازی حداکثر تقاضای برآورده نشده از توزیع دارو به مشتریان می‌باشد. رابطه (۳) قابلیت اطمینان حاصل از ارسال محصولات را بین سطوح شبکه زنجیره تأمین افزایش می‌دهد. رابطه (۴) تعادل جریان محصول در مرکز تولیدی را نشان می‌دهد و تضمین میکند کلیه مواد اولیه ارسال شده از سوی تأمین کننده پس از تولید به مرکز توزیع ارسال می‌شود. محدودیت‌های (۵) تا

$$+ \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^L X_{l'ipt} - \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^L X_{ll'ipt}, \quad \forall l, p, 1 < t < u_p$$

$$\sum_{r=t-u_p+1}^t Q'_{lptr} = \sum_{r=t-u_p+1}^{t-1} Q'_{lptr-r} + \sum_{k=1}^K X_{klpt} - V'_{lpt} + \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^L X_{l'ipt} - \quad (14)$$

$$\sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^L X_{ll'ipt}, \quad \forall l, p, t \geq u_p$$

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

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

$$X_{ll'ipt} = \sum_{r=1}^t A_{l'lptr}, \quad \forall l, l', p, t < u_p \quad (17)$$

$$X_{ll'ipt} = \sum_{r=t-u_p+1}^t A_{l'lptr}, \quad \forall l, l', p, t \geq u_p \quad (18)$$

$$Q'_{lptr} = \sum_{k=1}^K T_{klptr} - \sum_{c=1}^C B_{lcptr} + \quad (19)$$

$$\sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^L A_{l'lptr} - \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^L A_{ll'ptr}, \quad \forall l, p, t = r$$

$$Q'_{lptr} = Q'_{lptr-r} - \sum_{c=1}^C B_{lcptr} - \quad (20)$$

$$\sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^L A_{ll'ptr}, \quad \forall l, p, t - r < u_p$$

$$\sum_{j=1}^J X_{ijpt} \leq ca_{ip} Z_i, \quad \forall i, p, t \quad (21)$$

$$\sum_{k=1}^K X_{jkpt} \leq ca_{jp} Z_j, \quad \forall j, p, t \quad (22)$$

$$\sum_{k=1}^K X_{klpt} + \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^L X_{l'ipt} \leq ca_{lp} Z_l, \quad \forall l, p, t \quad (23)$$

$$\sum_{j=1}^J X_{jkpt} \leq ca_{kp} Z_k, \quad \forall k, p, t \quad (24)$$

$$M_{ihpt} \Psi_{ihpt} \leq \Theta_{ipt}, \quad \forall i, h, p, t \quad (25)$$

### مدل بهینه‌سازی استوار - امکانی

با توجه به ذات پویا ونوسانی برخی از پارامترهای مهم (از جمله تقاضاها، هزینه‌های عملیاتی، هزینه حمل‌ونقل و انتقال هر واحد دارو) 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 به شرح زیر فرموله شده است:

$$\begin{aligned} \bar{D}_{cpt} &= (D_{cpt(1)}, D_{cpt(2)}, D_{cpt(3)}, D_{cpt(4)}) \\ \bar{T}_{ij} &= (T_{ij(1)}, T_{ij(2)}, T_{ij(3)}, T_{ij(4)}) \\ \bar{T}_{jk} &= (T_{jk(1)}, T_{jk(2)}, T_{jk(3)}, T_{jk(4)}) \\ \bar{T}_{kl} &= (T_{kl(1)}, T_{kl(2)}, T_{kl(3)}, T_{kl(4)}) \\ \bar{T}_{l' } &= (T_{l'(1)}, T_{l'(2)}, T_{l'(3)}, T_{l'(4)}) \\ \bar{T}_{lc} &= (T_{lc(1)}, T_{lc(2)}, T_{lc(3)}, T_{lc(4)}) \\ \bar{C}_{lp} &= (C_{lp(1)}, C_{lp(2)}, C_{lp(3)}, C_{lp(4)}) \\ \bar{C}_{jp} &= (C_{jp(1)}, C_{jp(2)}, C_{jp(3)}, C_{jp(4)}) \end{aligned}$$

شایان ذکر است که برای تصمیم‌گیری‌های بلندمدت، ارزیابی تقاضای قطعی، سخت و حتی گاهی غیرممکن است. حتی اگر یک نفر بتواند یک تابع توزیع احتمالی برای این دو پارامتر برآورد کند، ممکن است که این پارامترها رفتار مشابهی با داده‌های گذشته نداشته باشند. لذا تقاضای هر محصول در هر دوره، به همراه هزینه تولید و حمل‌ونقل یک واحد محصول که در یک افق برنامه‌ریزی باند مدت تغییر می‌کند به‌عنوان داده‌های فازی<sup>۶</sup> در نظر گرفته شده است [۶]. علاوه بر این، برای مقابله با محدودیت‌های غیرقطعی (محتمل) که داده‌های غیرقطعی در طرف چپ یا راست تساوی خوددارند، معمولاً از روش برنامه‌ریزی محدود غیرقطعی<sup>۱</sup> 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 [۲۸]. برای انجام این کار، دو اقدام روش استاندارد فازی، با عناوین فازی خوش‌بینانه<sup>۲</sup> و فازی بدبینانه<sup>۳</sup> معمولاً استفاده می‌شود. شایان ذکر است که فازی خوش‌بینانه نشان‌دهنده سطح احتمال خوش‌بینانه از وقوع یک رویداد نامشخص شامل پارامترهای غیرقطعی است، درحالی‌که فازی بدبینانه،

(۷) مربوط به میزان نگهداری دارو در انبارهای مراکز تولید را در زمان تولیدشان با توجه به زمان فسادپذیری هر دارو و در هر دوره زمانی را نشان می‌دهد. محدودیت‌های (۸) و (۹) میزان انتقال داروها را از مراکز تولید به مراکز توزیع با توجه به فسادپذیری داروها نشان می‌دهد. محدودیت‌های (۱۰) و (۱۱) سطح موجودی هر نوع دارو را در انبارهای مراکز توزیع و محدودیت‌های (۱۲) تا (۱۴) سطح موجودی هر نوع دارو را در انبارهای مراکز توزیع در کل زمان تولیدشان نشان می‌دهد. محدودیت‌های (۱۵) و (۱۶) میزان انتقال دارو را از مراکز توزیع به تمامی نقاط تقاضای مشتری در هر دوره زمانی نشان می‌دهد. محدودیت‌های (۱۷) و (۱۸) میزان انتقال دارو بین مراکز توزیع را با توجه به تقاضای مشتریان و با لحاظ کرده زمان فسادپذیری نشان می‌دهد. محدودیت‌های (۱۹) و (۲۰) رابطه تعادلی را در مراکز توزیع نشان می‌دهد و تضمین می‌کند تا قبل از دوره فسادپذیری دارو، داروها به مشتریان انتقال می‌یابد. محدودیت‌های (۲۱) تا (۲۴) مربوط به محدودیت‌های ظرفیت تأمین‌کننده‌ها، مراکز تولید و مراکز توزیع و خرده‌فروش می‌باشد و تضمین می‌کند تا زمانی که مرکز تأسیس نشده باشد نمی‌توان از حداکثر ظرفیت آن مرکز استفاده نمود. محدودیت (۲۵) تا (۲۷) محدودیت‌های مربوط به تخفیف کلی برای خرید مواد اولیه از تأمین‌کننده ها می‌باشد. رابطه (۲۸) کل میزان جریان محصولات (تقاضا) را در مراکز توزیع برای انتقال به مشتریان نشان می‌دهد. محدودیت (۲۹) تضمین می‌کند هر مرکز توزیع تنها به یک مشتری می‌تواند تخصیص پیدا کند. محدودیت (۳۰) حداکثر ظرفیت حمل‌ونقل دارو را توسط وسیله نقلیه در دسترس نشان می‌دهد. محدودیت (۳۱) محدودیت مربوط به حذف زیر تور می‌باشد. محدودیت (۳۲) تضمین می‌کند وسیله نقلیه تنها یک‌بار می‌تواند به هر خوشه مشتری وارد و از آن خارج شود. محدودیت (۳۳) تا (۳۵) تضمین می‌کند که نقاط ابتدا و انتهای مسیریابی وسیله نقلیه در توزیع دارو به مشتریان، مراکز توزیع می‌باشد. محدودیت‌های (۳۶) و (۳۷) روابط منطقی در موجودی دارو را در انبارهای مراکز تولید و توزیع نشان می‌دهد. محدودیت‌های (۳۸) تا (۴۰) نوع و جنس متغیرهای تصمیم‌گیری را نشان می‌دهد.

<sup>3</sup> Necessity measure

<sup>1</sup> possibilistic chance-constrained programming

<sup>2</sup> Possibility measure



غیرقطعی را با رویکرد تصمیم‌گیری بدبینانه (کنتراست) می‌کند. با توجه به توزیع احتمال دوزنقه‌ای برای پارامترهای مبهم، شکل کلی روابط (۴۷) تا (۵۲) به شرح زیر است:

$$\text{Min } E[f_1] = D + Cy + \left(\frac{F^1 + F^2 + F^3 + F^4}{4}\right)x \quad (53)$$

$$\text{Min } f_2 = x \quad (54)$$

$$\text{Max } f_3 = x \quad (55)$$

s. t.:

$$Ax \geq (1 - \alpha)d^3 + \alpha d^4 \quad (56)$$

$$Ex \leq Sy \quad (57)$$

$$y \in \{0,1\}, x \geq 0 \quad (58)$$

در مدل‌های برنامه‌ریزی محدود غیرقطعی، حداقل سطح اطمینان برای برقراری محدودیت غیرقطعی باید با لحاظ ترجیحات تصمیم‌گیری تعیین شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در مدل ارائه‌شده تابع هدف نسبت به انحراف از مقدار مورد انتظار خود حساس نیست که بدین معنی است که دستیابی به راه‌حل‌های استوار در مدل برنامه‌ریزی محدود غیرقطعی 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 برای مسئله استفاده می‌شود [۱۷]. روش برنامه‌ریزی غیرقطعی استوار برای اولین بار توسط پیشوایی و ترابی [۲۸] معرفی شد. این رویکرد از مزایای قابل‌توجه هر دو برنامه‌ریزی استوار و برنامه‌ریزی غیرقطعی 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 است:

$$\text{Min } E[f_1] + \xi(f_{1(\max)} - f_{1(\min)}) + \eta_1(d^4 - (1 - \alpha)d^3 - \alpha d^4) \quad (59)$$

$$\text{Min } f_2 = x + \eta_1' \left( \frac{d^4 - (1 - \alpha)d^3 - \alpha d^4}{(1 - \alpha)d^3 - \alpha d^4} \right) \quad (60)$$

$$\text{Max } f_3 = x \quad (61)$$

s. t.:

$$Ax \geq (1 - \alpha)d^3 + \alpha d^4 \quad (62)$$

$$Ex \leq Sy \quad (63)$$

$$y \in \{0,1\}, x, x' \geq 0, 0.5 < \alpha \leq 1 \quad (64)$$

که در آن  $f_{1(\min)}$  و  $f_{1(\max)}$  می‌تواند به شرح زیر بیان

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 (محافظه‌کار) برای برقراری محدودیت‌های غیرقطعی است؛ بنابراین، از اقدام فازی بدبینانه برای تضمین برقراری محدودیت‌های غیرقطعی استفاده شده 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:

$$\text{Min } f_1 = D + Cy + Fx \quad (41)$$

$$\text{Min } f_2 = x \quad (42)$$

$$\text{Max } f_3 = x \quad (43)$$

s. t.:

$$Ax \geq d \quad (44)$$

$$Ex \leq Sy \quad (45)$$

$$y \in \{0,1\}, x \geq 0 \quad (46)$$

که در آن بردارهای  $d, I, H, C, F$  و  $S$  به ترتیب نشان‌دهنده هزینه متغیر، هزینه ثابت، تقاضا و ظرفیت تسهیلات است. همچنین  $A$  و  $B$  و  $E$  ماتریس ضرایب بوده و در نهایت  $x$  و  $y$  به ترتیب متغیرهای پیوسته و صفر و یک می‌باشند. حال فرض می‌شود که بردارهای  $F$  و  $d$  در مدل فوق به‌صورت پارامترهای غیرقطعی ارائه‌شده 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 برنامه‌ریزی محدود غیرقطعی به‌صورت زیر است:

$$\text{Min } E[f_1] = D + Cy + E[\bar{F}]x \quad (47)$$

$$\text{Min } f_2 = x \quad (48)$$

$$\text{Max } f_3 = x \quad (49)$$

s. t.:

$$\text{NEC}\{Ax \geq \bar{d}\} \geq \alpha \quad (50)$$

$$Ex \leq Sy \quad (51)$$

$$y \in \{0,1\}, x \geq 0 \quad (52)$$

که در آن  $\alpha$  حداقل درجه اطمینان برقراری محدودیت

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \left( \frac{C_{jp(1)} + C_{jp(2)} + C_{jp(3)} + C_{jp(4)}}{4} \right) X_{jkpt}$$

$$+ \sum_{i=1}^I \sum_{h=1}^H \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T pr_{ihp} M_{ihpt} X_{ijpt}$$

$$\omega_{1(\max)} = \sum_{(b,c)}^{(B,C)} \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T T_{bc(4)} X_{bcpt} +$$

$$\sum_{l=1}^{LUC} \sum_{c=1}^{LUC} \sum_{v=1}^V \sum_{t=1}^T T_{lc(4)} Z_{lcvt} +$$

$$\sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T C_{lp(4)} V'_{lpt} +$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T C_{jp(4)} X_{jkpt}$$

$$\omega_{1(\min)} = \sum_{(b,c)}^{(B,C)} \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T T_{bc(1)} X_{bcpt} +$$

$$\sum_{l=1}^{LUC} \sum_{c=1}^{LUC} \sum_{v=1}^V \sum_{t=1}^T T_{lc(1)} Z_{lcvt} +$$

$$\sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T C_{lp(1)} V'_{lpt} +$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T C_{jp(1)} X_{jkpt}$$

$$\sum_{c=1}^C \sum_{l=1}^{CUL} \sum_{p=1}^P \left( \begin{array}{l} D_{cpt(4)} - \\ (1-\alpha)D_{cpt(3)} - \\ -\alpha D_{cpt(4)} \end{array} \right) \sigma_{cpt} Z_{lcvt} \leq ca_v, \forall v, t$$

$$V'_{lpt} = \sum_{c=1}^C \left( \begin{array}{l} D_{cpt(4)} - \\ (1-\alpha)D_{cpt(3)} - \\ -\alpha D_{cpt(4)} \end{array} \right)$$

$$\sigma_{cpt} Z_{lct}, \forall l, p, t$$

$$\psi \geq \pi_{cpt} \left( \begin{array}{l} D_{cpt(4)} - \\ (1-\alpha)D_{cpt(3)} - \\ \alpha D_{cpt(4)} \\ 1 - \sum_{l=1}^L \sigma_{cpt} Z_{lct} \end{array} \right), \forall c, p, t$$

محدودیت های ۴ تا ۲۷، محدودیت ۲۹، محدودیت های ۳۱ تا ۴۰ (۷۵)

### روش‌های حل

بهینه‌سازی به تحلیل مسائلی می‌پردازد که در آن‌ها به دنبال حداقل کردن یا حداکثر کردن یک یا چند تابع حقیقی هستیم. برنامه‌های کامپیوتری امروزه به ابزارهایی بسیار کارآمد برای بهینه‌سازی مسائلی تبدیل شده‌اند که

شود:

$$f_{1(\max)} = F^4 x \quad (۶۵)$$

$$f_{1(\min)} = F^1 x \quad (۶۶)$$

در تابع هدف اول رابطه (۵۹)، 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  $\xi$  ضریب وزنی تابع هدف و  $\eta_1$  هزینه جریمه عدم برآورد تقاضا است. پارامتر  $\alpha$  به‌عنوان ضرایب تصحیح در مقدار سطوح فازی اعداد را نشان می‌دهد که بایستی عددی مابین ۰.۵ و ۱ باشد. در نتیجه مدل کلی رویکرد استوار امکانی به شرح زیر است:

$$\min \omega_1 = E[\omega] + \xi (f_{1(\max)} - f_{1(\min)}) + \eta_1 \sum_{c=1}^C \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \left( \frac{\pi_{cpt} (D_{cpt(4)} - (1-\alpha) D_{cpt(3)} - \alpha D_{cpt(4)})}{D_{cpt(3)} - \alpha D_{cpt(4)}} \right)$$

$$\min \omega_2 = \psi + \eta_1' \sum_{c=1}^C \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \pi_{cpt} (D_{cpt(4)} - (1-\alpha) D_{cpt(3)} - \alpha D_{cpt(4)})$$

$$\min \omega_3 = \sum_{(b,c)}^{(B,C)} \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T Re_{bc} X_{bcpt} + \sum_{l=1}^{LUC} \sum_{c=1}^{LUC} \sum_{v=1}^V \sum_{t=1}^T Re_{lc} Z_{lcvt}$$

s. t:

$$E[\omega_1] = \sum_{a=1}^A F_a Z_a + \sum_{l=1}^L \sum_{c=1}^C \sum_{v=1}^V \sum_{t=1}^T F_v Z_{lcvt}$$

$$+ \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^t hol_{kp} Q_{kptr}$$

$$+ \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^t hol_{lp} Q'_{lptr} +$$

$$\sum_{(b,c)}^{(B,C)} \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \left( \frac{T_{bc(1)} + T_{bc(2)} + T_{bc(3)} + T_{bc(4)}}{4} \right) X_{bcpt} +$$

$$\sum_{l=1}^{LUC} \sum_{c=1}^{LUC} \sum_{v=1}^V \sum_{t=1}^T \left( \frac{T_{lc(1)} + T_{lc(2)} + T_{lc(3)} + T_{lc(4)}}{4} \right) Z_{lcvt}$$

$$+ \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \left( \frac{C_{lp(1)} + C_{lp(2)} + C_{lp(3)} + C_{lp(4)}}{4} \right) V'_{lpt} +$$

استفاده از این الگوریتم نیاز به طراحی کروموزوم اولیه می‌باشد. رمزگذاری بیان‌شده به رمزگذاری مبتنی بر اولویت<sup>۱</sup> مشهور است که توسط جن و همکاران در سال ۲۰۰۸ معرفی شده است. در این رمزگذاری شبکه زنجیره تأمین به سطوح تشکیل‌دهنده آن تقسیم‌شده و هر سطح متناسب با ظرفیت، تقاضا، نوع وسیله نقلیه و غیره در طراحی کروموزوم اولیه در نظر گرفته می‌شود. برای مثال در شبکه زنجیره تأمین داروی پیشنهادشده، سطح اول (خرده‌فروش و مشتری) را در نظر بگیرید. مطابق با شکل (۲)، در این رمزگذاری، ۴ مشتری و ۳ مرکز خرده‌فروش در نظر گرفته شده است. کروموزوم طراحی شده به صورت یک جایگشت از کل تعداد گره‌ها (خرده‌فروشان و مشتریان) می‌باشد. از این رو رمزگذاری به صورت تصادفی مقدار (۶-۱-۴-۷-۳-۵-۲) در نظر گرفته شده که اولویت‌های (۶-۱-۴-۷) مربوط به مشتریان و (۳-۵-۲) مربوط به خرده‌فروشان عمده می‌باشد. برای رمزگشایی کروموزوم بیان شده بایستی گام‌های زیر انجام پذیرد:

**گام ۱- ابتدا برگ‌ترین اولویت (عدد) از بین کروموزوم ایجادشده، انتخاب می‌شود.** در صورتی که این عدد مربوط به اولویت‌های مشتریان باشد، خانه مربوط به آن اولویت به عنوان اولین مشتری جهت تخصیص کالا در نظر گرفته می‌شود. همچنین در صورتی که بزرگ‌ترین عدد مربوط به اولویت‌های خرده‌فروشان باشد، خانه مربوط به آن اولویت به عنوان اولین خرده‌فروش جهت تخصیص کالا در نظر گرفته می‌شود. جهت تشریح بهتر شکل (۳) خانه‌ها و اولویت‌های مربوط به سطح در نظر گرفته شده را نشان می‌دهد.

سطح مشتری		سطح خرده‌فروش	
گره‌ها	۱	۲	۳
	۶	۵	۴
اولویت	۷	۳	۱

شکل ۳- اولویت‌ها مربوط به هر یک از سطوح مشتری و خرده‌فروش

با توجه به شکل (۳)، مشاهده می‌شود، بزرگ‌ترین اولویت (عدد ۷) مربوط به مشتری ۱ به عنوان اولین گره جهت تخصیص انتخاب شده است.

**گام ۲- بعد از شناسایی اولین گره جهت تخصیص**

قابل مدل‌سازی عددی هستند. یکی از سؤالاتی که در مواجهه با مسائل بهینه‌سازی مطرح می‌شود این است که آیا تنها یک جواب بهینه برای هر مسئله خاص وجود دارد؟ در بسیاری از مسائل بله و در برخی از آن‌ها خیر. آیا جواب به دست آمده، بهترین جواب است؟ روش‌های بهینه‌سازی ابزارهایی هستند که با تکیه بر آن‌ها می‌توان به چنین سؤالاتی پاسخ داد. مسائل بهینه‌سازی از نظر تعداد توابع هدف و معیارهای بهینه‌سازی، به دو نوع تقسیم‌پذیر هستند: مسائل بهینه‌سازی تک هدفه و مسائل بهینه‌سازی چندهدفه. در مسائل بهینه‌سازی تک هدفه، هدف از حل مسئله بهبود یک شاخص عملکرد یگانه است که مقدار کمینه یا بیشینه آن کیفیت پاسخ به دست آمده را به طور کامل منعکس می‌کند؛ اما در برخی موارد، نمی‌توان صرفاً با اتکا به یک شاخص، یک پاسخ فرضی برای مسئله بهینه‌سازی را امتیازدهی نمود. در این نوع مسائل ناگزیر به تعریف چندین تابع هدف یا شاخص عملکرد است که به طور هم‌زمان مقدار همه آن‌ها را بهینه شود.

#### ۴-۱- روش تصمیم‌گیری معیار جامع

در این مقاله از روش ترکیبی شبیه‌سازی مونت کارلو و روش تصمیم‌گیری معیار جامع<sup>۷</sup> برای حل مدل سه هدفه شبکه زنجیره تأمین دارو استفاده شده است. شبیه‌سازی مونت کارلو برای ایجاد وزن‌های تصادفی روش معیار جامع در این مقاله به کار برده شده است. رابطه (۷۶) مدل‌سازی روش معیار جامع را نشان می‌دهد.

$$\min D = \left( \sum_{g=1}^D w_g \left( \frac{f_g^* - f_g}{f_g^*} \right)^r \right)^{1/r} \quad (76)$$

در رابطه فوق  $f_g$  تابع هدف،  $f_g^*$  مقدار بهینه به دست آمده از حل هر تابع هدف به صورت جداگانه،  $w_g$  وزن هر تابع هدف و  $r$  نرم استفاده شده از روش معیار جامع را نشان می‌دهد. با توجه به تصادفی بودن وزن برای هر تابع هدف از روش شبیه‌سازی مونت کارلو جهت تولید وزن‌های تصادفی استفاده شده است.

#### ۴-۲- الگوریتم NSGA II

در این مقاله به دلیل Np-Hard بودن مدل شبکه زنجیره تأمین دارو طراحی شده و همچنین عدم کارایی نرم‌افزار GAMS در حل مطالعه موردی از الگوریتم فرا ابتکاری چندهدفه NSGA II استفاده شده است. از این رو برای

<sup>۱</sup> Priority Based Encoding

شکل (۲) محاسبات نهایی انجام‌یافته را برای سطح شبکه زنجیره تأمین دارو در نظر گرفته‌شده نشان می‌دهد.

گره	هزینه ثابت احداث	ظرفیت	تقاضا
۱	۱۱۰۰۰	۸۰۰	۳۰۰
۲	۹۰۰۰	۹۵۰	۳۵۰
۳	۱۰۰۰۰	۷۰۰	۳۰۰
۴	-	-	۳۵۰

گره	هزینه حمل‌ونقل			
	۱	۲	۳	۴
۱	۹	۱۸	۱۵	۱۶
۲	۱۴	۱۲	۱۶	۱۳
۳	۱۳	۱۴	۱۷	۱۱

گره	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۴
$\theta(K + J)$	اولویت	۲	۵	۳	۷	۴	۱

شکل ۲- نحوه رمزگذاری و رمزگشایی مبتنی بر اولویت

با توجه به ۴ سطحی بودن شبکه زنجیره تأمین ناب در نظر گرفته‌شده، جواب اولیه طراحی‌شده برای کل شبکه زنجیره تأمین از تأمین‌کننده‌ها تا مشتریان نهایی به شرح شکل (۴) می‌باشد. در این شکل، ابتدا بایستی سطح اول از مجموعه کروموزوم طراحی‌شده، رمزگشایی گردد و سپس سطوح بعدی مورد ارزیابی و دی کدینگ قرار گیرد.

سطح اول خرده‌فروش و مشتری	سطح دوم خرده‌فروش و مرکز توزیع	سطح سوم مرکز توزیع و مرکز تولید	سطح چهارم مرکز توزیع و تأمین‌کننده
$v(L + C)$	$v(K + L)$	$v(J + K)$	$v(I + J)$

شکل ۴- رمزگذاری مبتنی بر اولویت شبکه زنجیره تأمین دارو  
بایستی بیان گردد بنابه دلیل اینکه سطح اول کروموزوم شامل مسیریابی وسیله نقلیه می‌باشد، نحوه تعریف کروموزوم، جایگشت از اعداد طبیعی به تعداد گره‌های مجموعه می‌باشد. تنها نحوه رمزگشایی آن بر اساس نوع حرکت وسیله نقلیه تغییر پیدا میکند. یعنی در صورتی که کروموزوم به صورت ۱-۳-۲ تعریف شده باشد، به معنی طی

(مشتری/خرده‌فروش) بر اساس هزینه حمل‌ونقل و یا سایر هزینه‌های مربوطه، دومین گره جهت تخصیص (خرده‌فروش/مشتری) انتخاب می‌گردد. این انتخاب بر اساس حداقل هزینه حمل‌ونقل می‌باشد. مطابق با جدول ۱، هزینه‌های حمل‌ونقل مربوط به این سطح از شبکه زنجیره تأمین نشان داده‌شده است.

جدول ۱- هزینه حمل‌ونقل تصادفی مربوط به سطح مشتری و خرده‌فروش

گره	مشتری ۱	مشتری ۲	مشتری ۳	مشتری ۴
خرده‌فروش ۱	۱۹	۱۸	۱۵	۱۶
خرده‌فروش ۲	۱۴	۱۲	۱۶	۱۳
خرده‌فروش ۳	۱۳	۱۴	۱۷	۱۱

مطابق با گام ۲ بیان‌شده و هزینه‌های حمل‌ونقل جدول ۱ مشاهده می‌گردد، کمترین هزینه حمل‌ونقل بین مشتری ۱ (انتخاب‌شده از گام ۱)، خرده‌فروش ۳ می‌باشد. از این رو خرده‌فروش ۳، به‌عنوان دومین گره جهت تخصیص انتخاب می‌شود.

**گام ۳-** بعد از تعیین مشتری و خرده‌فروش، حداقل مقدار تقاضای مشتری و ظرفیت خرده‌فروش به‌عنوان مقدار بهینه تخصیص، در نظر گرفته می‌شود ( $\min(700,300) = 300$ ). پس از انجام عمل تخصیص، مقدار تقاضای مشتری و همچنین ظرفیت خرده‌فروش به‌روزرسانی می‌شود. جدول ۲ مقدار تقاضای مشتری و ظرفیت خرده‌فروش را قبل و بعد از انجام تخصیص نشان می‌دهد.

جدول ۲- مقدار ظرفیت خرده‌فروش و مشتری، قبل و بعد از انجام تخصیص

تقاضا	ظرفیت	بعد از تخصیص	تقاضا	ظرفیت
مشتری ۱ (۰)	خرده‌فروش ۱ (۸۰۰)	➡	مشتری ۱ (۳۰۰)	خرده‌فروش ۱ (۸۰۰)
مشتری ۲ (۳۵۰)	خرده‌فروش ۲ (۹۵۰)		مشتری ۲ (۳۵۰)	خرده‌فروش ۲ (۹۵۰)
مشتری ۳ (۳۰۰)	خرده‌فروش ۳ (۴۰۰)		مشتری ۳ (۳۰۰)	خرده‌فروش ۳ (۴۰۰)
مشتری ۴ (۳۵۰)	خرده‌فروش ۴ (۳۵۰)		مشتری ۴ (۳۵۰)	خرده‌فروش ۴ (۳۵۰)

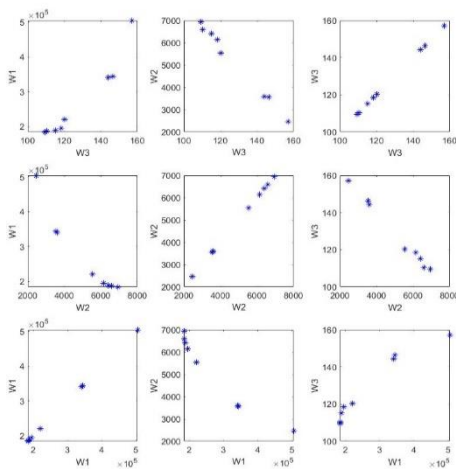
مطابق با جدول ۲ مشاهده می‌شود، مقدار تقاضای مشتری بعد از عمل تخصیص مقدار (۰) به خود گرفته است. از این رو در کروموزوم اولیه طراحی‌شده نیز اولویت مربوط به این گره، بایستی به عدد صفر کاهش یابد. این مراحل تا زمانی که کل اولویت‌های کروموزوم صفر نشده است ادامه می‌یابد.

شبیه‌سازی مونت کارلو را نشان می‌دهد.

جدول ۵- مجموعه جواب‌های کارای به‌دست‌آمده از روش ترکیبی معیار جامع و شبیه‌سازی مونت کارلو و NSGA II

مقدار تابع هدف سوم	مقدار تابع هدف دوم	مقدار تابع هدف اول	جواب کارا
روش ترکیبی معیار جامع و مونت کارلو			
۱۵۷,۱۲	۲۴۵۲,۱۴۰	۵۰۴۷۰۱,۰۲۸	۱
۱۴۶,۳۶	۳۵۵۵,۰۲۸	۳۴۴۰۷۴,۵۰۲	۲
۱۴۴,۱۲	۳۵۹۸,۹۰۲	۳۴۰۵۴۰,۶۳۴	۳
۱۲۰,۱۳	۵۵۳۲,۱۲۷	۲۱۹۸۶۸,۰۶۸	۴
۱۱۸,۳۶	۶۱۴۹,۹۰۶	۱۹۴۸۴۱,۲۰۸	۵
۱۱۵,۰۳	۶۴۰۶,۷۲۳	۱۸۸۴۱۷,۰۲۸	۶
۱۱۰,۳۴	۶۵۹۱,۳۴۴	۱۸۵۶۵۲,۳۵۹	۷
۱۰۹,۳۶	۶۹۳۸,۱۱۱	۱۸۴۰۱۷,۱۶۶	۸
الگوریتم NSGA II			
۱۱۲,۳۶	۶۶۹۱,۳۴	۱۸۵۶۶۹,۵۹	۱
۱۱۵,۴۶	۶۴۹۰,۳۲	۱۸۶۴۶۶,۸۱	۲
۱۱۹,۳۱	۶۰۷۸,۶۴	۱۹۵۳۱۴,۲۴	۳
۱۲۴,۳۶	۵۶۷۵,۱۹	۲۱۴۹۴۵,۳۶	۴
۱۳۰,۳۶	۴۲۱۵,۲۰	۲۹۲۴۶۹,۳۶	۵
۱۳۴,۹۵	۳۸۹۴,۳۶	۳۱۵۷۴۱,۲۶	۶
۱۴۱,۶۴	۳۱۴۵,۲۶	۳۸۹۶۳۴,۳۶	۷
۱۵۷,۶۰	۲۴۵۲,۱۴	۵۰۴۰۷۱,۰۳	۸

نمودارهای شکل (۵) و (۶) نیز جبهه پارتو به‌دست‌آمده از دوبه‌دو توابع هدف را نسبت به یکدیگر نشان می‌دهد. برای تشریح بیشتر مسئله، اولین جواب کارای به‌دست‌آمده از حل مدل سه هدفه با روش ترکیبی معیار جامع و NSGA II توضیح داده شده است. جدول ۶ و ۷ مجموعه ای از جوابها را برای دو روش نشان می‌دهد.



شکل ۵- جبهه پارتو به‌دست‌آمده از روش ترکیبی معیار جامع و شبیه‌سازی مونت کارلو

مسیر وسیله نقلیه از بین گره ۲ به سمت گره ۳ و سپس به سمت گره ۱ و بازگشت آن می‌باشد.

### نتایج محاسباتی

در این بخش پس از ارائه مدل توسعه‌یافته شبکه زنجیره تأمین دارو به حل مدل و تحلیل نتایج پرداخته شده است. با توجه به توسعه‌ای بودن مدل، از داده‌های تصادفی بر اساس مقالات گذشته برای حل مسئله استفاده شده است. برای حل مدل چندهدفه، یک مسئله نمونه مطابق با جدول ۳ و با داده‌های تصادفی تولیدشده در جدول ۴ به کار برده شده است. همچنین از نرم خطی ( $r = 1$ ) در روش معیار جامع برای حل مسئله استفاده شده است.

جدول ۳- اندازه مسئله طراحی شده در سایز کوچک

I	تعداد نقاط بالقوه مراکز تأمین کننده مواد اولیه	۳
J	تعداد نقاط بالقوه تولیدکننده داروهای نهایی	۳
K	تعداد نقاط بالقوه توزیع کننده‌ها	۳
L	تعداد نقاط بالقوه مراکز خرده‌فروش	۳
C	تعداد نقاط ثابت مراکز تقاضای مشتریان	۵
P	تعداد مواد اولیه و داروی نهایی	۲
T, R	تعداد دوره زمانی	۲
H	تعداد سطوح تخفیف	۳
v	تعداد وسایل نقلیه	۲

جدول ۴- حدود بازه‌ای پارامترهای به‌کاررفته در حل مدل

پارامتر قطعی	حدود بازه ای
$F_a$	$\sim U(100000, 120000)$
$F_v$	$\sim U(1000, 1200)$
$hol_{kp}, hol_{tp}$	$\sim U(1, 2)$
$u_p$	2
$ca_{dp}$	$\sim U(500, 700)$
$ca_v$	$\sim U(100, 150)$
$pr_{ihp}$	$\sim U(0.5, 3)$
$\Psi_{ihpt}$	$\sim U(0, 1000)$
$Re_{bcp}, Re_{lcp}$	$\sim U(0.5, 1)$
$\pi_{cpt}$	$\sim U(5000, 10000)$
پارامتر غیر قطعی	حدود بازه‌ای
$\tilde{C}_{jp}, \tilde{C}_{tp}$	$\sim (U(1, 2), U(2, 3)), U(3, 4), U(4, 5)$
$\tilde{D}_{cpt}$	$\sim (U(50, 75), U(75, 100)), U(100, 125), U(125, 150)$
$\tilde{T}_{bc}, \tilde{T}_{lc}$	$\sim (U(5, 10), U(10, 15)), U(15, 20), U(20, 25)$

برای تحلیل نتایج از سطح عدم قطعیت ۰/۶ برای روش استوار-امکانی برای کنترل پارامترهای غیرقطعی استفاده شده است. جدول ۵ مجموعه جواب‌های کارای به‌دست‌آمده از داده‌های تصادفی تولیدشده در ۵۰ تکرار

مونت کارو و NSGA II را نشان می‌دهد.

جدول ۸- شاخص‌های چندهدفه به دست آمده از حل مدل

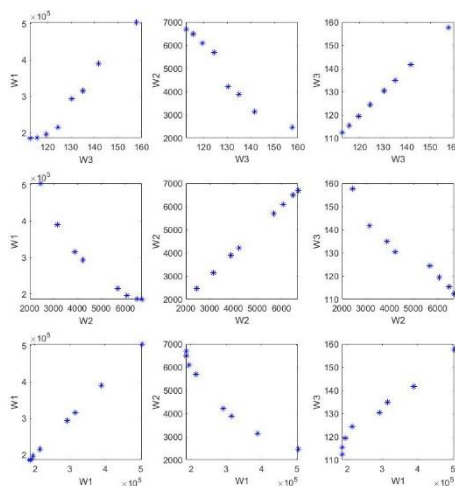
NSGA II	معیار جامع	شاخص
۲۸۵۵۳۹,۰۰	۲۷۰۲۶۳,۹۹	تابع هدف ۱
۴۸۳۰,۳۰	۵۱۵۳,۰۳	تابع هدف ۲
۱۲۹,۵۰	۱۲۷,۶۰	تابع هدف ۳
۸	۸	تعداد جواب کارا
۳۱۸۴۲۹,۶۵	۳۲۰۷۱۵,۲۳	شاخص بیشترین گسترش
۰,۷۱۸	۰,۵۰۳۹	شاخص فاصله گذاری
۱۰۰۹۲۱,۶۵	۸۷۴۴۳,۲۷	شاخص فاصله از نقطه ایده آل
۹۳,۲۰	۴۹۸,۳۱	زمان محاسباتی

با نظر به جدول ۸ میتوان نتیجه گرفت که الگوریتم NSGA II در کسب شاخص های تابع هدف دوم، سوم، زمان محاسباتی کاراتر از دیگر روش عمل نموده است. در این بخش به تحلیل حساسیت مقادیر توابع هدف با تغییر دو پارامتر (زمان فسادپذیری دارو و ظرفیت تأمین کننده) پرداخته شده است. در ادامه نتایج به دست آمده و تحلیل نمودارهای هر کدام از تغییرات پارامترها نشان داده شده است. زمان فساد پذیری در نظر گرفته شده برای حل مسئله فوق، ۲ دوره زمانی بوده است که در نتیجه برای تعیین تغییرات مقدار تابع هدف اول و دوم، مسئله با دوره فساد پذیری ۱ الی ۶ دوره زمانی نیز حل شده است. جدول ۹ مقدار تغییرات توابع هدف را در دوره‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد.

جدول ۹- میزان تغییرات توابع هدف اول و دوم با تغییر دوره فساد پذیری زمانی

دوره فساد پذیری	تابع هدف اول	تابع هدف دوم	تابع هدف سوم
۱	۳۸۴۳۲۵,۸۵۶	۴۵۳۰,۹۳	۱۴۲,۳۶
۲	۳۱۴۰۷۴,۵۰۲	۳۸۴۶,۳۱	۱۴۰,۶۱
۳	۲۸۵۷۱۶,۲۳۲	۲۸۱۰,۶۹	۱۳۶,۲۸
۴	۲۸۴۴۱۲,۷۳۹	۲۰۴۳,۰۸	۱۳۴,۳۶
۵	۲۸۴۴۱۲,۷۳۹	۲۰۴۳,۰۸	۱۳۴,۳۶
۶	۲۸۴۴۱۲,۷۳۹	۲۰۴۳,۰۸	۱۳۴,۳۶

مطابق با تحلیل حساسیت انجام شده بر روی دوره زمانی فساد پذیری مشاهده می‌شود، مقدار هزینه و حداکثر تقاضای برآورده نشده و همچنین قابلیت اطمینان در صورتی که دوره زمانی فساد پذیری ۱ باشد، به بالاترین حد خود می‌رسد. زیرا در این حالت، توزیع کننده‌ها و خرده‌فروش‌ها نمی‌توانند در انبارهای خود موجودی داشته



شکل ۵- جبهه پارتو به دست آمده از الگوریتم NSGA II

جدول ۶- مکان بهینه تسهیلات بالقوه و مسیریابی حمل و نقل از حل مسئله سایز کوچک با روش معیار جامع

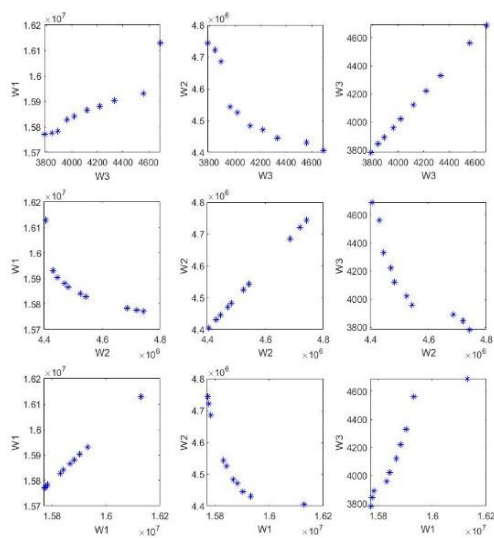
مکان بهینه	تعداد	مراکز بالقوه
۳ و ۲	۲ مرکز	تأمین کننده
۳ و ۱	۲ مرکز	توزیع کننده
۲ و ۱	۲ مرکز	تولید کننده
B و A	۲ مرکز	خرده‌فروش
$A \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow A$	وسیله نقلیه ۱ در دوره ۱	مسیریابی بهینه
$B \rightarrow 4 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow B$	وسیله نقلیه ۲ در دوره ۱	وسایل نقلیه
$A \rightarrow 3 \rightarrow 1 \rightarrow A$	وسیله نقلیه ۱ در دوره ۲	وسایل نقلیه
$B \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow B$	وسیله نقلیه ۲ در دوره ۲	

جدول ۷- مکان بهینه تسهیلات بالقوه و مسیریابی حمل و نقل از حل مسئله سایز کوچک با الگوریتم NSGA II

مکان بهینه	تعداد	مراکز بالقوه
۲ و ۱	۲ مرکز	تأمین کننده
۳	۱ مرکز	توزیع کننده
۲	۱ مرکز	تولید کننده
A	۱ مرکز	خرده‌فروش
$A \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 1 \rightarrow A$	وسیله نقلیه ۱ در دوره ۱	مسیریابی بهینه
-	وسیله نقلیه ۲ در دوره ۱	وسایل نقلیه
-	وسیله نقلیه ۱ در دوره ۲	وسایل نقلیه
$A \rightarrow 1 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow A$	وسیله نقلیه ۲ در دوره ۲	

در نهایت جدول ۸ شاخص های بدست آمده از جواب های کارا را با استفاده از روش ترکیبی معیار جامع و شبیه سازی

است. از این رو ۳۶ نقطه بالقوه تولید کننده برای مسئله زنجیره تأمین دارو در نظر گرفته شده است. همچنین تمامی مراکز استان کشور به‌عنوان نقاط بالقوه توزیع کننده عمده و مراکز خرده‌فروش دارو نیز لحاظ شده است. برای تعیین تقاضای دارویی کشور، از اطلاعات ارائه شده در سازمان ملی دارو و غذای ایران استفاده شده است. برای این منظور تقاضای دو داروی Rebif ۲۲ میکروگرم و Rebif ۲۴ میکروگرم که در درمان ام اس کاربرد دارند استخراج شده است. دوره زمانی فساد پذیری این دارو ۶ ماه می‌باشد و مسئله در ۸ دوره ۶ ماهه مورد بررسی قرار گرفته است. برای تعیین تعداد و مکان بهینه تسهیلات و همچنین تخصیص بهینه جریان از الگوریتم NSGA II (به دلیل کارایی روش از مسئله نمونه حل شده) استفاده شده است. نتایج حاکی از انتخاب ۴ مرکز استان تهران، اصفهان، آذربایجان شرقی و خراسان رضوی به‌عنوان مراکز بهینه تولید کننده دارو؛ انتخاب ۸ مرکز استان خوزستان، قزوین، کرمان، کردستان، تهران، اصفهان، آذربایجان شرقی و خراسان رضوی به‌عنوان مراکز بهینه توزیع کننده عمده دارو و در نهایت انتخاب ۱۰ مرکز استان گلستان، فارس، خوزستان، قزوین، کرمان، کردستان، تهران، اصفهان، آذربایجان شرقی و خراسان رضوی به‌عنوان مراکز بهینه خرده‌فروش بود. شکل (۷) جبهه پارتو حاصل از حل مسئله نمونه واقعی و شکل (۸) مکان های بالقوه انتخاب شده برای خرده‌فروش و تخصیص سائز مناطق به آن را نشان میدهد.



شکل ۷-جبهه پارتو به‌دست‌آمده از NSGA II در مسئله نمونه واقعی

باشند و بایستی در هر دوره زمانی به تأمین تقاضای مشتریان اقدام کنند. همچنین مشاهده می‌شود با افزایش میزان دوره زمانی فساد پذیری، هزینه کل شبکه کاهش یافته است. این امر به دلیل برنامه‌ریزی مناسب در نگهداری موجودی می‌باشد. چون دوره زمانی کل ۲ در نظر گرفته شده است، از این رو زمانی که دوره فساد پذیری بیش از دوره زمانی باشد، رفتاری شبیه به فساد پذیری ۱ دوره زمانی عمل می‌کند. برای تحلیل حساسیت بیشتر بر روی مدل، پارامتر ظرفیت تامین‌کننده نیز در نظر گرفته شده است که تغییرات آن موجب تغییر در مقدار تابع هدف اول و دوم می‌گردد. از این رو مقدار ظرفیت تامین‌کننده ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰٪ کمتر و بیشتر از ظرفیت پایه لحاظ شده و مقادیر توابع هدف به‌دست‌آمده در جدول ۱۰ گزارش شده است.

جدول ۱۰- میزان تغییرات توابع هدف با تغییر ظرفیت تولیدکننده

ظرفیت	تابع هدف اول	تابع هدف دوم	تابع هدف سوم
-/۵۰	۴۶۹۹۸۳,۳۰	۶۴۲۶,۲۶	۱۵۴,۲۳
-/۴۰	۴۶۹۹۴۸,۰۳	۵۹۴۶,۷۹	۱۵۳,۴۶
-/۳۰	۴۲۲۴۳۳,۰۳	۴۸۲۱,۵۳	۱۵۰,۳۰
-/۲۰	۴۲۲۷۵۹,۲۹	۴۵۲۳,۸۰	۱۴۸,۲۴
-/۱۰	۳۸۶۰۱۵,۸۴	۴۲۷۲,۳۵	۱۴۲,۰۲
پایه	۳۱۴۰۷۴,۵۰	۳۸۴۶,۳۱	۱۴۰,۶۱
+/۱۰	۳۰۱۴۸۲,۳۰	۳۲۶۶,۴۳	۱۳۸,۲۳
+/۲۰	۳۰۱۴۸۰,۸۹	۲۷۲۶,۲۹	۱۳۸,۲۳
+/۳۰	۳۰۱۴۸۰,۸۹	۲۷۲۶,۲۹	۱۳۸,۲۳
+/۴۰	۳۰۱۴۸۰,۸۹	۲۷۲۶,۲۹	۱۳۸,۲۳
+/۵۰	۳۰۱۴۸۰,۸۹	۲۷۲۶,۲۹	۱۳۸,۲۳

با توجه به نتایج جدول ۱۰ مشاهده می‌شود با افزایش ظرفیت تأمین کننده، میزان برآورده سازی تقاضا افزایش (کمبود کاهش) و بالطبع هزینه های کل برآورده سازی تقاضای کل مشتریان کاهش یافته است.

برای حل مسئله در سائز بزرگ‌تر با الگوریتم NSGA II، توزیع داروی کشور ایران در نظر گرفته شده است. بدین منظور ۱۳ مرکز استان (آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، اصفهان، البرز، تهران، خراسان رضوی، خوزستان، فارس، قم، کرمان، کرمانشاه، گلستان و همدان) به‌عنوان مراکز بالقوه تولیدکننده دارو در نظر گرفته شده است. همچنین در هر مرکز استان نیز ۳ مرکز بالقوه دیگر نیز لحاظ شده



شکل ۸- مکان بهینه تسهیلات خرده‌فروش و مراکز تقاضا و تخصیص بهینه جریان

### نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

در این مقاله یک شبکه زنجیره تأمین دارو در حالت عدم قطعیت و با در نظرگیری تخفیف خرید مواد اولیه مدل‌سازی شد. در این مدل پارامترهایی نظیر تقاضا، هزینه‌های حمل‌ونقل و انتقال دارو بین تسهیلات و هزینه‌های تولید و توزیع به‌صورت غیرقطعی در نظر گرفته شد و از روش بهینه‌سازی استوار-امکانی برای کنترل این پارامترها استفاده شد. همچنین در مدل شبکه زنجیره تأمین داروی طراحی‌شده به فسادپذیری دارو با توجه به زمان تولید نیز اشاره شده است. برای حل مدل سه هدفه شبکه زنجیره تأمین دارو از روش ترکیبی تصمیم‌گیری چندهدفه معیار جامع و شبیه‌سازی مونت کارلو و الگوریتم

NSGA II استفاده شده است. شبیه‌سازی مونت کارلو جهت تولید وزن‌های تصادفی در این مقاله به‌کاربرده شده است. درنهایت یک مسئله نمونه برای حل مدل پیشنهادی ارائه و متغیرهای تصمیم‌گیری حاصل از آن گزارش داده شد. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده از حل مدل مشخص شد با افزایش نرخ عدم قطعیت میانگین‌های توابع هدف و زمان محاسباتی متناظر با آن افزایش می‌یابد. با توجه به زمان‌بر بودن حل مسئله و پیچیدگی مدل پیشنهاد می‌شود برای حل مسئله در اندازه‌های بزرگ‌تر از الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه نظیر NSGA II با رمزگذاری مبتنی بر اولویت استفاده گردید و یک مسئله نمونه واقعی در آن پیاده‌سازی شد.



## مراجع

- [1]. Hajibabae, F., Joolae, S., Peyravi, H., & Haghani, H. (2011). "The relationship of medication errors among nurses with some organizational and demographic characteristics", pp. 83-92.
- [۲]. فلاح، ح؛ اسکندری، ح؛ ذگردی، س ح و چهارسوقی س (۱۳۹۶)، ارائه مدل دوسطحی طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته در شرایط عدم قطعیت و رقابت بین زنجیره‌ای: حل با رویکرد تجزیه بندرز، مجله مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۱۵، شماره ۴۹.
- [3]. Mahallati, V. (2012). "Management of Drug Supply Chain at 2025".
- [4]. Mehralian, G., Rajabzadeh, A., Reza Sadeh, M., & Reza Rasekh, H. (2012). "Intellectual capital and corporate performance in Iranian pharmaceutical industry". *Journal of Intellectual Capital*, Vol. 13. No. 1, pp.138-158.
- [۵]. شفيعی نیک آبادی و عظیمی، س ع (۱۳۹۴)، پیش بینی تقاضا در زنجیره تأمین با استفاده از الگوریتم های یادگیری ماشین (مورد مطالعه: زنجیره تأمین شرکت ایران خودرو). مجله مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۱۳، شماره ۴۱، صص ۱۳۶-۱۲۷.
- [۶]. فضلی خلف، م؛ چهارسوقی، س و پیشوایی، م س (۱۳۹۳)، طراحی پایای شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته تحت عدم قطعیت: مطالعه موردی یک تولیدکننده باتری اسیدی. مجله مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۱۲، شماره ۳۹، صص ۶۰-۴۵.
- [7]. Gatica, G., Papageorgiou, L. G., & Shah, N. (2003). "Capacity planning under uncertainty for the pharmaceutical industry". *Chemical Engineering Research and Design*, Vol. 81, No. 6, pp. 665-678.
- [8]. Levis, A. A., & Papageorgiou, L. G. (2004). "A hierarchical solution approach for multi-site capacity planning under uncertainty in the pharmaceutical industry". *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 28, No. 5, pp. 707-725.
- [9]. Üster, H., Easwaran, G., Akçali, E., & Çetinkaya, S. (2007). "Benders decomposition with alternative multiple cuts for a multi-product closed-loop supply chain network design model". *Naval Research Logistics (NRL)*, Vol. 54, No. 8, pp. 890-907.
- [10]. Amaro, A. C. S., & Barbosa-Póvoa, A. P. F. (2008). "Planning and scheduling of industrial supply chains with reverse flows: A real pharmaceutical case study". *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 32, No. 11, pp. 2606-2625.
- [11]. Rossetti, C. L., Handfield, R., & Dooley, K. J. (2011). "Forces, trends, and decisions in pharmaceutical supply chain management". *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 41, No. 6, pp. 601-622.
- [12]. Sousa, R. T., Liu, S., Papageorgiou, L. G., & Shah, N. (2011). "Global supply chain planning for pharmaceuticals". *Chemical Engineering Research and Design*, Vol. 89, No. 11, pp. 2396-2409.
- [13]. Susarla, N., & Karimi, I. A. (2012). "Integrated supply chain planning for multinational pharmaceutical enterprises". *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 42, pp. 168-177.
- [14]. Jetly, G., Rossetti, C. L., & Handfield, R. (2012). "A multi-agent simulation of the pharmaceutical supply chain". *Journal of Simulation*, Vol. 6, No. 4, pp. 215-226.
- [15]. Zhang, Z. H., & Jiang, H. (2014). "A robust counterpart approach to the bi-objective emergency medical service design problem". *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 38, No. 3, pp. 1033-1040.
- [16]. Zahiri, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., Mohammadi, M., & Jula, P. (2014). "Multi-objective design of an organ transplant network under uncertainty". *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 72, pp. 101-124.
- [17]. Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B., & Seuring, S. (2014). "Dynamic supply chain network design for the supply of blood in disasters: a robust model with real world application". *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 70, pp. 225-244.
- [18]. Mousazadeh, M., Torabi, S. A., & Pishvae, M. S. (2014). "Green and reverse logistics management under fuzziness". In *Supply Chain Management under Fuzziness*, pp. 607-637.
- [19]. Mousazadeh, M., Torabi, S. A., & Zahiri, B. (2015). "A robust possibilistic programming approach for pharmaceutical supply chain network design". *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 82, pp. 115-128.

- [20]. Salsabil, M., Shafia, M. A., Pishvae, M. S., & Shahanaghi, K. (2015). "Tactical Planning of Three-Level Supply Chain considering Sanction Disruption and Shelf Life: A case Study of ATRA Drug Supply Chain". *Industrial Management*, Vol.7, No. 2, pp. 305-332.
- [21]. Yousefi sarmad, M., & Pishvae, M. S. (2016). "The Tactical Planning Model of a robust-possibilistic supply chain for drug disorder under conditions of disorder with transient transmissions and corruption". 2nd International Conference on Industrial and Systems. Fersowsi University of Mashhad: 14-15 September 2016
- [22]. Kalantari, M., & Pishvae, M. S. (2016), "A Robust Possibilistic Programming Approach to Drug Supply Chain Master Planning". *Industrial Engineering Research in Production Systems*, Vol. 4, No. 7, pp. 49-67.
- [23]. Hosseinfard, Z., & Abbasi, B. (2016). "The inventory centralization impacts on sustainability of the blood supply chain". *Computers & Operations Research*. Article in Press. Google Scholar.
- [24]. Zahiri, B., & Pishvae, M. S. (2017). "Blood supply chain network design considering blood group compatibility under uncertainty". *International Journal of Production Research*, Vol. 55, No. 7, pp. 2013-2033.
- [25]. Martins, S., Amorim, P., Figueira, G., & Almada-Lobo, B. (2017). "An optimization-simulation approach to the network redesign problem of pharmaceutical wholesalers". *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 106, pp. 315-328.
- [26]. 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*, Vol. 423, pp. 257-283.
- [27]. Habibi-Kouchaksaraei, M., Paydar, M. M., & Asadi-Gangraj, E. (2018). "Designing a bi-objective multi-echelon robust blood supply chain in a disaster". *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 55, pp. 583-599.
- [28]. Pishvae, M. S., & Torabi, S. A. (2010). "A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty". *Fuzzy sets and systems*, Vol. 161, No. 20, pp. 2668-2683.