MODIRIAT-E-FRDA JOURNAL
ISSN ۲۲۲۸-۶۰۴۷

Robust-Fuzzy-Probabilistic Programming for a Multi-Echelon Drug Supply Chain Network under Uncertainty

Amin Toghiani[۱*] | Esmaeil Najafi[۲*] | Neda Rafiee Parsa[۳]

۱. Corresponding Author's Email: amin.toghyani@iau.ac.ir
Department of Industrial Engineering, Central Tehran Branch, Islamic AzadUniversity, Tehran, Iran
۲. Corresponding Author's Email: Enajafi@iau.ac.ir
Department of Industrial Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
۳. Corresponding Author's Email: n.rafieeparsa@iauctb.ac.ir
Department of Industrial Engineering, Central Tehran Branch, Islamic AzadUniversity, Tehran, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: ۱۸ March ۲۰۲۱
Revised: ۱۰ June ۲۰۲۱
Accepted: ۱۶ June ۲۰۲۱

Keywords:
Drug supply chain network,
Robust-fuzzy-probabilistic,
programming,
Uncertainty,
Quantitydiscount,
Perishability,
NSGA-II;
MOWOA.

ABSTRACT

Objective:
This study aims to design a multi-echelon pharmaceutical supply chain network under uncertainty. The main objectives are to minimize total network costs and maximum unmet demand while maximizing the reliability of drug delivery to end customers.

Methodology:
A robust-fuzzy-probabilistic (RFP) programming approach is employed to control uncertain parameters in the pharmaceutical supply chain network. The proposed network consists of five echelons: suppliers, manufacturers, distributors, retailers, and customers. The model also considers general discounts on manufacturers' raw material purchases and the reliability of drug delivery. A multi-objective decision-making approach is applied to solve small-scale instances, while NSGA-II and MOWOA algorithms are used for larger-scale problems.

Conclusion:
The computational results indicate that increasing uncertainty levels leads to higher total network design costs and greater shortages. The sensitivity analysis of perishability time shows that increasing this parameter reduces total network costs and shortages while improving the reliability of perishable product delivery. Furthermore, ۱۵ test problems of different sizes are developed for large-scale evaluation. The results indicate no significant difference between the mean performance of the algorithms across the evaluated indices. Originality: The originality of this research lies in developing a multi-objective pharmaceutical supply chain network model that integrates robust-fuzzy-probabilistic programming, general raw material purchase discounts, product perishability, delivery reliability, and unmet demand under uncertainty.

Originality:
The originality of this research lies in developing a multi-objective pharmaceutical supply chain network model that integrates robust-fuzzy-probabilistic programming, general raw material purchase discounts, product perishability, delivery reliability, and unmet demand under uncertainty.

.

نشریه مدیریت فردا
ISSN ۲۲۲۸-۶۰۴۷

برنامه‌ریزی استوار–فازی–احتمالی در طراحی شبکه زنجیره تأمین چندسطحی دارو تحت شرایط عدم‌قطعیت

امین طغیانی*[۱] | سید اسماعیل نجفی[۲] | ندا رفیعی پارسا[۳]

چکیده

هدف:

هدف این پژوهش، طراحی شبکه زنجیره تأمین چندسطحی دارو تحت شرایط عدم‌قطعیت است. اهداف اصلی مدل شامل کمینه‌سازی هزینه کل طراحی شبکه، کمینه‌سازی حداکثر تقاضای تأمین‌نشده و بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان در تحویل دارو به مشتریان نهایی است.

ضرورت:

ضرورت انجام این پژوهش ناشی از اهمیت راهبردی زنجیره تأمین دارو و وجود عدم‌قطعیت در مراحل مختلف تأمین، تولید و توزیع محصولات دارویی است. از آنجا که اختلال در عملکرد این زنجیره می‌تواند منجر به افزایش هزینه‌ها، کمبود دارو و کاهش سطح خدمات‌رسانی به مشتریان نهایی شود، طراحی یک شبکه کارآمد و قابل‌اعتماد اهمیت ویژه‌ای دارد. همچنین، ویژگی فسادپذیری برخی محصولات دارویی و ضرورت تحویل مطمئن و به‌موقع آن‌ها، پیچیدگی تصمیم‌گیری در این حوزه را افزایش می‌دهد. بر این اساس، پژوهش حاضر با ارائه یک مدل چندهدفه مبتنی بر برنامه‌ریزی استوار–فازی–احتمالی، تلاش می‌کند هزینه کل طراحی شبکه و میزان تقاضای تأمین‌نشده را کاهش داده و قابلیت اطمینان تحویل دارو را افزایش دهد. در نهایت، به‌کارگیری روش‌های حل مناسب برای مسائل با ابعاد مختلف می‌تواند به تصمیم‌گیری بهتر در طراحی و مدیریت شبکه زنجیره تأمین دارو کمک کند.

روش شناسی:

در این پژوهش، از روش برنامه‌ریزی استوار–فازی–احتمالی (RFP) برای کنترل پارامترهای غیرقطعی در شبکه زنجیره تأمین دارو استفاده شده است. شبکه پیشنهادی شامل پنج سطح تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان، خرده‌فروشان و مشتریان است. همچنین، تخفیف عمومی در خرید مواد اولیه توسط تولیدکنندگان و قابلیت اطمینان تحویل دارو در مدل لحاظ شده است. برای حل مسائل با ابعاد کوچک، از روش تصمیم‌گیری چندهدفه و برای مسائل با ابعاد بزرگ‌تر، از الگوریتم‌های NSGA-II و MOWOA استفاده شده است.

یافته‌ها:

یافته های محاسباتی نشان می‌دهد که با افزایش سطح عدم‌قطعیت، هزینه کل طراحی شبکه و میزان کمبود افزایش می‌یابد. همچنین، تحلیل حساسیت پارامتر زمان فسادپذیری نشان می‌دهد که افزایش این زمان موجب کاهش هزینه کل شبکه و میزان کمبود و افزایش قابلیت اطمینان در انتقال محصولات فسادپذیر می‌شود. در مقیاس‌های بزرگ‌تر نیز ۱۵ مسئله نمونه با ابعاد مختلف طراحی و بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که تفاوت معناداری میان میانگین عملکرد الگوریتم‌ها بر اساس شاخص‌های ارزیابی‌شده وجود ندارد.

نتیجه‌گیری:

مدل ارائه‌شده چارچوبی چندهدفه برای طراحی شبکه زنجیره تأمین دارو تحت شرایط عدم‌قطعیت فراهم می‌کند که در آن هزینه، تقاضای تأمین‌نشده و قابلیت اطمینان تحویل دارو به‌صورت هم‌زمان مورد توجه قرار می‌گیرند. نتایج بر اهمیت مدیریت عدم‌قطعیت و زمان فسادپذیری در بهبود عملکرد شبکه تأکید دارند .نوآوری پژوهش :نوآوری این پژوهش در ارائه مدلی برای طراحی شبکه زنجیره تأمین چندسطحی دارو است که برنامه‌ریزی استوار–فازی–احتمالی، تخفیف عمومی خرید مواد اولیه، فسادپذیری محصولات، قابلیت اطمینان تحویل دارو و تقاضای تأمین‌نشده را به‌صورت هم‌زمان در شرایط عدم‌قطعیت در نظر می‌گیرد.

کلیدواژه‌ها:

کلیدواژه‌ها :شبکه زنجیره تأمین دارو برنامه‌ریزی استوار–فازی–احتمالی عدم‌قطعیت تخفیف خرید مواد اولیه فسادپذیری الگوریتمMOWOA

استناد: طغیانی، امین؛ نجفی، سید اسماعیل؛ و رفیعی پارسا، ندا (۱۴۰۲). برنامه‌ریزی استوار–فازی–احتمالی در طراحی شبکه زنجیره تأمین چندسطحی دارو تحت شرایط عدم‌قطعیت

دریافت مقاله: ..... ۱۴۰۳/۰۶/۱۰ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۲۲

[۱] amin.toghyani@iau.ac.ir

[۲] Enajafi@iau.ac.ir

[۳] n.rafieeparsa@iauctb.ac.ir

۱ـ مقدمه

مساله طراحی شبکه زنجیره تأمین عمدتا 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، ۲۰۲۳ و مردان و همکاران، ۲۰۱۹). در مورد طراحی شبکه زنجیره تأمین، 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، ۲۰۰۸). مساله طراحی شبکه زنجیره تأمین 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، ۲۰۲۰). چنین عواقبی بطور قابل توجهی پیچیدگی مسائل مدیریت زنجیره تأمین را افزایش می دهد و فرایندهای تصمیم گیری را به چالش می کشد (دیابات و همکاران، ۲۰۲۰). ماندگاری محدود محصول مستقیماً بر مکان یابی تسهیلات، کنترل موجودی کالا و تصمیمات مدیریت تأثیر می گذارد (دیابات و همکاران، ۲۰۱۶). صنعت داروسازی صنعتی است که در آن فسادپذیری محصول و در نتیجه، مسائل طراحی شبکه زنجیره تأمین نقش مهمی در کاهش هزینه ها، افزایش رضایت مشتری و دستیابی به توسعه پایدار دارد (نوذری و همکاران، ۲۰۲۲). صنعت داروسازی مجموعه ای از سازمان ها، فرآیندها 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 ۲۰۰۹ میلادی، ۱۰ درصد از هزینه های مراقبت های بهداشتی در ایالات متحده متعلق به صنعت داروسازی است و این میزان در سال ۲۰۱۵ میلادی به ۱۳٫۸٪ افزایش یافته است (سوادکوهی و همکاران، ۲۰۱۸). 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، ۲۰۱۶). 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. ازاین‌رو 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، ۲۰۱۲). بااین‌حال، 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. ازآنجاکه 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 درعین‌حال 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 تامین دارو، در این تحقیق یک شبکه زنجیره تامین 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 تامین به منظور کاهش قیمت تمام شده دارو ها می باشد. در جنبه های اجتماعی نیز هدف اصلی کمینه سازی حداکثر تقاضای برآورده نشده از تامین 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 ۵ سطح تولید کنندگان اولیه دارو (تامین 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 منجربه 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 NSGAII 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 تامین پرداخته شده است. در بخش سوم مدل ریاضی شبکه زنجیره تامین 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.

۲- مرور ادبیات

علی احمدی و همکاران و همکاران (۲۰۲۳) 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 تأمین داروسازی متمرکز بوده است. تحقیقات کمی، طراحی بهینه شبکه های دارویی را بررسی کرده است (ناگورنی و لی، ۲۰۱۵). صبوحی و همکاران (۲۰۱۸) یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای توسعه شبکه زنجیره تأمین 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 تأمین 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 (۲۰۱۱) 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 (۲۰۲۲) یک شبکه زنجیره تأمین 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 (۲۰۱۵) 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 تأمین دارویی چند دوره ای و چند محصولی را تحت شرایط عدم قطعیت طراحی کنند. ظهیری و همکاران (۲۰۱۷) 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 (۲۰۱۸) 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 (۲۰۱۸) 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 (۲۰۱۸) 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.

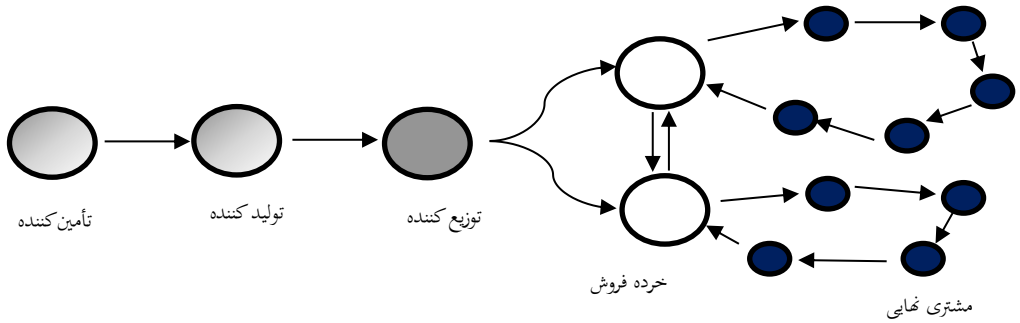
نصراللهی و رزمی (۲۰۱۹) با بررسی چهار مرحله ای شبکه زنجیره تامین دارویی چند دوره ای، میزان پاسخگویی به تقاضا در بیمارستان را افزایش دادند و هزینه ها را کاهش دادند. با این کار، برخی از اولویت ها برای اقلام دارویی مطابق با ویژگی های بیماران در هر یک از بیمارستان ها که از شاخص اطمینان برای اقلام دارویی استفاده 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 (۲۰۱۹) 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 (۲۰۲۰) 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 (۲۰۲۲) یک زنجیره تأمین دارویی دو مرحله ای را ارائه دادند. آنها دو سناریو برای سه ساختار مختلف قدرت زنجیره تأمین 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 تأمین دارویی را افزایش دهد. علاوه بر این، نتایج نشان داد که ساختار قدرت متعادل تأثیر مثبتی بر عملکرد اقتصادی و رفاه اجتماعی زنجیره تأمین 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.

۳- تعریف مسئله و مدل سازی

شکل (۱) یک شبکه زنجیره تامین داروی پنج سطحی را نشان میدهد که در مقاله حاضر به مدل سازی این شبکه پزداخته شده است. مطابق با شکل (۱) 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 (۱) 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 صیح 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 ۱- شبکه چند سطحی زنجیره تأمین دارو

با توجه به تعریف مسئله، مدل شبکه زنجیره تامین داروی پیشنهادی با توجه به مفروضات زیر قابل مدل سازی می باشد.

- مدل طراحی شده چند دوره‌ای، چند محصولی و در سناریو های مختلف می باشد.
- تقاضای دارویی مشتری در هر دوره زمانی و هزینه عملیاتی (نگهداری–حمل و نقل) غیرقطعی و به صورت اعداد فازی ذوزنقه ای در هر سناریو در نظر گرفته‌شده است.
- ظرفیت تسهیلات قطعی و از قبل مشخص می‌باشد.
- سطح تخفیف و قیمت فروش مواد اولیه توسط تامین 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 خرده‌فروش و مشتری معلوم و مشخص می‌باشد.

با توجه به مفروضات بیان‌شده، توابع هدف مسئله شامل کمینه سازی هزینه های کل طراحی شبکه زنجیره تامین، 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.

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

پارامترها

G_i	هزینه انتخاب تأمین‌کننده i	
O_j	هزینه انتخاب مرکز تولید j	
H_k	هزینه انتخاب مرکز توزیع k	
U_l	هزینه انتخاب خرده‌فروش l	
$\tilde{T}_{ijps}$	هزینه حمل‌ونقل به ازای هر واحد دارو p بین تأمین‌کننده i و مرکز تولیدی j در سناریو s	
$\tilde{T}_{jkps}$	هزینه حمل‌ونقل به ازای هر واحد دارو p بین مرکز تولیدی j و مرکز توزیع k در سناریو s	
$\tilde{T}_{klps}$	هزینه حمل‌ونقل به ازای هر واحد دارو p بین مرکز توزیع k و خرده‌فروش l در سناریو s	
$\tilde{T}_{ll'ps}$	هزینه حمل‌ونقل به ازای هر واحد دارو p بین خرده‌فروشان l و l' در سناریو s	
$\tilde{T}_{lcvs}$	هزینه حمل‌ونقل به ازای هر واحد دارو بین خرده‌فروش l و مشتری c توسط وسیله نقلیه v در سناریو s	$l, c \in L \cup C$
Re_{ijvs}	قابلیت اطمینان به ازای انتقال هر واحد دارو بین تأمین‌کننده i و مرکز تولیدی j توسط وسیله نقلیه v در سناریو s	
Re_{jkvs}	قابلیت اطمینان به ازای انتقال هر واحد دارو بین مرکز تولیدی j و مرکز توزیع k توسط وسیله نقلیه v در سناریو s	
Re_{klvs}	قابلیت اطمینان به ازای انتقال هر واحد دارو بین مرکز توزیع k و خرده‌فروش l توسط وسیله نقلیه v در سناریو s	
$Re_{ll'vs}$	قابلیت اطمینان به ازای انتقال هر واحد دارو بین خرده‌فروشان l و l' توسط وسیله نقلیه v در سناریو s	
Re_{lcvs}	قابلیت اطمینان به ازای انتقال هر واحد دارو بین خرده‌فروش l و مشتری c توسط وسیله نقلیه v در سناریو s	$l, c \in L \cup C$
$\tilde{D}_{cpts}$	تقاضای مشتری c از داروی p در دوره زمانی t در سناریو s	
u_p	زمان فسادپذیری داروی p	
$CapI_{ips}$	حداکثر ظرفیت تأمین‌کننده i از تأمین مواد اولیه دارو p در سناریو s	
$CapJ_{jps}$	حداکثر ظرفیت مرکز تولیدی j از تولید دارو p در سناریو s	
$CapK_{kps}$	حداکثر ظرفیت مرکز توزیع k از توزیع دارو p در سناریو s	
$CapL_{lps}$	حداکثر ظرفیت خرده‌فروش k از توزیع دارو p در سناریو s	

$CapV_v$	ظرفیت وسیله نقلیه ناهمگن v
$\tilde{h}_{kp}$	هزینه نگهداری محصول p در مرکز توزیع‌کننده k
$\tilde{h}'_{lp}$	هزینه نگهداری محصول p در مرکز خرده‌فروش l
P_s	احتمال رخداد سناریو s
pr_{ibps}	قیمت خرید ماده اولیه p از تأمین‌کننده ماده اولیه i با سطح تخفیف b در سناریو s
Ψ_{ibpts}	کران پایین بازه تخفیف ماده اولیه p در سطح تخفیف b از سوی تأمین‌کننده ماده اولیه i در دوره زمانی t در سناریو s
ϑ_{cp}	اهمیت تحویل محصول p به مشتری c
$\tilde{C}_{lps}$	هزینه توزیع محصول p توسط خرده فروش l در سناریو s

متغیرهای تصمیم گیری

X_{ijpts}	مقدار دارو انتقال‌یافته p بین تأمین‌کننده i و مرکز تولید j در دوره زمانی t در سناریو s
Y_{jkpts}	مقدار دارو انتقال‌یافته p بین مرکز تولید j و مرکز توزیع k در دوره زمانی t در سناریو s
W_{klpts}	مقدار دارو انتقال‌یافته p بین مرکز توزیع k و خرده‌فروش l در دوره زمانی t در سناریو s
$S_{ll'pts}$	مقدار دارو انتقال‌یافته p بین خرده‌فروشان l و l' در دوره زمانی t در سناریو s
V'_{lpts}	کل مقدار دارو انتقال‌یافته p از خرده‌فروش l در دوره زمانی t در سناریو s
T_{klptrs}	مقدار دارو انتقال‌یافته p بین مرکز توزیع k و خرده‌فروش l در دوره زمانی t و تولیدشده در دوره زمانی r در سناریو s
$A_{l'lptrs}$	مقدار دارو انتقال‌یافته p بین خرده‌فروشان l و l' در دوره زمانی t و تولیدشده در دوره زمانی r در سناریو s
Q_{kptrs}	سطح موجودی دارو p در انبار مرکز توزیع k در دوره زمانی t و تولیدشده در دوره زمانی r در سناریو s
Q'_{lptrs}	سطح موجودی دارو p در انبار خرده‌فروش l در دوره زمانی t و تولیدشده در دوره زمانی r در سناریو s
Θ_{ipts}	کل خرید ماده اولیه p از تأمین‌کننده i در دوره زمانی t در سناریو s
Z_i	درصورتی‌که تأمین‌کننده i انتخاب گردد، مقدار ۱ و در غیر این صورت ۰ می‌گیرد.
Z_j	درصورتی‌که مرکز تولید j انتخاب گردد، مقدار ۱ و در غیر این صورت ۰ می‌گیرد.
Z_k	درصورتی‌که مرکز توزیع k انتخاب گردد، مقدار ۱ و در غیر این صورت ۰ می‌گیرد.
Z_l	درصورتی‌که خرده‌فروش l انتخاب گردد، مقدار ۱ و در غیر این صورت ۰ می‌گیرد.
Z_{lcts}	درصورتی‌که مشتری c به خرده‌فروش l در دوره زمانی t در سناریو s تخصیص یابد، مقدار ۱ و در غیر این صورت ۰ می‌گیرد.
Z_{lcvt}	درصورتی‌که مشتری c بعد از خرده‌فروش l توسط وسیله نقلیه v در دوره زمانی t در سناریو s بازدید شود، مقدار ۱ و در غیر این صورت ۰ می‌گیرد. $l, c \in L \cup C$

Z_{lcvt} درصورتی‌که مشتری c بعد از خرده‌فروش l توسط وسیله نقلیه v در دوره زمانی t در سناریو s بازدید شود، مقدار ۱ و در غیر این صورت ۰ می‌گیرد. $l,c \in L \cup C$

Sh_{cpts} مقدار کمبود رخ داده از محصول p برای مشتری c در دوره زمانی t در سناریو s

U_{cvt} متغیر کمکی برای محدودیت حذف زیر تور

XR_{ijvts} در صورتی‌که دارو بین تأمین‌کننده i و مرکز تولید j در دوره زمانی t توسط وسیله نقلیه v در سناریو s انتقال یابد، مقدار ۱ و در غیر این صورت ۰ می‌گیرد.

YR_{jkvts} در صورتی‌که دارو بین مرکز تولید j و مرکز توزیع k در دوره زمانی t توسط وسیله نقلیه v در سناریو s انتقال یابد، مقدار ۱ و در غیر این صورت ۰ می‌گیرد.

WR_{klvts} در صورتی‌که دارو بین مرکز توزیع k و خرده‌فروش l در دوره زمانی t توسط وسیله نقلیه v در سناریو s انتقال یابد، مقدار ۱ و در غیر این صورت ۰ می‌گیرد.

$S_{ll'vts}$ در صورتی‌که دارو بین خرده‌فروشان l و l' در دوره زمانی t توسط وسیله نقلیه v در سناریو s انتقال یابد، مقدار ۱ و در غیر این صورت ۰ می‌گیرد.

M_{ibpts} درصورتی‌که سطح تخفیف b برای خرید ماده اولیه p از تأمین‌کننده مواد اولیه i در دوره t در سناریو s انتخاب شود، مقدار ۱ و در غیر این صورت ۰ می‌گیرد.

۳-۲- مدل‌سازی شبکه چند سطحی زنجیره تأمین دارو در حالت غیرقطعی

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

$$Min\omega 1 = \sum_{i=1}^{I} G_i Z_i + \sum_{j=1}^{J} O_j Z_j + \sum_{k=1}^{K} H_k Z_k + \sum_{l=1}^{L} U_l Z_L + \sum_{s=1}^{S} P_s \left[\begin{array}{l} \sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\sum_{r=1}^{t} \tilde{h}_{kps} Q_{kptrs} + \sum_{l=1}^{L}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\sum_{r=1}^{t} \tilde{h}'_{lps} Q'_{lptrs} + \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} \tilde{T}_{ijps} X_{ijpts} + \\ \sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} \tilde{T}_{jkps} Y_{jkpts} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} \tilde{T}_{klps} W_{klpts} + \sum_{l=1}^{LUC}\sum_{c=1}^{LUC}\sum_{v=1}^{V}\sum_{t=1}^{T} \tilde{T}_{lcvs} Z_{lcvts} + \\ \sum_{l=1}^{L}\sum_{\substack{l'=1 \\ l'\neq l}}^{L}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} \tilde{T}_{ll'ps} S_{ll'pts} + \sum_{l=1}^{L}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} \tilde{C}_{lps} V'_{lpts} + \sum_{i=1}^{I}\sum_{b=1}^{B}\sum_{p=1}^{P}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} pr_{ibps} M_{ibpts} X_{ijpts} \end{array} \right] \quad (1)$$

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

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

$s.t.$:

$$\sum_{i=1}^{I} X_{ijpts} = \sum_{k=1}^{K} Y_{jkpts}, \quad \forall j,p,t,s \tag{٤}$$

$$\sum_{r=1}^{t} Q_{kptrs} = \sum_{j=1}^{J} Y_{jkpts} - \sum_{l=1}^{L} W_{klpts}, \quad \forall k,p,s,t = 1 < u_p \tag{٥}$$

$$\sum_{r=1}^{t} Q_{kptrs} = \sum_{r=1}^{t-1} Q_{kpt-1rs} + \sum_{j=1}^{J} Y_{jkpts} - \sum_{l=1}^{L} W_{klpts}, \quad \forall k,p,s,1 < t < u_p \tag{٦}$$

$$\sum_{r=t+1-u_p}^{t} Q_{kptrs} = \sum_{r=t+1-u_p}^{t-1} Q_{kpt-1rs} + \sum_{j=1}^{J} Y_{jkpts} - \sum_{l=1}^{L} W_{klpts}, \quad \forall k,p,s,t \geq u_p \tag{٧}$$

$$W_{klpts} = \sum_{r=1}^{t} T_{klptrs}, \quad \forall k,l,p,s,t < u_p \tag{٨}$$

$$W_{klpts} = \sum_{r=t+1-u_p}^{t} T_{klptrs}, \quad \forall k,l,p,s,t \geq u_p \tag{٩}$$

$$Q_{kptrs} = \sum_{j=1}^{J} Y_{jkpts} - \sum_{l=1}^{L} T_{klptrs}, \quad \forall k,p,s,t = r \tag{١٠}$$

$$Q_{kptrs} = Q_{kpt-1rs} - \sum_{l=1}^{L} T_{klptrs}, \quad \forall k,p,s,t-r < u_p \tag{١١}$$

$$\sum_{r=1}^{t} Q'_{lptrs} = \sum_{k=1}^{K} W_{klpts} - V'_{lpts} + \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^{L} S_{l'lpts} - \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^{L} S_{ll'pts}, \quad \forall l,p,s,t = 1 < u_p \tag{١٢}$$

$$\sum_{r=1}^{t} Q'_{lptrs} = \sum_{r=1}^{t-1} Q'_{lpt-1rs} + \sum_{k=1}^{K} W_{klpts} - V'_{lpts} + \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^{L} S_{l'lpts} - \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^{L} S_{ll'pts}, \quad \forall l,p,s,1 < t < u_p \tag{١٣}$$

$$\sum_{r=t-u_p+1}^{t} Q'_{lptrs} = \sum_{r=t-u_p+1}^{t-1} Q'_{lpt-1rs} + \sum_{k=1}^{K} W_{klpts} - V'_{lpts} + \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^{L} S_{l'lpts} - \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^{L} S_{ll'pts}, \quad \forall l,p,s,t \geq u_p \tag{١٤}$$

$$V'_{lpts} = \sum_{r=1}^{t} \sum_{c=1}^{C} B_{lcptrs}, \quad \forall l,c,p,s,t < u_p \tag{١٥}$$

$$V'_{lpts} = \sum_{r=t-u_p+1}^{t} \sum_{c=1}^{C} B_{lcptrs}, \quad \forall l,c,p,s,t \geq u_p \tag{١٦}$$

$$S_{ll'pts} = \sum_{r=1}^{t} A_{l'lptrs}, \quad \forall l,l',p,s,t < u_p \tag{١٧}$$

$$S_{ll'pts} = \sum_{r=t-u_p+1}^{t} A_{l'lptrs}, \quad \forall l,l',p,s,t \geq u_p \tag{١٨}$$

$$Q'_{lptrs} = \sum_{k=1}^{K} T_{klptrs} - \sum_{c=1}^{C} B_{lcptrs} + \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^{L} A_{l'lptrs} - \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^{L} A_{ll'ptrs}, \quad \forall l,p,s,t = r \tag{١٩}$$

$$Q'_{lptrs} = Q'_{lpt-1rs} - \sum_{c=1}^{C} B_{lcptrs} - \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \neq l}}^{L} A_{ll'ptrs}, \quad \forall l,p,s,t-r < u_p \tag{٢٠}$$

$$\sum_{j=1}^{J} X_{ijpts} \leq CapI_{ips} Z_i, \quad \forall i,p,t,s \tag{٢١}$$

$$\sum_{k=1}^{K} Y_{jkpts} \le CapJ_{jps} Z_j, \quad \forall j,p,t,s \tag{۲۲}$$

$$\sum_{k=1}^{K} W_{klpts} + \sum_{\substack{l'=1 \\ l' \ne l}}^{L} S_{l'lpts} \le CapL_{lps} Z_l, \quad \forall l,p,t,s \tag{۲۳}$$

$$\sum_{j=1}^{J} Y_{jkpts} \le CapK_{kps} Z_k, \quad \forall k,p,t,s \tag{۲۴}$$

$$V'_{lpts} = \sum_{c=1}^{C} (\tilde{D}_{cpts} - Sh_{cpts}) Z_{lcts}, \quad \forall l,p,t,s \tag{۲۵}$$

$$\sum_{v=1}^{V} \sum_{l=1}^{C \cup L} Z_{lcvts} = 1, \quad \forall c,t,s \tag{۲۶}$$

$$\sum_{c=1}^{C} \sum_{l=1}^{C \cup L} \sum_{p=1}^{P} (\tilde{D}_{cpts} - Sh_{cpts}) Z_{lcvts} \le CapV_v, \quad \forall v,t,s \tag{۲۷}$$

$$U_{mvt} - U_{cvt} + CZ_{mcvts} \le C - 1, \quad \forall m,c \in C,v,t,s \tag{۲۸}$$

$$\sum_{c=1}^{C \cup L} Z_{lcvts} = \sum_{c=1}^{C \cup L} Z_{clvts}, \quad \forall v,t,l \in C \cup L,s \tag{۲۹}$$

$$\sum_{l=1}^{L} \sum_{c=1}^{C} Z_{lcvts} \le 1, \quad \forall v,t,s \tag{۳۰}$$

$$\sum_{p=1}^{P} V'_{lpts} \le \sum_{p=1}^{P} CapL_{lps} Z_l, \quad \forall l,t,s \tag{۳۱}$$

$$-Z_{lcts} + \sum_{u=1}^{C \cup L} (Z_{luvts} + Z_{ucvts}) \le 1, \quad \forall l,c,v,t,s \tag{۳۲}$$

$$\sum_{p=1}^{P} X_{ijpts} \le \sum_{v=1}^{V} CapV_v . XR_{ijvts}, \quad \forall i,j,t,s \tag{۳۳}$$

$$\sum_{p=1}^{P} Y_{jkpts} \le \sum_{v=1}^{V} CapV_v . YR_{jkvts}, \quad \forall j,k,t,s \tag{۳۴}$$

$$\sum_{p=1}^{P} W_{klpts} \le \sum_{v=1}^{V} CapV_v . WR_{klvts}, \quad \forall k,l,t,s \tag{۳۵}$$

$$\sum_{p=1}^{P} S_{l'lpts} \le \sum_{v=1}^{V} CapV_v . SR_{l'lvts}, \quad \forall l,l',t,s \tag{۳۶}$$

$$M_{ibpts} \Psi_{ibpts} \le \Theta_{ipts}, \quad \forall i,b,p,t,s \tag{۳۷}$$

$$\sum_{b=1}^{B} M_{ibpts} = Z_i, \quad \forall i,p,t,s \tag{۳۸}$$

$$\Theta_{ipts} = \sum_{j=1}^{J} X_{ijpts}, \quad \forall i,p,t,s \tag{۳۹}$$

$$Q_{kptrs} = 0, \quad \forall k,p,t < r \tag{۴۰}$$

$$Q'_{lptrs} = 0, \quad \forall l,p,s,t < r \tag{۴۱}$$

$$X_{ijpts}, Y_{jkpts}, W_{klpts}, S_{l'lpts}, U_{lvt} \ge 0, \quad \forall i,j,k,c,l,l',p,v,t,s \tag{۴۲}$$

$$B_{lcptrs}, A_{ll'ptrs}, T_{klptrs}, Q'_{lptrs}, Q_{kptrs}, \Theta_{ipts} \ge 0, \quad \forall l,l',c,k,p,t,r,s \tag{۴۳}$$

$$Z_l, Z_k, Z_{lcts}, Z_{lcvts}, M_{ibpts} \in \{0,1\}, \quad \forall k,l,v,t,c,s \tag{۴۴}$$

$$XR_{ijvts}, YR_{jkvts}, WR_{klvts}, SR_{l'lpts} \in \{۰,۱\}, \quad \forall i,j,k,l,l',v,t,s \qquad (٤٥)$$

رابطه (۱) 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 تامین کننده) می‌باشد. رابطه (۲) 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 است. رابطه (۳) تابع هدف سوم را نشان می‌دهد و شامل بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان انتقال دارو توسط وسایل نقلیه ناهمگن از تأمین‌کننده به‌سوی مشتریان نهایی است. محدودیت (۴) مقدار انتقال مواد اولیه موردنیاز برای تولید دارو را از تأمین‌کننده به تولیدکننده نشان می‌دهد. محدودیت‌های (۵) تا (۷) 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 (۸) و (۹) میزان انتقال داروها را از مراکز توزیع به خرده‌فروشان با توجه به فسادپذیری داروها نشان می‌دهد. محدودیت‌های (۱۰) و (۱۱) سطح موجودی هر نوع دارو را در انبارهای خرده‌فروشان و محدودیت‌های (۱۲) تا (۱۴) سطح موجودی هر نوع دارو را در انبارهای خرده‌فروشان در کل زمان تولیدشان نشان می‌دهد. محدودیت‌های (۱۵) و (۱۶) میزان انتقال دارو را از خرده‌فروشان به‌تمامی نقاط تقاضای مشتری در هر دوره زمانی نشان می‌دهد. محدودیت‌های (۱۷) و (۱۸) میزان انتقال دارو بین خرده‌فروشان را با توجه به تقاضای مشتریان و با لحاظ کرده زمان فسادپذیری نشان می‌دهد. محدودیت‌های (۱۹) و (۲۰) رابطه تعادلی را در مرکز خرده‌فروش 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، مراکز توزیع و خرده‌فروشان می‌باشد و تضمین می‌کند تا زمانی که مرکز تأسیس نشده باشد نمی‌توان از حداکثر ظرفیت آن مرکز استفاده نمود. رابطه (۲۵) کل میزان جریان محصولات (تقاضا) را در مراکز خرده‌فروش برای انتقال به مشتریان نشان می‌دهد. محدودیت (۲۶) تضمین می‌کند هر خرده‌فروش تنها به یک مشتری می‌تواند تخصیص پیدا کند. محدودیت (۲۷) حداکثر ظرفیت حمل‌ونقل دارو را توسط وسیله نقلیه در دسترس نشان می‌دهد. محدودیت (۲۸) محدودیت مربوط به حذف زیر تور می‌باشد. محدودیت (۲۹) تضمین می‌کند وسیله نقلیه تنها یک‌بار می‌تواند به هر خوشه مشتری وارد و از آن خارج شود. محدودیت (۳۰) تا (۳۲) تضمین می‌کند که نقاط ابتدا و انتهای مسیریابی وسیله نقلیه در توزیع دارو به مشتریان، خرده‌فروش می‌باشد. محدودیت (۳۳) تا (۳۶) 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 (۳۷) تا (۳۹) سطح بهینه تخفیف را در هر دوره زمانی و در هر سناریو نشان میدهد. محدودیت‌های (۴۰) و (۴۱) روابط منطقی در موجودی دارو را در انبارهای مراکز تولید و توزیع نشان می‌دهد. محدودیت‌های (۴۲) تا (۴۵) نوع و جنس متغیرهای تصمیم‌گیری را نشان می‌دهد.

۳-۳- مدل برنامه ریزی استوار-فازی-احتمالی

توجه به ذات پویا ونوسانی برخی از پارامترهای مهم (ازجمله هزینه‌های حمل‌ونقل، تقاضا و هزینه های 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 تکیه‌بر نظرات و تجارب ذهنی کارشناسان تخمین زده می‌شود؛ بنابراین، پارامترهای مبهم فوق به‌عنوان داده غیرقطعی در قالب اعداد فازی ذوزنقه‌ای فرموله شده است. شایان‌ذکر است که برای تصمیم‌گیری‌های بلندمدت، ارزیابی قطعی هزینه حمل‌ونقل، 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 گرفته‌شده 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:

$$\begin{aligned} & minZ = F.y + \tilde{C}_s.x_s \\ & s.t.: \\ & Ax_s \geq \tilde{D}_s \\ & Ex_s \leq \tilde{S}_s y \\ & y \in \{۰,۱\}, \quad x_s \geq ۰ \end{aligned} \qquad (۴۶)$$

که در آن بردارهای $F, \tilde{C}_s, \tilde{D}_s$ و $\tilde{S}_s$ به ترتیب نشان‌دهنده هزینه ثابت احداث، هزینه متغیر (حمل‌ونقل)، 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 $\tilde{C}_s, \tilde{D}_s$ و $\tilde{S}_s$ 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 فازی بدبینانه به‌صورت زیر است:

$$\begin{aligned} & minZ = E[\mathrm{Z}] = F.y + \mathrm{E}[\tilde{C}_s].x_s \\ & s.t.: \\ & NEC\{Ax_s \geq \tilde{D}_s\} \geq \alpha_s \\ & NEC\{Ex_s \leq \tilde{S}_s y\} \geq \beta_s \\ & y \in \{۰,۱\}, \quad x_s \geq ۰ \end{aligned} \qquad (۴۷)$$

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 ذوزنقه‌ای برای پارامترهای مبهم، شکل کلی روابط (۴۷) به شرح زیر است:

$$\begin{aligned} & minZ = F.y + \left(\frac{\mathrm{C}_s^{۱} + \mathrm{C}_s^{۲} + \mathrm{C}_s^{۳} + \mathrm{C}_s^{۴}}{۴}\right) x_s \\ & s.t.: \\ & Ax_s \geq (۱ - \alpha_s) D_s^{۳} + \alpha_s D_s^{۴} \\ & Bx_s \leq \left((۱ - \beta_s) S_s^{۲} + \beta_s S_s^{۱}\right) \mathrm{y} \\ & y \in \{۰,۱\}, \quad x_s \geq ۰, \ \alpha_s, \beta_s \in [۰.۱,۰.۹] \end{aligned} \qquad (۴۸)$$

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. ازاین‌رو، برای مقابله با این وضعیت ناکارآمد، رویکرد برنامه‌ریزی غیرقطعی استوار–احتمالی برای مسئله، استفاده می‌شود. این رویکرد از مزایای قابل‌توجه 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:

$$
\begin{aligned}
&min\omega_{۱} = E[\omega] + \xi\left(\omega_{(\max)} - \omega_{(\min)}\right) + ۸\sum_{s} P_s\{E[\omega] - E[\omega_s] + ۲\theta_s\} + \\
&\eta_{۱}\sum_{s} P_s\left[D_s^{۴} - \frac{(\alpha_s - \lambda)D_s^{۴} + (۱ - \alpha_s)D_s^{۳}}{۱ - \lambda}\right] + \\
&\eta_{۲}\sum_{s} P_s\left[\frac{(\beta_s y - \lambda)S_s^{۱} + (y - \beta_s y)S_s^{۲}}{۱ - \lambda} - S_s^{۱}.y\right] \qquad (۴۹)\\
&s.t.: \\
&Ax_s \geq (۱ - \alpha_s)D_s^{۳} + \alpha_s D_s^{۴} \\
&Bx_s \leq \left((۱ - \beta_s)S_s^{۲} + \beta_s S_s^{۱}\right)y \\
&y, \in \{۰,۱\}, \quad x_s \geq ۰, \quad \alpha_s, \beta_s \in [۰.۱,۰.۹]
\end{aligned}
$$

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:

$$
\begin{aligned}
&\omega_{(\max)} = F.y + \sum_{s} P_s\, C_s^{۴} x_s \\
&\omega_{(\min)} = F.y + \sum_{s} P_s\, C_s^{۱} x_s \qquad (۵۰)\\
&E[\omega_s] = F.y + \left[\frac{۱ - \lambda}{۲}(C_s^{۱} + C_s^{۲}) + \frac{\lambda}{۲}(C_s^{۳} + C_s^{۴})\right].x_s
\end{aligned}
$$

در تابع هدف اول رابطه (۵۰)، 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. ازاین‌رو، پارامتر ξ ضریب وزنی تابع هدف، $\eta_{۱}$ هزینه جریمه عدم برآورد تقاضا، $\eta_{۲}$ 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 ۰,۱ و ۰,۹ باشد. در نهایت مدل کنترل شده شبکه زنجیره تامین دارو با روش برنامه ریزی استوار–فازی–احتمالی به شرح زیر می باشد.

$$
\begin{aligned}
&Min\omega 1 = E[\omega] + \xi\left(\omega_{(\max)} - \omega_{(\min)}\right) + ۸\sum_{s} P_s\{E[\omega] - E[\omega_s] + ۲\theta_s\} + \\
&\eta\sum_{s} P_s\sum_{c=۱}^{C}\sum_{p=۱}^{P}\sum_{t=۱}^{T}\left[D_{cpts}^{۴} - \frac{(\alpha_s - \lambda)D_{cpts}^{۴} + (۱ - \alpha_s)D_{cpts}^{۳}}{۱ - \lambda}\right] \qquad (۵۱)
\end{aligned}
$$

$$
\omega_{(\max)} = \sum_{i=۱}^{I} G_i Z_i + \sum_{j=۱}^{J} O_j Z_j + \sum_{k=۱}^{K} H_k Z_k + \sum_{l=۱}^{L} U_l Z_L + \qquad (۵۲)
$$

$$\sum_{s=1}^{S} P_s \left[\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\sum_{r=1}^{t} h_{kps}^{4} Q_{kptrs} + \sum_{l=1}^{L}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\sum_{r=1}^{t} h_{lps}^{4} Q'_{lptrs} + \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} T_{ijps}^{4} X_{ijpts} + \sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} T_{jkps}^{4} Y_{jkpts} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} T_{klps}^{4} W_{klpts} + \sum_{l=1}^{L\cup C}\sum_{c=1}^{L\cup C}\sum_{v=1}^{V}\sum_{t=1}^{T} T_{lcvs}^{4} Z_{lcvts} + \sum_{l=1}^{L}\sum_{\substack{l'=1 \\ l'\neq l}}^{L}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} T_{ll'ps}^{4} S_{ll'pts} + \sum_{l=1}^{L}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} C_{lps}^{4} V'_{lpts} + \sum_{i=1}^{I}\sum_{b=1}^{B}\sum_{p=1}^{P}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} pr_{ibps} M_{ibpts} X_{ijpts} \right]$$

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

$$\sum_{s=1}^{S} P_s \left[\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\sum_{r=1}^{t} h_{kps}^{1} Q_{kptrs} + \sum_{l=1}^{L}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\sum_{r=1}^{t} h_{lps}^{1} Q'_{lptrs} + \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} T_{ijps}^{1} X_{ijpts} + \sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} T_{jkps}^{1} Y_{jkpts} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} T_{klps}^{1} W_{klpts} + \sum_{l=1}^{L\cup C}\sum_{c=1}^{L\cup C}\sum_{v=1}^{V}\sum_{t=1}^{T} T_{lcvs}^{1} Z_{lcvts} + \sum_{l=1}^{L}\sum_{\substack{l'=1 \\ l'\neq l}}^{L}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} T_{ll'ps}^{1} S_{ll'pts} + \sum_{l=1}^{L}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} C_{lps}^{1} V'_{lpts} + \sum_{i=1}^{I}\sum_{b=1}^{B}\sum_{p=1}^{P}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} pr_{ibps} M_{ibpts} X_{ijpts} \right] \quad (٥٣)$$

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

$$\sum_{s=1}^{S} P_s \left[\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\sum_{r=1}^{t} \left(\frac{h_{kps}^{1} + h_{kps}^{2} + h_{kps}^{3} + h_{kps}^{4}}{4}\right) Q_{kptrs} + \sum_{l=1}^{L}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\sum_{r=1}^{t} \left(\frac{h_{lps}^{1} + h_{lps}^{2} + h_{lps}^{3} + h_{lps}^{4}}{4}\right) Q'_{lptrs} + \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} \left(\frac{T_{ijps}^{1} + T_{ijps}^{2} + T_{ijps}^{3} + T_{ijps}^{4}}{4}\right) X_{ijpts} + \sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} \left(\frac{T_{jkps}^{1} + T_{jkps}^{2} + T_{jkps}^{3} + T_{jkps}^{4}}{4}\right) Y_{jkpts} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} \left(\frac{T_{klps}^{1} + T_{klps}^{2} + T_{klps}^{3} + T_{klps}^{4}}{4}\right) W_{klpts} + \sum_{l=1}^{L\cup C}\sum_{c=1}^{L\cup C}\sum_{v=1}^{V}\sum_{t=1}^{T} \left(\frac{T_{lcvs}^{1} + T_{lcvs}^{2} + T_{lcvs}^{3} + T_{lcvs}^{4}}{4}\right) Z_{lcvts} + \sum_{l=1}^{L}\sum_{\substack{l'=1 \\ l'\neq l}}^{L}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} \left(\frac{T_{ll'ps}^{1} + T_{ll'ps}^{2} + T_{ll'ps}^{3} + T_{ll'ps}^{4}}{4}\right) S_{ll'pts} + \sum_{l=1}^{L}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} \left(\frac{C_{lps}^{1} + C_{lps}^{2} + C_{lps}^{3} + C_{lps}^{4}}{4}\right) V'_{lpts} + \sum_{i=1}^{I}\sum_{b=1}^{B}\sum_{p=1}^{P}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} pr_{ibps} M_{ibpts} X_{ijpts} \right] \quad (٥٤)$$

$$E[\omega_s] = \sum_{i=1}^{I} G_i Z_i + \sum_{j=1}^{J} O_j Z_j + \sum_{k=1}^{K} H_k Z_k + \sum_{l=1}^{L} U_l Z_L + \quad (٥٦)$$

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\sum_{r=1}^{t}\left(\frac{1-\lambda}{2}\left(h^{1}_{kps}+h^{2}_{kps}\right)+\frac{\lambda}{2}\left(h^{3}_{kps}+h^{4}_{kps}\right)\right)Q_{kptrs}+$$
$$\sum_{l=1}^{L}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\sum_{r=1}^{t}\left(\frac{1-\lambda}{2}\left(h^{1}_{lps}+h^{2}_{lps}\right)+\frac{\lambda}{2}\left(h^{3}_{lps}+h^{4}_{lps}\right)\right)Q'_{lptrs}+$$
$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\left(\frac{1-\lambda}{2}\left(T^{1}_{ijps}+T^{2}_{ijps}\right)+\frac{\lambda}{2}\left(T^{3}_{ijps}+T^{4}_{ijps}\right)\right)X_{ijpts}+$$
$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\left(\frac{1-\lambda}{2}\left(T^{1}_{jkps}+T^{2}_{jkps}\right)+\frac{\lambda}{2}\left(T^{3}_{jkps}+T^{4}_{jkps}\right)\right)Y_{jkpts}+$$
$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\left(\frac{1-\lambda}{2}\left(T^{1}_{klps}+T^{2}_{klps}\right)+\frac{\lambda}{2}\left(T^{3}_{klps}+T^{4}_{klps}\right)\right)W_{klpts}+$$
$$\sum_{l=1}^{LUC}\sum_{c=1}^{LUC}\sum_{v=1}^{V}\sum_{t=1}^{T}\left(\frac{1-\lambda}{2}\left(T^{1}_{lcvs}+T^{2}_{lcvs}\right)+\frac{\lambda}{2}\left(T^{3}_{lcvs}+T^{4}_{lcvs}\right)\right)Z_{lcvts}+$$
$$\sum_{l=1}^{L}\sum_{\substack{l'=1\\ l'\neq l}}^{L}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\left(\frac{1-\lambda}{2}\left(T^{1}_{ll'ps}+T^{2}_{ll'ps}\right)+\frac{\lambda}{2}\left(T^{3}_{ll'ps}+T^{4}_{ll'ps}\right)\right)S_{ll'pts}+$$
$$\sum_{l=1}^{L}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\left(\frac{1-\lambda}{2}\left(C^{1}_{lps}+C^{2}_{lps}\right)+\frac{\lambda}{2}\left(C^{3}_{lps}+C^{4}_{lps}\right)\right)V'_{lpts}+\sum_{i=1}^{I}\sum_{b=1}^{B}\sum_{p=1}^{P}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}pr_{ibps}M_{ibpts}X_{ijpts}$$

$$V'_{lpts}=\sum_{c=1}^{C}\left(\left((1-\alpha_s)D^{3}_{cpts}+\alpha_s D^{4}_{cpts}\right)-Sh_{cpts}\right)Z_{lcts},\quad \forall l,p,t,s \tag{۵۷}$$

$$\sum_{c=1}^{C}\sum_{l=1}^{CUL}\sum_{p=1}^{P}\left(\left((1-\alpha_s)D^{3}_{cpts}+\alpha_s D^{4}_{cpts}\right)-Sh_{cpts}\right)Z_{lcvts}\leq CapV_v,\quad \forall v,t,s \tag{۵۸}$$

محدودیت های (۲) تا (۲۴)، (۲۶)، (۲۸) تا (۴۵) (۵۹)

۴- 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 طراحی‌شده شامل سه مسئله مکان یابی تسهیلات ظرفیت دار–مسیریابی بهینه حمل و نقل و بهینه‌سازی جریان می‌باشد؛ ازاین‌رو 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 می‌توان نتیجه گرفت که مدل شبکه زنجیره تأمین دارو طراحی‌شده NP-Hard بوده و از الگوریتم‌های فرا ابتکاری چندهدفه NSGAII و MOWOA برای حل آن استفاده‌شده است. ازاین‌رو برای استفاده از این دو الگوریتم نیاز به طراحی کروموزوم اولیه که در هر دو الگوریتم یکسان می‌باشد، هست.

۴-۱- 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

۲ تامین کننده، ۳ مرکز تولید و توزیع، ۴ مرکز خرده فروش، ۴ مرکز تقاضا (مشتری)، ۱ محصول، ۳ دوره زمانی، ۲ وسیله نقلیه و در ۲ سناریو مختلف می باشد. همچنین جدول (۱) و (۲) به ترتیب حدود بازه ای پارامترهای قطعی و غیر قطعی مسئله را نشان میدهد.

جدول ۱- حدود بازه ای پارامترهای قطعی در مسئله سایز بسیار کوچک

پارامتر	حدود بازه ای پارامتر	پارامتر	حدود بازه ای پارامتر
G_i	$\sim U[٤٠٠٠٠,٥٠٠٠٠]$	U_l	$\sim U[٣٠٠٠٠,٦٠٠٠٠]$
O_j	$\sim U[٣٠٠٠٠,٤٠٠٠٠]$	u_p	٣
H_k	$\sim U[٢٠٠٠٠,٣٠٠٠٠]$	ϑ_{cp}	$\sim U[٠.٥,١]$
$CapV_v$	$\sim U[٥٠٠,٨٠٠]$		

جدول ۲- حدود بازه ای پارامترهای غیر قطعی در مسئله سایز بسیار کوچک

پارامتر	سناریو	
	s_1	s_2
$\tilde{T}_{ijp}, \tilde{T}_{jkp}$ $\tilde{T}_{klp}, \tilde{T}_{ll'p}$ $\tilde{T}_{lcv}$	$٠.٩ * \begin{cases} \sim U[٥,١٠] & level1 \\ \sim U[١٠,٢٠] & level2 \\ \sim U[٢٠,٣٠] & level3 \\ \sim U[٣٠,٤٠] & level4 \end{cases}$	$١.١ * \begin{cases} \sim U[٥,١٠] & level1 \\ \sim U[١٠,٢٠] & level2 \\ \sim U[٢٠,٣٠] & level3 \\ \sim U[٣٠,٤٠] & level4 \end{cases}$
Re_{ijv}, Re_{jkv} $Re_{klv}, Re_{ll'v}$ Re_{lcv}	$٠.٩ * \sim U[٠.٣,٠.٥]$	$١.١ * \sim U[٠.٣,٠.٥]$
$\tilde{D}_{cpt}$	$٠.٩ * \begin{cases} \sim U[٥٠,٦٠] & level1 \\ \sim U[٦٠,٧٠] & level2 \\ \sim U[٧٠,٨٠] & level3 \\ \sim U[٨٠,٩٠] & level4 \end{cases}$	$٠.٩ * \begin{cases} \sim U[٥٠,٦٠] & level1 \\ \sim U[٦٠,٧٠] & level2 \\ \sim U[٧٠,٨٠] & level3 \\ \sim U[٨٠,٩٠] & level4 \end{cases}$
$CapI_{ip}, CapJ_{jp}$ $CapK_{kp}, CapL_{lp}$	$٠.٩ * \sim U[٢٠٠,٣٠٠]$	$١.١ * \sim U[٢٠٠,٣٠٠]$
$\tilde{h}_{kp}, \tilde{h}'_{lp}$	$٠.٩ * \begin{cases} \sim U[١,٢] & level1 \\ \sim U[٢,٣] & level2 \\ \sim U[٣,٤] & level3 \\ \sim U[٤,٥] & level4 \end{cases}$	$٠.٩ * \begin{cases} \sim U[١,٢] & level1 \\ \sim U[٢,٣] & level2 \\ \sim U[٣,٤] & level3 \\ \sim U[٤,٥] & level4 \end{cases}$
pr_{ibp}	$٠.٩ * \sim U[١,٣]$	$١.١ * \sim U[١,٣]$
Ψ_{ibpt}	$٠.٩ * \sim U[٠,٢٠٠]$	$١.١ * \sim U[٠,٢٠٠]$
$\tilde{C}_{lp}$	$٠.٩ * \begin{cases} \sim U[١٠,١٢] & level1 \\ \sim U[١٢,١٥] & level2 \\ \sim U[١٥,١٨] & level3 \\ \sim U[١٨,٢٠] & level4 \end{cases}$	$١.١ * \begin{cases} \sim U[١٠,١٢] & level1 \\ \sim U[١٢,١٥] & level2 \\ \sim U[١٥,١٨] & level3 \\ \sim U[١٨,٢٠] & level4 \end{cases}$

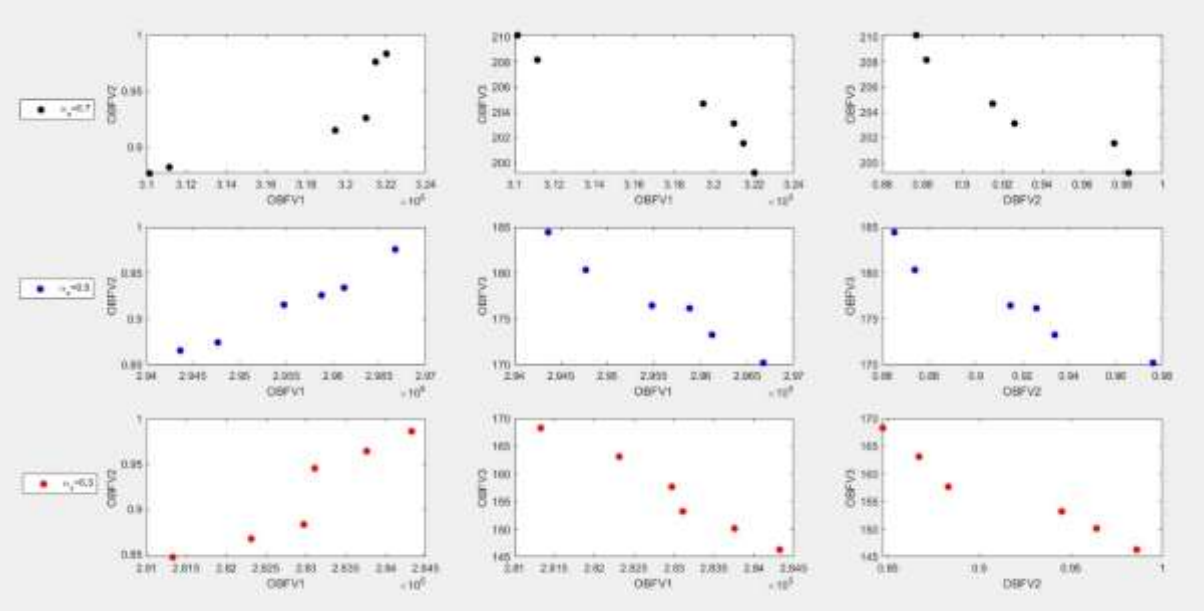
با توجه به سه هدفه بودن مدل شبکه زنجیره تامین دارو تحت عدم قطعیت، از روش تصمیم گیری چند هدفه معیار جامع جهت تشکیل جبهه پارتو مطابق با رابطه (۶۰) استفاده شده است. درروش تصمیم‌گیری معیار جامع، نیاز به کسب بهترین مقدار هر تابع هدف به روش بهینه‌سازی انفرادی می‌باشد. یعنی بایستی ابتدا مقدار هر تابع هدف بدون در نظر گرفتن تابع هدف دیگر توسط نرم افزار به دست آید تا در محاسبات از آن بهره گرفته شود.

$$L_p = \left\{ \sum_{i=١}^{n} w_i \left[\frac{(f_i - f_i^*)}{(f_i^*)} \right]^p \right\}^{\frac{١}{p}} \quad , p \geq ١ \qquad (٦٠)$$

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 i-تابع هدف مسئله است. مقدار p به عنوان نرم مسئله و برابر با مقدار ۱ فرض شده است. همچنین در این مثال مقدار احتمال رخداد هر سناریو برابر با ۵۰٪ در نظر گرفته شده است. با فرض مقدار λ برابر با ۰,۱ و α_s برابر با ۰,۳، ۰,۵ و ۰,۷، مجموعه جواب های کارای بدست آمده از حل مسئله به صورت جدول (۳) می باشد. همچنین شکل (۲) جبهه پارتو کسب شده از حل مسئله سایز بسیار کوچک را در مقادیر مختلف نرخ عدم قطعیت نشان میدهد.

جدول ۳- مجموعه جواب های کارای بدست آمده در مقادیر مختلف نرخ عدم قطعیت

α_s	جواب کارا	$OBFV1$	$OBFV2$	$OBFV3$
۰,۳	۱	۲۸۱۳۲۶,۱۵	۰,۸۴۷	۱۶۸,۳۰
	۲	۲۸۲۳۱۴,۶۴	۰,۸۶۷	۱۶۳,۱۵
	۳	۲۸۲۹۷۵,۳۶	۰,۸۸۳	۱۵۷,۶۹
	۴	۲۸۳۱۱۲,۳۶	۰,۹۴۵	۱۵۳,۲۶
	۵	۲۸۳۷۵۶,۰۱	۰,۹۶۴	۱۵۰,۱۵
	۶	۲۸۴۳۲۶,۴۴	۰,۹۸۶	۱۴۶,۲۸
۰,۵	۱	۲۹۴۳۶۱,۳۵	۰,۸۶۵	۱۸۴,۴۵
	۲	۲۹۴۷۶۵,۳۵	۰,۸۷۴	۱۸۰,۳۴
	۳	۲۹۵۴۷۶,۳۴	۰,۹۱۵	۱۷۶,۴۵
	۴	۲۹۵۸۸۳,۱۴	۰,۹۲۶	۱۷۶,۱۹
	۵	۲۹۶۱۲۳,۴۵	۰,۹۳۴	۱۷۳,۲۵
	۶	۲۹۶۶۷۳,۳۴	۰,۹۷۶	۱۷۰,۱۹
۰,۷	۱	۳۱۰۱۵۴,۶۴	۰,۸۷۷	۲۱۰,۱۵
	۲	۳۱۱۱۵۶,۵۸	۰,۸۸۲	۲۰۸,۱۶
	۳	۳۱۹۴۵۳,۶۴	۰,۹۱۵	۲۰۴,۶۸
	۴	۳۲۰۹۹۳,۲۵	۰,۹۲۶	۲۰۳,۱۴
	۵	۳۲۱۴۹۸,۶۶	۰,۹۷۶	۲۰۱,۵۴
	۶	۳۲۲۰۱۶,۴۲	۰,۹۸۳	۱۹۹,۱۹



شکل ۲- جبهه پارتو کسب شده از حل مسئله نمونه در سایز در مقادیر مختلف نرخ عدم قطعیت

با توجه به نتایج جدول (۳) و شکل (۲) مشاهده می گردد که ۶ 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 (۴) مکان یابی تسهیلات مختلف در نرخ های مختلف عدم قطعیت برای مسئله نمونه سایز کوچک نشان داده شده است.

جدول ٤- مکان یابی تسهیلات بالقوه در مسئله نمونه سایز بسیار کوچک

α_s	تامین کننده	تولید کننده	توزیع کننده	خرده فروش
۰,۳	۲	۱	۳	٤
۰,۵	۲	۲	۳	۳
۰,۷	۲	۲	۳	٤

مطابق با جدول (۴) شماره مرکز انتخاب شده در طراحی شبکه زنجیره تامین نشان داده شده است. در جدول (۵) نیز مسیر یابی وسیله نقلیه در نرخ های مختلف عدم قطعیت و در سناریو های مختلف نشان داده شده است.

جدول ۵- مسیریابی وسیله نقلیه در سناریو ها مختلف در مسئله نمونه سایز بسیار کوچک

α_s	سناریو	دوره زمانی	مسیریابی وسیله نقلیه
۰,۳	۱	۱	$L4 \rightarrow C1 \rightarrow C4 \rightarrow C3 \rightarrow C2 \rightarrow L4$
		۲	$L4 \rightarrow C1 \rightarrow C4 \rightarrow C3 \rightarrow C2 \rightarrow L4$
		۳	$L4 \rightarrow C2 \rightarrow C3 \rightarrow C1 \rightarrow C4 \rightarrow L4$
	۲	۱	$L4 \rightarrow C2 \rightarrow C4 \rightarrow C1 \rightarrow C3 \rightarrow L4$
		۲	$L4 \rightarrow C3 \rightarrow C2 \rightarrow C4 \rightarrow C1 \rightarrow L4$

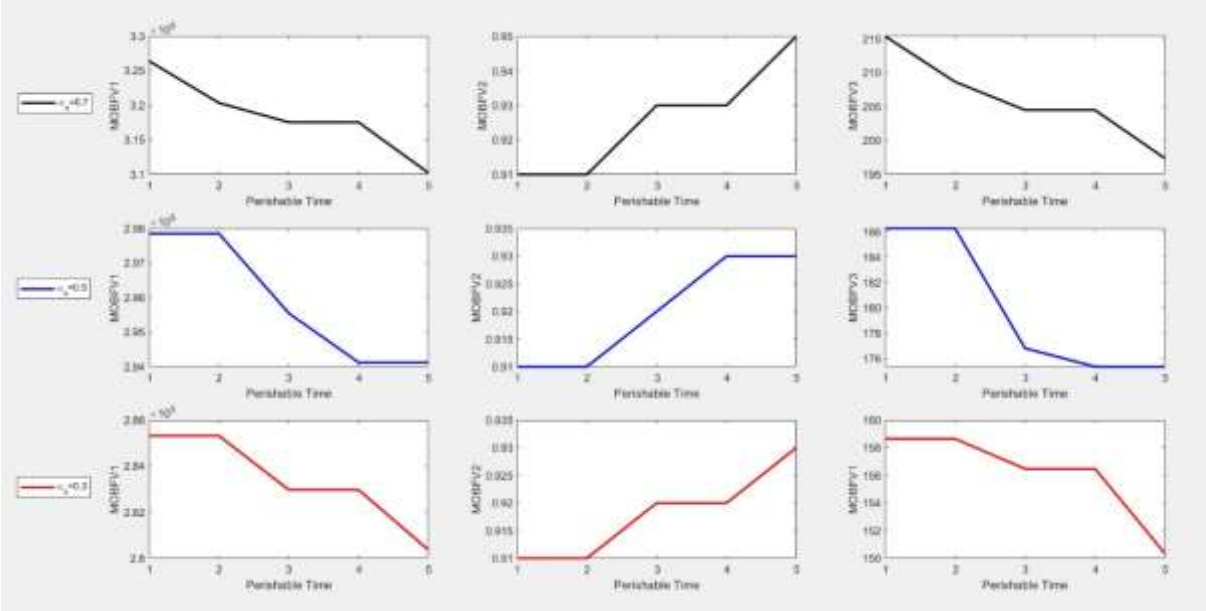
$L4 \to C2 \to C1 \to C4 \to C3 \to L4$	۳		
$L3 \to C3 \to C2 \to C4 \to C1 \to L3$	۱		
$L3 \to C4 \to C3 \to C1 \to C2 \to L3$	۲	۱	
$L3 \to C2 \to C4 \to C1 \to C3 \to L3$	۳		۰,۵
$L3 \to C3 \to C2 \to C1 \to C4 \to L3$	۱		
$L3 \to C2 \to C1 \to C3 \to C4 \to L3$	۲	۲	
$L3 \to C3 \to C1 \to C4 \to C2 \to L3$	۳		
$L4 \to C2 \to C4 \to C3 \to C1 \to L4$	۱		
$L4 \to C3 \to C2 \to C1 \to C4 \to L4$	۲	۱	
$L4 \to C4 \to C1 \to C2 \to C3 \to L4$	۳		۰,۵
$L4 \to C2 \to C1 \to C3 \to C4 \to L4$	۱		
$L4 \to C1 \to C2 \to C3 \to C4 \to L4$	۲	۲	
$L4 \to C3 \to C4 \to C1 \to C2 \to L4$	۳		

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 ۳ دوره زمانی برای هر دارو در نظر گرفته شده بود، در جدول (۵) تحلیل حساسیت بر روی زمان فساد پذیری از ۱ تا ۵ دوره زمانی بررسی شده است.

جدول٦- تاثیر زمان فساپذیری دارو بر روی میانگین توابع هدف در نرخ های مختلف عدم قطعیت

$MOBFV3$	$MOBFV2$	$MOBFV1$	U_p	α_s
۱۵۸,٦٤	۰,۹۱	۲۸۵۳۱٦,۳	۱	
۱۵۸,٦٤	۰,۹۱	۲۸۵۳۱٦,۳	۲	
۱۵٦,٤۷	۰,۹۲	۲۸۲۹٦۸,٤	۳	۰,۳
۱۵٦,٤۷	۰,۹۲	۲۸۲۹٦۸,٤	٤	
۱۵۰,۳٤	۰,۹۳	۲۸۰۳٦٤,۲	۵	
۱۸٦,۲۵	۰,۹۱	۲۹۷۸۵۲,۱	۱	
۱۸٦,۲۵	۰,۹۱	۲۹۷۸۵۲,۱	۲	
۱۷٦,۸۱	۰,۹۲	۲۹۵۵٤۷,۱	۳	۰,۵
۱۷۵,۳٦	۰,۹۳	۲۹٤۱۲٤,۳	٤	
۱۷۵,۳٦	۰,۹۳	۲۹٤۱۲٤,۳	۵	
۲۱۵,۳٦	۰,۹۱	۳۲٦٤۱۲,۳	۱	
۲۰۸,٦٤	۰,۹۱	۳۲۰۳٤۵,۳	۲	
۲۰٤,٤۸	۰,۹۳	۳۱۷۵٤۵,۵	۳	۰,۷
۲۰٤,٤۸	۰,۹۳	۳۱۷۵٤۵,۵	٤	
۱۹۷,۳٦	۰,۹۵	۳۱۰۲۳۵,٦	۵	

مطابق با جدول (۶) 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 (۳) روند تغییرات میانگین جواب های کارا به ازای نرخ های مختلف عدم قطعیت را در زمان های مختلف فساد پذیری نشان میدهد.



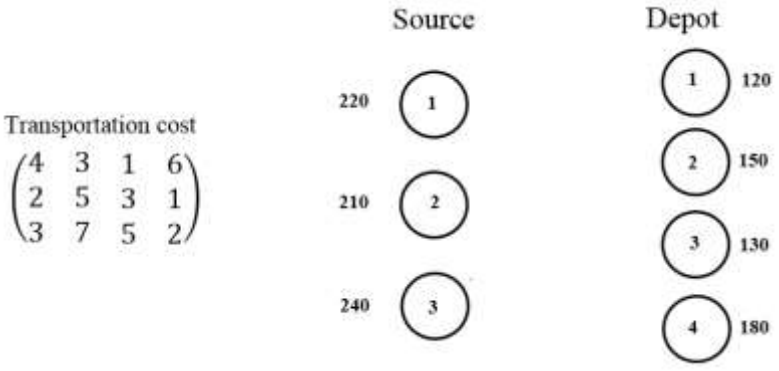
شکل ۳- تاثیر زمان فساپذیری دارو بر روی میانگین توابع هدف در نرخ های مختلف عدم قطعیت

٤-۲- 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 NSGAII 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 بیان‌شده به رمزگذاری مبتنی بر اولویت 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. شکل (۴) نمونه ای از شبکه زنجیره تأمین دو سطحی را با سه منبع و ۴ دپو نشان میدهد. در این شکل مکان یابی بر روی منابع صورت گرفته و منابع بایستی تقاضاهای دپو را برآورد کنند.



شکل ٤- نمونه ای از شبکه زنجیره تأمین دو سطحی

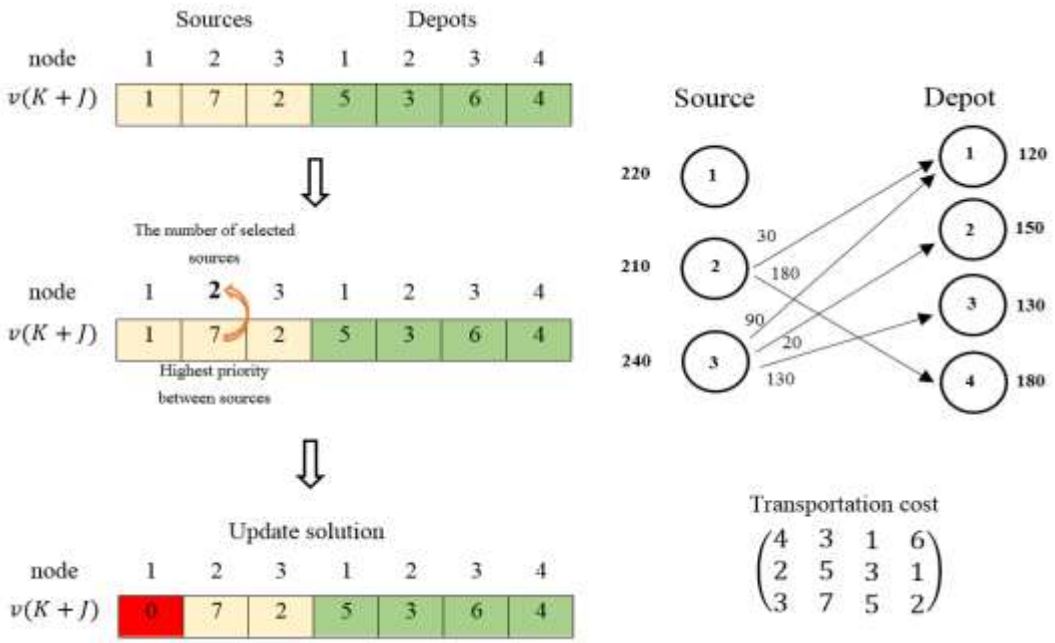
شکل (۵) نمونه ای کروموزوم اولیه و رمز گشایی آن را نشان میدهد. رمز گشایی مبتنی بر اولویت اصلاح شده در شکل (۵) مطابق با ۴ گام زیر می‌باشد:

گام ۱– ابتدا بزرگ‌ترین اولویت (عدد) از بین کروموزوم مربوط به منابع انتخاب میشود. 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 ۲– بزرگ‌ترین اولویت (عدد) از بین کل کروموزوم به عنوان اولین سطح تخصیص انتخاب می شود.

گام ۳– بر اساس هزینه حمل و نقل، کمترین هزینه حمل و نقل از سطح تخصیص انتخاب شده از گام (۲)، (منبع / دپو) با سطح قابل تخصیص جدید (دپو / منبع)، برآورد شده و دومین سطح تخصیص مشخص می شود.

گام ٤– بعد از تعیین منبع و دپو، حداقل مقدار تقاضای دپو و ظرفیت منبع به‌عنوان مقدار بهینه تخصیص، در نظر گرفته می‌شود. پس از انجام عمل تخصیص، مقدار تقاضای دپو و همچنین ظرفیت منبع به‌روزرسانی می‌شود.



شکل ۵- نحوه رمز گذاری و رمز گشایی مبتنی بر اولویت اصلاح شده

در شکل (۶) 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: $Opening\ of\ a\ center\ at\ location\ k$

$$For\ s = ۱\ to\ S$$

$$\textbf{Step 1}.\ For\ p = ۱\ to\ P$$

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

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

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

$$If\ |\{d\}| = l\ then\ v(k-l) = ۰,\ \forall k \in K, l \in L$$

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

$$Cap_{(k-l)} = ۰,\ \forall k \in K, l \in L$$

$$\textbf{Step 3}.\ While\ v(|k| + j) \neq ۰, \forall j \in J$$

$$\textbf{Step 4}.\ X_{kjp} = ۰, S_{jp} = ۰,\ \forall j \in J, k \in K, p \in P$$

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

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

$$Then\ j^* = arg\ min\{Tr_{kj} | v(j) \neq ۰\}, \forall j \in J\ \ select\ a\ depot\ with\ minimum\ cost$$

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

$$Then\ k^* = arg\ min\{Tr_{kj} | v(k) \neq ۰\}, \forall k \in K\ select\ a\ source\ with\ minimum\ cost$$

$$\textbf{Step 7}.\ Update\ demands\ and\ capacities$$

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

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

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

$$\textbf{Step 8}.\ If\ Cap_{k^*} = ۰\ then\ v(k^*) = ۰$$

$$If\ Dem_{j^*p} = ۰\ then\ v(j^*) = ۰$$

$$\textbf{Step 9}.\ If \sum_{j,p} X_{kjp} > ۰\ then\ Y_k = ۱$$

$$End$$

شکل ٦- شبه کد رمز گشایی مبتنی بر اولویت در یک شبکه زنجیره تأمین دو سطحی

با توجه به ۵ سطحی بودن شبکه زنجیره تأمین دارو طراحی شده، کروموزوم نهایی طراحی شده به شرح شکل (۷) می‌باشد. از آنجایی که مسئله به‌صورت چند محصولی و در چند سناریو مختلف در نظر گرفته شده است. لذا به ازای هر محصول در هر سناریو بایستی یک کروموزم نهایی از شکل (۷) تولید و مطابق با شبه کد ارائه‌شده در شکل (۶) رمز گشایی گردد.

$$Product\ (P) - Senario\ (S) \longrightarrow$$

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

شکل ۷- کروموزوم نهایی طراحی شده برای شبکه زنجیره تأمین دارو

درنهایت با توجه به پیوسته بودن فضای جستجوی دو الگوریتم MOWOA و NSGAII و همچنین گسسته بودن کروموزم طراحی شده؛ با استفاده از شکل (۸)، فضای پیوسته کروموزوم به فضای گسسته تبدیل می شود. در این شکل بزرگترین عدد در کروموزم 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 ۸- نحوه تبدیل فضای پیوسته به فضای گسسته

از آنجایی که قبل ا 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: ازآنجایی‌که هدف اصلی کسب جواب‌های کارای مطلوب می‌باشد، یعنی به‌طور هم‌زمان به بهترین مقدار سه تابع هدف نائل شدن؛ ازاین‌رو میانگین‌های سه تابع هدف مسئله نیز جزو شاخص‌های محاسباتی به کار می‌رود. ازآنجایی‌که 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 به‌دست‌آمده 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 توزیع‌شده که از رابطه زیر محاسبه می‌شود. بزرگ‌تر بودن مقدار این معیار، نشان‌دهنده تنوع مناسب جواب‌های مجموعه پارتو است.

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

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

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

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.

$$\bar{d} = \sum_{i=1}^{|Q|} \frac{min_{k \in Q \cap k \neq i} \sum_{m=1}^{M} \left| f_m^i - f_m^k \right|}{|Q|} \quad (۶۳)$$

فاصله از نقطه ایده‌ال (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.

$$MID = \frac{\sum_{i=1}^{n} \sqrt{(f_{1i} - f_1^*)^2 + (f_{2i} - f_2^*)^2 + \cdots + (f_{mi} - f_m^*)^2}}{n} \quad (۶۴)$$

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

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

$$R_i = \frac{|MOBFV1 + MOBFV2 + MOBFV3 + NPF + MSI + SM + MID + CPU_time|}{7} \quad (۶۴)$$

$$PRD_i = \frac{R_i - R_i^*}{R_i} \quad (۶۵)$$

در روابط فوق، R_i میانگین شاخص های بدست آمده در هر آزمایش و R_i^* بهترین مقدار میانگین شاخص بدست آمده در کل آزمایشات می باشد. با توجه به آزمایشات انجام شده، پارامترهای بهینه هر الگوریتم به روش تاگوچی به شرح جدول (۷) بدست آمده است.

جدول ۷- مقدار بهینه پارامترهای الگوریتم NSGAII و MOWOA با روش تاگوچی

MOWOA		*NSGA II*	
۱۵۰	*Nwhale*	۱۵۰	*Npop*
۲۰۰	*Max it*	۲۰۰	*Max it*
۱	*A*	۰,۳	P_c
۱,۵	*C*	۰,۵	P_m

در ادامه ۱۵ مسئله نمونه در سایزهای بزرگ‌تر مطابق با داده‌های ارائه‌شده در جدول (۲) و (۳) طراحی شده است. هر یک از مسائل نمونه طراحی شده در سایز بزرگ‌تر توسط الگوریتم‌های MOWOA و NSGAII ۵ بار اجراشده‌اند که میانگین‌های مجموعه شاخص‌های هر یک از اجراها در جدول (۸) نشان داده‌شده است.

جدول ۸- میانگین شاخص‌های مقایسه جواب‌های کارا بین الگوریتم‌های فرا ابتکاری در سایز بزرگ

مسئله	*MOBFV1*	*MOBFV2*	*MOBFV3*	*NPF*	*MSI*	*SM*	*MID*	*Cpu_time*
				MOWOA				
۱	۲۹۲۲۰۱,۸۴	۱۷۰,۲۹	۰,۹۸۶	۵۵	۲۵۷۷,۹	۳۰۱,۶	۰,۶۳	۲۷,۲۳
۲	۳۵۴۹۳۳,۸۰	۳۰۵,۳۸	۰,۹۹۴	۵۷	۳۹۸۴,۰	۲۸۱,۶	۰,۸۸	۶۳,۲۸
۳	۳۸۰۱۵۶,۱۶	۳۸۱,۰۲	۰,۹۹۳	۶۵	۳۵۹۵,۱	۴۱۳,۳	۰,۵۹	۹۵,۱۵

٤	٤١٥٦٧٣,٠٤	٦٣٢,٩٢	٠,٩٩١	٨١	٣٠٦١,٠	٥٣٥,٦	٠,٦٤	١٣١,٢٦
٥	٦٠٣٢٠٩,٨٩	٧٢٩,٠٨	٠,٩٩٤	٧٣	٣١٢٦,٨	٣٣٧,٥	٠,٥٥	١٨٧,٧٥
٦	٧٦٧٠١٩,٠٨	٧٢٩,٥٧	٠,٩٩٣	٨٠	٣٩٨١,٠	٥١٠,٧	٠,٧٩	٢٣٧,٢٠
٧	٨٢١٤٩٩,٥٧	٨١٢,٢٢	٠,٩٨٤	٧٦	٢٨٢٨,٠	٤٧٠,٢	٠,٨٤	٢٧٢,٨٨
٨	٨٥٦٤٥١,١٢	٨٦٥,٦٨	٠,٩٨٣	٨٣	٤٥٩٨,٣	٢٠٨,٦	٠,٧٧	٣٤٤,٥٣
٩	٨٨٠٦٧٦,٩٠	١١١٨,٠٠	١,٠٠٠	٧٦	٤١٤٢,٣	٤٨٦,٨	٠,٧١	٤٤٩,٨٠
١٠	١٠٢٢٢٠١,١٧	١٣١٨,٦٠	٠,٩٨٣	٨٧	٤٩٣٨,٢	٣٥٠,٨	٠,٨٢	٤٩٩,٨٣
١١	١١٧٣٦٦٩,٧٦	١٥٢٧,٥١	٠,٩٨١	٨١	٤٩٤٦,٧	٥٦٦,٦	٠,٨٢	٥٦٣,٠٦
١٢	١٥٢٤٢٠٣,٦٨	١٥٤٦,٢٣	٠,٩٩١	٨٩	٤٧٣٨,٥	٢٠٦,٠	٠,٨٤	٦٩٢,٩٧
١٣	١٧٢٩٢٠٧,٧٤	١٨٠٦,١٨	٠,٩٩٨	٧٣	٢٦١٦,١	٣٨٤,٩	٠,٨٢	٧٩٣,٦٨
١٤	١٨٠٠٩٥١,٠٢	٢٠٢٢,٣٥	٠,٩٩٣	٨٦	٢٧٤٨,٢	٣٦٣,٩	٠,٩٧	٩٤٥,١٨
١٥	١٨٢٤٠٠٦,٣٨	٢٣٢٩,٥٠	٠,٩٨٤	٨٥	٣٦١٥,٩	٣٨٤,٦	٠,٦٠	١٣٩٨,١٦
			NSGAII					
١	٢٩٠٣٥٨,٠٦	١٦٩,٢٤	٠,٩٨٢	٨٤	٤٨٢١,٦	٤٣٤,٧	٠,٨٥	٢١,٢٣
٢	٣٥٣٤٥٥,٦٩	٣١٢,٣٤	٠,٩٨٧	٨٣	٥١٣١,١	٢٩٦,١	٠,٦٢	٥٢,٩٩
٣	٣٧٧٠٩٦,٤١	٤٠٦,٣٧	٠,٩٨٤	٧٩	٤٥١٠,٤	٤٣٥,١	٠,٥٦	٧٦,٨٨
٤	٤١٣٩٨٣,٨١	٦٣٥,٩٢	٠,٩٩٠	٧٤	٥٥٤٩,٥	٣٤١,٧	٠,٨٠	٩٧,٤٥
٥	٦٠٩٦٠٠,٧١	٧٣٥,٠٤	٠,٩٨٧	٧٦	٥٢٩٨,٩	٢١٢,٨	٠,٧٣	١٢٦,٤٥
٦	٧٦٨٤١٦,١٥	٧٥٢,٤٨	٠,٩٩٩	٨٢	٥٩٢٦,٢	٢٧٦,٢	٠,٧٣	١٤٩,٨٨
٧	٨٥٨٠٠١,٣٨	٨٢٤,٠٣	٠,٩٩٨	٨٣	٤٨٢٣,٣	٤١٢,٧	٠,٨٣	١٩٣,٧١
٨	٨٦٥١١٢,٤١	٨٧٥,١٣	٠,٩٨١	٧٦	٤٣١٨,٦	٣٤٢,٥	٠,٨٩	٢١٨,١٢
٩	٨٧٤٤٦٩,٢٦	١٠٩٣,٧١	٠,٩٩٥	٧٩	٣٧٦٠,٧	٢٤١,٦	٠,٦٨	٢٦٨,٤٤
١٠	١٠٧١١٥٢,١٩	١٣٣٠,٩١	٠,٩٨٥	٨١	٥٠٢٣,٩	٣٣٣,٧	٠,٨٣	٣٢٥,٨٨
١١	١٢٣٠٣٣١,١٨	١٥٧٦,٦٧	٠,٩٨٩	٨٣	٥٤٤٠,٠	٣٨١,٦	٠,٧١	٣٩١,٦٦
١٢	١٥٤٧٢١٦,٢٥	١٥٨٥,٥٥	٠,٩٩١	٨٩	٤٥٥٦,٣	٢٥٧,٣	٠,٩٢	٤٧٦,٧٨
١٣	١٧٠٧٩٧١,١٧	١٧٦٨,٢٢	٠,٩٩٩	٨١	٣٧٢٠,٥	٤٢٢,٨	٠,٩٢	٥٩٣,٥٦
١٤	١٧٩٧٤٩٠,٧٤	٢٠١٧,٠٢	٠,٩٨٨	٧٩	٤١٦١,٧	٢٨٥,٤	٠,٦٣	٧٦٣,٤٥
١٥	١٨٤٠٧٠٣,٨٦	٢٤٨٨,٣٨	١,٠٠٠	٧٨	٣٨٨١,٤	٤٧٢,٧	٠,٨١	١١٥٤,٤٥

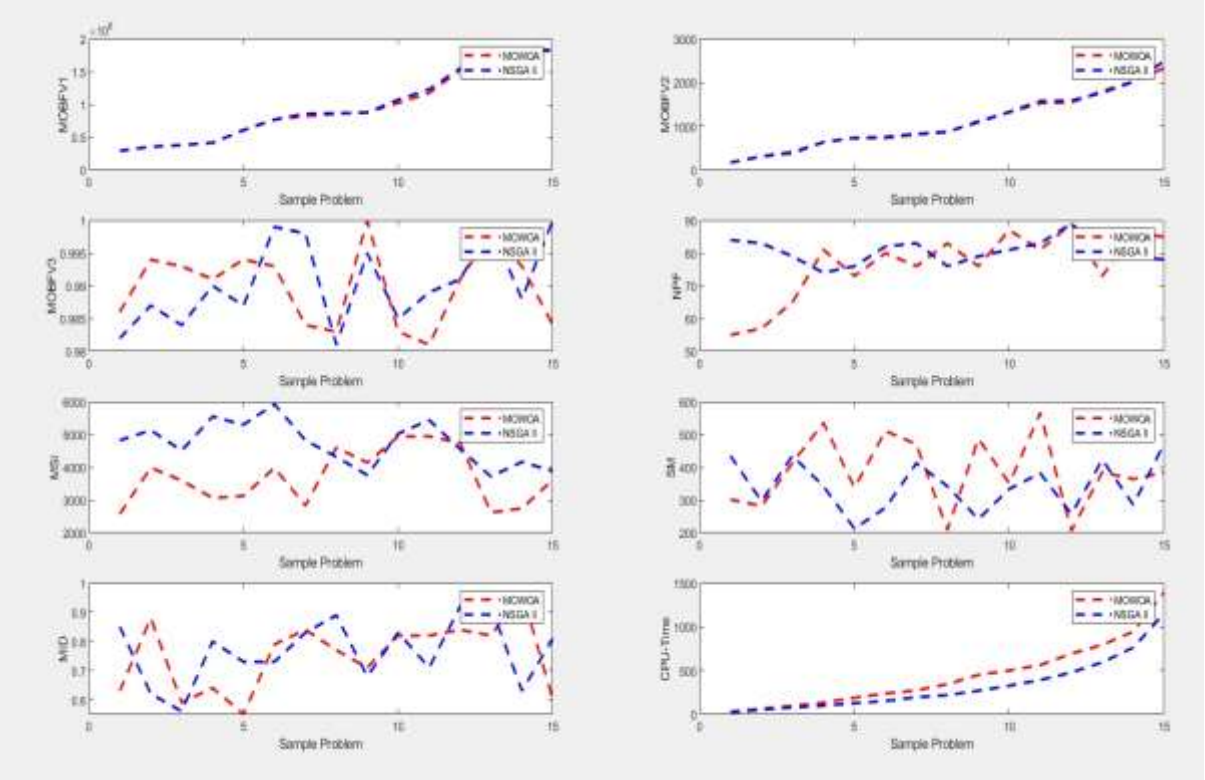
در جدول (٨) میانگین‌های توابع هدف و شاخص‌های مقایسه الگوریتم‌های فرا ابتکاری در هر مسئله نمونه با الگوریتم‌های NSGAII و MOWOA نشان داده‌شده است. برای مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از آزمون T-Test در سطح اطمینان ۹۵٪ برای مقایسه اختلاف معناداری میانگین‌های هر شاخص استفاده‌شده است. ازاین‌رو، درصورتی‌که مقدار آماره آزمون P به‌دست‌آمده برای هر شاخص، کمتر از مقدار ۰/۰۵ باشد؛ رد صفر رد شده و نشان می‌دهد بین میانگین‌های آن شاخص اختلاف معناداری وجود دارد و درصورتی‌که مقدار آماره آزمون P بیشتر از ۰/۹۵ باشد؛ فرض یک رد شده و نشان‌دهنده عدم اختلاف معناداری در میانگین‌های آن شاخص است. جدول (۹) نتایج خروجی آزمون T-Test را بر روی میانگین‌های توابع هدف و شاخص‌های مقایسه نشان می‌دهد.

جدول ۹- نتایج خروجی آزمون T-Test بر روی میانگین‌های توابع هدف و شاخص‌های محاسباتی

شاخص	الگوریتم	تعداد نمونه	میانگین	انحراف معیار	فاصله اطمینان ۹۵%	آماره آزمون T	آماره آزمون P
MOBFV1	*MOWOA*	٧٥	٩٦٣٠٧٠,٧٤	٥٣٨١٤٠,٥	(-١٤٨٨,٣ ٢٢٧٢٨,١)	١,٨٨	٠,٠٨١
	NSGAII	٧٥	٩٧٣٦٩٠,٦٢	٥٤١٤٥١,٠			

MOBFV2	*MOWOA*	۷۵	۱۰۸۶,۳۰	۶۵۰,۹۲	(۴۳,۱۱ −۶,۲۵)	۱,۶۰	۰,۱۳۲
	NSGA II	۷۵	۱۱۰۴,۷	۶۷۰,۵			
MOBFV3	*MOWOA*	۷۵	۰,۹۹	۰,۰۱	(۰,۰۴۶۶ −۰,۰۰۳۷۳)	۰,۲۳۹	۰,۸۱۵
	NSGA II	۷۵	۰,۹۹	۰,۰۱			
NPF	*MOWOA*	۷۵	۷۶,۴۷	۱۰,۴	(۱۰,۳۵ −۲,۳۵)	۱,۳۵	۰,۱۹۸
	NSGA II	۷۵	۸۰,۴۷	۳,۸۰			
MSI	*MOWOA*	۷۵	۳۶۹۹,۸۷	۸۵۲,۸۶	(۴۷۸,۶ −۱۵۷۸,۱۲)	۱,۲۴	۰,۱۹۷
	NSGA II	۷۵	۴۷۲۸,۲۷	۶۷۸,۴			
SM	*MOWOA*	۷۵	۳۸۶,۸۵	۱۱۱,۶۵	(۱۲۳۴۷ −۲۵۲۶)	۱,۳۶	۰,۱۸۶
	NSGA II	۷۵	۳۴۳,۱۳	۸۰,۶۶			
MID	*MOWOA*	۷۵	۰,۷۵	۰,۱۲	(۰,۱۰۷ −۰,۰۷۵)	۰,۳۷	۰,۷۱۲
	NSGA II	۷۵	۰,۷۷	۰,۱۱			
CPU_time	*MOWOA*	۷۵	۴۴۶,۸۰	۳۸۲,۵	(۱۶۴,۵۶ −۷۴,۲۳)	۰,۵۳	۰,۶۰۱
	NSGA II	۷۵	۳۲۷,۴۰	۳۱۱,۸۳			

مطابق با جدول (۹) 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. ازاین‌رو بایستی برای انتخاب کاراترین الگوریتم از حیث شاخص‌های مورد مقایسه از دیگر روش‌های تصمیم گیری چند شاخصه استفاده شود. در ادامه و در شکل (۹) به مقایسه میانگین‌های توابع هدف و شاخص‌های مقایسه در مسائل نمونه مختلف با الگوریتم‌های فرا ابتکاری پرداخته‌شده است.



شکل ۹- مقایسه میانگین‌های توابع هدف و شاخص‌های مقایسه در مسائل نمونه با الگوریتم‌های فرا ابتکاری

با دقت در شکل (۹) می‌توان دریافت که زمان محاسباتی با افزایش اندازه مسائل نمونه به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد که دلیلی بر NP-Hard بدن مسئله می‌باشد. بااین‌حال الگوریتم NSGAII تا مسائل سایز متوسط ازنظر زمان محاسباتی بهتر از الگوریتم MOWOA می‌باشد ولی با افزایش سایز مسئله زمان محاسباتی کسب‌شده توسط این الگوریتم به‌شدت افزایش‌یافته 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 استفاده‌شده است. لذا جدول (۱۰) میانگین‌های کلی کسب‌شده از ۷۵ مسئله نمونه را نشان می‌دهد.

جدول ۱۰- میانگین‌های شاخص‌های به‌دست‌آمده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری

الگوریتم	$MOBFV1$	$MOBFV1$	$MOBFV1$	NPF	MSI	SM	MID	CPU_time
NSGA II	۹۷۳۶۹۰,۶۲	۱۰۸۶,۳۰	۰,۹۹	۸۰,۴۷	۳۶۹۹,۸۷	۳۴۳,۱۳	۰,۷۷	۳۲۷,۴۰
MOWOA	۹۶۳۰۷۰,۷۴	۱۱۰۴,۷	۰,۹۹	۷۶,۴۷	۴۷۲۸,۲۷	۳۸۶,۸۵	۰,۷۵	۴۴۶,۸۰

پس از بی مقیاس سازی نتایج جدول (۱۰)، نتیجه نشان از کارایی الگوریتم MOWOA با کسب وزن مطلوبیت ۰,۷۹۴۵ برای حل مدل شبکه زنجیره تامین داروی چند سطحی می‌باشد.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله یک شبکه زنجیره تامین ۵ 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 ان 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 کمینهسازی تقاضای برآورده نشده می باشد. برای حل مسئله از روش های دقیق نظیر روش تصمیم گیری چند هدفه معیار جامع در سایز کوچک و الگوریتم های فرا ابتکاری NSGAII و MOWOA در سایزهای بزرگتر استفاده شده است. نتایج حاصل از محاسبات نشان داد با افزایش نرخ عدم قطعیت هزینه های کل طراحی شبکه و همچنین کمبود بوجود امده 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 سایز های بزرگتر نیز ۱۵ مسئله نمونه در سایزهای 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 ۰,۷۹۴۵ برای حل مدل شبکه زنجیره تامین داروی چند سطحی بود.

منابع

Akbarpour, M., Torabi, S. A., & Ghavamifar, A. (۲۰۲۰). Designing an integrated pharmaceutical relief chain network under demand uncertainty. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, ۱۳۶،۱۰۱۸۶۷

Aliahmadi, A., Ghahremani-Nahr, J., & Nozari, H. (۲۰۲۳). Pricing decisions in the closed-loop supply chain network, taking into account the queuing system in production centers. Expert Systems with Applications, ۲۱۲, ۱۱۸۷۴۱.

Alkaabneh, F., Diabat, A., & Gao, H. O. (۲۰۲۰). Benders decomposition for the inventory vehicle routing problem with perishable products and environmental costs. Computers & Operations Research, ۱۱۳, ۱۰۴۷۵۱.

Baboli, A., Fondrevelle, J., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Mehrabi, A. (۲۰۱۱). A replenishment policy based on joint optimization in a downstream pharmaceutical supply chain: centralized vs. decentralized replenishment. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, ۵۷(۱–٤), ۳٦۷–۳۷۸.

Biuki, M., Kazemi, A., & Alinezhad, A. (۲۰۲۰). An integrated location–routing–inventory model for sustainable design of a perishable products supply chain network. Journal of Cleaner Production, ۲٦۰،۱۲۰۸٤۲.

Diabat, A., Abdallah, T., & Le, T. (۲۰۱٦). A hybrid tabu search based heuristic for the periodic distribution inventory problem with perishable goods. Annals of Operations Research, ۲٤۲(۲), ۳۷۳–۳۹۸.

Mardan, E., Govindan, K., Mina, H., & Gholami-Zanjani, S. M. (۲۰۱۹). An accelerated benders decomposition algorithm for a bi-objective green closed loop supply chain network design problem. Journal of Cleaner Production, ۲۳۵, ۱٤۹۹–۱۵۱٤.

Masoumi, A. H., Yu, M., & Nagurney, A. (۲۰۱۲). A supply chain generalized network oligopoly model for pharmaceuticals under brand diferentiation and perishability. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, ٤۸(٤), ۷٦۲–۷۸۰.

Mousazadeh, M., Torabi, S. A., & Zahiri, B. (۲۰۱۵). A robust possibilistic programming approach for pharmaceutical supply chain network design. Computers & Chemical Engineering, ۸۲،۱۱۵–۱۲۸.

Nagurney, A., & Li, D. (۲۰۱۵). A supply chain network game theory model with product diferentiation, outsourcing of production and distribution, and quality and price competition. Annals of Operations Research, ۲۲٦(۱), ٤۷۹–۵۰۳.

Nasrollahi, M., & Razmi, J. (۲۰۱۹). A mathematical model for designing an integrated pharmaceutical supply chain with maximum expected coverage under uncertainty. Operational Research, ۱–۲۸.

Nozari, H., & Aliahmadi, A. (۲۰۲۲). Lean supply chain based on IoT and blockchain: Quantitative analysis of critical success factors (CSF). Journal of Industrial and Systems Engineering, ۱٤(۳), ۱٤۹-۱٦۷.

Nozari, H., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Gharemani-Nahr, J. (۲۰۲۲). A neutrosophic fuzzy programming method to solve a multi-depot vehicle routing model under uncertainty during the covid-۱۹ pandemic. International Journal of Engineering, ۳۵(۲), ۳٦۰-۳۷۱.

Ozsen, L., Coullard, C. R., & Daskin, M. S. (۲۰۰۸). Capacitated warehouse location model with risk pooling. Naval Research Logistics (NRL), ۵۵(٤), ۲۹۵–۳۱۲.

Sabouhi, F., Pishvaee, M. S., & Jabalameli, M. S. (۲۰۱۸). Resilient supply chain design under operational and disruption risks considering quantity discount: A case study of pharmaceutical supply chain. Computers & Industrial Engineering, ۱۲٦،٦۵۷–٦۷۲.

Savadkoohi, E., Mousazadeh, M., & Torabi, S. A. (۲۰۱۸). A possibilistic location–inventory model for multi-period perishable pharmaceutical supply chain network design. Chemical Engineering Research and Design, ۱۳۸،٤۹۰–۵۰۵.

Singh, S. K., & Goh, M. (۲۰۱۸). Multi-objective mixed integer programming and an application in a pharmaceutical supply chain. International Journal of Production Research, ۵۷،۱۲٤.

Aliahmadi, A., & Nozari, H. (۲۰۲۳, 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. ۲٤, No. ۱, pp. ۳۱-٤۲). Taylor & Francis.

Weraikat, D., Zanjani, M. K., & Lehoux, N. (۲۰۱٦). Two-echelon pharmaceutical reverse supply chain coordination with customers incentives. International Journal of Production Economics, ۱۷٦،٤۱–۵۲.

Weraikat, D., Zanjani, M. K., & Lehoux, N. (۲۰۱۹). Improving sustainability in a two-level pharmaceutical supply chain through vendor-managed inventory system. Operations Research for Health Care,۲۱،٤٤–٥٥.

Zahiri, B., Jula, P., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (۲۰۱۸). Design of a pharmaceutical supply chain network under uncertainty considering perishability and substitutability of products. Information Sciences, ٤٢٣،٢٥٧–٢٨٣.

Zahiri, B., Zhuang, J., & Mohammadi, M. (۲۰۱۷). Toward an integrated sustainable-resilient supply chain: A pharmaceutical case study. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, ١٠٣،١٠٩–١٤٢.