

Stochastic Bilevel Programming to Design of A JIT Pharmaceutical Supply Chain Network: Modeling and Algorithm

Maryam Hajibabaie^{*}, Javad Behnamian^{}**

Abstract

In the pharmaceutical supply chain, pharmaceutical products must be distributed among consumers with good quality at the right time and in the right place. Medicine is a product which affects the health of society and its timely delivery to consumers is of great importance. Therefore, it requires proper planning for its production and distribution. In this paper, we developed a model that minimize the cost of production, inventory, delivery, earliness and tardiness. We also assumed the uncertainty of demand and solved the linear mathematical model using stochastic programming and we solved the problem with stochastic programming. Also, due to the fact that the model with the objective function of earliness and tardiness with different delivery times of NP-hard problem for this problem, a hybrid genetic and variable neighborhood search algorithm were presented. Here, five scenarios were considered, the expected value of perfect information (EVPI) was measured and the obtained results were compared with the two-stage random-scheduling model. The computational results showed the efficiency of the developed model. Also, the results of the proposed hybrid algorithm were compared with the genetic algorithm, and the results showed that in terms of objective function, the hybrid algorithm has a much better performance compared to the genetic algorithm.

Keywords: Pharmaceutical Supply Chain; Stochastic Programming; Hybrid Algorithm; Just-In-Time, Genetic Algorithm.

Received: Apr. 02, 2020; Accepted: Aug. 10, 2021.

^{*} Msc, Bu-Ali Sina University

^{**} Associate Professor, Bu-Ali Sina University (Corresponding Author).

Email: behnamian@basu.ac.ir

برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای برای طراحی شبکه زنجیره تأمین دارویی بهنگام: مدل‌سازی و الگوریتم حل

مریم حاجی بابایی*، جواد بهنامیان**

چکیده

دارو محصولی حیاتی است که سلامت جامعه را رقم می‌زند و تحویل به‌موقع آن به مصرف‌کنندگان از اهمیت بالایی برخوردار بوده و در نتیجه نیازمند به برنامه‌ریزی مناسبی برای تولید/توزیع آن هستیم. در این پژوهش یک مسئله زنجیره‌تأمین دارویی دوسطحی چنددوره‌ای ارائه شد که تقاضا در سطح دوم غیرقطعی است. برای مدل‌سازی مسئله یادشده از رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای استفاده شد. هدف مدل ارائه‌شده شامل حداقل کردن هزینه‌های تولید، موجودی، انتقال، هزینه‌های زمان ارسال، زودکرد و دیرکرد است. با توجه به اینکه مدل با تابع هدف زودکرد و دیرکرد با موعد تحویل متفاوت یک مسئله NP-hard است و هرچه ابعاد مسئله افزایش یابد، روش دقیق توانایی حل مسئله را در زمان معقول ندارد؛ بنابراین برای این مسئله یک الگوریتم ژنتیک به همراه یک الگوریتم ترکیبی ژنتیک و جست‌وجوی همسایگی متغیر ارائه شد. در حل این مدل با استفاده از برنامه‌ریزی تصادفی، پنج سناریو مطالعه و شاخص «ارزش موردانتظار اطلاعات کامل» محاسبه و درنهایت نتایج آن با جواب مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای مقایسه شد. همچنین روش برنامه‌ریزی تصادفی، الگوریتم ترکیبی و الگوریتم ژنتیک در نظر گرفتن سناریوهای مختلف با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج نشان داد که از لحاظ تابع هدف الگوریتم ترکیبی کارایی بسیار خوبی در مقایسه با الگوریتم ژنتیک دارد.

کلیدواژه‌ها: زنجیره تأمین دارویی؛ برنامه‌ریزی تصادفی؛ الگوریتم ترکیبی؛ برنامه‌ریزی بهنگام؛ الگوریتم ژنتیک.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۱/۱۴، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۵/۱۹.

* کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا.

** دانشیار، دانشگاه بوعلی سینا (نویسنده مسئول).

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر ظهور فناوری‌های نوین و ایجاد تحولات عظیم در بازارهای جهانی، مدیریت زنجیره تأمین را بیش‌ازپیش ضروری ساخته است؛ به‌نحوی که سازمان‌های مختلف برای ایجاد و حفظ موقعیت و جایگاه رقابتی خود، ناگزیر به استفاده از مدیریت زنجیره تأمین هستند [۷]. زنجیره تأمین، شبکه کلی سیستم‌های توزیع و تسهیلات از قبیل تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، مراکز توزیع و خرده‌فروشان است که تهیه مواد خام تا تحویل محصولات نیمه‌آماده و آماده مشتریان را شامل می‌شود و هدف اصلی آن تأمین نیازهای مشتریان است [۲۰]. استفاده از زنجیره تأمین فقط منحصر به صنایع تولیدی نیست؛ بلکه با توجه به اهمیت برخی از سیستم‌های خدماتی، مثل سیستم سلامت، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

سیستم سلامت به‌عنوان سیستمی تعریف می‌شود که شامل تمام سازمان‌ها، نهادها و منابعی است که به ارائه خدمات درمانی می‌پردازند و هدف اصلی آن‌ها ارتقای سلامت است [۵]. بخش دارویی نقش مهمی در سیستم سلامت و پزشکی دارد. با توجه به جمعیت کل و جمعیت سالخوردگان، رشد سریع اقتصاد و شیوع بیماری‌های مزمن (مانند بیماری‌های قلبی، عروقی، سرطان و بیماری‌های مزمن تنفسی)، رشد صنعت دارویی بسیار افزایش یافته است [۱۸]. مزیت رقابتی در صنایع دارویی با تحقیقات و توسعه عالی و عملیات زنجیره تأمین بهینه حاصل می‌شود. فرایندها، سیستم‌ها و سازمان‌های هماهنگ در زنجیره تأمین موجب کاهش موجودی انبارها، افزایش بهره‌گیری از ظرفیت، کوتاه‌شدن مدت تحویل سفارش یا کاهش کهنگی‌پذیری کمتر و کاهش هزینه‌های نگهداری سیستم فناوری اطلاعات می‌شود. تصمیمات بحرانی می‌تواند سریع‌تر گرفته شوند و به این ترتیب سطح خدمت‌رسانی به مشتری بهبود می‌یابد [۲۸]. صنعت داروسازی به‌عنوان یک سیستم متشکل از فرایندها، عملیات و سازمان‌های درگیر در کشف، توسعه و تولید از مواد مخدر و داروها تعریف شده است. زنجیره تأمین دارو به‌معنای مسیری است که از طریق آن، محصولات دارویی با کیفیت مناسب در مکان و زمان مناسب در میان مصرف‌کنندگان نهایی توزیع می‌شوند [۱۲]. در زنجیره تأمین دارویی، هدف اصلی فراهم‌کردن دارویی باکیفیت در زمان مناسب برای تضمین سلامت جامعه است. از چالش‌های موجود در این زنجیره می‌توان به نبود هماهنگی بین اعضای زنجیره تأمین، نبود اطلاعات تقاضا در سطوح مختلف تقاضا، مدیریت سفارش‌ها، تاریخ انقضای دارو، مدیریت انبارها، زنجیره تأمین سرد، ردیابی روند تولید، توزیع و خرده‌فروشی اشاره کرد [۲۴].

اعضای زنجیره بر هم اثر می‌گذارند؛ به‌طوری که بروز مشکل در یک قسمت از آن، سراسر زنجیره را تحت تأثیر قرار می‌دهد و متضرر نهایی این موضوع بیمار است؛ زیرا تأخیر در استفاده از دارو، کیفیت نامناسب، استفاده از داروی منقضی شده و غیره به تشدید بیماری یا مرگ بیمار منجر می‌شود؛ بنابراین مطالب ذکرشده بر ضرورت طراحی یک شبکه زنجیره تأمین دارویی که

بتواند چالش‌های فوق‌الذکر را برطرف کند، صحنه می‌گذارد؛ همچنین با توجه به اینکه دارو محصولی حیاتی است و اگر دیرتر از زمان موردنیاز تحویل داده شود عواقب جبران‌ناپذیری به همراه خواهد داشت و با توجه به فسادپذیری دارو، اگر دارو زودتر تحویل گرفته شود، ممکن است تا زمان استفاده فاسد شود؛ بنابراین استفاده از سیستم بهنگام برای دارو که کالایی فاسدشونده است، مناسب است [۴]. استفاده از یک سیستم بهنگام در صنعت دارویی به کاهش موجودی و دسترسی به‌موقع مشتریان به داروها منجر می‌شود [۱۳، ۱۵]؛ بنابراین در نظر گرفتن زنجیره تأمین بهنگام به حصول نتایج واقعی‌تر منجر می‌شود. برای در نظر گرفتن یک سیستم بهنگام، استفاده از توابع هدفی مانند زودکرد و دیرکرد به کاهش موجودی و دسترسی به‌موقع کالاها به‌دست مشتریان منجر خواهد شد. توابع هدف زودکرد و دیرکرد جزو مسائل NP-hard است [۲۳] و استفاده از روش‌های دقیق با افزایش ابعاد مسئله ناکارآمد خواهد شد؛ بنابراین برای حل مسئله از روش‌های فراابتکاری استفاده می‌شود.

در پژوهش حاضر به مسئله زنجیره تأمین دوسطحی پرداخته می‌شود که شامل سطوح تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان است. برای کالاهایی که از توزیع‌کنندگان به مشتریان ارسال می‌شود، زمان تحویل در نظر گرفته شده است و اگر دیرتر و زودتر از آن کالا به‌دست مشتری برسد، جریمه دیرکرد و زودکرد به سیستم تحمیل می‌شود. تقاضای توزیع‌کنندگان نیز غیرقطعی در نظر گرفته شده است. هدف این پژوهش عبارت است از: حداقل کردن هزینه متغیر تولید هر نوع دارو، هزینه نگهداری موجودی در سطوح تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان، هزینه انتقال هر نوع دارو از تولیدکننده به توزیع‌کننده، هزینه مدت‌زمان ارسال و هزینه‌های دیرکرد و زودکرد. برای مدل‌سازی مسئله‌ای که پارامتر یا پارامترهای غیرقطعی دارد از روش‌های برنامه‌ریزی احتمالی، برنامه‌ریزی استوار، برنامه‌ریزی فازی و برنامه‌ریزی تصادفی استفاده می‌شود. برای استفاده از برنامه‌ریزی احتمالی باید نوع توزیع احتمالی و تابع چگالی احتمالی مشخص باشد [۲] که به این منظور به داده‌های گذشته نیاز است؛ همچنین در برنامه‌ریزی فازی برای تعیین شکل تابع توزیع داده‌های گذشته ضروری است [۲]. در برنامه‌ریزی استوار دامنه مقادیر پارامتر(های) غیرقطعی توسط یک مجموعه پیوسته تعریف می‌شود [۱۴]. رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی روشی سناریومحور است و این رویکرد از تابع چگالی توزیع، تابع عضویت استفاده نمی‌کند. در این پژوهش به‌دلیل عدم دسترسی به داده‌های گذشته برای مدل‌سازی مسئله، با توجه به غیرقطعی بودن تقاضا از رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای استفاده شده است.

ادامه مقاله به‌صورت زیر تنظیم شده است: در بخش ۲ مروری بر مبانی نظری موضوع انجام خواهد شد. در بخش ۳ روش‌شناسی پژوهش بیان می‌شود. بخش ۴ به تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش اختصاص یافته است. در پایان نیز در بخش ۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی ارائه خواهد شد.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

پریوت و گنسالواز^۱ (۲۰۱۴)، به چالش‌های موجود در زنجیره تأمین دارویی اشاره کردند. برخی از این چالش‌ها عبارت‌اند از: نبود هماهنگی بین اعضای زنجیره تأمین دارو؛ مدیریت موجودی‌ها، نبود اطلاعات تقاضا در سطوح مختلف زنجیره؛ کمبود منابع انسانی کارآمد در حوزه زنجیره تأمین دارو و مدیریت سفارش‌ها [۲۴]. زهیری و همکاران (۲۰۱۸)، یک مدل ریاضی برای طراحی شبکه زنجیره تأمین دارویی ارائه دادند که هدف آن حداقل کردن هزینه کل و حداقل کردن حداکثر تقاضای برآورده‌نشده بود. با توجه به غیرقطعی در نظر گرفتن تقاضا و هزینه‌ها از رویکرد بهینه‌سازی استوار برای حل مدل استفاده شد [۲۸]. موسی‌زاده و همکاران (۲۰۱۵)، یک مدل برنامه‌ریزی خطی مختلط دوهدفه برای طراحی شبکه زنجیره تأمین دارو ارائه کردند که هدف آن حداقل کردن هزینه‌های کل و تقاضاهای برآورده نشده بود. آن‌ها از روش بهینه‌سازی احتمالی استوار برای حل مدل استفاده کردند [۲۱] سوادکوهی و همکاران (۲۰۱۸)، یک مدل موجودی - مکان‌یابی برای طراحی شبکه زنجیره تأمین دارویی سه‌سطحی توسعه دادند. این مدل تصمیم‌های استراتژیک و تاکتیکی شامل بازگشایی مراکز تولید و توزیع، جریان مواد در شبکه و سیاست موجودی با در نظر گرفتن قابلیت فسادپذیری محصولات را در بر می‌گرفت که هدف آن حداقل کردن هزینه‌های کل شبکه بود. آن‌ها از برنامه‌ریزی امکانی برای حل مدل استفاده کردند [۲۷]. کلانتری و پیشوایی (۲۰۱۶)، یک مدل برنامه‌ریزی اصلی برای زنجیره تأمین دارو شامل چند تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و چند مرکز توزیع پیشنهاد دادند و همچنین یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح امکانی چندهدفه به منظور کاهش هزینه‌های لجستیک و افزایش سطح رضایت از انتخاب تأمین‌کنندگان ارائه کردند؛ سپس به واسطه غیرقطعی بودن پارامترهای ورودی چنین مسئله‌ای، یک مدل جدید برنامه‌ریزی امکانی استوار که قدرت تنظیم درجه استواری تصمیمات خروجی در برابر عدم قطعیت پارامترها را دارد، توسعه دادند [۱۲].

جویان نادیلوئی و همکاران (۲۰۱۸)، یک مدل دوهدفه تصادفی کاهش هزینه و زمان در زنجیره تأمین دارو ارائه کردند. آن‌ها یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای یک مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین دارو توسعه دادند. این مدل کمک می‌کند تا بتوان تصمیمات متعددی درباره تصمیمات استراتژیک زنجیره از قبیل تأسیس مراکز تولید، توزیع اصلی و محلی دارو همراه با جریان‌های مواد بهینه در طول یک افق برنامه‌ریزی میان‌مدت به‌عنوان تصمیمات تاکتیکی اتخاذ کرد. این مدل همچنین هزینه و مجموع زمان‌های انتقال محصولات را حداقل می‌کند [۱۱]. مهرعلیان و همکاران (۲۰۱۵)، به توسعه مدل SCOR پرداختند و عوامل مهم در سه قسمت عرضه چابک، تولید چابک و توزیع چابک را مشخص کردند. آن‌ها با استفاده از

تاپسیس فازی در هر کدام از قسمت‌ها، عوامل را رتبه‌بندی کردند و با تجزیه و تحلیل داده‌ها به این نتیجه رسیدند که سرعت تحویل به‌طور مستقیم سرعت زنجیره تأمین را افزایش می‌دهد؛ همچنین کاهش هزینه‌ها در داخل و خارج سازمان بر هزینه محصول نهایی اثر می‌گذارد و این کاهش هزینه می‌تواند پاسخگویی زنجیره تأمین را افزایش دهد. استفاده از فناوری Auto-ID سرعت و انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین را افزایش می‌دهد [۱۸]. زارع‌نژاد اشکذری (۲۰۱۱)، با هدف تدوین مدل چابکی زنجیره تأمین بر اساس مدل اسکور، یک مدل مفهومی برای چابک‌سازی هر یک از فرآیندهای زنجیره تأمین اعم از تأمین، تولید و توزیع ارائه و از الگوریتم ریاضی تاپسیس فازی و آزمون آماری فریدمن ارائه کرد [۳۰] و مشایخی نظام‌آباد و عالم تبریز (۲۰۱۷) تأثیر یکپارچگی بالادستی و پایین‌دستی زنجیره تأمین دارو بر عملکرد و برنامه کیفیت را بررسی کردند. آن‌ها برای تحلیل داده‌ها از روش مدل‌سازی معادلات ساختاری بهره گرفتند [۱۷].

هیال و همکاران^۱ (۲۰۱۶)، چارچوبی برای طراحی استراتژی حمل‌ونقل در زنجیره تأمین دارویی ارائه کردند که شامل سه مرحله بود: ۱. شناسایی پیکربندی شبکه توزیع فعلی؛ ۲. طراحی شبکه توزیع بهینه هنگام تصمیم‌گیری برای محل‌های کاندیدا؛ ۳. انتخاب مناسب‌ترین استراتژی شبکه حمل‌ونقل با استفاده از روش تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره [۸]. لوو و همکاران^۲ (۲۰۱۶)، چارچوبی برای طراحی شبکه زنجیره تأمین پایدار دارو ارائه کردند که توانست در مراحل اولیه توسعه دارو انجام شود. این چارچوب با تلفیق روش‌های متدولوژیک و تحلیلی سلسله‌مراتبی برای شناسایی مناسب‌ترین تولیدکننده‌ها و محاسبه شاخص‌ها برای ارزیابی اثرات اقتصادی و محیطی مختلف زنجیره تأمین توسعه یافته است [۱۶]. چن و همکاران^۳ (۲۰۱۹) یک زنجیره تأمین دارویی را که شامل یک تولیدکننده دارویی و یک داروخانه بود، در نظر گرفتند و بررسی کردند که چگونه مقررات قیمتی بر تصمیمات قیمت‌گذاری شرکت‌های داروسازی تأثیر می‌گذارد. آن‌ها نتیجه گرفتند که مقررات قیمت یکپارچه به عملکرد اقتصادی شرکت‌های تحت نظارت آسیب می‌زند و خطر کمبود عرضه را افزایش می‌دهد [۳]. پریان و آتایاکومار^۴ (۲۰۱۴)، یک مدل موجودی که بررسی مداوم را به همراه تولید و توزیع در یک زنجیره تأمین دارویی و یک زنجیره تأمین بیمارستانی به کار گرفته بودند، ارائه کردند. این مدل شامل محصولات متعدد دارویی، زمان تحویل متغیر، تأخیر پرداخت مجاز، محدودیت فضای دردسترس و سطح خدمات مشتری که هدف حداقل کردن هزینه‌های زنجیره تأمین بود [۲۵].

رضایی نور و همکاران (۲۰۲۰)، یک زنجیره تأمین چهارسطحی دارو با اهداف حداقل کردن هزینه‌های کل زنجیره و حداکثر کردن میزان رضایت مناطق مختلف ارائه کردند. آن‌ها یک روش

1. Haial, et al.

2. Low, et al.

3. Chen, et al.

4. Priyan, & Uthayakumar

فراابتکاری مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله معرفی و عملکرد آن را در گستره وسیعی از مسائل نمونه‌ای تک‌هدفه و دوهدفه بررسی کردند [۲۶]. نصراللهی و رزمی (۲۰۱۹)، به طراحی یکپارچه زنجیره تأمین چهارسطحی دارویی با حداکثر پوشش تحت عدم قطعیت پرداختند. اهداف حداکثر کردن پوشش تقاضا و حداقل کردن هزینه‌های کل بود و برای حل از الگوریتم فراابتکاری NPGA استفاده کردند [۲۲]. جنتیان و همکاران (۲۰۱۹)، یک مدل سه‌هدفه برای بهینه‌سازی شبکه توزیع پایدار دارو در شرکت توزیع داروپخش در نظر گرفتند که اهداف آن به ترتیب حداقل کردن هزینه‌های شبکه توزیع، حداقل کردن مجموع انتشار گاز کربن دی‌اکسید و حداکثر کردن تعداد نیروی مشغول به کار در شبکه توزیع دارو با توجه به اهمیت ایجاد شغل در منطقه مدنظر بود. آن‌ها برای حل از الگوریتم‌های فراابتکاری NSGAI و MOPSO استفاده کردند [۹]. خیرالدین و همکاران (۲۰۱۵)، کارایی سیستم تولید بهنگام در یک مطالعه موردی در یک شرکت دارویی را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که داشتن یک سیستم بهنگام برای سیستم مؤثر و کارا است [۱۵]. کاروپاسامی و یاتایاکومار^۱ (۲۰۱۹)، یک مدل ریاضی برای یک سیستم زنجیره تأمین سه‌سطحی شامل کارخانه تولید دارو، انبار و بیمارستان‌ها با در نظر گرفتن سیستم بهنگام ارائه دادند که هزینه‌های موجودی و مدت‌زمان چرخه را حداقل می‌کرد. آن‌ها برای بررسی کارایی مدل ارائه‌شده آن را در چندین نمونه مسئله حل کردند [۱۳].

جدول ۱، مقایسه پژوهش‌های مرور شده پیرامون زنجیره تأمین دارو را نشان می‌دهد.

جدول ۱. جمع‌بندی پژوهش‌های مرور شده پیرامون زنجیره تأمین دارو

پژوهشگر/سال	تابع هدف	مدل ریاضی		نوع روش حل	
		جد	قطعی	غیرقطعی	فراابتکاری
پریوت و گنسالواز، (۲۰۱۴)	بررسی چالش‌های موجود در زنجیره تأمین دارویی	-	-	-	-
زهیری و همکاران، (۲۰۱۸)	حداقل کردن هزینه کل و حداکثر تقاضای برآورده‌نشده	*	*	*	برنامه‌ریزی امکانی استوار
موسی‌زاده و همکاران، (۲۰۱۵)	حداقل کردن هزینه‌های کل و تقاضاهای غیرمستقیم	*	*	*	مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح و برنامه‌ریزی امکانی استوار

پژوهشگر/ سال	تابع هدف	مدل ریاضی		نوع روش حل		روش حل
		دارد	نفاضا	دقیق	فراابتکاری	
سوادکوهی و همکاران، (۲۰۱۸)	حداقل کردن هزینه‌های کل	*	*	*	*	برنامه‌ریزی امکانی استوار
کلانتری و پیشوایی، (۱۳۹۵)	حداقل کردن هزینه کل لجستیک و حداکثر کردن ارزش انتخاب تأمین‌کنندگان	*	*	*	*	برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح امکانی
جویبان نادیلویی و همکاران، (۱۳۹۷)	حداقل کردن هزینه‌ها و مجموع زمان‌های انتقال محصولات در زنجیره	*	*	*	*	روش اپسیلون محدودیت
مهرعلیان و همکاران، (۲۰۱۵)	SCOR توسعه مدل برای زنجیره تأمین چابک در صنعت داروسازی	-	-	*	*	الگوریتم ریاضی تاپسیس فازی
زارع اشکذری، (۱۳۹۰)	طراحی مدل چابکی مدیریت زنجیره تأمین در صنعت دارو	-	-	*	*	الگوریتم ریاضی تاپسیس فازی، آزمون آماری فریدمن
مشایخی نظام‌آباد و عالم تبریز، (۲۰۱۷)	بررسی تأثیر یکپارچگی بالادستی و پایین‌دستی زنجیره تأمین دارو بر عملکرد و برنامه کیفیت	-	-	-	-	حل با استفاده از مدل‌سازی معادلات ساختاری
هیال و همکاران، (۲۰۱۶)	حداقل کردن هزینه‌های زنجیره تأمین و حداکثر کردن سطح سرویس مشتری	*	*	*	*	تاپسیس فازی
لوو و همکاران، (۲۰۱۶)	ارائه چارچوبی برای طراحی شبکه زنجیره تأمین پایدار دارو	-	-	*	*	روش تجزیه و تحلیل تصمیم-گیری چند معیاره
چن و همکاران، (۲۰۱۹)	حداکثر کردن سود داروسازی	*	*	*	*	مدل قطعی یافتن بهینه‌سازی پارتو

پژوهشگر / سال	تابع هدف	مدل ریاضی		نوع روش حل		روش حل
		دارد	قطعاً	غیر قطعی	دقیق	
پریان و آتایاکومار، (۲۰۱۴)	حداقل کردن هزینه-های کل	*	*	*	*	روش ضریب لاگرانژ
رضایی نور و همکاران، (۲۰۲۰)	حداقل کردن هزینه‌های کل زنجیره و حداکثر کردن میزان رضایت مناطق مختلف	*	*	*	*	الگوریتم ژنتیک
نصراللهی و رزمی، (۲۰۱۹)	حداکثر کردن پوشش تقاضا و حداقل کردن هزینه‌های کل	*	*	*	*	NRGA الگوریتم فرا ابتکاری
جنتیان و همکاران، (۲۰۱۹)	حداقل کردن هزینه‌های شبکه توزیع، حداقل کردن مجموع انتشار گاز کربن دی‌اکسید و حداکثر کردن تعداد نیروی مشغول به کار در شبکه توزیع دارو با توجه به اهمیت ایجاد شغل در منطقه مدنظر	*	*	*	*	الگوریتم NSGAI, MOPSO
خیرالدین و همکاران، (۲۰۱۵)	بررسی کارایی سیستم تولید بهنگام در یک شرکت دارویی	-	-	-	-	و t آزمون آماری روابط همبستگی پیرسون و رگرسیون خطی و چندگانه
کاروپاسامی و باتایاکومار، (۲۰۱۹)	حداقل کردن هزینه‌های موجودی و مدت‌زمان چرخه	*	*	*	*	ارائه مدل ریاضی و حل در چندین نمونه مسئله
پژوهش حاضر	حداقل کردن هزینه‌های تولید، موجودی، توزیع، هزینه ارسال و هزینه دیرکرد و زودکرد	*	*	*	*	برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای و الگوریتم فرا ابتکاری ترکیبی

با توجه به پژوهش‌های پیشین، مسئله زنجیره تأمین دارویی با در نظر گرفتن جریمه زودکرد و دیرکرد بررسی نشده است؛ همچنین با توجه به غیرقطعی در نظر گرفتن تقاضا، برای حل مسئله در ابعاد کوچک از روش برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای استفاده شده است؛ در حالی که پژوهش‌های مطالعه شده برای لحاظ کردن عدم قطعیت از روش امکانی استوار استفاده شده برای حل مسئله در ابعاد بزرگ، یک الگوریتم فراابتکاری ترکیبی ارائه شده است؛ در صورتی که در پژوهش‌های مطالعه شده برای حل مسئله از یک الگوریتم فراابتکاری بهره گرفته شده است.

۳. روش‌شناسی پژوهش

دارو محصولی حیاتی است که سلامت جامعه را رقم می‌زند و تحویل به موقع آن به مصرف‌کنندگان از اهمیت بالایی برخوردار است که بدین منظور عواملی مانند موجودی در دسترس در انبارهای توزیع‌کنندگان، تولیدکنندگان، هزینه‌های نگهداری، هزینه حمل و نقل و هزینه تولید تأثیرگذار است. در زنجیره تأمین هر سطح بر سطح بعد از خود اثر می‌گذارد؛ بنابراین اگر برنامه‌ریزی در هر سطح به بهترین شکل صورت گیرد، تمام سطوح آن، اعم از تولیدکننده تا مصرف‌کننده، احساس رضایت می‌کنند.

در این پژوهش یک مسئله زنجیره تأمین دارویی دوسطحی چنددوره‌ای ارائه شده است که در سطح اول تولیدکنندگان و در سطح دوم توزیع‌کنندگان قرار دارند. تقاضا در سطح دوم غیرقطعی است. در سطح اول، محصولات دارویی تولید می‌شوند و سپس با توجه به تقاضای توزیع‌کنندگان محصولات دارویی از تولیدکنندگان به توزیع‌کنندگان ارسال می‌شود. هر محصولی که در هر دوره برای توزیع‌کنندگان ارسال می‌شود، دارای موعد تحویل است که از سمت توزیع‌کنندگان تعیین می‌گردد. اگر هر محصول دارویی دیرتر و زودتر از زمان تحویل به دست توزیع‌کنندگان برسد، جریمه زودکرد و دیرکرد به مسئله تحمیل می‌شود. در این مسئله هدف حداقل کردن هزینه‌های تولید، نگهداری موجودی، هزینه انتقال دارو و هزینه زمان ارسال، زودکرد و دیرکرد در سطح اول و هزینه نگهداری موجودی در سطح دوم است. مفروضات مسئله عبارت‌اند از:

- مکان و تعداد تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان از قبل مشخص است؛
- امکان ارسال محصول (دارو) بین توزیع‌کنندگان وجود ندارد؛
- تولیدکنندگان بیش از یک نوع دارو تولید می‌کنند و هزینه تولید، حمل و نقل و نگهداری آن‌ها با توجه به حساسیت و اهمیت با یکدیگر متفاوت است؛
- ارسال دارو از همه تولیدکنندگان به توزیع‌کنندگان امکان‌پذیر است؛
- کمبود در هیچ سطحی مجاز نیست؛
- تقاضای توزیع‌کنندگان غیرقطعی و سایر پارامترها قطعی است؛

- ظرفیت تولید هر تولیدکننده برای هر نوع دارو در هر دوره متفاوت است؛
 - برای هر کالا در هر دوره موعد تحویل مشخصی وجود دارد و تخطی از زمان یادشده امکان‌پذیر نیست.

مدل ریاضی ارائه‌شده در این پژوهش یک مدل برنامه‌ریزی خطی با پارامتر غیرقطعی تقاضا است. با توجه به وجود پارامتر غیرقطعی در مدل، برای مدل‌سازی مسئله از رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای استفاده شده است. اندیس‌ها، پارامترها، متغیرهای تصمیم، تابع هدف و محدودیت‌ها در ادامه آورده شده است.

اندیس‌ها

$j = 1, \dots, J$	j : اندیس مراکز تولیدکنندگان
$l = 1, \dots, L$	l : اندیس مراکز توزیع‌کنندگان
$k = 1, \dots, K$	k : اندیس محصولات
$t = 1, \dots, T$	t : اندیس دوره زمانی
$s = 1, \dots, S$	s : اندیس سناریو

پارامترها

c_{kjt}	: هزینه تولید داروی k توسط تولیدکننده j در دوره t
h_{kjt}	: هزینه نگهداری داروی k توسط تولیدکننده j در دوره t
$c1_{kjl t}$: هزینه ارسال داروی k از تولیدکننده j به توزیع‌کننده l در دوره t
$h1_{klt}$: هزینه نگهداری داروی k توسط توزیع‌کننده l در دوره t
d^s_{klt}	: تقاضای داروی k از توزیع‌کننده l در دوره t تحت سناریوی s
cap_{kjt}	: ظرفیت تولید داروی k برای تولیدکننده j در دوره t
$cc1_{kjl t}$: موعد تحویل داروی k از تولیدکننده j به توزیع‌کننده l در دوره t
$v_{kjl t}$: جریمه دیرکرد داروی k که از تولیدکننده j به توزیع‌کننده l در دوره t ارسال می‌شود.
$v1_{kjl t}$: جریمه زودکرد داروی k که از تولیدکننده j به توزیع‌کننده l در دوره t ارسال می‌شود.
$v11_{kjl t}$: هزینه حمل‌ونقل داروی k که از تولیدکننده j به توزیع‌کننده l در دوره t
p^s	: احتمال وقوع هر سناریو

متغیرهای تصمیم

p_{kjt}	: میزان تولید داروی k توسط تولیدکننده j در دوره t
$If2^s_{kjt}$: میزان موجودی داروی k از تولیدکننده j در دوره t تحت سناریوی s

$s1^s_{kjl t}$: میزان داروی k که از تولیدکننده j به توزیع‌کننده l در دوره t تحت سناریوی s انتقال یافته است.

$If3^s_{klt}$: میزان موجودی داروی k از توزیع‌کننده l در دوره t تحت سناریو s
 $tt1^s_{kjl t}$: زمان دیرکرد داروی k که از تولیدکننده j به توزیع‌کننده l در دوره t تحت سناریوی s انتقال یافته است.

$tt2^s_{kjl t}$: زمان زودکرد داروی k که از تولیدکننده j به توزیع‌کننده l در دوره t تحت سناریوی s انتقال یافته است.

$d3^s_{kjl t}$: مدت‌زمانی که طول می‌کشد داروی k که از تولیدکننده j به توزیع‌کننده l در دوره t تحت سناریو s تحویل داده شود.

با توجه به نمادهای معرفی شده، مدل پیشنهادی به شرح زیر است:

$$Min Z = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T C_{kjt} \cdot p_{kjt} + \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T p^s \cdot h_{kjt} \cdot If2^s_{kjt} \tag{1}$$

$$+ \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L \sum_{t=1}^T p^s \cdot C1_{kjl t} \cdot S1^s_{kjl t}$$

$$+ \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{t=1}^T p^s \cdot h1_{klt} \cdot If3^s_{klt}$$

$$+ \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L \sum_{t=1}^T p^s \cdot v_{kjl t} \cdot tt1^s_{kjl t}$$

$$+ \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L \sum_{t=1}^T p^s \cdot v1_{kjl t} \cdot tt2^s_{kjl t}$$

$$+ \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L \sum_{t=1}^T p^s \cdot v11_{kjl t} \cdot d3^s_{kjl t}$$

$$s.t.: \sum_{l=1}^L S^s_{kjl t} = p_{kjt} - If2^s_{kjt} + If2^s_{kjt-1} \quad \forall k, j, t, s \tag{2}$$

$$p_{kjt} \leq cap_{kjt} \quad \forall k, j, t \tag{3}$$

$$If2^s_{kjt} = p_{kjt} - \sum_{l=1}^L d^s_{klt} + If2^s_{kjt-1} \quad \forall k, j, t, s \tag{4}$$

$$d^s_{klt} = If3^s_{klt-1} - If3^s_{klt} + \sum_{j=1}^J S^s_{kjl t} \quad \forall k, l, t, s \tag{5}$$

$$tt1^s_{kjl t} \geq d3^s_{kjl t} - cc1_{kjl t} \quad \forall k, j, l, t, s \quad (۶)$$

$$tt2^s_{kjl t} \geq cc1_{kjl t} - d3^s_{kjl t} \quad \forall k, j, l, t, s \quad (۷)$$

$$p_{kjt} \cdot If2_{kjt} \cdot S_{kjl t} \cdot If3_{klt} \geq 0 \quad \forall k, j, l, t, s \quad (۸)$$

عبارت ۱، تابع هدف مسئله که حداقل کردن هزینه‌ها است را نشان می‌دهد. این هزینه‌ها شامل هزینه متغیر تولید هر نوع دارو توسط هر تولیدکننده در هر دوره، هزینه موجودی هر نوع دارو که هر تولیدکننده در هر دوره تحت هر سناریو نگهداری می‌کند، هزینه انتقال هر نوع دارو از تولیدکننده به توزیع‌کننده در هر دوره در هر سناریو، هزینه موجودی هر نوع دارو که هر توزیع‌کننده در هر دوره تحت هر سناریو نگهداری می‌کند و هزینه‌های ارسال، دیرکرد و زودکرد است. عبارت ۲، میزان هر نوع داروی انتقال‌یافته توسط یک تولیدکننده به تمامی توزیع‌کننده‌ها در هر دوره تحت هر سناریو را نشان می‌دهد. عبارت ۳، نشان‌دهنده ظرفیت تولید هر تولیدکننده برای هر نوع دارو است. عبارت ۴، میزان موجودی هر نوع دارو برای هر تولیدکننده در هر دوره تحت هر سناریو را نشان می‌دهد. عبارت ۵، میزان تقاضای هر نوع دارو برای هر توزیع‌کننده در هر دوره تحت هر سناریو است. عبارت‌های ۶ و ۷، به ترتیب محدودیت دیرکرد و زودکرد را نشان می‌دهد. عبارت ۸، نشان‌دهنده وضعیت متغیرها است.

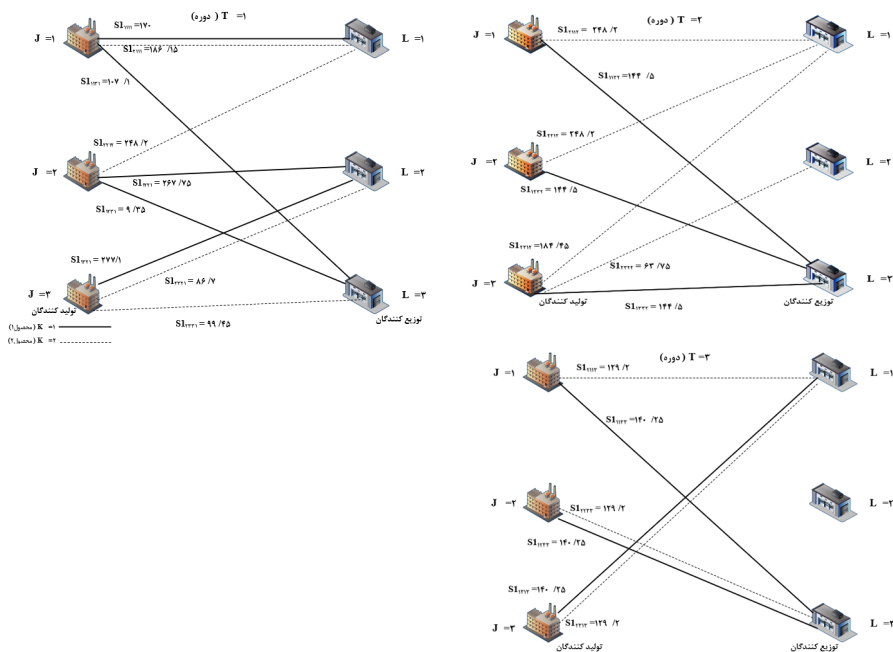
در این بخش برای بررسی کارایی مدل توسعه داده‌شده، مسئله در حالت قطعی در چندین نمونه مسئله تصادفی حل شد و جدول ۲، میزان داروهای ارسال‌شده از تولیدکنندگان به توزیع‌کنندگان یک نمونه از مسائل حل‌شده را نشان می‌دهد. در این نمونه، تعداد تولیدکنندگان، محصولات، توزیع‌کنندگان و دوره به ترتیب برابر با ۳، ۲، ۳ و ۳ است.

جدول ۲. میزان داروهای ارسال‌شده از تولیدکنندگان به توزیع‌کنندگان

SI_{1111}	SI_{1131}	SI_{1132}	SI_{1133}	SI_{1221}	SI_{1231}	SI_{1232}	SI_{1233}	SI_{1313}	SI_{1321}	SI_{1332}
۱۷۰	۱۰۷/۱	۱۴۴/۵	۱۴۰/۲۵	۲۶۷/۷۵	۹/۳۵	۱۴۴/۵	۱۴۰/۲۵	۱۴۰/۲۵	۲۷۷/۱	۱۴۴/۵
SI_{2111}	SI_{2112}	SI_{2113}	SI_{2211}	SI_{2212}	SI_{2233}	SI_{2312}	SI_{2313}	SI_{2321}	SI_{2322}	SI_{2331}
۱۸۶/۱۵	۲۴۸/۲	۱۲۹/۲	۱۸۶/۱۵	۲۴۸/۲	۱۲۹/۲	۱۸۴/۴۵	۱۲۹/۲	۸۶/۷	۶۳/۷۵	۹۹/۴۵

شکل ۱، شمای زنجیره تأمین دوسطحی برای این نمونه مسئله را نشان می‌دهد.

الگوریتم پیشنهادی. با توجه به اینکه مسئله‌ی پژوهش جزو مسائل NP-hard است و روش‌های دقیق قادر به حل مسئله در زمان چندجمله‌ای نیستند، برای حل مسئله یک الگوریتم فراابتکاری ترکیبی ارائه شد. الگوریتم یادشده ترکیب الگوریتم‌های ژنتیک و جست‌وجوی همسایگی متغیر است.



شکل ۱. شمای زنجیره تأمین دوسطحی

نحوه نمایش جواب: نخستین گام در اجرای هر الگوریتم فراابتکاری نمایش جواب مسئله است. نحوه نمایش جواب در این مسئله یک ماتریس با ابعاد $(t * j * k) + (t * j * k) + 1 \times ((t * j * k) + (k * l * t))$ است. شکل ۲، نحوه نمایش جواب را نشان می‌دهد.

p_{kjt}	$lf2_{kjt}$	$lf3_{kjt}$	sk_{jlt}	$tt1_{kjt}$	$tt2_{kjt}$	$d3_{kjt}$
-----------	-------------	-------------	------------	-------------	-------------	------------

شکل ۲. نحوه نمایش جواب

برای مثال، فرض می‌شود که یک تولیدکننده، یک توزیع‌کننده، دو محصول دارویی و دو دوره وجود دارد. متغیرهای تصمیم p_{kjt} ، $lf2_{kjt}$ ، $lf3_{kjt}$ ، sk_{jlt} ، $tt1_{kjt}$ ، $tt2_{kjt}$ و $d3_{kjt}$ هر یک دارای ۴ ژن هستند.

الگوریتم جست‌وجوی همسایگی متغیر: الگوریتم جست‌وجوی همسایگی متغیر از جدیدترین الگوریتم‌های فراابتکاری است که هم در رسیدن به حداقل محلی و هم در فرار از بهینگی از ایده تغییر همسایگی به شکل نظام‌یافته استفاده می‌کند. این الگوریتم بر پایه تک‌نقطه است و با یک جواب اولیه جست‌وجو را آغاز کرده، سپس یک همسایه را به صورت تصادفی از نزدیک‌ترین همسایه انتخاب می‌کند و جست‌وجوی محلی بر روی آن انجام می‌شود تا بهینه محلی آن به دست

آید. اگر جواب به دست آمده از جواب قبلی بهتر بود، بار دیگر از همان همسایه یک همسایه تصادفی دیگر انتخاب شده و مراحل تکرار می‌شود؛ ولی اگر جواب به دست آمده از جواب قبلی بهتر نبود در این صورت نوع همسایگی با مرتبه بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. مراحل گفته شده تا رسیدن به همسایه با بیشترین مرتبه تکرار می‌شود [۲]. در این پژوهش سه ساختار همسایگی ارائه شده است:

– ساختار همسایگی اول: مسئله ۷ نوع متغیر تصمیم دارد؛ بنابراین ۷ بازه بین صفر و یک ایجاد و یک عدد تصادفی بین صفر و یک تولید می‌شود. اگر عدد تولید شده در بازه اول قرار گیرد، در محدوده مربوط به متغیر p_{kit} دو عدد صحیح به صورت تصادفی تولید می‌کند و درایه‌های آن با یکدیگر جابه‌جا می‌شوند. همین روند برای بازه‌های باقیمانده‌ها انجام می‌شود.

– ساختار همسایگی دوم: یک سلول به صورت تصادفی انتخاب و مقدار آن بر شماره ستون سلول تقسیم می‌شود. مقدار حاصل جایگزین مقدار قبلی می‌شود.

– ساختار همسایگی سوم: اگر طول ماتریس XX باشد، یک عدد صحیح تصادفی بین دو عدد دلخواه تولید می‌شود (برای مثال: بین ۵ و ۶). اگر عدد تولید شده ۵ بود، محدوده $(-3 * k * j * I * t)$ ، XX (۱) از ماتریس انتخاب می‌شود. در محدوده یاد شده دو سلول به صورت تصادفی انتخاب و مقادیر متناظر با آن‌ها با یکدیگر جمع می‌شوند؛ سپس یک عدد تصادفی صحیح بین دو عدد دلخواه تولید می‌شود (برای مثال: ۱ و ۲). اگر عدد برابر با ۱ باشد، جمع حاصل در سلولی که اول انتخاب شده است، قرار می‌گیرد؛ در غیر این صورت به سلول دوم اختصاص می‌یابد.

اگر عدد تولید شده ۶ باشد، محدوده $(XX - 3 * k * j * I * t + 1)$ ، XX از ماتریس انتخاب و مراحل ذکر شده انجام می‌شود.

الگوریتم ژنتیک: الگوریتم ژنتیک در کلاس الگوریتم‌های بهینه‌سازی تصادفی قرار دارد. این الگوریتم، به خصوص برای بهینه‌سازی مسائل پیچیده با فضای جستجوی ناشناخته مناسب است. به طور مختصر گفته می‌شود که الگوریتم ژنتیک یک تکنیک برنامه‌نویسی است که از تکامل ژنتیکی به عنوان یک الگوی حل مسئله استفاده می‌کند [۱]. این الگوریتم همچنین دارای عملگرهای تقاطع، جهش و انتخاب است. در ادامه هر یک از عملگرها توضیح داده می‌شود:

عملگر تقاطع: عملگرهای تقاطع، عملگرهایی که یک یا چند نقطه از دو یا چند جواب را انتخاب و مقادیر آن‌ها را تعویض می‌کنند. این عملگر در یک لحظه بر روی دو کروموزوم اعمال شده و دو فرزند به وسیله ترکیب ساختار دو کروموزوم ایجاد می‌شود. در این پژوهش برای ایجاد تقاطع از روش تک نقطه برش استفاده شده است. بدین صورت که یک نقطه به صورت تصادفی به عنوان نقطه برش در طول دو کروموزومی که به عنوان والدین انتخاب شده‌اند در نظر گرفته شده و

کروموزوم‌ها از آن نقطه به دو قسمت تقسیم می‌شوند و جای دو بخش از آن‌ها با هم تعویض شده و فرزند جدید ایجاد می‌شود [۲].

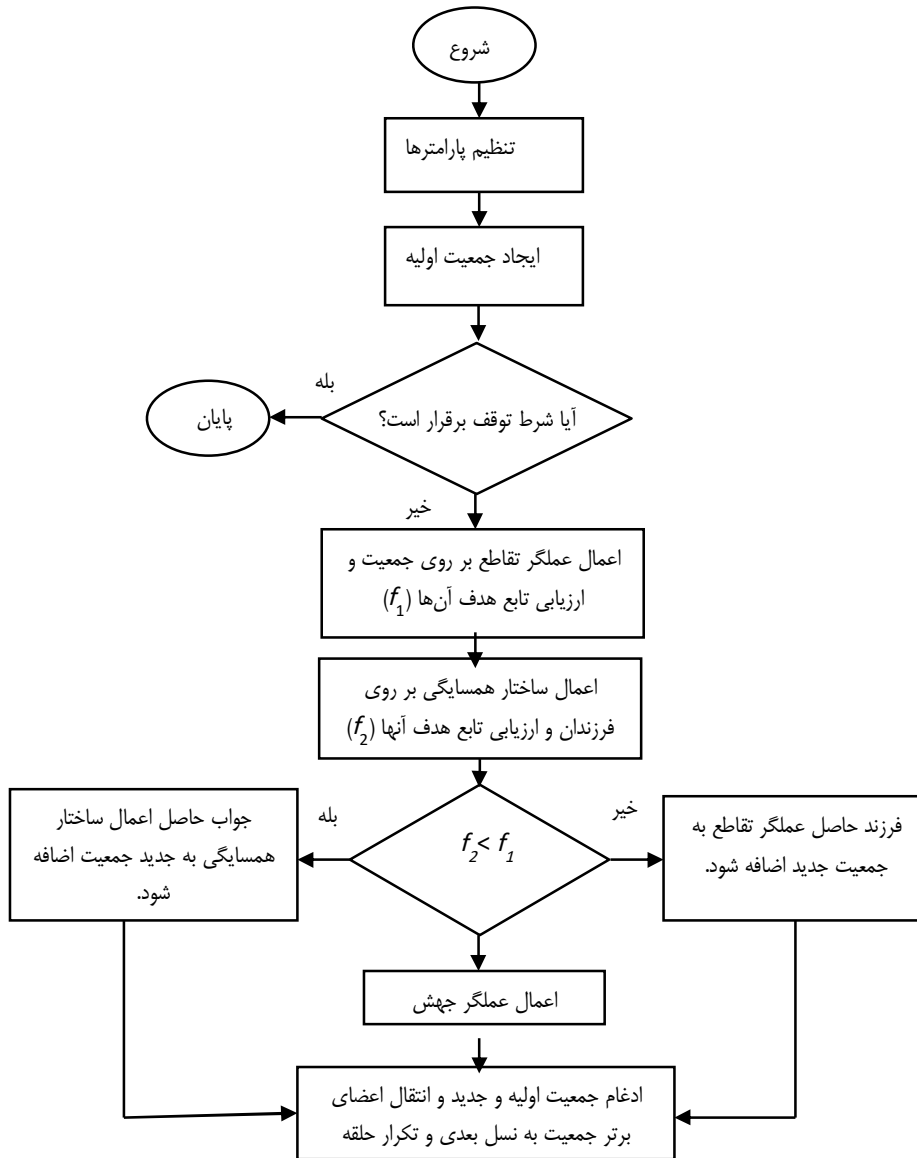
عملگر جهش: عملگرهای جهش، عملگرهایی با ویژگی‌های تغییر تصادفی است و در آن‌ها یک یا چند محل از یک رشته کاراکتری با طول خاص در نظر گرفته می‌شود و مقادیر کاراکترها در آن محل‌ها تغییر می‌یابد. در این پژوهش برای ایجاد جهش از روش تعویض گروهی استفاده شده است [۶]. در این روش، با فرض اینکه تعداد ژن‌ها در هر کروموزوم xx باشد، عدد تصادفی صحیح R در بازه $(0/5 * xx)$ تولید می‌شود. آنگاه از نیمه راست کروموزوم والد، R تا از ژن‌ها را که کنار هم قرار گرفته‌اند، به تصادف انتخاب می‌شوند. به‌طور مشابه از نیمه سمت چپ کروموزوم والد نیز R تا از ژن‌ها را که کنار هم قرار گرفته‌اند به تصادف انتخاب می‌کند و مکان‌های این دو مجموعه از ژن‌ها با هم جابه‌جا می‌شوند.

عملگر انتخاب: جمعیت جدید با جمعیت قبلی ادغام می‌شود؛ سپس به تعداد جمعیت اولیه بهترین کروموزوم‌ها انتخاب می‌شوند.

بحث دیگری که در الگوریتم ژنتیک وجود دارد، چگونگی برخورد با محدودیت‌های مسئله است؛ زیرا عملگرهای ژنتیک در الگوریتم ممکن است به تولید کروموزوم‌های غیرموجه منجر شوند. استراتژی جریمه‌ای یکی از روش‌های برخورد با محدودیت‌ها است. در این روش جواب‌های غیرموجه با احتمال کم امکان حضور در جامعه را پیدا می‌کنند. روش یادشده از متداول‌ترین تکنیک‌های مورد استفاده برای پذیرش با جواب‌های غیرموجه است که در آن ابتدا محدودیت‌های مسئله در نظر گرفته نمی‌شوند؛ سپس برای هر تخلف از محدودیت‌ها، جریمه‌ای اختصاص می‌یابد که این جریمه در تابع هدف قرار می‌گیرد. نکته‌ای که در این روش وجود دارد، این است که یک جواب غیرموجه نباید به‌سادگی نادیده گرفته شود؛ چراکه ممکن است در ژن‌های آن اطلاعات مفیدی وجود داشته باشد که با اندکی تغییر به جواب بهینه تبدیل شود [۲]. در این پژوهش از روش جریمه‌ای برای برخورد با محدودیت‌ها استفاده شده و مقدار تخطی از هر محدودیت به مقدار تابع هدف اضافه شده است.

الگوریتم پیشنهادی: الگوریتم پیشنهادی در این پژوهش، ترکیبی از الگوریتم‌های ژنتیک و جست‌وجوی همسایگی متغیر است. در الگوریتم یادشده، جمعیت اولیه به‌صورت تصادفی ایجاد می‌شود؛ سپس عملگر تقاطع و جهش بر روی جمعیت ایجادشده صورت می‌گیرد. با استفاده از عملگر تقاطع دو فرزند تولید و برای هر فرزند استفاده از ساختارهای همسایگی الگوریتم جست‌وجوی همسایگی متغیر اجرا می‌شود. اگر برازندگی فرزند ایجادشده بهتر از نتیجه حاصل از الگوریتم جست‌وجوی همسایگی متغیر باشد فرزند یادشده به نسل بعد منتقل می‌شود؛ در غیر این صورت نتیجه‌ای که از الگوریتم ذکر شده حاصل شده است به نسل بعد منتقل می‌شود. برازندگی هر کروموزوم شامل مقدار تابع هدف و میزان جریمه‌ای است که از تخطی از محدودیت‌ها (روش

جریمه) حاصل می‌شود. برای اعمال عملگر جهش از روش تعویضی استفاده می‌شود؛ سپس جمعیت جدید با جمعیت قبلی (قدیم) ادغام و به تعداد جمعیت اولیه، بهترین اعضا از جمعیت ادغام‌شده انتخاب می‌شود. این فرایند تا برقراری شرط توقف تکرار می‌شود. تعداد تکرار به‌عنوان شرط توقف در نظر گرفته می‌شود. شکل ۳، نمودار الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد.



شکل ۳. نمودار الگوریتم پیشنهادی

در ادامه عملکرد الگوریتم پیشنهادی بررسی می‌شود. به این منظور برای هر سناریو مثال‌های تصادفی در اندازه‌های متفاوت ایجاد و توسط الگوریتم یادشده حل شد. مسئله موردبررسی دارای پارامترهای تقاضا، ظرفیت تولید، هزینه‌های تولید، توزیع، نگهداری، دیرکرد، زودکرد و موعد تحویل است؛ بنابراین برای هر سناریو پارامترهای یادشده به صورت تصادفی در ابعاد مختلف ایجاد شد. برنامه‌های این پژوهش توسط زبان برنامه‌نویسی MATLAB نوشته شده و توسط یک رایانه با مشخصات ۳۲GB و ۶۴bit اجرا شده است. در ادامه نتایج محاسباتی الگوریتم بررسی می‌شود.

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

برای مدل‌سازی مسئله با در نظر گرفتن عدم قطعیت برای تقاضا از برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای استفاده شد. در برنامه‌ریزی تصادفی تصمیمات به دو گروه یا دو مرحله تقسیم می‌شود که تصمیم‌گیرنده در مرحله نخست، تصمیمی را اتخاذ می‌کند؛ سپس یک واقعه تصادفی اتفاق می‌افتد که بر عملکرد تصمیمات مرحله نخست تأثیر می‌گذارد. آنگاه یک تصمیم بازگشتی (تصمیمات مرحله دوم)، اتخاذ می‌شود که سعی می‌کند تأثیرات نامطلوب احتمالی مرحله نخست را جبران کند [۱۹]. در این پژوهش با توجه به اینکه تقاضای توزیع‌کنندگان غیرقطعی در نظر گرفته شده است، بر روی میزان تولیدکنندگان و به تبع آن بر روی میزان موجودی تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان، زمان‌های ارسال، زودکرد و دیرکرد اثر خواهد گذاشت؛ بنابراین تصمیم مرحله نخست درباره میزان تولید تولیدکنندگان در هر دوره اتخاذ می‌شود. تقاضای توزیع‌کنندگان غیرقطعی است؛ بنابراین بر روی میزان داروی انتقالی از تولیدکنندگان به توزیع‌کنندگان، میزان موجودی تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان و زمان‌های ارسال، دیرکرد و زودکرد اثرگذار خواهد بود و تصمیم مرحله دوم گرفته خواهد شد.

به این منظور ابتدا مدل‌سازی برای مسئله صورت گرفت و سپس به دلیل پیچیدگی ذاتی مسئله از الگوریتم ترکیبی برای حل آن استفاده شد. هدف از این بخش، ارائه نتایج عددی حاصل و اعتبارسنجی مدل و الگوریتم پیشنهادی است. به این منظور به تفکیک نتایج در ابعاد کوچک و بزرگ ارائه و تحلیل خواهد شد. برای محاسبه نرخ تقاطع و جهش، مسئله به صورت تجربی با مقادیر مختلف نرخ‌ها حل شد و نرخ تقاطع و جهش به ترتیب برابر با $0/8$ و $0/2$ به دست آمد. تعداد تکرار نیز برابر با ۲۰۰ به دست آمد.

اعتبارسنجی مدل ریاضی. مسئله پژوهش شامل ۲ مرحله و ۵ سناریو است. جدول ۳، سناریوها را نشان می‌دهد.

جدول ۳. سناریوها

سناریو ۱	تقاضا در حالت قطعی
سناریو ۲	تقاضا ۲۵٪ افزایش می‌یابد.
سناریو ۳	تقاضا ۱۵٪ افزایش می‌یابد.
سناریو ۴	تقاضا ۲۵٪ کاهش می‌یابد.
سناریو ۵	تقاضا ۱۵٪ کاهش می‌یابد.

برای حل مسئله از نرم‌افزار گمز نسخه ۲۴.۱.۲ استفاده شد؛ همچنین احتمال وقوع هر سناریو برابر با ۰/۲ به دست آمد. اطلاعات تقاضا در جدول ۴، آورده شده است.

جدول ۴. جدول تقاضا در هر سناریو

سناریو	d_{111}	d_{112}	d_{121}	d_{122}	d_{211}	d_{212}	d_{221}	d_{222}
سناریوی ۱	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰	۳۵۰۰
سناریوی ۲	۱۲۵۰	۱۸۷۵	۲۵۰۰	۳۱۲۵	۲۵۰۰	۳۱۲۵	۳۷۵۰	۴۳۷۵
سناریوی ۳	۱۱۵۰	۱۷۲۵	۲۳۰۰	۲۸۷۵	۲۳۰۰	۲۸۷۵	۳۴۵۰	۴۰۲۵
سناریوی ۴	۷۵۰	۱۱۲۵	۱۵۰۰	۱۸۷۵	۱۵۰۰	۱۸۷۵	۲۲۵۰	۲۶۲۵
سناریوی ۵	۸۵۰	۱۲۷۵	۱۷۰۰	۲۱۲۵	۱۷۰۰	۲۱۲۵	۲۵۵۰	۲۹۷۵

مدل با استفاده از نرم‌افزار گمز حل و متوسط هزینه به دست آمده برابر با $۱۴۰۹۲۰۶۳۰/۸۳۳۰$ شد. ارزش جواب تصادفی: زمانی که از برنامه‌ریزی تصادفی در بهینه‌سازی مسائل در شرایط عدم قطعیت استفاده می‌شود، بررسی ارزش بهره‌گیری از این روش در برابر روش‌های ساده‌تر از اهمیت خاصی برخوردار است. در واقع استفاده از برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای پیچیده‌تر، وقت‌گیرتر و نیازمند گردآوری اطلاعات کامل‌تر است و اهمیت جواب‌های تصادفی به دست آمده باید بررسی شود. در این‌گونه مسائل می‌توان ارزش داشتن اطلاعات کامل را محاسبه کرد. برای این منظور از شاخص $EVPI^1$ (متوسط ارزش اطلاعات کامل) استفاده می‌شود. این شاخص مبین اهمیت پرداختن به عدم قطعیت اطلاعات است [۱۹]. مسئله برنامه‌ریزی قطعی برای هر سناریو به صورت جداگانه حل می‌شود و سپس امید ریاضی مقادیر توابع هدف، با استفاده از مجموع حاصل ضرب احتمال هر سناریو در مقدار تابع هدف مسئله قطعی برای تمام سناریوها به دست می‌آید، این جواب با WS^2 نشان داده می‌شود. در نهایت $EVPI$ به صورت محاسبه می‌گردد.

$$EVPI = Z - WS = ۱۴۰۹۲۰۶۳۰/۸۳۳۰ - ۱۳۹۲۸۱۵۴۰ = ۱۶۳۹۰۹۰/۸۳۳$$

1. Expected value of perfect information.

1. Wait and see.

نتایج حاصل از تحلیل‌های صورت‌گرفته روی مدل تصادفی دومرحله‌ای به‌صورت خلاصه در جدول ۵، آورده شده است. با توجه به مقدار شاخص متوسط ارزش اطلاعات کامل، برای به‌دست‌آوردن اطلاعات کامل در مورد میزان تقاضا، باید $۱۶۳۹۰۹۰/۸۳۳$ هزینه کرد.

جدول ۵. نتایج حاصل از حل مدل‌های ارائه شده

عنوان مدل / شاخص	مقدار تابع هدف مدل / مقدار شاخص
مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای	$۱۴۰۹۲۰۶۳۰/۸۳۳۰$
مدل WS	۱۳۹۲۸۱۵۴۰
شاخص EVPI	$۱۶۳۹۰۹۰/۸۳۳$

برای مقایسه روش برنامه‌ریزی تصادفی و الگوریتم فراابتکاری ترکیبی ارائه شده، مسئله با استفاده از روش‌های یادشده در اندازه کوچک $(۲ \times ۳ \times ۳ \times ۳)$ حل شد که جدول‌های ۶ و ۷، نتایج حاصل را نشان می‌دهند. جدول ۶، نشان‌دهنده نتایج حاصل از روش برنامه‌ریزی تصادفی است. در این مثال با توجه به مقدار شاخص متوسط ارزش اطلاعات کامل، برای به‌دست‌آوردن اطلاعات کامل در مورد میزان تقاضا، باید $۱۹۴۹۳۹/۶۵$ هزینه کرد.

جدول ۶. نتایج حاصل از روش برنامه‌ریزی تصادفی

روش	عنوان مدل / شاخص	مقدار تابع هدف مدل / مقدار شاخص
برنامه‌ریزی تصادفی	مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای	$۷۱۲۶۸۵/۲۵$
دومرحله‌ای	مدل WS	$۵۱۷۷۴۵/۶۰$
	شاخص EVPI	$۱۹۴۹۳۹/۶۵$

جدول ۷، نتایج حاصل از الگوریتم فراابتکاری ترکیبی ارائه‌شده را نشان می‌دهد. در این مثال، سناریوی ۵ کمترین مقدار تابع هدف و سناریوی ۴ بیشترین مقدار تابع هدف را دارد. در اینجا مقدار شکاف بهینگی به‌صورت $۷۱۲۶۲۵/۲۵ - ۱۵۳۴۴۱۵/۲ = ۸۲۱۷۲۹/۹۵$ محاسبه می‌شود. با توجه به مقدار حاصل شده می‌توان نتیجه گرفت که مقدار تابع هدف الگوریتم فراابتکاری ترکیبی ارائه‌شده فاصله زیادی با مقدار تابع هدف حاصل از روش برنامه‌ریزی تصادفی دارد.

جدول ۷. نتایج حاصل از روش الگوریتم فراابتکاری ترکیبی ارائه شده

مقدار تابع هدف	سناریوها	روش
۱۴۱۲۴۹۲/۹۶	۱	الگوریتم فراابتکاری ترکیبی
۱۵۷۷۰۹۱/۹۱	۲	
۱۴۵۴۳۰/۸۷	۳	
۱۹۸۲۶۲۴/۷۱	۴	
۱۲۴۵۵۶۵/۵۶	۵	
۱۵۳۴۴۱۵/۲	میانگین	

حل مسئله در ابعاد بزرگ. برای بررسی کارایی الگوریتم فراابتکاری ترکیبی ارائه شده، نتایج به دست آمده از اجرای الگوریتم ترکیبی با الگوریتم ژنتیک ارائه شده در پژوهش جئونگ (۲۰۱۷)، مقایسه شد [۱۰]. جدول ۸، مسائل نمونه و جدول ۹، نتایج حاصل مقایسه الگوریتم ژنتیک با الگوریتم ترکیبی را نشان می‌دهد.

جدول ۸. مسائل نمونه

اندازه مسئله	مسئله	مشخصات مسئله				
		s	t	l	K	J
کوچک	۱	۲	۲	۲	۲	۲
	۲	۲	۲	۳	۲	۲
	۳	۳	۲	۲	۳	۳
	۴	۳	۳	۳	۴	۴
	۵	۴	۴	۳	۵	۵
متوسط	۱	۱۰	۲	۲	۱۰	۱
	۲	۹	۳	۳	۹	۲
	۳	۱۲	۴	۴	۱۲	۳
	۴	۹	۴	۵	۹	۴
	۵	۸	۶	۵	۸	۵
بزرگ	۱	۹	۴	۶	۹	۱
	۲	۱۱	۴	۵	۱۱	۲
	۳	۱۵	۴	۴	۱۵	۳
	۴	۹	۸	۷	۹	۴
	۵	۸	۷	۵	۸	۵

جدول ۹. نتایج محاسباتی حاصل از مقایسه الگوریتم ژنتیک با الگوریتم ترکیبی

اندازه مسئله	مسئله	سناریو	الگوریتم ژنتیک		الگوریتم ترکیبی پیشنهادی	
			مقدار تابع هدف	زمان (ثانیه)	مقدار تابع هدف	زمان (ثانیه)
۱	۱	۱	۱۵۳۲۲۸۵۷۴۹۲/۱	۱۱/۳۳	۱۱۶۴۷۴۴۴۸۸۳/۶۶	۲۱۴/۷۶
	۲	۲	۳۳۵۸۲۵۶۳۳۴۱۷۲/۷	۱۳/۴۶	۱۶۶۶۶۱۴۴۲۷۵/۶۴۰	۲۰۷/۱۸
	۳	۳	۱۳۷۵۴۴۰۳۷۸۸/۴	۱۲/۱۲	۱۳۵۷۴۴۸۶۱۳۶/۶۲	۱۹۳/۳۸
	۴	۴	۱۶۸۶۳۰۰۴۹۷۲/۲	۱۱/۳۲	۱۱۶۲۵۸۳۸۲۷۷/۰۷۲	۲۱۳/۷۱
	۵	۵	۱۴۹۱۰۵۱۱۴۷۰/۸	۱۰/۳۵	۱۲۳۹۰۰۶۱۳۲۰۸/۲۹	۲۰۳/۹۶
	میانگین		۶۸۳۸۲۱۴۲۲۳۷۹/۲۴	۱۱/۷۲	۳۵۴۸۴۰۰۹۱۵۶/۲۵	۲۰۶/۵۹۸
۲	۱	۱	۳۱۶۱۱۳۵۷۶۵۵/۵	۷/۹۴	۲۷۵۴۷۲۵۴۵۶۲/۶۷	۲۳۷/۴۲
	۲	۲	۲۹۵۸۷۹۶۰۵۸۷/۱	۷/۸۵	۳۰۰۷۵۷۳۵۰۸۴/۰۴	۲۶۷/۱۹
	۳	۳	۲۲۴۲۴۴۸۵۳۴۶/۷	۷/۸۲	۲۶۶۳۷۴۱۵۱۷/۳۳	۲۷۵/۷۸
	۴	۴	۲۵۵۹۵۳۹۸۱۴۶/۱	۷/۶۲	۲۸۵۷۳۹۵۳۹۶۰/۸۵	۲۷۳/۷۹
	۵	۵	۲۷۰۹۱۲۷۷۳۷۱/۲	۷/۴۵	۲۱۰۰۰۶۴۸۳۰۰/۸۳	۲۸۷/۴۴
	میانگین		۲۷۲۶۲۰۹۵۸۲۱/۲	۷/۷۴	۲۱۹۸۸۰۶۶۴۸۵/۵۴	۲۶۸/۳۲
۳ کوچک	۱	۱	۵۱۵۳۱۵۰۵۷۵۵۳/۳	۱۰/۱۹	۴۱۶۶۹۹۳۳۲۹۵/۱	۲۲۹/۹۴
	۲	۲	۸۱۵۲۱۸۵۴۵۲۰۰۳/۸	۱۱/۴۵	۵۷۹۳۳۹۶۵۹۴۵/۱۸	۳۲۰/۵۱
	۳	۳	۵۴۱۳۶۴۲۰۵۶۱/۵	۱۴/۴۹	۴۸۱۹۶۵۲۵۲۱۷/۰۱	۳۱۳/۰۱
	۴	۴	۵۲۷۴۲۷۷۹۶۰۴/۸	۱۳/۴۳	۷۰۱۳۰۲۶۱۵۱۴/۵۳	۳۱۷/۱۷
	۵	۵	۵۲۷۹۰۶۹۱۸۱۹/۳	۱۴/۲۸	۳۶۲۷۹۱۶۹۲۹۹/۴۲	۳۱۷/۲
	میانگین		۲۶۴۳۷۵۲۹۷۷۵/۸	۱۲/۷۷	۵۰۸۴۱۷۷۰۸۵۴/۲۴	۲۹۹/۵۶
۴	۱	۱	۱۳۹۱۳۷۲۱۲۶۵۰/۹	۱۵/۳۱	۱۵۱۹۴۰۵۴۹۰۰۹/۰۱	۵۱۹/۸۲
	۲	۲	۱۲۵۷۳۷۴۸۲۰۳۳/۹	۱۶/۴۵	۱۷۷۲۷۹۱۶۷۹۳۹/۴۱	۴۳۱/۷۶
	۳	۳	۱۵۰۶۱۰۲۱۸۰۸۴/۸	۱۳/۱۳	۱۲۳۷۲۸۶۶۴۰۸۷/۰۹	۳۱۲/۴۴
	۴	۴	۱۱۳۲۰۲۶۱۷۵۰۷/۸	۱۴/۴۱	۱۳۴۵۸۶۰۹۶۱۶۰/۴	۳۴۳/۱۲
	۵	۵	۱۵۰۱۶۱۳۳۴۱۲۲/۱	۱۶/۷۸	۱۰۵۲۰۹۹۶۰۰۴/۵۷	۳۳۱/۷۱
	میانگین		۱۰۸۷۴۹۷۷۰۸۷۹/۹	۱۵/۲۲	۱۳۸۵۴۸۸۱۷۴۴۷/۲۹	۲۸۷/۷۷
۵	۱	۱	۱۵۸۳۸۳۳۸۲۵۴۹/۹	۱۱/۴۸	۱۸۵۱۱۵۲۷۰۲۶۶/۴۶	۴۶۳/۷۹
	۲	۲	۴۹۲۶۴۸۶۷۸۸۹۸۰۰/۳	۱۰/۶۱	۱۴۲۶۲۷۷۰۳۲۲۰/۵۵	۴۷۹/۴
	۳	۳	۱۴۵۳۷۲۸۳۳۴۵۶/۱	۱۱/۰۸	۲۴۶۰۸۶۸۱۳۰۴۱/۸۵	۴۷۲/۷۸
	۴	۴	۱۵۱۳۴۷۱۶۹۴۴۳/۳	۸/۶۹	۱۴۰۷۳۳۱۹۶۰۸۷/۰۲	۴۷۸/۱۷
	۵	۵	۲۱۳۵۷۶۳۸۴۶۵۹/۱	۹/۳۸	۱۶۴۸۸۶۹۰۹۲۶۰/۱۱	۴۸۰/۰۱
	میانگین		۲۴۱۷۶۵۷۸۹۰۵۳/۲	۱۲/۸۶	۱۷۵۸۱۷۰۷۸۳۷۵/۱۹	۴۷۴/۸۳

ادامه جدول ۹. نتایج محاسباتی حاصل از مقایسه الگوریتم ژنتیک با الگوریتم ترکیبی

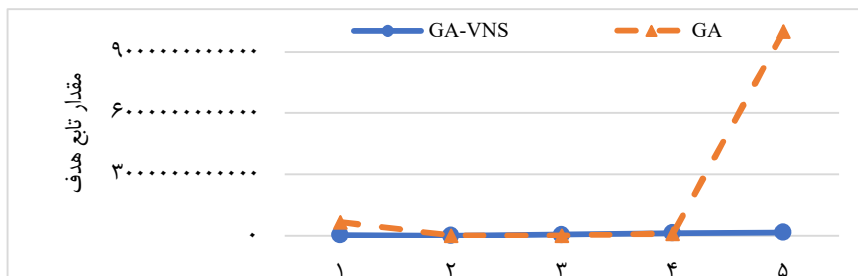
اندازه مسئله	مسئله	سناریو	الگوریتم ژنتیک		الگوریتم ترکیبی پیشنهادی	
			مقدار تابع هدف	زمان (ثانیه)	مقدار تابع هدف	زمان (ثانیه)
۱	۱	۱	۲۷۳۵۹۵۴۷۱۲۲۵/۶	۱۲/۲۷	۲۱۲۵۵۷۱۵۸۰۰/۱۴	۵۵۲/۳۳
	۲	۲	۲۵۸۱۲۶۸۱۳۴۱۴۵۱/۳	۱۵/۴۱	۲۲۷۷۱۴۸۴۲۹۰۷/۴۷	۶۵۶/۱
	۳	۳	۲۳۱۹۵۶۱۲۱۵۳۹/۴	۱۲/۱۱	۲۴۸۵۷۶۴۷۵۹۶۲/۸۵	۶۰۲/۰۴
	۴	۴	۲۲۹۶۰۲۵۶۴۸۹۰/۳	۱۲/۴۵	۲۳۸۱۹۳۳۶۳۵۸۵/۰۶	۶۶۳/۲
	۵	۵	۲۱۵۴۰۶۴۴۶۱۵۹/۵	۱۲/۰۸	۲۵۳۹۵۵۸۵۹۲۰۹/۳۶	۶۴۸/۰۵
۲	میانگین		۲۴۱۷۶۵۷۸۹۰۵۳/۲	۱۲/۸۶	۲۳۶۱۹۹۵۱۹۹۳۳/۱۶	۶۲۴/۳۴
	۱	۱	۷۳۳۶۳۹۴۹۹۸۱۷/۸	۱۹/۷۲	۸۱۶۷۸۴۸۴۵۶۶/۵۱	۹۶۰/۱۲
	۲	۲	۱۰۱۸۳۲۷۸۰۹۴۴/۲	۲۰/۳۴	۶۵۳۰۹۳۴۲۳۸۱۲۳/۲	۶۶۰/۲۵
	۳	۳	۶۷۸۹۸۰۸۱۳۳۳۳/۸	۲۰/۲۵	۷۸۶۴۲۴۳۸۶۱۹۶/۲۵	۷۲۱/۲
	۴	۴	۷۷۵۷۷۹۵۴۸۷۸۵/۱	۱۹/۶۱	۶۲۲۶۴۹۲۸۸۴۷۱/۲۹	۶۰۲/۰۱
۳	۵	۵	۹۵۵۴۶۶۳۹۱۵۸۱/۱	۱۸/۳۳	۷۰۶۹۶۶۵۸۸۵۳۵/۴۷	۶۰۰/۰۴
	میانگین		۸۳۳۴۴۷۸۰۶۸۹۲/۴	۱۹/۶۵	۷۱۷۱۸۳۷۰۶۳۱۸/۵۴	۷۰۸/۷۹
	۱	۱	۱۲۷۰۲۳۵۴۹۵۱۴۵/۹	۲۲/۱۳	۳۰۸۴۵۸۱۳۴۹۱۴۳/۰۹	۶۶۲/۳۵
	۲	۲	۱۲۷۰۶۵۹۵۰۵۸۰۲/۵	۲۵/۷۹	۲۳۳۱۳۱۷۹۵۹۱۶۲/۳	۲۱۰۰/۲۳
	۳	۳	۱۱۱۲۷۲۹۱۶۹۲۳۳/۸	۲۳/۲۲	۳۰۳۴۷۴۵۴۲۴۸۸۶/۶	۱۶۸۱/۳
متوسط	۴	۴	۹۳۹۶۴۶۲۵۹۵۵۰/۳	۲۲/۷۱	۲۳۶۹۶۵۷۰۲۲۴۴/۱/۴	۲۰۴۰/۳۶
	۵	۵	۱۲۹۹۶۶۴۸۳۴۴۹۵/۴	۲۵/۶	۲۶۶۹۵۰۴۵۳۳۴۸۰	۱۶۸۰/۲
	میانگین		۱۱۷۸۵۸۷۰۵۲۸۴۵/۵	۲۶/۰۹	۲۱۴۲۷۳۶۶۵۹۸۲۲/۴	۱۶۳۳/۳
	۱	۱	۱۱۵۶۵۲۵۱۳۱۱۹۶/۲	۳۲/۳۴	۱۲۷۱۸۹۹۷۶۵۱۵۳/۴۹	۱۰۲۱/۲۵
	۲	۲	۱۷۶۳۵۵۹۲۹۷۵۵۴/۷	۳۰/۹۵	۱۸۰۳۸۲۸۳۳۶۳۴۱/۷۴	۲۴۰۰/۲
۴	۳	۳	۱۹۰۶۰۲۸۷۵۳۹۸۶/۹	۳۲/۸۵	۱۳۷۱۴۲۰۹۳۶۳۵۷/۳	۱۲۰۳/۶۶
	۴	۴	۱۹۷۸۴۰۲۲۸۴۵۵۷/۶	۳۳/۰۴	۱۸۸۷۴۲۹۹۱۳۸۶۸/۲	۱۳۲۰/۲۳
	۵	۵	۱۱۴۱۴۵۸۰۶۰۴۲۰/۱	۲۹/۶۳	۱۹۹۱۳۱۳۵۸۴۳۷۵/۴	۱۰۲۲/۳
	میانگین		۱۵۸۹۱۹۴۷۰۵۵۴۳/۱	۳۱/۷۶	۲۶۵۲۴۱۰۴۷۵۶۷۱۶	۱۳۹۳/۵۲
	۱	۱	۱۷۲۵۲۱۷۱۷۹۳۲۶/۵	۳۲/۳۵	۱۳۵۸۵۱۷۶۳۱۳۴۳/۲	۱۰۸۱/۰۴
۵	۲	۲	۱۸۱۴۵۲۵۹۵۷۰۷۸/۹	۳۲/۸۵	۱۱۱۳۳۸۵۳۴۶۵۹۱	۱۲۶۰/۲۶
	۳	۳	۱۶۴۹۴۴۸۲۰۵۰۴۷/۴	۳۲/۱۷	۱۲۳۹۸۸۸۱۷۵۱۲۸۰/۲۴	۱۲۰۱/۰۲
	۴	۴	۱۱۱۰۷۰۴۴۶۶۱۶۰/۳	۲۲/۵۹	۱۸۱۱۹۲۹۹۹۱۰۳۳/۴۱	۱۵۶۰/۲۵
	۵	۵	۱۷۱۰۷۳۳۸۴۲۵۸۱/۷	۲۵/۶۵	۱۲۷۰۲۴۸۵۳۱۶۵۷/۹۱	۱۱۴۱/۱
	میانگین		۱۶۰۲۱۲۳۹۳۰۰۳۸/۹	۲۹/۱۲	۱۳۵۸۷۹۴۰۵۰۳۸۱/۱	۱۲۴۸/۷۳

ادامه جدول ۹. نتایج محاسباتی حاصل از مقایسه الگوریتم ژنتیک با الگوریتم ترکیبی (ادامه)

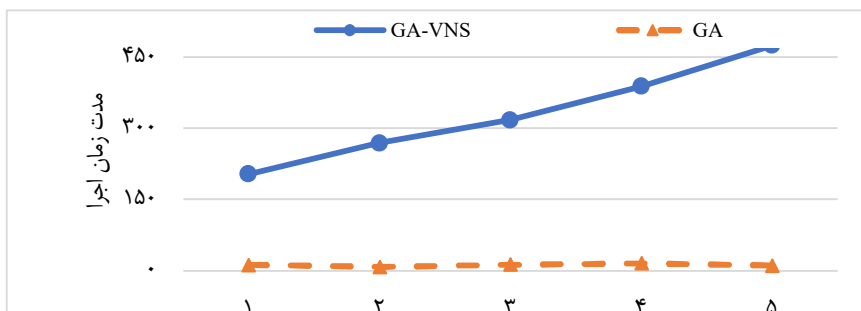
اندازه مسئله	مسئله	سناریو	الگوریتم ژنتیک		الگوریتم ترکیبی پیشنهادی		
			مقدار تابع هدف	زمان (ثانیه)	مقدار تابع هدف	زمان (ثانیه)	
۱	۱	۱	۱۵۶۳۴۸۰۲۵۴۷۲۵/۸	۳۵/۶۲	۱۵۳۱۱۰۸۵۲۷۵۳۸/۴	۱۰۸۱/۳	
	۲	۲	۲۰۰۶۴۳۵۴۶۹۳۷۳/۴	۳۴/۸۸	۱۶۲۲۶۲۲۱۸۲۱۷۶/۴	۱۱۴۰/۳۹	
	۳	۳	۱۶۰۹۶۳۸۵۹۸۶۶۸/۸	۳۵/۳۲	۱۵۸۲۵۳۱۵۲۶۱۵۲/۹	۱۰۸۰/۵۲	
	۴	۴	۲۱۰۳۶۶۷۴۶۸۱۰۲/۱	۳۳/۳۱	۲۲۵۲۳۳۱۳۱۸۷۹۲/۳	۱۴۴۱/۲	
	۵	۵	۲۳۲۳۰۹۲۶۷۸۳۸۸/۸	۴۲/۳۲	۱۸۵۷۹۲۹۴۲۱۸۸۰/۷	۱۴۴۰/۳۶	
	میانگین			۱۹۲۱۲۶۲۸۹۳۸۵۱/۷	۳۶/۲۹	۱۷۶۹۳۰۴۵۹۵۳۰۸/۱	۱۲۳۶/۷۵
	۱	۱	۱۲۸۹۹۸۹۷۲۹۷۷۷/۷	۳۰/۹۵	۲۳۷۴۳۸۵۰۳۲۱۳۹/۷	۱۲۰۱/۰۳	
	۲	۲	۱۶۲۵۲۹۱۸۵۷۷۰۴/۹	۳۱/۷۹	۲۰۲۹۴۷۶۷۹۶۰۳۳/۲	۱۳۸۰/۳۹	
	۳	۳	۲۱۰۹۶۵۳۷۹۲۵۲۶/۸	۳۰/۷۹	۱۸۰۵۰۳۱۱۴۳۳۸۸/۴	۲۵۲۱/۲۶	
	۴	۴	۱۹۲۸۳۵۰۲۹۹۶۹۹/۷	۳۰/۶۳	۱۶۴۸۸۸۶۳۵۹۱۳۱/۱	۱۱۴۰/۳۳۶	
۵	۵	۲۳۸۵۵۵۱۷۴۲۴۲۰/۲	۳۱/۰۵	۱۵۷۶۲۰۰۴۸۸۰۴۲/۲	۲۱۰۰/۲۸		
۲	میانگین		۱۸۶۷۷۶۷۴۸۴۴۲۵/۸	۳۱/۰۴	۱۸۸۶۷۹۵۹۶۳۷۴۶/۹	۱۶۶۸/۶۵	
	۱	۱	۱۸۹۲۰۱۰۴۷۱۸۸۵/۴	۳۸/۱	۲۰۲۴۳۴۷۹۶۴۰۲۲/۳	۱۰۸۰/۴۵	
	۲	۲	۳۰۵۸۴۶۵۵۵۱۹۸۶/۵	۴۰/۵۲	۲۱۳۵۴۳۹۴۱۵۴۴۷/۶	۱۲۰۱/۲۵	
	۳	۳	۲۶۲۸۷۸۳۴۸۷۰۴۸/۲	۳۶/۴۹	۲۰۸۸۶۱۹۶۰۹۳۳۸/۴	۱۷۴۰/۲۵	
	۴	۴	۳۱۲۶۶۵۵۹۳۱۷۹۵/۸	۳۷/۴۹	۲۳۶۹۲۹۶۶۳۶۴۱/۲	۱۲۶۰/۳۶	
	۵	۵	۱۸۳۷۶۲۱۲۰۷۳۲۶/۸	۳۶/۷۹	۲۴۲۱۲۸۱۶۱۸۹۴۰/۶	۱۳۲۰/۷۸	
	میانگین			۲۵۰۸۷۰۷۳۳۰۰۰/۴	۳۷/۸۸	۲۲۰۷۷۹۷۰۴۸۸۳۲	۱۳۲۰/۶۲
	۱	۱	۱۹۷۹۶۳۳۰۷۱۲۹۷/۹	۴۵/۴۱	۲۴۴۴۷۶۰۵۷۶۳۲۹/۷	۱۳۸۲/۲۳	
	۲	۲	۲۴۸۸۵۴۵۶۳۹۷۴۵/۸	۴۹/۶۸	۲۸۷۰۸۳۲۴۹۴۸۱۹/۲	۱۳۳۱/۱۴	
	۳	۳	۲۷۳۴۳۴۳۶۹۷۷۱/۱	۴۳/۹۶	۲۱۳۶۷۱۵۲۲۴۳۶/۶	۱۲۶۰/۳۵	
۴	۴	۲۲۵۹۵۳۷۷۰۰۹۰۷/۴	۳۰/۸۲	۲۷۷۷۸۰۸۰۴۷۹۳۷/۹	۱۳۸۰/۳۹		
۵	۵	۱۹۹۷۱۳۷۶۶۶۷۱۰/۳	۳۰/۵۹	۲۱۱۴۷۳۹۵۸۱۵۲۲/۶	۱۳۸۰/۱۳		
میانگین			۲۲۹۱۸۳۹۵۵۵۲۷۴/۴	۴۰/۱	۲۴۶۸۹۷۱۱۸۴۹۹۵/۶	۱۳۴۴/۸۴	
۳	۱	۱	۲۸۴۵۸۷۵۳۱۱۶۲۷/۲	۳۸/۸۵	۳۳۵۶۲۳۵۹۴۹۹۹۹/۵	۱۶۲۱/۲۴	
	۲	۲	۲۳۸۵۴۲۲۴۹۲۷۹۷/۱	۳۹/۹۳	۳۱۶۱۲۲۳۶۶۶۸۷۱/۳	۱۹۲۳/۶۹	
	۳	۳	۲۱۰۷۹۱۸۳۰۹۵۶۳/۱	۳۹/۷۹	۲۸۱۸۰۳۱۳۷۹۵۳۶/۵	۱۲۰۰/۳۵	
	۴	۴	۳۴۴۷۰۲۷۲۲۳۲۹۸/۱	۴۰	۲۱۹۸۰۱۳۳۱۲۰۲۶/۳	۱۵۷۰/۲	
	۵	۵	۲۴۰۵۸۶۶۶۴۸۰۱۹/۸	۳۹/۸۲	۲۸۰۸۶۹۰۹۳۰۹۰۲/۷	۱۵۰۰/۱۵	
میانگین			۲۶۳۸۴۲۱۹۹۷۰۶۱	۳۹/۶۸	۲۲۹۹۴۱۸۷۸۷۸۳۰/۴	۱۵۶۳/۱۲	

بزرگ

شکل ۴، مقایسه مقدار میانگین تابع هدف الگوریتم‌های ترکیبی و ژنتیک را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که الگوریتم ترکیبی مقدار میانگین تابع هدف کمتری نسبت به الگوریتم رقیب دارد. شکل ۵، نیز نشان‌دهنده مقایسه مدت‌زمان اجرای الگوریتم‌ها است. با توجه به این شکل می‌توان گفت که الگوریتم ترکیبی مدت‌زمان اجرای بیشتری به خود اختصاص داده است. با مقایسه شکل‌های ۴ و ۵، می‌توان نتیجه گرفت که در ابعاد کوچک، الگوریتم ترکیبی دارای کیفیت بهتر از نظر تابع هدف است؛ ولی از نظر مدت‌زمان اجرا عملکرد نامناسبی نسبت به الگوریتم ژنتیک داشته است.

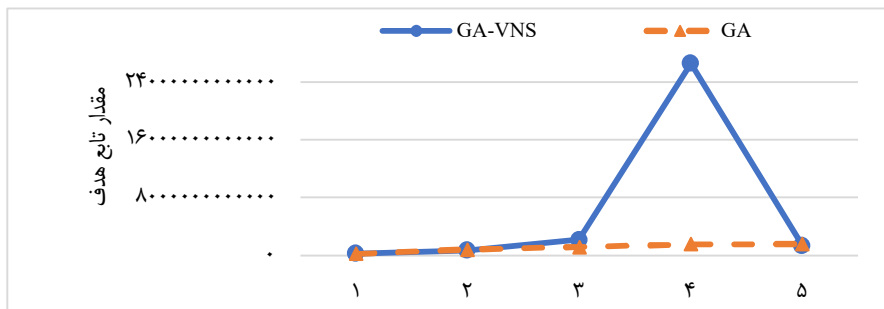


شکل ۴. مقایسه مقدار میانگین تابع هدف الگوریتم‌های ترکیبی و در ابعاد کوچک

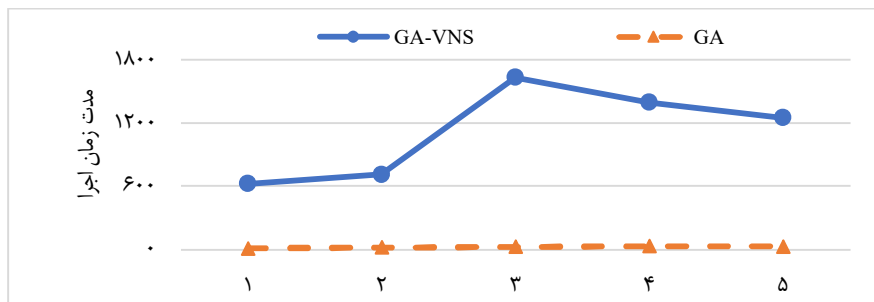


شکل ۵. مقایسه مدت‌زمان اجرا الگوریتم‌های ترکیبی در ابعاد کوچک

شکل ۶، مقایسه مقدار میانگین تابع هدف الگوریتم‌های ترکیبی و ژنتیک را در ابعاد متوسط نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم ترکیبی مقدار میانگین تابع هدف بیشتری در ابعاد بزرگ به‌دست آورده است. شکل ۷، مقایسه مقدار مدت‌زمان اجرای الگوریتم‌های ترکیبی و ژنتیک را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که مدت‌زمان اجرای الگوریتم ژنتیک کمتر از الگوریتم ترکیبی بوده است.

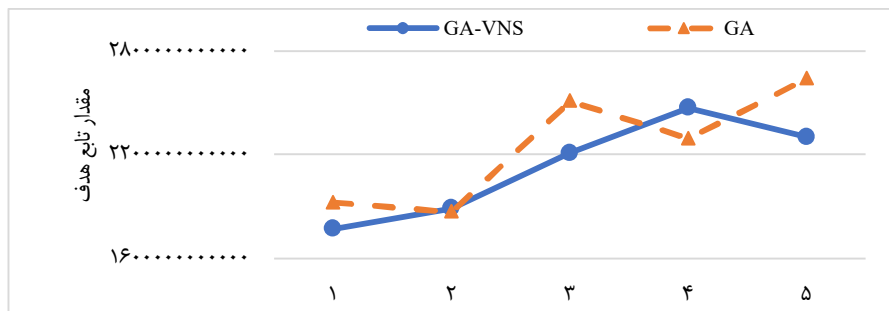


شکل ۶. مقایسه مقدار میانگین تابع هدف الگوریتم‌های ترکیبی در ابعاد متوسط

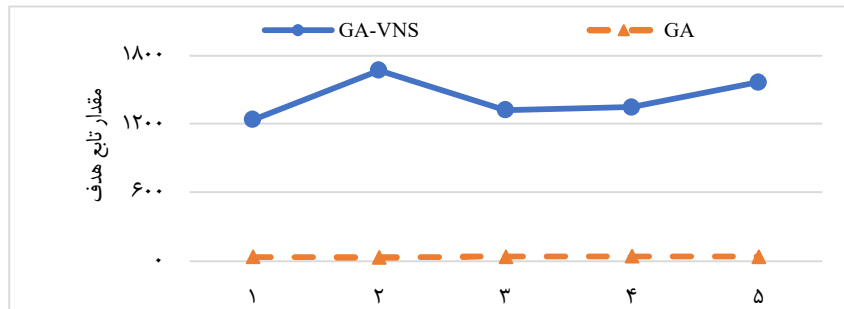


شکل ۷. مقایسه مدت‌زمان اجرای الگوریتم‌های ترکیبی در ابعاد متوسط

شکل ۸، مقایسه مقدار میانگین تابع هدف الگوریتم‌های ترکیبی و ژنتیک را در ابعاد بزرگ نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که مقدار میانگین تابع هدف الگوریتم ترکیبی در بیشتر مسائل کمتر از مقدار میانگین تابع هدف در الگوریتم ژنتیک است؛ ولی مطابق شکل ۹، مدت‌زمان اجرای بیشتری نسبت الگوریتم ژنتیک دارد.



شکل ۸. مقایسه مقدار میانگین تابع هدف الگوریتم‌های ترکیبی و ژنتیک در ابعاد بزرگ



شکل ۹. مقایسه مدت‌زمان اجرای الگوریتم‌های ترکیبی و ژنتیک در ابعاد بزرگ

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف اصلی از این پژوهش، طراحی یک زنجیره تأمین دارویی در شرایط عدم قطعیت تقاضا است. مسئله شامل حداقل کردن هزینه‌های تولید، توزیع و هزینه‌های دیرکرد و زودکرد است. با توجه به اینکه مسئله پژوهش جزو مسائل NP-hard محسوب می‌شود و هر چه اندازه مسئله افزایش یابد، روش‌های دقیق توانایی حل مسئله را نخواهند داشت، بنابراین برای حل مسئله در ابعاد بزرگ از الگوریتم فراابتکاری ترکیبی ژنتیک و جست‌وجوی همسایگی متغیر استفاده شد. در این مسئله تقاضا غیرقطعی فرض شده است و عدم قطعیت تقاضا از طریق سناریوهای گسسته در مدل اعمال شد. در مدل دومرحله‌ای ارائه‌شده، میزان تولید تولیدکنندگان برای هر نوع دارو در هر دوره متغیر تصمیم مرحله نخست بوده و تصمیم‌گیری درباره میزان موجودی تولیدکننده و توزیع‌کننده، میزان ارسالی از تولیدکننده به توزیع‌کننده، زمان‌های ارسال، دیرکرد و زودکرد به‌عنوان تصمیم مرحله دوم اتخاذ شده است؛ همچنین برای بررسی ارزش تصادفی جواب در ابعاد کوچک شاخص ارزش موردانتظار اطلاعات کامل برای محاسبه و نتایج آن با جواب مدل تصادفی دومرحله‌ای مقایسه شد. مقایسه‌ها نشان داد که با توجه به مقدار شاخص متوسط ارزش اطلاعات کامل، برای به‌دست‌آوردن اطلاعات کامل در مورد میزان تقاضا باید $1639090/133$ هزینه کرد. به‌عبارتی داشتن اطلاعات کامل در این مسئله بسیار ارزشمند است و همچنین در نظر گرفتن عدم قطعیت تقاضاها از طریق سناریوهای گسسته در طراحی زنجیره بسیار ضروری و پراهمیت است. در واقع استفاده از امید ریاضی ممکن است به طراحی زنجیره تأمینی منجر شود که قادر به پاسخگویی به تقاضا نیست؛ همچنین الگوریتم‌های فراابتکاری ترکیبی ارائه شده و ژنتیک در ۱۵ نمونه مسئله حل و نتایج حاصل از آن‌ها با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج نشان داد که در بیشتر مثال‌ها الگوریتم ترکیبی عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم ژنتیک دارد؛ ولی زمان اجرای الگوریتم ژنتیک عموماً کمتر از الگوریتم ترکیبی است. با توجه به اینکه هدف این پژوهش، ارائه مدلی کاربردی و نزدیک به واقعیت بود، می‌توان عدم قطعیت‌های بیشتری را برای بیشتر نزدیک‌شدن به مسائل واقعی لحاظ کرد؛ از این‌رو در ادامه پیشنهادهایی به‌منظور پژوهش

بیشتر در این زمینه ارائه می‌شود که عبارت‌اند از: ۱. در نظر گرفتن عدم قطعیت در پارامترهای دیگر مسئله؛ ۲. استفاده از پنجره‌های زمانی و ۳. لحاظ کردن سیاست‌های کنترل موجودی در مدل.

منابع

1. Alem-Tabriz, A., Zandieh, M., & Mohammad-Rahimi, A. (2013). *Metaheuristic algorithms in combinatorial optimization (Genetic, Neural Network, Simulated Annealing, Tabu search and Ant Colony optimization)*. Saffar Publication. (In Persian)
2. Behnamian, J. (2016). *Solving Complex Optimization Problems Methods and Algorithms*. Bu-Ali Sina University Press.
3. Chen, X., Yang, H., & Wang, X. (2019). Effects of price cap regulation on the pharmaceutical supply chain. *Journal of Business Research*, 97, 281-290.
4. Chiu, H., & Huang, H. (2003). A multi-echelon integrated JIT inventory model using the time buffer and emergency borrowing policies to deal with random delivery lead times, *International Journal of Production Research*, 41(13), 2911-2931.
5. Daher, M. (2001). Health Systems: Improving Performance. The World Health Report 2000. *Le Journal medical libanais. The Lebanese medical journal*, 49(1), 22-24.
6. Eshghi, K., Karimi-Nasab, M. (2016). *Analysis of Algorithms and Design of Metaheuristics*. Sharif University Press.
7. Feizollahi, S., Soltanpanah, H., Farughi, H., & Rahimzadeh, A. (2019). Development of Multi Objective Multi Period Closed-Loop Supply Chain Network Model Considering Uncertain Demand and Capacity. *Journal of Industrial Management Perspective*, 8(32), 61-95. (In Persian)
8. Haial, A., Berrado, A., & Benabbou, L. (2016). A Framework for Designing a Transportation Strategy: the case of a pharmaceutical supply chain. *3rd International Conference on Logistics Operations Management (GOL)* 1-6.
9. Janatyan, N., Zandieh, M., Alem Tabriz, A., & Rabieh, M. (2019). Optimizing Sustainable Pharmaceutical Distribution Network Model with Evolutionary Multi-objective Algorithms (Case Study: Darupakhsh Company). *Production and Operations Management*, 10(18), 133-153. (In Persian)
10. Jeong, S. (2017). The Production-Distribution Problem in the Supply Chain Network using Genetic Algorithm. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(23), 13570-13581.
11. Jouyban, F., yousefi, M., & Neyshaboori, E. (2018). Presenting a bi objective stochastic pharmaceutical supply chain model considering time and cost. *Journal of Industrial Management Faculty of Humanities*, 13(44), 15-28. (In Persian)
12. Kalantari, M., & Pishvae, M.S. (2016). A Robust Possibilistic Programming Approach to Drug Supply Chain Master Planning. *Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems*, 4(7), 49-67. (In Persian)
13. Karuppasamy, S.K., & Uthayakumar, R. (2019). Coordination of a three-level supply chain with variable demand and order size dependent trade credit in healthcare industries. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 10, 285-298.
14. Kazemzadeh, N., Ryan, S., & Hamzeei, M. (2017). Robust optimization vs. stochastic programming incorporating risk measures for unit commitment with uncertain variable renewable generation. *Energy system*, 10(1), 1-25.
15. Khairuddin, M., Abu Assab, M., & Nawafleh, S. (2015). Just-in-Time Manufacturing practices and Strategic Performance: An Empirical Study Applied

- on Jordanian Pharmaceutical Industries. *International Journal of Statistics and Systems*, 10(2), 287-307.
16. Low, Y., Halim, I., Adhitya, L., Chew, W., & Sharratt, P. (2016). Systematic Framework for Design of Environmentally Sustainable Pharmaceutical Supply Chain Network. *Journal of Pharmaceutical Innovation*, 11, 250-263.
 17. Mashayekhi Nezamabadi, E., & Alem Tabriz, A. (2017). The Impact of integration of Upstream and Downstream of Supply Chain on Quality Performance and Quality Program. *Journal of Industrial Management Perspective*, 6(4), 35-57. (In Persian)
 18. Mehralian, GH., Zarenezhad, F., & Rajabzadeh Ghatari, A. (2015). Developing a model for an agile supply chain in pharmaceutical industry. *International Journal of Pharmaceutical and Healthcare Marketing*, 9(1), 74-91.
 19. Mir Hassani, S. A. (2018). *Stochastic Programming*. Amirkabir University of Technology Publication.
 20. Mohammadi, M., & Soleimani, H. (2020). Investigating Open Loop and Closed-Loop Supply Chain under Uncertainty (Case Study: Iran Teransfo Company), *Journal of Industrial Management Perspective*, 10(38), 33-53. (In Persian)
 21. Mousazadeh, M., Torabi, S.A., & Zahiri, B. (2015). A robust possibilistic programming approach for pharmaceutical supply chain network design. *Computers and Chemical Engineering*, 82, 115-128.
 22. Nasrollahi, M., & Razmi, J. (2021). A mathematical model for designing an integrated pharmaceutical supply chain with maximum expected coverage under uncertainty. *Operational Research*, 21(1), 525-552.
 23. Pinedo, M. L (2016). *Scheduling-Theory, Algorithms and Systems*. (Mohammad Hossein Fazel Zarandi - Seyyed Abolfazl Soltani - Ali Yoosefelahi - Hamed Davari Ardekani - Hamed Soleymani). Amirkabir University of Technology Publication.
 24. Privett, N., & Gonsalvaz, D. (2014). The top ten global health supply chain issues: Perspectives from the field, *Operations Research for Health Care*, 3(4), 226-230.
 25. Priyan, S., and Uthayakumar, R. (2014). Optimal inventory management strategies for pharmaceutical company and hospital supply chain in a fuzzy-stochastic environment. *Operations Research for Health Care*, 3(4), 177-190.
 26. Rezaeenour, J., Hashempour, M., & Akbari, A.H. (2020). A Four-Echelon Supply Chain Considering Economic, Social and Regions Satisfaction Goals. *Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems*, 7(15), 199-217. (In Persian).
 27. Savadkoohi, E., Mousazadeh, & Torabi, A. (2018). A possibilistic location-inventory model for multi-period perishable pharmaceutical supply chain network design, *Chemical Engineering Research and Design*, 138, 490-505.
 28. Stadler, H., Kilger, Ch. (2016). *Supply Chain Management*. (Nasrin Asgari - Reza Zanjerani Farahani). Amirkabir University of Technology Publication.
 29. Zahiri, B., Jula, P., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2018). Design of a pharmaceutical supply chain network under uncertainty considering perishability and substitutability of products. *Information Sciences*, 423, 257-283.
 30. Zarenezhad Ashkezari, F. (2011). *Designing Agile Supply Chain Management in Pharmaceutical Industry of Iran*. Degree of Master, University of Science and Culture. (In Persian).