



Production and Operations Management
University of Isfahan E-ISSN: 2423-6950
Vol. 13, Issue 3, No. 30, Autumn 2022



<http://dx.doi.org/10.22108/jpom.2022.133342.1439>

(Research Paper)

Designing a drug distribution network using a two-tier genetic algorithm and priority-based coding

The case of Adorateb

Mohammad Mohajer Tabrizi *

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Golestan University, Gorgan, Iran,
m.mohajertabrizi@gu.ac.ir

Zahra Khojeh

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Golestan University, Gorgan, Iran,
za.khojeh@gmail.com

Tooba Darvishmohammadi

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Golestan University, Gorgan, Iran,
toobadm.79@gmail.com

Purpose: In addition to its inherent impact on the health section, the distribution of pharmaceutical products has also an economic aspect. This paper aims to design a supply chain for pharmaceutical distribution companies so that they have the best coverage and performance at the lowest cost.

Design/methodology/approach: An operations research model has been developed based on minimizing distribution costs and construction costs to address the problem. The model's constraints included the rules governing the national pharmaceutical supply chain. Due to the complexity of the model and the high dimensions of the problem in real conditions, the model has been solved using a two-tier genetic algorithm in combination with priority-based coding and the K-medoids clustering method. To optimize the performance of the algorithm, the parameter tuning of the Taguchi method has been used.

Findings: Clustering demand points from 429 to 50 centers had less than 1% implication on the total costs. Distribution costs might even grow in optimal designs, however, the total cost was reduced by 36%. Optimal points for distribution centers were located and an optimal distribution plan for goods was recommended for a company distributing 239 types of pharmaceutical products.

* Corresponding author



Research limitations/implications: In this paper, only costs were considered due to establishing new distribution centers and dispatching goods. In future studies, inventory costs can be considered either. Also, there may be more legal aspects that have not been considered such as the minimum number of distribution centers.

Practical implications: To evaluate the efficiency of the model in practice, a case study was implemented on the drug distribution company, i.e., Adorateb. For the studied company, an appropriate distribution network, as well as an optimal distribution pattern of drugs, were identified and compared in terms of cost with the current situation of the company. The recommended optimal location relative to the current situation indicated a significant reduction in costs.

Social implications: Designing supply chains strongly influences the performance of the pharmaceutical supply chain. By reducing costs through optimal network design, while covering demand requirements, a society may have sustainable access to pharmaceutical products in a long term.

Originality/value: The main innovation of this paper is the recommendation of a mathematical model for designing a pharmaceutical distribution network while considering real supply chain national regulations along with a hybrid solution approach that can handle real-size problems. The applicability of the model and the solution approach were verified by a case study.

Keywords: Pharmaceutical distribution network design, Case study, Two-tier genetic algorithm, Priority-based coding, Clustering



مدیریت تولید و عملیات، دوره ۱۳، شماره ۳، پیاپی ۳۰، پاییز ۱۴۰۱

دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۳۱ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۳۰ ص ۷۵-۴۷



<http://dx.doi.org/10.22108/jpom.2022.133342.1439>

(مقاله پژوهشی)

طراحی شبکه توزیع دارو با استفاده از الگوریتم ژنتیک دوسطحی و کدینگ مبتنی بر اولویت (مطالعه موردی: شرکت پخش سراسری آدوراطب)

محمد مهاجر تبریزی^{۱*}، زهرا خوجه^۲، طوبی درویش محمدی^۳

۱- استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی مهندسی گرگان، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران، m.mohajertabrizi@gu.ac.ir

۲- دانش آموخته مهندسی صنایع، دانشکده فنی مهندسی گرگان، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران، za.khojeh@gmail.com

۳- دانش آموخته مهندسی صنایع، دانشکده فنی مهندسی گرگان، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران، toobadm.79@gmail.com

چکیده: توزیع دارو علاوه بر تأثیر ذاتی آن بر حوزه سلامت، جنبه مطالعات اقتصادی نیز دارد؛ به این معنا که یکی از تصمیمات استراتژیک پیش روی شرکت‌های پخش دارویی، طراحی زنجیره تأمین دارو است، به نحوی که با کمترین هزینه بهترین پوشش‌دهی و عملکرد را داشته باشند. به این منظور در این پژوهش، مدلی بر پایه کمینه‌سازی هزینه توزیع و هزینه احداث و مبتنی بر فرضیات نزدیک به قواعد حاکم بر زنجیره تأمین دارویی کشور توسعه داده شده است. به دلیل پیچیدگی حاصل از مدل و نیز بالابودن ابعاد مسئله در شرایط واقعی، با استفاده از الگوریتم ژنتیک دوسطحی و ترکیب آن با کدینگ مبتنی بر اولویت و نیز روش‌های خوشه‌بندی، مدل حل شد. به منظور بهینه‌سازی عملکرد الگوریتم از تنظیم پارامترها به روش تاگوچی استفاده شده است. برای بررسی کارایی مدل در عمل، یک مطالعه موردی بر شرکت پخش دارویی آدوراطب اجرا شد. برای شرکت مطالعه‌شده، شبکه توزیع مناسب و نیز الگوی توزیع بهینه داروها مشخص شده و از نظر هزینه با وضع موجود این شرکت مقایسه شده است. مکان‌یابی بهینه توصیه‌شده نسبت به وضع موجود، حکایت از کاهش چشم‌گیر سطح هزینه‌ها دارد.

واژه‌های کلیدی: طراحی شبکه توزیع دارو، مطالعه موردی، الگوریتم ژنتیک دوسطحی، کدینگ مبتنی بر اولویت، خوشه‌بندی



۱- مقدمه

دارو^۱ شامل هر نوع مولکولی است که پس از ورود به بدن با فعل و انفعال در سطح مولکولی، عمل بدن را تغییر دهد و به مواردی اطلاق می‌شود که برای تشخیص، درمان، بهبودی، تسکین و یا پیشگیری از یک بیماری یا شرایط غیرطبیعی به کار می‌رود. نام ژنریک نشان‌دهنده مولکول شیمیایی دارو است و در منابع علمی از آن استفاده می‌شود و نوعاً پیش‌بینی تقاضای هر دارو در نهادهای ناظر بر این اساس انجام می‌شود.

زنجیره تأمین^۲ مجموعه‌ای از تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، عرضه‌کنندگان و نقاط مصرف است که با یکدیگر در راستای تأمین به‌موقع، به میزان کافی و در زمان مناسب از کالا یا خدمات مدنظر همکاری دارند. زنجیره تأمین دارو ارتباط بین تأمین‌کنندگان مواد اولیه تهیه دارو را با توزیع‌کنندگان دارو و سپس مشتری نهایی آن برقرار می‌کند (جعفرنژاد و محمودی، ۲۰۱۵). زنجیره تأمین دارو از سه بخش اصلی تولید، توزیع و عرضه دارو تشکیل شده است. توزیع دارو شامل انتقال دارو از تولیدکنندگان یا واردکنندگان دارو به عرضه‌کنندگان زنجیره، شامل داروخانه‌ها و مراکز درمانی است. بنابراین عرضه و توزیع دارو به مقدار مناسب، در زمان و مکان مناسب از مهم‌ترین نکاتی است که هنگام مدیریت این زنجیره باید در نظر گرفت (احمدی و همکاران، ۲۰۱۸).

حیطه توزیع دارو در ایران، یکی از محدود حوزه‌هایی است که از گذشته به دلیل وجود قوانین کشوری، ساختاری منظم و یکپارچه داشته است. به این معنا که شرکت‌های پخش سراسری دارو باید انبار مرکزی و شعب استانی داشته باشند و تأمین‌کنندگان صرفاً از طریق این شرکت‌ها می‌توانند داروی خود را توزیع کنند. درضمن تبادل بین شرکت‌های پخش مختلف نیز با هدف حفظ جریان ردیابی دارو امکان‌پذیر نیست. شکل (۱) نمایی از عملکرد یک شرکت پخش و توزیع دارو در سطح کشور است که پس از تولید، شرکت‌های پخش باید دارو را به داروخانه‌ها و مراکز درمانی برسانند. هر شرکت پخش دارای شعبی در سراسر کشور است و هر شعبه هم انبارهایی در نقاط مختلف دارد.



شکل ۱- شیوه توزیع دارو در سطح کشور

Fig.1- The method of drug distribution throughout the country

یکی از تصمیمات راهبردی و با تأثیر بلندمدت بر هر زنجیره تأمین، طراحی شبکه توزیع آن است (سیمچی لوی^۳، ۲۰۰۸). این تصمیم در گام اول شامل تعیین مکان بهینه تسهیلات موجود در زنجیره و بعد تعیین میزان و الگوی توزیع محصولات در شبکه است. نوعاً اقلام هزینه‌ای اصلی که در این مرحله برای تعیین شبکه بهینه استفاده می‌شود عبارتند از: هزینه‌های احداث تسهیلات و هزینه‌های عملیاتی سالیانه. در این پژوهش به دنبال ارائه مدلی برای تعیین ساختار بهینه، برای شبکه توزیع دارویی در مقیاس دنیای واقعی و ارائه راه‌حلی برای آن هستیم.

۱-۱- پیشینه پژوهش

جویبان و همکاران (۱۳۹۷) مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته را برای مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین دارو توسعه دادند. در این پژوهش صرفاً مسئله توزیع یک نوع دارو بررسی شده و موضوع احداث شعب جدید بررسی نشده است.

رضایی‌نور و همکاران (۱۳۹۸) مدل برنامه‌ریزی چندهدفه را برای طراحی شبکه زنجیره تأمین چهارسطحی چنددوره‌ای دارو با لحاظ فرض فاسدشدنی بودن توسعه دادند که در آن به تصمیم‌گیری یکپارچه مسائل مکان‌یابی مراکز تولید و توزیع دارو، تخصیص بهینه آنها به منظور حمل و نقل مناسب دارو در بین سطوح پرداخته شده است. یکی از فرضیات غیرواقعی که در این پژوهش در نظر گرفته می‌شود، بحث تاریخ انقضاست. اگرچه داروها تاریخ انقضا دارند، اما بازه ۲ تا ۳ ساله برای آنها و متناسب بودن عرضه و تقاضا در این حوزه، نوعاً این فرض را برای یک مسئله سطح استراتژیک و حتی تاکتیکی به یک فرضیه بی‌کاربرد تبدیل می‌کند؛ زیرا دارو در این بازه منقضی نمی‌شود و یا تجدید می‌شود. درضمن الزامات حقوقی مربوط به قرارداد بین تأمین‌کننده و پخش در این پژوهش رعایت نشده است.

جبه‌داری و همکاران (۱۳۹۵) مکان‌یابی بهینه داروخانه‌ها را به منظور تسهیل دسترسی بیماران به خدمات دارویی در شهر شیراز، با هدف توزیع متناسب داروخانه‌ها بررسی کردند. در این مقاله با روش AHP فازی، مکان بهینه تأسیس داروخانه‌های جدید درخور توجه واقع شده است. در این پژوهش صرفاً به یافتن مکان تأسیس داروخانه مبتنی بر شاخص‌های اعلامی وزارت بهداشت توجه شده و به مکان شرکت‌های تأمین‌کننده و پخش و ارتباطی که با داروخانه خواهند داشت، توجهی نشده است.

جنتیان و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی، مدلی نوین را برای شبکه توزیع دارو طراحی کردند. نوآوری این پژوهش توجه به تابع هدف اجتماعی مدل است، به نحوی که انبارهای محلی در مناطق با درصد بیکاری بیشتر تأسیس شود. در این پژوهش یک مرکز اصلی بالقوه ثابت در تهران در نظر گرفته شد و برای شعب محلی و مراکز مشتریان ۲۰ مرکز ثابت از پیش تعیین شده است. این مدل صرفاً برای یک دارو از یک شرکت خاص ارزیابی شده است و درضمن الزامات حقوقی مربوط به قرارداد بین تأمین‌کننده و شرکت پخش لحاظ نشده و فقط بحث توزیع شرکت در نظر گرفته شده است و بحث احداث در میان نیست.

نوری و قهرمانی‌نهر (۱۳۹۸) یک شبکه زنجیره تأمین داروی ۵ سطحی تحت عدم قطعیت را مدل‌سازی کردند. اهداف عبارتند از: کمینه‌سازی هزینه‌های کل شبکه زنجیره تأمین، کمینه‌کردن حداکثر تقاضای برآورده‌نشده و بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان در تحویل به موقع داروها با در نظر گرفتن زمان فسادپذیری دارو، تخفیف کلی در خرید

مواد اولیه و مسیریابی بهینه وسایل نقلیه. در مفروضات مدل تقاضا به صورت غیرقطعی و با روش فازی دوزنقه‌ای در نظر گرفته شده است. مدل در ابعاد بزرگ صرفاً برای ۲ دارو حل و بررسی شده و در ضمن الزامات حقوقی بین تأمین‌کننده و پخش لحاظ نشده است.

عابدینی و همکاران (۱۳۹۸) عوامل حیاتی موفقیت را در زنجیره تأمین و توزیع صنعت دارو در کشور در دو فاز کتابخانه‌ای و پیمایشی شناسایی و اولویت‌بندی کردند. قوانین حقوقی موجود در زنجیره توزیع محصولات دارویی و تأثیر آن بر عملکرد زنجیره در این مقاله بررسی نشده است.

رضائی و همکاران (۱۳۹۶) مسئله زمان‌بندی تولید و توزیع تک‌مشتري را برای سیستم تولیدی در یک زنجیره تأمین بررسی کردند. هدف مسئله تعیین توالی پردازش کارها و تعیین دسته‌بندی برای ارسال، با در نظر گرفتن مجموع وزنی تأخیر کارهاست. استفاده نکردن از مطالعه موردی برای ارزیابی اثربخشی مدل و نیز لحاظ نکردن الزامات حقوقی و قانونی در ساختار زنجیره، از جمله ضعف‌های این پژوهش است.

موسی‌زاده و صحرايیان (۱۳۹۶) یک مدل برنامه‌ریزی خطی دوهدفه را برای مسئله طراحی زنجیره تأمین دارویی معرفی کردند. در این مدل می‌توان تصمیمات راهبردی زنجیره تأمین شامل انتخاب و احداث مراکز تولید و توزیع دارویی و تصمیمات تاکتیکی را درباره چگونگی جریان مواد در شبکه، با هدف کمینه‌سازی هزینه کل و کمینه‌سازی بیشینه تقاضای پوشش داده نشده اخذ کرد. در مثال عددی، این مسئله صرفاً برای یک دارو و ۱۰ مشتری به کمک نرم‌افزار گمز حل شده است.

کلانتری و پیشوایی (۱۳۹۵) مدل برنامه‌ریزی اصلی را برای زنجیره تأمین دارو شامل چند تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و چند مرکز توزیع را در قالب مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح امکانی چندهدفه، شامل کاهش هزینه‌های لجستیک و افزایش سطح رضایت از انتخاب تأمین‌کنندگان توسعه دادند. بررسی مدل برای یک مسئله غیرواقعی، آن هم صرفاً با یک نوع دارو، یک تولیدکننده و دو شرکت توزیعی از ضعف‌های این کار به شمار می‌آید. اتابکی و محمدی (۱۳۹۷) با استفاده از سیاست جریمه و پاداش، یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی را برای تعیین سطح بازاریابی و مکان مراکز جمع‌آوری و بازطراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته توسعه دادند و سپس با استفاده از الگوریتم تکامل تفاضلی آن را حل کردند.

تات و همکاران (۲۰۲۱)، برنامه‌ریزی کاهش اقلام دارویی باقی‌مانده را در یک زنجیره تأمین دوسطحی بررسی کردند. در زنجیره تنها یک تأمین‌کننده و یک دارو در نظر گرفته شده است و به دنبال کاهش هزینه‌های داروی باقی‌مانده‌اند که به کاهش ضایعات در زنجیره تأمین منجر شود. تقاضای مراکز با تابع توزیع احتمالی محاسبه و در مدل براساس اعداد تولیدشده ارزیابی و بررسی شده است. در نهایت، به منظور اعتبارسنجی مدل به تولید اعداد تصادفی اکتفا شده است و مطالعه موردی نداشتند.

مقاله فاطمی و همکاران (۲۰۲۲)، شامل بررسی یک زنجیره ۵ سطحی دارویی است. مهم‌ترین بخش محدودیت‌های اعمال‌شده، محدودیت ظرفیت تولید و ذخیره‌سازی است. مدل‌سازی غیرخطی برای نواقص تحقیقات قبلی ارائه شده و ارزیابی مدل با نرم‌افزار گمز صورت گرفته است. تابع هدف از سه بخش تشکیل شده است: هزینه کل، حمل‌ونقل و نگهداری که بخش نگهداری با استفاده از سیستم صف مدل‌سازی شده و انتخاب این

رویکرد باعث نزدیک شدن مدل به دنیای واقعیت شده است. مدل مسئله بر یک مطالعه موردی واقعی پیاده سازی نشده و فقط بر توزیع زنجیره متمرکز شده است و بحثی درباره احداث در میان نیست.

در پژوهش احمد و همکاران (۲۰۲۲)، مدل ارائه شده با در نظر گرفتن رویکرهای اقتصادی و اجتماعی و نیز آثار زیست محیطی تولید و توزیع دارو است. برای ایجاد و نزدیکی مدل به دنیای واقعی، اعمال این رویکردها کمک کننده است. در این پژوهش به الزامات قانونی توزیع دارو، به عنوان یکی از عناصر کلیدی در توزیع دارو توجهی نشده است.

گودرزیان و همکاران (۲۰۲۰) مسئله تک دوره ای، چند محصولی و چند دوره ای را با سطوح تولید، توزیع و خرید و بحث کنترل موجودی بررسی کردند. یک مدل غیرخطی با برنامه ریزی فازی برای مقابله با پارامترهای عدم قطعیت برای مدل توسعه داده شده است. نتایج با استفاده از مدل های فراابتکاری مقایسه شده است تا کارایی مدل سنجش شود. در ضمن مدل با اعداد تصادفی تولید شده ارزیابی شده و مطالعه موردی برای مدل در نظر گرفته شده و در زنجیره توزیع دارو، الزامات حقوقی و قانونی برای مدل لحاظ نشده است.

گودرزیان و همکاران (۲۰۲۱) مدل غیرخطی را برای تولید، تخصیص، توزیع و موجودی در نظر گرفتند و با دو الگوریتم فراابتکاری جدید مدل را حل کردند و در نهایت با شبیه سازی، مدل صحت سنجی شده است. در زنجیره توزیع، ظرفیت شرکت پخش و تأمین کننده مشخص نیست و الزامات قانونی در زنجیره لحاظ نشده و فقط نحوه توزیع دارو در زنجیره مدل سازی شده است.

روشن و همکاران (۲۰۱۹)، یک مدل مدیریت بحران را در زنجیره تأمین دارویی در نظر گرفته اند. مدل دارای سه کارکرد حداقل سازی هزینه کل شبکه و تقاضای برآورد نشده و حداکثر سازی رضایت اجتماعی در شرایط عدم قطعیت تقاضاست. در چنین موقعیتی در نظر گرفتن رضایت اجتماعی، مدل را به واقعیت نزدیک می کند. مدل براساس یک مطالعه موردی ارزیابی شد. با وجود این به الزامات قانونی و حقوقی درباره روابط تأمین کنندگان با پخش توجهی نشده و در محاسبه میزان تقاضا، معیار جمعیت در نظر گرفته نشده است.

تات و همکاران (۲۰۲۰) یک مدل برنامه ریزی دوسطحی را برای زنجیره تأمین دارو با یک داروخانه و یک عرضه کننده با عدم قطعیت تقاضا با اهدای دارو به مراکز محروم طراحی کردند. زنجیره در نظر گرفته شده از تعداد مراکز کمی تشکیل شده است که برای این ابعاد مسئله، قیاس مدل براساس داده واقعی، که با حجم بیشتری از سطوح در سراسر کشور همراه است، ارزیابی شدنی نخواهد بود. برای ارزیابی مدل از مطالعه موردی استفاده نشده است.

فرانکو و آلفونسو-لیزارازو (۲۰۲۰)، دو مدل برنامه ریزی عدد صحیح آمیخته را ارائه کردند که بر داروخانه و بیمارستان ها متمرکز است و از رویکرد بهینه سازی مبتنی بر شبیه سازی برای حل مدل و یافتن سیاست بهینه تجدید موجودی و انتخاب تأمین کنندگان بهره برده شده است. این پژوهش بر لایه تاکتیکی و عملیاتی زنجیره متمرکز است.

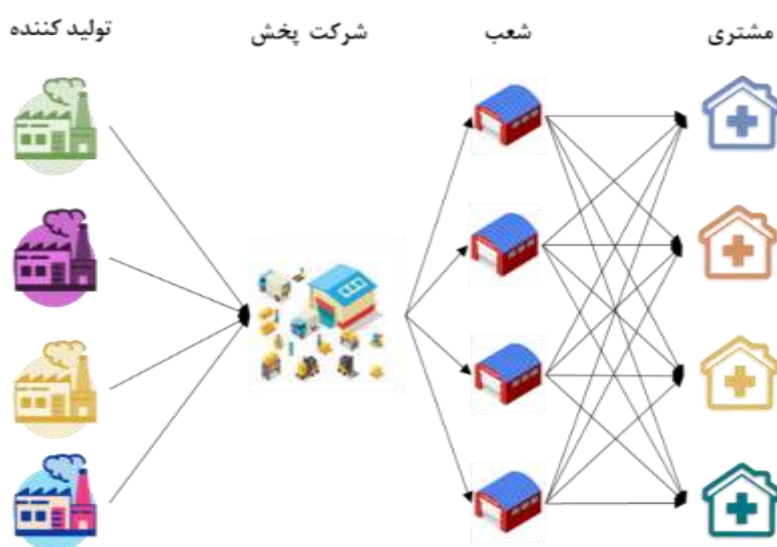
تاگر و داسکین (۲۰۲۲)، برای نخستین بار مفهوم قابلیت اطمینان در زنجیره تأمین دارویی و اثر آن را بر کمبودهای دارویی مدل سازی کردند. آنها سه رویکرد خاص برای بهبود قابلیت اطمینان زنجیره پیشنهاد کردند.

کمبود دارو، متوسط زمان تا کمبود و متوسط زمان بهبودی نیز سه معیار برای سنجش قابلیت اطمینان زنجیره در نظر گرفته شده است. نتایج این پژوهش صرفاً بر یک داروی ژنریک بررسی شده است.

شکل (۲) نمایی از زنجیره تأمین مسئله بررسی شده در این پژوهش است. در این مسئله سطح اولیه زنجیره با تأمین کننده شروع می شود و در سطح آخر با مشتری پایان می یابد. موضوع درخور توجه در این پژوهش عبارت است از: جایابی شعب یک شرکت پخش و شیوه توزیع بهینه داروهای این شرکت، با توجه به فرضیاتی که نزدیک به فرضیات حاکم بر این شرکتها در جهان واقعی است.

در سطح اول، انبار مرکزی شرکت پخش مطالعه شده از طریق شرکت های تأمین کننده دارو، که با این شرکت پخش قرارداد دارند، تأمین دارو می شود. مکان تأمین کنندگان و نوع داروهای تحت قرارداد کاملاً مشخص است. در سطح دوم، انبار مرکزی شرکت پخش داروهای در اختیار را به شعب فعال خود تخصیص داده است تا هریک با توجه به ناحیه تحت پوشش خود تأمین داروی منطقه مدنظر را انجام دهند. مشتریان در اینجا نواحی شهری اند که داروخانه ها در آن حضور دارند.

در این زنجیره تأمین به دنبال تعیین مکان مناسب برای احداث انبارهای شعب این شرکت پخش هستیم، به نحوی که هزینه احداث انبارها و نیز توزیع داروها برای شرکت در مقدار بهینه قرار گیرد. تمایز اصلی کار این پژوهش با موارد مشابه عبارت است از: ارائه مدلی برای طراحی شبکه توزیع مرتبط با یک شرکت پخش، با توجه به ثابت و مشخص بودن تأمین کنندگان و مشتریان و با لحاظ شرایط واقعی نظیر در نظر گرفتن همه داروها به جای فقط یک دارو، قرارداد بین شرکت پخش و تأمین کنندگان، فواصل واقعی بین تسهیلات مختلف زنجیره مبتنی بر نقشه های زمینی، تعیین تقاضای داروها مبتنی بر آمار واقعی فروش شرکت پخش و در نظر گرفتن اثر جمعیت نقاط بر تعیین تقاضای هر مشتری. در ادامه یک روش حل ترکیبی اختصاصی برای حل مسئله یادشده مبتنی بر ترکیب الگوریتم های فراابتکاری با روش های داده کاوی ارائه و در نهایت اثربخشی مدل با استفاده از یک مطالعه موردی بر شرکت پخش فعال در صنعت دارو بیان می شود.



شکل ۲- ساختار زنجیره تأمین بررسی شده در این پژوهش

Fig.2- Supply chain structure for current study

۲- روش شناسی پژوهش

زنجیره تأمین چهارسطحی شامل تأمین کنندگان لیستی از داروها، شعبه مرکزی شرکت پخش، شعب استانی آن شرکت و نقاط تقاضا را در نظر بگیرید. مکان شرکت های تأمین کننده و نقاط تقاضا، میزان تقاضای هر مشتری، داروهای تحت قرارداد بین شرکت پخش با هر تأمین کننده از پیش مشخص است. شرکت های تأمین کننده صرفاً باید داروها را برای شعبه مرکزی شرکت پخش ارسال کنند و شعبه مرکزی باید داروها را در بین شعب استانی تقسیم کند. مسئله در اینجا یافتن محل استقرار بهینه شعب شرکت پخش و همزمان تعیین الگوی پخش برای همه داروها در سطح کشور است، به نحوی که هزینه کل زنجیره تأمین شامل هزینه احداث مراکز توزیع و هزینه توزیع همه اقلام دارویی در سطح ژنریک کمینه شود.

۲-۱- فرضیات مدل

فرضیات مدل به شرح زیر است:

- ۱- مکان و تعداد شرکت های تأمین کننده و نوع داروهای مشخص است که هریک تأمین می کنند؛
- ۲- مکان های بالقوه برای شعب شرکت پخش دارو مشخص است؛
- ۳- مکان انبار مرکزی شرکت ثابت و از پیش تعیین شده است؛
- ۴- ظرفیت شرکت پخش به ازای هر دارو مشخص است؛
- ۵- مراکز مصرف ثابت و از قبل مشخص است؛
- ۶- میزان تقاضا به صورت قطعی مشخص و تابعی از جمعیت نواحی است؛
- ۷- کمبود در هیچ سطحی مجاز نیست؛
- ۸- حمل و نقل مبتنی بر مد حمل زمینی است.

۲-۲- نمادگذاری

مجموعه ها

$p=1,\dots,P$	P مجموعه داروها
$s=1,\dots,S$	S مجموعه تأمین کننده ها
$c=1,\dots,C$	C مجموعه نقاط مصرف
$l=1,\dots,L$	L مجموعه سایت های کاندیدا

پارامترها

D_{pc}	تقاضای مرکز مصرف c از داروی نوع p
$DistSD_s$	فاصله تأمین کننده s تا انبار مرکزی شرکت پخش
$DistDL_l$	فاصله انبار مرکزی شرکت پخش تا شعبه پخش مستقر در سایت کاندیدی l
$DistLC_{lc}$	فاصله شعبه پخش مستقر در سایت کاندیدی l تا مرکز مصرفی c

$CapS_s^p$	ظرفیت عرضه تأمین‌کننده s از داروی نوع p
$CapD_p$	ظرفیت شرکت پخش از داروی نوع p
Ctr_s^p	سقف قرارداد شرکت پخش با تأمین‌کننده s داروی نوع p
FC_l	هزینه ثابت احداث و استقرار هر انبار پخش
T	هزینه حمل‌ونقل هر واحد دارو_کیلومتر

متغیرهای تصمیم

XSD_s^p	مقدار داروی ارسالی نوع p از تأمین‌کننده s به انبار مرکزی شرکت پخش
XDL_l^p	مقدار داروی ارسالی نوع p از انبار مرکزی شرکت پخش به سایت کاندیدای l
XLC_{lc}^p	مقدار داروی ارسالی نوع p از سایت کاندیدای l به مرکز مصرفی c
O_l	متغیر صفر و یک مربوط به تأسیس شعبه در سایت کاندیدای l

۲-۳- تابع هدف

$$\min Z_{sum} : \left(\sum_{p \in P} \sum_{s \in S} DistSD_s \cdot XSD_s^p + \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} DistDL_l \cdot XDL_l^p + \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} \sum_{c \in C} DistLC_{lc} \cdot XLC_{lc}^p \right) * T + \sum_{l \in L} O_l \cdot FC_l \quad (1)$$

تابع هدف (رابطه ۱) متشکل از دو بخش هزینه توزیع و هزینه احداث است. در بخش اول، جمله اول مجموع کلیه مقادیر ارسالی داروها از تأمین‌کننده s به انبار مرکزی شرکت پخش در مسافت بین آنها، جمله دوم مجموع مقدار ارسالی همه داروها از انبار مرکزی شرکت پخش به شعب پخش مستقر در سایت کاندیدای l در مسافت بین آنها و جمله سوم مجموع کلیه مقادیر ارسالی داروها از شعب پخش به نقاط تقاضای c در مسافت طی شده آنهاست. درنهایت کل این جمله در هزینه حمل هر واحد دارو به‌ازای هر کیلومتر ضرب می‌شود. بخش آخر مجموع هزینه ثابت احداث هر یک از شعب است.

۲-۴- محدودیت‌ها

$$\sum_{l \in L} XLC_{lc}^p = D_{pc} \quad \forall p \in P, c \in C \quad (2)$$

$$\sum_{s \in S} XSD_s^p = \sum_{l \in L} XDL_l^p \quad \forall p \in P \quad (3)$$

$$XDL_l^p = \sum_{c \in C} XLC_{lc}^p \quad \forall p \in P, l \in L \quad (4)$$

$$XSD_s^p \leq CapS_s^p \quad \forall p \in P, s \in S \quad (5)$$

$$\sum_{l \in L} XDL_l^p \leq CapD_p \quad \forall p \in P \quad (۶)$$

$$XSD_s^p \leq Ctr_s^p \quad \forall p \in P, s \in S \quad (۷)$$

$$\sum_l O_l \leq 25 \quad \forall l \in L \quad (۸)$$

$$XDL_l^p \leq CapD_p * O_l \quad \forall p \in P, l \in L \quad (۹)$$

$$XSD_s^p, XDL_l^p, XLC_{lc}^p \geq 0 \quad \forall p, s, l, c \quad (۱۰)$$

$$O_l \in \{0,1\}$$

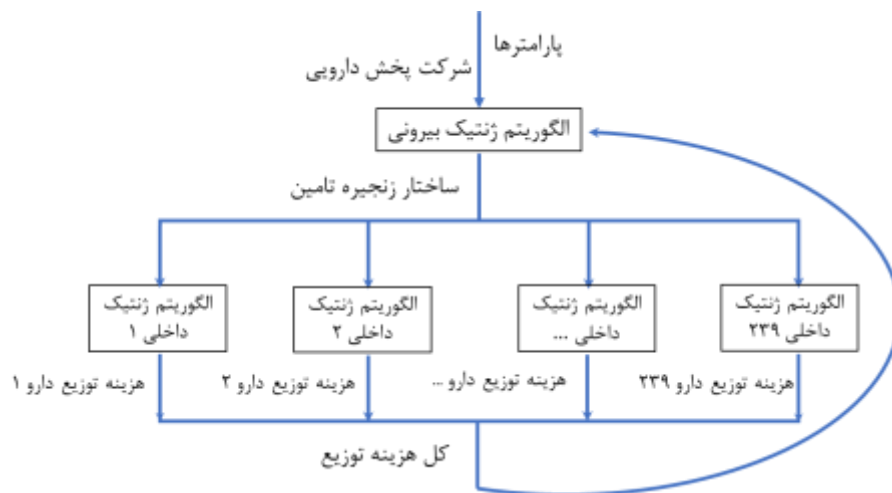
محدودیت اول (رابطه ۲) مربوط به برآورده کردن تقاضای مراکز مصرفی است. محدودیت دوم (رابطه ۳) تضمین می‌کند میزان داروی ورودی به شرکت پخش برابر میزان خروجی از شرکت باشد (بالانس بین تأمین‌کننده و شعب شرکت پخش به‌ازای هر دارو. دقت شود که در اینجا دو دسته محدودیت پنهان نیز وجود دارد و آن بالانس بین تأمین‌کننده و انبار مرکزی و انبار مرکزی با شعب است که به راحتی حذف‌شدنی بودن آنها اثبات می‌شود؛ زیرا کفایت مجموع مقادیر خروجی از شعب برابر مجموع مقادیر خروجی از انبار مرکزی در نظر گرفته شود). محدودیت سوم (رابطه ۴) تضمینی بر میزان خروجی داروها از شعبه‌های حادثی به مشتریان است (بالانس بین شعب و مشتریان به‌ازای هر دارو). محدودیت چهارم (رابطه ۵) بیان می‌کند میزان داروی ورودی از هر تأمین‌کننده به انبار مرکزی شرکت پخش، حداکثر مساوی ظرفیت شرکت تأمین‌کننده از آن داروست. محدودیت پنجم (رابطه ۶) تضمین می‌کند کل داروی خروجی از انبار مرکزی شرکت پخش به شعبه‌های تأسیس‌شده کمتر مساوی ظرفیت شرکت پخش از آن داروست. محدودیت ششم (رابطه ۷) تضمین می‌کند داروی هر شرکت پخش فقط توسط تأمین‌کنندگانی تأمین شود که با شرکت قرارداد دارند و درضمن خود از آن دارو در اختیار دارند. اعمال محدودیت ششم (سقف قرارداد) از سه بعد دارای اهمیت، به شرح زیر است:

- ۱- وجود امکان دریافت داروی خاص با برند خاص از شرکت تأمین‌کننده خاص را فراهم می‌آورد؛
- ۲- تعیین توان مالی و لجستیکی شرکت پخش (از نظر ناوگان حمل‌ونقل، انبارهای در دسترس، بازاریابی و ...) که معمولاً تغییری در این ویژگی‌ها در کوتاه‌مدت و به سرعت انجام نمی‌شود؛
- ۳- در نظر گرفتن ظرفیت و توان تأمین دارو توسط شرکت تأمین‌کننده داخلی و خارجی که این میزان مبتنی بر درجه اعتبار، توانمندی مالی و در اختیار داشتن نمایندگی شرکت‌های خارجی در داخل از سوی تأمین‌کننده است. در حقیقت شرکت تأمین‌کننده واسطه‌ای بین شرکت خارجی و بازار داخلی است.
- محدودیت هفتم (رابطه ۸) ایجاب می‌کند که حداکثر ۲۵ شهر به عنوان نقاط کاندیدا از میان شهرهای مختلف انتخاب شود. این محدودیت صرفاً برای کوچک کردن فضای حل مسئله و با توجه به این لحاظ می‌شود که در عمل در تعداد شهرهای بیشتری، انبار برای شرکت‌ها احداث نشده است. محدودیت هشتم (رابطه ۹) بیان می‌کند ارسال دارو از شرکت پخش (انبار مرکزی) به یک سایت کاندیدا زمانی میسر است که در آن سایت، شعبه‌ای برای آن شرکت پخش احداث شده باشد. محدودیت نهم (رابطه ۱۰) محدودیت علامت انواع متغیر تصمیم است.

۳- روش حل

مدل به دست آمده برنامه ریزی عدد صحیح آمیخته مبتنی بر کمینه سازی هزینه هاست. نظر به اینکه مسئله بررسی شده در این مقاله ترکیبی از مسائل مکان یابی تسهیلات با محدودیت ظرفیت و نیز مسئله بهینه سازی توزیع است، بنابراین مسئله پژوهش حاضر را می توان به مکان یابی با محدودیت ظرفیت کاهش داد. با توجه به اینکه قبلاً ثابت شده است، مسئله مکان یابی تسهیلات با محدودیت ظرفیت از نوع $Np-complete$ است (دیویس و ری، ۱۹۶۹)؛ بنابراین مسئله بررسی شده در این پژوهش نیز دارای پیچیدگی از نوع $Np-hard$ است. به همین دلیل در این مقاله از الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله مکان یابی - توزیع استفاده شده است. دو نکته الگوریتم ژنتیک استفاده شده در این مسئله را از حالت پایه آن متمایز می کند. نکته اول اینکه، با توجه به وابسته بودن همه محدودیت ها به پارامتر p یعنی داروی ژنتیک (به جز محدودیت هفتم (رابطه ۸) که در قالب برنامه نویسی می توان از احراز آن اطمینان حاصل کرد) می توان مسئله را مبتنی بر این پارامتر به تعداد کل داروها (۲۳۹ دارو) به زیرمسائل کوچک تر شکست. البته با توجه به بالابودن ابعاد زیرمسائل حاصل، برای حل آنها نیز از الگوریتم ژنتیک بهره گرفتیم. با وجود این، نظر به اینکه هدف اولیه مسئله طراحی زنجیره تأمین داروی بهینه برای شرکت پخش دلخواه است، مجبوریم در فرایند بهینه سازی ترکیباتی فوق، تعداد حالات زیادی را برای مکان استقرار شعب در نظر بگیریم که خود امری زمان بر است. از طرفی به ازای هر ساختار استقرار شعب باید یک مسئله توزیع بزرگ حل شود که شامل حل ۲۳۹ زیرمسئله است و اشاره شد که هر زیرمسئله خود علی رغم به کارگیری الگوریتم های فراابتکاری، زمان حل کمی ندارد؛ به همین دلیل از یک الگوریتم ژنتیک نیز برای کاهش زمان یافتن ساختار توزیع بهینه استفاده شد. به این ترتیب می توان گفت که در راه حل اختصاصی برای این مسئله از یک الگوریتم ژنتیک دوسطحی بهره گرفته شده است. در شکل (۳)، مراحل حل مسئله نشان داده شده است که متشکل از دو سطح است. هر دو مرحله بر پایه الگوریتم ژنتیک ساخت یافته است. ابتدا الگوریتم ژنتیک سطح بالا، محل استقرار شعب را تعیین می کند و آن را به عنوان ورودی به الگوریتم ژنتیک سطح پایین ارسال می کند، سپس ژنتیک سطح پایین هزینه توزیع بهینه را با حل ۲۳۹ زیرمسئله تعیین و به عنوان خروجی به الگوریتم سطح بالا برمی گرداند. تابع ارزیابی الگوریتم سطح بالایی، مجموع هزینه های احداث و توزیع است. این زنجیره با توجه به پارامترهای تنظیم شده در الگوریتم تا تکرار مشخصی ادامه پیدا می کند تا مجموع هزینه احداث و توزیع را کاهش دهد.

شکل (۴)، ساختار سطح بیرونی الگوریتم را نشان می دهد که مسئول تعیین مکان های تأسیس شعب و طراحی زنجیره است. در این الگوریتم از دو روش متداول برای عملگر جهش و یک روش برای عملگر تقاطع استفاده شده است. دلیل استفاده از عملگر تقاطع متفاوت، تنک بودن^۴ بردار مکان های بالقوه است که باعث می شود در صورت استفاده از عملگرهای عادی به این مشکل بر بخوریم که در تقاطع و جهش، بردار جدیدی ایجاد نشود.



شکل ۳- ساختار کلی الگوریتم ژنتیک دوسطحی برای حل مسئله مکان‌یابی و توزیع هم‌زمان

Fig.2- General structure of a tow-tier genetic algorithm

۳-۱- عملگر تقاطع الگوریتم بیرونی (Reduced Surrogate Crossover)

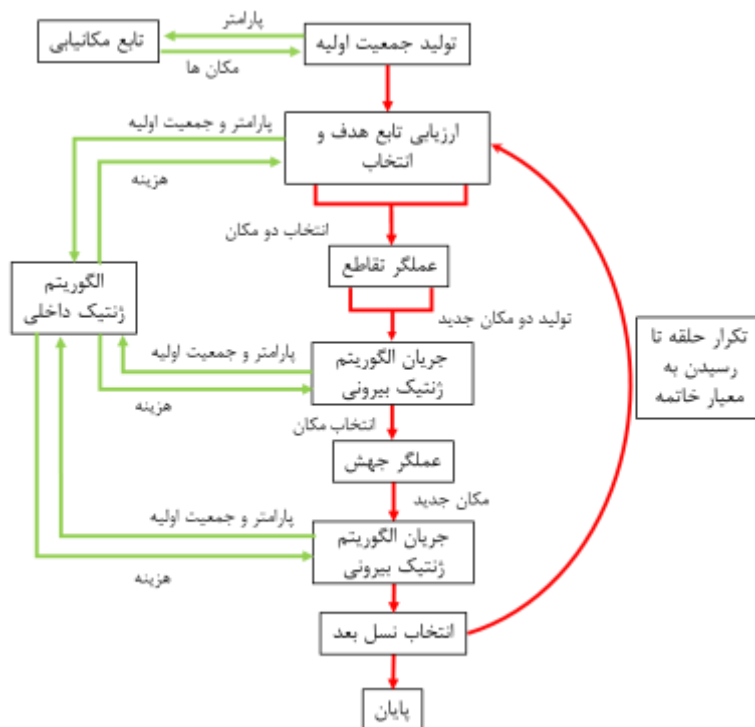
این روش سعی دارد از اعمال عملگر تقاطع در جایی جلوگیری کند که جواب جدید تولید نمی‌کند؛ به این صورت که ژن‌های والدین را بررسی می‌کند، سپس لیستی را از تمام نقاط ممکن برای تقاطع ایجاد می‌کند که ژن‌های هر دو والد متفاوت است؛ یعنی لیستی از نقاط استخراج می‌کند که اگر تقاطع از آنجا اعمال شود، جواب جدید تولید می‌شود، سپس به‌طور تصادفی یک نقطه را از لیست انتخاب می‌کند و برای ایجاد فرزند، تقاطع تک‌نقطه‌ای انجام می‌دهد (آمارکار و شتس، ۲۰۱۵). دلیل استفاده از این روش، حفظ تعداد یک‌ها برای تعیین تعداد مکان‌های احتمالی است تا در مدت‌زمان حل مدل تعداد شعب انتخابی تغییر نکند و الگوریتم تقاطع بیرونی بر پایه همین فرض استفاده و پیاده‌سازی شده است.

۳-۲- عملگر جهش معکوس‌سازی (الگوریتم بیرونی)

در این نوع جهش به‌طور تصادفی یک زیررشته از توالی انتخاب می‌شود و پس از معکوس‌کردن آن در همان محل قرار می‌گیرد (راستی برزکی و رئیس، ۱۳۹۵). یعنی علاوه بر تعویض دو عنصر انتخابی، مکان عناصر بین آنها نیز معکوس می‌شود (اسکندری و همکاران، ۲۰۱۹).

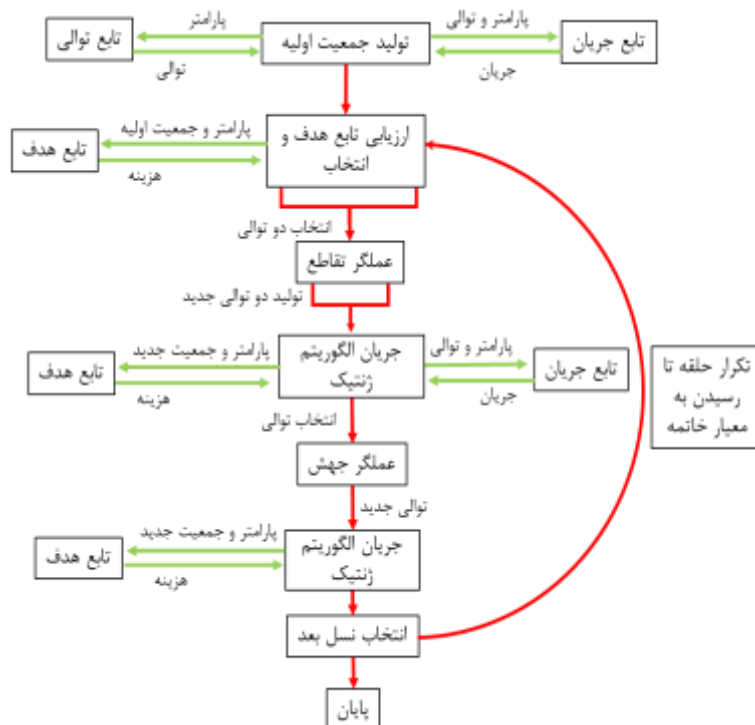
تفاوت دوم در روش حل این مسئله مربوط به ساختار ویژه زیرمسائل است. همان‌طور که در مدل مشخص است، در اینجا با محدودیت‌های از نوع بالانس مواجهیم که نوعاً در مسائل زنجیره تأمین و شبکه حاضرند. معمولاً در مسائلی که با الگوریتم‌های فراابتکاری حل می‌شوند، از تابع هدف شامل جریمه برای اطمینان از اعمال محدودیت‌ها استفاده می‌شود (دب، ۲۰۰۱). اما این روش برای محدودیت‌های نرم از نوع نامساوی مناسب نیست و برای محدودیت‌های از نوع سخت (یعنی تساوی) با تسامح، آن را به نامساوی تبدیل می‌کند. در مسائل زنجیره تأمین برقراری شرایط بالانس اهمیت بالایی دارد و اغماض‌شدنی نیست؛ به همین دلیل از روش کدینگ مبتنی بر اولویت برای کدینگ جمعیت‌ها استفاده می‌شود. در شکل (۵)، ساختار الگوریتم داخلی بر مبنای الگوریتم ژنتیک با استفاده از کدینگ مبتنی بر اولویت نشان داده شده است. جمعیت اولیه با توجه به مبادی و مقاصد و ساختاربندی کروموزوم

تشکیل شده است. در ادامه الگوریتم با استفاده از دو عملگر تقاطع و جهش با تغییر در ساختار کروموزوم و تشکیل کروموزوم جدید، سعی در بهبود مسئله دارد. گن و چنگ^۵ (۲۰۰۶) سه راه برای رمزگذاری ارائه کردند که شامل سه روش است: (۱) مبتنی بر کمان؛ (۲) مبتنی بر گره؛ (۳) مبتنی بر کمان و گره.



شکل ۴- فلوچارت الگوریتم ژنتیک بیرونی (سطح ۱)

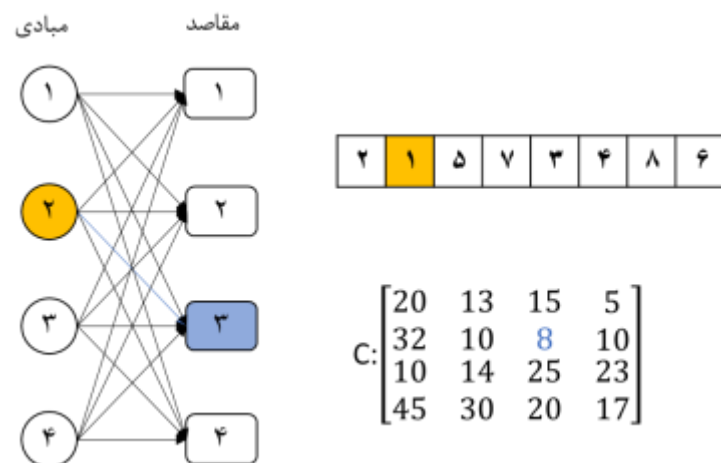
Fig.4 – Flowchart of external genetic algorithm (level 1)



شکل ۵- فلوچارت الگوریتم درونی (سطح ۲)

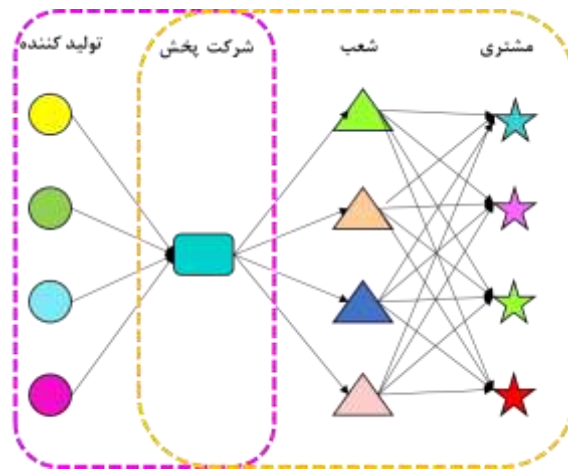
Fig.5 - Internal Algorithm flowchart (level 2)

بابا ویسی (۲۰۱۸) از ساختار کروموزوم به روش کد کردن مبتنی بر کمان و گره (و مبتنی بر اولویت) برای بهینه سازی مسئله زنجیره تأمین حلقه بسته چند محصولی استفاده کرد. براساس این روش اگر تعداد مبداها را $|K|$ و تعداد مقصدها $|J|$ تعریف کنیم، بعد ماتریس پیشنهادی برای الگوریتم ژنتیک برابر با $|K| \times |J|$ و طول کروموزوم $|K| + |J|$ خواهد بود. هر کروموزوم تعدادی ژن دارد. مقادیر هر ژن عددی تصادفی بین ۱ تا $|K| + |J|$ خواهد بود. در داخل یک ژن یک عدد به صورت تصادفی ذخیره شده است که این عدد نمایانگر اولویت آن سلول در ردیف مربوطه است. شکل (۶)، نمایشی است از نحوه توزیع کالا بین مبادی و مقاصد که برای انتخاب هر مبدأ و مقصد، ژنی انتخاب می شود که حداکثر اولویت را دارد. ژن انتخاب شده نماینده یک مبدأ یا مقصد است و براساس مبدأ یا مقصد انتخابی و ماتریس هزینه، برای سطح بررسی شده توزیع بین نقاط صورت می گیرد. در روش مبتنی بر اولویت، میزان جریان کالا بین دو گره براساس حداقل ظرفیت دو گره تعیین و توزیع می شود. با به پایان رسیدن ظرفیت هریک از گره ها در بخش کروموزوم، عدد اولویت آن را صفر قرار داده ایم تا از دور انتخابها حذف شود. این روند تا جایی ادامه می یابد تا اولویت تمامی ژن های کروموزوم صفر شود.



شکل ۶- نحوه تخصیص در روش مبتنی بر اولویت
Fig.6 – Allocation pattern in the priority-based method

برای پیاده کردن روش مبتنی بر اولویت در مسائل زنجیره تأمین، به تعیین مرحله ها نیاز است. هر مرحله دو لایه را به هم وصل می کند. شکل (۷) مربوط به مرحله بندی زنجیره تأمین مسئله بررسی شده است. مطابق شکل، مرحله اول مربوط به تعیین شیوه توزیع داروها بین تأمین کنندگان و انبار مرکزی شرکت پخش دارویی و مرحله دوم مربوط به تعیین توزیع بین شعب شرکت پخش و مشتریان است. نظر به اینکه ارتباطات انبار مرکزی شرکت پخش با شعب، نوعی ارتباط داخلی است، عملاً مرحله دوم شامل هر سه لایه انبار مرکزی، شعب و مشتریان است. برای پیاده سازی الگوریتم ژنتیک مبتنی بر اولویت، به تعیین سطوح در زنجیره تأمین نیازمندیم. در این مسئله با توجه به مفروضات در نظر گرفته شده با تعیین دو سطح، امکان حل مدل وجود دارد. در سطح ۱ میزان و نحوه تبادل دارو بین تأمین کننده و انبار مرکزی شرکت پخش دارو مشخص و در سطح ۲ میزان و نحوه تبادل بین انبار و شعب و مراکز تقاضا تعیین می شود.

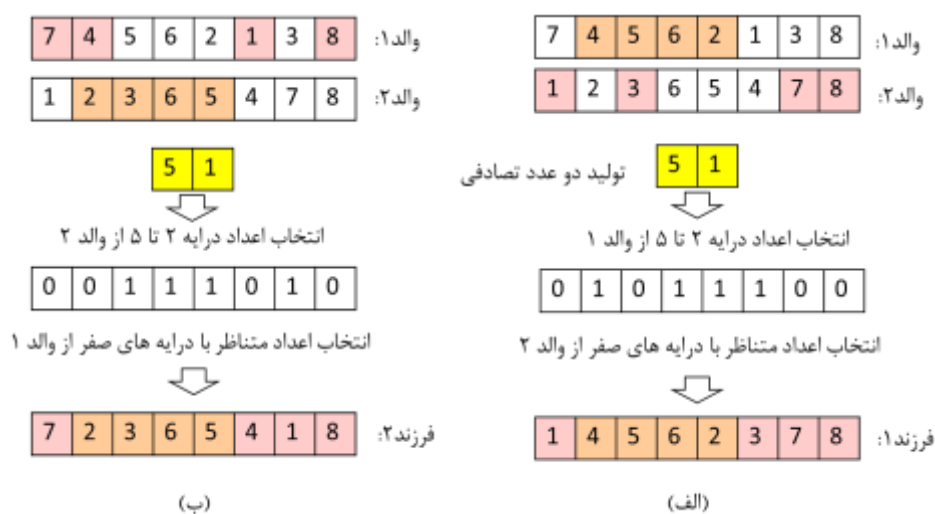


شکل ۷- مرحله بندی زنجیره تأمین برای استفاده از روش کدینگ مبتنی بر اولویت

Fig.7 – Staging supply chain for priority-based coding

۳-۳- عملگر تقاطع الگوریتم داخلی

برای حل مسئله داخلی، با توجه به ماهیت روش کدینگ مبتنی بر اولویت، برای جلوگیری از ایجاد اعداد تکراری در کروموزوم در هر دو عملگر جهش و تقاطع به گونه ای عمل می شود که از ایجاد اعداد تکراری و یکسان در یک کروموزوم جلوگیری شود. مطابق شکل (۸) ابتدا دو عدد به صورت تصادفی تولید می شود و اعداد بین کوچک ترین شماره تولید شده تا بزرگ ترین شماره از والد ۱ انتخاب می شود و یک بردار صفر و یک از قسمت انتخاب شده والد ۱ و والد ۲ به طول والدها ایجاد می شود. عدد ۱ نشان دهنده اعداد مشترک بین دو والد با توجه به جایگاه اعداد در والد ۱ و عدد صفر برای اعدادی است که در قسمت انتخاب شده از والد ۱ وجود ندارد. طبق بردار تولید شده، اعداد متناظر با درایه صفر از والد ۲ انتخاب می شود و در جاهای خالی فرزند ایجاد شده قرار می گیرد. برای فرزند ۲ نیز همین روال با جابه جایی والدها صورت می گیرد. هدف از این کار، جلوگیری از ایجاد اعداد تکراری به عنوان اولویت در کروموزوم های فرزندان است.



شکل ۸- عملگر تقاطع در روش مبتنی بر اولویت

Fig.8 – Intersection operator in priority-based method

شکل (۹) عملگر جهش به کار برده شده در الگوریتم مبتنی بر اولویت است که با انتخاب دو ژن از کروموزوم‌های ایجاد شده و با تعویض ژن‌ها کروموزوم جدید شکل می‌گیرد.



شکل ۹- عملگر جهش الگوریتم ژنتیک مبتنی بر اولویت
Fig.9 – Mutation operator of priority-based method

۴- ادغام مشتریان

همان‌طور که در بخش پیشین یاد شد، هریک از زیرمسائل به‌دست‌آمده در مدل خود به‌تنهایی یک مسئله بزرگ است و با در نظر گرفتن تعداد مشتریان (شهرهای کل کشور)، یافتن جواب برای حتی یک زیرمسئله نیز دشوار است. به این منظور و برای بهبود سرعت حل و کاهش ابعاد مسئله، برای بخش مشتریان از خوشه‌بندی استفاده می‌کنیم تا زمان حل زیرمسائل را کاهش دهیم. در تحقیقات نشان داده شده است که ادغام داده‌ها نظیر نقاط تقاضا برای حل مسائل واقعی، تأثیر اندکی بر پاسخ بهینه (در حد ۱٪) دارد (سیمچی لوی، ۲۰۰۸).

۵- مطالعه کاربردی: شرکت پخش سراسری آدوراطب

در این پژوهش شرکت پخش سراسری آدوراطب به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. داده‌های استفاده‌شده در این پژوهش براساس آمارنامه دارویی سال ۱۳۹۶ ایران است که حاوی اطلاعاتی از نوع دارو، برندهای دارویی، تأمین‌کنندگان هر ژنریک دارویی، میزان فروش عددی و ریالی هریک از شرکت‌های تولیدکننده و توزیع‌کننده، وضعیت تولیدی و وارداتی داروها و رتبه‌بندی شرکت‌های توزیع‌کننده است.

این شرکت دارای ۲۵ مرکز توزیع در کشور است و براساس آمارنامه دارویی در رده پنج شرکت برتر پخش دارویی از نظر فروش ریالی با سهم بازار ۷/۲۲ درصدی و با رقم فروش کل ۱۷۹۸۰۶۱۳۳۹ ریال و جزء ده شرکت برتر از نظر فروش عددی با سهم بازار ۴/۶۴ درصدی و فروش عددی ۱۳۵۸۱۷۱۱۵۶۹۸۱۴ دارو است. در سال ۱۳۹۶ این شرکت توزیع‌کننده ۲۳۹ نوع دارو بوده است که توسط ۱۵ شرکت تأمین‌کننده در اختیار قرار گرفته است. درباره دیگر داده‌های استفاده‌شده در این پژوهش ذکر موارد زیر ضروری است:

در این پژوهش مسافت بین نقاط مختلف بر مبنای فاصله زمینی و مبتنی بر نقشه بینگ (www.bing.com/maps) استخراج شده است. درباره مراکز تقاضا، اطلاعات کلیه شهرهای کشور شامل ۴۲۹ نقطه، با نام و جمعیت آنها از تارنمای مرکز آمار ایران با توجه به سرشماری سال ۱۳۹۵، استخراج شده است. برای محاسبه هزینه توزیع به‌ازای هر واحد دارو در هر کیلومتر، به این شکل عمل شد که با مشورت صورت‌گرفته مشخص شد هزینه توزیع تقریباً ۳ درصد فروش شرکت است و با توجه به رقم فروش آدوراطب، به رقم ۰,۰۰۵ به

ازای هر واحد دارو در هر کیلومتر رسیدیم. اطلاعات مرتبط با شعب فعلی و انبار مرکزی آدوراطب نیز از تارنمای شرکت به دست آمده‌اند (adorateb.com). جدول (۱) اطلاعات شعب فعال و تأمین‌کنندگان داروهای توزیعی شرکت است.

احداث و استقرار انبار در بر گیرنده هزینه برای شرکت‌هاست. برای تعیین میزان هزینه احداث براساس متوسط مساحت هر انبار، برآورد هزینه‌ای در حدود ۷ میلیارد تومان و براساس نظر افراد فعال در صنعت در سال ۱۴۰۰ وجود دارد که بر این اساس سهم هر سال تقریباً ۱,۳ میلیارد تومان (با فرض استفاده در دوره پنج‌ساله) خواهد شد. این آمار به دست‌آمده براساس شرایط فعلی و اطلاعات روز است و برای ارزیابی بهتر، هزینه احداث را باید به اعداد معادل در سال ۱۳۹۶ (به دلیل اینکه داده‌های مربوط به بازار دارویی مربوط به سال ۱۳۹۶ است) تبدیل کرد. برای متوسط متراژ موردنیاز انبار نیز با توجه به آیین‌نامه فعالیت شرکت‌های پخش، ۱۰۰۰ متر در نظر گرفته شد.

جدول ۱- تأمین‌کنندگان و شعب شرکت پخش آدوراطب

Table 1 – Suppliers and branches of Adorateb

شعبه استانی	شعبه مرکزی	تأمین‌کننده
بابل	تهران شهرستان قدس	دکتر عبیدی (تولیدی)
اردبیل		دکتر عبیدی (وارداتی)
گرگان		البرز دارو
زاهدان		آلما زن دارو
یزد		کوبل دارو (تولیدی)
اهواز		کوبل دارو (وارداتی)
اراک		بهستان دارو
مشهد		
بیرجند		کاوش گستر
ایلام		
سمنان		کوثر
سندج		
تهران		برسیان دارو
کرمان		
رشت		فن‌آوران روزان محقق دارو
ارومیه		
تبریز		داروسازی امین
قم		
قزوین		داروسازی تهران شیمی
اصفهان		
شیراز		کی بی سی
همدان		
کرمانشاه		اوست دارو بهبود
کرج		

۶- یافته‌ها

در این پژوهش برای خوشه‌بندی نقاط تقاضا از الگوریتم K-medoids استفاده شده است؛ زیرا در این الگوریتم مراکز تعیین شده از میان خود مجموعه نقاط اصلی ورودی الگوریتم است (هان، ۲۰۱۲). نکته دیگر درباره الگوریتم‌های خوشه‌بندی، انتخاب نوع روش اندازه‌گیری فاصله برای محاسبه شباهت‌نداشتن داده‌هاست. برای تعیین بهترین نوع فاصله استفاده شده در الگوریتم خوشه‌بندی، از معیار silhouette استفاده شده است که روشی برای ارزیابی کیفیت خوشه‌بندی داده‌هاست. این معیار شاخصی ترکیبی از انسجام داخلی خوشه‌ها و تفکیک‌پذیری بین خوشه‌هاست. برای محاسبه این معیار به‌ازای هر داده، میزان فاصله آن با نقاط خوشه خودش (رابطه ۱۱) را با $a(i)$ و میانگین فاصله با نقاط دیگر خوشه‌ها (رابطه ۱۲) را با $b(i)$ نشان می‌دهند:

$$a(i) = \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} d(x_i, x_k) \quad (11)$$

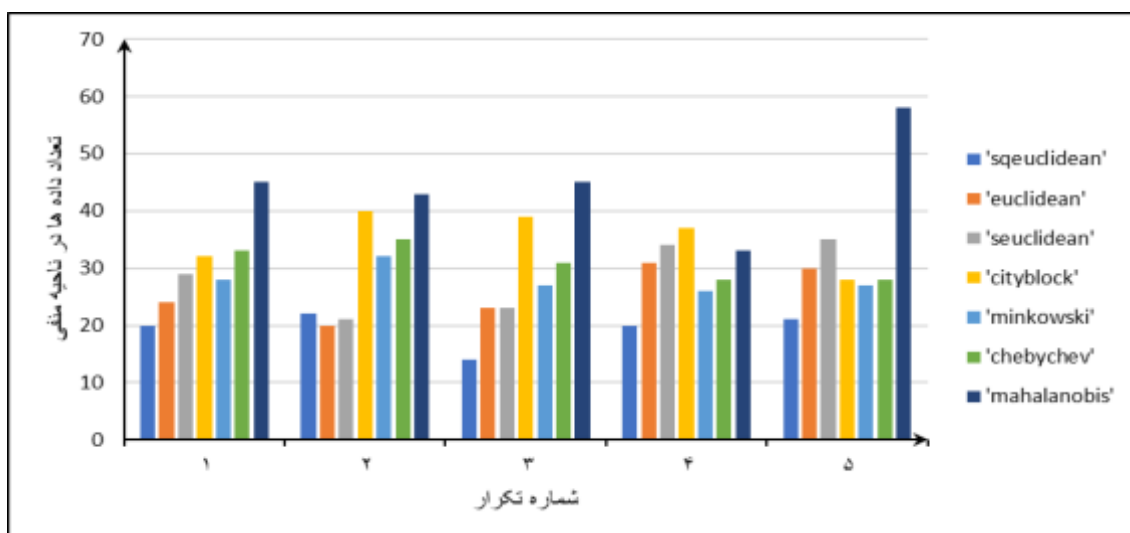
$$b(i) = \min \frac{1}{n_j} \sum_{x_j \in \text{other clusters}} (d(x_i, x_j)) \quad (12)$$

در نهایت معیار silhouette به شکل زیر محاسبه می‌شود (رابطه ۱۳):

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max(b(i), a(i))} \quad (13)$$

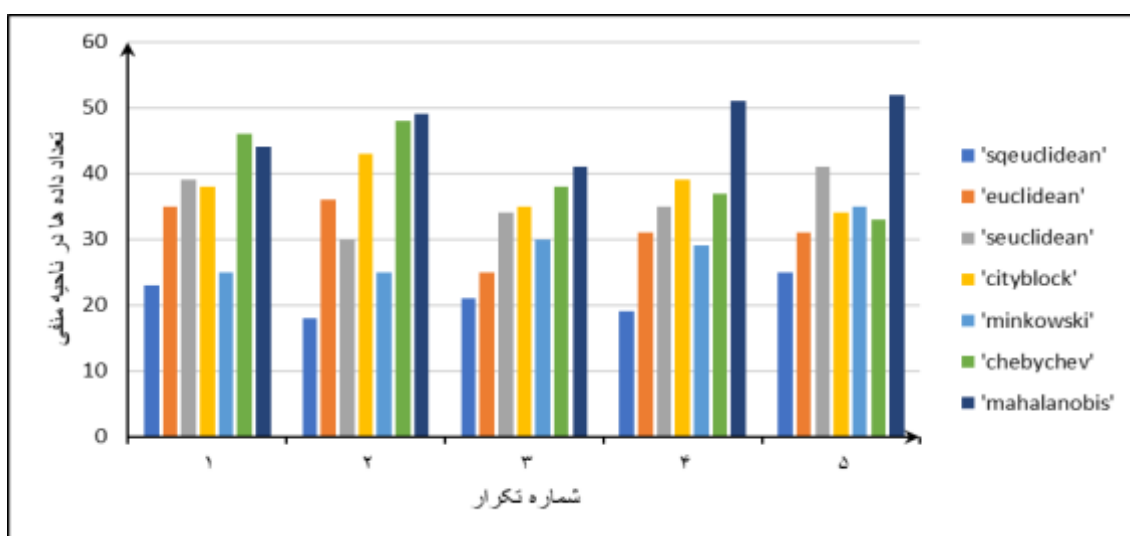
بدیهی است که یک ملاحظه کلیدی در این معیار انتخاب روش، محاسبه فاصله است. شکل (۱۰) و (۱۱) به ترتیب نمودار عملکرد الگوریتم خوشه‌بندی برای روش‌های مختلف انتخاب فاصله برای تعداد مراکز خوشه‌بندی ۴۰ و ۵۰ است. با مقایسه پارامتر فاصله برای هر دو دسته ۴۰ و ۵۰ تایی، بهترین عملکرد الگوریتم خوشه‌بندی برای پارامتر فاصله sqEuclidean است. در نمودارهای رسم شده نتایج حاصل از خوشه‌بندی با توجه به تغییرات پارامتر در الگوریتم خوشه‌بندی با معیار نیم‌رخ مقایسه شده است تا بتوان بهترین نوع پارامتر فاصله را برای خوشه‌بندی انتخاب کرد. برای مثال نتایج حاصل از مقایسات برای تعداد خوشه‌بندی ۴۰ و ۵۰ تایی، فاصله sqEuclidean بهترین عملکرد را در مقایسه با فاصله‌های دیگر داشته است و براساس این نتایج این فاصله انتخاب می‌شود. این محاسبات در چندین نوبت تکرار شد تا پایداری انتخاب جواب احراز شود.

از بین تعداد خوشه‌های ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰، با توجه به معیار silhouette آزمون آماری ANOVA به عمل آمد. براساس نتایج حاصل (شکل ۱۲)، هیچ تفاوت معناداری بین تعداد دسته‌های ۴۰، ۵۰ و ۶۰ وجود ندارد و با توجه به تفاوت معنادار در دسته‌بندی خوشه ۳۰ و علی‌رغم زمان حل بهتر، به دلیل کم بودن دقت در خوشه‌بندی، این تعداد دسته از دور انتخاب حذف می‌شود. بر این اساس تعداد دسته ۵۰ تایی با توجه به زمان حل مناسب و کیفیت پذیرفتنی انتخاب شد.



شکل ۱۰- مقایسه پارامتر مسافت برای خوشه‌بندی با ۴۰ مرکز با معیار silhouette

Fig.10 – Comparison of distance parameters for clustering with 40 centers using silhouette criteria



شکل ۱۱- مقایسه پارامتر مسافت برای خوشه‌بندی با ۵۰ مرکز با معیار silhouette

Fig.11 - Comparison of distance parameters for clustering with 50 centers using silhouette criteria

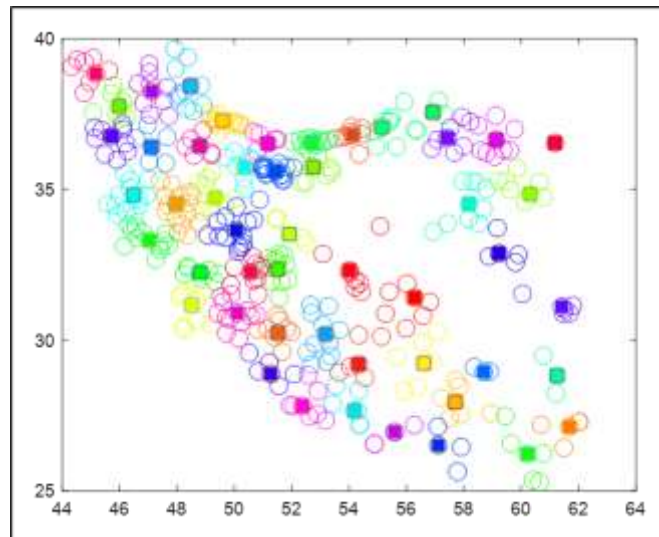
شکل (۱۳)، نتیجه نهایی خوشه‌بندی و مراکز هر دسته با الگوریتم K-medoids است. محور افقی طول و محور عمودی عرض جغرافیایی نقاط را نشان می‌دهد و نقاط دایره‌ای مراکز تقاضا و نقاط مربعی شکل، مراکز انتخابی خوشه‌هایند. به این ترتیب تعداد مراکز مشتریان در زنجیره تأمین از ۴۲۹ به ۵۰ مرکز می‌رسد.

Grouping Information Using Tukey Method

C16	N	Mean	Grouping
50	30	21.467	A
60	30	21.167	A
40	30	20.600	A
30	30	12.300	B

شکل ۱۲- آزمون ANOVA بر مبنای فاکتور silhouette برای تعداد خوشه‌های ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰

Fig.12 – ANOVA test based on silhouette factor for 30, 40, 50 and 60 clusters



شکل ۱۳- خوشه‌بندی داده‌ها با نرم‌افزار متلب

Fig.13 – Data clustering with MATLAB software

۱-۶- تنظیم پارامتر

برای تنظیم پارامترهای الگوریتم ژنتیک در لایه درونی ساختار توزیع بهینه، ۵ پارامتر با ۳ سطح مطابق جدول (۲) انتخاب شده است. پارامتر فشار انتخاب (beta) عاملی است که هنگام عمل انتخاب، افراد مناسب‌تر بیشتر درخور توجه قرار می‌گیرند. هرچه میزان beta بیشتر باشد، تعداد بیشتری از افراد مناسب انتخاب می‌شوند و سرعت همگرایی الگوریتم ژنتیک به‌طور گسترده‌ای توسط مقدار فشار انتخاب معین می‌شود؛ به‌طوری که هرچه فشار انتخاب بیشتر باشد، سرعت همگرایی بیشتر می‌شود.

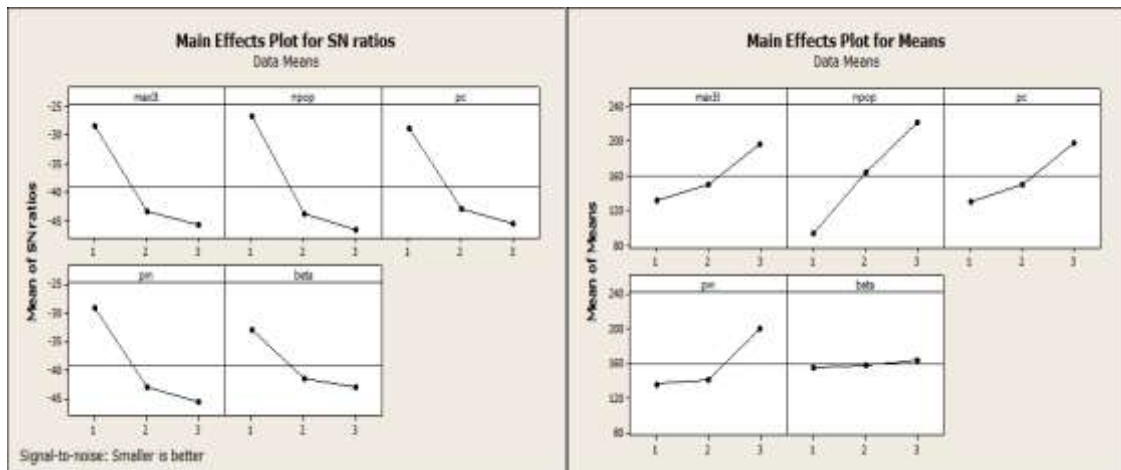
جدول ۲- فاکتور و سطوح انتخابی برای تنظیم پارامتر الگوریتم درونی

Table 2 - Selected factors and levels to tune the parameters of the internal algorithm

پارامتر	حدود	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
تعداد تکرار حلقه اصلی الگوریتم ($maxIt$)		۶	۸	۱۰
جمعیت اصلی ($npop$)		۱۰	۱۵	۲۰
درصد تقاطع (pc)		۰/۳	۰/۵	۰/۸
درصد جهش (pm)		۰/۳	۰/۵	۰/۸
$beta$		۵	۱۰	۱۵

به‌منظور تعیین کاراترین سطوح هر پارامتر به روش تاگوچی، با استفاده از نرم‌افزار Minitab 16 تعداد ۲۷ آزمایش تعیین و انجام شده است. به‌منظور اعمال روش تاگوچی ابتدا شاخص‌های انتخاب‌شده با شاخص RPD (رابطه ۱۴) بی‌مقیاس می‌شود و با استفاده از میانگین، وزنی برای هر شاخص در نظر گرفته می‌شود. در این پژوهش به‌دلیل بالابودن زمان حل، وزن شاخص زمان دو برابر شاخص هزینه در نظر گرفته شده است. پس از انجام تنظیمات، خروجی نرم‌افزار مطابق شکل (۱۴) است. با توجه به شکل، تمامی فاکتورها بهتر است در سطح یک تنظیم شوند.

$$RPD = \frac{TC_{Alg} - TC_{best}}{TC_{best}} \times 100 \quad (14)$$

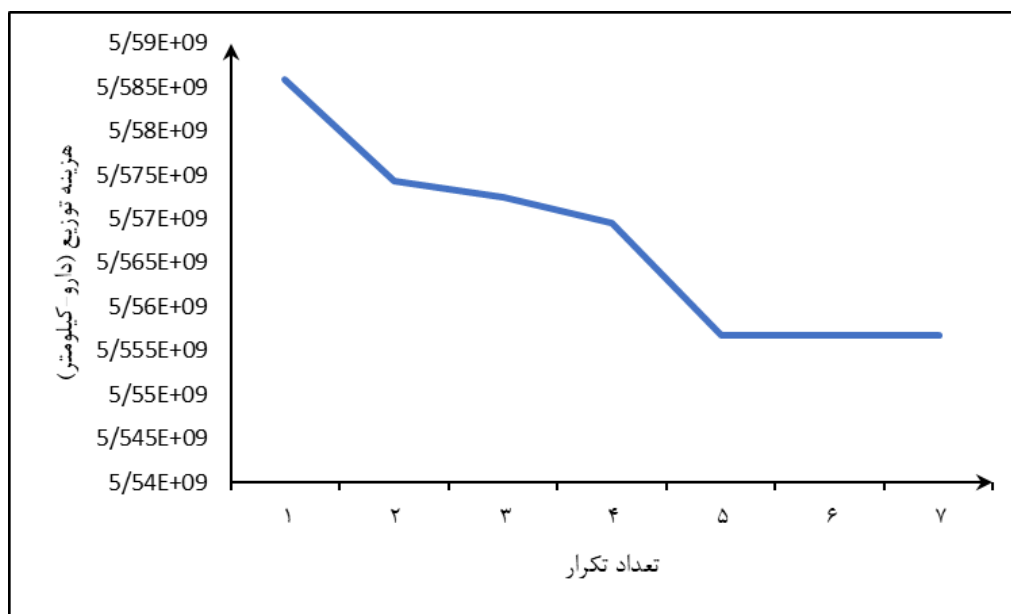


شکل ۱۴- نتایج تنظیم پارامترها به روش تاگوچی با نرم افزار Minitab

Fig.14 – Results of parameter tuning by Taguchi method

۲-۶- همگرایی الگوریتم

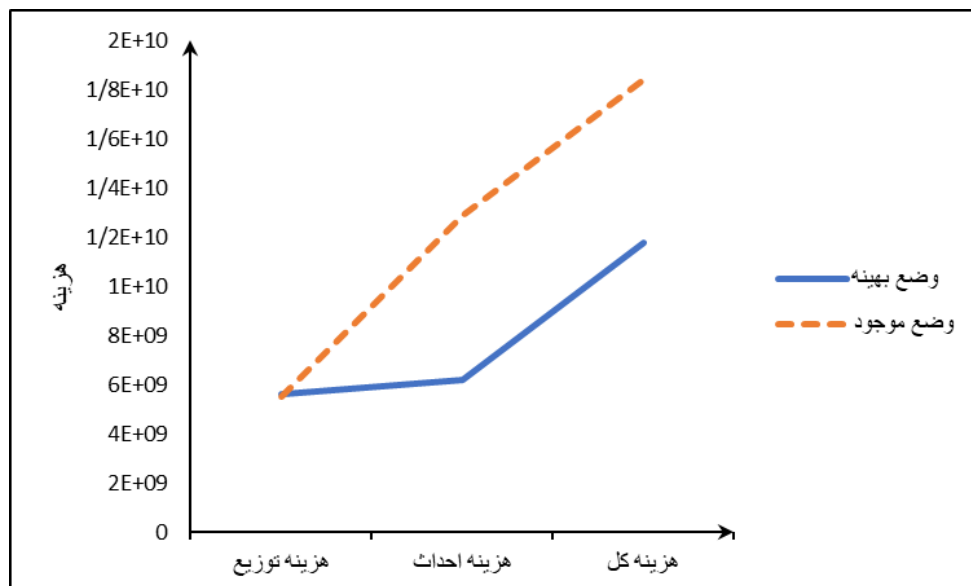
الگوریتم ژنتیک دوسطحی با کدینگ مبتنی بر اولویت در محیط نرم افزار متلب پیاده سازی شده است. شکل (۱۵)، روند همگرایی جواب را نشان می دهد و شاهدهی است از بهبود هزینه و اثربخشی روش حل دومرحله ای (بدیهی است که تغییرات نشان داده شده صرفاً مربوط به مراحل ابتدایی است).



شکل ۱۵- عملکرد الگوریتم هزینه توزیع

Fig.15 – Algorithm performance for distribution cost

در ادامه نتایج نهایی و محل استقرار بهینه شعب شرکت پخش آدورابط و نیز هزینه‌های توزیع محتمل آن براساس داده‌های موجود و مبتنی بر مدل پیشنهادی ارائه شده است. برای بررسی اعتبار مدل، نتایج حاصل با نتایج و هزینه‌های اماکن فعلی استقرار شعب این شرکت مقایسه شده است. برای بررسی هزینه‌ها در وضع موجود و بهینه، یک بررسی کلی از هزینه‌های احداث، هزینه‌های توزیع و سرجمع هزینه‌ها صورت گرفته است. برای به‌دست‌آوردن هزینه استقرار و توزیع وضع موجود با توجه به خوشه‌بندی انجام‌شده، از نرم‌افزار گمز استفاده شده است. شکل (۱۶)، مقایسه‌ای از هزینه توزیع، هزینه استقرار و هزینه کل در حالت بهینه و وضع موجود است. واضح است که در وضع موجود هزینه توزیع کمتر از حالت بهینه است. بیشتر بودن تعداد شعب در وضع کنونی موجب شده است تا به قیمت افزایش هزینه ثابت، هزینه متغیر کاهش یابد. به عبارت دیگر به دلیل کمتری تعداد شعب در حالت بهینه نسبت به وضع موجود، به طور قطع هزینه توزیع کمتر خواهد بود؛ زیرا گزینه‌های ارسال بیشتر و با فاصله کمتری بین مبادی و مقاصد خواهیم داشت. اما با توجه به کاهش چشمگیر هزینه احداث، در مجموع هزینه کل در حالت بهینه کمتر از حالت موجود خواهد شد.



شکل ۱۶- مقایسه هزینه‌ها در دو حالت موجود و بهینه

Fig.16 – Comparison between costs of current and optimal modes

شکل (۱۷) مقایسه شعب احداثی در وضع موجود و بهینه است. نقاط زرد رنگ مراکز فعال در وضع موجود است و با توجه به نتایج حاصل از حل مدل، نقاط احداثی با رنگ صورتی مشخص شده است. جدول (۳) نشانگر هزینه‌ها در وضع موجود و بهینه و درصد تغییرات دو حالت است. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم در کاهش هزینه‌های کل به طور درخور توجهی عمل کرده و در مجموع موجب کاهش ۳۶٪ هزینه‌ها نسبت به وضع موجود شده است. با توجه به کاهش ۳۶ درصدی هزینه کل، می‌توان تصمیمات مدیریتی برای کنترل هزینه‌های شرکت داشت. به تبع تأسیس هر شعبه هزینه به همراه خواهد داشت. پس با توجه به مدل‌سازی و حل صورت گرفته این امکان را می‌توان به مدیریت داد تا در صورت وجود داشتن دیگر ملاحظات، با غیرفعال کردن

برخی از شعب به همان میزان پوشش را با تعداد شعب کمتر داشته باشند. جدول (۴) مقایسه فاصله مراکز تقاضا با شعب احداثی در وضع موجود و بهینه است.

جدول ۳- درصد تغییرات هزینه‌ها در دو حالت وضع موجود و بهینه

Table 3 –Cost change in current and optimal conditions

هزینه	وضع موجود	وضع بهینه	درصد تغییرات
توزیع	۵۵۲۹۰۰۸۰۴۳	۵۶۰۳۷۹۱۵۹۹	۱/۳۵٪ ↑
احداث	۱۲۸۹۲۲۱۳۱۸۴	۶۱۸۸۲۶۳۳۲۸	۵۲٪ ↓
کل	۱۸۴۲۱۲۲۱۲۲۷	۱۱۷۹۲۰۵۳۹۲۷	۳۵/۹۹٪ ↓



شکل ۱۷- مکان شعب احداثی در وضع موجود و بهینه

Fig.17 – Location of branches in current and optimal situation

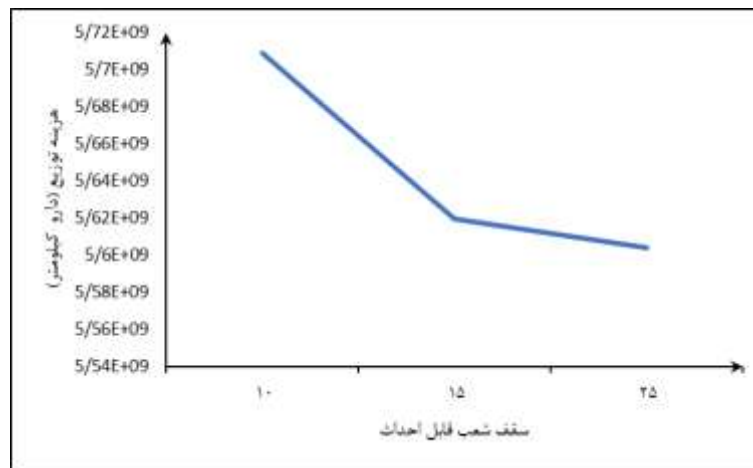
جدول ۴- مقایسه فاصله مراکز تقاضا با شعب فعال در حالت بهینه و موجود

Table 4-Comparing the distance between demand centers and active branches in optimal and existing conditions

حالت بهینه	وضع موجود	
۳۵۰۳	۳۲۷۳	دورترین فاصله
۴۲	۴۲	نزدیک‌ترین فاصله
۱۶۷۵/۲۷	۱۴۷۳/۷۱	متوسط فاصله

۷- بحث

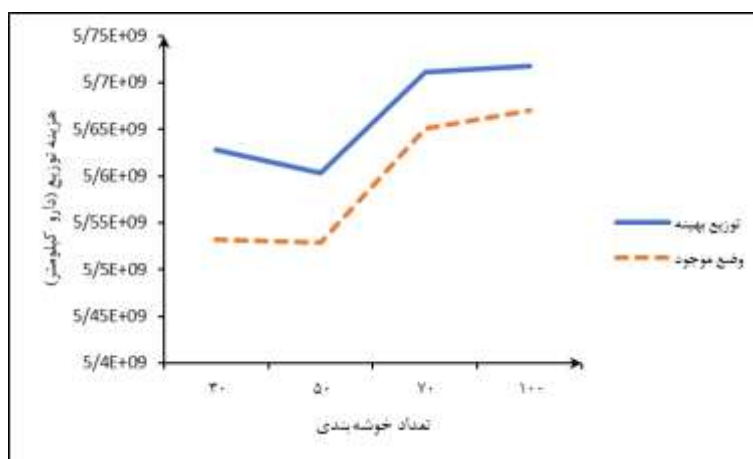
در مرحله پیاده سازی الگوریتم ژنتیک، یکی از پارامترهای تنظیم شدنی، تعداد مکان های بالقوه برای احداث انبار است. همان گونه که در محدودیت ۸ نیز آمده است، سقف تعداد شعب مجاز برای شرکت پخش ۲۵ تعیین شده است. بنابراین الگوریتم باید ابتدا یک زیرمجموعه ۲۵ تایی از شهرهای موجود را انتخاب کند. شکل (۱۸) نمودار هزینه توزیع را نشان می دهد. با افزایش تعداد انتخاب ها برای ایجاد شعب از ۴۲۹ شهر موجود در سطح کشور، این هزینه کاهش پیدا می کند. بنابراین در این پژوهش نیز از سقف ۲۵ شهر برای یافتن هزینه ها استفاده شده است.



شکل ۱۸- روند هزینه توزیع با توجه به سقف احداث شدنی

Fig.18 – Cost trend according to the constructible branches

در ادامه، با توجه به ضرورت خوشه بندی مشتریان به منظور کاهش ابعاد مسئله، هزینه توزیع را در حالت بهینه و وضع موجود را با تغییر در تعداد خوشه ها مقایسه می کنیم تا تأثیر آن بر عملکرد مدل از نظر هزینه ها مشخص شود. نتایج حاصل در شکل (۱۹) آمده است. در وضع موجود با تغییر تعداد مراکز خوشه بندی از ۳۰ به ۵۰ تفاوت چندانی از نظر هزینه ها مشاهده نمی شود، اگرچه هزینه ها در مجموع و با افزایش تعداد خوشه ها روند افزایشی را نشان می دهد. در حالت بهینه نیز با افزایش تعداد مراکز، در مجموع شاهد روند افزایشی هزینه ها هستیم. از نظر مقایسه وضع موجود با بهینه نیز می توان اظهار کرد که در مجموع با افزایش تعداد خوشه ها، کماکان هزینه توزیع وضع موجود بهتر از وضع بهینه است؛ اما اختلاف هزینه با افزایش تعداد خوشه ها تقریباً ثابت است. جدول (۴) نشانگر درصد تغییرات هزینه توزیع میان تعداد مراکز برای وضع موجود و بهینه است. با تغییر تعداد خوشه ها به طور متوسط ۰/۶۸٪ هزینه توزیع تغییر پیدا می کند.



شکل ۱۹- تأثیر تعداد خوشه بندی بر هزینه وضع موجود و حالت بهینه

Fig.19 -Effect of the number of clusters on current and optimal costs

جدول ۵- تغییرات هزینه توزیع با توجه به تعداد خوشه ها در دو حالت موجود و بهینه

Table ۵ -Cost change according to the number of clusters for current and optimal statuses

تغییرات تعداد خوشه	وضع موجود	توزیع بهینه
۳۰-۵۰	↓ ٪۰/۰۵	↓ ٪۰/۴۳
۵۰-۷۰	↑ ٪۲/۲۰	↑ ٪۱/۹۲
۷۰-۱۰۰	↑ ٪۰/۳۵	↑ ٪۰/۱۰

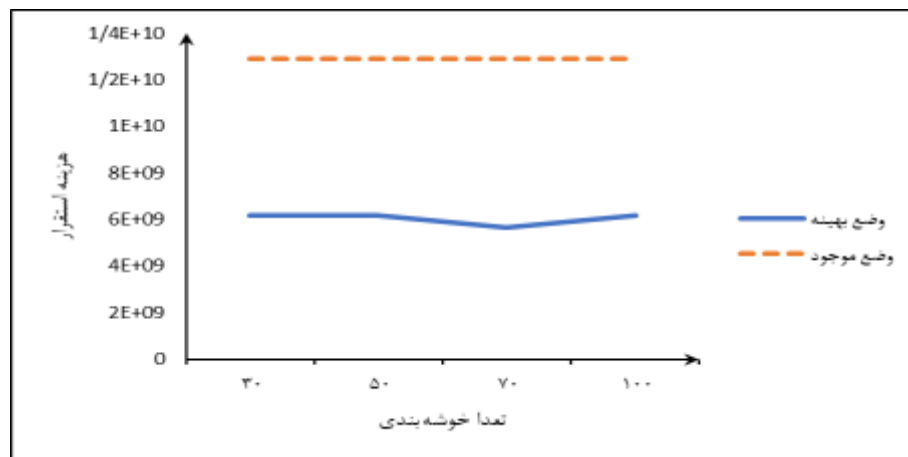
در جدول (۵) درصد تغییرات هزینه به ازای تغییر در تعداد خوشه ها برای وضع موجود و بهینه آمده است. همان طور که مشاهده می شود، تغییرات اندک است. می توان نتیجه گرفت که با افزایش تعداد خوشه ها اختلاف موجود در هزینه بین وضع موجود و بهینه کماکان برقرار خواهد ماند.

جدول ۶- تغییرات هزینه توزیع به ازای تغییر در تعداد مراکز خوشه بندی برای حالت بهینه نسبت به موجود

Table ۶ -Changes in cost due to clustering category compared to the current situation

بندی تعداد خوشه	درصد تغییرات هزینه توزیع در حالت بهینه
۳۰	٪۱/۷۴
۵۰	٪۱/۳۵
۷۰	٪۱/۰۸
۱۰۰	٪۰/۸۳

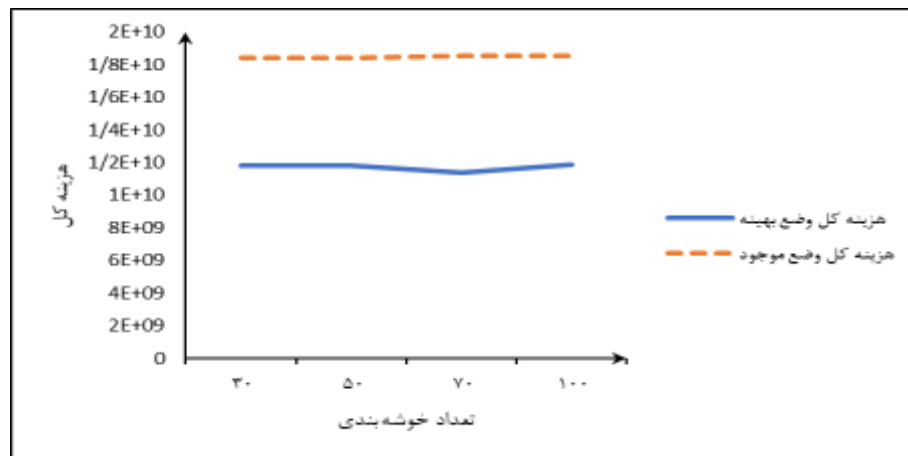
شکل (۲۰) روند تأثیر هزینه استقرار را در وضع موجود و بهینه نمایش می دهد. هزینه استقرار با توجه به تعداد خوشه بندی در وضع موجود به طور کامل ثابت بوده و برای حالت بهینه برای تمامی دسته ها به جز خوشه بندی با ۷۰ مرکز ثابت بوده است.



شکل ۲۰- تأثیر تعداد خوشه بندی بر هزینه استقرار در دو حالت موجود و بهینه

Fig.20 – Impact of number of clusters on the cost of establishment for current and optimal statuses

شکل (۲۱) تأثیر تعداد خوشه بندی را بر هزینه کل برای دو حالت وضع موجود و بهینه نشان می دهد. با توجه به روند نمودارها، وضع موجود و بهینه به طور تقریبی ثبات هزینه کل را با افزایش تعداد مراکز خوشه بندی مشاهده می کنیم. جدول (۶) نیز نشانگر درصد تغییرات هزینه کل در دو حالت موجود و بهینه با تغییر تعداد مراکز است. با توجه به نتایج به دست آمده در جدول (۷)، می توان پیش بینی کرد که هزینه کل با لحاظ کل شهرهای انتخاب شده (۴۲۹ شهرستان) به عنوان مشتری و در نظر نگرفتن خوشه بندی، به طور متوسط با کاهش ۳۷٪ روبه رو شود.



شکل ۲۱- تأثیر تعداد خوشه بندی بر هزینه کل در وضع موجود و بهینه

Fig.21 – Impact of number of clusters on total cost in current and optimal modes

جدول ۷- تغییرات هزینه کل با توجه به تعداد خوشه ها در وضع موجود و بهینه

Table 7 – Percentage change of total cost according to the number of clusters for both current and optimal status modes

تغییرات تعداد خوشه	وضع موجود	توزیع بهینه
۳۰-۵۰	↓ ۰/۰۱٪	↓ ۰/۲۰٪
۵۰-۷۰	↑ ۰/۶۶٪	↓ ۳/۴۶٪
۷۰-۱۰۰	↑ ۰/۱۱٪	↑ ۴/۵۸٪

جدول ۸- تغییرات هزینه کل در حالت بهینه نسبت به وضع موجود به ازای تغییر در تعداد مراکز

Table 8 –Changes in total cost due to change in clustering category for optimal state compared to the current

تعداد خوشه بندی	درصد تغییرات هزینه کل در حالت بهینه
۳۰	۳۵/۸۶ ↓
۵۰	۳۵/۹۹ ↓
۷۰	۳۸/۶۱ ↓
۱۰۰	۳۵/۸۶ ↓

براساس جدول (۸)، به طور متوسط به ازای افزایش هر یک مرکز، ۳۲/۱ ثانیه بر زمان حل اضافه می شود. با توجه به کل مشتریان در نظر گرفته شده برای مسئله مدنظر، به طور متوسط ۱۳۷۷۰/۹ ثانیه زمان حل لازم خواهد بود. با توجه به ناچیز بودن تغییرات هزینه ای در ازای افزایش تعداد خوشه ها، صرف زمان بیشتر به دلیل تأثیرنداشتن در دقت ضروری به نظر نمی رسد. موضوع شایان ذکر پایانی این است که در مدل پیشنهادی، هزینه توزیع کل داروهای شرکت ارزیابی و بررسی شده است؛ در صورتی که در دیگر مقالات بر توزیع یک یا تعداد کمی دارو اشاره شده است (جوبیان و همکاران، ۱۳۹۷). درضمن در این پژوهش ۴۲۹ مشتری انتخاب شد، اما در مقاله (رضائی و همکاران، ۱۳۹۶) مسئله با تک مشتری مدل شده است.

جدول ۹- زمان حل براساس تعداد خوشه ها

Table 9 - Solution time trends based on the number of clustering centers

تعداد خوشه	زمان حل
۳۰	۳۶۰۲/۰۶
۵۰	۳۷۷۵/۵۵
۷۰	۴۷۹۱/۹۶
۱۰۰	۵۸۴۹/۲۹

با توجه به نتایج حاصل از این مدل، می توان نقاط بهینه احداث شعب در شرایط ذکر شده را در مسئله به مدیران شرکت آدوراطب توصیه کرد. بدیهی است با توجه به هزینه های صورت گرفته برای احداث شعب، مدیران می توانند از مجموعه شعب موجود مواردی را که فاصله زیادی تا شعب بهینه پیشنهادی دارند در فهرست شعب با ضرورت فعالیت پایین در نظر بگیرند. همچنین این مقاله را می توان در محورهای زیر مجدداً توسعه داد:

- در نظر گرفتن امکان احداث شعب صرفاً در مکان های موجود؛
- در نظر گرفتن الزام حداقل تعداد شعب مبتنی بر مقررات وزارت بهداشت؛
- در نظر گرفتن موجودی در مسئله؛
- اضافه کردن محصولات غیردارویی شرکت.

۸- نتیجه گیری

در این مقاله مسئله طراحی شبکه توزیع شرکت های پخش دارویی درخور توجه قرار گرفت که در آن مطابق با شرایط واقعی، مکان تأمین کنندگان و مشتریان پخش مشخص است و قرارداد بین شرکت پخش و تأمین کنندگان نیز لحاظ می شود. به منظور اعتبارسنجی مدل از داده های واقعی شامل همه اقلام دارویی توزیع شده شرکت پخش سراسری آدوراطب، فواصل واقعی بین تسهیلات مبتنی بر نقشه های زمینی و تعیین تقاضای داروها مبتنی بر آمار واقعی فروش شرکت استفاده شد. در ادامه با توجه به ساختار مسئله، ابتدا آن را به یک مسئله اصلی و چندین زیرمسئله تجزیه و سپس به کمک الگوریتم ژنتیک دوسطحی آن را حل کردیم. سطح اول، مسئله اصلی و سطح دوم زیرمسئله ها را حل می کند. از کدینگ مبتنی بر اولویت در سطح دوم برای مهار محدودیت های تعادلی استفاده شد. همچنین از خوشه بندی برای ادغام مشتریان و کاهش ابعاد مسئله برای حل پذیری استفاده شد. نتایج به دست آمده برای شرکت پخش آدوراطب، از کاهش ۳۶ درصدی هزینه زنجیره در ساختار بهینه نسبت به وضع موجود حکایت دارد. حساسیت سنجی مدل بر تعداد خوشه ها نشان داد تغییرات هزینه ای برای تعداد خوشه های مختلف ناچیز است (در حد ۱٪)، اما زمان حل مسئله به سرعت افزایش می یابد. پیشنهاد می شود هزینه موجودی نیز در بررسی های بعدی درخور توجه قرار گیرد.

References

- Abedini, A., Irani, H. R., & Yazdani, H. R. (2019). Identify and prioritize the critical success factors in pharmaceutical supply chain and distribution using the DEMATEL Technique. *Journal of Payavard Salamat*, 13(1), 45-59 (in pershian).
- Ahmadi, A., Mousazadeh, M., Torabi, S. Ali., Pishvae, M. S. (2018). OR applications in pharmaceutical supply chain management. In *operations research application in health care management* (pp. 461–491). Springer, Cham.
- Atabaki, M., & Mohammadi, M. (2018). A Priority-Based Differential Evolution Algorithm for redesigning a closed-loop supply chain using robust fuzzy optimization. *Sharif Journal of Industrial Engineering & Management*, 34.1(1.1), 95-111(in pershian). doi: 10.24200/j65.2018.5547
- Ahmad, F., Alnowibet, K. A., Alrasheedi, A. F., & Adhami, A. Y. (2022). A multi-objective model for optimizing the socio-economic performance of a pharmaceutical supply chain. *Socio-Economic Planning Sciences*, 79, 101126.
- Babaveisi, V., Paydar, M. M., & Safaei, A. S. (2018). Optimizing a multi-product closed-loop supply chain using NSGA-II, MOSA, and MOPSO meta-heuristic algorithms. *Journal of industrial Engineering international*, 14(2), 305-326.
- Deb, K. (2001). *Multi-objective optimization using evolutionary algorithms (1st ed)*. John Wiley & Sons.
- Davis, P. S., & Ray, T. L. (1969). A branch-bound algorithm for the capacitated facilities location problem. *Naval Research Logistics Quarterly*, 16(3), 331-344.
- Eskandari, L., Jafarian, A., Rahimloo, P., & Baleanu, D. (2019). A Modified and Enhanced Ant Colony Optimization Algorithm for Traveling Salesman Problem. *Mathematical methods in engineering* (pp. 257-265). Springer, cham.
- Fatemi, M. S., Ghodratinama, A., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Kaboli, A. (2022). A multi-functional tri-objective mathematical model for the pharmaceutical supply chain considering congestion of drugs in factories. *Research in Transportation Economics*, 92, 101094.
- Franco, C., & Alfonso-Lizarazo, E. (2020). Optimization under uncertainty of the pharmaceutical supply chain in hospitals. *Computers & Chemical Engineering*, 135, 106689.
- Gen, M., Altıparmak, F., & Lin, L. (2006). A genetic algorithm for two-stage transportation problem using priority-based encoding. *OR spectrum*, 28(3), 337-354.

- Goodarzian, F., Hosseini-Nasab, H., Muñuzuri, J., & Fakhrazad, M. B. (2020). A multi-objective pharmaceutical supply chain network based on a robust fuzzy model: A comparison of meta-heuristics. *Applied soft computing*, 92, 106331.
- Goodarzian, F., Kumar, V., & Ghasemi, P. (2021). A set of efficient heuristics and meta-heuristics to solve a multi-objective pharmaceutical supply chain network. *Computers & Industrial Engineering*, 158, 107389.
- Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2012). *Data mining: Concepts and techniques, third edition (3rded.)*. Morgan Kaufmann Publishers.
- Jabbedari, M. M., Karami, J., & Sarkargar Ardekani, A. (2016). The location analysis of the local pharmacies by the multi criteria decision-making AHP-Fuzzy method (case study IRAN-SHIRAZ). *Journal of Fasa University of Medical Sciences*, 6(1), 19-26 (in pershian).
- Jafarnejad, A., Mahmodi, M. (2015). *Sustainable supply chain*. Tehran: nashre ketab mehraban.
- 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). *Journal of Production and Operations Management*, 10(1), 133-153 (in pershian).
- Jouyban, F., Yousefi, M., & Neyshaboori, E. (2018). Presenting a bi objective stochastic pharmaceutical supply chain model considering time and cost. *Journal of industrial Management*, 13(44), 15-28.
- Kalantari, M., & Pishvaei, 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 pershian).
- Musazadeh, A., & Sahraeian, R. (2017). Modeling and design of bi-objective drug supply chain network, 10th International Conference of Iran Operations Research Association, Babolsar, Iran, <https://civilica.com/doc/767097> (in pershian).
- Nory, F., & Ghahremani Nahr, J. (2019). Robust-possibilistic optimization method at design of a pharmaceutical supply chain network under uncertainty and discount on purchase the raw material. *Journal of Modeling in Engineering*, 17(58), 249-266 (in pershian).
- Rasti Barzoki, M., & Raeisi, S. (2016). Comparison of the Effect of Various Types of Genetic Algorithm Operators on the Total Amount of Tardiness in Flow Shop Problem. *Engineering Management and Soft Computing*, 2(2), 49-65 (in pershian).
- Razaei, S. R., Hejazi, S. R., & Rasti Barzoki, M. (2018). An ant colony optimization for an Integrated Production and Distribution Scheduling Model in Supply Chains: Minimizing Total Weighted Tardiness and Delivery Cost. *Journal of Production and Operations Management* 8, no, 2, 61-82 (in pershian).
- Rezaeenour, J., Hashempoor, 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 pershian).
- Roshan, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Rahimi, Y. (2019). A two-stage approach to agile pharmaceutical supply chain management with product substitutability in crises. *Computers & Chemical Engineering*, 127, 200-217.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., Simchi-Levi, E., & Shankar, R. (2008). *Designing and managing the supply chain: concepts, strategies and case studies*. Tata McGraw-Hill Education.
- Tat, R., Heydari, J., & Rabbani, M. (2020). A mathematical model for pharmaceutical supply chain coordination: Reselling medicines in an alternative market. *Journal of cleaner production*, 268, 121897.
- Tat, R., Heydari, J., & Rabbani, M. (2021). Corporate social responsibility in the pharmaceutical supply chain: An optimized medicine donation scheme. *Computers & Industrial Engineering*, 152, 107022.
- Tucker, E. L., & Daskin, M. S. (2022). Pharmaceutical Supply Chain Reliability and Effects on Drug Shortages. *Computers & Industrial Engineering*, 108258.
- Umbarkar, A. J., & Sheth, P. D. (2015). Crossover operators in genetic algorithms: a review. *ICTACT Journal on Soft Computing*, 06 (01), 1083–1092. <https://doi.org/10.21917/ijsc.2015.0150>

پیوست

CHLORDIAZEPOXIDE 10MG TAB	ADULT COLD TAB	VALPROATE SODIUM 500MG SR TAB
CHLORDIAZEPOXIDE 5MG TAB	ALPRAZOLAM 0.5MG TAB	VENLAFAXINE 37.5MG EXTENDED RELEASE CAP
CITALOPRAM HBR 20MG FC TAB	ALPRAZOLAM 1MG TAB	VALPROATE SODIUM 200MG/5ML 120ML SYRUP
CITALOPRAM HBR 40MG FC TAB	AMOXICILLIN 500MG CAP	VENLAFAXINE 75MG EXTENDED RELEASE CAP
CLARITHROMYCIN 500MG TAB	APREPITANT 125MG CAP	METHOTREXATE SODIUM 1000MG/10ML VIAL
CYTARABINE 100MG/5ML VIAL	ATORVASTATIN 10MG TAB	METHOTREXATE SODIUM 10MG/ML INJ
DOXORUBICIN 2MG/ML 25ML VIAL	ATORVASTATIN 20MG TAB	METHOTREXATE SODIUM 15MG/1.5ML INJ
DOXORUBICIN 2MG/ML 5ML VIAL	ATORVASTATIN 40MG TAB	METHOTREXATE SODIUM 2.5MG TAB
ENALAPRIL MALEATE 20MG TAB	BORTEZOMIB 3.5MG INJ	METHOTREXATE SODIUM 20MG/2ML INJ
ENALAPRIL MALEATE 5MG TAB	BOSENTAN 125MG TAB	METHOTREXATE SODIUM 50MG/5ML AMP
GEMCITABINE 200MG/20ML VIAL	BUPROPION 75MG TAB	METHOTREXATE SODIUM 5MG/ML AMP
FLUOROURACIL 1G/20ML AMP	BUPROPION SR 150MG TAB	METHOTREXATE SODIUM 7.5MG/0.75ML INJ
LEVODOPA-B 250 FORTE TAB	BUSULFAN 6MG/ML AMP	ACETAMINOPHEN 120MG/5ML 120ML SOLUTION
LOSARTAN POTASSIUM 25MG TAB	CABAZITAXEL 60MG INJ	ACETAMINOPHEN 150MG/ML 6.7ML VIAL
LOSARTAN POTASSIUM 50MG TAB	CARBOPLATIN 150MG VIAL	ACETAMINOPHEN/CAFFEINE 500/65MG TAB
METFORMIN HCL 1000MG TAB	CARBOPLATIN 50MG VIAL	LEVETIRACETAM 500MG/5ML ORAL SOLUTION
SOLIFENACIN 10MG TAB	CARVEDILOL 12.5MG TAB	SUMATRIPTAN SUCCINATE 50MG FC TAB
SOLIFENACIN 5MG TAB	CARVEDILOL 25MG TAB	MEGLUMINE GADOTERATE 377MG/ML 10ML VIAL
TAMSULOSIN 0.4MG CAP	CARVEDILOL 6.25MG TAB	MEGLUMINE GADOTERATE 377MG/ML 15ML VIAL
TEICoplanin 200MG VIAL	CEFALEXIN 500MG CAP	BUDESONIDE 0.5MG/2ML NEBULISING SUSPENSION
TEICoplanin 400MG VIAL	CELECOXIB 100MG CAP	BUDESONIDE 200MCG/DOSE 200DOSE INHALER
TEMOZOLAMIDE 100MG CAP	CELECOXIB 200MG CAP	BUDESONIDE 400MCG/DOSE 100DOSE INHALATION POWDER
TEMOZOLAMIDE 20MG CAP	CETIRIZINE 2HCL 10MG TAB	BUDESONIDE 64MCG NASAL SPRAY
TEMOZOLAMIDE 250MG CAP	CINACALCET 30MG TAB	BUDESONIDE FORMOTEROL 160/4.5MCG 60DOSE INHALER
TEMOZOLAMIDE 5MG CAP	CINACALCET 60MG TAB	BUDESONIDE FORMOTEROL 320/9MCG INHALER
THALIDOMIDE 100MG TAB	CLIDINIUM C TAB	BUPIVACAINE HCL 0.5% 4ML SPINAL INJ
THEOPHYLLINE 200MG RET TAB	CLOBAZAM 10MG TAB	CETIRIZINE 2HCL 5MG/5ML 60ML SYRUP
THIOPENTAL SODIUM 1G VIAL	CLOPIDOGREL 75MG TAB	CYPROHEPTADINE 2MG/5ML ORAL SOLUTION
THIOPENTAL SODIUM 500MG VIAL	CLOZAPINE 25MG TAB	DACLATASVIR/SOFOSBUVIR TABLET ORAL 60 mg/400 mg
TRASTUZUMAB 150MG VIAL	CYTARABINE 1G VIAL	DIMETHYL FUMARATE 120MG CAP
TRASTUZUMAB 400MG VIAL	DOCETAXEL 20MG VIAL	DIMETHYL FUMARATE 240MG CAP
VALACICLOVIR 1000MG TAB	DOCETAXEL 80MG VIAL	FLUTICASONE 125MCG/DOSE 120DOSE SPRAY
VALACICLOVIR 500MG TAB	DULOXETINE 20MG CAP	FLUTICASONE 250MCG/DOSE 120DOSE SPRAY
VALGANCICLOVIR 450MG TAB	DULOXETINE 30MG CAP	FLUVOXAMINE MALEATE 100MG TAB
VALPROATE SODIUM 200MG TAB	DULOXETINE 60MG CAP	FLUVOXAMINE MALEATE 50MG TAB
VALPROATE SODIUM 400MG INJ	EPIRUBICIN HCL 10MG VIAL	GOSERELIN ACETATE 10.8MG SYRINGE
VENLAFAXINE 37.5MG TAB	EPIRUBICIN HCL 50MG VIAL	GOSERELIN ACETATE 3.6MG AMP
VENLAFAXINE 75MG TAB	ERLOTINIB 150MG TAB	GRANISETRON HCL 3MG/3ML VIAL
VIGABATRIN 500MG FC TAB	ESCITALOPRAM 10MG TAB	HYOSCINE-N-BUTYL BROMIDE 20MG/1ML AMP
VINORELBINE 10MG/1ML VIAL	ESOMEPRAZOLE 20MG CAP	INSULIN GLULISINE 300IU/3ML VIAL
VINORELBINE 20MG CAP	ESOMEPRAZOLE 40MG CAP	INSULIN GLARGINE 300IU/3ML PREFILLED PEN
VINORELBINE 30MG CAP	ETHIODIZED OIL 10 ML AMP	IRON SUCROSE 20 MGFE/ML 5ML AMP
VINORELBINE 50MG/5ML VIAL	ETOPOSIDE 100MG/5ML AMP	KETOTIFEN FUMARATE 1MG/5ML 120ML SYRUP
ZAFIRLUKAST 20MG TAB	EVEROLIMUS 5MG TAB	LEDIPASVIR/SOFOSBUVIR 90/400MG TAB
ZOLPIDEM 10MG TAB	EXPECTORANT 60ML SYRUP	QUETIAPINE 150MG EXTENDED RELEASE TAB
INTERFERON B 1A 30 MCG VIAL	FENOFENADINE 120MG TAB	QUETIAPINE 200MG EXTENDED RELEASE TAB
LEVOFLOXACIN 500MG TAB	FENOFENADINE 180MG TAB	QUETIAPINE 300MG EXTENDED RELEASE TAB
LEVOFLOXACIN 750MG TAB	FENOFENADINE 30MG TAB	QUETIAPINE 50MG EXTENDED RELEASE TAB
LINEZOLID 600MG TAB	FLUOXETINE HCL 10MG CAP	RANITIDINE 75MG/5ML 240ML SYRUP
LISINAPRIL 10MG TAB	FLUOXETINE HCL 20MG CAP	DOMPERIDONE MALEATE 10MG TAB
LISINAPRIL 20MG TAB	GABAPENTIN 100MG CAP	ENOXAPARIN 100MG/ML (4,000 U) 0.4ML SYRINGE
LISINAPRIL 5MG TAB	GABAPENTIN 300MG CAP	ENOXAPARIN 100MG/ML (6,000 U) 0.6ML SYRINGE
LORATADINE 10MG TAB	GANCICLOVIR 500MG VIAL	FERRIC CARBOXYMALTOSIDE 500MG/10ML VIAL
PEMETREXED 100MG VIAL	GEMCITABINE HCL 1 G VIAL	FLUDARABINE PHOSPHATE 50MG VIAL
PEMETREXED 500MG VIAL	GEMFIBROZIL 300MG CAP	ALBUMIN (HUMAN) 20% 50ML VIAL
PLERIXAFOR 24ML/1.2ML VIAL	GEMFIBROZIL 450MG TAB	ALENDRONATE SODIUM 70MG TAB
PRAMIPEXOLE 0.18MG TAB	GLICLAZIDE 80MG TAB	AMIODARONE HCL 150MG/3ML AMP
PROPRANOLOL HCL 10MG TAB	GLICLAZIDE SR 30MG TAB	AMLODIPINE/VALSARTAN 10/160MG TAB
PROPRANOLOL HCL 20MG TAB	RIVAROXABAN 10MG TAB	AMLODIPINE/VALSARTAN 5/160MG TAB
ROSUVASTATIN CALCIUM 10MG TAB	RIVAROXABAN 15MG TAB	AMLODIPINE/VALSARTAN 5/80MG TAB
ROSUVASTATIN CALCIUM 20MG TAB	RIVAROXABAN 20MG TAB	ANTIHISTAMINE DECONGESTANT TAB
ROSUVASTATIN CALCIUM 40MG TAB	RILUZOLE 50MG TAB	ANTITHYMOCYTE IMMUNOGLOBULIN 25MG/ML AMP
ROSUVASTATIN CALCIUM 5MG TAB	RASBURICASE 1.5MG VIAL	BUSERELIN ACETATE 5.5MG/5.5ML VIAL
IBUPROFEN LYSINE 684MG TAB	PRAMIPEXOLE 0.7MG TAB	CALCIUM DOBESILATE 500MG CAP
OMEPRAZOLE 20MG CAP	LORAZEPAM 1MG TAB	ATROPINE SULFATE 0.5MG/1ML AMP
OXALIPLATIN 100MG VIAL	LORAZEPAM 2MG TAB	AZITHROMYCIN DIHYDRATE 250MG CAP
OXALIPLATIN 50MG VIAL	SITAGLIPTIN 100MG TAB	BEVACIZUMAB 100MG/4ML VIAL
PACLITAXEL 150MG/25ML VIAL	SITAGLIPTIN 50MG TAB	BEVACIZUMAB 400MG/16ML VIAL
PACLITAXEL 300MG/50ML VIAL	SEVELAMER 800MG TAB	BISOPROLOL FUMARATE 10MG TAB
PANTOPRAZOLE 20MG TAB	SERTRALINE HCL 100MG TAB	BISOPROLOL FUMARATE 2.5MG TAB
PANTOPRAZOLE 40MG CAP	SERTRALINE HCL 50MG TAB	BISOPROLOL FUMARATE 5MG TAB
PEDIATRIC GRIPPE 120ML SYRUP	NAPROXEN 500MG TAB	BROMOCRIPTINE MESYLATE 2.5MG TAB
SEVELAMER HCL 2.4G SACHE	NATALIZUMAB 300 AMP	VALGANCICLOVIR 250MG/5ML SYRUP
METFORMIN HCL 500MG TAB	NORTRIPTYLINE HCL 10MG TAB	MONTELUKAST SODIUM 5MG CHEWABLE TAB
METRONIDAZOLE 250MG TAB	NORTRIPTYLINE HCL 25MG TAB	MITOXANTRONE HCL 20MG/10ML VIAL
MIDAZOLAM HCL 15MG/3ML AMP	LANSOPRAZOLE 15MG CAP	SITAGLIPTIN/METFORMIN 50/1000MG TAB
MIGLUSTAT CAPSULE ORAL 100 mg	LANSOPRAZOLE 30MG CAP	SITAGLIPTIN/METFORMIN 50/500MG TAB
MILRINONE LACTATE 10MG/10ML INJ	LEVETIRACETAM 1000MG TAB	RIZATRIPTAN 10MG ORALLY DISINTEGRATING TAB
MONTELUKAST SODIUM 10MG TAB	LEVETIRACETAM 250MG TAB	SALMETEROL+FLUTICASONE 25/125MIC INHALER
	LEVETIRACETAM 500MG TAB	SALMETEROL+FLUTICASONE 25/250MIC INHALER

- 1 Drug
- 2 Supply Chain
- 3 Simchi-Levi
- 4 Sparsity
- 5 Gen & Cheng