



Production and Operations Management
University of Isfahan E-ISSN: 2423-6950
Vol. 14, Issue 1, No. 32, Spring 2023



<https://doi.org/10.22108/pom.2023.135574.1476>

(Research paper)

Modelling a routing-location-inventory problem in the sustainable poultry and livestock medicine supply chain under uncertainty, considering discount

Sara Zeinodin zadeh *

Department of Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran, zzeinodin@yahoo.com

Magsoud Amiri

Department of Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran, amiri@atu.ac.ir

Laya Olfat

Department of Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran, layaolfat@gmail.com

Mir Saman Pishvae

Department of Intelligent Systems Engineering, Faculty of Industrial Engineering, Science and Technology University, Tehran, Iran, pishvae@iust.ac.ir

Purpose: The supply chain management of an organization has a critical role in its success. In the past decades, competition between companies has transformed into the competition between their supply chains. Due to food safety and health concerns in today's society, livestock and poultry medicines are produced and distributed for prevention and treatment. The use of vaccines and timely access to appropriate drugs can reduce disease outbreaks and increase productivity in livestock and poultry industries. The key to success in this matter lies in having an effective and efficient pharmaceutical supply chain. A two-level supply chain of livestock and poultry medicine has been examined in this study. Also, three levels of decisions in the supply chain problem have been considered in this study. The strategic level involves location decisions; the tactical level involves inventory management; and the operational level involves routing. The possibility of drug expiration has been taken into account and sustainability has been also considered due to the drug disposal effects and transportation on the environment. The demand in this network has been assumed to be

* Corresponding author



non-deterministic. Furthermore, quantitative and time-dependent discounts have been considered simultaneously to control the inventory by changing the customers' behaviour.

Design/methodology/approach: Three dimensions of sustainability have been optimized by utilizing three objective functions, including minimization and maximization. The economic aspect of a sustainable supply chain is taken into account by minimizing costs. Holding cost, shortage cost, expiration cost, transportation cost, and fixed opening cost have been considered in this study. The focus of the social dimension has been on creating job opportunities and reducing life risks during transportation. Air pollution and greenhouse gas emissions have been considered as the third objective. Robust optimization has been applied to cope with uncertainty. Two meta-heuristic algorithms have been applied to solve the model which has been explained in detail in this paper.

Findings: A robust counterpart of the multi-objective model presented in this paper was solved by epsilon constraint in CPLEX and by two metaheuristic algorithms, NSGA-II and PBMOA in the larger size model. The Taguchi settings were applied to both algorithms, and each algorithm was run 20 times with its parameters adjusted to compare efficiency. After comparing 20 executions of the two algorithms using four criteria, it was found that the NSGA-II algorithm performed better. However, there was no significant difference in such an advantage. In addition, the results of the algorithms were compared under deterministic and non-deterministic conditions. In deterministic conditions, objective functions were better, as expected.

Practical implications: In this research, a method was proposed to manufacturing companies to plan and make decisions such as distribution locations, appropriate discounts and determining the optimal route. Before this study, in the distribution chain company, only costs and profitability were considered, while according to the concerns of this company, sustainability issues were considered for the first time. Because in this research, location and routing were both considered, social and environmental issues were examined, which are directly related to the issues. Also, before this research, the uncertainty in demand was not considered, which imposed costs on the company. However, by considering the uncertainty, the profit and cost got closer to reality and made the research more practical.

Social implications: Since in this paper, the social dimension of the sustainable supply chain was considered as a job opportunity and life risk issue, it seems that this research has a significant social impact.

Originality/value: According to the literature, this research ensured the three levels of decision-making in the supply chain, i.e. strategic, tactical, and operational, in terms of location, inventory, and routing. Also, the uncertainty of the supply chain was taken into account, and the expiration of the medicine was considered. Both time-dependent and quantity discounts were considered in the model and all three dimensions of a sustainable supply chain were taken into account.

Keywords: Livestock and poultry medicine, Multi-objective, Sustainable supply chain, Metaheuristic algorithms, Robust optimization, Uncertainty



مدیریت تولید و عملیات، دوره ۱۴، شماره ۱، پیاپی ۳۲، بهار ۱۴۰۲

دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۵ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۸ ص ۳۹-۶۳



<https://doi.org/10.22108/pom.2023.135574.1476>

(مقاله پژوهشی)

مدل‌سازی مسئله مسیریابی - مکان‌یابی - موجودی در زنجیره توزیع پایدار داروی دام و طیور در شرایط عدم اطمینان با در نظر گرفتن تخفیف

سارا زین الدین زاده^۱، مقصود امیری^{۲*}، لعیا الفت^۳، میرسامان پیشوایی^۴

- ۱- دانشجوی دکتری گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران، zzeinodin@yahoo.com
- ۲- استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران، amiri@atu.ac.ir
- ۳- استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران، layaolfat@gmail.com
- ۴- دانشیار گروه مهندسی سیستم‌های هوشمند، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران، pishvae@iust.ac.ir

چکیده: در دنیای رقابتی امروز، مدیریت زنجیره تأمین، برای کاهش هزینه‌ها، بهبود سطح سرویس به مشتری و دستیابی به تعادلی مناسب بین هزینه‌ها و سرویس‌ها، به‌عنوان امری حیاتی جلوه می‌کند. ماهیت پیچیده و پویای روابط بین واحدهای مختلف، عدم قطعیتی را به شبکه تحمیل می‌کند که این عدم قطعیت می‌تواند باعث کاهش اثربخشی شبکه شود. زنجیره توزیع دارو به‌عنوان بخشی از زنجیره تأمین دارو نیز، در محیطی نامطمئن فعالیت می‌کند. از طرفی همراه با بالارفتن آگاهی نسبت به پایداری، سیاست‌های دولتی و رشد آگاهی جامعه، عملکرد پایدار، بخش مهمی از استراتژی سازمان‌ها شده است. هدف این تحقیق، ارائه مدلی جدید برای شبکه پایدار توزیع داروی دام و طیور در شرایط غیرقطعی است. توابع هدف در این تحقیق، ابعاد پایداری را در نظر می‌گیرد، به این صورت که تابع اول بعد اقتصادی، تابع دوم بعد اجتماعی و در نهایت تابع سوم، بعد زیست‌محیطی را بررسی می‌کند. با توجه به وجود پارامتر غیرقطعی در مدل، از بهینه‌سازی استوار استفاده می‌شود. پس از طراحی مدل، به‌منظور اعتبارسنجی مدل ارائه‌شده با استفاده از داده‌های مربوط به شرکت، توزیع داروی دام و طیور انجام می‌شود. به این صورت که همتای استوار مدل سه هدفه توسط محدودیت اپسیلون با استفاده از نرم‌افزار *CPLEX* حل و همچنین مدل با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری در سه سائز اجرا می‌شود. دو الگوریتم *NSGA-II* و *PBMOSA* در چهار معیار، با یکدیگر مقایسه شده است که نتایج نشان می‌دهد دو الگوریتم در سطح محافظه‌کاری کمتر، عملکردی مشابه دارند، ولی در سطح محافظه‌کاری بیشتر، برتری الگوریتم *NSGA-II* نتیجه می‌شود، همچنین نتایج مدل در شرایط قطعی و غیرقطعی مقایسه و بهتر بودن مقادیر تابع هدف در شرایط قطعی ثابت می‌شود.

واژه‌های کلیدی: داروی دام و طیور، مدل‌سازی چندهدفه، زنجیره تأمین پایدار، الگوریتم‌های فراابتکاری، بهینه‌سازی استوار، عدم اطمینان



۱- مقدمه

تأمین امنیت غذایی و بهداشت، یکی از دغدغه‌های مهم سلامت جامعه امروز است که نیازمند اقدامات پیشگیرانه و تشخیصی در راستای حفظ و صیانت از سرمایه‌های دامی کشور است و به‌عنوان رکن اصلی تأمین منبع غذایی عموم مردم قلمداد می‌شود. دام و طیور بخش اعظمی از غذای مفید جوامع را تأمین می‌کند و نیاز ۱۲ درصد جمعیت جهان، به تولیدات دامی وابسته است. ^۱ FOA میانگین رشد تقاضای سالانه را طی سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۰، برای گوشت ۳/۷٪، برای شیر ۳/۱٪ و برای تخم مرغ ۴/۳٪ برآورد کرده است. علاوه بر نقش مهم صنعت دام و طیور در تأمین مواد غذایی، تأثیر چشمگیری نیز بر توانمندسازی و کاهش فقر جوامع می‌گذارد. در کشورهایی با درآمد کم تا متوسط، تولیدات دام و طیور، کمک می‌کند این جوامع تا حدودی همگام با توسعه جهانی حرکت کنند (هنسی^۲ و همکاران، ۲۰۲۰).

در ایران نیز به تازگی محصولات خام و آماده مصرف دام و طیور، به دلیل ارزش غذایی بالا و کیفیت مناسب پروتئین، محبوبیت زیادی را کسب کرده‌اند؛ ولی مسئله‌ای که باید در صنعت دام و طیور به آن توجه کرد، امکان افزایش بیماری‌ها در نگهداری صنعتی دام و طیور در ابعاد وسیع و به صورت فشرده است، این گونه بیماری‌ها نه تنها می‌تواند تولیدات دام و طیور را محدود کند، بر سلامت جامعه نیز اثر می‌گذارد (فاضلی‌نسب^۳ و همکاران، ۱۳۹۴). واکسیناسیون و دسترسی به موقع به داروهای مناسب، بر کاهش بیماری‌ها و افزایش بهره‌وری صنعت دام و طیور اثرگذار است. می‌توان اذعان کرد، داشتن زنجیره توزیع دارو مؤثر و کارا، به‌عنوان بخشی از زنجیره تأمین، کلید اصلی موفقیت در این راستاست. مدیریت زنجیره تأمین، نقش مهمی در موفقیت یا شکست سازمان دارد. بسیاری از صاحب‌نظران معتقدند که رقابت بین سازمان‌ها و شرکت‌ها در دهه‌های گذشته، به رقابت میان زنجیره‌های تأمین در عصر حاضر تبدیل شده است.

در این تحقیق، زنجیره توزیع دارو دام و طیور در سه سطح استراتژیک در قالب تصمیمات مکان‌یابی، سطح تاکتیکی برای مدیریت موجودی و سطح عملیاتی در قالب مسئله مسیریابی در نظر گرفته می‌شود. در مدل‌سازی مربوط به تصمیمات این سه سطح، فسادپذیری دارو مدنظر قرار می‌گیرد و با توجه به تأثیراتی که حمل‌ونقل بر محیط‌زیست می‌گذارد و مسائل اجتماعی زنجیره توزیع، ابعاد پایداری نیز در نظر گرفته می‌شود. در این شبکه، تقاضا غیرقطعی در نظر گرفته می‌شود. از طرفی برای کنترل میزان موجودی از طریق تغییر رفتار مشتری، تخفیفات مقداری و زمانی، هم‌زمان به کار گرفته می‌شود.

۲- مبانی نظری و پیشینه تحقیق

مدیریت زنجیره تأمین، هماهنگ‌کننده فعالیت‌های اصلی و کلیدی بین تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، مراکز توزیع و خرده‌فروشان، برای بهبود جریان کالا، خدمات و اطلاعات از تأمین‌کننده تا مشتری نهایی است. هدف اصلی مدیریت زنجیره تأمین در این راستا، کاهش هزینه و ارائه سطحی پذیرفتنی از کیفیت خدمات است (سو و یانگ^۴، ۲۰۱۰). در سطحی بالاتر، مدیریت زنجیره تأمین پایدار را می‌توان، توانایی برآورد انتظارات اقتصادی، محیطی و اجتماعی در درازمدت و به‌طور هم‌زمان تعریف کرد (فریتز^۵ و همکاران، ۲۰۲۱).

تحقیقات نزدیک به موضوع مورد مطالعه این پژوهش را می‌توانیم به موضوعاتی دسته‌بندی کنیم که مشخصاً زنجیره تأمین دارو را در شرایط قطعی و غیرقطعی، در نظر می‌گیرند. همچنین مسئله مکان‌یابی-مسیریابی و

موجودی را نیز می‌توانیم با و بدون در نظر گرفتن پایداری و در نهایت استفاده از رویکرد بهینه‌سازی استوار در شرایط غیرقطعی تقسیم کنیم.

اگر بخواهیم پژوهش‌هایی را بررسی کنیم که مشخصاً زنجیره تأمین دارو را مطالعه کرده‌اند، می‌توانیم به تحقیق کله^۶ و همکاران (۲۰۱۲) و همچنین استکا^۷ و همکاران (۲۰۱۶) اشاره کنیم که در این مطالعات، مسئله موجودی در دو سطح و در داروخانه بیمارستان مدلسازی می‌شود. تات و همکاران^۸ (۲۰۲۰) نیز مسئله هماهنگی را در زنجیره تأمین دارو مدلسازی کردند. در تمامی این تحقیقات، مسئله عدم قطعیت در نظر گرفته نشده است. برخلاف تحقیقات قبل، در پژوهش‌های سوادکوهی^۹ و همکاران (۲۰۱۸)، مارتین^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۷) و قهرمانی‌نهر^{۱۱} و همکاران (۲۰۱۸)، زنجیره تأمین دارویی با توجه به عدم قطعیت در تقاضا در نظر گرفته شده است. زهیری^{۱۲} و همکاران (۲۰۱۷) نیز مسئله موجودی و مکان‌یابی را در زنجیره تأمین دارو، در شرایط عدم قطعیت مدنظر قرار داده‌اند، با این تفاوت که در این تحقیق، جایگزینی داروها مجاز است و همچنین مسئله تخفیف نیز در مدل لحاظ می‌شود.

درباره مسائل مربوط به مکان‌یابی- مسیریابی و موجودی، تحقیقاتی انجام شده و در برخی از این تحقیقات، مسائل زیست‌محیطی و گاهی ابعاد پایداری مدنظر قرار گرفته است؛ به‌طور مثال، رفیعی مجد^{۱۳} و همکاران (۲۰۱۸) و نکوغدیرلی و همکاران^{۱۴} (۲۰۱۴)، مسئله موجودی- مکان‌یابی و مسیریابی را در شرایط عدم قطعیت بررسی کردند. در تحقیق نکوغدیرلی و همکاران، علاوه بر تقاضای غیرقطعی، دسترس‌پذیری به مسیرهای مختلف هم حالتی تصادفی دارد.

ژاله چین^{۱۵} و همکاران (۲۰۱۶)، مسئله موجودی- مکان‌یابی و مسیریابی را در یک زنجیره تأمین پایدار مدنظر قرار دادند. در این تحقیق فاکتور محیطی مصرف بنزین و تصاعد گاز CO₂ است. فاکتور اجتماعی نرخ استخدام و بهبود وضعیت اقتصادی جامعه نیز در نظر گرفته شده است. بیوکی^{۱۶} و همکاران (۲۰۲۰)، مدلی را برای مسئله موجودی، مسیریابی و مکان‌یابی معرفی کردند. در بعد زیست‌محیطی، شاخص‌های مصرف منابع، ایجاد آلودگی، مصرف انرژی تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر و مدیریت ضایعات اند و در بعد سوم، موقعیت کارکنان، حقوق بشر، تعداد کارکنان و رضایت مشتری در نظر گرفته می‌شود.

رویکرد بهینه‌سازی استوار به‌عنوان یک رویکرد کارا در شرایط عدم قطعیت در پژوهش‌های متعددی بررسی شده است. در پژوهش‌های فتحیان و پسندیده^{۱۷} (۲۰۱۸) و دیابت^{۱۸} و همکاران (۲۰۱۸)، از زنجیره تأمین خون با در نظر گرفتن عدم قطعیت در میزان تقاضا و مقدار اهدای خون و همچنین در پژوهش‌های جبارزاده^{۱۹} و همکاران (۲۰۱۸)، از زنجیره تأمین دارو و در تحقیق علوی و جبارزاده^{۲۰} (۲۰۱۸)، از زنجیره تأمین مواد غذایی، با توجه به عدم قطعیت در تقاضا و از روش بهینه‌سازی استوار، استفاده شده است. جدول ۱ مقایسه‌ای بین تحقیقات انجام‌شده و تحقیق پیش رو را ارائه می‌دهد.

جدول ۱- مقایسه تحقیقات پیشین و تحقیق پیش رو

Table 1-comparison of previous literature and current study

نویسنده مقاله و سال	مسئله بررسی شده	کالای بررسی شده	عدم قطعیت	پایداری
استکا و همکاران (۲۰۱۶)	موجودی	فسادپذیر (دارو)	قطعی	
بیوکی و همکاران (۲۰۲۰)	مسئله موجودی، مسیریابی و مکانیابی	فسادپذیر	تقاضا غیرقطعی	*
جبارزاده و همکاران (۲۰۱۸)	مدل سازی زنجیره تأمین سبز دارو	فسادپذیر (دارو)	تقاضا غیرقطعی	
دیابت و همکاران (۲۰۱۸)	مدل سازی زنجیره تأمین در شرایط بحران	فسادپذیر (خون)	تقاضا و تأمین خون غیرقطعی	
رفیعی مجد و همکاران (۲۰۱۷)	موجودی-مکانیابی و مسیریابی	فسادپذیر	تقاضا غیرقطعی	
زهیری و همکاران (۲۰۱۷)	موجودی مکانیابی مسیریابی با در نظر گرفتن تخفیف	فسادپذیر (دارو)	تقاضا و هزینه غیرقطعی	
ژاله چین و همکاران (۲۰۱۶)	مسئله موجودی- مکانیابی و مسیریابی	-	تقاضا و نرخ بازگشت کالا غیرقطعی	
سوادکوهی و همکاران (۲۰۱۸)	مکانیابی موجودی	فسادپذیر (دارو)	تقاضا، هزینه و ظرفیت غیرقطعی	
علوی و جبارزاده (۲۰۱۸)	تخصیص مکانیابی	فسادپذیر (مواد غذایی)	هزینه متغیر و تقاضا غیرقطعی	
فتحیان و پسندیده (۲۰۱۸)	زنجیره تأمین سبز خون	فسادپذیر (خون)	تقاضا و مقدار اهدای خون غیرقطعی	
قهرمانی نهر و همکاران (۲۰۱۸)	مدل سازی زنجیره تأمین بسته	-	هزینه متغیر و تقاضا غیرقطعی	
کله و همکاران (۲۰۱۲)	موجودی	فسادپذیر (دارو)	قطعی	
مارتین و همکاران (۲۰۱۷)	مکانیابی موجودی	فسادپذیر (دارو)	تقاضا غیرقطعی	
نکوغدیرلی و همکاران (۲۰۱۴)	موجودی-مکانیابی و مسیریابی	-	تقاضا و دسترس پذیری به راهها غیرقطعی	
تحقیق حاضر	مکانیابی، مسیریابی و موجودی	فسادپذیر (دارو)	تقاضا غیرقطعی	*

همان طور که در جدول مشاهده می شود، می توانیم ادعا کنیم که تحقیق پیش رو دارای نوآوری های ذیل است:

- هر سه سطح تصمیم گیری یعنی استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی را برای محصول فسادپذیر در نظر می گیریم.

- عدم قطعیت در زنجیره در نظر گرفته می شود.
- هر سه بعد پایداری در نظر گرفته می شود.
- معیارهای متفاوتی برای بعد اجتماعی زنجیره پایداری در نظر گرفته می شود.
- در این تحقیق، از تخفیفات زمانی و مقداری، در کنار یکدیگر استفاده می شود.

۳- روش شناسی پژوهش

در این تحقیق زنجیره توزیع داروی دام و طیور در دو سطح بررسی می شود. این دو سطح شامل مرکز توزیع اصلی و بالقوه و سطح مشتری (داروخانه، کلینیک دامپزشکی) است. ابعاد پایداری در این زنجیره در نظر گرفته

می‌شود. در راستای بهینه‌سازی سه بعد پایداری در این تحقیق، سه تابع هدف مدنظر قرار می‌گیرد که شامل اهداف حداقل‌سازی و حداکثرسازی است.

۳-۱- مدل زنجیره توزیع پایدار داروی دام و طیور

مفروضات زیر را می‌توان برای این پژوهش مدنظر قرار داد:

- فسادپذیری محصول: با توجه به طول عمر محدود دارو، محصولات مدنظر در این پژوهش از نوع فسادپذیر است.

- محدود بودن ظرفیت انبار: هرکدام از مراکز توزیع دارای محدودیت در فضای نگهداری موجودی‌اند.
- مجموعه مکان‌های کاندید شده برای احداث مراکز توزیع مشخص است.
- برای هر مسیر فقط یک مرکز توزیع وجود دارد.
- تقاضا غیرقطعی است.
- موجودی ابتدای دوره صفر است.

اندیس‌های مدل عبارتند از:

J	شاخص مراکز توزیع
J'	شاخص مراکز توزیع بالقوه
I	شاخص مشتری
S	مجموع مراکز توزیع بالقوه
S'	مجموع مراکز توزیع بالقوه و اصلی
M	مجموعه مشتریان
M'	مجموعه مشتریان و مراکز توزیع
P	شاخص محصول
W	شاخص عمر باقی مانده
r و t	شاخص دوره از 1 تا T (r دریافت، t ارسال)
N	تعداد محصولات در هر سطح تخفیف

پارامترهای مدل عبارتند از:

FU_j	هزینه ثابت احداث مرکز توزیع j
h_{ipt}	هزینه نگهداری محصول p در مرکز توزیع j در دوره t
Sc_{ipt}	هزینه کمبود برآورده نشدن تقاضا برای محصول p برای مشتری i در دوره t
Od_{pt}	هزینه انقضای p در دوره t
Cd_{jp}	ظرفیت مرکز توزیع j برای محصول p
D_{ipt}	تقاضای مشتری i برای محصول p در دوره t
V_k	هزینه متغیر حمل برای وسیله نوع k به ازای هر واحد مسافت

GT_k	میزان تصاعد گازهای گلخانه‌ای برای هر وسیله نقلیه k به ازای هر واحد مسافت
cap_k	ظرفیت وسیله نقلیه k
C_{ij}	فاصله بین i و j
Jo_j	تعداد فرصت شغلی ایجادشده در مرکز توزیع j
ATS_{ij}	متوسط سرعت ترافیکی بین i و j
AVS_{ikj}	متوسط سرعت وسیله نقلیه k بین i و j
Pr_{pn}	قیمت محصول p در سطح n
α	درصد تخفیف
q_{np}	سطح n ام تخفیف برای محصول p

پارامترهای مربوط به مدل استوار به صورت زیر است:

$Dmean_{ipt}$	متوسط تقاضای مشتری i ام برای محصول p در دوره t
$Dhat_{ipt}$	دامنه تغییر تقاضای مشتری i ام برای محصول p در دوره t
Γ	پارامتر تعیین کننده سطح محافظه کاری

متغیرهای مدل عبارتند از:

U_j	یک، اگر مرکز توزیع j احداث شود، در غیر این صورت صفر
X_{ij}	یک، اگر مشتری i به مرکز توزیع j تخصیص داده شود، در غیر این صورت صفر
γ_{ijkt}	یک، اگر وسیله حمل نوع k در دوره t بعد از i به j رفته باشد، در غیر این صورت صفر
L_{ipt}	یک، اگر در دوره t محصول p در سطح تخفیف n قرار گیرد، در غیر این صورت صفر
I_{jpt}^+	موجودی مثبت برای داروی p در مرکز توزیع j در دوره t
I_{jpt}^-	مقدار کمبود محصول p برای تقاضای مشتری i در مرکز توزیع j در پایان دوره t
EXI_{jprt}	مقدار سفارش محصول p در مرکز توزیع j که در آغاز دوره r سفارش داده شده و در پایان دوره t منقضی می شود.
Q_{jpt}^w	مقدار سفارش محصول p با عمر باقی مانده w که در دوره t به مرکز توزیع j فرستاده می شود.
qs_{jiprt}^w	مقدار سفارش محصول p با عمر باقی مانده w که در دوره r دریافت می شود و به مشتری i در دوره t ارسال می شود.
qs_{jiprt}^{nw}	مقدار سفارش محصول p در سطح تخفیف n با عمر باقی مانده w که در دوره r دریافت و به مشتری i در دوره t ارسال می شود.
QS_{jprt}^w	مقدار ارسال محصول p با عمر باقی مانده w که در دوره r دریافت می شود و به مرکز توزیع j بالقوه در دوره t ارسال می شود.
N_{jkt}	متغیر مصنوعی برای حذف ساب تور
P و Z	متغیرهای مربوط به مدل استوار

مدل پیشنهادی زنجیره توزیع پایدار دارو در رابطه ۱ تا ۲۸ ارائه شده است.

$$\max = \sum_{dl}^{w=lp} \sum_{i,j,n,r,t,p} qS_{jiprt}^w \cdot pr_{pn} + \sum_{dl}^{w=dl} \sum_{i,j,n,r,t,p} qS_{jiprt}^w \cdot pr_{pn} \cdot (1-\alpha) - \left(\sum_j Fu_j u_j + \sum_{j \in S',p,t} I_{jpt}^+ h_{jpt} + \sum_{i,j,p,t} I_{jpt}^- sc_{ipt} + \sum_{j \in S',p,r,t} od_{pt} EXI_{jprt} + \sum_{i,j \in M',k,t} v_k C_{ij} \gamma_{jikt} \right) \quad (1)$$

$$\max = \sum_{j \in S} jo_j \cdot u_j - (215 * \left(\sum_{i,j \in M'} \sum_{k,t} \gamma_{jikt} \cdot \left(\frac{AVS_{jikt}}{ATS_{jit}} \right)^{7.8} \right)) \quad (2)$$

$$\min = \sum_{i,j \in M',t} \sum_k GT_k \cdot C_{ij} \cdot \gamma_{ijdt} \quad (3)$$

$$qS_{jiprt}^w = \sum_n qS_{jiprt}^{nw} \quad \forall t, i, j, r, p \quad (4)$$

$$q'_{np} L_{inpt} \leq \sum_r \sum_w qS_{ijprt}^{nw} \leq (q' + 1)_{np} L_{inpt} \quad \forall p, t, i, j, n, r \quad (5)$$

$$\sum_n L_{inpt} = 1 \quad \forall i, p, t \quad (6)$$

$$\sum_{j \in S'} X_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (7)$$

$$X_{ij'} \leq u_{j'} \quad \forall i, j', \quad (8)$$

$$\sum_{w=1}^{LF} \sum_r QS_{jiprt}^w + I_{jip,t-1}^+ \leq u_{j'} cd_{j'p} \quad \forall j', t, p \quad (9)$$

$$\sum_{w=1}^{LF} \sum_{j'} \sum_r QS_{jiprt}^w + \sum_w \sum_r \sum_i qS_{jiprt}^w + I_{jip,t-1}^+ \leq cd_{jp} \quad \forall j, p, t \quad (10)$$

$$qS_{jiprt}^w \leq MX_{ij} \quad \forall i, j \in S', p, r, t, w \quad (11)$$

$$QS_{jiprt}^w \leq MU_j \quad \forall i, j', p, r, t, w \quad (12)$$

$$\sum_r \sum_{w=1}^{LP} qS_{jiprt}^w + I_{jip,t}^- \geq D_{ipt} X_{ij'} \quad \forall i, j \in S', p, t \quad (13)$$

$$\sum_r \sum_w Q_{jpr}^w - \sum_{j'} \sum_r \sum_c \sum_w QS_{jj'prc}^w - \sum_i \sum_w \sum_c \sum_r qS_{jiprc}^w - \sum_{c=r} \sum_r EXI_{jprc} = I_{jpt}^+ \quad \forall j, p, t \quad (14)$$

$$\sum_r \sum_w QS_{jj'prt}^w - \sum_c \sum_i \sum_w \sum_r QS_{jiprc}^w - \sum_c \sum_r EXI_{j'pc} = I_{j'pt}^+ \quad \forall j', p, t \quad (15)$$

$$\sum_{j'} \sum_{c=r} QS_{jj'prc}^w + \sum_{i=1}^T \sum_{c=r} qS_{jiprc}^w \leq Q_{jpr}^w \quad \forall j, p, r, w \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^T \sum_{c=r} qS_{jiprc}^w \leq \sum_{c=r} QS_{jj'prc}^w \quad \forall j', p, r, w, \quad (17)$$

$$EXI_{jprt} = Q_{jpr}^{w=t-r+1} - \sum_i \sum_{c=r}^t qS_{jiprc}^{w=t-r+1} - \quad (18)$$

$$\sum_{j'} \sum_{c=r}^t QS_{jj'prc}^{w=t-r+1} \forall j, p, 1 < r < T$$

$$EXI_{jprt} = QS_{jj'prt}^{w=t-r+1} - \sum_i \sum_{c=r}^t qs_{j'iprc}^{w=t-r+1} \forall j', p, 1 < r < t < T \quad (19)$$

$$\sum_{j'} \sum_{t=r+w}^t QS_{jj'prt}^w = 0 \forall j, p, 1 < w < LF, 1 < r < T \quad (20)$$

$$\sum_i \sum_{t=r+w}^t qs_{j'iprt}^w = 0 \forall j', p, 1 < w < LF, 1 < r < T \quad (21)$$

$$\sum_i \left(\sum_p D_{ipt} \sum_{j \in M'} \gamma_{jikt} \right) \leq cap_k \forall k, t \quad (22)$$

$$\sum_{j \in M'} \sum_k \gamma_{ijkt} = 1 \forall i, t \quad (23)$$

$$\gamma_{jj'kt} = 0 \forall k, t, j', j \in s \quad (24)$$

$$\sum_{j \in S'} \sum_i \gamma_{jikt} \leq 1 \forall k, t \quad (25)$$

$$\sum_{j \in M'} \gamma_{ijkt} - \sum_{j \in M'} \gamma_{jikt} = 0 \forall i \in M', k, t \quad (26)$$

$$\sum_{j \in M'} \gamma_{ijkt} + \sum_{i \in M'} \gamma_{jikt} - x_{ij} \leq 1 \forall i, j, k, t, \quad (27)$$

$$N_{ikt} - N_{jkt} + G\gamma_{ijkt} \leq G - 1 \forall i, j \in M, k, t \quad (28)$$

بخش اول تابع هدف، شامل درآمد ناشی از فروش محصولات مختلف است که تخفیفات مقداری و زمانی در این قسمت لحاظ شده است. بخش دوم، بخش هزینه‌ای است که هزینه‌های مربوط به این بخش از تابع هدف، شامل هزینه ثابت افتتاح مرکز توزیع بالقوه، هزینه نگهداری، هزینه کمبود، هزینه منقضی شدن دارو و هزینه‌های حمل و نقل اند. در تابع هدف دوم، بخش اجتماعی پایداری را مدنظر قرار می‌دهیم. نظر به اینکه در این تحقیق، زنجیره توزیع داروی دام و طیور مدنظر است و حمل و نقل و انتقال دارو بین مسیرهای مختلف به دفعات انجام می‌گیرد، در بعد اجتماعی به امنیت جانی کارکنان توجه خواهیم کرد. با توجه به تحقیق کوویمی^{۲۱} و همکاران (۱۹۹۹)، نرخ تصادفات حین حمل و نقل محاسبه می‌شود. در این رابطه نرخ تصادفات تابع دو فاکتور ATS و AVS است. ATS یا همان متوسط سرعت ترافیکی تابع فاکتورهایی مانند، زمان، هوا و نوع وسیله حمل و نقل است. AVS یا همان متوسط سرعت وسیله حمل و نقل، از طریق بررسی چک‌لیست رانندگان به دست می‌آید. مقادیر ۷/۸ و ۰/۱۲۵ پارامترهایی اند که توسط کوویمی و همکاران (۱۹۹۹) ارائه شده است. همچنین با توجه به مسئله مکان‌یابی و احداث مراکز توزیع، مورد دیگری که می‌توانیم در بعد اجتماعی به آن اشاره کنیم، تعداد فرصت شغلی ایجاد شده است. تابع هدف سوم، بعد زیست‌محیطی پایداری زنجیره توزیع را بررسی می‌کند. یکی از معمول‌ترین روش‌های

بررسی این بعد، سنجش میزان تصاعد گازهای گلخانه‌است که مجدداً می‌توانیم به این اشاره کنیم که حمل‌ونقل به دفعات در زنجیره انجام شده است و خود می‌تواند منبع مهمی از آلاینده‌ها محسوب شود.

رابطه ۵ سطوح مختلف تخفیف را نشان می‌دهد و محدودیت ۶ مشخص می‌کند هر سطح خرید فقط می‌تواند در یکی از سطوح تخفیف قرار گیرد.

محدودیت ۷ بیانگر این است که هر مشتری فقط به یک توزیع‌کننده تخصیص می‌یابد و در رابطه ۸ مشخص می‌شود که این تخصیص در صورتی اتفاق می‌افتد که آن مرکز توزیع فعال باشد. محدودیت ۹ و ۱۰ مربوط به محدودیت ظرفیت در مرکز توزیع اصلی و مراکز توزیع بالقوه است.

محدودیت ۱۱ و ۱۲ نشان می‌دهد در صورتی ارسال محصول را به مشتری i از مرکز توزیع j خواهیم داشت که آن مشتری به مرکز توزیع مدنظر تخصیص داده شده باشد. رابطه ۱۳ محدودیت مربوط به تقاضاست.

از رابطه ۱۴ و ۱۵ مقدار موجودی مشخص می‌شود. محدودیت ۱۶ مشخص می‌کند محصولاتی که از مرکز توزیع اصلی، به مراکز توزیع بالقوه و مشتریان فرستاده می‌شود، نباید از میزان سفارش در مرکز توزیع اصلی بیشتر باشد. رابطه ۱۷، همین محدودیت را برای مراکز توزیع بالقوه برقرار می‌کند.

از رابطه ۱۸ و ۱۹ می‌توانیم میزان محصول منقضی شده را در هر مرکز توزیع به دست آوریم. محدودیت‌های ۲۰ و ۲۱ نشان می‌دهند فقط محصولاتی ارسال خواهند شد که تاریخ مصرف آنها نگذشته باشد.

محدودیت ۲۲ مربوط به ظرفیت وسیله نقلیه است. محدودیت ۲۳ نشان می‌دهد که در هر دوره فقط یک وسیله نقلیه در هر مسیر به یک مشتری خدمت می‌رساند. رابطه ۲۴ نشان می‌دهد که بین مراکز توزیع مسیریابی نداریم و محدودیت ۲۵ محدودیت تک تأمین‌کنندگی را برای هر مشتری نشان می‌دهد.

رابطه ۲۶ نشان می‌دهد هر وسیله نقلیه ای که به یک گروه وارد می‌شود، باید از همان گروه خارج شود. محدودیت ۲۷ ارتباط بین مسئله تخصیص و حمل‌ونقل را نشان می‌دهد. مسیر در صورتی بین مشتری و مراکز توزیع وجود دارد که تخصیص بین مشتری و مرکز توزیع مشخص انجام شده باشد. در نهایت رابطه ۲۸ برای حذف سابتور است.

۳-۲- همتای استوار زنجیره توزیع داروی دام و طیور

در این تحقیق از رویکرد انتخابی مقابله با عدم قطعیت مربوط به پارامتر تقاضا و بهینه‌سازی استوار استفاده می‌شود. در دنیای واقعی معمولاً توزیع‌های احتمال، در برنامه‌ریزی احتمالی در دسترس نیست. همچنین این روش نسبت به روش‌های برنامه‌ریزی تصادفی، به داده‌های تاریخی کمتری احتیاج دارد، ضمن اینکه در برنامه‌ریزی تصادفی، تعداد متغیرهای تصمیم با افزایش پارامترهای غیرقطعی، به‌طور صعودی افزایش می‌یابند (پاتنکات^{۲۲} و همکاران، ۲۰۲۲). مدل برتسیمس و سیم^{۲۳} از بین مدل‌های گوناگون بهینه‌سازی استوار انتخاب می‌شود. یکی از مزیت‌های این مدل این است که مدل نهایی، یک مدل بهینه‌سازی خطی است. مدل خطی زیر را در نظر بگیرید:

$$\begin{aligned} \min \quad & c'x \\ \text{st:} \quad & Ax \leq b \\ & l \leq x \leq u \\ & x_i \in Z \end{aligned} \quad (29)$$

A و c شامل داده‌های غیرقطعی و بردار b شامل اعداد قطعی است. با فرض اینکه هر یک از ضرایب z و a_{ij} به صورت یک متغیر تصادفی مستقل با توزیع متقارن و کراندار \widehat{a}_{ij} مدل می‌شود که در بازه $[a_{ij} - \widehat{a}_{ij}, a_{ij} + \widehat{a}_{ij}]$ مقدار می‌گیرد، هر یک از c_j در بازه $[c_j, c_j + d_j]$ مقدار می‌گیرد؛ به طوری که d_j بیان‌کننده انحراف از ضریب اسمی c_j است. همچنین فرض متقارن بودن فقط برای a_{ij} است. در راستای تحقق هدف استواری جواب، پارامتر Γ_i تعریف می‌شود که در بازه $[0, |z|]$ مقدار می‌گیرند؛ به طوری که $|z|$ برابر با تعداد داده‌های غیرقطعی در محدودیت i ام است. نقش Γ_i در محدودیت‌ها، تنظیم میزان استواری در مقابل سطح محافظه کاری جواب است. اگر $\Gamma_i = 0$ باشد، اثر تغییرات در ضرایب هزینه به طور کامل لحاظ می‌شود و اگر $\Gamma_i = |z|$ باشد، همه تغییرات ممکن کنترل می‌شود که محافظه کارانه ترین حالت است. همتای استوار برتسیمس و سیم برای مدل (۲۹)، معادل مدل (۳۰) است (آذر و نجفی^{۲۴}، ۱۳۹۰).

$$\begin{aligned} \min \quad & c'x + z_0 + \Gamma_0 + \sum_{j \in J} p_{0j} \\ \text{st:} \quad & \sum_{j \in J} a_{ij}x_j + z_i \Gamma_i + \sum_{j \in J} p_{ij} \leq b \\ & z_0 + p_{0j} \geq d_j y_j \\ & z_i + p_{ij} \geq \widehat{a}_{ij} y_j \\ & p_{ij} \geq 0 \\ & y_{ij} \geq 0 \\ & z_i \geq 0 \\ & -y_j \leq x \leq y_j \\ & -l_j \leq x \leq u_j \\ & x_i \in Z \end{aligned} \quad (30)$$

نظر به اینکه تقاضا در این تحقیق غیرقطعی در نظر گرفته شده است، محدودیت‌های ۱۳ و ۲۲ در مدل به صورت زیر تغییر می‌یابد:

$$\sum_r \sum_{w=1}^{LP} q_{sjprt}^w + I_{jprt} \geq \overline{D}_{ipt} X_{ij'} + z_{ijpt} \Gamma_{ijpt} + p_{ipt} \quad \forall i, j \in S', p, t \quad (31)$$

$$z_{ijpt} + p_{ipt} \geq \widehat{D}_{ipt} X_{ij} \quad \forall i, j \in S', p, t \quad (32)$$

$$\sum_i \left(\sum_{p, j \in M'} \overline{D}_{ipt} \gamma_{jikt} + z z_{tk} \Gamma \Gamma_{tk} + \sum_i \sum_p p_{ipt} \right) \leq cap_k \quad \forall k, t \quad (33)$$

$$z z_{tk} + p_{ipt} \geq \widehat{D}_{ipt} \gamma_{jikt} \quad \forall k, t, i, p, t \quad (34)$$

۳-۳- روش محدودیت اپسیلون

روش محدودیت اپسیلون، رویکردی مشهور برای حل دقیق مدل‌های ریاضی چندهدفه است. در این روش تابع هدف مهم‌تر بهینه می‌شود، در حالی که توابع دیگر را در محدوده مدنظر محدود می‌کند. از جمله مزایای روش محدودیت اپسیلون، کنترل تعداد راه‌حل‌های تولیدشده از طریق تنظیم مناسب تعداد نقاط در دامنه مربوط به هر هدف، حساس نبودن نسبت به مقیاس توابع مختلف، ارائه راه‌حل‌های مؤثر غیرافراطی و ارائه راه‌حل‌های مؤثر پشتیبانی‌نشده است (ماوروتاس^{۲۵}، ۲۰۰۹).

اگر فرض شود که یک مدل چندهدفه به صورت زیر داریم:

$$\begin{aligned} & \max(f_1(x), f_2(x), \dots, f_p(x)) \\ & \text{st} \\ & x \in S \end{aligned} \quad (35)$$

که در آن $f_1(x), f_2(x), \dots, f_p(x)$ توابع هدف و S ناحیه موجه است. در روش محدودیت اپسیلون ما یک تابع هدف را بهینه کرده‌ایم، در حالی که دیگر توابع به صورت محدودیت در نظر گرفته می‌شوند؛ مانند مدلی که در ذیل رابطه ۳۶ مشخص شده است.

$$\begin{aligned} & \max f_1(x) \\ & f_3(x) \geq e_3 \\ & f_3(x) \geq e_3 \\ & \dots \\ & f_p(x) \geq e_p \\ & x \in S \end{aligned} \quad (36)$$

دو مسئله را باید در روش محدودیت اپسیلون مدنظر قرار دهیم: اول اینکه در روش کلاسیک محدودیت اپسیلون باید دامنه تغییرات توابع هدف را محاسبه کنیم و دوم اینکه اثربخشی راه‌حل‌ها باید بررسی شوند (زینک^{۲۶} و همکاران، ۲۰۱۹). این مسائل باعث می‌شوند که زمان حل مسئله، خصوصاً زمانی که توابع هدف بیشتر از دو باشد، طولانی شود. مدل بهبودیافته اپسیلون^{۲۷} (AUGMECON) برای حل این مشکل به صورت زیر ارائه می‌شود.

$$\begin{aligned} & \max(f_1(x) + eps \times (S_2/r_2 + S_3/r_3 + \dots + S_p/r_p)) \\ & f_2(x) - S_2 = e_2 \\ & f_3(x) - S_3 = e_3 \\ & \dots \\ & f_p(x) - S_p = e_p \\ & x \in S \text{ and } S_i \in R^+ \end{aligned} \quad (37)$$

که در این مدل e_1, e_2, \dots, e_p پارامترهای مربوط به اعداد سمت راست است که از نقاط شبکه‌ای و از توابع هدف مختلف در تکراری خاص به دست می‌آیند. پارامترهای r_2, r_3, \dots, r_p دامنه تغییرات تابع هدف مربوطه اند. S_2, S_3, \dots, S_p نیز متغیرهای کمکی محدودیت‌ها و مقدار اپسیلون در بازه $eps \in [10^{-6}, 10^{-3}]$ است.

۳-۴- الگوریتم ژنتیک NSGA-II^{۲۸}

الگوریتم ژنتیک بخشی از پارادایم محاسباتی نرم، با عنوان محاسبات تکاملی است. GA از طریق دنبال‌کردن مفاهیم مربوط به بقا مانند تقاطع و یا جهش، راه‌حل‌هایی جدید را از بین راه‌حل‌های موجود تولید می‌کند. GA دارای قابلیت قوی جست‌وجو در فضایی پیچیده است و رویکردی معتبر و مؤثر ارائه می‌دهد. این روش برای بهینه‌سازی مدل‌هایی مناسب است که راه‌حل‌ها را در فضایی بررسی می‌کنند که راه‌حل‌های شدنی بسیار مختلفی وجود دارد. (مارقانی^{۲۹}، ۲۰۱۹).

اصول الگوریتم ژنتیک در ذیل توضیح داده می‌شود:

- ساختار کروموزوم: در الگوریتم ژنتیک این پژوهش، ساختار کروموزوم از ۱۴ بردار تشکیل شده است. چهار بردار آن صفر و یک و ده بردار باقی‌مانده، متغیرهای پیوسته‌اند.
- تولید جمعیت اولیه: برای تولید جمعیت اولیه، در ابتدا به صورت تصادفی برداری با درایه‌هایی بین صفر و یک به‌ازای متغیرهای مسئله تولید می‌شود.
- ارزیابی جمعیت اولیه: تابع برازندگی، تابع هدف اول سود مورد انتظار است که برای جمعیت تولید شده اولیه، محاسبه می‌شود.
- انتخاب: عملگر انتخاب به‌منظور انتخاب کروموزم‌ها به‌عنوان والد برای تولید نسل بعد، استفاده می‌شود. در این تحقیق از روش چرخ رولت استفاده می‌شود. به این صورت که هر کروموزوم به نسبت برازندگی‌اش، بخشی از چرخ را به خود اختصاص می‌دهد.
- تقاطع: در عملگر تقاطع، ژن‌های کروموزوم با یکدیگر ترکیب و کروموزوم سازگارتری تولید می‌شود. در این تحقیق از تقاطع تک‌نقطه‌ای برای بردارهای صفر و یک و از تقاطع محاسباتی برای دیگر بردارها استفاده شده است. درباره تقاطع محاسباتی، متغیر α بین صفر و یک تولید می‌شود و از والدین x_1 و x_2 فرزندان XX_1 و XX_2 به‌صورت زیر تولید می‌شوند:

$$\begin{aligned} \alpha &= (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n), 0 \leq \alpha_i \leq 1 \\ x_1 &= (x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n}) \\ x_2 &= (x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n}) \\ XX_{i1} &= \alpha_i x_{1i} + (1 - \alpha_i) x_{2i} \rightarrow xx_1 = (xx_{11}, xx_{12}, \dots, xx_{1n}) \\ XX_{i2} &= \alpha_i x_{2i} + (1 - \alpha_i) x_{1i} \rightarrow xx_2 = (xx_{11}, xx_{12}, \dots, xx_{1n}) \end{aligned} \quad (38)$$

- جهش: در الگوریتم ژنتیک جهش، تغییر کوچکی در یک نقطه از کد خصوصیات ایجاد می‌شود. در ژن‌های باینری، این تغییر به معنای تغییر یک بیت از ۰ به ۱ و یا از ۱ به ۰ است (عالم تبریز^{۳۰} و همکاران، ۱۳۹۲).
- درباره بردارهای پیوسته، متغیرها، حداکثر به اندازه ۰٫۱ دامنه خود متغیر، تغییر می‌کنند. اگر x والد باشد، نسل جهش‌یافته \hat{x} به‌صورت زیر تولید می‌شود.

$$\begin{aligned} \sigma &= .1(x_{max} - x_{min}) \\ \hat{x}_j &= x_j + \sigma N(0,1) \end{aligned} \quad (39)$$

- شرط توقف: در الگوریتم ژنتیک مربوط به این تحقیق، شرط توقف، تعداد تولید نسل‌هاست.

۳-۵- الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده مبتنی بر جمعیت^{۳۱} (PBMOSA)

الگوریتم آنیل شبیه‌سازی شده براساس اصول و مفاهیم مکانیکی در فرایند تبرید است که نیازمند گرمایش و سپس سرمایش برای رسیدن به ساختاری کریستالی است. SA الگوریتمی بی‌حافظه است و از اطلاعات جمع‌شده حین جست‌وجو استفاده نمی‌کند. یکی از مزایای SA گرفتارنشدن در دام جواب بهینه محلی و تأخیر در همگرایی است. روش تبرید شبیه‌سازی شده چندهدفه مبتنی بر جمعیت، در واقع بسط روش تبری SA است.

- ایجاد جمعیت اولیه: در این بخش همانند الگوریتم ژنتیک، به تولید جمعیت اولیه می‌پردازیم. فرق اصلی این الگوریتم با الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده، در تولید جمعیت اولیه است.

- ایجاد همسایگی: برای ایجاد همسایگی در این الگوریتم، از سه روش تعویض، معکوس‌سازی و حذف و انتقال استفاده می‌شود.
- شرایط پذیرش حرکت: در این روش با توجه به اینکه جواب تولید شده در همسایگی، حتی در صورت عدم بهبود، به صورت مشروط پذیرفته می‌شود. در این تحقیق برای محاسبه احتمال پذیرش جواب غیر بهبود یافته، از تابع بولتزمن به صورت $e^{\left(\frac{-5\Delta f}{T}\right)}$ استفاده می‌شود.
- کاهش دما: با تابع سرمایش، دما کاهش می‌یابد و دمای جدید به صورت $T_{new} = \alpha T_{old}$ محاسبه می‌شود.
- شرط توقف: در این تحقیق شرط توقف، تعداد تکرار در حلقه بیرونی الگوریتم است.

۳-۶ تنظیم پارامتر

تعیین مقدار مناسب پارامترهای یک الگوریتم، نقش زیادی در اثربخشی الگوریتم دارد. روش تاگوچی یک رویکرد سیستماتیک و کارا برای تنظیم پارامترهای الگوریتم است.

در این تحقیق محاسبات شیوه تاگوچی، با استفاده از نرم‌افزار مینیتب نسخه ۱۶، انجام شده است.

برای تنظیم پارامتر دو الگوریتم NSGA-II و PBMOSA از میانگین نرمال‌شده چهار معیار زیر استفاده می‌شود.

۱. تعداد جواب‌های پاراتو^{۳۲} (زیتلر^{۳۳} و همکاران، ۲۰۰۰)؛
۲. زمان اجرای الگوریتم (عادلی و زندیه^{۳۴}، ۱۳۹۲)؛
۳. معیار MID: این معیار میانگین فاصله جواب‌های پاراتو را از جواب ایده‌آل محاسبه می‌کند. البته در برخی اوقات این فاصله نسبت به مبدأ مختصات محاسبه می‌شود (کویلو کویلو و همکاران^{۳۵}، ۲۰۰۴)؛

$$C_i = \sqrt{(f_{i1} - f_1^{best})^2 + (f_{i2} - f_2^{best})^2} \quad (40)$$

$$MID = \frac{\sum C_i}{n}$$

۴. معیار یکنواختی: فاصله نسبی جواب‌های متوالی به صورت زیر محاسبه می‌شود (اسکات^{۳۶}، ۱۳۹۵).

$$dd_i = \min_{k \in n} \sum_{m=1}^{nobj} |f_m^i - f_m^k| \quad (41)$$

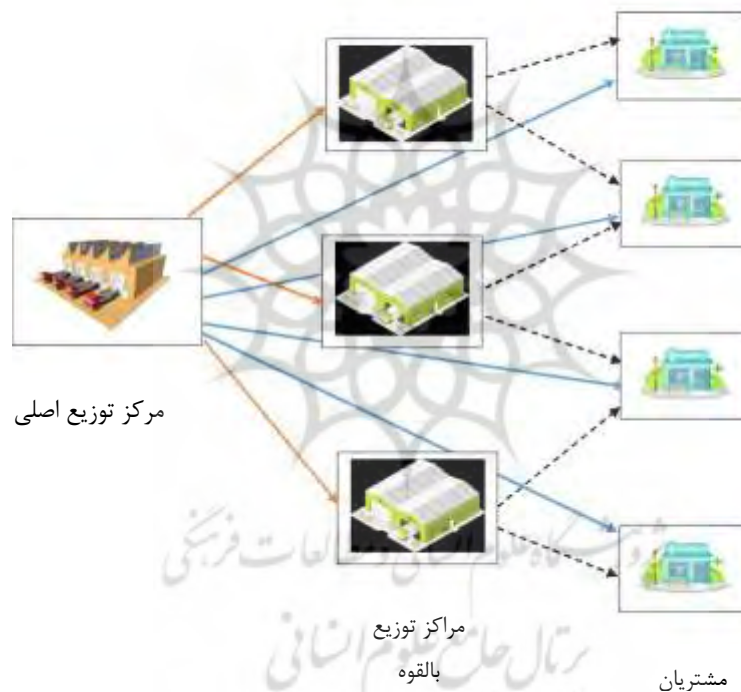
$$\bar{d} = \sum_{i=1}^n \frac{dd_i}{|n|} \quad (42)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (dd_i - \bar{d})^2} \quad (43)$$

۴- مطالعه موردی

جامعه بررسی شده در این رساله، بخش توزیع‌کننده داروی دام و طیور و مرتبط با نقل و انتقال دارو از توزیع‌کننده اصلی به توزیع‌کنندگان فرعی یا خرده‌فروشان و مشتریان، در بخش جنوبی کشور ایران است. خرده‌فروشان و مشتریان در این جامعه، کلینیک‌های دامپزشکی، داروخانه، دامداری و یا مرغداری‌ها هستند. شرکت داروسازی کیمیا فام، تأمین‌کننده مرکز توزیع اصلی است. این شرکت از جمله واحدهای فعال و پیش‌تاز در زمینه

داروهای دامپزشکی و انواع ضدعفونی کننده‌هاست که فعالیت خود را از سال ۱۳۷۲ در زمینه‌های تولید و توزیع آغاز کرده است. برای در نظر گرفتن کلیه گروه‌های دارویی، تلاش شد تا داروها از سه گروه مختلف (مولتی‌ویتامین‌ها، آنتی بیوتیک‌ها و برونکودیلاتورها) انتخاب شود. در گروه سه کالایی، داروهای منتخب، ب کمپلکس، برم‌هگزین و کلیستین است. در گروه پنج کالایی علاوه بر داروهای پیشین، ویتامین آمینه و ویتامین C و در نهایت به گروه هفت کالایی، هپاتیشو و ب کمپلکس مینرال اضافه می‌شود. تمامی داروهای در نظر گرفته شده ۱ لیتری اند. داده‌های مربوط به تقاضا، هزینه کمبود، قیمت محصول و هزینه انقضای دارو، مربوط به سال ۱۳۹۹، جمع آوری شده و همچنین، هزینه احداث دو مرکز توزیع بالقوه، در اینجا بوشهر و اوز در نظر گرفته شده است و در ادامه، هزینه نگهداری و ظرفیت مراکز توزیع بالقوه و مرکز توزیع اصلی (شیراز) نیز مشخص می‌شود. در این تحقیق زنجیره توزیع داروی دام و طیور در سه سطح بررسی می‌شود. این سه سطح شامل مرکز توزیع اصلی، مراکز توزیع بالقوه و مشتری است.



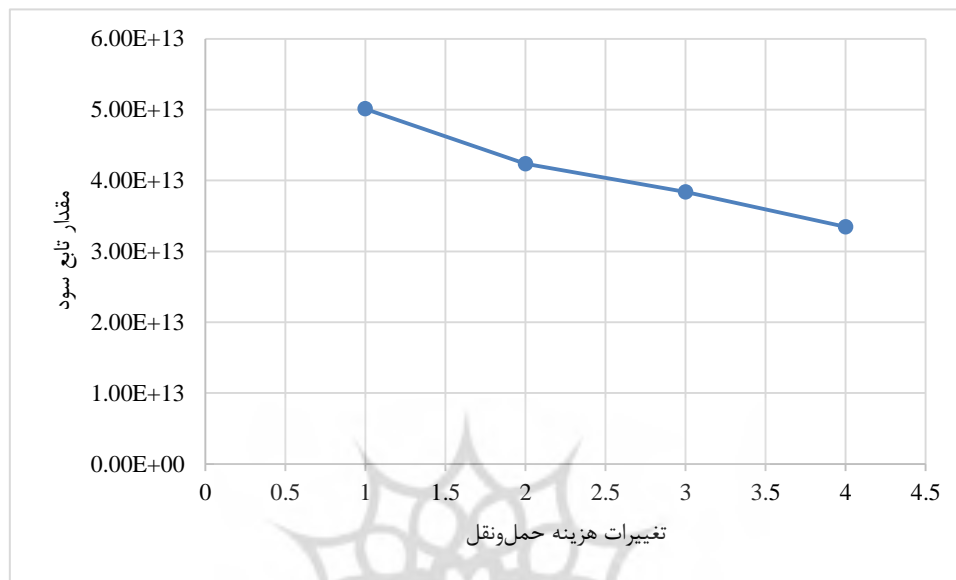
شکل ۱- زنجیره توزیع داروی دام و طیور

Fig. 1- Poultry and Livestock pharmaceutical Supply Chain

برای اعتبارسنجی مدل، در ابتدا تحلیل حساسیت بر پارامترهای هزینه حمل و نقل و سرعت وسیله نقلیه انجام می‌گیرد. به منظور حل مسئله، ابتدا مدل تک هدفه با تابع هدف اقتصادی توسط الگوریتم ژنتیک در سطوح مختلف Γ اجرا می‌شود؛ پس از مشخص شدن سطح مناسب محافظه‌کاری، مدل اصلی توسط محدودیت Γ_{ijpt} و Γ_{tk} اجرا می‌شود. پس از مشخص شدن سطح مناسب محافظه‌کاری، مدل اصلی توسط محدودیت اپسیلون و الگوریتم‌های NSGA-II و PBMOSA حل می‌شود.

۱-۴- تحلیل حساسیت

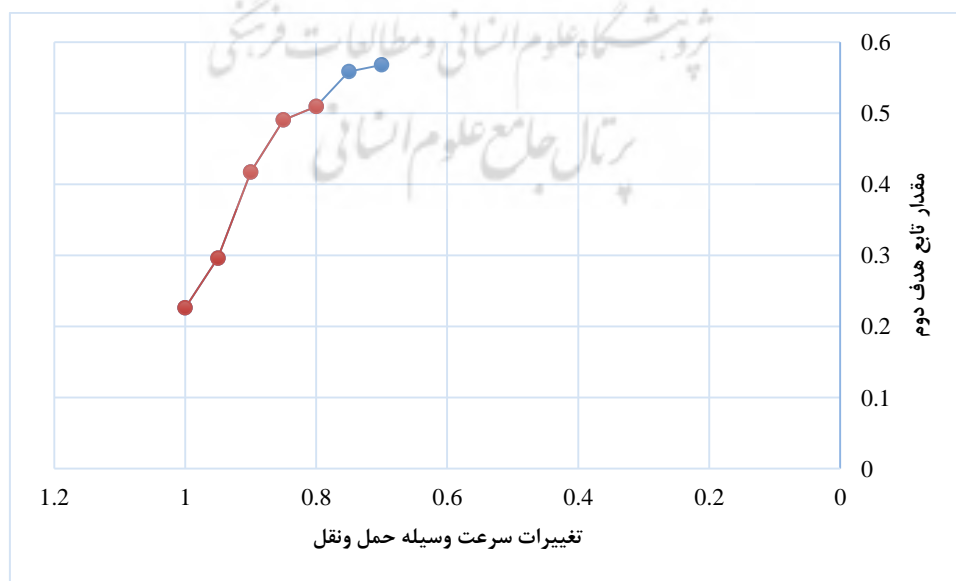
رفتار منطقی و قابل انتظار در دنیای واقعی، اعتبار بیرونی مدل را مشخص می‌کند. برای این منظور، تغییرات سود نسبت به هزینه حمل و نقل و همچنین تغییرات سرعت وسیله حمل و نقل را بر تابع هدف اجتماعی بررسی می‌کنیم. انتظار می‌رود با افزایش هزینه حمل و نقل، مقدار سود کاهش یابد. همان‌طور که در شکل ۲ می‌بینید، با افزایش دو، سه و چهار برابری هزینه حمل و نقل، سود کاهش می‌یابد.



شکل ۲- تغییرات سود نسبت به افزایش هزینه

Fig. 2- benefit changes vs increase of cost

با کاهش سرعت وسیله نقلیه، انتظار می‌رود که مقدار تابع هدف اجتماعی بهتر شود، همان‌طور که در شکل ۳ می‌بینید، با کاهش میزان سرعت به مقدار ۰.۱، ۰.۱۵، ۰.۲، ۰.۲۵ و ۰.۳، مقدار تابع هدف دوم افزایش می‌یابد.



شکل ۳- تغییرات تابع هدف دوم نسبت به کاهش سرعت

Fig. 3-second objective variation vs decrease of vehicle speed

۴-۲- حل مسئله تک‌هدفه در شرایط غیرقطعی در سطوح مختلف محافظه‌کاری

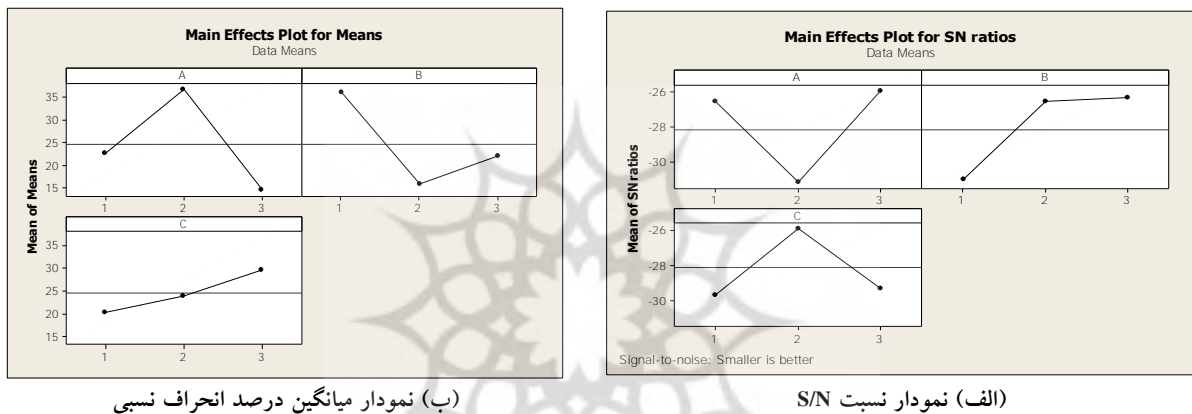
برای حل مدل تک‌هدفه توسط الگوریتم GA، در ابتدا تنظیم پارامتر انجام می‌شود. جدول ۲ سطوح پارامترها را نشان می‌دهد.

جدول ۲- سطوح مختلف پارامتر

Table 2- Different levels of the parameter

سطح سوم	سطح دوم	سطح اول	پارامتر
[۵۰,۶۰]	[۴۰,۵۰]	[۳۰,۵۰]	[تعداد جمعیت، تعداد نسل]
.۹	.۸	.۷	نرخ تقاطع
.۲	.۱۵	.۱	نرخ جهش

شکل ۴ مقادیر نرخ S/N را برای هر یک از سطوحها نشان می‌دهد.



(ب) نمودار میانگین درصد انحراف نسبی

(الف) نمودار نسبت S/N

شکل ۴- تعیین سطوح بهینه پارامترهای الگوریتم ژنتیک سه کالایی

Fig. 4- Determining the optimal level of the parameters of the three-item genetic algorithm

همان‌طور که در شکل ۴ می‌بینید، پارامتر اول در سطح سوم، پارامتر دوم در سطح دوم و پارامتر سوم در سطح اول، بهترین کارایی را دارند.

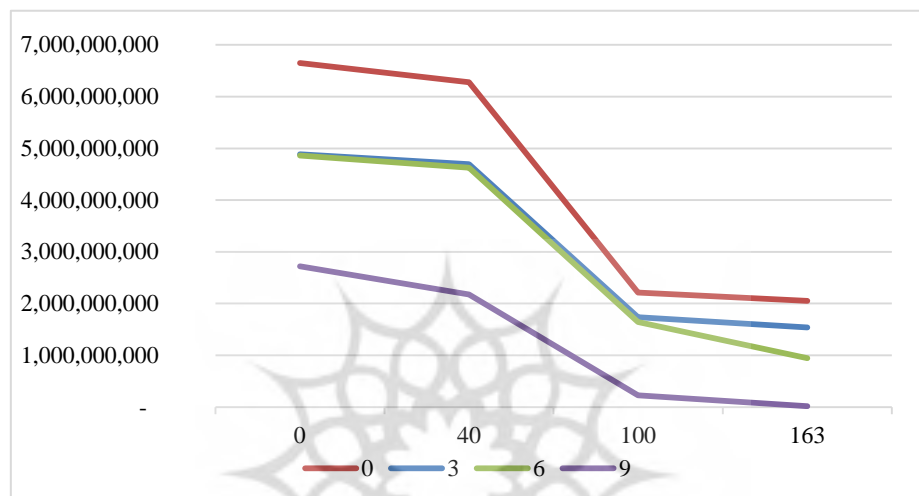
مقدار Γ_{ijpt} می‌تواند بین ۰ تا ۱۶۳ و مقدار Γ_{tk} می‌تواند بین ۰ تا ۹ تغییر کند و هرچه بزرگ‌تر باشند، سطح محافظه‌کاری بالاتر است. حال الگوریتم ژنتیک تک‌هدفه در سائز کوچک با مقادیر مختلف Γ_{ijpt} و Γ_{tk} اجرا می‌شود. مقادیری که برای Γ_{tk} در نظر گرفته می‌شود، ۰، ۳، ۶ و ۹ است و برای Γ_{ijpt} مقادیر ۰، ۴۰، ۱۰۰ و ۱۶۳ بررسی می‌شود. برای هر مقدار از این دو پارامتر، الگوریتم ۵ بار اجرا و میانگین مقادیر تابع هدف اول در جدول ۳ نمایش داده می‌شود.

جدول ۳- میانگین نتایج ۵ تکرار

Table 3- Average results of 5 repetitions

Γ_{ijpt}				Γ_{ik}
۱۶۳	۱۰۰	۴۰	۰	
۲۰۵۲۱۱۰۹۳۳	۲۲۱۵۴۲۴۹۳۱	۶۲۷۵۰۱۸۸۸۴	۶۶۴۷۹۵۸۷۰۹	
۱۹۸۰۰۴۳۹۸۷	۱۷۳۲۹۴۰۹۰۴	۴۶۹۶۸۳۷۶۲۷	۳۶۸۵۱۳۰۹۹۷	
۹۴۴۸۰۰۸۶۷۹	۱۶۴۴۰۴۵۹۹۱	۴۶۲۷۰۴۹۳۵۵	۹۳۷۸۲۱۷۱۹	
۱۴۳۳۲۰۱۷۴۴	۲۲۴۷۳۶۴۵۷,۵	۲۱۷۴۸۸۰۱۰۲	۱۵۴۰۸۲۴۸۵	

همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش سطح محافظه‌کاری، تابع هدف بدتر می‌شود.



شکل ۵- تغییر مقدار تابع هدف اول نسبت به تغییرات گاما

Fig. 5- The change in the value of the first objective function according to the gamma changes

شایان ذکر است، همان‌طور که در شکل ۵ دیده می‌شود، مقدار تابع هدف در گامای ۳ و ۶ بسیار نزدیک به هم است، به این معنی که با افزایش سطح محافظه‌کاری از ۳ به ۶، مقدار تابع هدف کمی کمتر می‌شود و همچنین تغییر تابع هدف با افزایش مقدار گاما از ۰ به ۴۰ و ۱۰۰ به ۱۶۳ کم است، به عبارت دیگر با افزایش قابل محسوس، سطح اطمینان مقدار تابع هدف به میزان کمی افت می‌کند؛ اما این تغییر در افزایش گاما از ۴۰ به ۱۰۰ و از ۶ به ۹ بسیار زیاد است. می‌توان اذعان کرد مقادیر ۶ در گامای مربوط به محدودیت ظرفیت و گامای ۱۶۳ و ۴۰ در محدودیت مربوط به تقاضا مقادیر مناسب‌تری‌اند.

۳-۴- مقایسه الگوریتم‌های فراابتکاری

برای مقایسه دو الگوریتم معیار، تعداد جواب پاراتو (NOS)، MID، زمان اجرا (T) و فاصله (S) برای هر دو الگوریتم محاسبه می‌شود. مدل غیرقطعی توسط دو الگوریتم NSGA-II و PBMOSA ۲۰ بار اجرا می‌شود. مقادیر گاما برابر با ۶ برای محدودیت ظرفیت و ۴۰ و ۱۶۳ برای محدودیت تقاضا، در نظر گرفته می‌شوند. با توجه به گسسته‌بودن معیار NOS برای مقایسه معیار تعداد جواب پاراتو، از آزمون ویلکاکسون استفاده می‌کنیم و با توجه به نرمال بودن مابقی معیار، از آزمون تی استیودنت، استفاده می‌شود.

جدول ۴ عملکرد کلی دو الگوریتم را برای چهار معیار مشخص می‌کند.

جدول ۴- مقایسه عملکرد

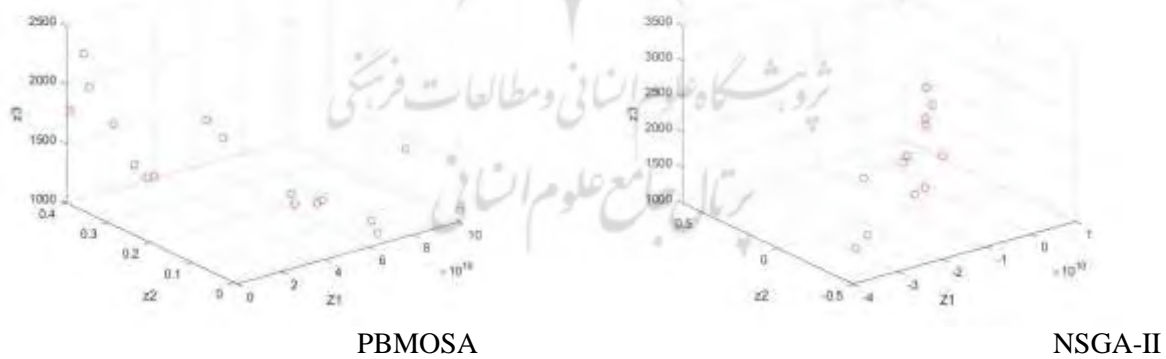
Table 4- performance comparison

الگوریتم برتر	Sig/z	میانگین داده‌ها		شاخص	ردیف
		PBMOSA	NSGA-II		
PBMOSA	/۰۱۸	۵۰	۱۵/۵۶	NOS	۱ ۲ ۳ ۴ $\Gamma_{upr} = 40$ $\Gamma_{lk} = 6$
NSGA-II	/۰۰۴	۱۹۶۳	۱۰۷۴	T	
PBMOSA	۰	۲,۰۰۰	۵/۰۹۵۲	S (10^{10})	
NSGA-II	۰	۲۴,۴	۳۹/۰۰۰	MID(10^{20})	
PBMOSA	/۰۱۸	۵۰	۱۱/۵۶	NOS	۱ ۲ ۳ ۴ $\Gamma_{upr} = 163$ $\Gamma_{lk} = 6$
NSGA-II	۰	۲۲۰۲,۰۰	۱۰۵۷/۰۰۰	T	
NSGA-II	۰	۱۷,۰۰	۳/۰۶۷۴	S (10^{10})	
NSGA-II	۰	۵۸/۸	۱۶	MID(10^{20})	

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، الگوریتم NSGA-II، با اختلاف کمی، عملکرد بهتری دارد.

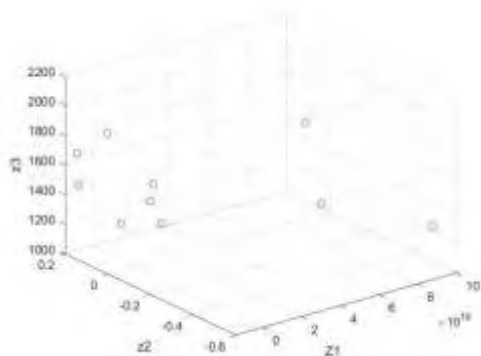
۴-۴ نتایج الگوریتم NSGA-II و PBMOSA در حالت غیرقطعی

در این قسمت جواب‌های پاراتو برای هر سه سایز مدل در هر دو الگوریتم مشخص و همچنین مقادیر میانگین توابع هدف در هر دو الگوریتم ارائه می‌شود. شکل ۶، ۷ و ۸ جواب‌های مرز پاراتو را در دو الگوریتم نمایش می‌دهد.

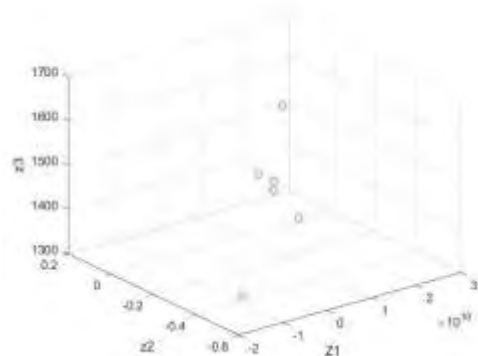


شکل ۶-نمایش جواب‌های جبهه پاراتو سایز کوچک

Fig. 6- Pareto front solutions in small size



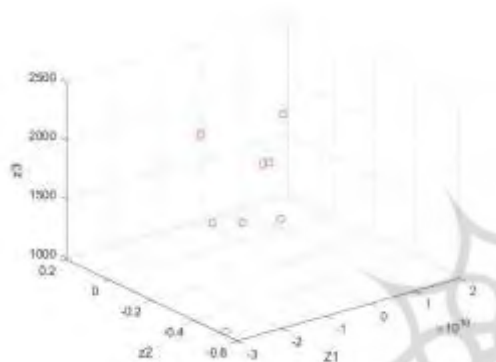
PBMOA



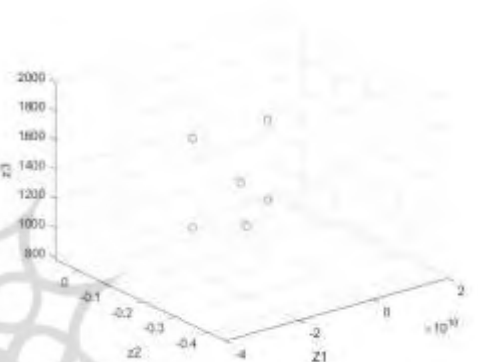
NSGA-II

شکل ۷- نمایش جواب‌های جبهه پاراتو برای مدل در سایز متوسط

Fig. 7- Pareto front solution for medium size model



PBMOA



NSGA-II

شکل ۸- نمایش جواب‌های جبهه پاراتو برای مدل در سایز بزرگ

Fig. 8- Display Pareto front answers for large size model

میانگین جواب‌های مرز پاراتو برای هر دو الگوریتم در دو حالت قطعی و غیر قطعی در جدول ۵ مشخص شده است.

جدول ۵- مقادیر توابع هدف در الگوریتم PBMOA و NSGA-II

Table 5- Average values of objective function in PBMOA and NSGA-II algorithms

PBMOA			PBMOA (غیر قطعی)			سه کالایی میانگین
Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₁ (10 ⁹)	Z ₂	Z ₃	
۸/۵۰	۰/۱۵	۱۵۸۸/۰۵	۷/۰۰	۰/۰۲۰	۱۶۱۳/۱۶۳۴	
NSGA-II			NSGA-II (غیر قطعی)			میانگین
۱/۳۶	۰/۲۱۳۴	۱۸۵۹/۸۱	۸/۰۱	۰/۰۹۲۱	۱۶۰۷/۸۱۲۵	

همان‌طور که در جدول ۵ مشخص است، میانگین مقادیر تابع هدف برای هر دو الگوریتم، در حالت قطعی بهتر است.

۴-۵- حل مسئله با استفاده از محدودیت اپسیلون بهبودیافته

برای حل دقیق مسئله، با روش بهبودیافته محدودیت اپسیلون، ابتدا مسئله جداگانه با هر یک از توابع هدف حل می‌شود؛ سپس با در نظر گرفتن هر یک از توابع هدف، به صورت تابع هدف اصلی و مقدار مابقی توابع هدف، محاسبه می‌شود. جدول ۶ جدول pay off است.

جدول ۶- pay off

Table 6- payoff table

f3	f2	f1	
۰	۰	۵۵۱۶۵۹۴۸۰۲	تابع هدف اول (max)
-۰/۰۵	۰/۲۰۸	-۰/۷۲۸	تابع هدف دوم (max)
۱۹۹۸/۸۰	۳۳۶۶/۶	۲۷۲۸/۲	تابع هدف سوم (min)

سپس مدل با تابع هدف اصلی، به صورت زیر حل می‌شود.

$$\text{Max} = \sum_{i,j,n,r,t,p}^{w=lp} q s_{jiprt}^w \cdot pr_{pn} + \sum_{i,j,n,r,t,p}^{w=11} q s_{jiprt}^w \cdot pr_{pn} \cdot (1 - .1) - \quad (44)$$

$$\sum_j F u_j u_j + \sum_{j \in S', p, t} I_{jpt}^+ h_{jpt} + \sum_{i,j,p,t} I_{jpt}^- s_{ciprt} + \sum_{j \in S', p, r, t} od_{pt} EXI_{jprt} + \sum_{j', j} \sum_{k, t} v_k c_{jj'} u_{j'} + \sum_{i, j \in M'} \sum_{k, u, t} v_{ku} c_{ij} \gamma_{jikt} + .001 (s_2^2 / .936 + s_3^2 / 2167.8) \quad (45)$$

$$.215 * \left(\sum_{i, j \in M'} \sum_{k, d, t} \gamma_{jikt} \cdot \left(\frac{AVS_{jikt}}{ATS_{jit}} \right)^{7.8} \right) - \sum_{j \in S} j o_j \cdot u_j - s_2 = (-.728 \leq e_2 \leq .208) \quad (45)$$

$$\sum_{i, j \in M', t} \sum_k GT_k \cdot c_{ij} \cdot \gamma_{ijdt} + s_3 = (1198.8 \leq e_3 \leq 3366.6) \quad (46)$$

رابطه ۴ تا ۲۸

مقدار e_2 و e_3 در بازه‌ای مشخص می‌تواند تغییر کنند. هر دو دامنه به ۵ قسمت تقسیم و مقدار تابع هدف اول، محاسبه می‌شود. مقادیر پارامتر در جدول ۷ مشاهده شدنی است.

جدول ۷- مقادیر مرز پارامتر

Table 7- Pareto front values

Z3					Z1	Z2
۳۳۶۶/۶	۲۸۲۴/۶۵	۲۲۸۲/۷	۱۷۴۰/۷۵	۱۹۹۸/۸۰		
۴۰۳۸۲۴۷۴۱۱	۴۸۴۵۸۹۶۸۹۳				۰/۲۰۸	
۵۰۳۹۷۳۲۷۶۹	۵۰۳۹۷۳۲۷۶۹	۵۰۳۹۷۳۲۷۶۹			-۰/۰۲۶	
۵۲۶۴۴۲۵۴۶۳	۵۲۶۴۴۲۵۴۶۳	۵۰۶۱۹۴۷۵۶۰	۵۰۶۱۹۴۷۵۶۰	۴۹۱۴۵۱۲۱۹۴	-۰/۲۶	
۵۰۷۲۰۷۱۴۵۵	۵۰۶۱۹۴۷۵۶۰	۵۰۶۱۹۴۷۵۶۰	۵۰۶۱۹۴۷۵۶۰	۴۹۱۴۵۱۲۱۹۴	-۰/۴۹۴	
۵۵۱۶۵۹۴۸۰۲	۵۵۱۶۵۹۴۸۰۲	۵۴۰۵۹۶۳۴۱۴	۵۴۰۵۹۶۳۴۱۴	۴۹۱۴۵۱۲۱۹۴	-۰/۷۲۸	

مقادیر تابع هدف اول در شرایط قطعی و غیرقطعی در جدول ۸ مقایسه‌شدنی‌اند.

جدول ۸-مقایسه تابع هدف در شرایط قطعی و غیرقطعی

Table 8- Comparison of first objective in the deterministic and non-deterministic condition

غیر قطعی $\Gamma_{tk} = 6$ ($\Gamma_{ijpt} = 163$)	غیر قطعی $\Gamma_{tk} = 6$ ($\Gamma_{ijpt} = 40$)	قطعی	Z1
۵۵۰۲۱۰۸۲۵۲	۵۵۱۶۵۹۴۸۰۲	۵۸۱۷۹۲۱۶۴۲	

همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقدار تابع هدف در شرایط قطعی بهتر از مقدار آن در شرایط غیرقطعی است. در ادامه مقادیر توابع هدف در الگوریتم‌های NSGA-II، PBMOSA و محدودیت اپسیلون در جدول ۹ ارائه می‌شود.

جدول ۹- مقایسه سه روش

Table 9- Comparison of three methods

PBMOSA			
Z1(10 ⁹)	Z2	Z3	
۷	۰/۰۲	۱۶۱۳/۶۳	مقدار میانگین
NSGA-II			
۸/۰۱	۰/۰۹۲۱	۱۶۰۷/۸۱	مقدار میانگین
AUGMECON			
۵/۵۲	-۰/۲۶	۲۲۸۲/۷	مقدار میانگین

همان‌طور که در جدول ۸ مشاهده می‌شود، عملکرد الگوریتم‌های فراابتکاری نسبت به محدودیت اپسیلون بهتر است.

۵- بحث

با توجه به نقش حیاتی و مهم غذای دامی در حیات جامعه بشری و همچنین با توجه به نقشی که صنعت دام و طیور در توانمندی کشور دارند، ما در این تحقیق سعی کردیم تا با نگرشی جامع، زنجیره توزیع داروی دام و طیور را درخور توجه قرار دهیم تا علاوه بر رفع کاستی‌ها و تأمین نیازهای این صنعت، موجب عدم وابستگی کشور به خارج شویم.

در مقایسه با تحقیقات پیشین، در این تحقیق هر سه سطح تصمیم‌گیری در زنجیره توزیع دارو در نظر گرفته شد. همچنین با در نظر گرفتن هر سه بعد پایداری، فسادپذیری دارو و همچنین مسئله تخفیف، این پژوهش از تحقیقات پیشین متمایز شد. پذیرش وجود عدم قطعیت در پارامترها، باعث کاربردی‌تر شدن مدل شد. در بخش ۳-۲ همتای استوار مدل غیرقطعی ارائه و در این بخش، پارامتر تقاضا غیرقطعی در نظر گرفته شد. ضمن اینکه در این تحقیق، سطوح مختلف محافظه‌کاری در نظر گرفته و بررسی شد. طبق جدول ۳ و شکل ۵ مشاهده کردیم که تابع هدف با افزایش سطح محافظه‌کاری از مقدار بهینه خود بیشتر فاصله می‌گیرد و به سمت بدتر شدن تغییر می‌یابد. برای انتخاب بهترین سطح محافظه‌کاری در مقایسه با مقدار تابع هدف در شکل ۵ تحلیل و بهترین حالت سطح محافظه‌کاری مشخص شد.

در ادامه، مدل در ابعاد کوچک با استفاده از محدودیت اپسیلون بهبودیافته، حل شد. روش بهبودیافته محدودیت اپسیلون، به دلیل کارایی بالاتر نسبت به روش سنتی محدودیت اپسیلون به کار گرفته شد. در این روش تابع هدف اول به عنوان تابع هدف اصلی مسئله مدنظر قرار گرفت و با استفاده از جدول ۷، دامنه اعداد سمت راست دو تابع هدف دیگر مشخص شد که به شکل محدودیت در نظر گرفته شده‌اند. این دو دامنه به ۵ بخش تقسیم شد و جواب های مرز پاراتو محاسبه شدند. در این تحقیق برای مدل در ابعاد بالا، از دو الگوریتم متاهیوریستیک استفاده شد.

یکی دیگر از نتایجی که می‌توان در این تحقیق به آن اشاره کرد، مقایسه مقدار تابع هدف در شرایط قطعی و غیرقطعی است. همان‌طور که انتظار می‌رفت و در جدول ۴ نمایش داده شد، توابع هدف در شرایط قطعی مقادیر بهتری را کسب می‌کند. این مقایسه برای روش محدودیت اپسیلون در جدول ۸، نیز تکرار شد. نتایج حاکی از بهتر بودن مقادیر تابع هدف در حالت قطعی است. در این تحقیق، عملکرد دو الگوریتم در جدول ۵ با استفاده از ۴ معیار مقایسه شد. همان‌طور که در این جدول مشخص است، عملکرد دو الگوریتم در سطح محافظه کاری کمتر، با یکدیگر تفاوتی ندارند، ولی در سطح محافظه کاری بیشتر، عملکرد *NSGA-II* بهتر است. در نهایت، عملکرد دو الگوریتم در ابعاد کوچک مدل با عملکرد محدودیت اپسیلون بهبودیافته، مقایسه شد. طبق آنچه در جدول ۹ مشاهده می‌شود، توابع هدف در دو الگوریتم، مقادیر بهتری را نسبت به مقادیر توابع هدف در محدودیت اپسیلون دارند.

۶- نتیجه گیری

این تحقیق ابزار مناسبی را در اختیار شرکت های توزیع کننده دارو برای برنامه ریزی و تصمیم گیری هایی مانند تعیین مکان مراکز توزیع، تعیین سطح مناسب تخفیف و تعیین مسیر مطلوب قرار می‌دهد. پیش از این تحقیق، در زنجیره توزیع دام و طیور شرکت، فقط موارد هزینه ای و سودآوری مدنظر قرار می‌گرفت، ولی با توجه به دغدغه های این شرکت، موارد پایداری برای اولین بار در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه در این پژوهش مسئله مکان یابی و مسیریابی مدنظر قرار گرفته است، مواردی در بعد اجتماعی و زیست محیطی بررسی شد که مستقیماً با مسئله در نظر گرفته شده ارتباط داشت. علاوه بر این، پیش از این تحقیق عدم قطعیت در میزان تقاضا در نظر گرفته نمی‌شد که این مسئله باعث می‌شد، هزینه هایی به شرکت تحمیل شود، ولی با در نظر گرفتن عدم قطعیت، مقادیر سود و هزینه ها به واقعیت نزدیک تر و باعث کاربردی تر شدن تحقیق شد. در این تحقیق از رویکرد استوار برای مقابله با عدم قطعیت استفاده کردیم. نتیجه ای که با داده های واقعی در این زمینه گرفتیم، بهتر بودن توابع هدف با مقادیر قطعی بود. همچنین با در نظر گرفتن تحقیقات مقداری و زمانی موجودی کنترل شده و با کمتر شدن داروهای منقضی، بعد زیست محیطی پایداری نیز در این مدل تقویت می‌شود.

همچنین در این تحقیق از دو الگوریتم *NSGA-II* و *PBMOSA* استفاده شد. دو الگوریتم ۲۰ بار اجرا و توسط ۴ معیار مقایسه شد، نتیجه ای که از این مقایسه به دست آمد، این بود که الگوریتم *NSGA-II* عملکرد بهتری دارد. البته این برتری و تفاوت ناچیز است.

به‌منظور گسترش این پژوهش، موارد زیر برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود:

- معیارهای کامل تری را می‌توان در بعد اجتماعی پایداری لحاظ کرد. معیارهایی همچون حقوق نیروی انسانی، رفاه نیروی انسانی و ... را می‌توان به تابع هدف سوم اضافه کرد.
- در بعد زیست‌محیطی نیز می‌توان معیارهای کامل تری را اضافه کرد؛ به‌طور مثال می‌توان انتشار گازهای گلخانه‌ای را در مراکز توزیع در نظر گرفت.
- در این تحقیق از الگوریتم‌های فراابتکاری *NSGA-II* و *PBMOSA* استفاده شده است. می‌توان از دیگر الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده و آن را با الگوریتم‌های فعلی مقایسه کرد.
- برگشت داروی‌های منقضی‌شده و تأثیر امحا بر محیط‌زیست را می‌توان به مدل‌های آتی اضافه کرد.

References

- Adeli, M., Zandieh, M. (2013). Presenting a multi-objective simulation optimization approach for integrated sourcing and inventory decision model. *Industrial Management Perspective*, (11), 89-110. (In Persian).
- Alavi, H., Jabbarzadeh, A. (2018). Supply Chain Network Design Using Trade Credit and Bank Credit: A Robust Optimization Model with Real Word Application. *Computers & Industrial Engineering*. 165, 69-86. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.08.005>
- Alam Tabriz, A., Zandieh, M., Rahimi, M.R. (2013). *Meta Heuristic Algorithm in Optimization*. Safar. (In Persian).
- Azar, A. & Najafi, S. (2017). Mathematical Model of Budgeting in the Public Sector: The Robust Optimization Approach. *Journal of Industrial Management*, 8, 83-98. (In Persian).
- Biuki, M., Kazemi, A., & Alinezhad, A. (2020). An Integrated Location-Routing-Inventory Model for Sustainable Design of a Perishable Products Supply Chain Network. *Journal of Cleaner Production*. 260(1), 120842. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120842>
- Coello.Coello, A.C., Pulido, G.T., & Lechuga, M.S. (2004). Handling multiple objectives with particle swarm optimization. *IEEE transactions on evolutionary computation* 8(3), 256-279. <https://doi.org/10.1109/tevc.2004.826067>
- Diabat, A., Jabbarzadeh, A., & Khosrojerdi, A. (2018). A Perishable Product Supply Chain Network Problem with Reliability and Disruption Considerations. *Production Economics*, 212,125-138 <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.09.018>
- Fathaian, H., & Pasandideh, H. (2018). Green-Blood Supply Chain Network Design: Robust Optimization, Bounded Objection Function & Lagrangian Relaxation. *Computers & Industrial Engineering*, 122, 95-105. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.05.051>
- Fazeli Nasab, B., Jaafarvand, N., & Foladvand, Z (2015). The use of medicinal plants in livestock and poultry. *International conference on sustainable development, strategies and challenges with a focus on agriculture, natural resources, environment and tourism*
- Fritz, M., Ruel, S., Kallmuenzer, A. & Harms, R. (2021). Sustainability Management in Supply Chain: The Role of Familiness. *Thechnological Forecasting & Social Change*, 173(2021)121078 <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121078>
- Ghahremani-Nahr, J., Kian, R., & Sabet, E. (2018). A Robust Fuzzy Mathematical Programming Model for the Closed-Loop Supply Chain Network Design and a Whale Optimization Solution. *Expert Systems with Application*. 116, 454-471. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.09.027>
- Hennessy, M., Fournie, G., Hoque, Md., & Humar, P. (2020). Intensification of Fragility: Poultry Production and Distribution in Bangladesh and Its Implications for Disease Risk. *Prevention Veterinary Medicine*, 191, 105367. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2021.105367>

- Jabbarzadeh, A., Haughton, M., & Pourmehdi, F. (2018). A Robust Optimization Model for Efficient and Green Supply Chain Planning With Postponement Strategy. *Production Economics*, 214, 266-283. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.06.013>
- Kelle, P., Woosley, J., & Schneider, H. (2012). Pharmaceutical Supply Chain Specifics and Inventory Solution for a Hospital Case. *Operations Research for Health Care*, 1, 54-63. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2012.07.001>
- Martins, S., Amormin, P., Figueira, G., & Almada-Lobo, B. (2017). An Optimization-Simulation Approach to the Network Redesign Problem of Pharmaceutical Wholesalers. *Computers & Industrial Engineering*, 106, 315-328. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.01.026>
- Mavrotas, G. (2009). Effective Implementation of ϵ -Constraint Method in Multi-Objective Mathematical Programming Problem. *Applied Mathematics and Computation*, 213, 455-465. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2009.03.037>
- Marghany, M. (2019). *Principles of Genetic Algorithm*. In: Synthetic Aperture Radar Imaging Mechanism for Oil Spills.
- Nekooghadirli, N., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Ghezavati, V.R. (2014). Efficiency of a Multi-Objective Imperialist Competitive Algorithm: A Bi-Objective Location-Routing-Inventory Problem with Probabilistic Routes. *Journal of AI and Data Mining*, 2, 105-112. <https://doi.org/10.22044/jadm.2014.292>
- Quimby, A., Maycock, G., Plamer, C., Buttress, S., (1999). *The factors influence a driver's choice of speed: a questionnaire study*. Transport research laboratory TRL, Crowthorne, Berkshir.
- Patankat, N., Eshraghi, H., Queiroz, A., & Decarolis, J. (2022). Using Robust Optimization to Inform US Deep Decarbonization Planning. *Energy Strategy Reviews*, 42, 100892. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100892>
- Rafie-Majd, Z., Pasandideh, H., & Naderi, B. (2018). Modelling and solving the integrated inventory-location-routing problem in a multi-period and multi-perishable product supply chain with uncertainty: Lagrangian relaxation algorithm. *Computers & Chemical Engineering*, 109(4), 9-22. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2017.10.013>
- Savadkoobi, E., Mousazadeh, M., & Ali Torabi, S. (2018). A Possibilistic Location- Inventory Model for Multi-Period Perishable Pharmaceutical Supply Chain Network Design. *Chemical Engineering Research and Design*, 138, 490-505. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2018.09.008>
- Scott, J.R. (1995). Fault Tolerant Design Using Single and Multi-criteria Genetic Algorithms Optimization. Master's thesis. *Department of Aeronautics and Astronautics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge*, 24(1), 1-19.
- Stecca, G., Bafoo, I., & Kaihara, T. (2016). Design and Operation of Strategic Inventory Control System for Drug Delivery in Healthcare Industry. *IFAC-Papers-online*, 49(13), 904-909. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.890>
- Su, Y., & Yang, Ch. (2010). Why Are Enterprise Resource Planning Systems Indispensable To Supply Chain Management. *European Journal of Operational Research*, 203, 81-94. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.07.003>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121897>
- Xing, X., Yan, Y., Zhang, H., Long, Y., Wang, Y., & Liang y. (2019). Optimal design of distributed energy systems for industrial parks under gas shortage based on augmented ϵ -constrain method. *Journal of cleaner production*, 218, 782-795. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.052>
- Zahiri, B., Jula, P., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2017). Design of a Pharmaceutical Supply Chain Network under Uncertainty Considering Perishability and Substitutability of Products. *Information Science*. 423, 257-283. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2017.09.046>
- Zhalechin, M., Tavakoli-Moghaddam, R., Zahiri, B., & Mohammadi, M. (2016). Sustainable Design of a Closed-Loop Location-Routing-Inventory Supply Chain Network under Mixed Uncertainty. *Transportation Research Part E*, 89, 182-214. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2016.02.011>

Zitler, E., Deb, K., & Thiele, L. (2000). Comparison of Multi Objective Evolutionary Algorithms: Empirical Results. *Evolutionary Computation Journal* 8(2), 125-145. <https://doi.org/10.1162/106365600568202>

¹ Food And Agriculture Organization

² Hennessey & et. al

³ Fazeli Nasab & et. al

⁴ Su & Yung

⁵ Fritz & et. al

⁶ Kelle & et. al

⁷ Stecca & et. al

⁸ Tat & et. al

⁹ Savadkoohi & et. al

¹⁰ Martins & et. al

¹¹ Ghahremani Nahr & et. al

¹² Zahiri & et. al

¹³ Rafie-Majd & et. al

¹⁴ Nekooghadirli & et. al

¹⁵ Zhalechian & et. al

¹⁶ Biuki & et. al

¹⁷ Fathian & Pasandideh

¹⁸ Diabat & et. al

¹⁹ Jabbarzadeh & et. al

²⁰ Alavi & Jabbarzadeh

²¹ Quimby & et. al

²² Patankat & et. al

²³ Bertsimas & Sim

²⁴ Azar & Najafi

²⁵ Mavrotas

²⁶ Xing & et. al

²⁷ Augmented ϵ -constraint

²⁸ Non Dominant Sorting Genetic Algorithm

²⁹ Marghani

³⁰ Alam Tbriz & et. al

³¹ Population Based Multi Objective Simulated Annealing

³² Number Of Solution

³³ Zitler & et. al

³⁴ Adeli & Zandieh

³⁵ Coelo Coello et al.

³⁶ Scott

