



A bi-objective optimization model to design a cold and green network of the multi-product, multi-level and multi-period pharmaceutical supply chain, taking into account the time value of money and imports of pharmaceutical products

Faeze Aminizade*^{ID}
Ali Rajabzadeh**^{ID}
Mahmood Dehghan Nayeri***^{ID}

Extended Abstract

Introduction: Due to the specific characteristics of pharmaceutical products such as the specific half-life, the need to observe temperature controls; maintaining the safety of medicines at all stages, complying with international regulations and standards and providing the best level of service to consumers; The pharmaceutical supply chain is very important. Today, in developing countries, the challenges that exist in the production, storage, import and distribution of pharmaceutical products have reduced the sustainability and increased costs of the pharmaceutical supply and distribution chain network. Sustainability, which seeks to meet today's economic and social needs without jeopardizing the environment and the needs of future generations, is defined as a concept consisting of three economic, social and ecological dimensions.

Methods: This study by developing an integer bi-objective optimization model; while integrating import factors, time value of money (TVM) and temperature control requirements; It guarantees operational efficiency and economic and environmental sustainability of the pharmaceutical network. In other words, with synergy between cold chain logistics and green principles, while maintaining the quality and integrity of temperature-sensitive pharmaceutical products, it seeks to minimize costs and environmental effects. Also, taking into account the economic consequences of TVM, the inherent challenges and complexities of the international import of pharmaceutical products, it helps to make more cost-effective decisions and more accurate financial feasibility over time. In fact, the present study aims to achieve a harmonious balance between operational excellence, economic viability and sustainable practices, and helps the managers and stakeholders of this industry in navigating the multifaceted challenges of global drug distribution.

Received: May. 16, 2024; Revised: Aug. 11, 2024; Accepted: Oct. 15, 2024; Published Online: Nov. 25, 2024.

* Ph.D. student, Department of Industrial Management, Faculty of Management and Economics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

** Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Management and Economics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
Corresponding Author: alirajabzadeh@modares.ac.ir

*** Associate Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Management and Economics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.



Results and discussion: After solving the model with the help of GAMS and the comprehensive benchmarking method, it has been determined by using numerical examples that (a) pharmaceutical import plays the biggest role in creating costs for its cold and green network. In this regard, it is important to pay attention to the fact that although domestically produced drugs have a lower price than the imported ones, their quality and effect on treatment is also much lower, and this issue makes imported pharmaceutical products more popular among people. In addition, since even the production of pharmaceutical products is dependent on the import of raw materials and legal requirements such as price restrictions are an obstacle for producers, it seems that revision of existing requirements and regulations and Such improvement of production technologies in the long term can reduce the costs of the chain to a great extent, although it may bring costs to the network in the short term; (b) Compliance with temperature controls, which is inevitable during the operation of a strategic product chain such as medicine, will definitely lead to an increase in its costs and a warming of the earth, and it is necessary for the decision-makers of this industry, in short spend enough time and take appropriate measures to improve maintenance technologies and continuously monitor the health and quality of refrigerated items in order to enjoy more benefits in the long term; (c) Transportation, while constituting the smallest part of the costs, is considered the most effective operation of the network in warming the earth. This issue, rather than being affected by the quality, health and capacity of vehicles, is a result of the lack of proper management of supply and demand and improper management of inventory; (d) The time value of money and issues such as inflation, exchange rate fluctuations, and sanctions, although in the short-term and medium-term it will cost more for the chain, but it will not play a decisive role in the long term.

Conclusions: In fact, the above two-objective model shows that the improvement of economic and environmental performance in the long term and the realization of sustainable management of the pharmaceutical supply chain can be achieved by revising the legal requirements and production strategies, correct supply and demand management, and proper inventory management.

Keywords: Cold supply chain, Green supply chain, Mixed integer multi-objective optimization, Pharmaceutical supply chain, sustainability, Pharmaceutical import, Time value of money(TVM).

How to Cite: Aminizadeh, Faezeh; Rajabzadeh, Ali; Dehghan Nayeri, Mahmood (2024). A bi-objective optimization model to design a cold and green network of the multi-product, multi-level and multi-period pharmaceutical supply chain, taking into account the time value of money and imports of pharmaceutical products. *Ind. Manag. Persp.*, 14(4), 98-120 (*In Persian*).



طراحی مدل بهینه‌سازی دوهدفه شبکه سرد و سبز زنجیره تأمین چندمحصولی، چندسطحی و چند دوره‌ای دارو با در نظر گرفتن ارزش زمانی پول و واردات دارویی

فائزه امینی‌زاده* 

علی رجب‌زاده** 

محمود دهقان‌نیری*** 

چکیده گسترده

مقدمه و اهداف: با توجه به ویژگی‌های خاص محصولات دارویی مثل نیمه عمر مشخص، لزوم رعایت کنترل‌های دمایی، حفظ ایمنی داروها در تمام مراحل، انطباق با مقررات و استانداردهای بین‌المللی و ارائه بهترین سطح خدمت‌رسانی به مصرف‌کنندگان، زنجیره تأمین دارو از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. امروزه در کشورهای در حال توسعه، معضلاتی که در تولید، نگهداری، واردات و توزیع دارو وجود دارد، باعث کاهش پایداری و افزایش هزینه‌های شبکه زنجیره تأمین و توزیع دارو شده است. پایداری که به دنبال پاسخگویی به نیازهای اقتصادی و اجتماعی امروز بدون به مخاطره انداختن محیط زیست و نیازمندی‌های نسل آینده است، به صورت مفهومی متشکل از سه بعد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی تعریف می‌شود.

روش‌ها: این مطالعه، با توسعه یک مدل بهینه‌سازی دوهدفه عدد صحیح؛ ضمن ادغام فاکتورهای واردات، ارزش زمانی پول و الزامات کنترل دمایی، بهره‌وری عملیاتی و پایداری اقتصادی و زیست‌محیطی شبکه دارویی را تضمین می‌نماید. به عبارت دیگر، با هم‌افزایی بین لجستیک زنجیره سرد و اصول سبز، در عین حفظ کیفیت و یکپارچگی داروهای حساس به دما، به دنبال به حداقل رساندن هزینه‌ها و اثرات زیست‌محیطی است. هم‌چنین با در نظر گرفتن پیامدهای اقتصادی ارزش زمانی پول، چالش‌ها و پیچیدگی‌های ذاتی واردات بین‌المللی محصولات دارویی، به اتخاذ تصمیمات مقرون-به‌صرفه اقتصادی و امکان‌سنجی مالی دقیق‌تر در طول زمان کمک می‌کند. در واقع، مطالعه حاضر با هدف دستیابی به تعادلی هماهنگ میان تعالی عملیاتی، دوام اقتصادی و شیوه‌های پایدار، مدیران و ذینفعان این صنعت را در جهت‌یابی چالش‌های چندوجهی توزیع جهانی دارو یاری می‌نماید.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۷، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۲۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۴، تاریخ اولین انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۰۵.

* دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
** استاد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

نویسنده مسئول: alirajabzadeh@modares.ac.ir

*** دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

نوع مقاله: پژوهشی

یافته‌ها: پس از حل مدل به کمک نرم‌افزار گمز و روش معیار جامع، با استفاده از مثال‌های عددی، مشخص شده است که (الف) واردات دارو، بیشترین نقش را در ایجاد هزینه برای شبکه سرد و سبز آن ایفا می‌کند. توجه به این نکته ضروری است که اگرچه داروهای تولید داخل قیمت پایین‌تری نسبت به نمونه وارداتی آن دارند، اما کیفیت و تأثیر آن‌ها بر درمان نیز به مراتب پایین‌تر است و همین مسأله باعث اقبال بیشتر داروهای وارداتی در میان مردم شده است. علاوه بر این، از آنجایی که حتی تولید محصولات دارویی نیز وابسته به واردات مواد اولیه می‌باشد و الزامات قانونی نظیر محدودیت قیمتی، سد راه تولیدکنندگان است، به نظر می‌رسد که تجدیدنظر در الزامات، قوانین و مقررات موجود و هم‌چنین بهبود تکنولوژی‌های تولید در بلندمدت می‌تواند هزینه‌های زنجیره را تا حدود زیادی کاهش دهد؛ اگرچه ممکن است که در کوتاه‌مدت برای شبکه هزینه‌هایی به همراه داشته باشد؛ (ب) رعایت کنترل‌های دمایی که امری اجتناب‌ناپذیر در طول عملیات زنجیره محصول استراتژیکی مثل دارو است، قطعاً منجر به افزایش هزینه‌های آن و گرم‌تر شدن زمین خواهد شد و لازم است تا تصمیم‌گیرندگان این صنعت، در کوتاه‌مدت هزینه‌های کافی و اقدامات مناسب در مسیر بهبود تکنولوژی‌های نگهداری و نظارت مستمر بر سلامت و کیفیت وسایل یخچال‌دار را انجام دهند تا در بلندمدت از مزایای بیشتری برخوردار گردند؛ (ج) حمل‌نقل، در عین حال که کوچک‌ترین بخش از هزینه‌ها را تشکیل می‌دهد، مؤثرترین عملیات شبکه در گرم‌تر شدن زمین محسوب می‌شود. این مسأله بیش از آنکه متأثر از کیفیت، سلامت و ظرفیت وسایل نقلیه باشد در نتیجه عدم مدیریت صحیح عرضه و تقاضا و مدیریت نادرست موجودی، حاصل شده است؛ (د) از طرف دیگر، نتایج حاکی از آن است که ارزش زمانی پول و مسائل مثل تورم، نوسانات نرخ ارز و تحریم اگرچه در کوتاه‌مدت و میان‌مدت در بردارنده هزینه بیشتر برای زنجیره خواهد بود، اما در بلندمدت نقش تعیین‌کننده نخواهد داشت.

نتیجه‌گیری: در واقع مدل دو هدفه فوق نشان می‌دهد که بهبود عملکرد اقتصادی و زیست محیطی در بلندمدت و تحقق مدیریت پایدار زنجیره تأمین دارو، به واسطه تجدیدنظر در الزامات قانونی و استراتژی‌های تولید، مدیریت صحیح عرضه و تقاضا و مدیریت مناسب موجودی قابل دستیابی است.

واژگان کلیدی: زنجیره تأمین دارو، پایداری، زنجیره تأمین سرد، زنجیره تأمین سبز، ارزش زمانی پول، واردات دارو، بهینه‌سازی چندهدفه عدد صحیح.

استناددهی: امینی‌زاده، فائزه؛ رجب‌زاده، علی؛ دهقان نیری، محمود (۱۴۰۳). طراحی مدل بهینه‌سازی دوهدفه شبکه سرد و سبز زنجیره تأمین چندمحصولی، چندسطحی و چند دوره‌ای دارو با در نظر گرفتن ارزش زمانی پول و واردات دارویی. چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴(۴)، ۹۸-۱۲۰.



۱. مقدمه

امروزه اهمیت پایداری در کسب‌وکارهای جهانی افزایش یافته و مقررات سختگیرانه‌ای در خصوص اثرات زیست‌محیطی فعالیت شبکه‌های زنجیره تأمین وضع شده است. این مسأله در صنعت داروسازی که در آن ضرورت حفظ اثربخشی دارو از طریق کنترل دقیق دما با نگرانی‌های زیست‌محیطی تلاقی می‌کند، اهمیت قابل توجهی می‌یابد. رعایت استانداردهای دما در تمامی مراحل زنجیره دارو شامل ذخیره‌سازی و حمل‌ونقل محصولات دارویی الزامی بوده و معمولاً از طریق سیستم‌های تبرید با استفاده از گازهای هیدروفلوئوروکربن انجام می‌شود. این گازها اگرچه در کاهش دما مؤثرند، اما برای مدت طولانی در اتمسفر باقی می‌مانند و تأثیر آشکاری بر گرمایش جهانی دارند. بنابراین صنعت داروسازی از یک سو ضامن حفاظت از سلامت عمومی است و از سوی دیگر موظف است تا سهم خود در گرم شدن کره زمین را کنترل کرده و کاهش دهد [۲۱]. با توجه به این مهم، مطالعه حاضر به دنبال ایجاد مدلی است که علاوه بر کسب سود اقتصادی و رضایت مصرف‌کنندگان، در قبال محیط زیست نیز مسئولیت‌پذیر باشد.

پایداری، مفهوم گسترده‌ای است که دارای سه بعد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی می‌باشد. از آنجایی که اولین و اصلی‌ترین هدف تمامی کسب‌وکارها و زنجیره‌های تأمین، بهره‌وری منابع و کسب حداکثر سود است، می‌توان بعد اقتصادی پایداری را سنگ بنای این مفهوم دانست [۹]. در طول تاریخ، تمرکز کسب‌وکارها بر روی به حداقل رساندن هزینه مستقیم بوده است و بنابراین تأکید بر اهمیت ادغام ارزش زمانی پول (TVM)^۱ در چارچوب طراحی زنجیره‌های تأمین در جهت اتخاذ تصمیمات واقع‌بینانه‌تر، از اهمیت بالایی برخوردار خواهد شد. ارزش زمانی پول یک اصل اساسی مالی است و نشان می‌دهد که ارزش یک واحد پول، تابع متغیرهای وابسته به زمان مانند تورم، نرخ بهره و هزینه فرصت بوده و چنین ادعا می‌کند که ارزش پول در طول زمان تغییر خواهد کرد [۷]. ترکیب مفهوم ارزش زمانی پول در چارچوب طراحی شبکه زنجیره تأمین دارویی می‌تواند باعث شود تا از آن در برابر ریسک‌های مالی اضطراری محافظت شده و هزینه واقعی عملیات خود را بررسی کرده و دوام و انعطاف‌پذیری بالایی در بلندمدت داشته باشد. درواقع ذینفعان را قادر می‌سازد تا تصمیماتی را در زمینه مقادیر بهینه هزینه‌ها و درآمدها اتخاذ کنند که در جهان و شرایط واقعی، عملیاتی‌تر باشد و نتایج بهتری را برای کسب‌وکار به همراه داشته باشد [۳۰].

در سال‌های اخیر، الزاماتی برای گنجاندن ملاحظات پایداری در صنعت داروسازی در نظر گرفته شده‌است، چراکه این صنعت با توجه به ماهیت محصولات و خدماتی که ارائه می‌دهد با چالش‌های بیشتری اعم از فسادپذیری محصولات دارویی و داشتن نیمه عمر مشخص، لزوم تحویل به‌موقع و ایمن داروها به بیماران و مصرف‌کنندگان نهایی آنها، حساسیت به نور، دما و رطوبت مواجه است [۲۴]. از سوی دیگر و با توجه به لزوم رعایت شرایط خاص دمایی برای نگهداری و حمل‌ونقل برخی از محصولات دارویی در راستای تحویل ایمن به مصرف‌کننده، زنجیره تأمین دارو یک زنجیره سرد است. این بدین معناست که در زنجیره تأمین دارو بایستی کلیه فعالیت‌هایی که برای ذخیره‌سازی، حمل‌ونقل، حفظ و نگهداری محصولات دارویی انجام می‌گیرد، از نظر دمایی تحت کنترل کامل و مطابق با استانداردهای بین‌المللی باشد [۱۶، ۲۸].

بنابر آنچه بیان شد، صنعت دارو یکی از مهم‌ترین بخش‌های حوزه سلامت و ارائه خدمات بهداشتی و درمانی است که به صورت سیستمی متشکل از فرآیندها، عملیات و سازمان‌های درگیر در کشف، توسعه و تولید مواد، تجهیزات و دستگاه‌های جراحی و پزشکی، داروها و مواد مخدر تعریف شده است. زنجیره تأمین دارو که دارای ماهیت چند سطحی، چند محصولی و چند دوره‌ای است به صورت ادغام کلیه فعالیت‌های مرتبط به جریان تبدیل و تغییر شکل مواد اولیه به داروها و جریان محصولات دارویی تا رسیدن به مصرف‌کننده نهایی و همینطور جریان‌های اطلاعاتی مرتبط از طریق ارتباطات بهبود یافته زنجیره تأمین تا رسیدن به یک مزیت رقابتی پایدار تعریف می‌شود. لازم به ذکر است که شبکه دارویی در حالت کلی از سه سطح تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و مصرف‌کنندگان دارو تشکیل شده است [۲۷].

در خصوص موارد فوق‌الذکر، گودرزبان و همکارانش^۱ (۲۰۲۱) مدلی یکپارچه برای زنجیره تأمین پزشکی پایدار در جریان همه‌گیری ویروس کرونا، ارائه کرده‌اند که تأکید آن بر وابستگی متقابل بین کارایی مراقبت‌های بهداشتی و نظارت بر محیط‌زیست است [۸]. احمد سیف و الهده^۲ (۲۰۱۵) نیز طراحی زنجیره سرد را با در نظر گرفتن ملاحظات پایداری از طریق یک رویکرد بهینه‌سازی-شبه‌سازی بررسی کرده‌اند [۲۲]. آندیچ و همکارانش^۳ (۲۰۱۲) کاربردهای بالقوه زنجیره تأمین سبز در بازار ترکیه را مورد مطالعه قرار داده‌اند [۳]. ظهیری و همکارانش^۴ (۲۰۱۷) به پیچیدگی‌های عدم قطعیت جهان واقعی در طراحی شبکه‌های زنجیره تأمین دارویی پرداخته‌اند [۲۹].

مطالعه حاضر با تکیه بر رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی که شامل یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه است، به طور همزمان به دنبال تحقق دو هدف محوری (الف) به حداقل رساندن کل هزینه‌های شبکه زنجیره تأمین دارو و (ب) کاهش اثرات زیست محیطی فعالیت‌های این شبکه و کاهش سهم آن در گرم‌تر شدن کره زمین، می‌باشد. همچنین برای کشف و درک وابستگی‌های متقابل و ارزیابی قدرت مدل پیشنهادی تحت شرایط و با پارامترها و داده‌های مختلف از تحلیل حساسیت استفاده کرده‌ایم. وجه تمایز این مطالعه در ادغام نوآورانه لجستیک زنجیره سرد، پایداری اقتصادی و زیست‌محیطی، واردات دارویی و ارزش زمانی پول در چارچوب یک مدل بهینه‌سازی دو هدفه است. این ادغام، چشم‌اندازی جامع برای یک زنجیره تأمین پایدار دارو ارائه می‌دهد که نه تنها با واقعیت‌های نگرانی‌های زیست‌محیطی هماهنگ است، بلکه از ملاحظات اقتصادی و هزینه‌های شبکه در طول زمان و واردات دارو نیز آگاه است. در این رویکرد، هوشمندی مالی با نظارت زیست‌محیطی ترکیب شده‌است؛ بدون اینکه از یکپارچگی و کیفیت محصول بکاهد.

در واقع مدل پیشنهادی می‌تواند با بررسی و محاسبه میزان نشت و انتشار برخی از گازهای گلخانه‌ای در سراسر زنجیره تأمین دارویی، از تولید تا تحویل، پیشنهاداتی عملی ارائه دهد تا به واسطه بهینه‌سازی عملیات و مدیریت مناسب عرضه و تقاضا، به طور غیرمستقیم بر کاهش گرمایش جهانی، تأثیر مثبت داشته باشد. به علاوه، با توجه به ادغام پیچیدگی‌های مربوط به مفهوم ارزش زمانی پول و پویایی‌های مربوط به سطوح تولید و واردات دارویی از وجوه مختلف، به تصمیم‌گیرندگان ابزاری قوی برای انتخاب استراتژی‌های مالی آگاهانه‌تر و تخصیص بهینه منابع ارائه می‌دهد. همچنین مدل فوق می‌تواند تغییرات موجودی در گره‌های مختلف زنجیره تأمین دارو را در بلندمدت مدیریت کرده و به خوبی اثرات تغییرات ارزش پولی را در افق برنامه‌ریزی مشخص نماید. موارد فوق در صنعت داروسازی که در آن زمان‌بندی مناسب و بهینه‌سازی سطح موجودی به دلیل ویژگی‌های خاص محصولات دارویی مثل لزوم حفظ ایمنی داروها و یا الزامات دمایی سخت‌گیرانه بسیار اهمیت دارد، می‌تواند راه‌گشا باشد.

در ادامه، در بخش بعدی مرور ادبیات مرتبط مطرح شده و ضمن شناسایی شکاف تحقیقاتی موجود، به بیان جنبه‌های نوآورانه مطالعه پرداخته می‌شود. در بخش سوم، ضمن تشریح زنجیره سرد و سبز دارویی مورد بررسی، مدل بهینه‌سازی دو هدفه شبکه دارو و جزئیات مربوط به آن شرح داده خواهد شد و سپس در بخش چهارم، ضمن حل مدل با یک مثال عددی و انجام تحلیل حساسیت، نتایج حاصله بررسی می‌گردد. در نهایت، بخش آخر به نتیجه‌گیری علمی و عملی و زمینه‌های پیشنهادی برای تحقیقات آتی اختصاص داده می‌شود.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش:

زنجیره تأمین دارو با توجه به مسئولیت سنگینی که در حفظ جان و سلامت بیماران دارد، به عنوان یکی از مهم‌ترین سیستم‌های سلامت و مراقبت‌های بهداشتی در سراسر جهان شناخته می‌شود. طراحی شبکه پیچیده زنجیره تأمین دارو به نحوی که بتواند تولید، تأمین، توزیع و تحویل محصولات دارویی را به صورت ایمن و کارآمد انجام دهد؛ از اهمیت بالایی برخوردار است. طراحی چنین زنجیره‌های تأمینی شامل لایه‌های متعددی از ملاحظات لجستیکی و عملیاتی است که مکانیسم‌های پیچیده‌ای را برای رعایت مقررات و استانداردها، تضمین کیفیت و سلامت محصول و محافظت از آن در برابر آلودگی و تخریب و همچنین پاسخگویی سریع به تقاضا، در بر می‌گیرد [۴].

1. Goodarzian et al. (2021)

2. Saif, Ahmed & Elhedh, Samir (2015)

3. Andıç et al. (2012)

4. B. Zahiri et al. (2017)

در دهه‌های اخیر با توجه به افزایش پیچیدگی‌های جهانی و اهمیت روزافزون مسأله پایداری، تکامل طراحی زنجیره تأمین به‌ویژه در حوزه صنعت داروسازی تغییر چشمگیری داشته است. مطالعات اولیه که پایه و اساس برنامه‌ریزی و طراحی مدل‌های بهینه‌سازی چندهدفه بوده‌اند بر چارچوب‌های تک‌هدفه ساده‌ای استوار بودند که هدفشان تحقق کم‌ترین هزینه یا بیشترین کارایی بود [۲۰]. با افزایش عمق تجزیه و تحلیل زنجیره تأمین، محققان به اهداف چندگانه در برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌های خود روی آورده‌اند که به طور همزمان به مبادلات میان کاهش هزینه‌ها، افزایش کارایی، اثربخشی، بهره‌وری منابع، سطح خدمت‌رسانی و انطباق با مقررات و استانداردها پرداخته و طیف گسترده‌ای از معیارها مانند کیفیت، ایمنی و مدیریت ریسک را در نظر می‌گیرند. طراحی مدل‌های بهینه‌سازی با اهداف چندگانه در صنعت دارو باعث طراحی شبکه‌های دارویی قوی، چابک و پایداری می‌شود که در آن تصمیم‌گیرندگان و ذینفعان می‌توانند چالش‌های پیچیده آن را در بلندمدت پیشبینی کرده و استراتژی‌های مناسب‌تری اتخاذ نمایند [۲۵].

در سال ۲۰۰۷، سرواستاوا^۱ در مطالعه‌ای که بر ابعاد زیست‌محیطی شبکه‌های زنجیره تأمین تأکید داشت، زمینه را برای رویکردهای پیچیده‌تر در برنامه‌ریزی، مدیریت و طراحی شبکه زنجیره تأمین فراهم نمود [۲۳]. زنده و همکارانش در سال ۲۰۱۸ در مطالعه دیگری به ابعاد پایداری در زنجیره‌های تأمین دارویی پرداخته و به سمت مدل‌هایی که نظارت بر محیط‌زیست را با عملکرد اقتصادی ادغام می‌کنند، حرکت کرده‌اند [۳۱]. آباکو و اودیماها^۲ نیز در مطالعه خود در سال ۲۰۲۴ در یک بررسی نظری و عملی جامع به بحث مدیریت زنجیره تأمین پایدار با هدف تطبیق اهداف اغلب متضاد نظارت محیطی، مسئولیت اجتماعی و دوام اقتصادی در صنایع دارویی پرداخته‌اند. آن‌ها مطالعه خود را مبتنی بر شش کلیدواژه پایداری، مدیریت زنجیره تأمین، مراقبت‌های بهداشتی و درمانی، مراقبت از محیط‌زیست، مسئولیت اجتماعی و دوام اقتصادی دانسته و به مؤلفه‌های کلیدی مانند چارچوب‌های نظارتی و الزامات انطباق خاص برای زنجیره‌های تأمین مراقبت‌های بهداشتی، کاهش ردپای کربن و ضایعات، تقویت مسئولیت اجتماعی از طریق شیوه‌های اخلاقی و ایجاد تعادل بین اهداف پایداری و کارایی هزینه توجه داشته‌اند و با استفاده از مطالعات موردی در دنیای واقعی، بینش‌ها و استراتژی‌هایی را برای هدایت تعامل پیچیده عوامل زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی در لجستیک صنایع دارویی ارائه می‌کنند [۱].

طراحی زنجیره تأمین دارو در تمامی مراحل تولید، انبارش و حمل‌ونقل مطابق با استاندارد مدیریت زنجیره تأمین سرد برای حفظ یکپارچگی و کارایی محصولات دارویی حساس به دما ضروری است. در مطالعه یوری یون^۳ (۲۰۱۴) با تأکید بر مدیریت مناسب زنجیره سرد دارو چنین بیان می‌کند که به راه‌حل‌های لجستیک تخصصی برای حفظ کیفیت محصول در طول فرآیند توزیع نیاز است [۲۸]. لویز^۴ و همکارانش در سال ۲۰۲۴ با توجه به شرایط همه‌گیری کووید ۱۹ و با توجه به شرایط زمانی خاص واکسیناسیون جهانی ضمن مدلسازی این زنجیره بر ویژگی‌های خاص زنجیره‌های دارویی و لزوم توجه به اهداف متناقض پایداری مثل کمینه کردن هزینه‌ها و انتشار آلاینده‌ها پرداخته‌اند [۱۴]. در سال ۲۰۱۵ مطالعه احمد سیف و همکارانش، ملاحظات طراحی یک زنجیره تأمین سرد را با تمرکز بر مسائل محیط‌زیست بررسی کرده‌است؛ آنها در واقع تعامل و تعادل پیچیده مورد نیاز بین تضمین کیفیت محصولات حساس به دما و کاهش اثرات زیست‌محیطی را بررسی نموده‌اند. آن‌ها حفظ چنین تعادلی را ضروری و نیازمند نوآوری و بهینه‌سازی دقیق برای دستیابی به کارایی و انطباق با مقررات مراقبت‌های بهداشتی سختگیرانه می‌دانند [۱۸].

در مدیریت زنجیره تأمین، نگرانی‌های در حال رشد در مورد محیط زیست و اثرات مخربی که فعالیت کسب‌وکارهای مختلف در آن ایجاد می‌کند را از طریق مفاهیم پایداری و زنجیره تأمین سبز منعکس کرده و مورد بررسی قرار می‌دهند. یک زنجیره تأمین سبز در تلاش است تا اثرات سوء اکولوژیکی ناشی از فعالیت‌هایش را به حداقل رسانده و در عین حال از ماندگاری اقتصادی زنجیره و پاسخگویی آن به نیازهای اجتماعی، اطمینان حاصل کند و درواقع مهر تأییدی بر ضرورت در نظر گرفتن ابعاد مختلف پایداری در مدیریت زنجیره تأمین است [۲۶].

1. Srivastava

2. Emmanuel Adeyemi Abaku & Agnes Clare Odimarha

3. Yoon, Yuri

4. Jonathan J. Cuevas-Lopez

سریواستاوا در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۰۷ انجام داده‌است، زمینه مناسب را برای درک ماهیت چندوجهی مدیریت زنجیره تأمین سبز و مزایای کلی آن در کاهش اثرات مخرب بر محیط زیست، بهبود تصویر برند کسب‌وکارها و زنجیره‌های تأمینشان و انطباق با مقررات ایجاد کرده است [۲۳]. در سال ۲۰۱۹ سن^۱ و همکارانش طی مطالعه خود، زنجیره تأمین سبز و چالش‌هایی که در آینده با آن روبه‌رو خواهد بود را به‌طور جامع و در طیف وسیعی از صنایع مورد بررسی قرار دادند و بر شیوه‌های پایداری در طراحی زنجیره سبز مانند کاهش ضایعات و زباله‌ها، بازیافت، بازتولید و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر تأکید دارند. آن‌ها همچنین ضمن ضروری دانستن اجرای طرح‌های سبز در دنیای مدرن، نشان دادند که زنجیره‌های تأمین در حال تغییر پارادایم به سمت سازگاری بیشتر با محیط‌زیست و افزایش مسئولیت‌پذیری اجتماعی هستند [۲۶].

در زنجیره تأمین دارو که با چالش‌های زیادی روبه‌رو است و نگرانی‌های زیست‌محیطی با سیاست‌های نظارتی سخت‌گیرانه و ملاحظات بهداشتی همراه است، نمی‌توان از نیاز به راهکارهای زنجیره تأمین سبز چشم‌پوشی کرد. رابرت برانت^۲ و همکارانش در سال ۲۰۱۴ در مقاله خود، روشی سیستماتیک برای طراحی بهینه فرآیندهای تولید داروخانه‌ای ارائه دادند که به تصمیم‌گیرندگان اجازه ارزیابی نگرانی‌های زیست‌محیطی و اقتصادی در مراحل اولیه توسعه فرآیند را می‌دهد. نتایج حاکی از بهبود پایداری اقتصادی و زیست‌محیطی فرآیندهای دارویی در نتیجه اتخاذ تصمیمات سیاستی درست و تنظیم صحیح شرایط عملیاتی و اندازه تجهیزات می‌باشد [۵].

ادغام واردات دارویی در طراحی شبکه زنجیره تأمین با توجه به مسائلی مثل انتخاب تأمین‌کننده مناسب و قابل اطمینان، رعایت استانداردها و مقررات بین‌المللی، نوسان نرخ ارز و غیره، باعث پیچیده‌تر شدن تصمیم‌گیری در این حوزه خواهد شد. ادبیات موجود، شناخت رو به رشدی از تأثیر منابع جهانی و تجارت بین‌المللی بر کارایی و انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین دارویی را نشان می‌دهد [۱۷]. به عنوان مثال، شیخ‌زاده و همکارانش در سال ۲۰۲۴ با توجه به مساله کمبود دارو تحت شرایط همه‌گیری کووید ۱۹ با استفاده از یک رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی ترکیبی به نقش معیارهای ناب، چابک، انعطاف‌پذیری و سبز (LARG)^۳ برای جلوگیری از اختلال در انتخاب تأمین‌کننده در زنجیره تأمین دارویی پرداخته‌اند و با مقایسه نتایج در شرایط قبل و بعد از همه‌گیری چنین بیان کرده‌اند که کیفیت، همکاری، ایمنی و معیارهای زیست‌محیطی بالاترین وزن را قبل از همه‌گیری داشتند، در حالی که تحویل به موقع، زمان تحویل، ایمنی و معیارهای زیست‌محیطی بالاترین وزن را بعد از همه‌گیری به خود اختصاص داده‌اند [۲۲].

به نظر می‌رسد یکی از شکاف‌های بسیار مهم در تحقیقات کنونی، فقدان مطالعات مشخصی است که متمرکز بر ادغام متغیرهای واردات در طراحی جامع زنجیره‌های تأمین دارویی باشند و از ماهیت پیچیده و پویای تجارت جهانی که با عدم قطعیت در زمان تحویل، هزینه‌ها و انطباق با مقررات همراه است، غفلت شده‌است.

مسئله حائز اهمیت دیگر، دوام اقتصادی زنجیره تأمین دارویی در بلندمدت است. یکی از مفاهیمی که به طور قابل توجهی بر طراحی زنجیره تأمین تأثیر می‌گذارد، اما اغلب نادیده گرفته می‌شود، ارزش زمانی پول به عنوان یک اصل اساسی مالی می‌باشد که منعکس‌کننده این ایده است که پول موجود در زمان حال به دلیل ظرفیت بالقوه درآمد آن، بیش از همان مقدار در آینده ارزش دارد و زمان‌بندی هزینه‌ها و درآمدها می‌تواند تأثیر عمیقی بر سودآوری کلی و مدیریت جریان نقدی عملیات زنجیره تأمین بگذارد. با این حال، اکثر مدل‌های موجود مثل مدل‌هایی که مسلمی (۲۰۱۷) [۱۵]، فرخ (۲۰۲۳) [۶]، بوکلی هاسین^۴ (۲۰۲۰) [۴]، لویز (۲۰۲۴) [۱۴]، زندیه (۲۰۱۸) [۳۱]، برانت (۲۰۱۴) [۵]، زیچائو^۵ (۲۰۲۳) [۳۲]، کنگ لی^۶ (۲۰۲۳) [۱۳]، جنتیان (۲۰۱۸) [۱۱]، کوچکی (۲۰۲۱) [۱۲] و سلمان‌نژاد (۲۰۲۲) [۱۹] با کمک همکارانشان ارائه کرده‌اند، یا هزینه‌ها و درآمدها را به‌عنوان ارقام ثابت در نظر گرفته‌اند یا عدم قطعیت برخی از پارامترها را با استفاده از نظریه‌های مجموعه‌های فازی، بهینه‌سازی استوار و روش‌های مشابه وارد مدل کرده‌اند. اگرچه این رویکردها مدل را به واقعیت نزدیک‌تر

1. Ming-Lang Tseng

2. Brunet, Robert

3. LARG: lean, agile, resilience, and green

4. R. Boukli-Hacene

5. Zhichao

6. Kang Li

می‌کنند، اما نمی‌توانند به بررسی پویایی محیط مالی و اقتصادی مشابه با تلاشی که در مقاله ایکیینگ و سویوون^۱ (۲۰۰۰) [۱۰] اتفاق افتاده‌است، بپردازند. محیط مالی محیطی است که در آن عواملی مانند تورم، نرخ‌های بهره و هزینه‌های فرصت، ارزش واقعی جریان‌های پولی را در طول زمان تعیین می‌کنند. این غفلت می‌تواند منجر به اتخاذ تصمیماتی شود که نه تنها بهینه نیستند، بلکه توانایی تضمین سلامت مالی و پایداری اقتصادی زنجیره تأمین را در بلندمدت نیز نخواهند داشت.

ادغام لجستیک زنجیره سرد با اصول زنجیره تأمین سبز یک رویکرد آینده‌نگر در طراحی زنجیره تأمین دارویی را در بر می‌گیرد. آقایی افشار و همکارانش در سال ۲۰۲۲ در مقاله خود با طراحی یک مدل بهینه‌سازی دو هدفه به بررسی جنبه‌های کیفی زنجیره سرد محصولات فسادی‌پذیر پرداخته‌اند [۲]. برانت و همکارانش در مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۴ از یک روش ترکیبی شبیه‌سازی-بهینه‌سازی برای طراحی شبکه زنجیره تأمین دارو استفاده کرده‌اند که کاهش اثرات زیست‌محیطی فرآیندهای دارویی را هدف قرار می‌دهد [۵]. به همین ترتیب، در مطالعه یوسل اوزتورک‌وغلو^۲ و همکارانش (۲۰۲۳)، عملکرد زنجیره‌های تأمین سرد و پایدار در صنعت دارو مورد بررسی قرار گرفته است و هم‌افزایی ذاتی میان کارایی عملیاتی زنجیره‌های سرد و اهداف پایداری را روشن کرده‌است [۱۶].

علی‌رغم تحقیقات گسترده انجام شده در زمینه مدیریت زنجیره تأمین دارویی، بررسی ادبیات موجود حاکی از شکاف‌های قابل توجهی است که در مطالعه حاضر قصد داریم به بررسی آن‌ها بپردازیم. از جمله این موارد می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف) مدل‌هایی که ارزش زمانی پول را که می‌تواند به طور قابل توجهی بر صرفه اقتصادی و امکان‌سنجی مالی عملیات زنجیره تأمین در طول زمان تأثیر بگذارد، در طراحی شبکه زنجیره تأمین و به طور خاص صنعت داروسازی در نظر گرفته باشد، وجود ندارد.

ب) واردات محصولات دارویی و پیچیدگی‌ها و خطرات مرتبط با منابع بین‌المللی مانند انطباق با استانداردها و مقررات، نوسانات نرخ ارز و طولانی و تغییرپذیر شدن زمان تحویل؛ در طراحی زنجیره تأمین دارو نادیده گرفته می‌شود.

ج) طراحی شبکه زنجیره تأمین دارویی در قالب مدل‌های بهینه‌سازی چندهدفه به نحوی که اصول زنجیره سرد و ابعاد اقتصادی و زیست‌محیطی پایداری را به طور هم‌زمان با موارد فوق ادغام کند و از این طریق تصمیم کارآمدتری در مواجهه با چالش‌های پیش روی این صنعت در دنیای امروزی اتخاذ کند، در ادبیات موضوع وجود ندارد.

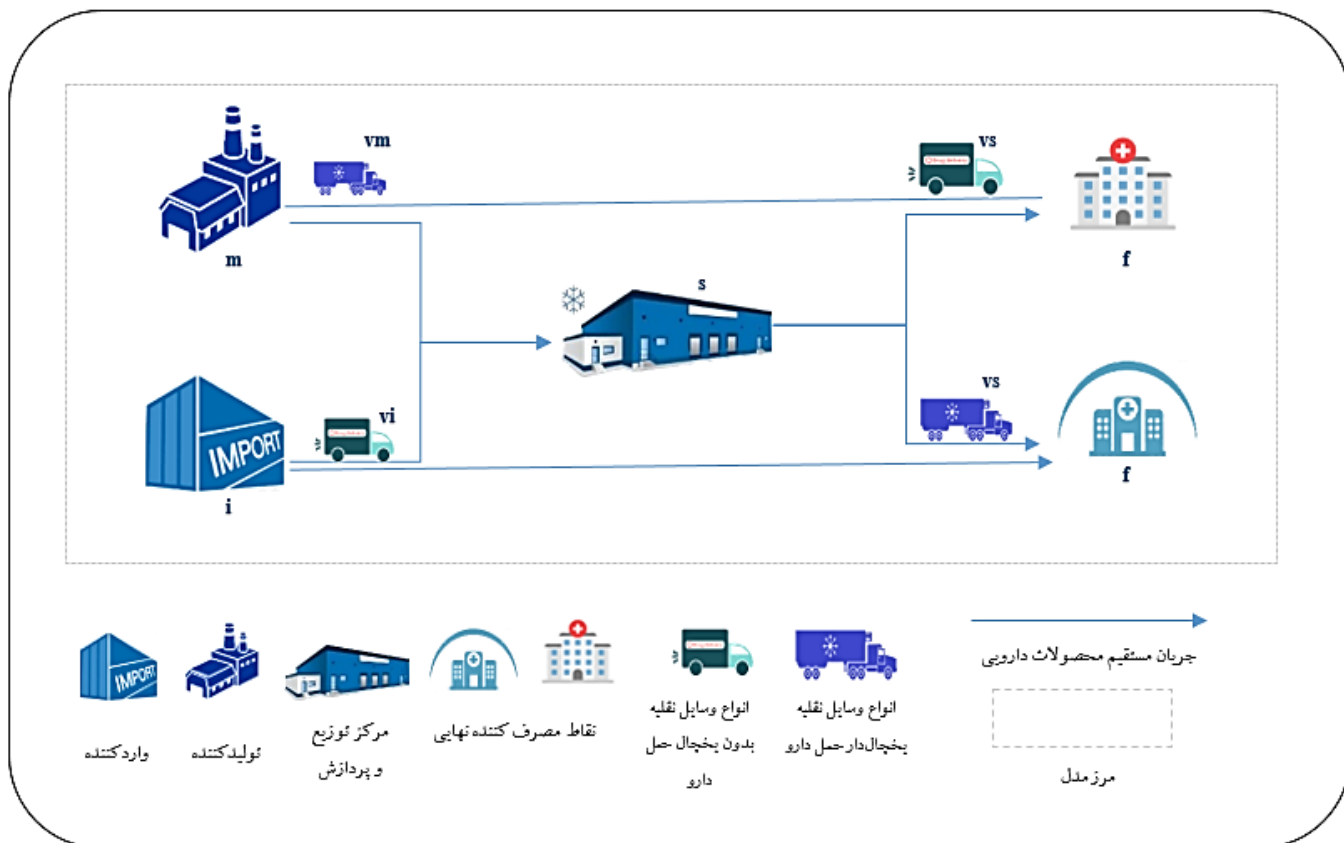
در جمع‌بندی موارد فوق، هدف اصلی از این پژوهش، طراحی شبکه زنجیره تأمین چندسطحی، چند محصولی و چند دوره‌ای دارو به واسطه یک مدل بهینه‌سازی خطی دوهدفه به نحوی که مطابق با اصول زنجیره سرد و پایدار و دوستدار محیط زیست باشد، است. این مدل هم‌زمان با تحقق کمترین سطح هزینه و کمترین میزان تأثیر بر گرمایش جهانی کره زمین، اقدام به ادغام مفاهیم ارزش زمانی پول و واردات دارویی در تصمیم‌گیری نموده است که باعث دوام بیشتر آن در بلندمدت می‌شود. مدل پیشنهادی همزیستی لجستیک زنجیره سرد را با اصول زنجیره تأمین سبز بیان می‌کند و راه را برای یک نظارت زیست‌محیطی همسو با نگرانی‌های اقتصادی و کیفیت هموار می‌کند.

۳. روش‌شناسی پژوهش:

در این مطالعه همانطور که در شکل ۱ نمایش داده شده است، یک شبکه زنجیره تأمین دارویی سه سطحی در نظر گرفته شده‌است. در سطح اول تولیدکنندگان و واردکنندگان محصولات دارویی قرار دارند که با توجه به تقاضای غیرقطعی مشتریان از هر نوع دارو، اقدام به تولید یا واردات آن می‌کنند. در سطح دوم شرکت‌ها و مراکز توزیع و پردازش دارو قرار دارند که با توجه به زمان تولید آن‌ها اقدام به ذخیره‌سازی و یا انتقال محصولات دارویی می‌کنند. در سطح آخر نیز مراکز فروش محصولات دارویی اعم از بیمارستان‌ها، داروخانه‌ها و مراکز بهداشتی و درمانی قرار دارند که با توجه به تقاضا، چرخه عمر و زمان تولید آن‌ها نسبت به نگهداری دارو در انبارهای خود و یا فروش دارو به بیماران تصمیم‌گیری خواهند کرد. با توجه به اینکه حفظ ایمنی، سلامت و یکپارچگی برخی از داروها به واسطه رعایت کنترل‌های مشخص دمایی تضمین می‌گردد لازم است تا در هر یک از مراحل از زنجیره در طی عملیات تولید، ذخیره‌سازی و حمل‌ونقل، استانداردهای دمایی و نگهداری در شرایط یخچال صورت پذیرد. از سوی دیگر، حمل‌ونقل‌های میان سه سطح زنجیره دارو به واسطه انتشار گاز آلاینده

¹ Ilkyeong & Suyeon
² Yucel Ozturkoglu

کربن‌دی‌اکسید و هم‌چنین نگهداری در شرایط یخچالی در طول حمل‌ونقل و زمان انبارش نزد هریک از گره‌ها به واسطه نشت گازهای آلاینده هیدروفلوئوروکربن و بقای طولانی مدت آن در جو، باعث گرم‌تر شدن کره زمین خواهد شد. بنابراین مدیریت مناسب تولید، واردات، توزیع، انتقال، نگهداری و فروش محصولات دارویی به نحوی که محصولات حساس به دما به صورت ایمن با کمترین هزینه و کمترین آلودگی به دست مصرف‌کننده برسد، حائز اهمیت است.



شکل ۱. نمای شماتیک شبکه زنجیره تأمین سرد و سبز دارو

این مهم در مطالعه حاضر به واسطه طراحی یک مدل بهینه‌سازی مختلط عددصیح در خلال دستیابی به کم‌ترین هزینه کل در طول عملیات شبکه زنجیره تأمین دارویی اعم از هزینه‌های تولید و واردات دارو، هزینه‌های حمل‌ونقل و هزینه‌های نگهداری موجودی و هم‌چنین به حداقل رساندن اثرات سوء فعالیت زنجیره دارو بر گرم‌تر شدن زمین، محقق خواهد شد. در ادامه با در نظر گرفتن مفروضات زیر به مدل‌سازی شبکه سرد و سبز دارویی می‌پردازیم:

الف. با توجه به مرزهای مدل، هزینه‌ای برای خرید مواد اولیه، استخدام و آموزش و به‌کارگیری نیروی انسانی و سفارشات پشتیبان؛ مستقیماً منظور نگردیده‌است. در واقع چنین فرض شده‌است که این هزینه‌ها در مجموع هزینه‌های متغیر تولید و واردات هر واحد محصول دارویی لحاظ گردیده‌است.

ب. فرض شده است که اطلاعات مربوط به دما در هیچ نقطه‌ای در طول زنجیره سرد دارویی از دست نمی‌رود و اطلاعات نادرست نیز منتقل نمی‌شود. بنابراین هزینه‌ای در خصوص انتقال اطلاعات نادرست و از دست رفتن اطلاعات در مدل لحاظ نگردیده است. ج. میزان موجودی هر محصول در ابتدای دوره اول ($t = 1$) در تمامی سطوح زنجیره برابر با صفر در نظر گرفته شده‌است.

برای مدل‌سازی مسأله شبکه سه سطحی زنجیره تأمین سرد و سبز دارو؛ مجموعه اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم به ترتیب به صورت جداول ۱، ۲ و ۳ تعریف می‌شود:

جدول ۱. فهرست اندیس‌های استفاده شده در مدل

| اندیس‌ها | شرح |
|-----------------------|---|
| $m = \{1.2 \dots M\}$ | تولید کنندگان دارو |
| $i = \{1.2 \dots I\}$ | واردکنندگان دارو |
| $s = \{1.2 \dots S\}$ | مراکز توزیع و پردازش |
| $f = \{1.2 \dots F\}$ | نقاط مصرف کننده نهایی |
| $t = \{1.2 \dots T\}$ | دوره های زمانی |
| $b = \{1.2 \dots B\}$ | انواع وسایل نقلیه مختص مسیر مراکز تولیدکننده به مراکز پخش اعم از یخچالدار و معمولی |
| $c = \{1.2 \dots C\}$ | انواع وسایل نقلیه مختص مسیر مراکز واردکننده به مراکز پخش اعم از یخچالدار و معمولی |
| $d = \{1.2 \dots D\}$ | انواع وسایل نقلیه مختص مسیر مراکز پخش به نقاط مصرف کننده نهایی اعم از یخچالدار و معمولی |
| $p = \{1.2 \dots P\}$ | انواع داروها |
| $h = \{1.2\}$ | شیوه نگهداری در دمای معمولی ($h = 1$) یا شرایط یخچالی ($h = 2$) موجودی دارو در گره های مختلف زنجیره |

جدول ۲. فهرست پارامترهای استفاده شده در مدل

| پارامترها | شرح |
|----------------|--|
| VCP_{pmt} | هزینه تولید هر واحد داروی p در آزمایشگاه تولیدکننده m در دوره t |
| VCI_{pit} | مجموع هزینه‌های واردات هر واحد داروی p به واسطه واردکننده i در دوره t |
| DIS_{ms} | فاصله میان تولیدکننده m و مرکز توزیع و پردازش s |
| DIS_{is} | فاصله میان واردکننده i و مرکز توزیع و پردازش s |
| DIS_{sf} | فاصله میان مرکز توزیع و پردازش s و نقاط مصرف نهایی f |
| VCT_{pmt}^b | هزینه حمل و نقل هر واحد داروی p از تولیدکننده m به مرکز توزیع s با وسیله نقلیه نوع b در دوره t |
| VCT_{pist}^c | هزینه حمل و نقل هر واحد داروی p از واردکننده i به مرکز توزیع و پردازش s با وسیله نقلیه نوع c در دوره t |
| VCT_{psft}^d | هزینه حمل و نقل هر واحد داروی p از مرکز توزیع و پردازش s به نقاط مصرف نهایی f با وسیله نقلیه نوع d در دوره t |
| VCS_{pmt}^h | هزینه نگهداری موجودی هر واحد داروی p در نزد تولیدکننده m به شیوه h در دوره t |
| VCS_{pit}^h | هزینه نگهداری موجودی هر واحد داروی p در نزد واردکننده i به شیوه h در دوره t |
| VCS_{pst}^h | هزینه نگهداری موجودی هر واحد داروی p در مرکز توزیع و پردازش s به شیوه h در دوره t |
| VCS_{pft}^h | هزینه نگهداری موجودی هر واحد داروی p در نقاط مصرف نهایی f به شیوه h در دوره t |
| GWP^{HFC} | پتانسیل گرمایش جهانی گاز HFC (برای معادلسازی اثر این گاز و گاز CO2 بر گرمایش جهانی) |
| CEV_b | میزان انتشار CO2 در هر واحد از مسافت برای وسیله نقلیه نوع b |
| CEV_c | میزان انتشار CO2 در هر واحد از مسافت برای وسیله نقلیه نوع c |

| شرح | پارامترها |
|--|---------------------------------|
| میزان انتشار CO2 در هر واحد از مسافت برای وسیله نقلیه نوع d | CEV _d |
| میزان انتشار گاز HFC در هر واحد از مسافت برای وسیله نقلیه نوع b | HEV _b |
| میزان انتشار گاز HFC در هر واحد از مسافت برای وسیله نقلیه نوع c | HEV _c |
| میزان انتشار گاز HFC در هر واحد از مسافت برای وسیله نقلیه نوع d | HEV _d |
| میزان انتشار CO2 به ازای تولید هر واحد داروی p در آزمایشگاه تولیدکننده m | EEP _{pm} |
| میزان انتشار گاز HFC به واسطه نگهداری موجودی هر واحد داروی p در نزد تولیدکننده m به شیوه h | EES _{pmt} ^h |
| میزان انتشار گاز HFC به واسطه نگهداری موجودی هر واحد داروی p در نزد واردکننده i به شیوه h | EES _{pit} ^h |
| میزان انتشار گاز HFC به واسطه نگهداری موجودی هر واحد p در مرکز توزیع و پردازش s به شیوه h | EES _{pst} ^h |
| میزان انتشار گاز HFC به واسطه نگهداری موجودی هر واحد p در نقاط مصرف نهایی f به شیوه h | EES _{pft} ^h |
| تقاضای داروی p در نقاط مصرف نهایی f در دوره t | DEM _{pft} |
| ظرفیت وسیله نقلیه b | cap _b |
| ظرفیت وسیله نقلیه نوع c | cap _c |
| ظرفیت وسیله نقلیه نوع d | cap _d |
| ظرفیت تولیدی آزمایشگاه تولیدکننده m | cap _m |
| ظرفیت انبار تولید کننده m که از تکنولوژی h استفاده می‌کند | capM _m ^h |
| ظرفیت انبار وارد کننده i که به شیوه h نگهداری می‌کند | capI _i ^h |
| ظرفیت انبار مرکز توزیع و پردازش s که به شیوه h نگهداری می‌کند | capS _s ^h |
| ظرفیت انبار مصرف کننده f که به شیوه h نگهداری می‌کند | capF _f ^h |
| متوسط عمر مفید محصولات | up |
| نرخ تورم | TR% |
| بودجه اختصاص داده شده به واردات دارو | IB |
| بودجه اختصاص داده شده به تولید دارو | PB |

جدول ۳. فهرست متغیرهای استفاده شده در مدل

| شرح | متغیرها |
|--|---------------------------------|
| مقدار داروی p تولید شده در آزمایشگاه تولیدکننده m در دوره t | XP _{pmt} |
| مقدار داروی p وارد شده به واسطه واردکننده i در دوره t | XI _{pit} |
| مقدار داروی p منتقل شده در دوره t از تولیدکننده m به مرکز توزیع و پردازش s با وسیله نقلیه b | TP _{pmt} ^b |
| مقدار داروی p منتقل شده در دوره t از واردکننده i به مرکز توزیع و پردازش s با وسیله نقلیه نوع c | TI _{pist} ^c |
| مقدار داروی p منتقل شده در دوره t از مرکز توزیع s به نقاط مصرف نهایی f با وسیله نقلیه d | TT _{psft} ^d |
| میزان موجودی داروی p نزد تولیدکننده m با شرایط نگهداری h در انتهای دوره t | IM _{pmt} ^h |

| متغیرها | شرح |
|--------------|---|
| II_{pit}^h | میزان موجودی داروی p نزد واردکننده i با شرایط نگهداری h در انتهای دوره t |
| IS_{pst}^h | میزان موجودی داروی p در محل مرکز توزیع و پردازش S با شرایط نگهداری h در انتهای دوره t |
| IF_{pft}^h | میزان موجودی داروی p در محل نقاط مصرف نهایی f با شرایط نگهداری h در انتهای دوره t |

لازم به ذکر است که همانطور که در تعریف ارزش زمانی پول نیز مطرح کردیم، ثابت و قطعی انگاشتن پارامترهای تعریف شده برای هزینه‌های شبکه از واقعیت به دور است و این داده‌ها در طی دوره برنامه‌ریزی دستخوش تغییر خواهند بود. در واقع اگر فرض کنیم که تغییر در هزینه‌ها تابعی از نرخ تورم و نرخ ارز است که آن را با پارامتر اسکالر $TR\%$ نمایش داده‌ایم، به عنوان مثال اگر هزینه‌های متغیر تولید هر واحد محصول دارویی در هر آزمایشگاه تولیدکننده دارو در دوره اول برابر با $VCP_{pm(t=1)} = X$ ریال باشد در دوره‌های بعدی به صورت معادله (۱) تغییر خواهد کرد.

$$VCP_{pmt} = X \times (1 + TR\%)^{(t-1)} \quad \forall t > 1 \quad \text{معادله (۱)}$$

به همین ترتیب هزینه‌های حمل‌ونقل و نگهداری موجودی نیز به شرح معادلات (۲) تا (۹) تغییر می‌کنند.

$$VCI_{pit} = VCI_{pi(t=1)} \times (1 + TR\%)^{(t-1)} \quad \forall t > 1 \quad \text{معادله (۲)}$$

$$VCT_{pmst}^b = VCT_{pms(t=1)}^b \times (1 + TR\%)^{(t-1)} \quad \forall t > 1 \quad \text{معادله (۳)}$$

$$VCT_{pist}^c = VCT_{pis(t=1)}^c \times (1 + TR\%)^{(t-1)} \quad \forall t > 1 \quad \text{معادله (۴)}$$

$$VCT_{psft}^d = VCT_{psf(t=1)}^d \times (1 + TR\%)^{(t-1)} \quad \forall t > 1 \quad \text{معادله (۵)}$$

$$VCS_{pmt}^h = VCS_{pm(t=1)}^h \times (1 + TR\%)^{(t-1)} \quad \forall t > 1 \quad \text{معادله (۶)}$$

$$VCS_{pit}^h = VCS_{pi(t=1)}^h \times (1 + TR\%)^{(t-1)} \quad \forall t > 1 \quad \text{معادله (۷)}$$

$$VCS_{pst}^h = VCS_{ps(t=1)}^h \times (1 + TR\%)^{(t-1)} \quad \forall t > 1 \quad \text{معادله (۸)}$$

$$VCS_{pft}^h = VCS_{pf(t=1)}^h \times (1 + TR\%)^{(t-1)} \quad \forall t > 1 \quad \text{معادله (۹)}$$

با توجه به تعریف ارائه شده از اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم، مسئله طراحی شبکه چند سطحی زنجیره تأمین دارو به عنوان یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی خطی عدد صحیح چندهدفه به صورت ذیل مدل‌سازی می‌شود:

$$\begin{aligned}
 \min Z_1 = & \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T (VCP_{pmt} \times XP_{pmt}) + \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T (VCI_{pit} \times XI_{pit}) \\
 & + \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S \sum_{b=1}^B \sum_{t=1}^T (VCT_{pmst}^b \times TP_{pmst}^b) + \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{s=1}^S \sum_{c=1}^C \sum_{t=1}^T (VCT_{pist}^c \times TI_{pist}^c) \\
 & + \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S \sum_{f=1}^F \sum_{d=1}^D \sum_{t=1}^T (VCT_{psft}^d \times TT_{psft}^d) + \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M \sum_{h=1}^H \sum_{t=1}^T (VCS_{pmt}^h \times IM_{pmt}^h) \\
 & + \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{h=1}^H \sum_{t=1}^T (VCS_{pit}^h \times II_{pit}^h) + \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S \sum_{h=1}^H \sum_{t=1}^T (VCS_{pst}^h \times IS_{pst}^h) \\
 & + \sum_{p=1}^P \sum_{f=1}^F \sum_{h=1}^H \sum_{t=1}^T (VCS_{pft}^h \times IF_{pft}^h).
 \end{aligned} \tag{۱۰}$$

$$\begin{aligned}
 \min Z_2 = & \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T (EEP_{pm} \times XP_{pmt}) + \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M \sum_{h=1}^H \sum_{t=1}^T (GWP^{HFC} \times EES_{pmt}^h \times IM_{pmt}^h) \\
 & + \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{h=1}^H \sum_{t=1}^T (GWP^{HFC} \times EES_{pit}^h \times II_{pit}^h) \\
 & + \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S \sum_{h=1}^H \sum_{t=1}^T (GWP^{HFC} \times EES_{pst}^h \times IS_{pst}^h) \\
 & + \sum_{p=1}^P \sum_{f=1}^F \sum_{h=1}^H \sum_{t=1}^T (GWP^{HFC} \times EES_{pft}^h \times IF_{pft}^h) \\
 & + \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S \sum_{b=1}^B \sum_{t=1}^T \left(\frac{CEV_b + (GWP^{HFC} \times HEV_b)}{cap_b} \times DIS_{ms} \times TP_{pmst}^b \right) \\
 & + \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{s=1}^S \sum_{c=1}^C \sum_{t=1}^T \left(\frac{CEV_c + (GWP^{HFC} \times HEV_c)}{cap_c} \times DIS_{is} \times TI_{pist}^c \right) \\
 & + \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S \sum_{f=1}^F \sum_{d=1}^D \sum_{t=1}^T \left(\frac{CEV_d + (GWP^{HFC} \times HEV_d)}{cap_d} \times DIS_{sf} \times TT_{psft}^d \right)
 \end{aligned} \tag{۱۱}$$

SUBJECTED TO:

$$IM_{pm(t=0)}^h = 0 \quad \forall p, m, h, (t = 0) \tag{۱۲} \text{ معادله}$$

$$II_{pi(t=0)}^h = 0 \quad \forall p, i, h, (t = 0) \tag{۱۳} \text{ معادله}$$

$$IS_{ps(t=0)}^h = 0 \quad \forall p, s, h, (t = 0) \tag{۱۴} \text{ معادله}$$

$$IF_{pf(t=0)}^h = 0 \quad \forall p, f, h, (t = 0) \tag{۱۵} \text{ معادله}$$

$$\sum_{h=1}^H IM_{pmt}^h = \sum_{h=1}^H IM_{pm(t-1)}^h + XP_{pmt} - \sum_{s=1}^S \sum_{b=1}^B TP_{pmst}^b \quad \forall p, m, t \tag{۱۶} \text{ معادله}$$

$$\sum_{h=1}^H II_{pit}^h = \sum_{h=1}^H II_{pi(t-1)}^h + XI_{pit} - \sum_{s=1}^S \sum_{c=1}^C TI_{pist}^c \quad \forall p. i. t \quad \text{معادله (۱۷)}$$

$$\sum_{h=1}^H IS_{pst}^{hs} = \sum_{h=1}^H IS_{ps(t-1)}^{hs} + \sum_{m=1}^M \sum_{b=1}^B TP_{pmst}^b + \sum_{i=1}^I \sum_{c=1}^C TP_{pist}^c - \sum_{f=1}^F \sum_{d=1}^D TT_{psft}^d \quad \forall p. s. t \quad \text{معادله (۱۸)}$$

$$\sum_{h=1}^H IF_{pft}^h = \sum_{h=1}^H IF_{pf(t-1)}^h + \sum_{s=1}^S \sum_{d=1}^D TT_{psft}^d - DEM_{pft} \quad \forall p. f. t \quad \text{معادله (۱۹)}$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I (VCI_{pit} \times XI_{pit}) \leq IB \quad \forall t \quad \text{معادله (۲۰)}$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M (VCP_{pmt} \times XP_{pmt}) \leq PB \quad \forall t \quad \text{معادله (۲۱)}$$

$$\sum_{p=1}^P XP_{pmt} \leq cap_m \quad \forall m. t \quad \text{معادله (۲۲)}$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{h=1}^H IM_{pmt}^h \leq capM_m^h \quad \forall m. t \quad \text{معادله (۲۳)}$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{h=1}^H II_{pit}^h \leq capI_i^h \quad \forall i. t \quad \text{معادله (۲۴)}$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{h=1}^H IS_{pst}^{hs} \leq capS_s^h \quad \forall s. t \quad \text{معادله (۲۵)}$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{h=1}^H IF_{pft}^h \leq capF_f^h \quad \forall f. t \quad \text{معادله (۲۶)}$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S TP_{pmst}^b \leq cap_b \quad \forall m. b. t \quad \text{معادله (۲۷)}$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S TI_{pist}^c \leq cap_c \quad \forall i. c. t \quad \text{معادله (۲۸)}$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{f=1}^F TT_{psft}^d \leq cap_d \quad \forall s. d. t \quad \text{معادله (۲۹)}$$

$$XP_{pmt} \cdot XI_{pit} \cdot TP_{pmst}^b \cdot TI_{pist}^c \cdot TT_{psft}^d \cdot IM_{pmt}^h \cdot II_{pit}^h \cdot IS_{pst}^h \cdot IF_{pft}^h \in \mathbb{Z} \quad \text{معادله (۳۰)}$$

معادله (۱۰) که نشان‌دهنده تابع هدف اول است، به دنبال کمینه کردن هزینه‌های شبکه زنجیره تأمین سرد و سبز دارو شامل هزینه‌های متغیر تولید و واردات محصولات دارویی، هزینه‌های حمل‌ونقل میان سطوح مختلف شبکه و هزینه‌های نگهداری موجودی در شرایط

یخچالی و غیر یخچالی در هر سطح است. معادله (۱۱) که تابع هدف دوم را توصیف می‌کند به دنبال کمینه کردن تأثیر عملیات شبکه بر گرمایش زمین در نتیجه تولید، نگهداری موجودی و حمل‌ونقل به واسطه دو گاز آلاینده هیدروفلوروئوروکربن و کربن‌دی‌اکسید می‌باشد. تأثیر گرمایش جهانی ترکیب شده از هر دو گاز منتشر شده، با استفاده از اصل تعادل بین انتشار یک جزء از HFC و واحد GWP^{HFC} از CO_2 اندازه‌گیری می‌شود که GWP^{HFC} پتانسیل گرمایش جهانی HFC بر حسب CO_2 است.

$$(GWP^{HFC} \times \text{میانگین نشت گاز HFC}) + \text{میانگین انتشارات } CO_2 = \text{میزان } CO_2 \text{ معادل کل گازهای گلخانه‌ای منتشر شده}$$

معادلات (۱۲) تا (۱۵) به بیان ریاضی فرض (ج) یعنی صفر بودن موجودی ابتدای دوره اول به ترتیب در نزد تولیدکنندگان، واردکنندگان، مراکز توزیع و پردازش و مصرف‌کنندگان نهایی می‌پردازند. معادله (۱۶) به تعادل موجودی هر دوره با میزان تولید، موجودی دوره قبل و جریان‌های خروجی از تولیدکنندگان به سمت مراکز توزیع می‌پردازد. به همین ترتیب معادله (۱۷) به تعادل میان موجودی هر دوره با میزان واردات، موجودی انتهای دوره قبل و جریان‌های خروجی از واردکنندگان به سمت مراکز توزیع و معادله (۱۸) به تعادل میان موجودی هر دوره با موجودی انتهای دوره قبل، جریان‌های ورودی از تولیدکنندگان و واردکنندگان به سمت مراکز توزیع و پردازش و جریان خروجی از آن به سمت مصرف‌کنندگان پرداخته‌اند. معادله (۱۹) نیز بیان می‌کند که در هر دوره تعادل میان جریان ورودی از مراکز توزیع به نقاط مصرف، موجودی انتهای دوره قبل و موجودی همان دوره باید به نحوی باشد که حداقل بتواند تقاضای هر محصول را در آن دوره پاسخگو باشد.

معادله (۲۰) و (۲۱) به ترتیب بیانگر عدم تجاوز هزینه‌های واردات و تولید به بودجه اختصاص یافته به آن‌ها در هر دوره است. معادله (۲۲) مشخص می‌کند که مجموع تولید محصولات دارویی نباید از ظرفیت تولید دارو در هر آزمایشگاه تولیدکننده بیشتر شود. معادلات (۲۳) تا (۲۶) به بیان عدم تجاوز موجودی هر گره از زنجیره در هر دوره تحت شرایط مختلف نگهداری از ظرفیت انبار آن گره است. معادلات (۲۷) تا (۲۹) نیز بیان می‌کنند که میزان باری که در هر وسیله نقلیه میان گره‌ها جابه‌جا می‌شود، نباید از ظرفیت آن وسیله نقلیه تجاوز کند و در نهایت معادله (۳۰) به تشریح نوع متغیرهای تصمیم می‌پردازد.

لازم به ذکر است که مدل چندهدفه فوق به کمک یک مثال عددی، با استفاده از روش معیار جامع در نرم‌افزار GAMS^۱ حل شده‌است و نتایج حاصله در بخش بعدی مورد بررسی قرار گرفته است. روش معیار جامع بیان می‌کند که اگر یک مدل چندهدفه دارای n هدف از جنس حداقل‌سازی باشد و چنانچه مقدار هر تابع هدف را با $Z(x)$ و مقدار بهینه به دست آمده از حل هر تابع هدف به صورت جداگانه و بدون در نظر گرفتن سایر توابع هدف را با $Z^*(x)$ نمایش دهیم، مقدار بهینه مدل چندهدفه به صورت معادله (۳۱) حاصل خواهد شد.

$$\text{معادله (۳۱)} \quad \text{MIN}(TZ) = \sum_{Z=1}^n \left(\frac{Z(x) - Z^*(x)}{Z^*(x)} \right)$$

واضح است که اگر تابع هدفی از جنس حداکثرسازی باشد، صورت کسر معادله فوق به صورت $Z^*(x) - Z(x)$ تغییر خواهد کرد.

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش:

در این بخش پس از ارائه مدل توسعه‌یافته شبکه زنجیره تأمین دارو، با کمک چند مثال عددی به حل مدل در چهار شکل متفاوت و تحلیل نتایج حاصل از آن می‌پردازیم.

لازم به ذکر است که اطلاعات مثال‌ها در نتیجه مصاحبه با یک شرکت تولیدکننده دارو، یک شرکت واردکننده دارو، دو شرکت توزیع و پخش دارو و یک بیمارستان و یک داروخانه به عنوان نقاط مصرف نهایی، جمع‌آوری شده‌است. در مجموع چهار نوع دارو که سه مورد از آن‌ها تولید داخل بوده و یک مورد وارداتی است، لحاظ گردیده‌است. داروی وارداتی و دو مورد از داروهای داخلی نیازمند نگهداری در دمای کنترل شده ۲ تا ۸ درجه سانتی‌گراد و شرایط یخچالی هستند و یک نمونه تولید داخل در دمای محیط، آسیب نمی‌بیند. سه نوع وسیله نقلیه دارای ظرفیت‌های متفاوت به مسیر میان مراکز تولیدکننده تا مراکز پخش اختصاص یافته است که دو مورد از آن‌ها یخچالدار هستند. به

1. GAMS: General Algebraic Modeling System

مسیر میان مراکز واردکننده و مراکز پخش با توجه به تنوع کمتر محصولات وارداتی، دو نوع وسیله نقلیه یخچالدار اختصاص یافته است که ظرفیت‌های متفاوتی دارند. در نهایت مسیر مراکز پخش به نقاط مصرف‌کننده نهایی نیز سه نوع وسیله نقلیه که دو مورد از آن‌ها یخچالدار هستند، تخصیص داده شده است. لازم به ذکر است که با توجه به اینکه انبارهای تولیدکنندگان و واردکنندگان و همچنین مراکز پخش عمدتاً در خارج از شهر هستند، اما مراکز مصرف‌کننده نهایی یعنی بیمارستان‌ها و داروخانه‌ها در داخل شهرها واقع شده‌اند، ظرفیت و نوع وسایل نقلیه مسیری با یکدیگر متفاوتند و همچنین با توجه به یخچالدار بودن یا نبودن آن‌ها، هزینه و میزان و نوع انتشار و نشت آلاینده‌ها در هر یک از آن‌ها متفاوت خواهد بود. نگهداری موجودی در هریک از گره‌های شبکه زنجیره تأمین دارو را نیز به دو صورت یخچالی و عادی در نظر گرفته‌ایم که طبعاً هزینه و میزان نشت و بقای گازهای آلاینده متفاوتی را به همراه دارد. در آخر نیز باید با توجه به اینکه عمر مفید هریک از محصولات دارویی دو سال است و طبق بند الف از مفروضات پژوهش مبنی بر عدم وجود موجودی ابتدای دوره اول در هریک از گره‌ها، برای جلوگیری از پیچیدگی مدل و ایجاد ضایعات دارویی، دوره‌های برنامه ریزی را ۲۴ ماه در نظر گرفته‌ایم. چنین فرض شده است که در سطح اول از این شبکه دارو در مجموع دو تولیدکننده و یک واردکننده وجود دارد. تولیدکنندگان، سه نوع محصول تولید می‌کنند که درخصوص دو نوع از این داروها نیازمند نگهداری در دمای ۲-۸ درجه سانتی‌گراد یعنی نگهداری به صورت یخچالی هستند، اما نگهداری داروی سوم در دمای محیط از اثر بخشی آن کم نخواهد کرد. تنها واردکننده نیز یک نوع دارو وارد می‌کند که اگرچه مشابه با داروهای تولید داخل است، اما با توجه به نرخ ارز و همچنین نرخ تورم، هزینه‌های بیشتری داشته و نیازمند نگهداری در شرایط یخچالی است. تولیدکنندگان و واردکننده داروهای فوق برای ارسال محصولات فوق به گره‌های بعدی از وسایل نقلیه مجزا با ظرفیت‌های مختلف استفاده می‌کنند. دو شرکت توزیع و پخش در سطح دوم قرار دارند که با توجه به ویژگی‌های محصولات دارویی فوق، نسبت به ذخیره سازی و یا ارسال داروها به گره بعدی تصمیم‌گیری خواهند کرد. وسایل حمل‌ونقل مورد استفاده شرکت‌های پخش نیز با توجه به مقررات تردد در داخل شهر، انواع مختلفی دارند. در سطح سوم نیز دو مصرف‌کننده نهایی برای محصولات در نظر گرفته شده است که با توجه به میزان تقاضا در هر دوره، نسبت به فروش و ذخیره‌سازی محصولات دریافتی خود، اقدام خواهند کرد. با توجه به اینکه عمر مفید محصولات دارویی به طور متوسط ۲۴ ماه می‌باشد نیز بهینه‌سازی این شبکه در ۲۴ دوره زمانی انجام شده است.

لازم به ذکر است که در شرایط واقعی با توجه به اینکه داروهایی که نیازمند به شرایط یخچالی نیز نیستند، در دمای ۲-۸ درجه سانتی‌گراد همچنان اثر بخشی باقی می‌مانند، این امکان وجود دارد که شرکت‌های دارویی برای حمل‌ونقل محصولات خود تنها از وسایل نقلیه دارای یخچال استفاده کنند تا از این طریق از آلوده نشدن آن‌ها در مسیر و حفظ ایمنی محصولات خود مطمئن گردند. برای این شبکه چهار حالت زیر را متصور شده‌ایم:

(الف) در حالت اول، فرض کرده‌ایم که در طی دوره‌های زمانی مختلف با وجود افزایش در هزینه‌ها به واسطه نرخ تورم و نوسانات نرخ ارز، میزان تقاضا برای هریک از محصولات ثابت باقی می‌ماند.

(ب) در حالت دوم اما افزایش هزینه‌ها را عاملی برای کاهش قدرت خرید مردم فرض کرده‌ایم و بنابراین پارامتر تقاضای هر محصول را در طول دوره‌های زمانی به تدریج کاهش داده‌ایم.

در دو حالت فوق همچنین فرض کرده‌ایم که کلیه محصولات تولیدی و وارداتی در شرایط یخچالی نگهداری و حمل‌ونقل شده‌اند. در مسیرهای میان سطوح مختلف، دو نوع وسیله نقلیه یخچالدار با ظرفیت‌های متفاوت برای انتقال محصولات تولیدی و وارداتی به هریک از مراکز تولیدی، وارداتی و پخش به صورت مجزا تخصیص داده شده است.

(ج) در حالت سوم اگرچه تقاضا را در افق برنامه‌ریزی مثل حالت اول ثابت نگاه داشته‌ایم اما میان محصولات و شرایط نگهداری و حمل‌ونقل تحت کنترل دمایی و داروهای غیر یخچالی تمایز قائل شده‌ایم.

(د) در حالت آخر ضمن در نظر گرفتن تغییرات تقاضا، میان محصولات یخچالی و غیر یخچالی نیز تمایز قائل شده‌ایم.

در حالت‌های (الف) و (ب)، برای هریک از تولیدکنندگان، واردکننده و مراکز توزیع به صورت مجزا دو وسیله نقلیه در نظر گرفته‌ایم که همگی دارای یخچال هستند اما انواع و ظرفیت‌های متفاوتی دارند. در دو حالت (ج) و (د)، سه نوع وسیله نقلیه با ظرفیت‌های متفاوت به

صورت مجزا به تولیدکننده و شرکت پخش تعلق گرفته است که دو نوع از آن‌ها مثل دو حالت اول است ولی نوع سوم فاقد یخچال بوده و طبعاً ارزان‌تر از دو نوع قبلی است. وسایل نقلیه مربوط به شرکت واردکننده نیز با توجه به اینکه محصولی که وارد می‌کند نیازمند شرایط یخچال است، نسبت به دو حالت اول تغییری نخواهد داشت. در جدول ۴ مقدار بهینه توابع هدف در هریک از حالت‌های فوق نمایش داده شده است.

جدول ۴. نتایج حاصل از حل مدل در حالت‌های مختلف

| مقدار تابع هدف اول (حداقل کردن هزینه‌ها) | مقدار تابع هدف دوم (حداقل کردن تأثیر بر گرمایش جهانی) | مقدار تابع هدف حاصل از روش معیار جامع | |
|--|---|--|------------|
| ۳۲.۹۴۹.۹۸۱ | ۲۳.۳۸۹.۹۰۷ | ۲۷.۱۴۷.۳۷۲ | حالت اول |
| ۱.۸۲۸.۳۱۶ | ۱.۷۲۴.۳۲۹ | ۲.۴۴۹.۳۱۶ | حالت دوم |
| ۳۱.۴۸۵.۹۷۱ | ۲۱.۰۱۹.۸۳۶ | ۲۳.۳۵۶.۳۹۰ | حالت سوم |
| ۱.۲۵۲.۱۹۳ | ۱.۰۶۷.۶۶۷ | ۱.۲۶۱.۱۸۶ | حالت چهارم |

همانطور که در جدول مشخص است، با وجود افزایشی بودن هزینه‌ها در صورتی که میزان تقاضا را تابعی از قدرت خرید مردم ندانسته و آن را در طول افق برنامه‌ریزی ثابت در نظر بگیریم (حالت‌های اول و سوم) میزان هزینه‌ها به طور قابل توجهی نسبت به زمانی که تقاضا را تابعی کاهشی متناسب با نرخ تورم و نوسانات نرخ ارز بدانیم، افزایش خواهد یافت. اما از آنجایی که بیماران چاره‌ای به جز مصرف دارو برای حفظ سلامت و زندگی خود ندارند، چنین به نظر می‌رسد که در جهان واقع هزینه‌های زنجیره تأمین دارو به حالت اول و سوم، نزدیک‌تر است.

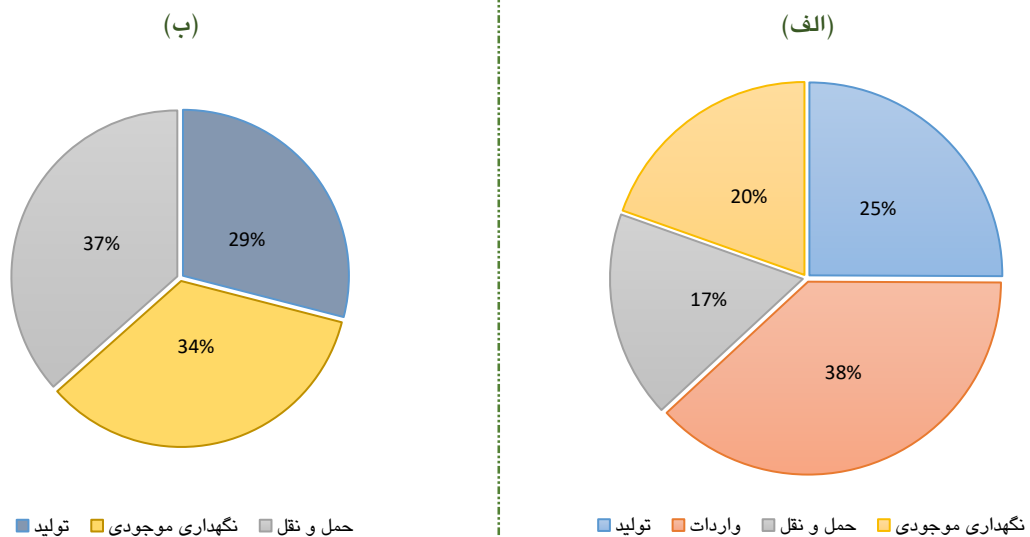
از منظر دیگر فارغ از هر تصمیمی که درخصوص تقاضا بگیریم؛ اگر شرایط ذخیره‌سازی و حمل‌ونقل داروها را تفکیک کنیم، قطعاً میزان تأثیری که فعالیت‌های شبکه بر گرمایش زمین خواهد داشت، کاهش پیدا می‌کند (حالت اول بیشتر از حالت سوم و هم‌چنین حالت دوم بیشتر از حالت چهارم). در واقع اگر فرض کنیم که کلیه داروها در شرایط غیر یخچالی حمل و نقل و نگهداری شوند، به واسطه عدم نشت گازهای هیدروفلوئوروکربن و عدم بقای آن در جو، تنها کربن دی‌اکسید است که در خلال عملیات زنجیره باعث گرم‌تر شدن زمین خواهد شد. این در حالی است که اگر مطابق با حالت اول و دوم فرض کنیم که کلیه داروها در شرایط یخچال و تحت کنترل دمایی ۲ تا ۸ درجه سانتی‌گراد نگهداری می‌شوند، نشت بیشتر هیدروفلوئوروکربن‌ها و بقای طولانی مدتشان در جو در کنار انتشار کربن دی‌اکسید برای کلیه محصولات تأثیر مضاعفی بر گرمایش زمین در مقایسه با شرایطی که در حالت سوم و چهارم داریم، خواهد داشت. نکته حائز اهمیت این است که نشت هیدروفلوئوروکربن‌ها با کنترل مستمر و دائم کیفیت و سلامت یخچال‌ها تا حد زیادی کاهش می‌یابد و سرمایه‌گذاری بر روی تکنولوژی‌های تبرید قوی‌تر در بلندمدت ضمن کاهش اثرات سوء زیست‌محیطی، هزینه‌های تعمیرات و نگهداری و هزینه‌های مربوط به فساد محصولات را کاهش خواهد داد.

در بررسی دیگر همانطور که در قسمت الف از شکل ۲ نشان داده شده است، با توجه به ساختار معادله (۱۰) که عوامل ایجاد هزینه در شبکه دارو را نشان می‌دهد و نتایج حاصل از حل مدل در حالات مختلف مشخص می‌شود که هزینه‌های واردات دارو با توجه به نوسانات نرخ ارز و نرخ تورم، بیشترین سهم را در ایجاد هزینه‌ها دارد و ۳۸٪ از کل هزینه‌ها را شامل می‌شود. در مقابل هزینه‌های مربوط به حمل‌ونقل با سهم ۱۷٪ از مجموع، کمترین بخش از هزینه‌های زنجیره دارو را ایجاد کرده‌اند.

در خصوص هزینه‌های واردات لازم است به این نکته توجه شود که بسیاری از داروهایی که واردات آن‌ها در کشور برقرار است به صورت داخلی نیز تولید می‌شوند. کشور در تولید مواد اولیه داروهای داخلی به ویژه در خصوص داروهای بیماری‌های خاص مثل پیوند اعضا، سرطان، ام اس و ... هنوز هم متکی به واردات مواد اولیه خارجی است. به علاوه در خصوص تولید برخی از این داروها قوانین و ملاحظات نظیر تولید

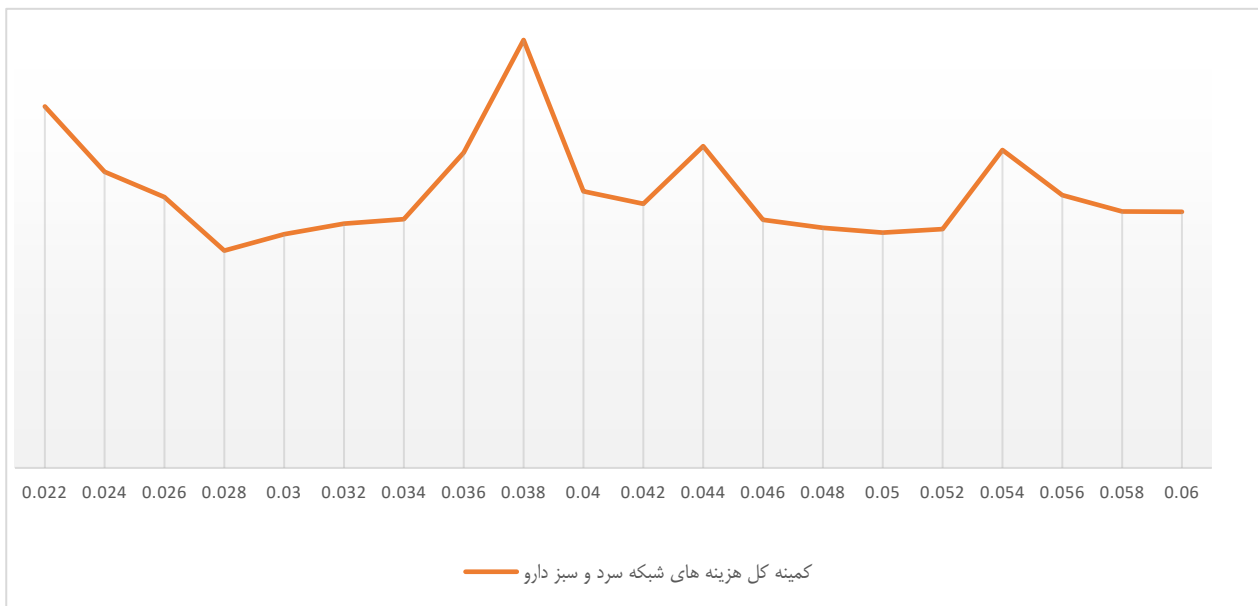
نمونه مشابه داخلی با نهایتاً یک چهارم قیمت نمونه خارجی برقرار است. بنابر موارد فوق یکی از دلایل اصلی قیمت کمتر و کیفیت پایین‌تر برخی از نمونه داروهای تولید داخلی، همین قوانین محدودکننده‌ای است که باعث می‌شود که تولیدکنندگان به سمت خرید مواد اولیه بی‌کیفیت در پاسخ به سیاست‌های هزینه‌ای و قیمت‌گذاری تحمیلی روی بیاورند و همچنین پایین بودن کیفیت داروهای داخلی باعث اقبال عمومی نسبت به نمونه‌های خارجی با وجود هزینه‌های بالاتر شده‌است. بنابراین لازم است تا در سیاست‌ها و استراتژی‌های تولید و قیمت‌گذاری داروها تجدیدنظر شود تا در بلندمدت ضمن بهبود تکنولوژی تولید و استفاده بهینه از سرمایه‌های کشور و دانش متخصصان، صنعت داروسازی موفق به جلب اعتماد عموم مردم از کیفیت تولیدات داخلی و همچنین کاهش واردات بسیاری از داروها و صرفه‌جویی در هزینه‌های شبکه شویم.

در قسمت ب از شکل ۲ نیز با توجه به ساختار معادله (۱۱) که آن دسته از عملیات شبکه دارو که بر گرمایش جهانی مؤثرند را مشخص می‌کند، مشاهده می‌شود که اگر مدل را با در نظر گرفتن حالات سوم و چهارم حل کنیم، حمل و نقل با سهمی معادل ۳۷٪ از مجموع تأثیر بر گرمایش، آلاینده‌ترین قسمت از عملیات شبکه زنجیره تأمین است و پس از آن، عملیات نگهداری موجودی در شرایط مختلف، عامل مؤثر دیگری در گرم‌تر شدن کره زمین است.



شکل ۲. الف- سهم هر یک از عملیات زنجیره تأمین بر هزینه‌ها، ب- سهم هر یک از عملیات زنجیره تأمین بر گرمایش زمین

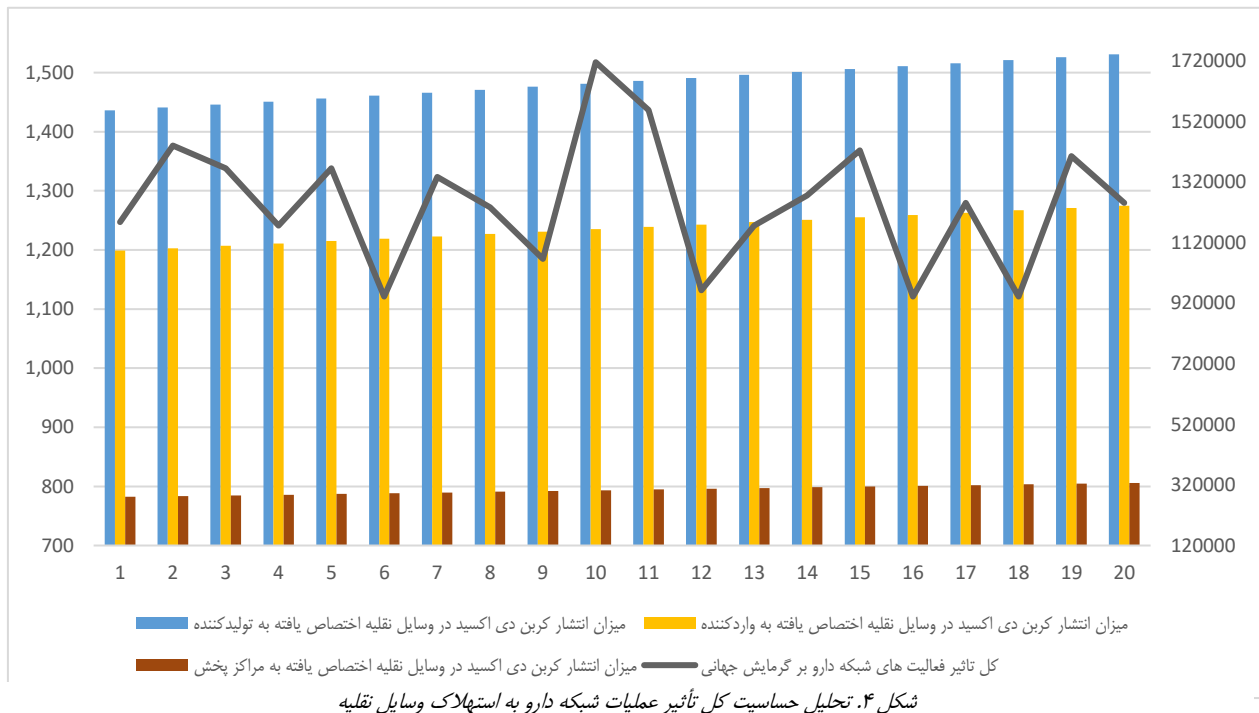
سپس با توجه به اینکه تعیین و تغییر بیشتر پارامترهای مسئله ذکر شده در حدود اختیارات تصمیم‌گیرنده نیست و معمولاً در شرایط واقعی، ثابت نبوده و تغییر می‌کند، در ادامه به بررسی تأثیر تغییرات برخی از پارامترها بر تحقق اهداف مسأله به منظور تحلیل حساسیت مدل و اعتبارسنجی آن پرداخته‌ایم.



شکل ۳. تحلیل حساسیت کل هزینه های شبکه سرد و سبز دارو نسبت به نرخ تغییرات ارزش پول

با توجه به مسائلی مثل تحریم اقتصادی و یا تغییرات دولتی نمی‌توان نرخ تغییر ارزش پول در طول زمان را ثابت در نظر گرفت. بنابراین در مرحله اول چنین فرض کرده‌ایم که اگر پارامتر $TR\%$ به تدریج افزایش داشته باشد، میزان کل هزینه‌های شبکه سرد و سبز دارویی چگونه تغییر خواهد کرد. همانطور که در شکل ۳ قابل مشاهده است، این افزایش در کوتاه‌مدت باعث افزایش قابل توجهی در مجموع هزینه‌های شبکه می‌شود، سپس اندکی کاهش یافته و در میان‌مدت بیشترین افزایش را تجربه می‌کند؛ اما در بلندمدت پس از گذار از جهش اولیه، مجدداً کاهش یافته و سپس به ثبات رسیده‌است. روند تغییرات فوق مشخص می‌کند که مدیران و ذی‌نفعان شبکه دارو تنها زمانی می‌توانند در افق بلندمدت برنامه‌ریزی کرده و تصمیمات درستی اتخاذ کنند که سیاست‌های درستی برای کنترل نرخ تورم و نوسانات نرخ ارز و در نتیجه کنترل تغییرات ارزش پول در طول زمان داشته‌باشند.

در مرحله دوم نیز با فرض بر اینکه در طول زمان وسایل اختصاص یافته به حمل‌ونقل در اثر استهلاک، میزان بیشتری گاز آلاینده تولید کنند، مطابق شکل ۴ به بررسی حساسیت تابع هدف دوم پرداخته‌ایم. مشاهده می‌کنیم که با وجود سهم بالایی که حمل‌ونقل زنجیره بر گرمایش زمین دارد، نمی‌توان روند افزایشی ثابتی را در مجموع مشاهده کرد. در واقع، از آنجایی که میزان تقاضا را ثابت در نظر گرفته‌ایم، میزان موجودی هر گره در دوره‌های مختلف باعث ایجاد چنین مسأله‌ای شده‌است. و تنها در میان‌مدت با افزایش میزان محصولات دارویی جابه‌جا شده در نتیجه کاهش سطح موجودی گره‌ها برای پاسخگویی به تقاضا، شاهد افزایش اثرات مخرب ناشی از حمل‌ونقل بر گرم‌تر شدن زمین خواهیم بود. به عبارت دیگر می‌توان چنین بیان کرد که در شبکه زنجیره تأمین دارو، عدم مدیریت مناسب عرضه و تقاضا است که منجر به افزایش اثرات سوء زیست‌محیطی خواهد شد و کیفیت وسایل حمل‌ونقل نقش تعیین‌کننده‌ای بازی نمی‌کند.



۵. نتیجه گیری و پیشنهادها:

با توجه به افزایش نگرانی‌های جامعه بین‌المللی در خصوص پایداری و توسعه پایدار شبکه‌های زنجیره تأمین و هم‌چنین اهمیت صنعت داروسازی در نتیجه ویژگی‌های خاص محصولات دارویی مثل لزوم حفظ ایمنی داروها تا تحویل به مصرف‌کننده و ارائه بهترین سطح خدمت‌رسانی، نیمه عمر مشخص، لزوم رعایت کنترل‌های دمایی و انطباق با مقررات و استانداردهای بین‌المللی، طراحی شبکه دارویی به شیوه‌ای دوستدار محیط‌زیست و با رعایت اصول زنجیره سرما ضروری است. از طرفی در کشورهای در حال توسعه نمی‌توان از تأثیر واردات دارو و ارزش زمانی پول که در نتیجه نوسانات نرخ ارز، تحریم اقتصادی، عدم ثبات بازار، نرخ تورم، دائمی در حال تغییر است، چشم‌پوشی کرد. از همین رو هدف اصلی از مطالعه حاضر طراحی مدل بهینه‌سازی دودفنه شبکه سبز و سرد زنجیره تأمین سه سطحی، چندمحصولی و چنددوره‌ای دارو با لحاظ نمودن مسائلی مثل نرخ تورم و نوسانات نرخ ارز در قالب مفهوم ارزش زمانی پول و هم‌چنین لجستیک بین‌المللی و واردات محصولات دارویی؛ است.

نتایج حاصل از حل مدل نشان دادند که مجموع هزینه‌های این شبکه تابعی از تقاضای محصولات در طول افق برنامه‌ریزی بوده و واردات دارو بخش اعظمی از این هزینه‌ها را به خود اختصاص داده‌است. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که اگرچه ارتقای تکنولوژی‌ها و ظرفیت‌های تولید دارو به صورت داخلی ممکن است در کوتاه مدت برای شبکه هزینه‌هایی داشته باشد اما در بلندمدت می‌تواند باعث کاهش در هزینه‌ها شود و هم‌چنین از وابستگی شبکه به نوسانات نرخ ارز و مسائلی مثل تحریم اقتصادی و تغییرات دولتی و سیاستی، بکاهد.

به علاوه، مشخص شد که افزایش در نرخ ارز، تحریم اقتصادی و مسائلی از این دست اگرچه در کوتاه‌مدت و میان‌مدت باعث افزایش در هزینه‌ها خواهد شد اما در بلندمدت بهانه قابل قبولی برای عملکرد ضعیف این زنجیره نخواهد بود. هم‌چنین نتایج مشخص کردند که با وجود سهم بالایی که حمل‌ونقل‌های میان سطوح مختلف شبکه نسبت به سایر عملیات، بالاترین سهم را در گرم‌تر شدن زمین دارند اما این مسأله بیشتر از آن‌که وابسته به کیفیت و ظرفیت وسایل حمل‌ونقل باشد؛ از عدم مدیریت صحیح عرضه و تقاضا و هم‌چنین مدیریت

نامناسب موجودی نشأت می‌گیرد. در واقع با به‌کارگیری شیوه‌های درست مدیریتی می‌توان اثرات مخرب عملیات این شبکه بر محیط‌زیست را کاهش داد.

در نهایت، از آن جایی که در مطالعه حاضر به مسائلی مثل فسادپذیری محصولات دارویی و مدیریت ضایعات دارو اشاره نشده‌است، پیشنهاد می‌شود که در پژوهش آتی به آن پرداخته شود. به علاوه بعد اجتماعی پایداری به ویژه در خصوص صنعت داروسازی که ارتباط مستقیم با جان و سلامت افراد جامعه دارد نیز نیازمند مطالعات بیشتری است. در مورد روش مدل‌سازی و حل نیز، مطالعات آتی می‌توانند با در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت در پارامترها و استفاده از برنامه‌ریزی فازی، احتمالی و یا استوار و هم‌چنین استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری برای حل، مدل این مطالعه را بسط و گسترش دهند.

تعارض منافع. برای ارائه مطالب و نگارش این مقاله هیچ‌گونه کمک مالی از هیچ فرد، نهاد و سازمانی دریافت نشده است و نتایج و دستاوردهای این مقاله به نفع یا ضرر سازمان یا فردی خاص نخواهد بود. حضور نویسندگان در این پژوهش به عنوان شاهدهی بی‌طرف ولی متخصص بوده است و نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافی ندارند.

منابع:

1. Abaku, E., Odimarha, A. (2024). Sustainable supply chain management in the medical industry: A theoretical and practical examination, *International Medical Science Research Journal*, 4(3), 319-340..
2. Aghaei Afshar, M., Hosseini, MH, Sahraeian, R., (2022) A Bi-objective Cold Supply Chain for Perishable Products Considering Quality Aspects: A Case Study in Iran Dairy Sector. *International Journal of Engineering (IJE) TRANSACTIONS B: Applications*, 35(2), 458-470.
3. Andiç, Y. Baltacıoğlu, T. (2012) Green supply chains: efforts and potential applications for the Turkish market. *Resour. Conserv. Recycl*, 58, 50–68.
4. Boukli-Hacene, R., Boudahri, F., Betaouaf, H., (2020). Optimal design of pharmaceuticals supply chain, *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 12(1), 115-132.
5. Brunet, R., Guillén-Gosálbez, Laureano, G., (2014) Combined simulation-optimization methodology to reduce the environmental impact of pharmaceutical processes: application to the production of Penicillin V. *Journal of Cleaner Production* (76), 55-63.
6. Farrokh, M. (2023). Designing a Sustainable Closed-Loop Supply Chain Considering Carbon Tax and Technology Selection in the Battery Industry, *Industrial Management Perspective*, 13(4), 46-84. (In Persian).
7. Gardner, Norman D. (2011) The Time Value of Money: A clarifying and Simplifying Approach, *Journal of College Teaching & Learning*, 1(7), 25-30.
8. Goodarzian, F., Taleizadeh, A., Ghasemi, P., Abraham, A., (2021). An integrated sustainable medical supply chain network during COVID-19. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2021, 100, 104188.
9. Halim, I., Ang, Pancy- Adhitya, Arief. A decision support framework and system for design of sustainable pharmaceutical supply chain network. *Clean Technologies and Environmental Policy* (2019), 21, 431–446.
10. Ilkyeong, M., Suyeon, L., (2000). The effects of inflation and time-value of money on an economic order quantity model with a random product life cycle, *European Journal of Operational Research*, Volume 125, Issue 3, Pages 588-601.
11. Janatyan, N., Zandieh, M., AlemTabriz, A., Rabieh, M., (2018) Designing Sustainable Distribution Network in Pharmaceutical Supply Chain: A Case Study. *International Journal of Supply and Operations Management*, 5(2), 122-133.
12. Kouchaki Tajani, T., Mohtashami, A., Amiri, M., Ehtesham Rasi, R. (2021) Presenting a Robust Optimization Model to Design a Comprehensive Blood Supply Chain under Supply and Demand Uncertainties, *Industrial Management Perspective*, 11(41), 81-115. (In Persian).
13. Li, K., Li, D., (2023). A multi-objective model for cold chain logistics considering customer satisfaction. *Alexandria Engineering Journal*, 67, 513–523.
14. Lopez, J., Pantel, C., Almaraz, S., (2024). Multi-objective optimization for pharmaceutical supply chain design: application to COVID-19 vaccine distribution network. *Computer Aided Chemical Engineering*, 53, 679-684.

15. Moslemi, SH., Zavvar sabegh, MH., Mirzazadeh, A., ozturkoglu, Y., Maass, E., (2017). A multi objective model for multi-production and multi-echolon closed loop pharmaceutical supply chain considering quality concepts: NSGA-II approach. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*.
16. Ozturkoglu, Y., (2023). Investigating the performance of the sustainable cold supply chain in the pharmaceutical industry. *International Journal of Pharmaceutical and Healthcare Marketing (IJPHM)*, 16(2),448-467.
17. Rui S., Shah, N., (2005). Papageorgiou, Lazaros G. Global supply chain network optimisation for pharmaceuticals, *Computer-aided chemical engineering (Elsevier)*, 20, 1189-1194.
18. Saif, A., Elhedh, S., (2015). Cold supply chain design with environmental considerations: A simulation optimization approach. *European Journal of Operation Research*, 2015, 1-14.
19. Salmannejad, M., Mirghafoori, S.H., Andalib Ardakani, D., Mirfakhroddini, S.H. (2022) Hospital Supply Chain Optimization under Uncertainty: Application of Fuzzy Goal Programming, *Industrial Management Perspective*, 12(45), 161-191. (In Persian).
20. Shah, N., (2004). Pharmaceutical supply chains: key issues and strategies for optimization. *Computer and chemical engineering* 28,2004, 929-941.
21. Shashi, M., (2022), The sustainability strategies in the Pharmaceutical Supply Chain: A Qualitative research. *International Journal of Engineering and Advanced Technology* 11, 90-95.
22. Sheykhizadeh, M., Ghasemi, R., Rezae, H. (2024). A hybrid decision-making framework for a supplier selection problem based on lean, agile, resilience, and green criteria: a case study of a pharmaceutical industry. *Springer, Environment, Development and Sustainability*.
23. Srivastava, S., (2007). Green supply-chain management: a state-of-the-art literature review. *International Journal of Management Reviews* 9(1), 53-80.
24. Siew Low, Y., (2016). Systematic Framework for Design of Environmentally Sustainable Pharmaceutical Supply Chain Network. *Journal of Pharmaceutical Innovation* 11, 250-263.
25. Tsan-Ming, CH., Govindan, K., Xiang, L., Yongjian, L., (2017). Innovative supply chain optimization models with multiple uncertainty factors, *Annals of Operations Research (Springer US)*, 257(1),1-14.
26. Tseng, M., Shamimul Islam, M., Karia, N., Ahmad Fauzi, F., Afrin, S., (2019). A literature review on green supply chain management: Trends and future challenges. *Resources, Conservation & Recycling*, 141, 145-162.
27. Uthayakumar, R., (2013). Pharmaceutical supply chain and inventory management strategies: Optimization for a pharmaceutical company and a hospital. *Operations Research for Health Care* 2, 52-64.
28. Yuri, Y., (2014). Cold Chain Management in Pharmaceutical Industry: Logistics Perspective. *Journal of Distribution Science*, 12(5), 33-40.
29. Zahiri, B., Jula, P., Tavakkoli-Moghaddam, T. (2017) Design of a pharmaceutical supply chain network under uncertainty considering perishability and substitutability of products. *Information Sciences* 423, 257-283.
30. Zamboni Alvarenga, M., Valadares de Oliveira, Tiago André Gonçalves Félix de Oliveira. The impact of using digital technologies on supply chain resilience and robustness: the role of memory under the covid-19 outbreak, *Supply Chain Management*, 17 Jan 2023, 28(5), 825-842.
31. Zandieh M., Jannatyan N., Alem-Tabriz A., Rabieh M., (2018). Designing sustainable distribution network in pharmaceutical supply chain: A case study. *International Journal of Supply and Operation Management*, 5(2), 122-133.
32. Zhichao, M., Zhang, J., Wang, H., Gao, SH., (2023). Optimization of Sustainable Bi-Objective Cold-Chain Logistics Route Considering Carbon Emissions and Customers' Immediate Demands in China. *Sustainability* 15(7), 5946,1-23.