14(3) 343-354, Autumn 2022

Journal of Animal Environment
(AEJ)
Journal homepage: http://www.aejournal.ir

Original Research Paper

Mathematical Modeling of Closed-loop Supply Chain Network based on Environmental and Social Impacts

Mohammad Reza Fathi [1], Navid Nezafati [2*], Amir hossein Behrooz [3], Mohsen Etemad [4]

[1]*Department of Industrial and Technology Management, Faculty of Management and Accounting, Farabi School, University of Tehran, Qom, Iran*
[2]*Department of Social and Technical Systems, Faculty of Management and Accounting, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran*
[3]*Department of Management, Payam Noor Qom University, Qom, Iran*
[4]*Department of Industrial Management, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*

Key Words
Environmental Impacts
Closed-loop Supply Chain
Customer Relationship Management
Uncertainty

Abstract

Introduction: With the expansion and intensification of competitive environment in today's world, supply chain management has become one of the key issues facing businesses. It has influenced all the activities of organizations to produce products, improve quality, reduce costs and provide the services required by customers. On the other hand, as the volume of pollutants increased, the researchers sought to design networks that, in addition to economic optimization, focused on environmental factors in all sectors. Supply chain network design is a strategic and critical issue that provides an optimal framework for effective and efficient supply chain management. One of the most suitable areas for integration in supply chain networks is the design of closed-loop supply chain networks, which can prevent the overlap caused by the design of separate direct and reverse networks.

Materials & Methods: In this paper, a mixed integer linear programming model for closed loop supply chain network design is presented. The latter model seeks to minimize costs, minimize environmental impact, maximize the amount of worn-out product collected, and maximize supply chain social responsiveness. The proposed model is implemented by Saba Battery Company, which produces various types of batteries. Since the proposed model belongs to the NP-hard category, an exact solution method and two multi-objective genetic algorithms and a multicomponent particle swarm were used to solve the model.

Result: Based on the research results, the cost objective function tends to create a supply chain network with a centralized structure in order to achieve a lower cost. The environmental objective function tends to create a network with a decentralized structure to reduce environmental impacts. The proposed models are able to provide a range of Pareto optimal solutions according to the different levels of applying fuzzy constraints to determine the final decision. The two algorithms differ in terms of time; NSGA-II is superior to MOPSO. Also, two algorithms are different in the MID criterion, MOPSO is superior to NSGA-II, and in the rest of the criteria, they are not significantly superior to each other.

Conclusion: The proposed model was determined with Jimenez's deterministic approach and a deterministic auxiliary model was proposed. This model was solved using the epsilon constraint method and two multi-objective genetic algorithms and multi-objective particle swarm.

* Corresponding Author's email: navid.nezafathi@gmail.com
Received: 31 May 2021; Reviewed: 4 July 2021; Revised: 31 August 2021; Accepted: 4 October 2021
(DOI): 10.22034/AEJ.2020.255722.2400

مقاله پژوهشی

مدل‌سازی ریاضی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته با درنظر گرفتن اثرات زیست محیطی و اجتماعی

محمدرضا فتحی[۱]، نوید نظافتی[۲*]، امیرحسین بهروز[۳]، محسن اعتماد[۴]

[۱] گروه مدیریت صنعتی و فناوری، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشکدگان فارابی، دانشگاه تهران، قم، ایران

[۲] گروه سیستم‌های اجتماعی و فنی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

[۳] گروه مدیریت، دانشگاه پیام نور قم، قم، ایران

[۴] گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

کلمات کلیدی

اثرات زیست محیطی
زنجیره تامین حلقه بسته
مدیریت ارتباط با مشتری
عدم قطعیت

چکیده

مقدمه: با گسترش و تشدید فضای رقابتی در دنیای امروزی، مدیریت زنجیرهٔ تأمین به یکی از مسائل اساسی پیش‌روی بنگاه‌های اقتصادی تبدیل شده است. طوری‌که همهٔ فعالیت‌های سازمان‌ها را به‌منظور تولید محصولات، بهبود کیفیت، کاهش هزینه‌ها و ارائه خدمات مورد نیاز مشتریان تحت تأثیر داده است. از طرف دیگر، با افزایش حجم آلاینده‌ها، محققان در پی طراحی شبکه‌هایی برآمدند که علاوه بر بهینه سازی اقتصادی بر عوامل زیست‌محیطی در همهٔ بخش‌ها تمرکزی ویژه‌ای داشته باشند. طراحی شبکه زنجیره تامین یک مسئله استراتژیک و بحرانی است که یک چارچوب بهینه را برای مدیریت زنجیره تأمین موثر و کارآمد فراهم می‌کند. یکی از زمینه‌های مناسب برای یکپارچه-سازی در شبکه‌های زنجیره تامین، طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته است که می‌تواند باعث جلوگیری از زیربهینگی ناشی از طراحی جدا از هم شبکه مستقیم و معکوس شود.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته برای طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته ارائه شده است. این مدل به‌دنبال حداقل‌سازی هزینه‌ها، حداقل‌سازی اثرات زیست‌محیطی، حداکثر کردن میزان محصول فرسوده جمع‌آوری شده و حداکثر کردن پاسخگویی اجتماعی زنجیره تامین می‌باشد. مدل پیشنهادی در شرکت صبا باتری که به تولید انواع باتری می‌پردازد، پیاده سازی شده است. با توجه به این‌که مدل ارائه شده به دسته NP-hard تعلق دارند، یک روش حل دقیق و دو الگوریتم ژنتیک چندهدفه و ازدحام ذرات چندهدفه جهت حل مدل استفاده شدند و مقایسات لازم بین نتایج صورت گرفت.

نتایج: براساس نتایج تحقیق، تابع هدف هزینه برای رسیدن به هزینه کم‌تر تمایل به ایجاد شبکه زنجیره تامین با ساختار متمرکز دارد. تابع هدف زیست محیطی تمایل به ایجاد شبکه با ساختار غیرمتمرکز جهت کاهش اثرات زیست‌محیطی را دارد. مدل‌های پیشنهادی قادر هستند به‌خوبی طیفی از جواب‌های بهینه پارتو را با توجه به‌میزان مختلف برقرای محدودیت‌های فازی، جهت تعیین تصمیم نهایی ارائه نمایند. دو الگوریتم در معیار زمان با هم تفاوت دارند که NSGA-II بر MOPSO برتری دارد. هم‌چنین دو الگوریتم در معیار MID با هم تفاوت دارند که MOPSO بر NSGA-II برتری دارد و در باقی معیارها برتری معنی‌داری نسبت به هم ندارند.

بحث و نتیجه‌گیری: مدل مطرح شده با رویکرد قطعی‌سازی خیمنز قطعی شد و مدل کمکی قطعی مطرح شد. این مدل با استفاده از روش محدودیت اپسیلون و دو الگوریتم ژنتیک چندهدفه و ازدحام ذرات چندهدفه حل شد.

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: navid.nezafathi@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۰ خرداد ۱۴۰۰؛ تاریخ داوری: ۱۳ تیر ۱۴۰۰؛ تاریخ اصلاح: ۹ شهریور ۱۴۰۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۲ مهر ۱۴۰۰
(DOI): 10.22034/AEJ.2020.255722.2400

مقدمه

یکی از مزیت‌های رقابتی پایدار برای کشورها و شرکت‌ها، کاراتر و اثربخش‌تر کردن فعالیت‌های زنجیره تامین است. یکی از قسمت‌های عمده این فعالیت‌ها که می‌تواند موجب صرفه‌جویی بسیار در هزینه‌ها شود فعالیت‌های لجستیکی است. لجستیک، بخش فیزیکی زنجیره تأمین را در بر می‌گیرد و عمدتاً شامل کلیه فعالیت‌های مربوط به جریان مواد و کالاها از مرحله تهیه مواد خام تا تولید محصول نهایی ازجمله حمل و نقل، انبارداری و غیره است. یکی از گرایش‌های جدید در مدیریت لجستیک، بازیافت، چرخه مجدد و یا استفاده مجدد از محصولات است. در این روش، محصولاتی که به پایان عمر مفیدشان می‌رسند، مجدداً از مصرف‌کننده نهایی خریداری می‌شوند و پس از دمونتاژ، قسمت‌هایی از محصول که قابلیت استفاده مجدد را دارند، دوباره در قالب محصولات اسقاطی به چرخه حیات برمی‌گردند (۱). مساله طراحی شبکه زنجیره تامین شامل تصمیمات استراتژیکی می‌شود که به پیکره‌بندی زنجیره تامین اشاره دارد و به‌عنوان مساله زیر ساختاری در مدیریت زنجیره تامین، اثرات دیرپایی روی سایر تصمیمات تاکتیکی و عملیاتی شرکت دارد. در حالت کلی پروژه طراحی شبکه با مشخص کردن جایگاه‌های مکان‌یابی و ظرفیت‌های مورد نیاز برای تسهیلات جدید و برنامه‌ریزی خرید، تولید، توزیع و نگه‌داری محصولات مواجه است. اخیراً به‌دلیل تمهیدات دولت، مسائل زیست محیطی، آلودگی و مسائل احتمالی و نیاز مشتریان توجه‌روبه رشدی به لجستیک معکوس و زنجیره تامین حلقه بسته شده و از طرفی در دو دهه اخیر سازمان‌های زیادی مانند کداک و زیراکس بر فعالیت‌های تولید مجدد و بازیافت تمرکز کرده‌اند و موفقیت‌های چشم‌گیری از لحاظ اقتصادی به‌دست آورده‌اند. طراحی شبکه‌های لجستیکی مستقیم و معکوس به‌صورت جدا از هم موجب یک نوع زیر بهینگی برای سازمان‌های می‌شود که این امر به اهمیت درنظر گرفتن شبکه‌ها به صورت یکپارچه یا به‌صورت حلقه بسته می‌افزاید. مروری بر مطالب مطرح شده در حوزه توسعه پایدار و مدیریت زنجیره تامین نشان می‌دهد که جدا از بحث‌های اقتصادی که به‌صورت سنتی در ادبیات مدیریت زنجیره تامین موجود است، بیش‌تر مباحث در حوزه توسعه پایدار معطوف به جنبه زیست‌محیطی آن است. جنبه اجتماعی فقط در بعضی از مطالعات به‌صورت کیفی بحث شده و در ادبیات فعلی از جایگاه جدیدی برخوردار نیست. در این تحقیق به طراحی شبکه زنجیره تامین شرکت صبا باتری می‌پردازیم. اهمیت استفاده از سرب در صنعت از یک‌سو و خطرات بالقوه بهداشتی و زیست محیطی آن از سوی دیگر، موجب توجه جامعه جهانی به چگونگی مدیریت صحیح زیست‌محیطی بازیافت باتری‌های سربی اسیدی شده است. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد امروزه حدود ۶۰ درصد کل تولید سرب تصفیه شده از معادن سرب تأمین و ۴۰ درصد باقی‌مانده از بازیافت قراضه‌ها و سرباره‌های باتری‌های فرسوده حاصل می‌شود. این مسأله در سراسر دنیا یکی از منابع مهم دستیابی به سرب خالص است. باید توجه کرد که اجرای بازیافت زیست محیطی و بهداشتی این مواد در کشور نیازمند در نظرگیری راهبردها و خط‌مشی‌هایی است که بر اساس اولویت‌های کشور تعیین شده و باید در جهت تدوین چارچوبی قانونی برای جمع‌آوری، حمل و نقل و بازیافت صورت گیرد تا اثرات و خطرات زیست محیطی و بهداشتی بازیافت این پسماندها که تحت کنوانسیون بازل هستند، به‌حداقل کاهش یابد. براساس تحقیقات صورت گرفته از سوی دفتر بررسی آلودگی آب و خاک سازمان حفاظت محیط زیست، باتری‌های اسیدی به‌دلیل غیرقابل بازگشت بودن واکنش‌های شیمیایی دارای دوره عمری مشخص هستند و پس از رسیدن به انتهای دوره عمری خود، با وجود محتوای فلزی بالا به‌ویژه سرب، غیراستفاده و فرسوده و در گروه پسماندهای ویژه تقسیم‌بندی می‌شوند. تحقیقات نشان می‌دهد بازیافت آن‌ها و وارد کردن فلزاتی نظیر سرب، قلع، آنتیموان، آرسنیک و مواد آلی نظیر پلی پروپیلن حاصل از بازیافت آن‌ها به چرخه صنعت امری اقتصادی است ولی به‌دلیل وجود خطرات مواد مختلف موجود در ساختار آن‌ها به‌ویژه فلزات سنگین، رعایت اصول بهداشتی و زیست‌محیطی، استفاده از فناوری‌های نوین در جمع‌آوری و مراحل پیش بازیافت و بازیافت آن‌ها ابداع شده است. کارشناسان معتقدند اجرای بازیافت زیست محیطی و بهداشتی برای این پسماندهای ویژه در کشور نیازمند در نظرگیری راهبردها و خط مشی‌هایی است که براساس اولویت‌های کشور تعیین و تعریف شده و باید در جهت تدوین چارچوبی قانونی برای جمع‌آوری، حمل و نقل و بازیافت باشد. باید توجه کرد که ایجاد سیستم جمع‌آوری تحت چارچوبی قانونی یکی از اولین مراحل مدیریت صحیح زیست محیطی باتری‌های فرسوده است تا خطرات و اثرات زیست‌محیطی جانبی آن‌ها به حداقل کاهش یابد. می‌توان باتری‌های نو را در ازای دریافت باتری فرسوده به بهای مصوب فروخت و درغیر این‌صورت مصرف‌کننده را موظف به پرداخت مبلغی بیش‌تر کرد. تحقیقات نشان می‌دهد این سیاست بازگشت باتری‌های فرسوده به کارخانجات تولید باتری را فراهم می‌آورد. لذا مساله اصلی این تحقیق طراحی شبکه زنجیره تامین با درنظر گرفتن اثرات زیست محیطی و اجتماعی مبتنی بر بحث مدیریت ارتباط با مشتری برای محصول باتری در شرکت صبا باتری می‌باشد. Validi و Dehghanian، یک مدل برنامه‌ریزی چند هدفه عدد صحیح مختلط را برای طراحی شبکه لجستیک معکوس با در نظر گرفتن اهداف اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی ارائه داده‌اند. آن‌ها برای کمی‌سازی اثرات زیست محیطی

از شاخص Eco-indicator ۹۹ و برای کمی‌سازی اثرات اجتماعی از تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده کرده‌اند (۲). برای حل مساله چند هدفه برای هر یک از توابع هدف تابع مطلوبیت تعریف کرده و مدل با استفاده از تکنیک برنامه‌ریزی آرمانی چند گزینه‌ای حل شده است. Yadgari و همکاران، به طراحی یک مدل غیرخطی طراحی شبکه لجستیکی مستقیم و معکوس چند محصولی، چند رده‌ای با درنظر گرفتن تسهلات ترکیبی می‌پردازند که در نتیجه آن مکان مناسب برای احداث تسهلات از بین مکان‌های بالقوه، ظرفیت مناسب هر تسهیل و هم‌چنین میزان جریان بهینه بین هر یک از سطوح شبکه به‌دست می‌آید (۳). Alumur و همکاران، یک مدل حداکثرسازی سود برای مسئله زنجیره تامین معکوس ارائه داده‌اند که یک مدل‌سازی خطی آمیخته می‌باشد (۴). به‌منظور درنظر گرفتن امکان ایجاد تنظیمات جدید در طراحی شبکه زنجیره تامین و هم‌چنین ایجاد تغیرات در آن، مدل را به‌صورت چند دوره‌ای ارائه داده‌اند و هم‌چنین به‌منظور ایجاد تنوع در نوع محصولات، مدل را به صورت چند محصولی ارائه داده‌اند. Hassanzadeh و Zhang، یک مدل چند هدفه برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح به‌منظور مکان‌یابی در یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته ارائه نمودند. شبکه زنجیره تامین حلقه بسته درنظر گرفته شده شامل چندین کارخانه، مراکز جمع‌آوری و محصولات مختلف می‌باشد. اهداف درنظر گرفته شده در این تحقیق شامل کمینه نمودن انواع هزینه‌ها، بیشینه‌سازی اثرات مطلوب زیست محیطی می‌باشد. به‌علاوه آن‌ها مدل‌سازی خود را در شرایط عدم قطعیت انجام دادند و برای این منظور از رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی استفاده نمودند. Jabbarzadeh و همکاران، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته تصادفی را جهت طراحی شبکه زنجیره تأمین معکوس و پایدار با در نظر گرفتن هر سه بعد پایداری به‌کار گرفتند (۶). Amin و Baki، نیز یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته متفاوتی را جهت طراحی شبکه زنجیره تأمین معکوس و پایدار با درنظر گرفتن سه ابعاد پایداری ارائه کردند (۷). Honari و همکاران، در پژوهشی به بررسی نقش اثرات زیست‌محیطی در زنجیره تامین سبز پایدار پرداختند. این پژوهش از نظر هدف کاربردی و از نظر شیوه گردآوری داده‌ها توصیفی پیمایشی می‌باشد که با ماهیت آمیخته انجام شد. بدین‌منظور طی فرایند تحلیل محتوا و با روش دلفی مهم‌ترین مؤلفه‌ها، شناسایی و بومی‌سازی گردید. سپس براساس روابط شناسایی شده در تحقیقات گذشته الگوی مفهومی متناسب ارائه گردید. نهایتاً این الگو از طریق روش کمی با ابزار پرسشنامه و براساس نظرات خبرگان مورد نظرسنجی قرار گرفته و با روش حداقل مربعات جزئی مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج حاکی از تایید روابط اصلی مدل و اهمیت نقش اثرات زیست محیطی در زنجیره تامین سبز پایدار بود (۸). Valyani و همکاران، در پژوهشی به ارائه مدل ترکیبی جهت ارزیابی ریسک‌های زیست محیطی استان مازندران با استفاده از روش‌های دیماتل و تابع زیان تاگوچی پرداختند. در این تحقیق از نظرات ۹ نفر از مدیران با تجربه اداره حفاظت محیط زیست استان مازندران و اساتید برجسته دانشگاهی در این حوزه به‌عنوان خبره استفاده و ساختار شکست ریسک‌های زیست‌محیطی در سه سطح تعریف گردید. سپس با استفاده‌از تکنیک دیماتل اهمیت دسته‌های ریسک و وزن آن‌ها تعیین شد. در مرحله بعد معیارهای مختلفی جهت ارزیابی ریسک‌ها مشخص و تعریف گردید که براساس روش تابع زیان تاگوچی، هر ریسک در هر معیار مورد ارزیابی قرار گرفت و امتیاز زیان آن‌ها محاسبه شد. براساس نتایج به دست آمده دسته‌های ریسک فرهنگی، فیزیک وشیمیایی و اقتصادی از اهمیت بیش‌تری برخوردار بوده و برسایر دسته‌های ریسک تأثیرگذار می‌باشند (۹). در جدول ۱ مروری اجمالی بر مقالات منتشر شده ارائه شده است.

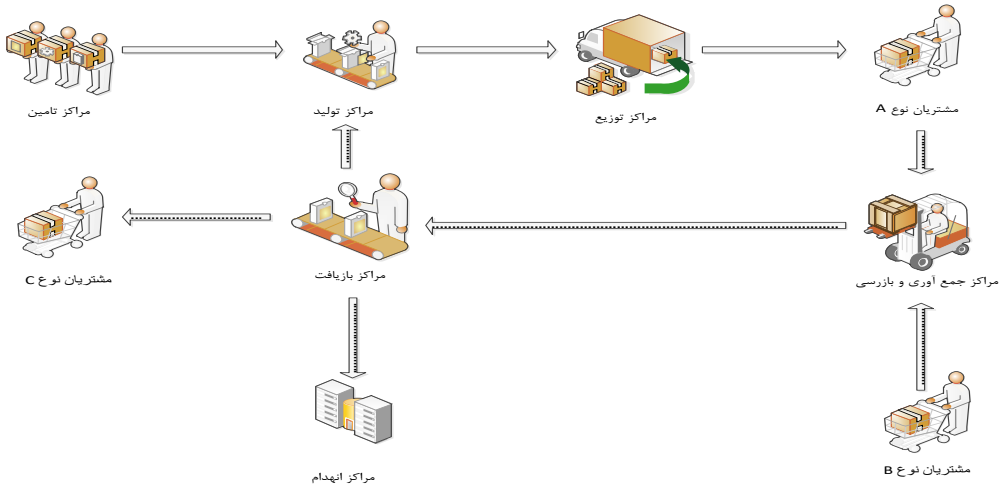
مواد و روش‌ها

این پژوهش از نظر انواع جهت‌گیری‌های پژوهش جزو پژوهش‌های توسعه‌ای می‌باشد. چون سعی دارد تا مدل‌های موجود در طراحی شبکه زنجیره تامین را گسترش و توسعه دهد و ابعاد پایداری را که در پژوهشات قبلی کم‌تر به آن اشاره شده بود در نظر بگیرد، بنابراین کار محقق در مقایسه با محققان قبلی، توسعه‌یافته‌تر و عمیق‌تر خواهد بود. هم‌چنین از نظر ماهیت و چگونگی جزو پژوهش‌های اکتشافی می‌باشد. شبکه زنجیره تامین این پژوهش، یک شبکه چند سطحی و چند محصولی است که ساختار آن به‌صورت حلقه بسته می‌باشد. سطوح این شبکه به‌سمت جلو شامل مراکز تامین، مراکز تولید، مراکز توزیع و مراکز مشتری نوع A می‌باشد و هم‌چنین به سمت عقب شامل مشتریان نوع B، مراکز جمع‌آوری و بازرسی، مراکز بازیافت، مراکز انهدام و مراکز مشتریان نوع C می‌باشد. سطوح تصمیم‌گیری هم به‌صورت راهبردی، یعنی مسائل مربوط به طراحی شبکه و هم به‌صورت تاکتیکی در قالب مسائل مربوط به تخصیص، حمل و نقل، موجودی و غیره است. در این شبکه ابتدا محصولات در مراکز تولیدی تولیدشده و سپس از طریق مراکز توزیع به مشتریان نوع A فرستاده می‌شوند. سپس در جریان رو به‌سمت عقب برخی از محصولات فرسوده مشتریان نوع A به مراکز جمع‌آوری و بازرسی ارسال می‌گردد. به منظور جمع‌آوری محصولات فرسوده از مشتریان با استفاده از مفهوم مدیریت ارتباط با مشتری، سیاست‌های انگیزشی و تشویقی برای مشتریان به‌منظور همکاری هرچه بیش‌تر آن‌ها برای بازگرداندن محصولات فرسوده تعریف می‌گردد.

جدول ۱: مروری بر ادبیات تحقیق

	پژوهشگران	نوع شبکه			نوع مدل ریاضی				ابعاد پایداری			سطوح شبکه																		خروجی‌ها								
					پیوس	قطعی						سطوح مستقیم								سطوح معکوس																		
		مستقیم	مکوس	حلقه بسته	تقریب پیوسته	برنامه ریزی عدد صحیح امیخته	برنامه ریزی عدد صحیح امیخته	برنامه ریزی غیر خطی عدد	برنامه ریزی خطی عدد صحیح	اقتصادی	زیست محیطی	اجتماعی	مراکز تامین	مراکز تولید	مراکز توزیع	بازاندازها	انبارها	مناطق مشتری	مراکز بازرسی / جمع آوری	مراکز جداسازی	مراکز توزیع مجدد	مراکز اصلیا	مراکز بازیافت	مراکز انهدام	تامین کنندگان	مکان یابی تسهیلات	ظرفیت تسهیلات	تخصیص	مقدار تولید	تکنولوژی تولید	تعداد ماشین آلات	موجودی	روش حمل و نقل	میزان حمل و نقل	تکنولوژی پردازش بر گشتی ها	مقدار محصولات مصرف شده مورد پردازش	مقدار تقاضای برطرف شده
۱	Zhen و همکاران (۱۰)			•				•		•	•	•	•	•	•						•	•	•	•							•	•	•			
۲	Jabbarzadeh و همکاران (۶)			•			•			•	•	•	•	•				•	•					•		•			•		•	•				•
۳	Fattahi و همکاران (۱۱)		•	•					•	•	•		•				•	•								•			•		•	•				
۴	Soleimani و همکاران (۱۲)			•						•	•	•			•	•	•	•	•			•				•			•							
۵	Amin و Baki (۷)			•					•	•	•	•			•	•		•	•				•	•		•			•							
۶	Cambero و همکاران (۱۳)		•	•					•	•	•				•	•										•			•		•					
۷	Zhalechian و همکاران (۱۴)			•			•		•	•	•				•			•	•				•			•										
۸	Alumur و همکاران (۴)			•						•	•				•								•	•				•					•	•		
۹	Quariguasi و همکاران (۱۵)			•						•	•	•												•	•					•						

یکی از راهبردها، تمرکز بر مشتریان کلیدی و اهمیت بخشیدن بر آن‌ها است. لذا مشتریان نوع A که در هم جریان رو به سمت جلو و هم در جریان رو به سمت عقب مشارکت دارند، مشتریان کلیدی در نظر گرفته شده‌اند و به خاطر حفظ این نوع از مشتریان وفادار، خدمات خاصی برای آن‌ها در نظر گرفته شده است. مشتریان نوع B مشتریانی هستند که در زنجیره رو به سمت جلو از سایر زنجیره‌ها محصول مورد نظر خود را خریداری کرده‌اند، اما ما می‌خواهیم با سیاست‌هایی، آن‌ها محصولات فرسوده خود را به زنجیره ما تحویل دهند. در نهایت محصولات فرسوده مشتریان نوع A و B در مراکز جمع‌آوری و بازرسی تجمیع می‌گردند و در ادامه به مراکز بازیافت انتقال می‌یابند. در مراکز بازیافت بسته به وضعیت کیفیت محصول فرسوده اقداماتی بر روی آن صورت می‌گیرد و بخشی از قطعات قابل استفاده مجدد با ترمیم به مراکز تولید ارسال می‌گردند، برخی قسمت‌های سمی و آلاینده به مراکز انهدام ارسال می‌شوند و در نهایت محصولات فرسوده‌ای که با شارژ مجدد دوره زمانی کوتاهی قابلیت استفاده مجدد را دارند به مراکز مشتریان نوع C جهت فروش ارسال می‌شوند. مشتریان نوع C مشتریانی هستند که محصولات بازیافت شده را به‌عنوان دست دوم خریداری می‌کنند. شبکه زنجیره تامین مورد مطالعه در این پژوهش در قالب شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: شبکه زنجیره تامین حلقه بسته پیشنهاد

در ادامه مفروضات مسئله به‌صورت ذیل ارائه می‌گردد: مدل به‌صورت چندسطحی و چندمحصولی می‌باشد. جریان محصولات فقط بین تسهیلات متوالی متفاوت وجود دارد و جریان محصول بین تسهیلات مشابه امکان‌پذیر نیست. مکان و تعداد مشتریان نوع A، B، C و هم‌چنین تامین‌کنندگان ثابت و مشخص است. پارامترهایی نظیر ظرفیت مراکز، هزینه‌ها، تقاضا، ظرفیت وسائل حمل و نقل و ارزش اقتصادی مراکز به‌صورت عدم قطعی در نظر گرفته شده است و از تئوری فازی جهت رفع عدم قطعیت استفاده شده است. کیفیت محصولات بازیافت شده برای فروش در مراکز مشتریان نوع C، متفاوت از محصولات جدید می‌باشد. کمبود در جوابگویی به تقاضای مشتریان اجازه داده می‌شود و هزینه‌ای برای تقاضای ارضا نشده مشتری درنظر گرفته می‌شود. این کمبود به‌صورت از دست رفته می‌باشد. مکان‌های مراکز بالقوه تولید، توزیع، جمع‌آوری، بازیافت و انهدام مشخص است. مراکز بازرسی، جداسازی و مرتب‌سازی در مرکز جمع‌آوری درنظر گرفته شده است. موجودی در مراکز تولید، توزیع و جمع‌آوری برای محصولات درنظر گرفته شده است. برای هر یک از مراکز قابل احداث، سه سطح ظرفیت در نظر گرفته شده است.

اندیس‌ها

مجموعه مکان‌های ثابت برای تامین‌کنندگان k=1,2,...,K	k
مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز تولید جهت احداث کردن m=1,2,...,M	m
مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز توزیع جهت احداث کردن l=1,2,...,L	l
مجموعه مکان‌های ثابت برای مشتری‌های نوع A n=1,2,...,N	n
مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز جمع‌آوری و بازرسی جهت احداث کردن o=1,2,...,O	o
مجموعه مکان‌های ثابت برای مشتریان نوع B s=1,2,...,S	s
مجموعه مکان‌های ثابت برای مشتریان نوع C c=1,2,...,C	c
مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز انهدام جهت احداث کردن i=1,2,...,I	i
مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز بازیافت جهت احداث کردن p=1,2,...,P	p
مجموعه محصولات d=1,2,...,D	d
مجموعه مواد اولیه b=1,2,...,B	b
مجموعه سطوح ظرفیت برای مکان‌های بالقوه h=1,2,...,H	h
مجموعه گزینه‌های بالقوه برای حمل و نقل u=1,2,...,U	u
مجموعه گزینه‌های CRM تعریف شده	AM

پارامترها

تعداد فرصت‌های شغلی ثابت ایجاد شده از طریق احداث مراکز تولید m با سطح ظرفیت h	OBJ_{mh}
تعداد فرصت‌های شغلی ثابت ایجاد شده از طریق احداث مراکز توزیع l با سطح ظرفیت h	OBL_{lh}
تعداد فرصت‌های شغلی ثابت ایجاد شده از طریق احداث مراکز جمع‌آوری o با سطح ظرفیت h	OBO_{oh}
تعداد فرصت‌های شغلی ثابت ایجاد شده از طریق احداث مراکز بازیافت p با سطح ظرفیت h	OBP_{ph}
تعداد فرصت‌های شغلی ثابت ایجاد شده از طریق احداث مراکز انهدام i با سطح ظرفیت h	OBI_{ih}
تعداد فرصت‌های شغلی متغیر ایجاد شده از طریق احداث مراکز تولید m با سطح ظرفیت h	$VOBJ_{mh}$
تعداد فرصت‌های شغلی متغیر ایجاد شده از طریق احداث مراکز توزیع l با سطح ظرفیت h	$VOBL_{lh}$
تعداد فرصت‌های شغلی متغیر ایجاد شده از طریق احداث مراکز جمع‌آوری o با سطح ظرفیت h	$VOBO_{oh}$
تعداد فرصت‌های شغلی متغیر ایجاد شده از طریق احداث مراکز بازیافت p با سطح ظرفیت h	$VOBP_{ph}$
تعداد فرصت‌های شغلی متغیر ایجاد شده از طریق احداث مراکز انهدام i با سطح ظرفیت h	$VOBI_{ph}$
میزان توسعه یافتگی مراکز تولیدی m	MTM
میزان توسعه یافتگی مراکز توزیع l	MTL
میزان توسعه یافتگی مراکز جمع‌آوری و بازرسی o	MTO
میزان توسعه یافتگی مراکز بازیافت p	MTP
میزان توسعه یافتگی مراکز انهدام i	MTI
ارزش اقتصادی مرکز تولیدی m با سطح ظرفیت h	$\widetilde{ARM}_{mh}$

$\widetilde{ARL}_{lh}$	ارزش اقتصادی مرکز توزیع l با سطح ظرفیت h
$\widetilde{ARO}_{oh}$	ارزش اقتصادی مرکز جمع‌آوری و بازرسی o با سطح ظرفیت h
$\widetilde{ARP}_{ph}$	ارزش اقتصادی مرکز بازیافت p با سطح ظرفیت h
$\widetilde{ARI}_{ih}$	ارزش اقتصادی مرکز انهدام i با سطح ظرفیت h
$\widetilde{QC}_{dc}$	میزان تقاضا برای محصول d در مراکز مشتری c
$\widetilde{MP}_{dc}$	قیمت فروش محصول بازیافت شده d در مراکز مشتری c
$\widetilde{MPD}_{d}$	قیمت فروش محصول d
$\widetilde{APM}_{mh}$	ظرفیت تولید مراکز تولید m با سطح ظرفیت h
$\widetilde{APL}_{lh}$	ظرفیت توزیع مراکز توزیع l با سطح ظرفیت h
$\widetilde{APO}_{oh}$	ظرفیت مراکز جمع‌آوری o با سطح ظرفیت h
$\widetilde{APP}_{ph}$	ظرفیت بازیافت محصولات در مرکز بازیافت p با سطح ظرفیت h
$\widetilde{API}_{ih}$	ظرفیت انهدام محصولات در مراکز انهدام یا دفع i با سطح ظرفیت h
$\widetilde{CTM}_{dmlu}$	هزینه حمل هر واحد محصول d از مرکز تولید m به مرکز توزیع l توسط وسیله حمل و نقل u
$\widetilde{CTL}_{dlnu}$	هزینه حمل هر واحد محصول d از مرکز توزیع l به مناطق مشتری n توسط وسیله حمل و نقل u
$\widetilde{CTN}_{dnou}$	هزینه حمل هر واحد محصول d از مناطق مشتری n به مراکز جمع‌آوری و بازرسی o توسط وسیله حمل و نقل u
$\widetilde{CTS}_{dsou}$	هزینه حمل هر واحد محصول d از مناطق مشتری s به مراکز جمع‌آوری و بازرسی o توسط وسیله حمل و نقل u
$\widetilde{CTO}_{dopu}$	هزینه حمل هر واحد محصول d از مراکز جمع‌آوری و بازرسی o به مراکز باز تولید p توسط وسیله حمل و نقل u
$\widetilde{CTP}_{dpcu}$	هزینه حمل هر واحد محصول d از مراکز بازیافت p به مراکز مشتری c توسط وسیله حمل و نقل u
$\widetilde{CTD}_{dpmu}$	هزینه حمل هر واحد محصول d از مراکز بازیافت p به مراکز تولید m توسط وسیله حمل و نقل u
$\widetilde{CTI}_{dpiu}$	هزینه حمل هر واحد محصول d از مراکز بازیافت p به مراکز انهدام i توسط وسیله حمل و نقل u
γ	کسری از محصولات قابل بازیافت
β	کسری از محصولات ضایع جهت انهدام
$\widetilde{SF}_{mh}$	هزینه ثابت احداث مرکز تولید m با سطح ظرفیت h
$\widetilde{SL}_{lh}$	هزینه ثابت احداث مرکز توزیع l با سطح ظرفیت h
$\widetilde{SO}_{oh}$	هزینه ثابت احداث مرکز جمع‌آوری و بازرسی o با سطح ظرفیت h
$\widetilde{SP}_{ph}$	هزینه ثابت احداث مرکز بازیافت p با سطح ظرفیت h
$\widetilde{SI}_{ih}$	هزینه ثابت احداث مرکز انهدام i با سطح ظرفیت h
$\widetilde{DAK}_{ukm}$	ظرفیت وسیله حمل و نقل u برای حمل مواد اولیه از تامین‌کننده k به مرکز تولیدm
$\widetilde{DAM}_{uml}$	ظرفیت وسیله حمل و نقل u برای حمل محصول از مرکز تولید m به مرکز توزیع l
$\widetilde{DAL}_{uln}$	ظرفیت وسیله حمل و نقل u برای حمل محصول از مرکز توزیع l به مرکز مشتریn
$\widetilde{DAN}_{uno}$	ظرفیت وسیله حمل و نقل u برای حمل محصول استفاده شده از مناطق مشتری n به مرکز جمع‌آوری و بازرسی o
$\widetilde{DAS}_{uso}$	ظرفیت وسیله حمل و نقل u برای حمل محصول استفاده شده از مناطق مشتری s به مرکز جمع‌آوری و بازرسی o
$\widetilde{DAO}_{uop}$	ظرفیت وسیله حمل و نقل u برای حمل محصول استفاده شده از مرکز جمع‌آوری و بازرسی o به مرکز بازیافت p
$\widetilde{DAP}_{upm}$	ظرفیت وسیله حمل و نقل u برای حمل محصولات بازیافت شده از مرکز بازیافت p به مراکز تولیدm
$\widetilde{DAI}_{upi}$	ظرفیت وسیله حمل و نقل u برای حمل محصولات بازیافت شده از مرکز بازیافت p به مراکز انهدامi
$\widetilde{DAC}_{upc}$	ظرفیت وسیله حمل و نقل u برای حمل محصولات بازیافت شده از مرکز بازیافت p به مراکز مشتریc
CA_{dm}	میزان انتشار کربن به‌ازای تولید هر واحد محصول d در مراکز تولید m
CAD_{dp}	میزان انتشار کربن به‌ازای بازیافت هر واحد محصول d استفاده شده در مراکز بازیافت p
CAI_{di}	میزان انتشار کربن به‌ازای انهدام هر واحد محصول d استفاده شده در مراکز انهدام i
CDM_{dmlu}	میزان انتشار کربن به‌ازای حمل هر واحد محصول d از مرکز تولید m به مرکز توزیع l توسط وسیله حمل و نقل u
CDL_{dlnu}	میزان انتشار کربن به‌ازای حمل هر واحد محصول d از مرکز توزیع l به مناطق مشتری n توسط وسیله حمل و نقل u
CDN_{dnou}	میزان انتشار کربن به‌ازای حمل هر واحد محصول d استفاده شده از مناطق مشتری n به مرکز جمع‌آوری و بازرسی o توسط وسیله حمل و نقل u

CDS_{dsou}	میزان انتشار کربن به‌ازای حمل هر واحد محصول d استفاده شده از مناطق مشتری s به مرکز جمع‌آوری و بازرسی o توسط وسیله حمل و نقل u
CDO_{dopu}	میزان انتشار کربن به‌ازای حمل هر واحد محصول d استفاده شده از مرکز جمع‌آوری و بازرسی o به مرکز باز تولید p توسط وسیله حمل و نقل u
CDP_{dpmu}	میزان انتشار کربن به‌ازای حمل هر واحد محصول d استفاده شده از مرکز بازیافت p به مرکز تولید m توسط وسیله حمل و نقل u
CDI_{dpiu}	میزان انتشار کربن به‌ازای حمل هر واحد محصول d استفاده شده از مرکز بازیافت p به مرکز انهدام i توسط وسیله حمل و نقل u
CDC_{dpcu}	میزان انتشار کربن به‌ازای حمل هر واحد محصول d استفاده شده از مرکز بازیافت p به مرکز مشتری c توسط وسیله حمل و نقل u
X	میانگین حجم محصول فرسوده تولیدی کشور
Y	تعداد محصول فرسوده‌ای که در ازای اهدای یک عدد محصول رایگان گرفته می‌شود
$BAM=[AM_1, AM_2, AM_3, AM_4, AM_5, AM_6]$	ماتریس ضرایب تاثیرگذاری گزینه‌های تعریف شده بر میزان رضایت مشتری
$CZ=\widehat{MPD}_d\times(QCR_{dn} + QCS_{ds})$	هزینه پیاده‌سازی گزینه اهدای یک عدد محصول رایگان به مشتری در ازای دریافت Y عدد محصول جمع‌آوری شده به زنجیره به‌منظور بازیافت
CX	هزینه پیاده‌سازی گزینه ضمانت، فقط برای مشتریان کلیدی به‌منظور حفظ مشتریان کلیدی حاضر و تشویق دیگر مشتریان جهت پیوستن به گروه مشتریان کلیدی زنجیره
CY	هزینه ایجاد سامانه پیامکی و اینترنتی
CR	هزینه اطلاع‌رسانی به مشتری از طریق پیامک
CK	هزینه پیاده‌سازی گزینه ارسال وسیله حمل و نقل به مکان مشتری
CL	هزینه پیاده‌سازی گزینه فرهنگ‌سازی از طریق تبلیغات

متغیرهای تصمیم

ABK_{bkmu}	میزان ماده اولیه حمل شده b از تامین کننده k به مرکز تولید m توسط وسیله حمل و نقل u
AML_{dmlu}	میزان محصول حمل شده d از مرکز تولید m به مرکز توزیع l توسط وسیله حمل و نقل u
ANL_{dlnu}	میزان محصول حمل شده d از مرکز توزیع l به مناطق مشتری n توسط وسیله حمل و نقل u
ANO_{dnou}	میزان محصول حمل شده d از مناطق مشتری n به مرکز جمع‌آوری و بازرسی o توسط وسیله حمل و نقل u
ANS_{dsou}	میزان محصول حمل شده d از مناطق مشتری s به مرکز جمع‌آوری و بازرسی o توسط وسیله حمل و نقل u
AMO_{dopu}	میزان محصول حمل شده d از مرکز جمع‌آوری و بازرسی o به مرکز بازیافت p توسط وسیله حمل و نقل u
AMP_{dpmu}	میزان محصول حمل شده d از مرکز بازیافت p به مرکز تولید m توسط وسیله حمل و نقل u
ANP_{dpiu}	میزان محصول حمل شده d از مرکز بازیافت p به مرکز انهدام i توسط وسیله حمل و نقل u
ANC_{dpcu}	میزان محصول حمل شده d از مرکز بازیافت p به مرکز مشتری c توسط وسیله حمل و نقل u
TM_{dm}	میزان محصول تولید شده d در مرکز تولید m
TL_{dl}	میزان موجودی محصول d در مراکز توزیع l
TO_{do}	میزان موجودی محصول d در مراکز جمع‌آوری o
TD_{dm}	میزان موجودی محصول d در مراکز تولید m
TED_{nd}	تعداد تقاضای ارضا نشده مشتری n برای محصول d
QCR_{dn}	میزان محصول d که براساس سیاست‌های CRM به‌صورت رایگان به مشتری مراکز n اهدا می‌شود
QCS_{ds}	میزان محصول d که براساس سیاست‌های CRM به‌صورت رایگان به مشتری مراکز s اهدا می‌شود
TDD_{dp}	میزان محصول بازیافت شده d در مرکز بازیافت p

$$AB_{ukm}: \begin{cases} 1 & \text{اگر وسیله حمل } u \text{ برای حمل مواد اولیه از تامین کننده } k \text{ به مراکز تولید } m \text{ انتخاب شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$BC_{uml}: \begin{cases} 1 & \text{اگر وسیله حمل } u \text{ برای حمل محصول از مراکز تولید } m \text{ به مراکز توزیع } l \text{ انتخاب شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$CE_{uln}: \begin{cases} 1 & \text{اگر وسیله حمل } u \text{ برای حمل محصول از مراکز توزیع } l \text{ به مراکز مشتری } n \text{ انتخاب شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

EF_{uno} $\begin{cases}1 & \text{اگر وسیله حمل } u \text{ برای حمل محصول از مراکز مشتری } n \text{ به مراکز جمع آوری } o \text{ انتخاب شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت}\end{cases}$

FI_{uso} $\begin{cases}1 & \text{اگر وسیله حمل } u \text{ برای حمل محصول از مراکز مشتری } s \text{ به مراکز جمع آوری } o \text{ انتخاب شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت}\end{cases}$

IJ_{uop} $\begin{cases}1 & \text{اگر وسیله حمل } u \text{ برای حمل محصول از مراکز جمع آوری } o \text{ به مراکز بازیافت } p \text{ انتخاب شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت}\end{cases}$

JK_{upm} $\begin{cases}1 & \text{اگر وسیله حمل } u \text{ برای حمل محصول از مراکز بازیافت } p \text{ به مرکز تولید } m \text{ انتخاب شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت}\end{cases}$

KL_{upi} $\begin{cases}1 & \text{اگر وسیله حمل } u \text{ برای حمل محصول از مراکز بازیافت } p \text{ به مرکز تولید } i \text{ انتخاب شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت}\end{cases}$

LM_{upc} $\begin{cases}1 & \text{اگر وسیله حمل } u \text{ برای حمل محصول از مراکز بازیافت } p \text{ به مرکز انهدام } c \text{ انتخاب شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت}\end{cases}$

M_{mh} $\begin{cases}1 & \text{اگر مرکز تولید } m \text{ با سطح ظرفیت } h \text{ احداث شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت}\end{cases}$

L_{lh} $\begin{cases}1 & \text{اگر مرکز توزیع } l \text{ با سطح ظرفیت } h \text{ احداث شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت}\end{cases}$

O_{oh} $\begin{cases}1 & \text{اگر مرکز جمع آوری } o \text{ با سطح ظرفیت } h \text{ احداث شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت}\end{cases}$

P_{ph} $\begin{cases}1 & \text{اگر مرکز بازیافت } p \text{ با سطح ظرفیت } h \text{ احداث شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت}\end{cases}$

I_{ih} $\begin{cases}1 & \text{اگر مرکز انهدام } i \text{ با سطح ظرفیت } h \text{ احداث شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت}\end{cases}$

KCZ $\begin{cases}1 & \text{اگر گزینه اهدای یک عدد محصول رایگان در ازای دریافت 4 عدد محصول جمع آوری شده اجرا شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت}\end{cases}$

KCX $\begin{cases}1 & \text{اگر گزینه ضمانت اجرا شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت}\end{cases}$

KCY $\begin{cases}1 & \text{اگر گزینه سامانه پیامکی و اینترنتی اجرا شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت}\end{cases}$

KCR $\begin{cases}1 & \text{اگر گزینه اطلاع رسانی به مشتری اجرا شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت}\end{cases}$

KCK $\begin{cases}1 & \text{اگر گزینه ارسال وسیله حمل و نقل اجرا شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت}\end{cases}$

$$KCL \begin{cases} 1 & \text{اگر گزینه تبلیغات و فرهنگ سازی اجرا شود} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

تابع هدف اول شامل حداقل‌سازی هزینه‌های کل می‌باشد عبارت ۱، فرمول ریاضی این تابع هدف را نشان می‌دهد. تابع هدف دوم شامل حداقل‌سازی اثرات محیط‌زیستی است. عبارت ۲، فرمول ریاضی این تابع هدف را نشان می‌دهد. تابع هدف سوم شامل حداکثر کردن مقدار محصول فرسوده جمع‌آوری شده می‌باشد تا از این طریق بتوان تمامی محصولات فرسوده تولید شده در کشور را برای انجام دادن فرایند بازیافت جمع‌آوری کرد. در همین راستا از مفهوم مدیریت ارتباط با مشتری جهت ترغیب کردن مشتریانی که تاکنون محصولی را از این زنجیره خریداری نکرده‌اند برای تحویل محصولات فرسوده خود و نیز جذب مشتریان قدیمی برای تحویل محصولات فرسوده خود و تبدیل آن‌ها به مشتریان وفادار، استفاده شده است.. عبارت ۳، فرمول ریاضی این تابع هدف را نشان می‌دهد. تابع هدف چهارم شامل حداکثر کردن پاسخگویی اجتماعی زنجیره تامین: این تابع هدف در برگیرنده شاخص‌های ایجاد فرصت‌های شغلی و شاخص توسعه اقتصادی می‌باشد. شاخص اول، شاخص ایجاد فرصت‌های شغلی می‌باشد که در این مقاله فرصت‌های شغلی به دو دسته ثابت و متغیر تقسیم می‌گردند. فرصت‌های شغلی ثابت بستگی به ظرفیت تسهیلات ندارند مانند شغل‌های مدیریتی، اما شغل‌های متغیر مانند کار کارگران بسته به ظرفیت تسهیلات متفاوت هستند. در این تابع هدف سعی شده است تا فرصت‌های شغلی ثابت و متغیر به‌صورت مجزا مدل گردند. شاخص دوم، شاخص توسعه اقتصادی می‌باشد. احداث تسهیلات در مناطق محروم و کم‌تر توسعه یافته، منجر به ارتقا توسعه اقتصادی در آن مناطق می‌گردد. در حوزه توسعه اقتصادی، شاخص توسعه یافتگی استان‌های کشور (۱۶) مورد استفاده قرار گرفته است. هرچه شاخص توسعه یافتگی محلی مقدار کم‌تری داشته باشد، احداث تسهیل در محل مذکور از بعد توسعه اقتصادی- اجتماعی ارزش بیش‌تری خواهد داشت.

$$\text{Min } Z_1 = [\sum_m \sum_h \widetilde{SF}_{mh} \cdot M_{mh} + \sum_l \sum_h \widetilde{SL}_{lh} \cdot L_{lh} + \sum_o \sum_h \widetilde{SO}_{oh} \cdot O_{oh} + \sum_p \sum_h \widetilde{SP}_{ph} \cdot P_{ph} \sum_i \sum_h \widetilde{SI}_{ih} \cdot I_{ih}] + [\sum_d \sum_m \sum_l \sum_u \widetilde{CTM}_{dmlu} \cdot AML_{dmlu} + \sum_d \sum_l \sum_n \sum_u \widetilde{CTL}_{dlnu} \cdot ANL_{dlnu} + \sum_d \sum_n \sum_o \sum_u \widetilde{CTN}_{dnou} \cdot ANO_{dnou} + \sum_d \sum_s \sum_o \sum_u \widetilde{CTS}_{dsou} \cdot ANS_{dsou} + \sum_d \sum_o \sum_p \sum_u \widetilde{CTO}_{dopu} \cdot AMO_{dopu} + \sum_d \sum_p \sum_c \sum_u \widetilde{CTP}_{dpcu} \cdot ANC_{dpcu} + \sum_d \sum_p \sum_m \sum_u \widetilde{CTD}_{dpmu} \cdot AMP_{dpmu} + \sum_d \sum_p \sum_i \sum_u \widetilde{CTI}_{dpiu} \cdot ANP_{dpiu}] + [\sum_d \sum_m \widetilde{TCH}_{dm} \cdot TD_{dm} + \sum_d \sum_l \widetilde{TCL}_{dl} \cdot TL_{dl} + \sum_d \sum_o \widetilde{TCDO}_{do} \cdot TO_{do}] + [\sum_d \sum_m \widetilde{TCD}_{dm} \cdot TM_{dm} + \sum_d \sum_p \widetilde{TCP}_{dp} \cdot TDD_{dp} + \sum_b \sum_k \sum_m \sum_u \widetilde{HKH}_{bk} \cdot ABK_{bkmu} + \sum_d \sum_o \sum_n \sum_u \widetilde{TCO}_{do} \cdot ANO_{donu} + \sum_d \sum_o \sum_s \sum_u \widetilde{TCO}_{do} \cdot ANS_{dosu}] + [\sum_n \sum_d TCJ_d \cdot TED_{nd}] + - [\sum_d \sum_n \widetilde{MPD}_d \cdot QCR_{dn} \cdot KCZ + \sum_d \sum_s \widetilde{MPD}_d \cdot QCS_{ds} \cdot KCZ + CX.KCX + CY.KCY + CR.KCR + CK.KCK + CL.KCL] [\sum_d \sum_c \sum_p \sum_u \widetilde{MP}_{dc} \cdot ANC_{dpcu}] \quad (۱)$$

$$\text{Min } Z_2 = [\sum_d \sum_m \sum_h CA_{dm} \cdot M_{mh} + \sum_d \sum_p \sum_h CAD_{dp} \cdot P_{ph} + \sum_d \sum_i \sum_h CAI_{di} \cdot I_{ih}] + [\sum_d \sum_m \sum_l \sum_u ETM_{dmlu} \cdot QZI_{dmlu} + \sum_d \sum_l \sum_n \sum_u ETN_{dlnu} \cdot QPJ_{dlnu} + \sum_d \sum_p \sum_i \sum_u ETO_{dpiu} \cdot QPK_{dpiu} + \sum_d \sum_p \sum_c \sum_u ETP_{dpcu} \cdot QPL_{dpcu} + \sum_d \sum_n \sum_o \sum_u ETQ_{dnou} \cdot QPMO_{dnou} + \sum_d \sum_s \sum_o \sum_u ETR_{dsou} \cdot QPMC_{dsou} + \sum_d \sum_0 \sum_p \sum_u ETS_{dopu} \cdot QPMV_{dopu} + \sum_d \sum_p \sum_m \sum_u ETT_{dpmu} \cdot QPMN_{dpmu}] \quad (۲)$$

$$\text{MAX } Z_3 = \frac{1}{X}.g(f(a)) \quad f(a) = [AM_1 \quad AM_2 \quad AM_3 \quad AM_4 \quad AM_5 \quad AM_6] \begin{bmatrix} KCZ \\ KCX \\ KCY \\ KCR \\ KCK \\ KCL \end{bmatrix} \quad (۳)$$

$$\text{Max } Z_4 = W_{jb} \cdot ([\sum_m \sum_h OBJ_{mh} \cdot M_{mh} + \sum_l \sum_h OBL_{lh} \cdot L_{lh} + \sum_o \sum_h OBO_{oh} \cdot O_{oh} + \sum_p \sum_h OBP_{ph} \cdot P_{ph} + \sum_i \sum_h OBI_{ih} \cdot I_{ih}] + [\sum_m \sum_h \sum_d \frac{VOBJ_{mh} \cdot TM_{dm}}{\widetilde{APM}_{mh}} + \sum_l \sum_h \sum_d \sum_m \sum_u \frac{VOBL_{lh} \cdot AML_{dmlu}}{\widetilde{APL}_{lh}} + \sum_o \sum_h \sum_d \sum_n \sum_s \sum_u \frac{VOBO_{oh} \cdot (ANO_{dnou} + ANS_{dsou})}{\widetilde{APO}_{oh}} + \sum_p \sum_h \sum_d \sum_o \sum_u \frac{VOBP_{ph} \cdot AMO_{dopu} \cdot Y}{\widetilde{APP}_{ph}} + \sum_i \sum_h \sum_d \sum_p \sum_u \frac{VOBI_{ih} \cdot ANP_{dpiu}}{\widetilde{API}_{ih}}]) + W_{do} \cdot (\sum_m \sum_h \widetilde{ARM}_{mh} \cdot (1 - MTM) \cdot M_{mh} + \sum_l \sum_h \widetilde{ARL}_{lh} \cdot (1 - MTL) \cdot L_{lh} + \sum_o \sum_h \widetilde{ARO}_{oh} \cdot (1 - MTO) \cdot O_{oh} + \sum_p \sum_h \widetilde{ARP}_{ph} \cdot (1 - MTP) \cdot P_{ph} + \sum_i \sum_h \widetilde{ARI}_{ih} \cdot (1 - MTI) \cdot I_{ih}) \quad (۴)$$

در این پژوهش برای محاسبه ارزش اقتصادی از میزان سرمایه گذاری مورد نیاز برای راه‌اندازی و اداره مرکز استفاده شده است. در مورد انتخاب شاخص‌ها بایستی به این نکته اشاره نمود که حتی‌المقدور شاخص‌ها به گونه‌ای انتخاب شوند که نیاز به استفاده از داده‌های قضاوتی و ذهنی نداشته باشند و مبتنی بر داده‌های عینی و کمی باشند و هم‌چنین شاخص‌ها بایستی دارای پیشینه فراوان در ادبیات پایداری یا پاسخگویی اجتماعی باشند. در ادامه برخی از محدودیت‌های مدل پیشنهادی را به‌خاطر محدودیت فضا به‌صورت نمونه مورد بررسی قرار می‌گیرد. محدودیت ۵ تضمین می‌نماید که مراکز توزیع حداکثر با یک سطح ظرفیت احداث شوند.

$$\sum_h P_{lh} \le 1 \quad \forall l \qquad (۵)$$

محدودیت ۶، ماکزیمم تعداد مراکز توزیع که پتانسیل احداث را دارا می‌باشند محدود می‌کنند.

$$\sum_l \sum_h L_{lh} \le MAXL \qquad (۶)$$

محدودیت‌های ۷، محدودیت ظرفیت حمل جریان محصول بین مراکز مختلف را نشان می‌دهد.

$$\sum_b ABK_{bkmu} \le AB_{ukm}.\widetilde{DAK}_{ukm} \quad \forall u,k,m \qquad (۷)$$

محدودیت‌های ۸، نشان می‌دهند که حداکثر یک نوع تسهیل برای انتقال جریان بین تسهیلات وجود دارد.

$$\sum_u AB_{ukm} \le 1 \quad \forall k,m \qquad (۸)$$

محدودیت ۹، نشان می‌دهد که باید محصولی بین تسهیل مراکز مختلف برقرار شود تا وسیله‌ای برای حمل انتخاب گردد.

$$AB_{ukm} \le \sum_b ABK_{bkmu} \quad \forall k,m,u \qquad (۹)$$

محدودیت ۱۰، تضمین می‌کند که هیچ‌گونه حمل و نقلی بین مکان‌هایی که ارتباطی با یکدیگر ندارند، وجود نخواهد داشت. همچنین بیان می‌کنند که جریان فقط مجاز است که از طریق گزینه‌های حمل و نقل فعال در شبکه عبور کند.

$$\sum_b ABK_{bkmu} \le M.AB_{ukm} \quad \forall u,k,m \qquad (۱۰)$$

محدودیت ۱۱، حدودیت تعادل موجودی برای مراکز تولید را نشان می‌دهد.

$$TD_{dm} = TM_{dm} - \sum_l \sum_u AML_{dmlu} \quad \forall d,m \qquad (۱۱)$$

محدودیت ۱۲، نشان می‌دهد که میزان محصول بازیافتی ارسال شده به مراکز مشتری C حداکثر برابر میزان تقاضا در این مرکز می‌باشد.

$$\sum_u \sum_p ANC_{dpcu} \le \widetilde{QC}_{dc} \quad \forall d,c \qquad (۱۲)$$

در محدودیت ۱۳، صورت کسر نشان‌دهنده مجموع محصولات فرسوده‌ای که مشتریان به زنجیره تحویل می‌دهند می‌باشد. با محاسبه بزرگ‌ترین عدد صحیح کوچک‌تر از این کسر، تعداد محصول رایگانی که توسط زنجیره به مشتریان اهدا می‌شود، محاسبه می‌گردد.

$$\left\lfloor \frac{\sum_n ANO_{dnou} + \sum_s ANS_{dsou}}{\gamma} \right\rfloor = \sum_n QCR_{dn} + \sum_s QCS_{ds} \forall d,o,u \qquad (۱۳)$$

محدودیت ۱۴، به‌منظور محدود کردن جریان کالای برگشتی می‌باشد.

$$\sum_n \sum_o \sum_u ANO_{dnou} + \sum_s \sum_o \sum_u ANS_{dsou} \le X \forall d \qquad (۱۴)$$

محدودیت‌های ۱۵ و ۱۶ به‌ترتیب نشان‌دهنده محدودیت‌های ضروری منطقی روی متغیرهای تصمیم گسسته و پیوسته می‌باشند.

$$AB_{ukm}, BC_{uml}, CE_{uln}, EF_{uno}, FI_{uso}, IJ_{uop}, JK_{upm}, KL_{upi}, LM_{upc}, M_{mh}, L_{lh}, O_{oh}, P_{ph}, I_{ih} \in \{0,1\} \forall k,m,l,n,o,s,c,i,p,d,h,u,b \qquad (۱۵)$$

$$ABK_{bkmu}, AML_{dmlu}, ANL_{dlnu}, ANO_{dnou}, ANS_{dsou}, AMO_{dopu}, AMP_{dpmu}, ANP_{dpiu}, ANC_{dpcu}, QCR_{dn}, QCS_{ds}, TDD_{dp} \ge 0 \qquad (۱۶)$$

نتایج

زنجیره تامین مورد بررسی دارای پنج تامین‌کننده (k=1,…,5)، چهار مرکز بالقوه تولیدی (m=1,…,4)، چهار مرکز بالقوه توزیع (l=1,…,4)، ۱۲ خوشه مشتری نوع A (n=1,…,12) ، سه مرکز بالقوه جمع‌آوری و بازرسی (o=1,…,3)، سه مرکز بالقوه بازیافت (p=1,…,3)، سه مرکز بالقوه انهدام (i=1,…,3)، پنج مرکز مشتری نوع B (s=1,…,5)، سه مرکز مشتری نوع C (c=1,2,3)، دو نوع محصول (d=1,2)، چهار نوع ماده اولیه برای تولید محصولات (b=1,…,4)، سه سطح ظرفیت (h=1,2,3) و دو نوع وسیله حمل و نقل (u=1,2) می‌باشد. جدول ۲ نتایج حاصل از حل مدل قطعی کمکی با استفاده از روش خیمنز را به‌ازای مقادیر مختلف درجه برقراری محدودیت α نشان می‌دهد.

جدول ۲: نتایج حاصل از حل مدل قطعی کمکی با روش خیمنز

α	مقدار تابع هدف اقتصادی (Z_1)	مقدار تابع هدف زیست محیطی (Z_2)	مقدار تابع هدف بعد مدیریت ارتباط با مشتری (Z_3)	مقدار تابع هدف بعد اجتماعی (Z_4)
۰/۶	۱۵۱۱۰۹۱۵	۵۳۷۱۹	۰/۰۳۸۲۸	۱۰۱۰
۰/۷	۱۵۲۱۸۱۲۵	۵۳۴۰۱	۰/۰۳۸۲۸	۹۹۸
۰/۸	۱۵۴۵۰۰۹۲	۵۲۸۲۵	۰/۰۳۸۲۸	۹۹۱
۰/۹	۱۵۷۷۲۲۱۳	۵۰۱۲۴	۰/۰۳۸۲۸	۹۸۶

همان‌طورکه در جدول ۲ مشاهده می‌شود به‌ازای افزایش مقادیر α جواب بهینه ثابت بوده و فقط اندازه توابع تغیر می‌کند. علت بدتر شدن توابع این است که با افزایش α میزان برقرای محدودیت‌ها بیش‌تر شده و عملاً باعث کوچک‌تر شدن فضای جواب می‌شود که این موضوع خود موجب بدتر شدن جواب بهینه حاصله خواهد شد. براساس نتایج تحقیق، تابع هدف هزینه برای رسیدن به هزینه کم‌تر تمایل به ایجاد شبکه زنجیره تامین با ساختار متمرکز دارد. لذا وقتی این تابع

نسبت به سایر تابع‌هادر اولویت قرارمی‌گیرد، تسهیلات کم‌تری نسبت به حالتی که سایر توابع در اولویت قرار می‌گیرند، احداث می‌شوند. تابع هدف زیست محیطی تمایل به ایجاد شبکه با ساختار غیرمتمرکز جهت کاهش اثرات زیست محیطی را دارد. همان‌طورکه نتایج نشان می‌دهند مدل‌های پیشنهادی قادرهستند به‌خوبی‌طیفی ازجواب‌های بهینه پارتو را با توجه به میزان مختلف برقرای محدودیت‌های فازی، جهت تعیین تصمیم نهایی ارائه نمایند. این جواب‌ها بسته به اولویت اعلام شده برای اهداف بین سه بعد پایداری توازنی مناسب را ایجاد می‌کنند. لذا تصمیم‌گیرنده قادر است به‌کمک مدل پیشنهادی سطح ایمنی را در برخورد با عدم قطعیت مسئله طراحی شبکه تنظیم و هم‌چنین تصمیمات طراحی شبکه را طوری اتخاذ نماید که پایداری زنجیره تامین محقق شود. در این قسمت از الگوریتم ژنتیک چند هدفه و ازدحام ذرات چندهدفه برای حل مدل پیشنهادی استفاده شده است. در الگوریتم NSGA-II تعداد تکرار ۲۰۰، تعداد جمعیت اولیه (یا در این الگوریتم تعداد اعضای پارتو فرانت اول) ۵۰، نرخ تقاطع برابر با ۰/۲، نرخ جهش برابر با ۰/۱ در نظر گرفته شده است. در الگوریتم MOPSO مقدار جمعیت اولیه و مقدار اعضای موجود در خزانه غیرمغلوب ۵۰، تعداد تکرار ۲۰۰، ضریب اینرسی در حرکت ذرات ۰/۵، ضریب یادگیری جمعی ۲ و ضریب یادگیری فردی ۱ در نظر گرفته شده است. مقادیر توابع هدف برای مطالعه موردی تحقیق با رویکرد قطعی سازی خیمنز با استفاده از دو الگوریتم ژنتیک چندهدفه و ازدحام ذرات چندهدفه در جدول ۳ ارائه است. توضیح این‌که از آن‌جایی‌که در مدل قطعی‌سازی خیمنز مقادیر مختلف α مورد استفاده قرار گرفته است لذا مقادیر توابع هدف به‌ازای هر یک از این مقادیر در جدول مذکور ارائه شده است.

جدول ۳: مقادیر توابع هدف به‌ازای حل با NSGA-II و MOPSO

الگوریتم حل	مقدار آلفای خیمنز	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4
NSGA-II	۰/۶	۱۵۹۱۱۹۲۱	۵۴۲۶۶	۰/۰۴۱۱۵	۹۹۵
	۰/۷	۱۶۱۴۵۹۵۲	۵۴۰۰۱	۰/۰۴۱۱۵	۹۸۴
	۰/۸	۱۶۴۲۳۶۵۲	۵۳۵۲۴	۰/۰۴۱۱۵	۹۸۹
	۰/۹	۱۶۵۷۶۶۸۴	۵۳۶۹۳	۰/۰۴۱۱۵	۹۷۶
MOPSO	۰/۶	۱۵۹۹۸۹۴۵	۵۷۶۱۸	۰/۰۴۲۸۴	۹۹۱
	۰/۷	۱۶۲۱۱۹۵۳	۵۵۳۶۴	۰/۰۴۲۸۴	۹۹۶
	۰/۸	۱۶۳۴۱۴۵۸	۵۴۶۰۶	۰/۰۴۲۸۴	۹۹۰
	۰/۹	۱۶۴۲۱۳۸۵	۵۴۷۱۱	۰/۰۴۲۸۴	۹۸۶

مقادیر توابع هدف در جدول ۳ در واقع یکی از دسته جواب‌های پارتو می‌باشد که با استفاده از الگوریتم‌های مذکور به‌دست‌آمده است. توضیح این‌که جواب مذکور نزدیک‌ترین جواب به جواب بهینه می‌باشد. برای مقایسه دو الگوریتم از چهار معیار MID, Diversity, Spacing, Time استفاده‌شده‌است که نتایج آن در جدول ۴ نشان‌داده‌شده است.

جدول ۴: مقایسه معیارها برای دو الگوریتم

الگوریتم حل	مقدار آلفای خیمنز	Time	میانگین	Diversity	میانگین	Spacing	میانگین	MID	میانگین
NSGA-II	۰/۶	۱۹/۲۵	۱۹/۳۶	۳۰۴۷۱۰	۲۵۶۷۶۴	۴۵۶۲۴۷	۵۴۳۳۹۲	۱۱۰۴۳۶	۱۱۰۸۶۷
	۰/۷	۱۹/۱۸		۳۳۸۲۹۲		۴۶۴۷۳۹		۱۰۳۵۹۵	
	۰/۸	۱۹/۲۸		۴۳۰۷۰۵		۶۶۵۷۰۰۰		۱۱۰۷۷۳	
	۰/۹	۱۹/۲۶		۲۷۸۳۷۸		۷۷۲۸۳۷		۱۱۷۰۸۸	
MOPSO	۰/۶	۳۷/۵۴	۳۷/۵۳	۷۹۲۷۳۶	۶۴۵۱۷۸	۳۲۵۶۵۰	۵۲۵۴۶۵	۱۵۳۵۸۵	۱۰۱۲۱۷
	۰/۷	۳۷/۷۳		۹۴۹۸۶۷		۱۲۹۰۰۰		۱۱۴۷۰۹	
	۰/۸	۳۷/۴۵		۶۵۴۷۴		۷۶۶۱۳۲		۶۷۸۹۹	
	۰/۹	۳۷/۵۳		۸۵۲۳۷۱		۶۳۲۰۳۰		۶۶۹۲۰	

با توجه به نتایج، دو الگوریتم در معیار زمان با هم تفاوت دارند که NSGA-II بر MOPSO برتری دارد. هم‌چنین دو الگوریتم در معیار MID با هم تفاوت دارند که MOPSO بر NSGA-II برتری دارد و در باقی معیارها برتری معنی‌داری نسبت به هم ندارند.

بحث

طراحی شبکه زنجیره تامین سعی در شناسایی بهترین ساختار برای زنجیره تامین را دارد. یک طراحی مناسب بایستی بتواند سازمان را به عملکرد بلندمدت خود برساند. درحقیقت نبرد اصلی در بازارها و تنوع ترجیحات مشتریان در کنار توسعه سریع تکنولوژی و جهانی‌سازی، سازمان‌ها را وادار کرده است که به‌عنوان عضوی از زنجیره تامین کار کنند. عملیات زنجیره تامین و لجستیک بخشی از فعالیت‌های مهم اقتصادی امروز هستند و برای رقابت در کسب و کار حیاتی می‌باشند. طراحی شبکه زنجیره تامین، پایه‌ای‌ترین تصمیم در مدیریت زنجیره تامین است که تمام تصمیمات زنجیره تامین را یکپارچه می‌کند و اثری قابل توجه بر روی بازگشت سرمایه و عملکرد کلی در زنجیره

دارد (۱۷). مدل ارائه شده در این پژوهش دارای چهار تابع هدف: حداقل کردن هزینه کل، حداقل کردن اثرات زیست‌محیطی، حداکثر کردن میزان محصول فرسوده جمع‌آوری شده و حداکثر میزان پاسخگویی اجتماعی می‌باشد. در مورد تابع هدف هزینه به‌دلیل این که در این مقاله سعی شده است تا تمامی تسهیلات و جریان بین آن‌ها در نظر گرفته شود و مدل جامعی ارائه گردد، اکثر هزینه‌ها در نظر گرفته شده است. تابع هدف هزینه شامل پارامترهای هزینه خرید (تهیه مواد اولیه از تامین‌کنندگان)، هزینه جریمه (هزینه جریمه برای تقاضای ارضانشده)، هزینه‌های عملیاتی (هزینه تولید، هزینه جمع‌آوری، بازیافت و هزینه انهدام)، هزینه موجودی (هزینه برای قسمت تولید، توزیع و جمع‌آوری)، هزینه حمل و نقل یا انتقال جریان بین تسهیلات، هزینه ثابت راه‌اندازی و هزینه‌های سیاست‌های مدیریت ارتباط با مشتری می‌باشد. در تابع هدف دوم همواره سعی شده است تا اثرات زیست محیطی که به محیط‌زیست تاثیرات نامطلوبی می‌گذارد، حداقل گردد. در این مقاله حداقل کردن گاز کربن دی اکسید ناشی از عملیات درون تسهیلات و انتقال جریان بین تسهیلات به‌عنوان تابع هدف زیست‌محیطی درنظر گرفته شده است. تابع هدف سوم همواره سعی در حداکثر کردن میزان محصول فرسوده جمع‌آوری شده را دارد. تابع هدف چهارم شامل حداکثر کردن پاسخگویی اجتماعی زنجیره تامین می باشد. این تابع هدف در برگیرنده شاخص‌های ایجاد فرصت‌های شغلی و شاخص توسعه اقتصادی می‌باشد. در نهایت مدل مطرح شده با رویکرد قطعی‌سازی خیمنز قطعی شد و مدل کمکی قطعی مطرح شد. این مدل با استفاده از روش محدودیت اپسیلون و دو الگوریتم ژنتیک چندهدفه و ازدحام ذرات چندهدفه حل شد. در ادامه پیشنهاداتی برای پژوهش‌های آتی به‌صورت ذیل ارائه می‌گردد: درنظر گرفتن دیگر توابع هدف مانند حداقل کردن ریسک مالی، با توجه به این‌که در این مقاله برخی از پارامترها به‌صورت قطعی می‌باشند می‌توان برای تحقیقات آتی این متغیرها را هم‌فازی درنظر گرفت. مدل‌سازی مسئله براساس رویکردهای بهینه‌سازی استوار و هم‌چنین مدل‌سازی مسئله براساس روش‌های برنامه‌ریزی احتمالی که در آن تابع توزیع پارامترها مشخص است. مدل‌سازی مسئله به‌صورت چند دوره‌ای به گونه‌ای که تقاضا در دوره‌های مختلف تغیر کند. می‌توان سایر ریسک‌های موجود در زنجیره تامین را مدل‌سازی نمود و در طراحی شبکه زنجیره تامین درنظر گرفت. می‌توان از روش‌های مختلف پیش‌بینی پارامترها مانند شبکه‌های عصبی در مدل‌سازی زنجیره تامین استفاده نمود.

منابع

1. **Ghazanfari, M. and Fatholah, M., 2005.** A comprehensive approach to supply chain management. Iran University of Science and Technology publications. 440 p. (In Persian)
2. **Validi, H.R. and Dehghanian, F., 2013.** Reverse logistics network design in a sustainable development environment using multi-option ideal planning technique and utility function. The third international conference on logistics and supply chain. (In Persian)
3. **Yadgari, A., Najmi, H.A. and Alikhani, H., 2013.** Designing a closed-loop supply chain network considering combined facilities. The first national conference of industrial and systems engineering, Azad University, Najaf Abad branch. (In Persian)
4. **Alumur, S.A., Nickel, S., Saldanha-da-Gama, F. and Verter, V., 2012.** Multi-period reverse logistics network design. European Journal of Operational Research. 220(1): 67-78.
5. **Hassanzadeh Amin, S. and Zhang, G., 2013.** A multi objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return. Applied Mathematical Modelling. 37: 4165-4176.
6. **Jabbarzadeh, A., Haughton, M. and Khosrojerdi, A., 2018.** Closed-loop supply chain network design under disruption risks: A robust approach with real world application. Computers & Industrial Engineering. 116: 178-191.
7. **Amin, S.H. and Baki, F., 2017.** A facility location model for global closed-loop supply chain network design. Applied Mathematical Modeling. 41: 316-330.
8. **Honari, M.T., Mirfakhraddini, S.H., Dehghan Dehnavi, H. and Totonchi, J., 2020.** The Role of Environmental Impacts on the Sustainable Green Supply Chain (Case Study: Iranian ceramic and tile industries). Journal of Animal Environment. 12(1): 443-452. (In Persian)
9. **Valyani, A., Feghhi Farahmand, N. and Iranzadeh, S., 2020.** Providing a Hybrid Model for Environmental Risk Assessment in Mazandaran Province Using DEMATEL and Taguchi Loss Function. Journal of Animal Environment. 12(1): 41-48. (In Persian)
10. **Zhen, L., Huang, L. and Wang, W., 2019.** Green and sustainable closed-loop supply chain network design under uncertainty. Journal of Cleaner Production. 227: 1195-1209.
11. **Fattahi, M., Govindan, K. and Keyvanshokooh, E., 2018.** A multi-stage stochastic program for supply chain network redesign problem with price-dependent uncertain demands. Computers and Operations Research. 100: 1-19.
12. **Soleimani, H., Govindan, K., Saghafi, H. and Jafari, H., 2017.** Fuzzy multi-objective sustainable and green closed-loop supply chain network design. Computers & Industrial Engineering. 109: 191-203.
13. **Cambero, C., Sowlati, T. and Pavel, M., 2016.** Economic and life cycle environmental optimization of forest-based biorefinery supply chains for bioenergy and biofuel production. chemical engineering research and design. 107: 218-235.
14. **Zhalechian, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Zahiri, B. and 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.
15. **Quariguasi, F.N.J., Walther, G., Bloemhof, J., Van Nunen, J.A.E.E. and Spengler, T., 2009.** A methodology for assessing eco-efficiency in logistics networks. European Journal of Operational Research. 193(3): 670-682.
16. **Zarabi, A. and Shahivandi, A., 2010.** An Analysis of distribution of economic development indices in Iran provinces. Geography and Environmental Planning. 21(2): 17-32. (In Persian)
17. **Simchi-Levi, D., Kaminsky, P. and Simchi-Levi, E., 2004.** managing the Supply chain: The Definitive Guide for the Business professional. Mcgraw- hill.