



Designing a Sustainable Closed-Loop Supply Chain Network of Automobile Tires Using a Multi-Objective Mathematical Programming Approach: A Case Study

Mohammad Reza Fathi^{1*}, Mohammadjavad Pahlevanzadeh², Amirhossein Saffarinia², Samaneh Raesi Nafchi³

1. Associate Professor, Department of Industrial Management and Technology, Faculty of Management and Accounting, Farabi School of Tehran University, Qom, Iran

2. Doctoral student of Industrial Management, Department of Industrial Management and Technology, Faculty of Management and Accounting, Farabi School of Tehran University, Qom, Iran

3. Department of Industrial Management, Shiraz University of Technology, Lamard Higher Education Center, Shiraz, Iran

*Corresponding author, Email: Reza.fathi@ut.ac.ir

Keywords:

Network Design, Supply Chain, Sustainable Development, Mixed Integer Linear Programming.

Abstract

In this research, in order to increase the efficiency of the proposed supply chain network, a multi-product model with multiple objectives has been considered simultaneously. This model is designed to include four levels (supply, production, distribution, and first-class customers) in the forward network and four levels (collection centers, recycling centers, destruction centers, and second-class customers) in the backward network. The model has three objective functions: minimizing the total cost, minimizing the environmental impact, and maximizing the social impact of the supply chain. The cost objective function includes purchase cost (procurement of raw materials from suppliers and cost of purchasing returned products from customers), operating costs, inventory cost, transportation cost or flow transfer between facilities, and fixed setup cost. In the second objective function, it has always been tried to minimize the environmental effects that have adverse effects on the environment. In this article, the minimization of carbon dioxide gas caused by the transfer of flow between facilities is considered a function of the environmental objective. The third objective function includes the employee welfare index. Considering that the presented model belongs to the NP-hard category, the multi-objective genetic algorithm was used to solve the model, and finally the Pareto solutions were determined. Based on the obtained results, two economic and environmental objective functions are in conflict with each other. In the sense that the movement of each in the desired direction will require the movement of the other objective function in the unfavorable direction.

Received:

14/Jan/2024

Accepted:

20/Mar /2024

How to cite this article:

Fathi, M., Pahlevanzadeh, M., Saffarinia, A., & Najafizadeh, S. (2024) Designing a Sustainable Closed-Loop Supply Chain Network of Automobile Tires Using a Multi-Objective Mathematical Programming Approach. *Green Development Management Studies*, 3(1), 223-244. <https://doi.org/10.22077/jgdms.2024.7174.1068>





طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار تایر خودرو با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه: مطالعه موردی

محمد رضا فتحی^{۱*}، محمد جواد پهلوان زاده^۲، امیر حسین صفاری نیا^۲، سمانه رئیسی نافچی^۳

^۱ دانشیار گروه مدیریت صنعتی و فناوری، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشکده‌گان فارابی دانشگاه تهران، قم، ایران

^۲ دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، گروه مدیریت صنعتی و فناوری، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشکده‌گان فارابی دانشگاه تهران، قم، ایران

^۳ مربی گروه مدیریت صنعتی، مرکز آموزش عالی لامرد-دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: Reza.fathi@ut.ac.ir

واژگان کلیدی:

چکیده

طراحی شبکه، زنجیره تأمین، توسعه پایدار، برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط.

در این پژوهش، جهت افزایش کارایی شبکه زنجیره تأمین پیشنهادی، مدلی چند محصولی با اهداف چندگانه به‌طور هم‌زمان در نظر گرفته شده‌است. این مدل به‌گونه‌ای طراحی شده که شامل چهار سطح (تأمین، تولید، توزیع و مشتریان دسته اول) در شبکه رو به سمت جلو و چهار سطح (مراکز جمع‌آوری، مراکز بازیافت، مراکز انهدام و مشتریان دسته دوم) در شبکه برگشتی می‌باشند. مدل دارای سه تابع هدف حداقل کردن هزینه کل، حداقل کردن اثرات زیست‌محیطی و حداکثر کردن اثرات اجتماعی زنجیره تأمین می‌باشد. تابع هدف هزینه شامل هزینه خرید (تهیه مواد اولیه از تأمین‌کنندگان و هزینه خرید محصولات برگشتی از مشتریان)، هزینه‌های عملیاتی، هزینه موجودی، هزینه حمل و نقل یا انتقال جریان بین تسهیلات و هزینه ثابت راه اندازی می‌باشد. در تابع هدف دوم همواره سعی شده‌است تا اثرات زیست‌محیطی که به محیط زیست تأثیرات نامطلوبی می‌گذارد، حداقل گردد. در این مقاله حداقل کردن گاز کربن دی‌اکسید ناشی از انتقال جریان بین تسهیلات به‌عنوان تابع هدف زیست‌محیطی در نظر گرفته شده‌است. تابع هدف سوم دربرگیرنده شاخص رفاه کارکنان می‌باشد. با توجه به اینکه مدل ارائه شده به دسته NP-hard تعلق دارد، از الگوریتم ژنتیک چندهدفه جهت حل مدل استفاده شده و در نهایت جواب‌های پارتو مشخص شد. براساس نتایج به‌دست‌آمده، دو تابع هدف اقتصادی و محیط زیستی با یکدیگر در تضاد هستند. به این معنا که حرکت هر یک به سمت مطلوب مستلزم حرکت تابع هدف دیگر به سمت نامطلوب خواهد بود.

تاریخ دریافت:

۲۴ دی ۱۴۰۲

تاریخ پذیرش:

۱ فروردین ۱۴۰۳



مقدمه

نگرانی‌های فزاینده زیست‌محیطی در مورد آلودگی منجر به تشدید قوانین در سراسر جهان برای کاهش آلودگی شده‌است (کاستاندا رودریگوئز و اسپینوزا پرز^۱، ۲۰۲۳، ۳۴۵). از طرف دیگر با توجه به افزایش آگاهی مردم نسبت به مسائل زیست‌محیطی و سخت‌گیری دولت‌ها، رقابت شرکت‌ها به در نظر گرفتن مسائل زیست‌محیطی در تمام سطوح زنجیره تأمین وابسته گردیده‌است. با این حال، اجرای استراتژی‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز با ریسک‌های مختلفی همراه است. یکی از شاخص‌های مهم ریسک زنجیره تأمین سبز، ریسک‌های مالی و به‌ویژه نرخ‌های مربوط به تورم و ارز است (بیاناتی^۲ و همکاران، ۲۰۲۲، ۴). با افزایش اهمیت دغدغه‌های زیست‌محیطی و قوانین مرتبط، تصمیم‌گیران زنجیره تأمین موظف به لحاظ کردن همزمان اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی هستند (کیانی ماوی^۳ و همکاران، ۲۰۲۳، ۵). مطالعات نشان می‌دهد که انگیزه اصلی سازمان‌ها برای حرکت به سمت مدیریت زنجیره عرضه^۴ و تقاضا پایدار^۵، عمدتاً منافع مالی است، بنابراین تغییر مثبت ذهنیت آن‌ها و گرایش به سمت رویه‌های سبز ضروری به نظر می‌رسد (گنجی^۶ و همکاران، ۲۰۱۷، ۷). تأییرهای فرسوده یکی از زباله‌های پر حجم و خطرناک هستند که می‌توانند مشکلات زیست‌محیطی زیادی ایجاد کنند. اما همین تأیرها پس از بازیافت می‌توانند در ساخت آسفالت استفاده شده و به بهبود عملکرد فنی و زیست‌محیطی آسفالت‌ها کمک کند (بارتولوزی^۷ و همکاران، ۲۰۱۵، ۱۰). صنعت بازیافت تأیر همواره با موانعی رو به رو بوده است. به‌طور مثال برخی موانع در صنعت بازیافت تأیر در هند عبارت‌اند از فقدان روش‌های تبلیغاتی مؤثر، اجرای ضعیف استانداردها، عدم دسترسی به منابع مالی، عدم دسترسی به فناوری‌های جدید، مشکل رقابت با تأییرهای نو، موضع منفی دولت (بهاتاچاریا و کلکبندی^۸، ۲۰۲۳، ۵۲۷). بنابراین استفاده از تأییرهای مستعمل از طریق بازیافت، راهبردی بالقوه برای کاهش مشکلات پایداری محسوب می‌شود. با این وجود، ایجاد یک زنجیره تأمین بسته که هم پایدار و هم سودآور باشد، چالش مهمی است (کیانی ماوی و همکاران، ۲۰۲۳، ۸). در این زمینه تاکنون تحقیقات قابل توجهی انجام شده‌است. مقالات زیادی از مدل‌های ریاضی جهت بهینه‌سازی زنجیره تأمین پایدار استفاده نموده‌اند. البته مطالعات کمی به رضایت ذی‌نفعان به‌عنوان هدف اصلی تحقیق پرداخته‌اند (آلفینا و راتنایاکا^۹، ۲۰۱۹، ۱۶). همچنین برخی از تحقیقات از الگوریتم‌های ترکیبی و چند مرحله‌ای، ابتکاری و فرا ابتکاری استفاده کرده‌اند. الگوریتم‌های فرا ابتکاری می‌توانند ابزاری ارزشمند برای بهینه‌سازی مدیریت زنجیره تأمین پایدار و بهبود پایداری، کارایی و رقابت‌پذیری عملیات زنجیره تأمین باشند (ابوعلیجاه^{۱۰} و همکاران، ۲۰۲۳). هدف اصلی این مقاله طراحی شبکه زنجیره تأمین در صنعت تولید لاستیک با در نظر گرفتن هر سه بعد پایداری در شرایط عدم قطعیت می‌باشد. در این پژوهش یک مدل ریاضی چند هدفه برای زنجیره تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی ارائه شده‌است. شبکه زنجیره تأمین این پژوهش شامل مراکز تأمین، مراکز تولید، مراکز توزیع، مشتری بازار اول، مراکز جمع‌آوری، مراکز بازیافت، مشتری بازار دوم و مراکز انهدام می‌باشد. در این پژوهش از الگوریتم فرا ابتکاری برای حل مسئله بهره برده شده‌است.

1 Castañeda Rodríguez & Espinoza Pérez

2 Bayanati

3 Kiani Mavi

4 Sustainable Supply Chain Management

5 Sustainable Demand Chain Management

6 Ganji

7 Bartolozzi

8 Bhattacharya & Kalakbandi

9 Alfina & Ratnayake

10 Abualigah



زنجیره تأمین عبارت است از مجموعه بخش‌های مختلف اعم از تأمین کنندگان، تولید کنندگان، مشتریان، توزیع کنندگان و حمل و نقل که به صورت مستقیم و غیر مستقیم نیازهای مشتریان خود را برآورده می‌سازند (چرا^۱ و همکاران، ۲۰۰۷). بنابراین می‌توان گفت زنجیره تأمین حول محور تأمین نیاز مشتری و ایجاد ارزش برای آنها تشکیل شده است. در گذشته هدف اصلی زنجیره تأمین ایجاد سودآوری حداکثری بوده است در حالی که در بازار رقابتی امروز ایجاد سودآوری در گرو ایجاد ارزش برای مشتریان است. مدیریت زنجیره تأمین به معنای ایجاد هماهنگی در تولید، مکان‌یابی، کنترل موجودی و نگهداری مواد و محصولات در زنجیره تأمین است (برگس^۲ و همکاران، ۲۰۰۶، ۷۰۷). از شروع قرن ۲۱ مفاهیم جدیدی وارد زنجیره تأمین گردید که نگاه سازمانی به زنجیره تأمین و مدیریت آن را تغییر داده است. یکی از این مفاهیم جدید مفهوم "پایداری" است. پایداری به عنوان یک مفهوم جدید مدیریتی به سرعت جایگزین روش‌های سنتی و کلاسیک در این حوزه گردید. سازمان‌هایی عملکرد پایدار دارند که بتوانند به صورت مستمر بهبود ایجاد نمایند. عملکرد پایدار سازمان عمدتاً بر عملکرد زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی مبتنی است (گویال^۳ و همکاران، ۲۰۱۳). پایداری به معنای عدم ترجیح منافع کوتاه مدت بر منافع بلند مدت خود و دیگران است (بانسال و دسجاردین^۴، ۲۰۱۴). ابعاد مختلف پایداری در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- ابعاد پایداری در زنجیره تأمین

پس از طرح مفهوم پایداری بسیاری پژوهش‌ها ابتدا عملکرد اجتماعی را مورد توجه خاصی قرار دادند. اما در دو دهه گذشته بیشتر پژوهش‌ها در زمینه زنجیره تأمین پایدار بر روی بعد محیط زیست متمرکز شده‌اند. محیط زیست یکی از عناصر مهم سیاست سه گانه پایداری است. لذا در پژوهش‌های اخیر تا اندازه‌ای زنجیره تأمین پایدار و زنجیره تأمین سبز در کنار هم و گاهاً مفاهیم زیست‌محیطی و پایداری به جای هم استفاده شده است. در زنجیره تأمین سبز به صورت مشخص تمرکز بر طرح‌های زیست‌محیطی می‌باشد (سلیمانی^۵ و همکاران، ۲۰۱۷).

¹ Chopra

² Burgess

³ Goyal

⁴ Bansal & DesJardine

⁵ Soleimani



امروزه علاوه بر سودآوری سازمان‌ها، دیدگاه آنها نسبت به آینده بشر و کره زمین بسیار اهمیت زیادی دارد. کمبود منابع و توزیع غیر یکنواخت آنها در سطح کشورهای مختلف جهان باعث رقابتی‌تر شدن بازار شده‌است تا آنجا که سازمان‌ها به فکر اتخاذ سیاست‌های بلند مدت جهت استفاده از منابع محدود و راه کارهای نوآورانه در مدیریت زنجیره تأمین افتاده‌اند. یکی از این راه کارها بازیافت ضایعات حاصل از زنجیره تأمین است. این امر نه تنها موجب کاهش اثرات مخرب ضایعات و آلاینده‌های زیست‌محیطی می‌شود بلکه باعث افزایش سودآوری و بهبود جایگاه رقابتی در بازار می‌شود. شبکه زنجیره تأمین شامل تمامی اجزا داخلی و خارجی مدیریت زنجیره تأمین می‌شود (تیواری^۱ و همکاران، ۲۰۱۶) که طراحی مناسب آن منجر به کاهش ریسک، کاهش هزینه‌های نگهداری و موجودی و حمل و نقل و کاهش سرمایه در گردش می‌گردد.

تلاش‌های سازمان‌ها جهت دستیابی به فاکتورهای بهینه پایداری و زیست‌محیطی منجر به طراحی شبکه‌های زنجیره تأمین حلقه بسته گردیده‌است. زنجیره تأمین حلقه بسته شامل هر دو جریان مستقیم و معکوس می‌باشد. شبکه زنجیره تأمین معکوس شامل تعیین مکان و ظرفیت‌های تسهیلات و همچنین مقدار و نحوه جریان بین هر جفت از تسهیلات می‌باشد (کارا و اونوت^۲، ۲۰۱۰). یکی از محصولات که ضایعات آن آلودگی قابل توجهی دارد لاستیک‌ها است که خوشبختانه بشر با ایجاد زنجیره حلقه بسته برای زنجیره تأمین لاستیک و بازیافت آن توانسته است ضمن کاهش آلودگی و سموم ناشی از لاستیک‌های مستعمل، مواد اولیه صنعتی در این زمینه را مجدد تولید نماید. قوانین سخت گیرانه زیست‌محیطی و دغدغه‌مندی‌های آینده نگرانه برای نسل بشر منجر به در نظر گرفتن استراتژی‌های پایدار برای زنجیره تأمین شده‌است. در این شرایط هر چند قوانین و استانداردها منجر به پایداری سازمان‌ها می‌شود اما ارزش پایدار چیزی فراتر از این است و در ذهن و نگرش سازمان‌ها و مدیران آنها ایجاد خواهد شد.

چابانه^۳ و همکاران (۲۰۱۲) در طراحی زنجیره تأمین پایدار از یک برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته استفاده نمودند که چرخه عمر محصول را در نظر می‌گرفت. برندبرگ^۴ و همکاران (۲۰۱۴) نیز به بررسی کاربردهای روش‌های تحقیق در عملیات و مدل‌های مرتبط در زنجیره تأمین پایدار پرداختند. حسنزاده امین و باکی^۵ (۲۰۱۷) یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح چند هدفه برای شبکه زنجیره تأمین معکوس و پایدار طراحی کردند که عوامل جهانی از جمله نرخ ارز و عوارض گمرکی را در نظر می‌گرفت. جبارزاده و همکاران (۲۰۱۸) یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح آمیخته تصادفی ارائه نمودند که هر سه بعد پایداری را برای طراحی شبکه زنجیره تأمین معکوس و پایدار در نظر می‌گرفت. این مدل قابلیت تاب آوری زنجیره تأمین در مقابل اختلالات را افزایش می‌داد. متولی-طاهر و همکاران (۲۰۲۰) شبکه زنجیره تأمین پایدار گندم با تقاضای پیش بینی شده از طریق شبیه سازی را طراحی نمودند. آنها یک مدل ریاضی چند هدفه را برای بهینه سازی هزینه‌های شبکه و مصرف آب و حداکثر کردن فرصت‌های شغلی پیشنهاد دادند. بیوکی^۶ و همکاران (۲۰۲۰) یک رویکرد دو مرحله‌ای شامل مدل چندهدفه برنامه‌ریزی ریاضی ترکیبی را برای برنامه‌ریزی یک زنجیره تأمین پایدار محصولات فاسد شدنی ارائه کردند. آنها همچنین دو الگوریتم فرا ابتکاری هیبریدی را برای حل این مسئله ارائه کردند که از ترکیب‌های موازی و سری از الگوریتم ژنتیک^۷ و الگوریتم ازدحام ذرات^۸ تشکیل شده بود. خیبری و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهش خود به طراحی زنجیره تأمین پایدار بیو اتانول پرداختند. آنها یک رویکرد دو مرحله‌ای را پیشنهاد کردند که در مرحله اول، از روش تصمیم گیری چند معیار بهترین-بدترین جهت محاسبه شاخص پایداری گزینه‌ها در سطوح مختلف زنجیره تأمین استفاده کرده

¹ Tiwari

² Kara & Onut

³ Chaabane

⁴ Brandenburg

⁵ Amin & Baki

⁶ Biuki

⁷ Genetic Algorithm

⁸ Particle Swarm Optimization



و در مرحله دوم یک الگوریتم ژنتیک بهینه سازی لانه ای دوهدفه را جهت بهینه سازی شاخص پایداری مکان‌های نامزد و هزینه‌های حمل و نقل به کار بردند. زارع-کردشولی و همکاران (۲۰۲۳) به طراحی یک شبکه زنجیره تأمین شیر با در نظر گرفتن دو جنبه پایداری و انعطاف‌پذیری پرداختند. آنها همچنین یک مدل ریاضی چند هدفه را پیشنهاد دادند که هزینه‌های کل را حداقل، رساندن پایداری و انعطاف‌پذیری تأمین کنندگان و توزیع کننده ها و سیستم را حداکثر می‌کند. صیدانلو و همکاران (۲۰۲۳) در مقاله خود به طراحی یک شبکه زنجیره تأمین بسته پایدار^۱ در شرایط عدم قطعیت برای صنعت کشاورزی ایران پرداختند. آنها یک مدل ریاضی چند هدفه را پیشنهاد دادند که حداقل هزینه‌های کل، حداقل میزان انتشار کربن و حداکثر اشتغال را هدف قرار می‌داد. سپس یک الگوریتم جستجوی همسایگی سفارشی شده ارائه دادند که از یک الگوریتم ژنتیک به‌عنوان الگوریتم شروع کننده استفاده می‌کند. ابوالیجاه^۲ و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهش خود به بررسی کاربرد جستجوی الگوریتم‌های فرا ابتکاری در مدیریت زنجیره تأمین پایدار پرداختند. آنها اثربخشی این الگوریتم‌ها را در حل چالش‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. در سال‌های اخیر مقالاتی در حوزه زنجیره تأمین پایدار لاستیک و تایر مطرح شده‌است. گنجی و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از روش پرسش‌نامه در یک شرکت جهانی تولید تایر، تعاملات و مزایای به‌کارگیری مفاهیم پایداری در مدیریت زنجیره عرضه و تقاضا را بررسی نمودند. نتایج و تحلیل‌های پژوهش آنها بر ضرورت به‌کارگیری کدهای اخلاقی، تحول زنجیره تأمین و مشارکت مؤثر مدیران صنعتی، نهادهای حرفه‌ای و دولت را در راستای تحقق زنجیره پایداری عرضه و تقاضا^۳ تأیید داشت. آلفینا و راتنایاکا^۴ (۲۰۱۹) با بررسی طیف وسیعی از تحقیقات مرتبط، چارچوبی مفهومی برای بهینه سازی پایدار زنجیره تأمین تایر ارائه کردند که فاکتورهای اقتصادی، محیطی و اجتماعی را همزمان در نظر می‌گرفت. آنها طبقه بندی مناسبی از موضوعات و کاربردهای موجود در زمینه بهینه سازی زنجیره تأمین در صنعت تایر را ارائه دادند و ضمن تأکید بر اهمیت رضایت ذی‌نفعان به‌عنوان عاملی کمتر مورد توجه قرار گرفته، پیشنهاد نمودند که روش‌های اجتماعی مانند مدیریت ارتباط با مشتری به‌عنوان جنبه‌های مهمی در صنعت تایر و سایر صنایع مورد بررسی قرار گیرند. کاستاندا رودریگز و اسپینوزا پرز^۵ (۲۰۲۳) با استفاده از یک مرور ادبیات جامع، به شناسایی چالش‌های اصلی طراحی زنجیره تأمین تایر برای استفاده بهینه از تایرهای فرسوده^۶ از طریق رویکردی پایدار پرداختند. آنها از عدم وجود هماهنگی بین بازیگران زنجیره تأمین، عدم وجود انگیزه کافی برای مشارکت در زنجیره تأمین و عدم وجود فناوری‌های ارزش‌آفرینی کارآمد و مقرون به صرفه به‌عنوان چالش‌های اصلی این حوزه یاد کردند. بهاتاچاریا و کلکبندی^۷ (۲۰۲۳) نوشتند که زنجیره تأمین حلقه بسته یک مدل تجاری مبتنی بر اقتصاد چرخشی^۸ است که می‌تواند به کاهش ضایعات و حفاظت از محیط زیست کمک کند. آنها به صنعت بازیافت تایر به‌عنوان نمونه‌ای از زنجیره تأمین حلقه بسته اشاره نمودند که می‌تواند تایرهای فرسوده را به محصولات با ارزش تبدیل کند و به بررسی موانع این صنعت در هند پرداختند. ابراهیمی (۲۰۱۸) یک مدل بهینه‌سازی تصادفی چند هدفه برای انتخاب تأمین‌کننده و مسائل مکان‌یابی، تخصیص و مسیریابی فرمول‌بندی کردند. هدف اول و دوم مدل به‌ترتیب به حداقل رساندن هزینه‌های کل و اثرات انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی بوده و هدف سوم نیز بر حداکثر کردن پاسخ‌گویی شبکه یکپارچه تمرکز داشت. همچنین، برای حل چارچوب پیشنهادی از روش محدودیت اپسیلون استفاده شد. بیاناتی و همکاران (۲۰۲۲) با تأکید بر ریسک‌های زیست‌محیطی زنجیره تأمین پایدار در

¹ Sustainable Closed-Loop Supply Chain

² Abualigah

³ Sustainable Supply and Demand Chain

⁴ Alfina & Ratnayake

⁵ Castañeda Rodríguez & Espinoza Pérez

⁶ End-of-Life Tires

⁷ Bhattacharya & Kalakbandi

⁸ Circular Economy



صنعت تایر از یکی از جدیدترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره یعنی ترکیب BWM^1 و $FVIKOR^2$ برای تعیین وزن و رتبه‌بندی ریسک‌های زنجیره تأمین سبز استفاده کردند. این پژوهش با نوآوری‌های موضوعی و روشی خود، گامی ارزشمند در شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های زنجیره تأمین سبز در صنعت تایر برداشته‌است. صاحب جامنیا و همکاران (۲۰۱۸) مدلی چند هدفه برای طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته لاستیک پایدار با در نظر گرفتن هزینه‌های کل، تأثیرات زیست‌محیطی احداث تأسیسات، فرآوری لاستیک‌ها و حمل‌ونقل بین سطوح مختلف و همچنین تأثیرات اجتماعی مانند فرصت‌های شغلی و آسیب‌های ناشی از کار ارائه دادند. آنها به دلیل پیچیدگی محاسباتی مسئله و مقیاس بزرگ مسئله، چهار الگوریتم ترکیبی فراکاوشگر جدید بر اساس مزایای الگوریتم‌های قدیمی و جدید ابداع نمودند. رضا کیانی مازی و همکاران (۲۰۲۳) به چالش طراحی شبکه ای بهینه برای مدیریت پسماند تایر با در نظر گرفتن همزمان هزینه و پایداری محیطی پرداخته‌اند. این مطالعه یک مدل بهینه سازی برنامه ریزی خطی عدد صحیح چندهدفه جدید ارائه می‌داد که هدف آن کاهش هزینه کلی شبکه با در نظر گرفتن پیامدهای زیست محیطی مرتبط با احداث تأسیسات، پردازش تایر و حمل و نقل می‌بود. این مطالعه شش الگوریتم تکاملی چندهدفه مبتنی بر تجزیه³ جدید معرفی نمود. جندقی و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی به مدل‌سازی ریاضی شبکه زنجیره تأمین چندهدفه تایر در شرایط عدم قطعیت پرداختند. مدل‌سازی این زنجیره بر اساس ملاحظات زیست‌محیطی، حداقل سازی هزینه کل زنجیره و حداکثر سازی پاسخ‌گویی به تقاضای مشتری صورت گرفته است. در نهایت این مدل با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری NSGAI و NRGA حل شده و نتایج به دست آمده با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همچنین به منظور سنجش اعتبار، مدل پیشنهادی با استفاده از روش اپسیلون محدودیت در نرم‌افزار GAMS نیز پیاده‌سازی شده است. امیریان و همکاران (۱۴۰۲) در پژوهشی به طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با رویکرد پایداری و قابلیت اطمینان پرداختند. از این رو، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط غیرخطی برای مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین به صورت سه هدفه، چندمحصولی، چندسطحی، چندمنبعی، چندظرفیتی و چندمرحله‌ای در نظر گرفته شده است. جواب‌های بهینه پارتو مدل پیشنهادی، با استفاده از روش محدودیت اپسیلون تکامل یافته به دست آمده است. همچنین از مثال عددی با داده‌های تصادفی برای سنجش صحت و عملکرد کلی مدل پیشنهادی استفاده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش پارامتر تقاضا مقدار سود مسئله افزایش می‌یابد. این در حالی است که قابلیت اطمینان و مسئولیت‌پذیری اجتماعی کاهش پیدا می‌کند.

مواد و روش‌ها

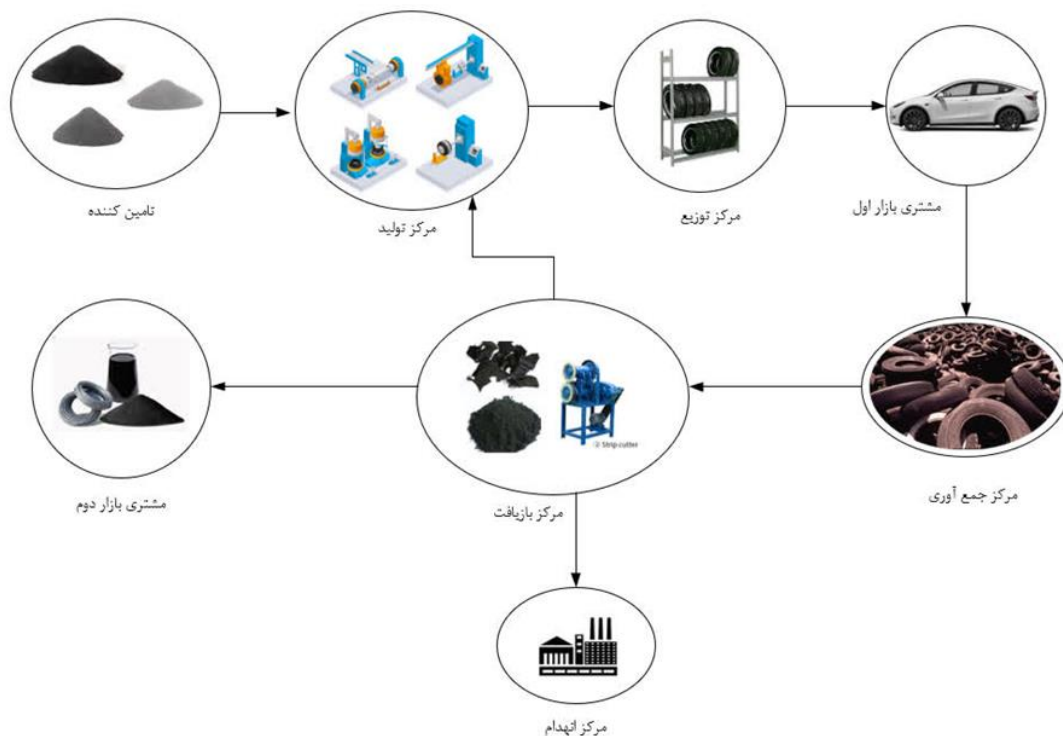
این پژوهش از نظر انواع جهت‌گیری‌های پژوهش جز پژوهش‌های توسعه‌ای می‌باشد. چون سعی دارد تا مدل‌های موجود در طراحی شبکه زنجیره تأمین را گسترش و توسعه دهد و ابعاد پایداری را که در پژوهش‌های قبلی کمتر به آن اشاره شده بود در نظر بگیرد، بنابراین کار محقق در مقایسه با محققان قبلی، توسعه‌یافته‌تر و عمیق‌تر خواهد بود. همچنین از نظر ماهیت و چگونگی جز پژوهش‌های اکتشافی می‌باشد. مسئله مورد بررسی در این پژوهش، طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار برای شرکت لاستیک پارس می‌باشد. در این شبکه که یک شبکه چند سطحی و چند محصولی می‌باشد، ابتدا محصولات در مراکز تولیدی تولید شده و سپس از طریق مراکز توزیع به مراکز مشتریان فرستاده می‌شوند، محصولات کهنه و مستهلک که مشتریان دیگر تمایل به استفاده از آن‌ها را ندارند در مراکز جمع‌آوری نگهداری و مرتب می‌شوند. سپس محصولات از مراکز جمع‌آوری به مراکز بازیافت ارسال می‌گردند. پس از بازیافت بخشی از محصولات به مراکز تولید، بخشی به مراکز انهدام و بخشی به مراکز مشتری (بازار دوم) منتقل می‌شوند. شبکه زنجیره تأمین فوق یک شبکه حلقه بسته می‌باشد که باعث فراهم آوردن امکان استفاده از صرفه‌جویی در مقیاس،

¹ Best Worst Method

² Fuzzy Vlse Kriterijumsk Optimizacija Kompromisno Resenje

³ Multi-objective evolutionary algorithm based on decomposition

استفاده مشترک از زیر ساخت‌ها و رسیدن به طراحی بهینه کلی می‌گردد و همچنین باعث کاهش هزینه‌های بالاسری و سر جمع هزینه‌ها و جلوگیری از زیر بهینگی می‌گردد (پیشوایی و همکاران، ۲۰۱۰). شبکه زنجیره تأمین مورد مطالعه در این پژوهش در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲- شبکه زنجیره تأمین مورد مطالعه

مفروضات مسئله به صورت زیر بوده است:

- مدل به صورت چند سطحی و چند محصولی می‌باشد.
 - جریان محصولات فقط بین تسهیلات متوالی متفاوت وجود دارد و جریان محصول بین تسهیلات مشابه امکان پذیر نیست.
 - مکان و تعداد مشتریان بازار اول و دوم و همچنین تأمین کنندگان ثابت و مشخص است.
 - کیفیت محصولات تعمیر شده برای فروش در بازار دوم که از طریق مراکز بازیافت به بازار دوم می‌رسد، متفاوت از محصولات جدید می‌باشد.
 - متغیر تقاضا با عدم قطعیت مواجه است.
 - مکان‌های مراکز بالقوه تولید، توزیع، جمع‌آوری، بازیافت و انهدام مشخص است.
 - موجودی در مراکز تولید، توزیع و جمع‌آوری برای محصولات در نظر گرفته شده است.
 - برای هر یک از مراکز قابل احداث، دو سطح ظرفیت در نظر گرفته شده است.
- شبکه زنجیره تأمین مورد مطالعه شامل چهار سطح (تأمین، تولید، توزیع و مشتریان دسته اول) در شبکه رو به سمت جلو و چهار سطح (مراکز جمع‌آوری، مراکز بازیافت، مراکز انهدام و مشتریان دسته دوم) در شبکه برگشتی می‌باشد. مدل ریاضی ارائه شده دارای



سه تابع هدف (۱) حداقل کردن هزینه کل، (۲) حداقل کردن اثرات زیست‌محیطی و (۳) حداکثر کردن اثرات اجتماعی زنجیره تأمین می‌باشد. در این قسمت مدل برنامه ریزی ریاضی پیشنهادی و نمادهایی که در طراحی شبکه زنجیره تأمین به کار گرفته شده‌اند، مشخص شده‌است.

اندیس‌ها

$s=1,2,3, \dots, S$
 $v=1,2,3, \dots, V$
 $k=1,2,3, \dots, K$
 $m=1,2,3, \dots, M$
 $o=1,2,3, \dots, O$
 $t=1,2,3, \dots, T$
 $u=1,2,3, \dots, U$
 $j=1,2,3, \dots, J$
 $c=1,2,3, \dots, C$
 $f=1,2,3, \dots, F$
 $d=1,2,3, \dots, D$
 $b=1,2,3, \dots, B$
 $z=1,2,3, \dots, Z$

مجموعه مکان‌های ثابت برای تأمین‌کنندگان
 مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز تولید جهت احداث
 مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز توزیع جهت احداث
 مجموعه مکان‌های ثابت برای مشتری‌های بازار اول
 مجموعه مکان‌های بالقوه برای مرکز جمع‌آوری جهت احداث
 مجموعه مکان‌های بالقوه برای مرکز بازیافت جهت احداث
 مجموعه مکان‌های بالقوه برای مرکز انهدام جهت احداث
 مجموعه مکان‌های ثابت برای مشتری‌های بازار دوم
 مجموعه محصولات
 مجموعه مواد اولیه
 مجموعه سطوح ظرفیت برای مکان‌های بالقوه
 مجموعه گزینه‌های بالقوه برای حمل و نقل
 مجموعه بسته‌های حمایتی از کارکنان

پارامترها

AB_{cv}
 BC_{cu}
 CD_{co}
 DE_{ct}
 HI_{fs}
 IK_{cm}
 ABC
 ABD
 BCD
 ACD
 CDE
 $\bar{K}L_{cm}$
 LM_{mc}
 KM_{cj}
 KA_{vd}
 KB_{kd}
 KC_s
 KD_{od}
 KE_{td}

هزینه تولید محصول C در مرکز تولید v
 هزینه دفع هر واحد محصول C در مرکز انهدام u
 هزینه جمع‌آوری محصول C در مرکز جمع‌آوری o
 هزینه بازیافت هر واحد محصول C در مرکز بازیافت t
 هزینه تهیه هر واحد ماده اولیه f از تأمین‌کننده S
 هزینه خرید محصول C برگشتی از مشتری
 ماکزیمم تعداد مراکز تولید جهت احداث
 ماکزیمم تعداد مراکز توزیع جهت احداث
 ماکزیمم تعداد مراکز بازیافت جهت احداث
 ماکزیمم تعداد مراکز انهدام جهت احداث
 ماکزیمم تعداد مراکز جمع‌آوری جهت احداث
 میزان تقاضا برای محصول C در مرکز مشتری m
 تعداد برگشتی‌ها از مشتری m برای محصول C
 قیمت فروش محصول C در بازار دوم j
 ظرفیت تولید مرکز تولید v با سطح ظرفیت d
 ظرفیت توزیع مرکز توزیع k با سطح ظرفیت d
 ظرفیت تأمین‌کننده S
 ظرفیت مرکز جمع‌آوری o با سطح ظرفیت d
 ظرفیت بازیافت مرکز بازیافت t با سطح ظرفیت d



KF_{ud}	ظرفیت انهدام مرکز انهدام u با سطح ظرفیت d
KI_{fsvb}	هزینه حمل هر واحد ماده اولیه f از تأمین‌کننده s به مرکز تولید v توسط وسیله حمل و نقل b
KZ_{cvkb}	هزینه حمل هر واحد محصول c از مرکز تولید v به مرکز توزیع k توسط وسیله حمل و نقل b
ZA_{ckmb}	هزینه حمل هر واحد محصول c از مرکز توزیع k به مناطق مشتری m توسط وسیله حمل و نقل b
ZB_{cmob}	هزینه حمل هر واحد محصول c از مناطق مشتری m به مرکز جمع‌آوری o توسط وسیله حمل و نقل b
ZC_{cotb}	هزینه حمل هر واحد محصول c از مرکز جمع‌آوری o به مرکز بازیافت t توسط وسیله حمل و نقل b
ZD_{ctub}	هزینه حمل هر واحد محصول c از مرکز بازیافت t به مرکز انهدام u توسط وسیله حمل و نقل b
ZE_{ctjb}	هزینه حمل هر واحد محصول c از مرکز بازیافت t به مناطق مشتری بازار دوم j توسط وسیله حمل و نقل b
ZF_{fc}	نرخ به‌کارگیری ماده اولیه f در تولید محصول c
ZG_{cmo}	نرخ بازگشت محصولات استفاده شده c از مناطق مشتری m به مرکز جمع‌آوری o
ZH_c	نرخ بازیافت محصولات استفاده شده c
ZI_c	نرخ انهدام محصولات استفاده شده c
ZJ_{vd}	هزینه ثابت احداث مرکز تولید v با سطح ظرفیت d
ZK_{kd}	هزینه ثابت احداث مرکز توزیع k با سطح ظرفیت d
ZL_{td}	هزینه ثابت احداث مرکز بازیافت t با سطح ظرفیت d
ZM_{ud}	هزینه ثابت احداث مرکز انهدام u با سطح ظرفیت d
ZY_{od}	هزینه ثابت احداث مرکز جمع‌آوری o با سطح ظرفیت d
ZN_{bsv}	ظرفیت وسیله حمل و نقل b برای مواد اولیه از تأمین‌کننده s به مرکز تولید v
ZO_{bvk}	ظرفیت وسیله حمل و نقل b برای محصول از مرکز تولید v به مرکز توزیع k
ZP_{bkm}	ظرفیت وسیله حمل و نقل b برای محصول از مرکز توزیع k به مرکز مشتری m
ZQ_{bmc}	ظرفیت وسیله حمل و نقل b برای محصول استفاده شده از مناطق مشتری m به مرکز جمع‌آوری o
ZR_{bot}	ظرفیت وسیله حمل و نقل b برای محصول استفاده شده از مرکز جمع‌آوری o به مرکز بازیافت t
ZS_{bjt}	ظرفیت وسیله حمل و نقل b برای محصول استفاده شده از مرکز بازیافت t به مناطق مشتری j
ZT_{btu}	ظرفیت وسیله حمل و نقل b برای محصول استفاده شده از مرکز بازیافت t به مرکز انهدام u
ZU_{btv}	ظرفیت وسیله حمل و نقل b برای محصول استفاده شده از مرکز بازیافت t به مرکز تولید v
CA_{fsvb}	میزان انتشار کربن به‌ازای حمل هر واحد ماده اولیه f از تأمین‌کننده s به مرکز تولید v توسط وسیله حمل و نقل b
CB_{cvkb}	میزان انتشار کربن به‌ازای حمل هر واحد محصول c از تولید کننده v به مرکز توزیع k توسط وسیله حمل و نقل b
CE_{ckmb}	میزان انتشار کربن به‌ازای حمل هر واحد محصول c از مرکز توزیع k به مناطق مشتری m توسط وسیله حمل و نقل b
CF_{cmob}	میزان انتشار کربن به‌ازای حمل هر واحد محصول c از مناطق مشتری m به مرکز جمع‌آوری o توسط وسیله حمل و نقل b
CJ_{cotb}	میزان انتشار کربن به‌ازای حمل هر واحد محصول c از مرکز جمع‌آوری o به مرکز بازیافت t توسط وسیله حمل و نقل b
CH_{ctub}	میزان انتشار کربن به‌ازای حمل هر واحد محصول c از مرکز بازیافت t به مرکز انهدام u توسط وسیله حمل و نقل b
CI_{ctvb}	میزان انتشار کربن به‌ازای حمل هر واحد محصول c از مرکز بازیافت t به مرکز تولید v توسط وسیله حمل و نقل b
CK_{ctjb}	میزان انتشار کربن به‌ازای حمل هر واحد محصول c از مرکز بازیافت t به مناطق مشتری m توسط وسیله حمل و نقل b
LZ_z	میزان رضایت کارکنان از بسته حمایتی z
MVA_v	حداقل دستمزد محلی در مرکز تولید v
MVB_k	حداقل دستمزد محلی در مرکز توزیع k
MVO_o	حداقل دستمزد محلی در مرکز جمع‌آوری o
MVT_t	حداقل دستمزد محلی در مرکز بازیافت t
MVU_u	حداقل دستمزد محلی در مرکز انهدام u



متغیرهای تصمیم

FA_{fsvb}	میزان ماده اولیه f حمل شده از تأمین‌کننده S به مرکز تولید v توسط وسیله حمل و نقل b
FB_{cvkb}	میزان محصول C حمل شده از مرکز تولید v به مرکز توزیع k توسط وسیله حمل و نقل b
FC_{ckmb}	میزان محصول C حمل شده از مرکز توزیع k به منطقه مشتری m توسط وسیله حمل و نقل b
FD_{cmob}	میزان محصول C حمل شده از منطقه مشتری m به مرکز جمع‌آوری o توسط وسیله حمل و نقل b
FG_{cotb}	میزان محصول C حمل شده از مرکز جمع‌آوری o به مرکز بازیاخت t توسط وسیله حمل و نقل b
FH_{ctvb}	میزان محصول C حمل شده از مرکز بازیاخت t به مرکز تولید v توسط وسیله حمل و نقل b
FI_{ctub}	میزان محصول C حمل شده از مرکز بازیاخت t به مرکز انهدام u توسط وسیله حمل و نقل b
FK_{ctjb}	میزان محصول C حمل شده از مرکز بازیاخت t به مشتری بازار دوم z توسط وسیله حمل و نقل b
FL_{cv}	میزان محصول C تولید شده در مرکز تولید v
GA_{bsv}	اگر وسیله حمل و نقل b برای حمل مواد اولیه از تأمین‌کننده S به مرکز تولید v انتخاب شود برابر ۱ و در غیر این صورت برابر ۰ است.
GB_{bvk}	اگر وسیله حمل و نقل b برای حمل محصول از تولید کننده v به مرکز توزیع k انتخاب شود برابر ۱ و در غیر این صورت برابر ۰ است.
GC_{bkm}	اگر وسیله حمل و نقل b برای حمل محصول از مرکز توزیع k به مناطق مشتری m انتخاب شود برابر ۱ و در غیر این صورت برابر ۰ است.
GD_{bmo}	اگر وسیله حمل و نقل b برای حمل محصول از مناطق مشتری m به مرکز جمع‌آوری o انتخاب شود برابر ۱ و در غیر این صورت برابر ۰ است.
GE_{bot}	اگر وسیله حمل و نقل b برای حمل محصول از مرکز جمع‌آوری o به مرکز بازیاخت t انتخاب شود برابر ۱ و در غیر این صورت برابر ۰ است.
GF_{btv}	اگر وسیله حمل و نقل b برای حمل محصول از مرکز بازیاخت t به تولید کننده v انتخاب شود برابر ۱ و در غیر این صورت برابر ۰ است.
GH_{btu}	اگر وسیله حمل و نقل b برای حمل محصول از مرکز بازیاخت t به مرکز انهدام u انتخاب شود برابر ۱ و در غیر این صورت برابر ۰ است.
GR_{btj}	اگر وسیله حمل و نقل b برای حمل محصول از مرکز بازیاخت t به مناطق مشتری در بازار دوم z انتخاب شود برابر ۱ و در غیر این صورت برابر ۰ است.
LA_{vd}	اگر مرکز تولید v با سطح ظرفیت d با شرایط d احداث شود برابر ۱ و در غیر این صورت برابر ۰ است.
LB_{kd}	اگر مرکز توزیع k با سطح ظرفیت d احداث شود برابر ۱ و در غیر این صورت برابر ۰ است.
LC_{od}	اگر مرکز جمع‌آوری o با سطح ظرفیت d احداث شود برابر ۱ و در غیر این صورت برابر ۰ است.
LD_{td}	اگر مرکز بازیاخت t با سطح ظرفیت d احداث شود برابر ۱ و در غیر این صورت برابر ۰ است.
LE_{ud}	اگر مرکز انهدام u با سطح ظرفیت d احداث شود برابر ۱ و در غیر این صورت برابر ۰ است.
LF_z	اگر بسته حمایتی z برای کارکنان به کارگرفته شود برابر ۱ و در غیر این صورت برابر ۰ است.

مدل ارائه شده در این پژوهش شامل سه تابع هدف شامل (۱) حداقل کردن هزینه‌های کل، (۲) حداقل کردن اثرات زیست‌محیطی و (۳) حداکثر کردن اثرات اجتماعی می‌باشد.

- تابع هدف اول شامل حداقل سازی هزینه‌ها می‌باشد. هزینه‌های در نظر گرفته شده در طراحی شبکه مورد نظر در این مقاله شامل هزینه خرید (تهیه مواد اولیه از تأمین کنندگان و هزینه خرید محصولات برگشتی از مشتریان)، هزینه‌های عملیاتی (هزینه تولید، هزینه جمع‌آوری، بازیاخت و هزینه انهدام)، هزینه موجودی (هزینه برای قسمت تولید، توزیع جمع‌آوری)، هزینه حمل و نقل یا انتقال جریان بین تسهیلات و هزینه ثابت راه اندازی می‌باشد. عبارت (۱) رابطه ریاضی این تابع هدف را نشان می‌دهد.
- تابع هدف دوم شامل حداقل سازی اثرات زیست‌محیطی می‌باشد. در این پژوهش حداقل کردن گاز کربن‌دی‌اکسید ناشی از انتقال جریان بین تسهیلات به‌عنوان تابع هدف زیست‌محیطی در نظر گرفته شده‌است. عبارت (۲) رابطه ریاضی این تابع هدف را نشان می‌دهد.
- تابع هدف سوم شامل حداکثر کردن اثرات اجتماعی زنجیره تأمین می‌باشد این تابع هدف دربرگیرنده شاخص رفاه کارکنان می‌باشد. این تابع هدف با در نظر گرفتن کمترین میزان دستمزد محلی و میزان رضایت شغلی ایجاد شده توسط تسهیلات رفاهی کارکنان، رضایت کارکنان را افزایش دهد. البته در شرایطی که کمترین دستمزد محلی در یک منطقه کمتر از سایر



مناطق باشد، امکانات رفاهی برجسته‌تر می‌شود و می‌تواند رضایت شغلی را افزایش دهد (طالعی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۹). عبارت (۳) رابطه ریاضی این تابع هدف را نشان می‌دهد.

(1)

$$\begin{aligned}
 \text{Min } Z_1 = & \sum_v \sum_d ZJ_{vd} * LA_{vd} \\
 & + \sum_k \sum_d ZK_{kd} * LB_{kd} + \sum_t \sum_d ZL_{td} * LD_{td} \\
 & + \sum_u \sum_d ZM_{ud} * LE_{ud} + \sum_o \sum_d ZY_{od} * LC_{od} \\
 & + \sum_f \sum_s \sum_v \sum_b KI_{fsvb} * FA_{fsvb} \\
 & + \sum_c \sum_v \sum_k \sum_b KZ_{cvkb} * FB_{cvkb} \\
 & + \sum_c \sum_k \sum_m \sum_b ZA_{ckmb} * FC_{ckmb} \\
 & + \sum_c \sum_m \sum_o \sum_b ZB_{cmob} * FD_{cmob} \\
 & + \sum_c \sum_o \sum_t \sum_b ZC_{cotb} * FG_{cotb} \\
 & + \sum_c \sum_t \sum_u \sum_b ZD_{ctub} * FH_{ctub} \\
 & + \sum_c \sum_t \sum_j \sum_b ZE_{ctjb} * FK_{ctjb} + \sum_c \sum_v AB_{cv} * FL_{cv} \\
 & + \sum_c \sum_t \sum_u \sum_b BC_{cu} * FI_{ctub} + \sum_c \sum_m \sum_o \sum_b CD_{co} * FD_{cmob} \\
 & + \sum_c \sum_o \sum_t \sum_b DE_{ct} * FG_{cotb} + \sum_f \sum_s \sum_v \sum_b HI_{fs} * FA_{fsvb} \\
 & + \sum_c \sum_m \sum_o \sum_b IK_{cm} * FD_{cmob} \\
 & - \sum_c \sum_t \sum_j \sum_b KM_{cj} * FK_{ctjb}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 \text{Min } Z_2 = & \sum_f \sum_s \sum_v \sum_b CA_{fsvb} * FA_{fsvb} + \sum_c \sum_v \sum_k \sum_b CB_{cvkb} * FB_{cvkb} \\
 & + \sum_c \sum_k \sum_m \sum_b CE_{ckmb} * FC_{ckmb} \\
 & + \sum_c \sum_m \sum_o \sum_b CF_{cmob} * FD_{cmob} \\
 & + \sum_c \sum_o \sum_t \sum_b CJ_{cotb} * FG_{cotb} + \sum_c \sum_t \sum_u \sum_b CH_{ctub} * FI_{ctub} \\
 & + \sum_c \sum_t \sum_v \sum_b CI_{ctvb} * FH_{ctvb} \\
 & + \sum_c \sum_t \sum_j \sum_b CK_{ctjb} * FK_{ctjb}
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Max } Z_3 = & \sum_v \sum_z \frac{LZ_z * LF_z}{MVA_v} + \sum_k \sum_z \frac{LZ_z * LF_z}{MVB_k} + \sum_o \sum_z \frac{LZ_z * LF_z}{MVO_o} \\
 & + \sum_t \sum_z \frac{LZ_z * LF_z}{MVT_t} + \sum_u \sum_z \frac{LZ_z * LF_z}{MVU_u}
 \end{aligned} \tag{3}$$

محدودیت‌های مدل

در این قسمت محدودیت‌های مدل پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته است.

$$\sum_d LA_{vd} \leq 1 \quad \forall v \tag{4}$$

$$\sum_d LB_{kd} \leq 1 \quad \forall k \tag{5}$$

$$\sum_d LC_{od} \leq 1 \quad \forall o \tag{6}$$

$$\sum_d LD_{td} \leq 1 \quad \forall t \tag{7}$$

$$\sum_d LE_{ud} \leq 1 \quad \forall u \tag{8}$$

$$\sum_v \sum_d LA_{vd} \leq ABC \tag{9}$$

$$\sum_k \sum_d LB_{kd} \leq ABD \tag{10}$$

$$\sum_o \sum_d LC_{od} \leq CDE \tag{11}$$



$$\sum_t \sum_d LD_{td} \leq BCD \quad (12)$$

$$\sum_u \sum_d LE_{ud} \leq ACD \quad (13)$$

$$\sum_f FA_{fsvb} \leq GA_{bsv} * ZN_{bsv} \quad (14)$$

$$\sum_f FB_{cvkb} \leq GB_{bvk} * ZO_{bvk} \quad (15)$$

$$\sum_c FC_{ckmb} \leq GC_{bkm} * ZP_{bkm} \quad (16)$$

$$\sum_c FD_{cmob} \leq GD_{bmo} * ZQ_{bmo} \quad (17)$$

$$\sum_c FG_{cotb} \leq GE_{bot} * ZR_{bot} \quad (18)$$

$$\sum_c FH_{ctvb} \leq GF_{btv} * ZU_{btv} \quad (19)$$

$$\sum_c FI_{ctub} \leq GH_{btu} * ZT_{btu} \quad (20)$$

$$\sum_c FK_{ctjb} \leq GR_{btj} * ZS_{btj} \quad (21)$$

$$\sum_b GA_{bsv} \leq 1 \quad \forall s, v \quad (22)$$

$$\sum_b GB_{bvk} \leq 1 \quad \forall k, v \quad (23)$$

$$\sum_b GC_{bkm} \leq 1 \quad \forall k, m \quad (24)$$

$$\sum_b GD_{bmo} \leq 1 \quad \forall m, o \quad (25)$$

$$\sum_b GE_{bot} \leq 1 \quad \forall o, t \quad (26)$$

$$\sum_b GH_{btu} \leq 1 \quad \forall t, u \quad (27)$$

$$\sum_b GR_{btj} \leq 1 \quad \forall t, j \quad (28)$$

$$\sum_m \sum_b FD_{cmob} \geq \sum_t \sum_b FG_{cotb} \quad \forall c, o \quad (29)$$

$$\sum_v FL_{cv} \geq \sum_v \sum_k \sum_b FB_{cvkb} \quad \forall c \quad (30)$$



$$\sum_o \sum_b FG_{cotb} \geq ZG_{cmo} * \sum_m \sum_o \sum_b FD_{cmo} \quad \forall c, t \quad (31)$$

$$GA_{bsv} \leq \sum_f FA_{fsvb} \quad \forall b, s, v \quad (32)$$

$$GB_{bvk} \leq \sum_f FB_{cvkb} \quad \forall c, k, b \quad (33)$$

$$GC_{bkm} \leq \sum_c FC_{ckmb} \quad \forall k, m, b \quad (34)$$

$$GD_{bmo} \leq \sum_c FD_{cmob} \quad \forall b, m, o \quad (35)$$

$$GE_{bot} \leq \sum_c FG_{cotb} \quad \forall o, t, b \quad (36)$$

$$GF_{btv} \leq \sum_c FH_{ctvb} \quad \forall b, t, v \quad (37)$$

$$GH_{btu} \leq \sum_c FI_{ctub} \quad \forall t, u, b \quad (38)$$

$$GR_{btj} \leq \sum_c FK_{ctjb} \quad \forall b, t, j \quad (39)$$

$$\sum_f FA_{fsvb} \leq M * GA_{bsv} \quad \forall s, v, b \quad (40)$$

$$\sum_c FB_{cvkb} \leq M * GB_{bvk} \quad \forall b, v, k \quad (41)$$

$$\sum_c FC_{ckmb} \leq M * GC_{bkm} \quad \forall b, k, m \quad (42)$$

$$\sum_c FD_{cmob} \leq M * GD_{bmo} \quad \forall b, m, o \quad (43)$$

$$\sum_c FG_{cotb} \leq M * GE_{bot} \quad \forall o, t, b \quad (44)$$

$$\sum_c FH_{ctvb} \leq M * GF_{btv} \quad \forall b, t, v \quad (45)$$

$$\sum_c FI_{ctub} \leq M * GH_{btu} \quad \forall t, u, b \quad (46)$$

$$\sum_c FK_{ctjb} \leq M * GR_{btj} \quad \forall b, t, j \quad (47)$$

$$\sum_s \sum_v \sum_b ZF_{fc} * FA_{fsvb} \leq \sum_v FL_{cv} \quad \forall c, f \quad (48)$$

$$\sum_f \sum_v \sum_b FA_{fsvb} \leq KC_s \quad \forall s \quad (49)$$

$$\sum_c FL_{cv} \leq \sum_d LA_{vd} * KA_{vd} \quad \forall v \quad (50)$$

$$\sum_c \sum_v \sum_b FB_{cvkb} \leq \sum_d LB_{kd} * KB_{kd} \quad \forall k \quad (51)$$

$$\sum_c \sum_m \sum_b FD_{cmob} \leq \sum_d LC_{od} * KD_{od} \quad \forall o \quad (52)$$



$$\sum_c \sum_o \sum_b FG_{cotb} \leq \sum_d LD_{td} * KE_{td} \quad \forall t \quad (53)$$

$$\sum_c \sum_t \sum_b FI_{ctub} \leq \sum_d LE_{ud} * KF_{ud} \quad \forall u \quad (54)$$

$$\sum_k \sum_b FC_{ckmb} \leq \bar{KL}_{cm} \quad \forall c, m \quad (55)$$

$$\sum_o \sum_b FD_{cmob} \leq \sum_o \bar{KL}_{cm} * ZG_{cmo} \quad \forall c, m \quad (56)$$

$$GA_{bsv}, GB_{bvk}, GC_{bkm}, GD_{bmo}, GE_{bot}, GF_{btv}, GH_{btu}, GR_{btj}, LA_{vd}, LB_{kd}, LC_{od}, LD_{td}, LE_{ud}, LF_z \in \{0,1\} \quad (57)$$

$$FA_{fsvb}, FB_{cvkb}, FC_{ckmb}, FD_{cmob}, FG_{cotb}, FH_{ctvb}, FI_{ctub}, FK_{ctjb}, FL_{cv} \geq 0 \quad (58)$$

محدودیت‌های (۴) تا (۸) تضمین می‌نمایند که مراکز تولید، توزیع، جمع‌آوری، بازیافت و انهدام حداکثر با یک سطح ظرفیت احداث شوند. محدودیت‌های (۹) تا (۱۳) ماکزیمم تعداد مراکز توزیع، تولید، جمع‌آوری، بازیافت و انهدام که پتانسیل احداث را دارا می‌باشند محدود می‌کنند. محدودیت‌های (۱۴) تا (۲۱) محدودیت ظرفیت حمل جریان محصول بین مراکز مختلف را نشان می‌دهد. محدودیت‌های (۲۲) تا (۲۸) نشان می‌دهند که حداکثر یک نوع تسهیل برای انتقال جریان بین تسهیلات وجود دارد. محدودیت‌های (۲۹) تا (۳۱) نشان می‌دهد که جریان ورودی به مراکز بزرگ‌تر و یا مساوی با جریان خروجی آن است. محدودیت‌های (۳۲) تا (۳۹) نشان می‌دهند که باید محصولی بین تسهیل مراکز مختلف برقرار شود تا وسیله‌ای برای حمل انتخاب گردد. محدودیت‌های (۴۰) تا (۴۷) تضمین می‌کنند 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. محدودیت (۴۸) نشان می‌دهد که مراکز تولید برای تولید محصول به نسبتی از مواد اولیه که توسط تأمین کنندگان فراهم می‌گردد، نیاز دارند. محدودیت (۴۹) تضمین می‌کند که برای هر ماده اولیه، مجموع جریان‌های خروجی از هر تأمین‌کننده به تمامی مراکز تولید از ظرفیت تأمین‌کننده تجاوز نمی‌کند. محدودیت‌های (۵۰) تا (۵۴) حداکثر ظرفیت مجاز را برای مراکز تولید، توزیع، جمع‌آوری، بازیافت و انهدام نشان می‌دهند. محدودیت (۵۵) بیان گر این است که جریان محصول رسیده به مشتریان از طریق مراکز توزیع حداکثر برابر با تقاضا خواهد بود. محدودیت (۵۶) نشان دهنده ارتباط تقاضای مشتری با جریان محصولات بازگشتی از مشتریان به مراکز جمع‌آوری است. محدودیت‌های (۵۷) و (۵۸) به ترتیب نشان دهنده محدودیت‌های ضروری منطقی روی متغیرهای تصمیم گسسته و پیوسته می‌باشند.

الگوریتم ژنتیک چندهدفه: از سال ۱۹۶۰ تقلید از پدیده‌های طبیعی برای استفاده از الگوریتم‌های قوی جهت حل مسائل مشکل بهینه‌سازی مورد توجه قرار گرفت که تکنیک‌های محاسبه تکاملی^۱ نام گرفتند. الگوریتم ژنتیک^۲ اولین بار توسط جان هالند در دانشگاه میشیگان پیشنهاد شد. روش‌های بهینه‌سازی الهام گرفته از طبیعت با روش‌های متعارف بهینه‌سازی تفاوت مهمی دارند. در روش‌های متعارف هر جواب کاندیدای جدید در صورتی به‌عنوان جواب جدید انتخاب می‌شود که مقدار تابع هدف را بهبود بخشد ولی در الگوریتم‌های الهام گرفته از طبیعت به تمام جواب‌های کاندیدای جدید شانس انتخاب داده می‌شود. الگوریتم ژنتیک تفاوت‌هایی اساسی با روش‌های بهینه‌سازی متداول دارد که می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

الگوریتم ژنتیک با مجموعه جواب‌های کدگذاری شده کار می‌کند نه با خود آن‌ها.

¹ Evolutionary Algorithms

² Genetic Algorithm



الگوریتم ژنتیک در یک جمعیت از جواب‌ها و با مجموعه‌ای از آن‌ها شروع به جستجو می‌کند نه با یک جواب. الگوریتم ژنتیک از قواعد احتمالی استفاده می‌کند نه از قواعد قطعی. مفاهیمی که در الگوریتم ژنتیک بسیار کاربرد دارد به شرح زیر می‌باشد:

کروموزوم: اساس الگوریتم ژنتیک تبدیل هر مجموعه جواب به کدینگ است. این کد را اصطلاحاً کروموزوم می‌نامند. به کروموزوم فرد، رشته یا ساختار گفته می‌شود.

فنو تایپ: هر کروموزوم متناظر با یک مجموعه جواب از مسئله است. مجموعه متناظر با هر کروموزوم را یک فنوتایپ می‌گویند.

ژن: عناصر تشکیل دهنده یک کروموزوم که معمولاً اعداد هستند را ژن می‌گویند. ژن‌ها را ترکیب، نشان و رمزگشا نیز می‌نامند.

مکان: مکان قرار گرفتن ژن در کروموزوم را مکان گویند.

جمعیت: مجموعه‌ای از کروموزوم‌ها را جمعیت گویند.

نسل: هر تکرار از الگوریتم را یک نسل گویند.

مراحل این الگوریتم به شرح زیر می‌باشد (سوئلو^۱ و همکاران، ۲۰۰۷).

۱. ایجاد جمعیت اولیه
۲. محاسبه معیار برازندگی^۲
۳. مرتب کردن جمعیت براساس شرط غلبه کردن^۳: با بررسی غالب و مغلوب بودن طبق اصل پارتو به رتبه‌بندی می‌پردازد. بدین ترتیب هر جوابی توسط جواب‌های دیگر مغلوب نشد به‌عنوان فرانت اول در نظر گرفته شده و پس از مشخص کردن تمامی اعضای فرانت اول پارتو این اعضا از بین تمامی اعضا حذف می‌شوند.
۴. محاسبه فاصله ازدحام
۵. انتخاب: به‌محض اینکه جمعیت اولیه براساس شرط‌های غلبه کردن مشخص شد، مقدار فاصله ازدحام در آن محاسبه شده و انتخاب از میان جمعیت اولیه آغاز می‌شود. انتخاب براساس رتبه کمتر و فاصله ازدحام بیشتر صورت می‌گیرد.
۶. انجام تقاطع و جهش برای تولید فرزندان جدید
۷. تلفیق جمعیت اولیه و جمعیت به‌دست‌آمده از تقاطع و جهش
۸. جایگزین کردن جمعیت والدین با بهترین اعضای جمعیت تلفیق شده در مراحل قبل. اعضای که رتبه پایین تری دارند جایگزین والدین قبلی شده و سپس براساس فاصله ازدحام مرتب می‌شوند.
۹. تکرار تا رسیدن به شرط بهینگی

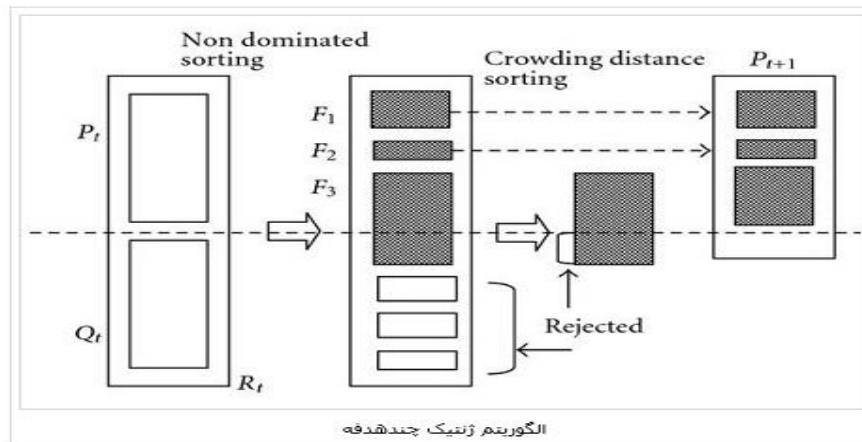
شکل (۳) فرآیند این الگوریتم را به‌طور خلاصه نشان می‌دهد (سوئلو^۴ و همکاران، ۲۰۰۷). در شکل (۳)، P جمعیت اولیه، Q جمعیت حاصل از تقاطع و جهش، F جبهه پارتو می‌باشد.

¹ Coello

² Calculation the fitness

³ Non dominated Sorting

⁴ Coello



شکل ۳- فرآیند الگوریتم ژنتیک چندهدفه

یافته‌های تحقیق

در این قسمت از الگوریتم ژنتیک چندهدفه (NSGA-II) برای حل مدل پیشنهادی استفاده شده است. در الگوریتم ژنتیک چندهدفه تعداد تکرار ۳۰۰، تعداد جمعیت اولیه (یا در این الگوریتم تعداد اعضای پارتو فرانت اول) ۶۰، نرخ تقاطع برابر با ۰.۳، نرخ جهش برابر با ۰.۲ در نظر گرفته شده است. نرم‌افزار مورد استفاده برای حل، MATLAB می‌باشد.

زنجیره تأمین مورد بررسی دارای شش تأمین‌کننده ($s=1, \dots, 6$)، سه مرکز بالقوه تولیدی ($v=1, \dots, 3$)، پنج مرکز بالقوه توزیع ($k=1, \dots, 5$)، ۱۰ خوشه مشتری ($m=1, \dots, 10$)، چهار مرکز بالقوه جمع‌آوری ($o=1, \dots, 4$)، چهار مرکز بالقوه بازیافت ($t=1, \dots, 4$)، سه مرکز بالقوه انهدام ($u=1, 2, 3$)، شش مرکز مشتری در بازار ثانویه ($j=1, \dots, 6$)، پنج نوع ماده اولیه برای تولید محصولات ($f=1, \dots, 5$)، دو سطح ظرفیت ($d=1, 2$) و دو نوع وسیله حمل و نقل ($b=1, 2$) و سه نوع بسته حمایتی از کارکنان ($z=1, 2, 3$) می‌باشد. مقادیر توابع هدف برای مطالعه موردی تحقیق با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه به‌ازای مقادیر مختلف درجه برقراری محدودیت (α) در جدول (۱) ارائه شده است.

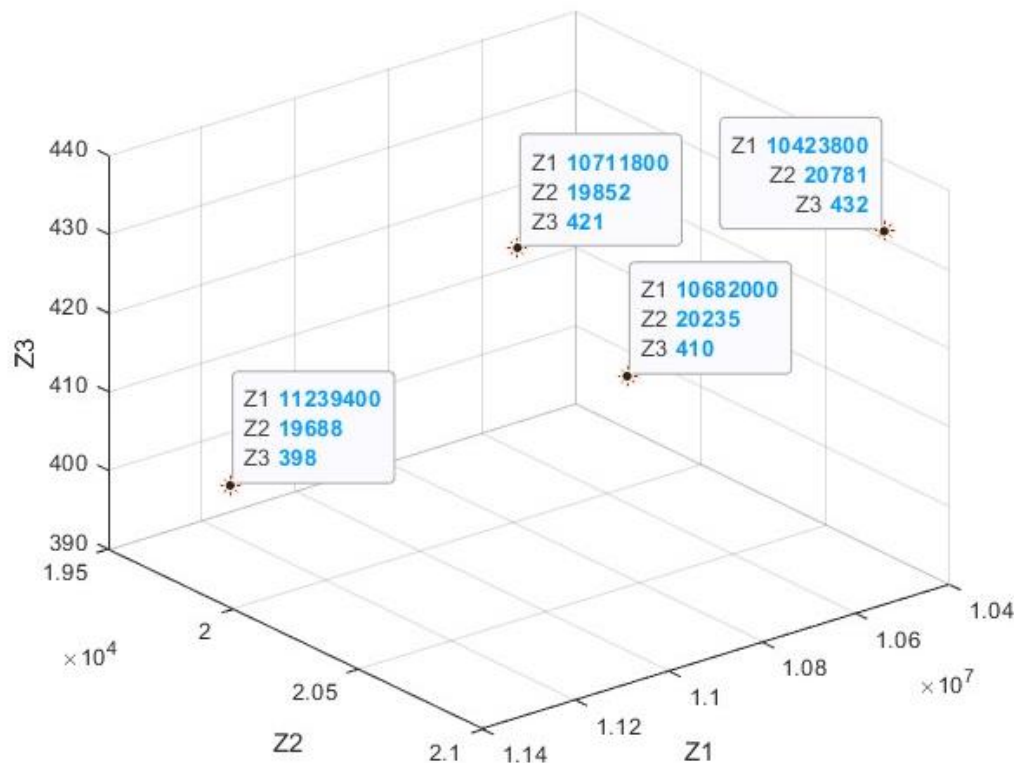
جدول ۱- مقادیر توابع هدف به‌ازای حل با الگوریتم ژنتیک چندهدفه

الگوریتم	مقدار آلفا	Z1 مقدار تابع هدف	Z2 مقدار تابع هدف	Z3 مقدار تابع هدف
الگوریتم حل	خیمنز	اقتصادی	زیست‌محیطی	اجتماعی
الگوریتم ژنتیک چندهدفه	۰.۶	۱۰۴۲۳۷۷۲	۲۰۷۸۱	۴۳۲
	۰.۷	۱۰۶۸۲۰۰۵	۲۰۲۳۵	۴۱۰
	۰.۸	۱۰۷۱۱۸۴۳	۱۹۸۵۲	۴۲۱
	۰.۹	۱۱۲۳۹۴۲۱	۱۹۶۸۸	۳۹۸

توضیح اینکه از آنجایی که در مدل قطعی ارائه شده مقادیر مختلف α مورد استفاده قرار گرفته است لذا مقادیر توابع هدف به‌ازای هر یک از این مقادیر در جدول مذکور ارائه شده است (فتحی^۱ و همکاران، ۲۰۱۹). مقادیر توابع هدف در جدول (۱) در واقع یکی از دسته جواب‌های پارتو می‌باشد که با استفاده از الگوریتم مذکور به‌دست‌آمده است. توضیح اینکه جواب مذکور نزدیک‌ترین جواب به

¹ Fathi

جواب بهینه می‌باشد. همان طور که از نتایج نمایش داده شده در جدول ۱ بر می‌آید، دو تابع هدف اقتصادی و زیست‌محیطی با یکدیگر در تضاد هستند. به این معنا که حرکت هر یک به سمت مطلوب مستلزم حرکت تابع هدف دیگر به سمت نامطلوب خواهد بود. شکل پارتو برای الگوریتم به کار رفته به‌ازای مقادیر مختلف آلفا نشان داده شده‌است. شکل (۴) جواب پارتو الگوریتم ژنتیک چندهدفه با ۳۰۰ تکرار را نشان می‌دهد.



شکل ۴- پارتو فرانت به‌ازای مقادیر مختلف آلفا خیمز

بحث و نتیجه‌گیری

امروزه با ظهور مفاهیم پایداری و تشدید فشارهای اجتماعی برای کاهش تأثیرات منفی فعالیت صنایع بر محیط زیست و اجتماع، اتخاذ تصمیماتی مانند طراحی شبکه زنجیره تأمین بدون توجه به این ملاحظات تقریباً ناممکن است. در این پژوهش یک مدل برنامه ریاضی چند هدفه ارائه شده‌است. این مدل به‌گونه‌ای طراحی شده که شامل چهار سطح (تأمین، تولید، توزیع و مشتریان دسته اول) در شبکه رو به سمت جلو و چهار سطح (مراکز جمع‌آوری، مراکز بازیافت، مراکز انهدام و مشتریان دسته دوم) در شبکه برگشتی می‌باشند. مدل دارای سه تابع هدف (۱) حداقل کردن هزینه کل، (۲) حداقل کردن اثرات زیست‌محیطی و (۳) حداکثر کردن اثرات اجتماعی زنجیره تأمین می‌باشد. تابع هدف هزینه شامل هزینه خرید (تهیه مواد اولیه از تأمین کنندگان و هزینه خرید محصولات برگشتی از مشتریان)، 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 و هزینه ثابت راه اندازی می‌باشد. در تابع هدف دوم همواره سعی شده‌است تا اثرات زیست‌محیطی که به محیط زیست تأثیرات نامطلوبی می‌گذارد، حداقل گردد. در این مقاله حداقل کردن گاز کربن‌دی‌اکسید ناشی از انتقال جریان بین تسهیلات به‌عنوان تابع هدف زیست‌محیطی در نظر گرفته شده‌است. تابع هدف



سوم دربرگیرنده شاخص رفاه کارکنان می باشد. می باشد. در این پژوهش مدل برنامه ریزی پیشنهادی با الگوریتم ژنتیک چندهدفه حل شد. براساس نتایج حاصل از تحقیق، ملاحظات همزمان ابعاد اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی منجر به بهبود عملکرد زنجیره تأمین از نظر سودآوری و پاسخ گویی به نیازهای مشتریان می گردد. تابع هدف هزینه برای رسیدن به هزینه کمتر تمایل به ایجاد شبکه زنجیره تأمین با ساختار متمرکز دارد. بنابراین وقتی این تابع نسبت به سایر تابعها در اولویت قرار می گیرد، تسهیلات کم تری نسبت به حالتی که سایر توابع در اولویت قرار می گیرند، احداث می شوند. تابع هدف زیست محیطی تمایل به ایجاد شبکه با ساختار غیر متمرکز جهت کاهش اثرات زیست محیطی را دارد. همان طور که نتایج نشان می دهد مدل پیشنهادی قادر می باشد به خوبی طیفی از جوابهای بهینه پارتو را با توجه به میزان مختلف برقراری محدودیتها، جهت تعیین تصمیم نهایی ارائه نمایند. این جوابها بسته به اولویت اعلام شده برای اهداف بین سه بعد پایداری توازن مناسب را ایجاد می کنند. پیشنهادهای برآمده از این تحقیق شامل موارد زیر است:

- در نظر گرفتن دیگر توابع هدف مانند حداکثر کردن انعطاف پذیری
 - مدل سازی مسئله براساس رویکردهای بهینه سازی استوار و همچنین مدل سازی مسئله براساس روشهای برنامه ریزی احتمالی که در آن تابع توزیع پارامترها مشخص است.
 - مدل سازی مسئله به صورت چند دوره ای به گونه ای که تقاضا در دوره های مختلف تغییر کند.
- می توان سایر آلاینده های و هدر رفتها را در تابع هدف زیست محیطی لحاظ نمود.

منابع

- Abualigah, L., Hanandeh, E. S., Zitar, R. A., Thanh, C. Le, Khatir, S., & Gandomi, A. H. (2023). Revolutionizing sustainable supply chain management: A review of metaheuristics. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 126. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106839>
- Alfina, K. N., & Ratnayake, R. M. C. (2019). Supply Chain Optimization in the Tire Industry: State-of-the-Art. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 567. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29996-5_7
- Amin, S. H., & Baki, F. (2017). A facility location model for global closed-loop supply chain network design. *Applied Mathematical Modelling*, 41. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2016.08.030>
- Amirian, S., Amiri, M., & Taghavifard, M. T. (2023). Designing a closed loop supply chain network with a sustainability and reliability approach. *Green Development Management Studies*, 2(1), 77-100. [doi: 10.22077/jgmd.2023.6340.1030](https://doi.org/10.22077/jgmd.2023.6340.1030)
- Bansal, P., & DesJardine, M. (2014). Business sustainability: It is about time. *Strategic Organization*, 12(1). <https://doi.org/10.1177/1476127013520265>
- Bartolozzi, I., Mavridou, S., Rizzi, F., & Frey, M. (2015). Life cycle thinking in sustainable supply chains: The case of rubberized asphalt pavement. *Environmental Engineering and Management Journal*, 14(5). <https://doi.org/10.30638/eemj.2015.131>
- Bayanati, M., Peivandizadeh, A., Heidari, M. R., Foroutan Mofrad, S., Sasouli, M. R., & Pourghader Chobar, A. (2022). Prioritize Strategies to Address the Sustainable Supply Chain Innovation Using Multicriteria Decision-Making Methods. *Complexity*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/1501470>



- Bhattacharya, S., & Kalakbandi, V. K. (2023). Barriers to circular supply chain: the case of unorganized tire retreading in India. *International Journal of Logistics Management*, 34(3). <https://doi.org/10.1108/IJLM-04-2022-0162>
- Biuki, M., Kazemi, A., & Alinezhad, A. (2020). An integrated location-routing-inventory model for sustainable design of a perishable products supply chain network. *Journal of Cleaner Production*, 260. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120842>
- Brandenburg, M., Govindan, K., Sarkis, J., & Seuring, S. (2014). Quantitative models for sustainable supply chain management: Developments and directions. *European Journal of Operational Research*, 233(2). <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.09.032>
- Burgess, K., Singh, P. J., & Koroglu, R. (2006). Supply chain management: a structured literature review and implications for future research. *International Journal of Operations & Production Management*, 26(7), 703–729. <https://doi.org/10.1108/01443570610672202>
- Castañeda Rodríguez, I., & Espinoza Pérez, A. T. (2023). Towards the Development of Sustainable Supply Chains for the End-of-Life Tires Management: Insights from a Literature Approach. In *Lecture Notes in Logistics*. 15. Part F268. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-32032-3>
- Chaabane, A., Ramudhin, A., & Paquet, M. (2012). Design of sustainable supply chains under the emission trading scheme. *International Journal of Production Economics*, 135(1). <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.10.025>
- Chopra, S., Meindl, P., & Kalra, D. V. (2007). *Supply Chain Management* by Pearson. Pearson Education India. https://books.google.com/books/about/Supply_Chain_Management_by_Pearson.html?id=CO-DwAAQBAJ
- Coello, C.A., Lamont, G.B., Van Veldhuizen, D.A. (2007). *Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems*, Springer, 2nd Ed., New York, USA, 12 (4), 372–385. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-0-387-36797-2>
- Ebrahimi, S. B. (2018). A stochastic multi-objective location-allocation-routing problem for tire supply chain considering sustainability aspects and quantity discounts. *Journal of Cleaner Production*, 198. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.059>
- Fathi, M. R., Nasrollahi, M., & Zamanian, A. (2020). Mathematical Modeling of Sustainable Supply Chain Networks under Uncertainty and Solving It Using Metaheuristic Algorithms. *Industrial Management Journal*, 11(4), 621-652. doi: 10.22059/imj.2019.280393.1007588
- Ganji, E. N., Shah, S., & Coutroubis, A. (2017). Sustainable supply and demand chain integration within global manufacturing industries. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 2017-December. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2017.8290203>
- Goyal, P., Rahman, Z., & Kazmi, A. A. (2013). Corporate sustainability performance and firm performance research: Literature review and future research agenda. In *Management Decision* (Vol. 51, Issue 2). <https://doi.org/10.1108/00251741311301867>
- Jabbarzadeh, A., Haughton, M., & Khosrojerdi, A. (2018). Closed-loop supply chain network design under disruption risks: A robust approach with real world application. *Computers and Industrial Engineering*, 116. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.12.025>



- Jandaghi, G. R., Fathi, M. R., Madadi, E., & Razi moheb seraj, S. (2022). Mathematical Modeling of Tire's Multi-Objective Supply Chain Network at Uncertainty circumstances and solving it using Meta-Heuristic algorithms. *Logistics Thought*, 21(82), 157-184. [doi: 10.22034/lot.2022.1266640.1173](https://doi.org/10.22034/lot.2022.1266640.1173)
- Kara, S. S., & Onut, S. (2010). A two-stage stochastic and robust programming approach to strategic planning of a reverse supply network: The case of paper recycling. *Expert Systems with Applications*, 37(9). <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.02.116>
- Kheybari, S., Davoodi Monfared, M., Salamirad, A., & Rezaei, J. (2023). Bioethanol sustainable supply chain design: A multi-attribute bi-objective structure. *Computers and Industrial Engineering*, 180. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109258>
- Kiani Mavi, R., Hosseini Shekarabi, S. A., Kiani Mavi, N., Arisian, S., & Moghdani, R. (2023). Multi-objective optimisation of sustainable closed-loop supply chain networks in the tire industry. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 126. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.107116>
- Motevalli-Taher, F., Paydar, M. M., & Emami, S. (2020). Wheat sustainable supply chain network design with forecasted demand by simulation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 178. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105763>
- Pishvae, M.S., Kianfar, K., Karimi, B. (2010). Reverse logistics network design using simulated annealing, *international journal of Advanced Manufacturing Technology*, 47, 269-281. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-009-2194-5>
- Sahebjamnia, N., Fathollahi-Fard, A. M., & Hajiaghaei-Keshteli, M. (2018). Sustainable tire closed-loop supply chain network design: Hybrid metaheuristic algorithms for large-scale networks. *Journal of Cleaner Production*, 196. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.245>
- Seydanlou, P., Sheikhalishahi, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Fathollahi-Fard, A. M. (2023). A customized multi-neighborhood search algorithm using the tabu list for a sustainable closed-loop supply chain network under uncertainty. *Applied Soft Computing*, 144. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110495>
- Soleimani, H., Govindan, K., Saghafi, H., & Jafari, H. (2017). Fuzzy multi-objective sustainable and green closed-loop supply chain network design. *Computers and Industrial Engineering*, 109. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.04.038>
- Taleizadeh, A.A., Haghghi, F., Niaki, S.T., (2019). Modeling and solving a sustainable closed loop supply chain problem with pricing decisions and discounts on returned products, *Journal of cleaner production*. 207, 163-181. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.198>
- Tiwari, A., Chang, P. C., Tiwari, M. K., & Kandhway, R. (2016). A Hybrid Territory Defined evolutionary algorithm approach for closed loop green supply chain network design. *Computers and Industrial Engineering*, 99. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.05.018>
- Zarei-Kordshouli, F., Paydar, M. M., & Nayeri, S. (2023). Designing a dairy supply chain network considering sustainability and resilience: a multistage decision-making framework. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 25(9). <https://doi.org/10.1007/s10098-023-02538-8>