Industrial Management Journal
Print ISSN: 2008-5885
Online ISSN: 2423-5369

Utilizing Vehicular Ad Hoc Networks (VANET) for the Design of an Industrial Waste Reverse Supply Chain: A Case Study in the Iranian Automotive Industry

Arash Eslampanah
Ph.D. Candidate, Department of Industrial Management, Alborz Campus, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: arash.eslampanah@ut.ac.ir

Ahmad Jafarnezhad *
*Corresponding Author, Prof., Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Management and Technology, School of Management, Tehran, Iran. E-mail: jafarnjd@ut.ac.ir

Jalil Heidary
Associate Prof., Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Management and Technology, School of Management, Tehran, Iran. E-mail: heidaryd@ut.ac.ir

Mohammadreza Taghizadeh-Yazdi
Prof., Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Management and Technology, School of Management, Tehran, Iran. E-mail: mrtaghizadeh@ut.ac.ir

Abstract

Objective

In recent years, there has been a growing global concern regarding the escalating production of waste. As countries continue to industrialize, the challenge of managing and disposing of waste properly has become a daily issue. Consequently, the fate of industrial goods and products has become a topic of significant interest to consumers. Waste management operations and network design in the automotive industry differ in certain aspects from those in other industries. This difference basically comes from the complex structure of the supply chain in the automotive industry. A large number of sectors are involved in the supply chain, which makes it difficult to control and manage the reverse network. In addition, the high customization in cars means that the parts or components are not the same, and for this reason, it is difficult to predict the recycling of parts or materials. Also, the world is currently confronted not only with the challenges of environmental preservation and sustainability but also with rapid technological advancements in digitization and automation. This study aims to develop an industrial waste reverse supply chain network mathematical model (Iranian automotive industry) using the vehicular ad hoc network (VANET).

Methods

To maximize the economic benefits and minimize the environmental and social impacts, a multi-objective (multicriteria) mixed integer programming (MOMIP) facility location mathematical model was developed in the present study for a sustainable supply chain. The economic goal includes aspects such as income and costs within the supply chain, the environmental goal focuses on factors like carbon emissions during transportation and operations, and the social goal encompasses various elements such as annual accident rates, the well-being of drivers, the residential locations of the workforce, and workforce recruitment and termination. Also, to calculate more accurately, the amount of carbon emissions based on the duration of transportation in the supply chain used vehicular ad hoc network (VANET). Real data for the Iranian automotive industry and GAMS were used for model solution.

Results

The proposed multi-objective mathematical model was solved using the enhanced epsilon constraint method in GAMS based on data obtained from the Iranian automotive industry. The results demonstrate the model's validation accuracy and indicate that the proposed model exhibits strong efficiency, making it well-suited for the Iranian case study.

Conclusion

The results showed that the reverse supply chain is efficient over time by considering the recycling of waste products at the same time as the economic, environmental, and social dimensions, as well as taking into account VANET. The model could determine the centers of dismantling facility, processing facility, and recycling according to the objectives of selection and the flow of materials between the centers. Sensitivity analysis also showed that changes to the parameter of culture making to advertise used car sales have a significant effect on the objective functions.

Keywords: Sustainable supply chain, Automotive industry, Multiobjective model, Enhanced epsilon constraint.

Citation: Eslampanah, Arash; Jafarnezhad, Ahmad; Heidary, Jalil & Taghizadeh-Yazdi, Mohammadreza (2023). Utilizing Vehicular Ad Hoc Networks (VANET) for the Design of an Industrial Waste Reverse Supply Chain: A Case Study in the Iranian Automotive Industry. *Industrial Management Journal*, 15(3), 447-477. (*in Persian*)

Industrial Management Journal, 2023, Vol. 15, No 3, pp. 447-477
Published by University of Tehran, Faculty of Management
https://doi.org/10.22059/IMJ.2023.363361.1008069
Article Type: Research Paper
© Authors
Received: May 04, 2023
Received in revised form: August 07, 2023
Accepted: September 04, 2023
Published online: October 21, 2023

مدیریت صنعتی
شاپا چاپی: ۵۸۸۵-۲۰۰۸
شاپا الکترونیکی: ۵۳۶۹-۲۴۲۳

طراحی شبکه زنجیره تأمین معکوس پسماندهای صنعتی با به‌کارگیری سیستم بین خودرویی هوشمند (VANET) (مورد مطالعه: خودروسازی ایران)

آرش اسلام پناه
دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی، پردیس البرز، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: arash.eslampanah@ut.ac.ir

احمد جعفرنژادچقوشی *
* نویسنده مسئول، استاد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت صنعتی و فناوری، دانشکدگان مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: jafarnjd@ut.ac.ir

جلیل حیدری دهوئی
دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت صنعتی و فناوری، دانشکدگان مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: heidaryd@ut.ac.ir

محمدرضا تقی زاده یزدی
استاد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت صنعتی و فناوری، دانشکدگان مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: mrtaghizadeh@ut.ac.ir

چکیده

هدف: در سال‌های اخیر، نگرانی‌های جهانی در خصوص تولید بی‌وقفه زباله افزایش یافته است و هم‌زمان با صنعتی‌تر شدن، کشورها بیش از پیش با مسئله دفع و انهدام صحیح زباله‌ها مواجهند؛ از این رو سرنوشت محصولات و کالاهای صنعتی، بسیار در کانون توجه مشتریان قرار گرفته است. عملیات مدیریت پسماند و طراحی شبکه برای صنعت خودرو، در بعضی موضوعات، شباهتی به صنایع دیگر ندارد. به‌طور کلی، این تفاوت، از ساختار پیچیده زنجیره تأمین در صنعت خودرو نشئت گرفته است. تعداد زیادی از بخش‌های زنجیره تأمین، کنترل و مدیریت شبکه معکوس را دشوار می‌کند. به‌علاوه، سفارشی‌سازی زیاد در خودروها، باعث می‌شود که قطعات یا اجزا مشابه نباشد که این موضوع پیش‌بینی بازیافت قطعات یا مواد را دشوار می‌کند. از سوی دیگر، جهان تنها با چالش‌های حفظ محیط زیست و پایداری مواجه نیست، بلکه با پیشرفت‌های تکنولوژیکی در دیجیتالیزاسیون و اتوماسیون هم مواجه است. هدف اصلی این پژوهش، ارائه مدل ریاضی شبکه زنجیره تأمین معکوس پسماندهای صنعتی (خودروسازی ایران) با در نظر گرفتن ابعاد پایداری و سیستم حمل‌ونقل هوشمند بین‌خودرویی (VANET) است.

روش: در این پژوهش با هدف به حداکثررساندن سود اقتصادی و به حداقل‌رساندن آثار زیست‌محیطی و اجتماعی، یک مدل ریاضی چندهدفه عدد صحیح، برای مسئله مکان‌یابی به‌منظور طراحی زنجیره تأمین پایدار ارائه شده است. اهداف اقتصادی شامل درآمد و هزینه‌های زنجیره تأمین، اهداف زیست‌محیطی شامل میزان انتشار کربن در حمل‌ونقل و عملیات‌ها و اهداف اجتماعی، شامل حوادث سالیانه، رفاه رانندگان، محل زندگی نیروی کار و استخدام و اخراج نیروی کار است. همچنین در مدل، برای محاسبه دقیق‌تر میزان انتشار کربن بر اساس مدت زمان حمل‌ونقل در زنجیره تأمین، سیستم حمل‌ونقل هوشمند بین‌خودرویی (VANET) ارائه شده است. برای حل مدل، از داده‌های واقعی خودروسازی کشور ایران و نرم‌افزار GAMS استفاده شده است.

یافته‌ها: مدل ریاضی چندهدفه پیشنهادی با استفاده از روش محدودیت اپسیلون تقویت‌شده در نرم‌افزار GAMS با داده‌های

به‌دست‌آمده از خودروسازی کشور ایران حل شد. نتایج نشان‌دهنده صحت مدل و اعتبارسنجی آن است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، مدل پیشنهادی ضمن داشتن کارایی مطلوب، این قابلیت را دارد که برای نمونه موردی کشور ایران استفاده شود.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که زنجیره تأمین معکوس، در طول زمان و با توجه به بازیافت محصول فرسوده با ملاحظات هم‌زمان ابعاد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی و در نظر گرفتن سیستم حمل‌ونقل هوشمند بین خودرویی کارآمد است. همچنین نتایج محاسباتی نشان می‌دهد که مدل ریاضی ارائه شده، توانسته است که مکان‌یابی تسهیلات، مسیریابی و جریان مواد بین تسهیلات را با در نظر رفتن اهداف سه‌گانه به‌دست آورد. مدل پیشنهادی مراکز اوراق و پیاده‌سازی، پردازش و فراوری و بازیابی را با توجه به اهداف انتخاب کرده و جریان مواد بین مراکز را تعیین کرده است. از طرفی، تحلیل حساسیت نشان داد که تغییرات روی پارامتر فرهنگ‌سازی تبلیغات برای فروش خودرو فرسوده و میزان انتشار کربن، تأثیر زیادی روی توابع هدف می‌گذارد.

کلیدواژه‌ها: زنجیره تأمین پایدار، صنعت خودرو، مدل چندهدفه، محدودیت اپسیلون تقویت‌شده.

استناد: اسلام پناه، آرش؛ جعفرنژادچقوشی، احمد؛ حیدری دهوئی، جلیل و تقی‌زاده یزدی، محمدرضا (۱۴۰۲). طراحی شبکه زنجیره تأمین معکوس پسماندهای صنعتی با به‌کارگیری سیستم بین خودرویی هوشمند (VANET) (مورد مطالعه: خودروسازی ایران). *مدیریت صنعتی*، ۱۵(۳)، ۴۴۷- ۴۷۷.

مدیریت صنعتی، ۱۴۰۲، دوره ۱۵، شماره ۳، صص.۴۴۷- ۴۷۷
ناشر: دانشکدهٔ مدیریت دانشگاه تهران
نوع مقاله: علمی پژوهشی
© نویسندگان
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۴
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۳
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۷/۲۹
doi: https://doi.org/10.22059/IMJ.2023.363361.1008069

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مقدمه

امروزه با توجه به جمعیت رو به رشد جهان چه در کشورهای توسعه یافته و چه در کشورهای در حال توسعه، سالانه حجم چشمگیری از زباله تولید می‌شود. تولید بی وقفه زباله امری اجتناب‌ناپذیر در جوامع شهری است و کشورها روزبه‌روز هم‌زمان با صنعتی‌تر شدن، با مسئله دفع و انهدام صحیح زباله‌ها مواجهند (آیدین[1]، ۲۰۲۰). آنچه به تازگی در کانون توجه پژوهشگران قرار گرفته، سرنوشت محصولات و کالاهای صنعتی نزد مشتریان است که به ایجاد مفهوم زنجیرهٔ تأمین معکوس منجر شده است. مدیریت زنجیرهٔ تأمین معکوس مستلزم مدیریت کارا و مؤثر یکسری فعالیت‌ها جهت بازگرداندن محصولات، قطعات و مواد نزد مشتری به منظور بهبود ارزش آن‌هاست (اکبرپور شیرازی، سمیعی فرد،عبدلی و امیدوار[2]، ۲۰۱۶).

مفهوم مهمی که امروزه در محیط زیست مطرح است، مدیریت بازیافت انواع پسماندها از جمله پسماندهای صنعتی است. بازیافت به‌معنای استفاده از کالاهای مصرف شده یا زباله‌های صنعتی، برای تبدیل مجدد آن‌ها به کالای استفاده‌کردنی است. برای مثال، کاغذ مصرف شده بعد از طی مراحل بازیافت، به کاغذ روزنامه و شانه‌های تخم مرغ تبدیل می‌شود. اولین نکته این است که منابع محدود و تجدیدناپذیرند و در نهایت روزی این منابع تمام می‌شود. بازیافت کالاها باعث می‌شود، کمتر از این منابع خام استفاده شود. دومین فایده آن این است که در مصرف انرژی هم صرفه‌جویی می‌شود و انرژی کمتری برای ساخت کالا مصرف می‌شود. سومین فایده آن این است که باعث می‌شود زباله‌های کمتری وارد محیط زیست شوند و علاوه بر ایجاد ظاهری نازیبا در طبیعت، عوارض جبران ناپذیری از خود بر جای می‌گذارد (دوان، عامر، لی، فوک و دات[3]، ۲۰۱۹).

عملیات مدیریت پسماند و طراحی شبکه برای صنعت خودرو در بعضی موضوعات بی‌شباهت به صنایع دیگر هستند. این تفاوت در کل از ساختار پیچیده زنجیرهٔ تأمین در صنعت خودرو می‌آید. تعداد زیادی از بخش‌ها در زنجیرهٔ تأمین قرار دارند که کنترل و مدیریت شبکه معکوس را دشوار می‌کند. به‌علاوه سفارشی‌سازی بالا در خودروها، باعث می‌شود قطعات یا اجزا مشابه نباشند و به این دلیل، پیش‌بینی بازیافت قطعات یا مواد دشوار است. موضوع بحرانی دیگر، پیچیدگی تکنیکی است. یک خودرو شامل چندین هزار قطعات و انواع گوناگون مواد مانند مواد آهنی/ غیرآهنی، پلاستیک‌ها، منسوجات، غیره است و بنابراین تعداد زیادی از بخش‌ها در زنجیرهٔ تأمین درگیر هستند. همچنین عملیات جداسازی خودروهای EOL[4] یا خودروهای کارکرده در مقایسه با بخش‌های دیگر نیازمند ابزارهادر مقیاس بزرگ و تکنیک‌های پیاده‌سازی در سطح بالا هستند (چان، چان و جیان[5]، ۲۰۱۲).

در کشور ایران با توجه به وضعیت ناپایدار اقتصادی و افزایش قیمت خودروهای بدون کارکرد و قیمت پایین خرید خودروهای فرسوده، مصرف‌کنندگان این خودروها به اسقاط خودروهای فرسوده خود اقدام نمی‌کنند که این امر باعث افزایش روزافزون خودروهای فرسوده و مضرات ناشی از آن شده است. از طرفی در حال حاضر ۲۲۰ مرکز اسقاط

1. Aydin
2. Akbarpour Shirazi, Samieifard, Abduli & Omidvar
3. Doan, Amer, Lee, Phuc & Dat
4. End of Life
5. Chan, Chan & Jain

خودروهای فرسوده در ایران ثبت شده است که طبق گفته مسئولان این حوزه، بیش از ۷۰ درصد آن‌ها با توجه به عدم استقبال مصرف‌کنندگان و عدم وجود قوانین الزام‌آور غیرفعال هستند.

هدف این مقاله، بازطراحی شبکه زنجیرهٔ تأمین در صنعت خودروسازی با در نظر گرفتن هر سه بُعد پایداری و در نظر گرفتن سیستم حمل‌ونقل هوشمند بین‌خودرویی است.

برای طراحی شبکه زنجیرهٔ تأمین پایدار، تأثیر بالقوه هر عملی باید در سه بعد اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی درک شود. این اثر، نه تنها بایستی به‌صورت داخلی در شرکت در نظر گرفته شود، بلکه تا آنجا که ممکن است، باید در ارتباط با شرکای کسب‌وکار و محیط خارجی نیز لحاظ شود. جنبه زیست‌محیطی پایداری زنجیرهٔ تأمین به راهبرد خرید در اعضای زنجیرهٔ تأمین بستگی دارد. اغلب مدل‌های پیشین، برای ارزیابی تأمین‌کننده، بر مسائلی همچون هزینه، کیفیت، زمان تحویل و غیره متمرکز بوده‌اند؛ اما به انتشار گاز کربن توجه کافی نکرده‌اند. اخیراً اعضای زنجیرهٔ تأمین تحت فشار فزاینده‌ای برای کاهش انتشار گاز کربن در زنجیره تأمین قرار گرفته‌اند.

در سال‌های اخیر، شرکت‌ها و دانشگاهیان به حوزه مدیریت زنجیرهٔ تأمین پایدار به‌طور چشمگیری علاقه‌مند شده‌اند؛ به‌گونه‌ای که این موضوع با مرور مقاله‌های منتشر شده در مجله‌ها مشاهده می‌شود. با این حال، اغلب پژوهش‌ها به مسائل سبز توجه داشته‌اند و بررسی جنبه‌های اجتماعی و نیز مطالعات مربوط به ادغام سه بُعد پایداری هنوز هم نادر است.

از طرفی، جهان تنها با چالش‌های حفظ محیط زیست و پایداری مواجه نیست، بلکه با پیشرفت‌های تکنولوژیکی در دیجیتالیزاسیون و اتوماسیون هم مواجه است. انقلاب صنعتی چهارم را می‌توان با گستره‌ای از فناوری‌های نوین تعریف کرد. این انقلاب، جهان‌های فیزیکی، دیجیتالی و زیستی را به یکدیگر جوش داده و بر همهٔ رشته‌ها، اثر خود را فرود می‌آورد. از این رو، مقولات انقلاب صنعتی چهارم، نه تنها در صنایع و فناوری‌های آینده بازتاب دارد؛ بلکه بر ماهیت فرد، اقتصاد و جهان کسب‌وکار نیز اثرهای مثبت از خود نشان خواهد داد (خاکیم حبیبیا و همکاران[1]، ۲۰۱۷).

ازدحام در یک شبکه حمل‌ونقل معمولاً نتیجه افزایش تقاضای ترافیک است، برای مثال، تمایل رانندگان به استفاده از شبکه حمل‌ونقل یا کاهش عرضه ترافیک، یعنی ظرفیت ترافیک که تحت تأثیر شرایط آب و هوایی، حوادث و غیره است. در این صورت، ازدحام کارایی حمل‌ونقل را کاهش می‌دهد و همچنین باعث افزایش زمان حمل‌ونقل و افزایش اثرات مخرب زیست‌محیطی مانند افزایش انتشار کربن خواهد شد. استفاده از فناوری‌هایی همچون ارتباطات، وسیلهٔ نقلیه به وسیلهٔ نقلیه (V2V) و وسیلهٔ نقلیه به زیرساخت (I2V) در سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند (ITS) برای بهینه‌سازی تخصیص ترافیک در شبکه‌های حمل‌ونقل مؤثر بوده و کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی خواهد شد (کولاکزیان و همکاران، ۲۰۱۹)

در این پژوهش، در راستای نگرانی‌های جهانی آثار زیست‌محیطی و اجتماعی و فعالیت‌های اقتصادی، نیاز ملی و هدف‌گذاری موجود در سطح کلان کشور و از طرفی خلأیی که در ادبیات موضوع دیده می‌شود، توسعه پایدار در مسئله طراحی شبکه زنجیرهٔ تأمین بررسی خواهد شد. با توجه به اهمیت مدیریت پایان عمر محصول‌ها در چارچوب توسعه

1. Khakim Habibia et al.

پایدار، طراحی شبکه زنجیرهٔ تأمین پایدار و معکوس صنعت خودروسازی مد نظر قرار گرفته است. این موضوع با توجه به نیازهای اساسی کشور، ماهیت بین رشته‌ای و خلأ جدی در ادبیات، از اهمیت خاصی برخوردار است. این مقاله یک برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط چند هدفه بیشینه‌سازی سود با در نظر گرفتن مراکز پردازش و فراوری، کمینه‌سازی اثرهای زیست‌محیطی با استفاده از این مراکز و به‌کارگیری سیستم حمل‌ونقل هوشمند بین‌خودرویی و کمینه‌سازی اثرهای اجتماعی در راستای انتخاب بهینه مراکز اوراق و پیاده‌سازی با توجه به داده‌های واقعی کشور ایران ارائه کرده است.

پیشینهٔ نظری پژوهش

امروزه مدیریت پسماند جایگاه ویژه‌ای دارد. استفاده از پسماندهای صنعتی دارای مزایای بسیاری برای دولت‌ها و صنایع است، از این‌رو محققان زیادی به بررسی مدیریت پسماند و گردآوری خودروهای فرسوده پرداخته‌اند. از جمله، هوگلند و سنتیس[1] (۲۰۱۰) مطالعهٔ تحت عنوان ارزیابی و تجزیه و تحلیل سیستم مدیریت مواد زائد صنعتی انجام دادند که در این مطالعه سیستم مدیریت پسماند در سوئد مورد بررسی قرار گرفت. ساسیکومار، کانان و نورالحق[2] (۲۰۱۰) یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط برای حداکثرسازی سود شبکه لجستیک معکوس چند سطحی ارائه کردند و همچنین یک مطالعه موردی واقعی از بازتولید تایر کامیون برای بخش بازار ثانویه انجام دادند. جهت حل مدل نیز از نرم‌افزار لینگو[3] استفاده شده است. آچیلاس و همکاران[4] (۲۰۱۰) یک ابزار پشتیبانی تصمیم برای قانون‌گذاران، به‌منظور بهینه‌سازی شبکه زنجیرهٔ تأمین معکوس محصولات الکترونیکی ارائه کردند. جهت تأثیرگذاری، یک مدل ریاضیاتی برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط که شالوده موجود، نقاط جمع‌آوری و تسهیلات بازیافت را مدنظر قرار دهد، ارائه شده است. محمودزاده، منصور و کریمی[5] (۲۰۱۱) به ارائه مدل گردآوری خودروهای فرسوده با در نظر گرفتن لجستیک طرف سوم پرداخته‌اند. آن‌ها برای این مسئله یک مدل تک هدفه با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های شبکه ارائه دادند که جهت بررسی اعتبار مدل، یک مثال عدد طراحی کرده و با نرم‌افزارهای ریاضی حل کردند.

اینه و اوزترک[6] (۲۰۱۵) به مدل‌سازی مسئله لجستیک معکوس گردآوری خودروهای فرسوده پرداخته اند. آن‌ها یک مدل ریاضی تک هدفه با هدف بیشینه‌سازی سود شبکه ارائه داده و مدل را با استفاده از نرم‌افزار لینگو استفاده کرده‌اند. یو و سلوانگ[7] (۲۰۱۶) یک مدل چندهدفه برای شبکه لجستیک معکوس برای جمع‌آوری و استفاده مجدد محصولات جهت تصمیم‌گیری در سطوح استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی ارائه داده‌اند. سینگ، ماهاجان و بقایی[8] (۲۰۱۶)، سیستم مدیریت هوشمند پسماند با استفاده از شبکه سنسورهای بی‌سیم را در قالب یک سیستم ۳ لایه شامل سطل هوشمند،

1. Hogland & Stenis
2. Sasikumar, Kannan & Noorul Haq
3. Lingo
4. Achillas et al.
5. Mahmoudzadeh, Mansour & Karimi
6. Ene & Öztürk
7. Yu & Solvang
8. Singh, Mahajan & Bagai

دروازه، ایستگاه پایه از راه دور، ارائه کرده‌اند. در این سیستم، پارامترهای سطل زباله تحت نظارت از طریق دروازه‌ای به ایستگاه اصلی راه دور منتقل می‌شوند تا در پایگاه داده ذخیره شوند.

شایم، مانوی و پریانکا[1] (۲۰۱۷) به مطالعه سیستم هوشمند مدیریت پسماند با استفاده از اینترنت اشیا پرداخته‌اند. امریتکار[2] (۲۰۱۷) مدیریت هوشمند پسماند را با استفاده از تکنولوژی‌های RFID و سنسورهای اولتراسونیک مطالعه کرده است. شو و همکاران[3] (۲۰۱۷) به طراحی شبکه زنجیرهٔ تأمین معکوس برای مدیریت پسماندهای جامد در شرایط عدم قطعیت و با در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی پرداخته‌اند. در این مقاله، به طراحی زنجیرهٔ تأمین معکوس مدیریت پسماند جامد با تأکید ویژه بر سه جنبه پرداخته شده است: ۱. عدم اطمینان از سطح جمع‌آوری زباله؛ ۲. انتشار کربن و ۳. چالش‌های مطرح شده در جنبه جهانی زنجیرهٔ تأمین، به‌ویژه هزینه‌های حمل‌ونقل دریایی و نرخ ارز. آن‌ها یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح خطی مختلط به‌صورت بهینه‌سازی استوار طراحی کرده و مدل را در یک مطالعه موردی مدیریت پسماندهای الکترونیکی اجرا کردند.

ربانی، مختارزاده و فرخی اصل[4] (۲۰۱۸) یک مدل ریاضی برای مدیریت پسامند جامد شهری با در نظر گرفتن ملاحظات محیطی ارائه کرده‌اند. در این مطالعه، مدل ارائه شده دو هدفه بوده که اهداف آن شامل به حداقل رساندن هزینهٔ سیستم و تأثیرات زیست‌محیطی است. آن‌ها جهت حل مدل از الگوریتم NSGA-II کردند و نتایج حل مدل آن‌ها نشان داد، با افزایش حجم زباله، کل هزینه‌های سیستم به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد. وانگ[5] و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی مسئله بهینه‌سازی لجستیک معکوس برای به اشتراک گذاشتن دوچرخه و بازیابی دوچرخه‌ها پرداخته‌اند. آن‌ها یک مدل ریاضی ارائه دادند و یک الگوریتم ژنتیک شبیه‌سازی شده ژنتیکی اصلاح شده (MGSA) برای حل این مدل استفاده شده است. نتایج محاسبه اثربخشی MGSA را تأیید می‌کند.

لین و همکاران[6] (۲۰۱۸) برای مسئله مکان‌یابی ـ تخصیص در شبکه لجستیک معکوس گردآوری خودروهای فرسوده یک مدل ریاضی با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های مکان‌یابی و تخصیص ارائه دادند. همچنین آن‌ها جهت حل مدل، الگوریتم بهبودیافته کلونی زنبور را ارائه کردند. شیائو، سونا، شوآ و وانگا[7] (۲۰۱۹) به بررسی مسئله مکان‌یابی ـ تخصیص در شبکه لجستیک معکوس گردآوری خودروهای فرسوده با در نظر گرفتن انتشار گازهای آلاینده پرداخته و یک مدل تک هدفه با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های مکان‌یابی ـ تخصیص و انتشار گازهای آلاینده ارائه داده‌اند. مدل آن‌ها بر پایه سناریو بوده و جهت حل آن از نرم‌افزار لینگو استفاده کردند.

کاساکی، ایواز، سین و آیدین[8] (۲۰۱۹) به ارائه مدل برنامه‌ریزی بهینه لجستیک معکوس گردآوری خودروهای فرسوده و بازیافت قطعات آن‌ها با در نظر گرفتن تأمین فازی پرداخته و برای آن یک مدل ریاضی تک هدفه با هدف

1. Shyam, Manvi & Priyanka
2. Amritkar
3. Xu et al.
4. Rabbani, Mokhtarzadeh & Farrokhi-Asl
5. Wang
6. Lin et al.
7. Xiao, Suna, Shua & Wanga
8. Kuşakcı, Ayvaz, Cin & Aydın

کمینه‌سازی هزینه‌های شبکه ارائه دادند. اولاپریاکور، پاناک کونگ، کاچاپانیا و استاریتا[1] (۲۰۱۹) یک مدل ریاضی چندهدفه برای شبکه مدیریت پسامند با در نظر گرفتن توسعهٔ پایدار ارائه داده‌اند. آن‌ها یک مدل بهینه‌سازی چند هدفه را برای طراحی زنجیرهٔ تأمین مدیریت پسماند مقرون به‌صرفه پیشنهاد دادند.

ویجای، کومار و راجو[2] (۲۰۱۹) یک سیستم مدیریت پسماند هوشمند با استفاده از ARDUINO طراحی کردند که تکنولوژی‌های اینترنت اشیا برای ردیابی و سنسور اولتراسونیک برای اندازه‌گیری فاصله و سنسور IR برای جداسازی مرطوب و خشک، در آن استفاده شده است.

روشان و ریشی[3] (۲۰۲۰) سیستم مدیریت زباله هوشمند مؤثر و کارآمد برای شهرهای هوشمند با استفاده از اینترنت اشیا را بررسی کردند. مقاله آن‌ها، سیستم مدیریت پسماند ارائه شده توسط محققان در شهرهای مختلف هوشمند را مرور کرده و سپس یک سیستم مدیریت زباله هوشمند مؤثر و کارآمد را پیشنهاد می‌کند. کروکی، ایشیگاکی و تاکاشیما[4] (۲۰۲۰) نیز مسئله مکان‌یابی ـ مسیریابی در سیستم بازیافت با هدف بهبود اثربخشی اقتصادی را بررسی و مدل‌سازی کردند. سیستم بازیافت آن‌ها شامل نقاط تسهیلاتی است که به بازیافت و انهدام قطعات مربوط به خودروهای فرسوده می‌پردازد. آن‌ها یک مدل ریاضی تک هدفه برای این مسئله ارائه دادند و از نرم‌افزارهای ریاضی جهت حل آن استفاده کردند.

آیدین[5] (۲۰۲۰) به طراحی شبکه لجستیکی معکوس مدیریت ساختمان‌های فرسوده جهت آمادگی برای بروز بلایای نامشخص پرداخته‌اند. آن‌ها برای این مسئله یک مدل ریاضی عدد صحیح مختلط تصادفی ارائه داده و مدل را برای ساختمان‌های فرسوده شهر استانبول اجرا کردند.

صفدر، خلید، احمد و عمران[6] (۲۰۲۰) نیز مسئله طراحی شبکه لجستیک معکوس مدیریت پسماندهای الکترونیکی را بررسی کردند. آن‌ها یک مدل ریاضی ارائه دادند که در این مدل مشتریان اول، مراکز جمع‌آوری، مراکز توزیع، مشتری دوم و مراکز پردازش مجدد متشکل از مراکز ارزیابی بازگشت، مراکز بازیافت و مراکز نوسازی در نظر گرفته شده است. همچنین این مدل دارای اهداف حداکثرسازی سود، حداقل‌سازی میزان انتشار کربن و همچنین به حداکثر رساندن فرصت‌های شغلی در یک شبکه لجستیک معکوس است. امین‌پور، ایرج‌پور، یزدانی و محتشمی (۱۳۹۹) به طراحی مدل چندهدفه شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین حلقه بسته در صنعت خودرو با توجه به طرح‌های بازده انرژی و زمان پرداخته‌اند. در پژوهش ایشان، از سه روش حل قطعی، روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک NSGA II استفاده شده است.

مؤمنی و زرشکی (۱۴۰۰) نیز مدل‌سازی زنجیره‌تأمین‌حلقه‌بسته با به‌کارگیری از سناریوها در مواجهه با عدم‌قطعیت در کمیت و کیفیت برگشتی‌ها را بررسی کرده اند، در مدل حل شده با داده‌های واقعی از صنعت فولاد، به‌کارگیری یا عدم به‌کارگیری از نقاط بالقوه برای احداث موجودیت‌های زنجیره بررسی شده است. آئینه‌وند و غلامیان (۱۳۹۹) به بررسی

1. Olapiriyakul, Pannakkong, Kachapanya & Starita
2. Vijay, Kumar & Raju
3. Roshan & Rishi
4. Kuroki, Ishigaki & Takashima
5. Aydin
6. Safdar, Khalid, Ahmed & Imran

زنجیرهٔ تأمین خون بر اساس سیستم سفارش‌دهی EOQ پرداخته‌اند، در مطالعه آن‌ها یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی مختلط مکان‌یابی ـ موجودی با استفاده از مفاهیم موجودی برای مدیریت موجودی پلاکت‌ها جهت کاهش تعداد کمبودها و دورریزها ارائه شده است. تیواری[1] (۲۰۲۱) به بررسی مسئله شهر هوشمند و استفاده از اینترنت اشیا در مدیریت پسماند چنین شهری را مطالعه کرده است. مقاله وی، برنامه تجربی مدیریت پسماند را پیشنهاد می‌کند که می‌تواند در شهرهای هوشمند اجرا شود. دامادی و نامجو[2] (۲۰۲۱) به بررسی مسئله استفاده از بلاکچین جهت هوشمندسازی مدیریت پسماند پرداخته‌اند. در مقاله آن‌ها، یک سیستم مدیریت پسماند جدید بر اساس محاسبات مه[3] و فناوری بلاک چین پیشنهاد شده است.

حیدر و همکاران[4] (۲۰۲۱) نیز سیستم مدیریت پسماند هوشمند با استفاده از فناوری RFID را پیشنهاد کردند. چاکرابورتی، متا، شیخ، جها و منجونات[5] (۲۰۲۱) به بررسی مدیریت پسماند هوشمند پرداخته و سیستم مدیریت پسماند هوشمند با برنامه‌های تحت وب و تلفن همراه، فرایند بازرسی مواد زائد جامد و هیدریک، سیستم مدیریت کل فرایند جمع‌آوری و سیستم‌های کنترل کامیون مانند GPS را پیشنهاد کردند. فلورز کاسترو و یو[6] (۲۰۲۱) نیز یک سیستم مدیریت پسماند هوشمند مبتنی بر LoRaWAN را پیشنهاد کرده‌اند. این سیستم به‌دنبال کاهش سطل‌های زباله و کانتینرها است که در حداکثر ظرفیت ذخیره‌سازی خود قرار دارند.

اقبالی، آرکات و توکلی مقدم[7] (۲۰۲۲) به بررسی پسماندهای شهری با طراحی و برنامه‌ریزی ایستگاه‌های انتقال زباله، تأسیسات تصفیه و محل دفن زباله پرداختند. گرفتن فرایند جداسازی از مبدأ هزینه‌های جداسازی زباله را کاهش می‌دهد و کیفیت محصولات بازیافتی را با جلوگیری از تولید زباله‌های مخلوط و کمک به فرایند بازیافت زباله بهبود می‌بخشد. در مقاله آن‌ها یک مدل چند دوره‌ای و چند هدفه برای زنجیرهٔ تأمین یکپارچه و پایدار پسماندهای شهری با در نظر گرفتن جداسازی از منبع و سیستم پاداش و جریمه ارائه شده است.

زی و همکاران[8] (۲۰۲۳) به مسئله مدیریت پسماندهای شهری با سازگاری با اصول مدیریت زنجیرهٔ تأمین پرداخته‌اند. آن‌ها در مقاله خود زنجیرهٔ تأمین بهینه برای هر نوع از پسماندهای شهری و با در نظر گرفتن نوسان‌های فصلی در تولید هر نوع ارائه کرده‌اند. مصلانژاد، قلیان جویباری، کاردناس بارون و حاجی آقایی کشتعلی[9] (۲۰۲۳) نیز سیستم مدیریت پسماندهای همه‌گیری کرونا (SPW) را پیشنهاد کرده‌اند. آن‌ها در مقاله خود یک زنجیرهٔ تأمین پایدار با استفاده از داده‌های ورودی حاصل از تکنولوژی اینترنت اشیا (IOT) ارائه کرده‌اند.

در این پژوهش مدلی برای طراحی زنجیرهٔ تأمین معکوس پسماندهای صنعتی (خودروهای فرسوده) ارائه شده است. با توجه به مبانی نظری و پیشنیه تحقیقات (جدول ۱) نوآوری‌های پژوهش فعلی عبارت‌اند از: ۱. در نظر گرفتن

1. Tiwari
2. Damadi & Namjoo
3. Fog computing
4. Haider et al.
5. Chakraborty, Mehta, Sheikh, Jha & Manjunath
6. Flores & Yoo
7. Eghbali, Arkat & Tavakkoli-Moghaddam
8. Xie et al.
9. Mosallanezhad, Gholian-Jouybari, Cárdenas-Barrón & Hajiaghaei-Keshteli

همه جنبه‌های زنجیرهٔ تأمین معکوس پسماندهای صنعتی (مراکز اوراق و پیاده‌سازی، پردازش و فراوری، بازیابی، ضایعات و بازارهای واسطه)؛ ۲. ارائه یک مدل ریاضی مکان‌یابی ـ مسیریابی زنجیرهٔ تأمین با در نظر گرفتن تمامی ابعاد پایداری اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی؛ ۳. استفاده از تکنولوژی سیستم حمل‌ونقل هوشمند بین‌خودرویی در راستای اثرگذاری در اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی بر اساس ظرفیت یال و حجم ترافیک؛ ۴. ارائه یک مدل موردی واقعی جهت بررسی دقت و صحت مدل پیشنهادی.

جدول ۱. مقایسه ویژگی‌های مقاله‌های مختلف

محقق (سال)	زنجیرهٔ تأمین			مدیریت پسماند			سیستم ونت	مسیریابی	مکان‌یابی	پایداری	مدل ریاضی	اهداف	
	سبز	معکوس	سایر	صنعتی	خودرو فرسوده	سایر						تک هدفه	چندهدفه
ساسیکومار (۲۰۱۰)		*			*						*	*	
آچیلاس (۲۰۱۰)		*		*					*		*	*	
زارعی (۲۰۱۰)		*			*				*		*	*	
محمودزاده (۲۰۱۱)		*			*						*	*	
جمشیدی (۲۰۱۲)	*							*			*		*
سیمیک (۲۰۱۳)		*			*								
اراوندان و پانرسلوان (۲۰۱۴)		*	*						*	*	*	*	
زاکری (۲۰۱۵)	*							*			*	*	
کوای (۲۰۱۵)	*												
اینه و اوزترک (۲۰۱۵)		*			*				*		*	*	
یو و سولوانگ (۲۰۱۶)		*			*					*	*		*
ریمن (۲۰۱۶)		*	*						*	*	*		*
کونگ (۲۰۱۶)	*								*	*	*	*	
پوجی نورجان (۲۰۱۷)	*								*	*	*	*	
شو (۲۰۱۷)		*		*						*	*	*	
ربانی (۲۰۱۸)		*				*		*	*		*		*
لیو (۲۰۱۸)		*								*			
وانگ (۲۰۱۸)		*				*				*	*	*	
گاسپر و ساندین (۲۰۱۸)		*			*								
لین (۲۰۱۸)		*			*				*		*	*	
شیائو (۲۰۱۹)	*	*			*				*		*	*	

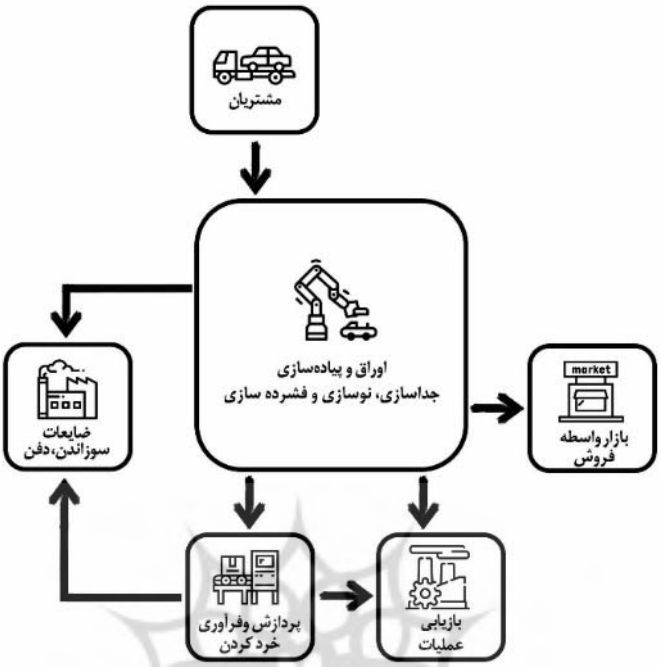
محقق (سال)	زنجیرهٔ تأمین			مدیریت پسماند			سیستم ونت	مسیریابی	مکان‌یابی	پایداری	مدل ریاضی	اهداف	
	سبز	معکوس	سایر	صنعتی	خودرو فرسوده	سایر						تک هدفه	چندهدفه
کاساکی (۲۰۱۹)		*			*				*		*	*	
وفایی نژاد (۲۰۱۹)	*								*	*	*		*
سامپلاک (۲۰۱۹)	*	*				*							
ماناوالان و جایاکریشنا (۲۰۱۹)			*							*			
داکاستا (۲۰۱۹)	*							*			*	*	
مادانکومار (۲۰۱۹)	*							*			*	*	
اولاپریاکول و همکاران (۲۰۱۹)		*				*				*	*		*
بانیای (۲۰۱۹)						*		*		*	*	*	
صفدر و همکاران (۲۰۲۰)				*					*	*	*	*	
کروکی و همکاران (۲۰۲۰)					*						*	*	
امین‌پور و همکاران (۲۰۲۰)			*		*						*		*
مؤمنی و همکاران (۲۰۲۰)		*				*					*	*	
آینه‌وند و همکاران (۲۰۲۱)			*			*			*		*	*	
اقبالی و همکاران (۲۰۲۲)	*	*				*			*	*	*		*
زی و همکاران (۲۰۲۳)		*				*			*		*	*	
مصلانژاد و همکاران (۲۰۲۳)	*	*				*				*	*		*
تحقیق حاضر	*	*		*	*		*	*	*	*	*		*

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مدل مفهومی

این پژوهش از نظر انواع جهت‌گیری‌های پژوهش، جزء پژوهش‌های توسعه‌ای است؛ چون سعی دارد که مدل‌های موجود در طراحی شبکه زنجیرهٔ تأمین را گسترش دهد و ابعاد پایداری و تکنولوژی را که در پژوهش‌های قبلی کمتر به آن اشاره شده بود، در نظر بگیرد. بنابراین، کار پژوهشگر در مقایسه با پژوهشگران قبلی، توسعه یافته‌تر و عمیق‌تر است. همچنین، از نظر ماهیت و چگونگی، جزء پژوهش‌های اکتشافی است. مسئله بررسی‌شده در این مقاله، طراحی شبکه زنجیرهٔ تأمین معکوس برای خودروسازی ایران است. هدف از طراحی مجدد شبکه این است که به‌دلیل افزایش بالای تعداد خودروهای فرسوده در ایران است، شبکه زنجیرهٔ تأمین جدیدتر، بهینه‌تر و گسترده‌تری را طراحی کنیم. در مسئله این مقاله، طراحی شبکه با در نظر گرفتن اهداف اقتصادی و زیست محیطی و اجتماعی، برای تحقق راهبرد پایداری انجام شده است. همچنین سعی شده است با استفاده از تکنولوژی همچون سیستم حمل‌ونقل بین خودرویی VANET

اهداف اقتصادی و محیط زیستی بهتری ایجاد کرد. در شکل ۱ مراکز و بخش‌های زنجیرهٔ تأمین معکوس خودروهای فرسوده نشان‌داده شده است (اینه و اوزترک، ۲۰۱۵).



شکل ۱. زنجیرهٔ تأمین معکوس خودروهای فرسوده

همان طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، لجستیک معکوس، مراکز اوراق و پیاده‌سازی خودروهای فرسوده را از مشتریان خریداری می‌کنند. روی خودروها در این مرکز عملیاتی مانند جداسازی، نوسازی نوسازی قطعات قابل استفاده مجدد و فشرده‌سازی صورت گرفته و برخی قطعات به بازار واسطه جهت فروش، برخی جهت دفن و انهدام به مراکز دفع، برخی مواد به مراکز بازیابی در صورت امکان و برخی نیز به مراکز پردازش و فراوری ارسال می‌شوند. در مراکز پردازش و فراوری نیز عملیات خرد کردن صورت گرفته و به مراکز دفع و یا بازیابی ارسال می‌شوند.

در مراکز اوراق و پیاده‌سازی ابتدا لازم است سوخت، روغن موتور، روغن سیستم انتقال نیرو، روغن هیدرولیک، مایع خنک کننده، مایع سیستم ترمز و سایر مایعات یا مواد خطرناک در صورت وجود، جدا و ذخیره شوند. متعاقباً، اجزا یا مواد حذف شده از ماشین قراضه برای استفاده مجدد و بازیابی در صورت امکان در نظر گرفته می‌شوند. قطعات آهنی و غیرآهنی قابل استفاده مجدد به بازارهای ثانویه فروخته می‌شود، هالک‌های باقی مانده برای بازیافت بیشتر به مراکز پردازش و فراوری ارسال می‌شوند. در دستگاه‌های خردکن، برخی از مواد را می‌توان به‌صورت مکانیکی توسط خردکن، مکش هوا، مرتب کننده مغناطیسی، مرتب‌کنندهٔ جریان گردابی بازیافت کرد. در نهایت، هالک‌ها به مواد آهنی، مواد غیرآهنی تقسیم می‌شوند. فلزات طبقه‌بندی شده برای بازیافت بیشتر به کارخانه‌های فولاد یا کارخانه‌های ذوب غیرآهنی اختصاص داده می‌شود.

مفروضات مسئله

- ساختار شبکه زنجیرهٔ تأمین پایدار چند دوره‌ای است.
- شبکه لجستیک معکوس خودروهای مرجوعی، با دریافت خودرو از مشتری‌ها در مراکز اوراق و پیاده‌سازی شروع می‌شود.
- محل و تعداد مراکز اوراق و پیاده‌سازی، بازار واسطه، ضایعات و بازیابی مشخص است.
- محل و تعداد کارخانه‌های پردازش و فراوری در مدل تعیین می‌شود که تعداد تسهیلات قابل تأسیس نیز محدود است.
- تسهیلات محدودیت ظرفیت دارند.
- در مدل از شبکه حمل‌ونقل هوشمند VANET جهت مسیریابی ترافیکی استفاده می‌شود.
- تعداد وسائل نقلیه مشخص است و ظرفیت محدودی دارند.
- جریان مواد بین مشتریان، کارخانه‌های پیاده‌سازی و اوراق، کارخانه‌های پردازش و فراوری، بازارهای واسطه و مراکز بازیابی و تبدیل به ضایعات در مدل تعیین می‌شود.
- مدل به‌صورت چندهدفه است و ابعاد پایداری (اقتصادی، اجتماعی و محیطی) در مدل در نظر گرفته می‌شود.
- میانگین تعداد حوادث کارگر در مراکز کارخانه پیاده‌سازی و اوراق‌کردن در نظر گرفته می‌شود.
- رفاه رانندگان با توجه به مسافت با پرامترهایی همچون درآمد، ایمنی، محدودیت ساعات رانندگی، خستگی و خواب‌آلودگی در نظر گرفته می‌شود.
- تعداد نیروی موجود با توجه به استخدام و اخراج شده مراکز اوراق و پیاده‌سازی در مدل تعیین می‌شود.

اندیس‌ها

$\forall i \in I$ و اندیس نشان‌دهنده مراکز مشتریان	I
$\forall j \in J$ و اندیس نشان‌دهندهٔ محل‌های بالقوه کارخانه پیاده‌سازی اوراق‌کردن	J
$\forall re \in region$ و اندیس نشان‌دهندهٔ مناطق مسکونی نیروی کار برای کارخانه پیاده‌سازی اوراق‌کردن	re
$\forall k \in K$ و اندیس نشان‌دهندهٔ محل‌های بالقوه کارخانه پردازش و فراوری	K
$\forall l \in L$ و اندیس نشان‌دهندهٔ محل‌های بالقوه مراکز بازیابی	L
$\forall m \in M$ و اندیس نشان‌دهندهٔ محل‌های بالقوه مراکز تبدیل به ضایعات	M
$\forall n \in N$ و اندیس نشان‌دهندهٔ محل‌های بازار واسطه	N
$\forall t \in T$ و اندیس نشان‌دهندهٔ دوره‌های زمانی	T
$\forall p \in P$ و اندیس نشان‌دهندهٔ قطعات یدکی خودرو	P

$\forall v \in V$ و اندیس نشان‌دهندهٔ وسیلهٔ نقلیه	v

پارامترها

هزینهٔ راه‌اندازی کارخانه پیاده‌سازی و اوراق‌کردن j	C_j
هزینهٔ احداث کارخانه پردازش و فراوری k	C_k
هزینهٔ راه‌اندازی مرکز بازیابی l	C_l
هزینهٔ راه‌اندازی مرکز تبدیل به ضایعات m	C_m
ظرفیت کارخانه پیاده‌سازی و اوراق‌کردن J	cap_j
ظرفیت کارخانه پردازش و فراوری k	cap_k
ظرفیت مرکز بازیابی L	cap_l
ظرفیت مرکز تبدیل به ضایعات M	cap_m
هزینهٔ حمل‌ونقل هر واحد از کارخانه پیاده‌سازی و اوراق‌کردن J به کارخانه پردازش و فراوری K	ct_{jk}
هزینهٔ حمل‌ونقل هر واحد از کارخانه پیاده‌سازی و اوراق‌کردن J به محل بازار واسطه n	ct_{jn}
هزینهٔ حمل‌ونقل هر واحد از کارخانه پردازش و فراوری K به مرکز بازیابی L	ct_{kl}
هزینهٔ حمل‌ونقل هر واحد از کارخانه پردازش و فراوری K به مرکز تبدیل به ضایعات M	ct_{km}
هزینهٔ حمل‌ونقل هر واحد از کارخانه پیاده‌سازی و اوراق‌کردن J به مرکز تبدیل به ضایعات M	ct_{jm}
هزینهٔ حمل‌ونقل هر واحد از کارخانه پیاده‌سازی و اوراق‌کردن به مرکز بازیابی L	ct_{jl}
هزینهٔ تبدیل به ضایعات به‌ازای هر واحد	cd
هزینهٔ تبلیغات جهت فرهنگ‌سازی برای فروش خودرو به زنجیرهٔ تأمین معکوس	cv
هزینهٔ عملیات هر واحد برای کارخانه پیاده‌سازی و اوراق‌کردن J در بازه زمانی t	oc_{Jt}
هزینهٔ عملیات هر واحد برای کارخانه پردازش و فراوری k در بازه زمانیt	oc_{kt}
سود هر واحد از قطعه یدکی قابل استفاده مجدد خودرو	r_p
سود هر واحد از محصولات بازیابی شده	rr
تعداد خودروهای گردآوری شده در دوره t درمراکز مشتریان I	e_{it}
میزان مواد حمل‌شده از کارخانه پیاده‌سازی و اوراق‌کردن به مرکز تبدیل ضایعات	k_1
میزان مواد حمل‌شده از کارخانه پردازش و فراوری به مرکز تبدیل به ضایعات	k_2

k_3	میزان مواد حمل‌شده از کارخانه پردازش و فراوری به مرکز بازیابی
aw_1	وزن متوسط خودرو
aw_2	وزن متوسط خودرو پیاده‌سازی‌شده
aw_3	وزن متوسط قطعات ارسالی به بازار واسطه
q_p	تعداد قطعات یدکی در هر خودرو
v_p	میزان قطعات قابل استفاده مجدد در هر خودرو
EI_j	میزان انتشار کربن در عملیات انجام شده واحد خودرو فرسوده در کارخانه پیاده‌سازی و اوراق‌کردن J
EI_k	میزان انتشار کربن در عملیات انجام شده واحد خودرو فرسوده در کارخانه پردازش و فراوری K
EI_m	میزان انتشار کربن در عملیات انجام شده واحد خودرو فرسوده در مرکز تبدیل به ضایعات M
EI_l	میزان انتشار کربن در عملیات انجام شده واحد خودرو فرسوده در مرکز بازیابی L
EI^T	میزان انتشار کربن در حمل واحد خودرو فرسوده در کیلومتر
d_{jk}	فاصلهٔ بین کارخانه پیاده‌سازی و اوراق‌کردن J و کارخانه پردازش و فراوری K
d_{jn}	فاصلهٔ بین کارخانه پیاده‌سازی و اوراق‌کردن J و محل بازار واسطه N
d_{kl}	فاصلهٔ بین کارخانه پردازش و فراوری K و مرکز بازیابیL
d_{jm}	فاصلهٔ بین کارخانه پیاده‌سازی و اوراق‌کردن J و مرکز تبدیل به ضایعات M
d_{jl}	فاصلهٔ بین کارخانه پیاده‌سازی و اوراق‌کردن J و مرکز بازیابی L
d_{km}	فاصلهٔ بین کارخانه پردازش و فراوری K و مرکز تبدیل به ضایعات M
$Dis_{re,j}$	فاصلهٔ منطقه مسکونی re به مرکز اوراق و پیاده‌سازیJ
$CAPL_{re,t}$	ظرفیت یا تعداد نیروی کار موجود در منطقه re در دوره t
EN_j	تعداد نیروی کار لازم جهت پردازش هر وسیلهٔ نقلیه فرسوده در مرکز اوراق و پیاده‌سازی J
EL_j	میانگین سالانه میزان حوادث و آسیب نیروی کار در مرکز اوراق و پیاده‌سازی J
EV_v	میزان رضایت راننده از رانندگی در واحد مسافت با وسیلهٔ نقلیه v

F را به‌عنوان مجموعه زیرمجموعه‌های j برای همه بخش‌ها قرار می‌دهیم.

$0 \in F, SD(o)$، ماکزیمم تعداد کارخانه‌های پیاده‌سازی و اوراق‌کردن برای زیرمجموعه o را مشخص می‌کند.

H	یک عدد مثبت خیلی بزرگ

متغیرهای تصمیم

a_j	متغیر باینری a_j در صورتی ۱ است که کارخانه اوراق و پیاده‌سازی در محل J راه‌اندازی شود.
b_k	باینری b_k در صورتی ۱ است که کارخانه پردازش و فراوری در محل K احداث شود.
c_m	متغیر باینری c_k در صورتی ۱ است که کارخانه ضایعات در محل M راه‌اندازی شود.
d_l	متغیر باینری d_l در صورتی ۱ است که کارخانه بازیابی در محل L راه‌اندازی شود.
YV_{jkvt}	متغیر باینری YV_{jkvt} در صورتی ۱ است که وسیلهٔ v بین کارخانه اوراق و پیاده‌سازی J و کارخانه پردازش و فراوری K سفر داشته باشد
YV_{jnvt}	متغیر باینری YV_{jnvt} در صورتی ۱ است که وسیلهٔ v بین کارخانه اوراق و پیاده‌سازی J و بازار واسطه N سفر داشته باشد.
YV_{jlvt}	متغیر باینری YV_{lkvt} در صورتی ۱ است که وسیلهٔ v بین کارخانه اوراق و پیاده‌سازیJ و کارخانه بازیابی L سفر داشته باشد.
YV_{jmvt}	متغیر باینری YV_{jmvt} در صورتی ۱ است که وسیلهٔ v بین کارخانه اوراق و پیاده‌سازی J و مراکز ضایعات M سفر داشته باشد.
YV_{klvt}	متغیر باینری YV_{klvt} در صورتی ۱ است که وسیلهٔ v بین کارخانه پردازش و فراوری K و کارخانه بازیابی L سفر داشته باشد.
YV_{kmvt}	متغیر باینری YV_{kmvt} در صورتی ۱ است که وسیلهٔ v بین کارخانه پردازش و فراوری K و کارخانه بازیابی L سفر داشته باشد.
$EH_{j,re,t}$	تعداد نیروی کار استخدام شده در دوره t مرکز اوراق و پیاده‌سازی J
$EW_{j,re,t}$ and $EW_{j,re,1} = 0$	تعداد نیروی کار اخراج شده در دوره t مرکز اوراق و پیاده‌سازی J
$EE_{j,re,t}$	تعداد نیروی کار موجود در دوره t مرکز اوراق و پیاده‌سازی J
x_{ijt}	تعداد خودروهای حمل‌شده از مرکز مشتریان I به کارخانه پیاده‌سازی و اوراق‌کردنj در بازه زمانی t
Y_{jkvt}	تعداد خودروهای حمل‌شده از کارخانه پیاده‌سازی اوراق‌کردن j به کارخانه پردازش و فراوری k توسط وسیلهٔ نقلیه v در بازه زمانی t
Z_{jnpvt}	تعداد قطعات یدکی خودرو p حمل‌شده از کارخانه پیاده‌سازی و اوراق‌کردن j به محل بازار واسطه n توسط وسیلهٔ نقلیه v در بازه زمانی t
w_{klvt}	مقدار مواد حمل‌شده از کارخانه پردازش و فراوری k به مرکز بازیابی l توسط وسیلهٔ نقلیه v در بازه زمانی t
u_{jmvt}	مقدار مواد حمل‌شده از کارخانه پیاده‌سازی و اوراق‌کردن j به مرکز تبدیل به ضایعات m توسط وسیلهٔ نقلیه v در بازه زمانی t

q_{jlvt} مقدار مواد حمل‌شده از کارخانه پیاده‌سازی و اوراق‌کردن j به مرکز بازیابی l توسط وسیلهٔ نقلیه v در بازه زمانی t

u_{kmvt} مقدار مواد حمل‌شده از کارخانه پردازش و فراوری k به مرکز تبدیل به ضایعات m توسط وسیلهٔ نقلیه v در بازه زمانی t

توابع هدف مدل

مدل ارائه شده در این مقاله شامل سه هدف ۱. بیشینه‌سازی سود کل؛ ۲. کمینه‌سازی اثرهای زیست‌محیطی و ۳. کمینه‌سازی اثرهای اجتماعی است.

تابع هدف اول بیشینه‌سازی سود کل زنجیرهٔ تأمین حاصل تفاوت میان درآمدها و هزینه‌های زنجیرهٔ تأمین عبارت است از:

- درآمد حاصل از فروش قطعات قابل استفاده یا نوسازی‌شده به بازارهای واسطه در مراکز اوراق و پیاده‌سازی؛
- درآمد حاصل از فروش مواد پردازش شده از مراکز پردازش فراوری به مراکز بازیابی؛
- هزینه‌های راه‌اندازی مراکز اوراق و پیاده‌سازی، بازیابی و ضایعات؛
- هزینهٔ احداث مراکز پردازش و فراوری؛
- هزینهٔ عملیات در مراکز اوراق و پیاده‌سازی و پردازش و فراوری؛
- هزینه‌های حمل‌ونقل بین مراکز در زنجیرهٔ تأمین.

رابطهٔ ۱)

$$
\begin{aligned}
Max\ z = & \sum_{v}\sum_{j=1}^{j}\sum_{n=1}^{N}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} z_{jnpvt} r_p + \sum_{v}\sum_{j=1}^{j}\sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{T} q_{jlvt} rr + \sum_{v}\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{T} w_{klvt} rr \\
& - \sum_{j=1}^{J} a_j c_j - \sum_{k=1}^{k} b_k c_k - \sum_{m=1}^{M} c_m c_m - \sum_{l=1}^{L} d_l c_l - \sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} x_{jt} cv \\
& - \Sigma_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} x_{ijt} oc_{jt} - \sum_{v}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} y_{jkvt} oc_{kt} - \sum_{v}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} y_{jkvt} ct_{jk} \\
& - \sum_{v}\sum_{j=1}^{J}\sum_{n=1}^{N}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} z_{jnpvt} ct_{jn} - \sum_{v}\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{T} w_{klvt} ct_{kl} \\
& - \sum_{v}\sum_{j=1}^{J}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} u_{jmvt} ct_{jm} - \sum_{v}\sum_{j=1}^{J}\sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{T} q_{jlvt} ct_{jl} \\
& - \sum_{v}\sum_{k=1}^{K}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} {u^2}_{kmvt} ct_{km} - \sum_{v}\sum_{j=1}^{J}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} u_{jmvt} cd \\
& - \sum_{v}\sum_{k=1}^{K}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} u_{kmvt} cd
\end{aligned}
$$

تابع هدف دوم کمینه‌سازی اثرهای زیست‌محیطی زنجیرهٔ تأمین که از میزان انتشار کربن عبارت است از:

- میزان انتشار کربن در عملیات مراکز اوراق و پیاده‌سازی، پردازش و فراوری، ضایعات و بازیابی
- میزان انتشار کربن حمل‌ونقل بین مراکز زنجیرهٔ تأمین

رابطهٔ ۲)

$$Minz_2 = \sum_j \sum_k \sum_t Y_{jkt} EI_k + \sum_j \sum_t X_{jt} EI_j + \sum_j \sum_l \sum_t q_{jlt} EI_l + \sum_j \sum_m \sum_t u_{jmt} EI_m + EI^T \left[\sum_j \sum_k \sum_v \sum_t YV_{jkvt} Y_{jkvt} d_{jk} + \sum_j \sum_n \sum_v \sum_t YV_{jnpvt} Z_{jnpvt} d_{jn} + \sum_k \sum_l \sum_v \sum_t YV_{klvt} W_{klvt} d_{kl} + \sum_j \sum_m \sum_v \sum_t YV_{jmvt} U_{jmvt} d_{jm} + \sum_j \sum_l \sum_v \sum_t YV_{jlvt} q_{jlvt} d_{jl} + \sum_k \sum_m \sum_v \sum_t YV_{kmvt} U_{kmvt} d_{km} \right]$$

تابع هدف سوم کمینه‌سازی اثرات اجتماعی زنجیرهٔ تأمین عبارت است از:

- میانگین تعداد حوادث سالیانه در مراکز اوراق و پیاده‌سازی؛
- رفاه رانندگان بر اساس مسافت طی شده؛
- کمینه‌سازی مسافت بین محل زندگی نیروی کار و کارخانه اوراق و پیاده‌سازی؛
- کمینه‌سازی مجموع استخدام و اخراج جهت افزایش حفظ نیروی کاری و جلوگیری از هزینه‌های اخراج و استخدام.

رابطهٔ ۳)

$$Min\ z_3 = \sum_j EL_j a_j + \sum_{v=1}^{V} EV_v \left[\sum_j \sum_k \sum_v \sum_t YV_{jkvt} d_{jk} + \sum_j \sum_n \sum_v \sum_t YV_{jnpvt} d_{jn} + \sum_k \sum_l \sum_v \sum_t YV_{klvt} d_{kl} + \sum_j \sum_m \sum_v \sum_t YV_{jmvt} d_{jm} + \sum_j \sum_l \sum_v \sum_t YV_{jlvt} d_{jl} + \sum_k \sum_m \sum_v \sum_t YV_{kmvt} d_{km} \right] + \sum_t^T \sum_{re}^{region} \sum_j^J Dis_{re,j} EE_{j,re,t} + \sum_t^T \sum_{re}^{region} \sum_j^J (EH_{j,re,t} + EW_{j,re,t})$$

محدودیت‌های مدل

رابطهٔ ۴) $\Sigma_{i=1}^{I}\sum_{j} x_{ijt} = e_{it}$ $\forall t$

رابطهٔ ۵) $x_{ijt} \le cap_j a_j$ $\forall j,t$

رابطهٔ ۶) $\sum_{j\in O} a_j \le SD(O) - \forall O \in F$

رابطهٔ ۷) $\sum_{v}\sum_{j=1}^{J} y_{jkvt} \le cap_k b_k$ $\forall k,t$

رابطهٔ ۸) $\sum_{\mathrm{v}}\left(\sum_{\mathrm{k=1}}^{\mathrm{K}} \mathrm{w_{klvt}} + \sum_{\mathrm{j=1}}^{\mathrm{J}} \mathrm{q_{jlvt}}\right) \le \mathrm{cap_l d_l}$ $\forall l,t$

رابطهٔ ۹) $\sum_{v}\left(\sum_{j=1}^{J} u_{jmvt} + \sum_{k=1}^{K} u_{kmvt}\right) \le cap_m c_m$ $\forall m,t$

رابطهٔ ۱۰) $x_{ijt} = \sum_{v}\sum_{k=1}^{K} y_{jkvt}$ $\forall j,t$

رابطهٔ ۱۱) $x_{ijt} aw_1 k_1 = \sum_{v}\sum_{m=1}^{M} u_{jmt}$ $\forall j,t$

رابطهٔ ۱۲) $x_{ijt} aw_1 k_3 = \sum_{v}\sum_{l=1}^{L} q_{jlvt}$ $\forall j,t$

رابطهٔ ۱۳) $x_{ijt} q_p v_p = \sum_{v}\sum_{n=1}^{N} z_{jnpvt}$ $\forall j,p,t$

رابطهٔ ۱۴) $\sum_{v}\sum_{j=1}^{J} y_{jkvt}\, aw_2(1-k_2) = \sum_{v}\sum_{l=1}^{L} w_{klvt}$ $\forall k,t$

رابطهٔ ۱۵) $\sum_{v}\sum_{j=1}^{J} y_{jkvt}\, aw_2 k_2 = \sum_{v}\sum_{m=1}^{M} u_{kmvt}$ $\forall k,t$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

$$q_{jlvt} \geq H \times YV_{jlvt} \quad \forall j,l,v,t \quad \text{رابطهٔ ۱۶)}$$

$$Y_{jkvt} \geq H \times YV_{jkvt} \quad \forall j,k,v,t \quad \text{رابطهٔ ۱۷)}$$

$$Z_{jnpvt} \geq H \times YV_{jnpvt} \quad \forall j,n,p,v,t \quad \text{رابطهٔ ۱۸)}$$

$$w_{klvt} \geq H \times YV_{klvt} \quad \forall l,k,v,t \quad \text{رابطهٔ ۱۹)}$$

$$u_{jmvt} \geq H \times YV_{jmvt} \quad \forall j,m,v,t \quad \text{رابطهٔ ۲۰)}$$

$$u_{kmvt} \geq H \times YV_{kmvt} \quad \forall k,m,v,t \quad \text{رابطهٔ ۲۱)}$$

$$|V| = \sum_{v}\left(\sum_{k} YV_{jkvt} + \sum_{n} YV_{jnpvt} + \sum_{m} YV_{jmvt} + \sum_{m} YV_{jlvt}\right) \quad \forall j,t \quad \text{رابطهٔ ۲۲)}$$

$$\sum_{j} YV_{jkvt} = \sum_{l} YV_{klvt} + \sum_{m} YV_{kmvt} \quad \forall k,v,t \quad \text{رابطهٔ ۲۳)}$$

$$EH_{j,re,t} - EW_{j,re,t} + EE_{j,re,t-1} = EE_{j,re,t} \quad \forall j,re,t \geq 2 \quad \text{رابطهٔ ۲۴)}$$

$$EH_{j,re,1} - EW_{j,re,1} = EE_{j,re,1} \quad \forall j,re \quad \text{رابطهٔ ۲۵)}$$

$$\sum_{j} EE_{j,re,t} \leq CAPL_{re,t} \quad \forall re,t \quad \text{رابطهٔ ۲۶)}$$

$$\sum_{re} EE_{j,re,t} \geq x_{jt} \times EN_{j} \quad \forall j,t \quad \text{رابطهٔ ۲۷)}$$

$$EH_{j,re,t} \leq H \times a_{j} \quad \forall j,re,t \quad \text{رابطهٔ ۲۸)}$$

$$EW_{j,re,t} \leq H \times a_{j} \quad \forall j,re,t \quad \text{رابطهٔ ۲۹)}$$

$$EE_{j,re,t} \leq H \times a_{j} \quad \forall j,re,t \quad \text{رابطهٔ ۳۰)}$$

$$x_{jt}, y_{jkvt}, z_{jnpvt}, w_{klvt}, u_{jmvt}, u_{kmvt}, q_{jlvt} \geq 0 \quad \forall j,k,m,l,n,v \quad \text{رابطهٔ ۳۱)}$$

$$a_{j}, b_{k}, c_{m}, d_{l} \in \{0,1\} \quad \forall j,l,m \quad \text{رابطهٔ ۳۲)}$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

محدودیت ۴ملزم می‌کند که همه خودروهای پذیرش شده مشتریان باید در آن بازه زمانی در مراکز اوراق و پیاده‌سازی پردازش شوند. محدودیت ۵، عدم تجاوز تعداد نهایی خودروهای حمل‌شده به کارخانه‌های پیاده‌سازی و اوراق‌کردن از ظرفیت کارخانه‌ها در هر بازه زمانی را تضمین می‌کند. محدودیت ۶، تعداد کارخانه‌های پیاده‌سازی و اوراق‌کردن که در هر بخش راه‌اندازی می‌شود را محدود می‌کند. محدودیت ۷، عدم تجاوز تعداد نهایی خودروهای حمل‌شده به کارخانه‌های پردازش و فراوری از ظرفیت‌های کارخانه‌ها در هر بازه زمانی را تضمین می‌کند. محدودیت‌های ۸ و ۹، عدم تجاوز مقدار نهایی مواد حمل‌شده به مراکز بازیابی و تبدیل به ضایعات از ظرفیت‌های مراکز در هر بازه زمانی را تضمین می‌کند. محدودیت‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ سازگاری میزان خودرو پیاده‌سازی شده و مواد حمل‌شده به کارخانه‌های پردازش و فراوری و مراکز تبدیل به ضایعات و مراکز بازیابی به ترتیب، برای هر بازه زمانی را تضمین می‌کند. محدودیت ۱۳، سازگاری تعداد قطعات یدکی خودرو حمل‌شده به بازار واسطه برای هر بازه زمانی را تضمین می‌کند. محدودیت ۱۴، حمل میزان‌های مواد از کارخانه‌های پردازش و فراوری به مراکز بازیابی برای هر بازه زمانی را تضمین می‌کند. محدودیت ۱۵، سازگاری میزان‌های مواد حمل‌شده از کارخانه‌های پردازش و فراوری به مرکز تبدیل به ضایعات برای هر بازه زمانی t را تضمین می‌کند. محدودیت‌های ۱۶ تا ۲۱ تضمین می‌کنند که درصورتی بین دو مرکز مواد جابه‌جا می‌شود که یک وسیلهٔ نقلیه برای سفر بین مراکز تخصیص داده شده باشد. محدودیت‌های ۲۲ و ۲۳ تضمین می‌کنند که یک وسیلهٔ نقلیه زمانی وارد یک مرکز شد، حتما از آن مرکز خارج شود.

محدودیت‌های ۲۴ و ۲۵ تعداد نیروی کار مشغول در هر مرکز اوراق و پیاده‌سازی را در هر دوره و برای هر منطقه مسکونی را محاسبه می‌کنند. محدودیت ۲۶ تضمین می‌کند که تعداد نیروی کار مشغول در کلیه مراکز اوراق و پیاده‌سازی از تعداد نیروی کار در دسترس تجاوز نکند. محدودیت ۲۷ تضمین می‌کند که به میزان نیاز مراکز اوراق و پیاده‌سازی، نیروی کار مشغول باشد. محدودیت‌های ۲۸، ۲۹ و ۳۰ تضمین می‌کنند که متغیرهای مربوط به تعداد نیروی کار مشغول، استخدام شده و اخراج شده در هر دوره، تنها برای مراکز اوراق و پیاده‌سازی که فعال هستند، محاسبه شود. محدودیت ۳۱ بالاتر از صفر بودن ارزش متغیرهای تصمیم‌گیری X_{jt} و Y_{jkt} و Z_{jnpt} و u_{kmt} و q_{jlt} و u_{jmt} و W_{klt} را تضمین می‌کند و محدودیت ۳۲ صفر و یک بودن ارزش متغیرهای تصمیم‌گیری مکان‌یابی را معین می‌کند.

مدل ریاضی با در نظر گرفتن تکنولوژی VANET

جهت در نظر گرفتن تکنولوژی VANET، باید زمان سفر بین گره‌های مختلف براساس اطلاعات ترافیکی به‌روزرسانی شود و در هر لحظه براساس اطلاعات ترافیکی و زمان سفر جدید، مسیریابی وسائل نقلیه مشخص می‌شود:

- زمان سفر بین کارخانه پیاده‌سازی و اوراق‌کردن j و مرکز بازیابی l t_{jl}
- زمان سفر بین کارخانه پیاده‌سازی و اوراق‌کردنj و کارخانه پردازش و فراوری k t_{jk}
- زمان سفر بین کارخانه پیاده‌سازی و اوراق‌کردن j و محل بازار واسطه n t_{jn}
- زمان سفر بین کارخانه پردازش و فراوری k و مرکز بازیابی l t_{kl}
- زمان سفر بین کارخانه پیاده‌سازی و اوراق‌کردن j و مرکز تبدیل به ضایعات m t_{jm}
- زمان سفر بین کارخانه پردازش و فراوری k و مرکز تبدیل به ضایعات m t_{km}

با توجه به اینکه، سیستم حمل‌ونقل در مسئله حاضر از نوع VANET است، تخمین زمان سفر براساس اطلاعات ترافیکی صورت می‌گیرد؛ بنابراین فرض کنید، جهت سفر از گره i به گره j، وسیلهٔ نقلیه از مسیرهای مختلف می‌تواند برود که انتخاب مسیر براساس داده‌های دریافتی از مسیرهاست.

در سیستم حمل‌ونقل VANET، انتخاب هر کدام از مسیرها امکان پذیر بوده و وابسته به داده‌های ترافیکی در سیستم حمل‌ونقل VANET است؛ از این رو زمان رسیدن وسیلهٔ نقلیه به هر گره، برابر با مجموع زمان‌های سفر هر کدام از یال‌ها در مسیر انتخابی است و زمان سفر هر یال (I,j) براساس داده‌های ترافیکی با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$t_{ij} = t0_{ij}\left(1 + \delta\left(\frac{fl_{ij}}{cl_{ij}}\right)^{\beta}\right) \quad \text{رابطهٔ ۳۳)}$$

در رابطه بالا، t_{ij} زمان سفر براساس داده‌های ترافیکی است؛ $t0_{ij}$ زمان سفر در حالت بدون ترافیک است؛ fl_{ij} حجم ترافیک در بازه زمانی حرکت بین دو گره i و j است که شامل زمان بین ترک گره i و رسیدن به گره j است؛ cl_{ij} ظرفیت یال است؛ δ و β مقیاس‌های مثبت داده شده، به‌دست آوردن تراکم دقیق ترافیک هستند.

پارامترهای زمان سفر بین مراکز، هر لحظه با توجه به رابطه ۳۳ به‌روزرسانی می‌شوند.

وقتی که زمان سفر طی کردن یک مسافت، تغییر می‌کند، میزان انتشار کربن حاصل از سیستم حمل‌ونقل نیز تغییر خواهد کرد، در نظر گرفتن سیستم VANET از طریق تابع هدف دوم، در مدل دیده می‌شود و با تغییر تابع هدف، مسیریابی وسائل نقلیه تحت تأثیر قرار خواهد گرفت:

$$\begin{aligned} Minz_2 = {} & \sum_j \sum_k \sum_t Y_{jkt} EI_k + \sum_j \sum_t X_{jt} EI_j + \sum_j \sum_l \sum_t q_{jlt} EI_l \\ & + \sum_j \sum_m \sum_t u_{jmt} EI_m \\ & + EI^T \left[\sum_j \sum_k \sum_v \sum_t YV_{jkvt} Y_{jkvt} t_{jk} d_{jk} \right. \\ & + \sum_j \sum_n \sum_v \sum_t YV_{jnpvt} Z_{jnpvt} t_{jn} d_{jn} \\ & + \sum_k \sum_l \sum_v \sum_t YV_{klvt} W_{klvt} t_{kl} d_{kl} \\ & + \sum_j \sum_m \sum_v \sum_t YV_{jmvt} U_{jmvt} t_{jm} d_{jm} \\ & + \sum_j \sum_l \sum_v \sum_t YV_{jlvt} q_{jlvt} t_{jl} d_{jl} \\ & \left. + \sum_k \sum_m \sum_v \sum_t YV_{kmvt} U_{kmvt} t_{km} d_{km} \right] \end{aligned} \quad \text{رابطهٔ ۳۴)}$$

یافته‌های پژوهش

روش حل

بسیاری از مسائل در دنیای واقعی نیازمند بهینه‌سازی هم‌زمان چندین تابع هدف هستند که اکثراً با یکدیگر در تضاد و تناقض بوده و بهینگی یک هدف باعث دور شدن هدف دیگر از مقدار بهینه آن خواهد شد. بنابراین جواب بهینه در مسائل چندهدفه مترادف با بهینه شدن تمامی توابع هدف نبوده و یافتن یک پاسخ بهینه در این موارد امکانپذیر نیست. به عبارت دیگر در این گونه مسائل باید به‌دنبال یافتن مجموعه جواب‌های پارتو بود. روش‌های مبتنی بر رویکرد پارتو مجموعه‌ای از جواب‌ها را برای ایجاد تعادل مناسب بین اهداف مشخص می‌کنند. تکنیک‌های مختلفی برای حل مسائل چند هدفه وجود دارد که یکی از آن‌ها، روش محدودیت اپسیلون است. در این روش یکی از توابع هدف به‌عنوان تابع هدف اصلی در نظر گرفته شده و سایر توابع هدف، به‌صورت محدودیت به مسئله اعمال می‌شوند. توسعه‌های گوناگونی برای روش محدودیت اپسیلون جهت کاراتر شدن آن ارائه شده است که از جمله می‌توان به روش محدودیت اپسیلون توسعه یافته که در مقاله ماوروتاس[1] اشاره کرد. در این روش با بهره‌گیری از روش بهینه‌سازی لکسیکوگراف درصدد تعیین نقاط کارای قوی بوده، به‌طوری که این نقاط توسط هیچ نقطه دیگری مغلوب نمی‌شوند.

نتایج محاسباتی

در بخش قبل یک مدل ریاضی سه هدفه برای مسئله زنجیرهٔ تأمین سبز گرداوری و مدیریت پسماندهای صنعتی با در نظر گرفتن ابعاد پایداری و استفاده از تکنولوژی بین خودرویی VANET ارائه شد. جهت اعتبارسنجی و صحت مدل پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار GAMS و حل‌کننده CPLEX توسط روش محدودیت اپسیلون توسعه یافته روی داده‌های واقعی زنجیرهٔ تأمین معکوس خودروهای فرسوده در ایران به‌عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شده است و در رایانه شخصی با مشخصات Core Intel i7، ۲/۶۰ گیگاهرتز، رم ۱۲ گیگابایت حل شده‌است. در این بخش به شرح مسئله مربوط به مطالعه موردی با توجه به اطلاعات و محدودیت‌های موجود در زنجیرهٔ تأمین معکوس خودروهای فرسوده در ایران پرداخته شده است. مطالعه موردی در نظر گرفته شده شامل ۳۱ استان ایران می‌باشد. در واقع این استان‌ها دارای مراکز مشتریان خودروهای فرسوده می‌باشند و ۱۰۶ مرکز اوراق و پیاده‌سازی در ۳۱ استان در نظرگرفته شده است و استان‌های آذربایجان غربی، تهران، خراسان رضوی، فارس، اصفهان، خوزستان، همدان، یزد، کرمان و هرمزگان نقاط بالقوه جهت تأسیس کارخانه‌های پردازش و فراوری نیز با نظر خبرگان می‌باشند. مراکز ضایعات با توجه به قوانین زیست‌محیطی ایران در هر استان وجود دارد. قطعات قابل استفاده و نوسازی شده از محل مراکز اوراق و پیاده‌سازی خریداری می‌شود، بنابرین فاصلهٔ بین این مراکز با بازار واسطه در نظر گرفته نخواهد شد. با توجه به توضیحات ارائه شده، پارامترهای مسئله مطالعه موردی با استفاده از نظرات خبرگان، پیشینه تحقیقات و مراکز آماری کشور ایران به‌صورت زیر می‌باشند:

1. George Mavrotas

- تعداد دوره برابر با ۱۲ در نظر گرفته شده است که نشان‌دهندهٔ ۱۲ ماه و یکسال است. در واقع برنامه‌ریزی برای یکسال انجام می‌شود.
- تعداد قطعات یدکی خودرو برابر با ۸ در نظر گرفته شده است که عبارت‌اند از: درب‌های جلو و عقب، درب صندوق عقب، موتور، کاپوت، دیفرانسیل، جعبه دنده، کنسول جلو و رینگ‌ها.
- هزینه‌های حمل‌ونقل بین مراکز مختلف در شهرهای مختلف به‌صورت تابعی از مسافت بین مراکز در نظر گرفته شده است که برای هر ۱ کیلومتر بر تن ۴۲۴ تومان لحاظ شده است.
- فاصلهٔ بین مراکز با توجه به اطلاعات جغرافیایی موجود بر حسب کیلومتر در نظر گرفته شده است.
- زمان سفر در حالت بدون ترافیک بین گره‌ها متناسب با داده‌های ترافیکی در نظر گرفته شده است.
- حجم ترافیک و ظرفیت یال‌ها نیز براساس داده‌های ترافیکی و نظرات کارشناسان تنظیم شد.
- میانگین تعداد حوادث در مراکز اوراق و پیاده‌سازی با توجه به اطلاعات این مراکز در نظر گرفته شده است.
- تعداد نیروهای موجود فعلی در هر یک از مراکز اوراق و پیاده‌سازی با توجه به اطلاعات این مراکز به‌دست‌آمده است. همچنین فاصلهٔ مناطق مسکونی تا مراکز اوراق و پیاده‌سازی با توجه به اطلاعات جغرافیایی در نظر گرفته شده است.
- برای نشان دادن رفاه رانندگان بر حسب مسافت به‌عنوان یک پارامتر اجتماعی، متغیرهای مختلفی مانند درآمد، ایمنی، محدودیت ساعات رانندگی، خستگی و خواب‌آلودگی در نظر گرفته شده است. رفاه رانندگان بر اساس یک مقیاس ۷ درجه ای اندازه گیری می‌شود.

همچنین دیگر پارامترهای ارائه شده در جدول شماره ۲ با نظرات خبرگان حوزه خودروهای فرسوده در کشور ایران به‌دست آمده است:

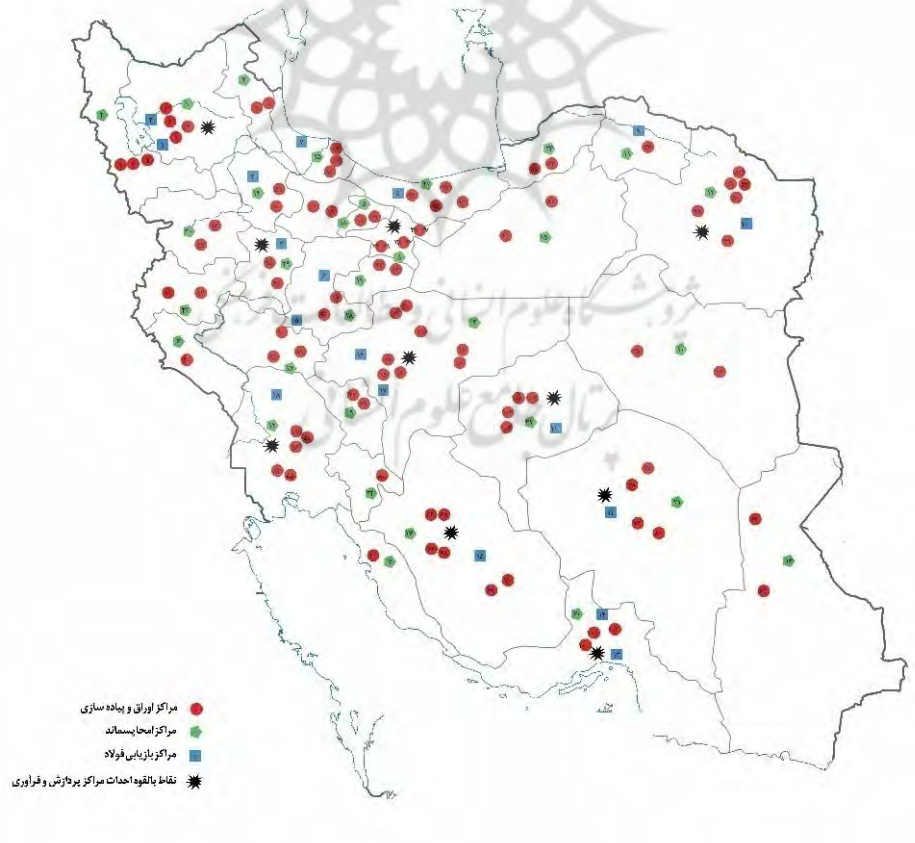
جدول ۲. مقدار پارامترهای مدل

پارامتر	مقدار
ظرفیت مراکز اوراق و پیاده‌سازی	۱۵۰۰۰ خودرو
ظرفیت مراکز بازیابی	(۷۵۰۰۰۰۰–۱۰۰۰۰۰۰۰) تن
ظرفیت مراکز ضایعات	۵۰۰۰۰۰ تن
ظرفیت مراکز پردازش و فراوری	۳۰۰۰۰۰ تن
هزینهٔ احداث مراکز پردازش	۱۵۰۰۰۰۰۰۰۰۰ تومان
هزینهٔ خرید هر خودرو از مشتری	۱۰۰۰۰۰۰۰ تومان
سود هر واحد قطعه یدکی	(۱۰۰۰۰۰۰۰–۱۰۰۰۰۰۰۰)
سود هر واحد بازیابی شده	۲۵۰۰۰ تومان
هزینهٔ تبدیل به ضایعات هر واحد	۵۰۰ تومان
هزینهٔ عملیات هر واحد در مرکز اوراق	۱۰۰۰۰۰۰۰ تومان
هزینهٔ عملیات هر واحد در مرکز پردازش	۵۰۰۰۰۰۰ تومان

جدول ۳. مجموعه نتایج بهینه حاصل از روش محدودیت اپسیلون تقویت‌شده

شماره	هدف اقتصادی	هدف زیست‌محیطی	هدف اجتماعی
۱	۳/۵۴E+۱۳	۳۴۸۹۱۷	۱۲۴۹۷۹۳
۲	۳/۵۹E+۱۳	۳۴۹۰۲۰	۱۲۴۹۸۸۴
۳	۳/۶۳E+۱۳	۳۴۹۱۳۵	۱۲۴۹۹۶۴
۴	۳/۶۸E+۱۳	۳۴۹۱۸۶	۱۲۵۰۱۲۴
۵	۳/۷۵E+۱۳	۳۴۹۲۸۵	۱۲۵۰۲۶۸
۶	۳/۸۱E+۱۳	۳۴۹۴۲۶	۱۲۵۰۳۴۷
۷	۳/۸۷E+۱۳	۳۴۹۵۷۱	۱۲۵۰۴۳۱
۸	۳/۹۳E+۱۳	۳۴۹۶۱۵	۱۲۵۰۴۶۴
۹	۳/۹۹E+۱۳	۳۴۹۶۹۸	۱۲۵۰۵۰۵
۱۰	۴/۰۴E+۱۳	۳۴۹۷۵۴	۱۲۵۰۵۸۷
۱۱	۴/۰۸E+۱۳	۳۴۹۸۳۲	۱۲۵۰۶۸۴

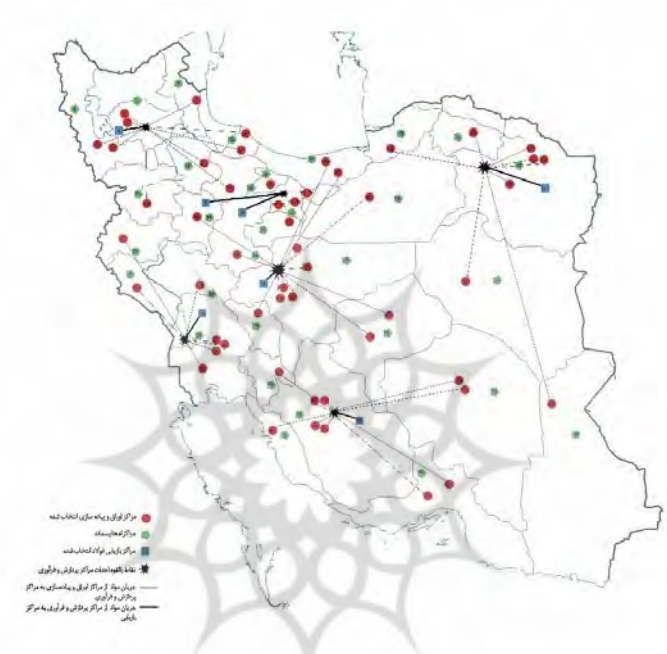
در شکل شماره ۵، مراکز اوراق و پیاده‌سازی، ضایعات، بازیابی و نقاط بالقوه احداث مراکز پردازش و فراوری در کشور ایران نشان داده شده است.



شکل۲. نقاط بالفعل و بالقوه تسهیلات در شبکه زنجیرهٔ تأمین معکوس خودروهای فرسوده ایران

جدول ٤. تعداد تسهیلات راه‌اندازی یا احداث شده در شماره اول و آخر

شماره	توابع هدف			تعداد تسهیلات		
	هدف اقتصادی	هدف زیست‌محیطی	هدف اجتماعی	J	K	L
۱	۳/۵۴E+۱۳	۳۴۸۹۱۷	۱۲۴۹۷۹۳	۷۰	۶	۷
۱۱	۴/۰۸E+۱۳	۳۴۹۸۳۲	۱۲۵۰۶۸۴	۷۰	۶	۷



شکل ۳. مکان‌های بهینه فراگیری تسهیلات در شبکه زنجیرهٔ تأمین معکوس برای حل مدل پیشنهادی

شکل ۳، شماتیک نشان‌دهنده مکان‌یابی تسهیلات در نقاط بالقوه و همچنین روابط بین آن‌هاست براساس جواب خروجی نرم‌افزار گمز می‌باشد. مدل طراحی شده با توجه به تعداد خودروهای فرسوده در استان‌های کشور ایران، فواصل بین مراکز در زنجیرهٔ تأمین و ابعاد پایداری تعیین شده در مدل به‌ویژه بعد اجتماعی شامل میانگین تعداد حوادث سالیانه در مراکز اوراق و پیاده‌سازی، رفاه رانندگان بر اساس مسافت طی شده، کمینه‌سازی مسافت بین محل زندگی نیروی کار و کارخانه اوراق و پیاده‌سازی و کمینه‌سازی مجموع استخدام و اخراج جهت افزایش حفظ نیروی کاری و جلوگیری از هزینه‌های اخراج و استخدام، از بین ۱۰۶ مرکز اوراق و پیاده‌سازی موجود و فعال در کشور ایران ۷۰ مرکز را انتخاب شده است. همچنین از ۱۰ نقطه بالقوه برای احداث مراکز پردازش و فراوری، مدل ریاضی ارائه‌شده با توجه به فواصل این مراکز با دیگر مراکز به‌ویژه مراکز اوراق و پیاده‌سازی و مراکز بازیابی و تعداد خودروهای فرسوده پیاده‌سازی شده در مراکز اوراق و پیاده‌سازی، محل‌های آذربایجان شرقی، تهران، خراسان رضوی، فارس، اصفهان و خوزستان، انتخاب شده است. از طرفی از ۱۸ مرکز بازیابی، مدل ارائه شده، ۷ مرکز را با توجه به فواصل تا مراکز پردازش و فراوری و ظرفیت این مراکز انتخاب شده است. مطابق این شکل جریان مواد بین مراکز اوراق و پیاده‌سازی با مراکز پردازش و فراوری

مشاهده می‌شود. همچنین جریان موارد بین مراکز پردازش و فراوری و بازیابی تعیین گردیده است. با توجه به وضعیت فعلی ایران جریان مواد بین مراکز اوراق و پیاده‌سازی با مراکز ضایعات و جریان مواد بین مراکز پردازش و فراوری و مراکز ضایعات با توجه به محل قرارگیری مراکز در هر استان وجود دارد. نتایج حاصل از مقادیر مختلف در روش اپسیلون محدود تقویت‌شده در جدول ۳ مشاهده می‌شود، همچنین در جدول ۴ نتایج حاصل از تکرارهای اول و یازدهم در حل همراه با تعداد تسهیلات بهینه در هر تکرار آمده است. از نکات حائز اهمیت که در برنامه‌ریزی چندهدفه اهمیت دارد، تناقض بین توابع هدف مختلف است؛ به این مفهوم که بهبود یک تابع هدف منجر به بدترشدن تابع هدف دیگر شود که این موضوع در جدول ۳ قابل مشاهده است. همان طور که در این جدول مشخص است، هرچه میزان تابع هدف اقتصادی بیشتر می‌شود، سود زنجیره بیشتر شده، مقدار تابع اهداف زیست‌محیطی و اجتماعی نیز بیشتر می‌شود. از آنجایی که تابع اهداف زیست‌محیطی و اجتماعی از نوع کمینه‌سازی هستند، افزایش آن‌ها به معنی بدتر شدن آن است. نتایج محاسباتی نشان می‌دهد که مدل ریاضی ارائه شده توانسته است مکان‌یابی تسهیلات، مسیریابی و جریان مواد بین تسهیلات را با در نظر رفتن اهداف سه‌گانه به دست‌آورده و از طرفی با استفاده از سیستم حمل‌ونقل هوشمند بین خودرویی، استفاده از داده‌های ترافیکی و تبدیل داده‌های حمل‌ونقل صرفاً براساس کیلومتر به داده‌های مسافت بر اساس کیلومتر ـ زمان، نتایج واقعی‌تر و کارا تر نسبت به مدل‌های ارائه شده قبلی داشته باشد.

تحلیل حساسیت

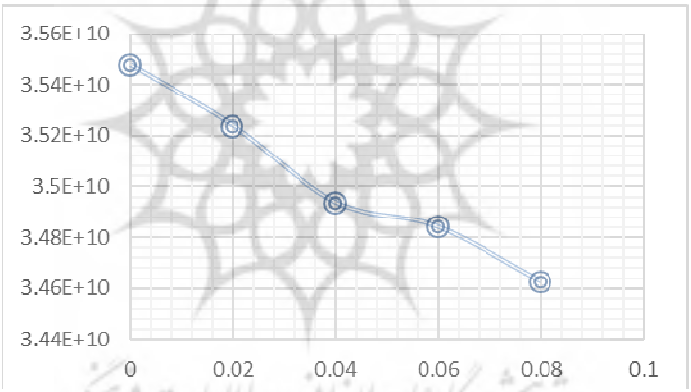
تغییرات مدل با افزایش مقدار دو پارامتر هزینهٔ تبلیغات جهت فرهنگ‌سازی برای فروش خودرو و میزان انتشار گاز از ۱ تا ۱۰ درصد مورد تحلیل قرار گرفته که نتایج این بررسی در جداول ۵ و ۶ نشان داده شده است. همان طور که شکل ۴ مشاهده می‌شود، با افزایش هزینهٔ تبلیغات جهت فرهنگ‌سازی، مقدار تابع هدف اقتصادی کاهش می‌یابد. نمودار میزان تغییرات تابع هدف زیست‌محیطی به‌ازای تغییر در میزان انتشار گاز کربن در شکل ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵. تغییرات تابع هدف اقتصادی به‌ازای تغییر هزینهٔ تبلیغات جهت فرهنگ‌سازی

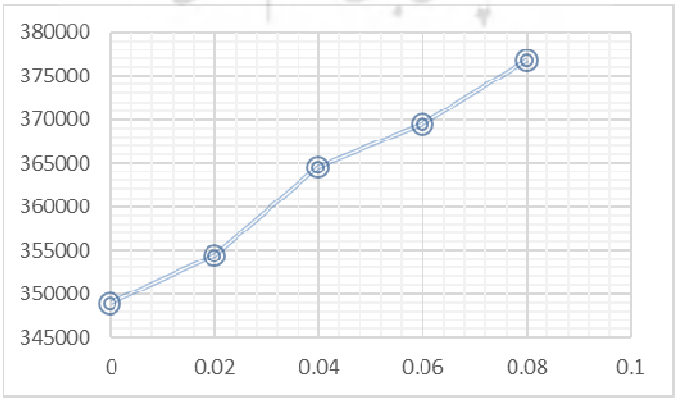
شماره	هدف زیست‌محیطی	هدف اجتماعی	درصد افزایش هزینهٔ تبلیغات جهت فرهنگ‌سازی			
			۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۸
۱	۳۴۸۹۱۷	۱۲۴۹۷۹۳	۳/۵۲E+۱۳	۳/۴۹E+۱۳	۳/۴۸E+۱۳	۳/۴۶E+۱۳
۲	۳۴۹۰۲۰	۱۲۴۹۸۸۴	۳/۵۹E+۱۳	۳/۵۴E+۱۳	۳/۵۲E+۱۳	۳/۵۰E+۱۳
۳	۳۴۹۱۳۵	۱۲۴۹۹۶۴	۳/۶۷E+۱۳	۳/۵۸E+۱۳	۳/۵۷E+۱۳	۳/۵۵E+۱۳
۴	۳۴۹۱۸۶	۱۲۵۰۱۲۴	۳/۷۳E+۱۳	۳/۶۲E+۱۳	۳/۶۳E+۱۳	۳/۵۹E+۱۳
۵	۳۴۹۲۸۵	۱۲۵۰۲۶۸	۳/۸۱E+۱۳	۳/۶۷E+۱۳	۳/۶۸E+۱۳	۳/۶۴E+۱۳
۶	۳۴۹۴۲۶	۱۲۵۰۳۴۷	۳/۸۹E+۱۳	۳/۷۳E+۱۳	۳/۷۱E+۱۳	۳/۶۹E+۱۳
۷	۳۴۹۵۷۱	۱۲۵۰۴۳۱	۳/۹۴E+۱۳	۳/۷۹E+۱۳	۳/۷۶E+۱۳	۳/۷۳E+۱۳
۸	۳۴۹۶۱۵	۱۲۵۰۴۶۴	۴/۰۳E+۱۳	۳/۸۵E+۱۳	۳/۸۲E+۱۳	۳/۷۹E+۱۳
۹	۳۴۹۶۹۸	۱۲۵۰۵۰۵	۴/۱۲E+۱۳	۳/۹۱E+۱۳	۳/۸۹E+۱۳	۳/۸۴E+۱۳
۱۰	۳۴۹۷۵۴	۱۲۵۰۵۸۷	۳/۵۲E+۱۳	۳/۹۶E+۱۳	۳/۹۲E+۱۳	۳/۹۰E+۱۳
۱۱	۳۴۹۸۳۲	۱۲۵۰۶۸۴	۳/۵۲E+۱۳	۴/۰۱E+۱۳	۳/۹۹E+۱۳	۳/۹۷E+۱۳

جدول ٦. تغییرات تابع هدف اقتصادی به‌ازای تغییر میزان انتشار کربن در حمل

شماره	هدف اقتصادی	هدف اجتماعی	درصد افزایش میزان انتشار کربن در حمل			
			۰/۰۲	۰/۰٤	۰/۰٦	۰/۰۸
۱	۳/۵۴E+۱۳	۱۲۴۹۷۹۳	۳۵۴۵۰۰	۳۶۴۶۱۸	۳۶۹۵۰۳	۳۷۶۸۳۰
۲	۳/۵۹E+۱۳	۱۲۴۹۸۸۴	۳۵۴۶۰۴	۳۶۴۷۲۶	۳۶۹۶۱۲	۳۷۶۹۴۲
۳	۳/۶۳E+۱۳	۱۲۴۹۹۶۴	۳۵۴۷۲۱	۳۶۴۸۴۶	۳۶۹۷۳۴	۳۷۷۰۶۶
۴	۳/۶۸E+۱۳	۱۲۵۰۱۲۴	۳۵۴۷۷۳	۳۶۴۸۹۹	۳۶۹۷۸۸	۳۷۷۱۲۱
۵	۳/۷۵E+۱۳	۱۲۵۰۲۶۸	۳۵۴۸۷۴	۳۶۵۰۰۳	۳۶۹۸۹۳	۳۷۷۲۲۸
۶	۳/۸۱E+۱۳	۱۲۵۰۳۴۷	۳۵۵۰۱۷	۳۶۵۱۵۰	۳۷۰۰۴۲	۳۷۷۳۸۰
۷	۳/۸۷E+۱۳	۱۲۵۰۴۳۱	۳۵۵۱۶۴	۳۶۵۳۰۲	۳۷۰۱۹۶	۳۷۷۵۳۷
۸	۳/۹۳E+۱۳	۱۲۵۰۴۶۴	۳۵۵۲۰۹	۳۶۵۳۴۸	۳۷۰۲۴۲	۳۷۷۵۸۴
۹	۳/۹۹E+۱۳	۱۲۵۰۵۰۵	۳۵۵۲۹۳	۳۶۵۴۳۴	۳۷۰۳۳۰	۳۷۷۶۷۴
۱۰	۴/۰۴E+۱۳	۱۲۵۰۵۸۷	۳۵۵۳۵۰	۳۶۵۴۹۳	۳۷۰۳۸۹	۳۷۷۷۳۴
۱۱	۴/۰۸E+۱۳	۱۲۵۰۶۸۴	۳۵۵۴۲۹	۳۶۵۵۷۴	۳۷۰۴۷۲	۳۷۷۸۱۹



شکل ٤. نمودار میزان تغییرات تابع هدف اقتصادی به‌ازای تغییر هزینهٔ تبلیغات فرهنگ‌سازی



شکل ٥. نمودار میزان تغییرات تابع هدف زیست‌محیطی به‌ازای تغییر هزینهٔ میزان انتشار کربن حمل

نتیجه‌گیری

زندگی در محیطی سالم و پاکیزه یکی از عمده‌ترین نیازهای انسانی است. از این رو در اغلب جوامع، مسائل زیست‌محیطی از اهمیت خاص برخوردار است. یکی از مهمترین مسائل زیست‌محیطی با توجه به افزایش تولیدات صنعتی، جمع‌آوری و مدیریت پسماندهای صنعتی است. مدیریت پسماند، سیستمی است که جریان پسماند، جمع‌آوری پسماند و روش‌های پردازش و دفع آن را در تعامل با یکدیگر مدیریت می‌کند. به نحوی که اهداف اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی را در یک منطقه مشخص به دست آید. اجرای هر یک از مراحل فوق، نیازمند برنامه‌ریزی و طراحی دقیق است. در این پژوهش به‌منظور مکان‌یابی تسهیلات اوراق و پیاده‌سازی، پردازش و فراوری به مطالعه وضعیت شبکه پسماند خودروهای فرسوده کشور ایران پرداخته شده است و یک مدل ریاضی چند هدفه برای زنجیرهٔ تأمین معکوس خودروهای فرسوده با در نظر گرفتن ابعاد پایداری طراحی گردید. همچنین در این مدل از سیستم‌های بین‌خودرویی vanet در راستای واقعی شدن داده‌های حمل‌ونقل با توجه به ترافیک و انتشار کربن دی‌اکسید ناشی از آن استفاده شده است. در نهایت، مدل مطرح‌شده با نرم‌افزار گمز با روش محدودیت اپسیلون برای مسئله مورد مطالعه کشور ایران حل شد و شماتیک تسهیلات راه‌اندازی یا احداث شده و جریان موارد بین مراکز اوراق و پیاده‌سازی با مراکز پردازش و فراوری و مراکز پردازش و فراوری با مراکز بازیابی نشان‌داده شد. نتایج تحلیل حساسیت با توجه به تغییرات پارامترهای هزینهٔ فرهنگ‌سازی برای فروش خودرو و میزان انتشار کربن در حمل انجام گرفت. پیشنهاد می‌شود بررسی و تایید نهایی محل با توجه به نظر مسئولان صورت گیرد و موارد دیگر که در انتخاب مکان تسهیلات با توجه به اهداف سه‌گانه مدنظر، تأثیرگذارند و در این پژوهش در نظر گرفته نشده اند، با نظر متخصصان اعمال شود.

از جمله محدودیت‌های این تحقیق قطعی بودن تقاضا و هزینه‌ها می‌باشد که در تحقیقات آینده می‌تواند به‌صورت غیرقطعی، فازی و یا احتمالی فرض شود. همچنین حل مسئله با الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری و مقایسه آن با نتایج این تحقیق نیز می‌تواند از جمله موضوعات مهم در تحقیقات آینده باشد.به‌منظور تحقیقات آتی می‌توان مدل را جهت مدیریت دیگر پسماندهای صنعتی با توجه استفاده از مراکز پردازش و فراوری در صنایع دیگر مانند لوازم خانگی، لوازم الکترونیکی، موتوسیکلت، اتوبوس، کامیون، مترو و... توسعه داد و مباحث استحصال انرژی از زباله‌های صنعتی را به مدل اضافه کرد.

منابع

آئینه‌وند، سروناز و غلامیان، محمدرضا (۱۳۹۹). ارائه مدل مکان‌یابی ـ موجودی فراورده‌های خونی (پلاکت) در زنجیره تأمین خون بر اساس سیستم سفارش‌دهی EOQ. *مدیریت صنعتی*، ۱۲(۴)، ۶۰۹- ۶۳۳.

امین‌پور، سعید؛ ایرج‌پور، علیرضا؛ یزدانی، مهدی؛ محتشمی، علی (۱۳۹۹). طراحی مدل چندهدفه شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته در صنعت خودرو با توجه به طرح‌های بازده انرژی و زمان. *مدیریت صنعتی*، ۱۲(۲)، ۳۱۹- ۳۴۳.

مؤمنی، منصور و زرشکی، نیما (۱۴۰۰). مدل‌سازی زنجیره تأمین حلقه بسته با به‌کارگیری از سناریوها در مواجهه با عدم قطعیت در کمیت و کیفیت برگشتی‌ها. *مدیریت صنعتی*، ۱۳(۱)، ۱۰۵- ۱۳۰.

References

Achillas, Ch., Vlachokostas, Ch., Aidonis, D., Moussiopoulos, N., Lakovou, E., and Banias, G. (2010). Optimising Reverse Logistics Network to Support Policy-Making in the Case of Electrical and Electronic Equipment. *Waste Management*, 30(12), 2592-2600.

Aieneh-Vand, S. & Gholamian, M.R. (2020). A location-inventory model of blood products (platelet) in the blood supply chain based on the EOQ ordering system. *Industrial Management Journal*, 12(4), 609-633. (*in Persian*)

Akbarpour Shirazi, M., Samieifard, R., Abduli, M.A., Omidvar, B. (2016). Mathematical modeling in municipal solid waste management: case study of Tehran. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 14(1). DOI:10.1186/s40201-016-0250-2

Aminpour, S., Irajpour, A. & Yazdani, M. & Mohtashami, A. (2020). The Design of a Multi-directional Network Chain Model Offering a Closed Loop in the Automotive Industry by Providing Energy and Time Efficiency Programs. *Industrial Management Journal*, 12(1), 319-343. (*in Persian*)

Amritkar, M. (2017). Automatic Waste Management System with RFID and Ultrasonic Sensors. *International Journal of Computer Sciences and Engineering*, 5, 240-242. 10.26438/ijcse/v5i10.240242.

Aydın, N. (2020). Designing Reverse Logistics Network of End-Of-Life-Buildings as Preparedness to Disasters under Uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, 256. 120341. 10.1016/j.jclepro.2020.120341.

Chakraborty, S. & Mehta, A. & Sheikh, Sh., Jha, A. & Manjunath, Cr. (2021). Smart waste management system. *JETIR*, 8(5).

Chan, F. T.S, Chan, H.K., Jain, V. (2012). A framework of reverse logistics for the automobile industry. *International Journal of Production Research*, 50(5), 1318-1331.

Damadi, H. & Namjoo, M.R. (2021). Smart Waste Management Using Blockchain. *IT Professional*, 23, 81-87. 10.1109/MITP.2021.3067710.

Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S. & Meyarivan, T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE transactions on evolutionary computation*, 6(2), 182-197.

Doan, L.T.T., Amer, Y., Lee, S.-H., Phuc, P.N.K. & Dat, L.Q. (2019). E-Waste Reverse Supply Chain: A Review and Future Perspectives. *Applied Sciences*, 9, 5195. DOI: 10.3390/app9235195.

Eghbali, H., Arkat, J. & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2022). Sustainable supply chain network design for municipal solid waste management: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 381, Part 1. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135211

Ene, S. & Öztürk, N. (2015). Network modeling for reverse flows of end-of-life vehicles. *Waste Manag*, http:// dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.01.007.

Flores Castro, E. G. & Yoo, S.G. (2021). A Smart Waste Management System Based on LoRaWAN. *International Conference on Futuristic Trends in Networks and Computing Technologies FTNCT 2020*. Doi: 10.1007/978-981-16-1483-5_21.

Hogland, W. & Stenis, J. (2010). Assessment and system analysis of industrial waste management, Waste Management, vol.20, ppt.7-543

Jimenez, M., Arenas, M., & Bilbao, A. (2007). Linear programming with fuzzy parameters: an interactive method resolution. *European Journal of Operational Research*, 177(3), 1599-1609.

Khakim Habibia, M.K., Battaïab, O., Cungc, V-D., Dolgui, A. (2017). Collection–Disassembly Problem in Reverse Supply Chain. *International Journal of Production Economics*, 183, Part B., 334- 344.

Kuroki, H. & Ishigaki, A. & Takashima, R. (2020). A location-routing problem with economic efficiency for recycling system. *Procedia Manufacturing*. 43. 215-222. 10.1016/j.promfg.2020.02.139.

Kuşakc, A.O., Ayvaz, B., Cin, E., Aydın, N. (2019). Optimization of reverse logistics network of End of Life Vehicles under fuzzy supply: A case study for Istanbul Metropolitan Area, *Journal of Cleaner Production*. doi: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.090.

Lin, Y., Jia, H., Yang, Y., Tian, G., Tao, F., Ling, L. (2018). An improved artificial bee colony for facility location allocation problem of end-of-life vehicles recovery network. *Journal of Cleaner Production*, 205, 134-144.

Mahmoudzadeh, M., Mansour, S., Karimi, B. (2011). A Decentralized Reverse Logistics Network for End of Life Vehicles from Third Party Provider Perspective. *2nd International Conference on Environmental Science and Technology*.

Marr, B. (2016). Why Everyone Must Get Ready For The 4th Industrial Revolution. *Forbes (blog).* Retrieved 2016-12-12.

Mavrotas, G., Florios, K. (2013). An improved version of the augmented e-constraint method (AUGMECON2) for finding the exact pareto set in multi-objective integer programming problems. *Applied Mathematics and Computation*, 219(18), 9652-9669.

Mirjalili, S.A. & Lewis, A. (2016). The Whale Optimization Algorithm. *Advances in Engineering Software*, 95. 51-67. DOI: 10.1016/j.advengsoft.2016.01.008.

Momeni, M. & Zereshki, N. (2021). Modeling of Closed-Loop Supply Chains by Utilizing Scenario-Based Approaches in Facing Uncertainty in Quality and Quantity of Returns. *Industrial Management Journal*, 13(1), 105-130. (*in Persian*)

Mosallanezhad, B., Gholian-Jouybari, F., Cárdenas-Barrón, L.E. & Hajiaghaei-Keshteli, M. (2023). The IoT-enabled sustainable reverse supply chain for COVID-19 Pandemic Wastes (CPW). *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 120. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.105903

Olapiriyakul, S. & Pannakkong, W. & Kachapanya, W. & Starita, S. (2019). Multiobjective Optimization Model for Sustainable Waste Management Network Design. *Journal of Advanced Transportation,*1-15. Doi: 10.1155/2019/3612809.

Rabbani, M., Mokhtarzadeh, M., Farrokhi-Asl, H. (2018). A New Mathematical Model for Designing a Municipal Solid Waste System Considering Environmentally Issues. *Int J Supply Oper Manage (IJSOM),* 5(3).

Roshan, R. & Rishi, O.P. (2020). Effective and Efficient Smart Waste Management System for the Smart Cities Using Internet of Things (IoT): An Indian Perspective. *Conference Paper*, DOI: 10.1007/978-981-15-6014-9_54.

Safdar, N. & Khalid, R. & Ahmed, W. & Imran, M. (2020). Reverse logistics network design of e-waste management under the triple bottom line approach. *Journal of Cleaner Production*, 272. Doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122662.

Sajadieh, M. & Shadrokh, Sh. & Hassanzadeh, F. (2009). Concurrent Project Scheduling and Material Planning: A Genetic Algorithm Approach. *Industrial Engineering*, 16(2), 91- 99.

Sasikumar, P., Kannan, G., and Noorul Haq, A. N. (2010). A Multi-Echelon Reverse Logistics Network Design for Product Recovery – A Case of Truck Tire Remanufacturing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 49(9-12), 1223-1234.

Shyam, G. & Manvi, S.S. & Priyanka, B. (2017). Smart waste management using Internet-of-Things (IoT). *2nd International Conference on Computing and Communications Technologies (ICCCT)*. 199-203. DOI: 10.1109/ICCCT2.2017.7972276.

Singh, T. & Mahajan, R. & Bagai, D. (2016). Smart Waste Management using Wireless Sensor Network. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, 4(6), 1111-1115. DOI: 10.15680/IJIRCCE.2016. 0405001

Tavakkoli-Moghaddam, R. & Azarkish, M. & Sadeghnejad, A. (2011). A new hybrid multi-objective Pareto archive PSO algorithm for a bi-objective job shop scheduling problem. *Expert Systems with Applications*, 38(9), 10812-10821. Doi: 10.1016/j.eswa.2011.02.050.

Vijay, Sh. & Kumar, P. & Raju, S. (2019). Smart Waste Management System using ARDUINO. *45th Series Student Project Programme (SPP)* – 2021-22.

Wang, X., Zhao, M., He, H. (2018). Reverse Logistic Network Optimization Research for Sharing Bikes. *Procedia Computer Science*, 126, 1693–1703.

Xiao, ZH., Suna, J.B., Shua, W., Wanga, T. (2019). Location-allocation problem of reverse logistics for end-of-life vehicles based on the measurement of carbon emissions. *Computers & Industrial Engineering*, 127, 169-181.

Xie, C., Deng, X., Zhang, J., Wang, Y., Zheng, L., Ding, X., Li, X. & Wu, L. (2023). Multi-period design and optimization of classified municipal solid waste supply chain integrating seasonal fluctuations in waste generation. *Sustainable Cities and Society*, 93. https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104522

Xu, Z., Elomri, A., Pokharel, Sh., Zhang, Q., Ming, X. & Liu, W. (2017). Global reverse supply chain design for solid waste recycling under uncertainties and carbon emission constraint. *Waste Management*. 64, 358-370. DOI: 10.1016/j.wasman.2017.02.024.

Yu, H., Solvang, W-D. (2016). A general reverse logistics network design model for product reused and recycling with environmental considerations. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 87, 2693.