Journal of Green Management, Vol.3, No.4, Feb 2024, pp1-25.

Multi-Objective Mathematical Model for Optimizing Urban Waste Management (Case study: Karaj City)

Mohsen Bijanpoor [1], Reza Ehtsham Rasi [2*], Davood Karakhani [3]

1- Department of Industrial Management, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.
E-mail: mnbijanpoor@yahoo.com
2- Department of Industrial Management, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.
(Corresponding Author) E-mail: ehteshamrasi@qiau.ac.ir
3- Department of Industrial Management, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.
E-mail: davoodgharakhany@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received:
2023/04/29
Acceptance:
2024/03/03
Published online:
2024/03/18

Key words:
Supply Chain,
Lagrange's Relaxation Method,
Two-Stage Stochastic programming,
Linear Programming,
Waste

Abstract

In this research, an optimal supply chain network for the collection and recycling of urban waste has been presented by using the double-objective mixed integer linear programming method. In the supply chain design of this research, in addition to the concept of recycling, the concept of a dedicated hub was also considered for each type of separated waste. The objective functions include an economic function to minimize investment costs and a social objective function to maximize the amount of recycling. To solve the large-scale problem accurately, the Lagrange release method has been used. To validate and confirm the efficiency, the model was implemented on a case study in the city of Karaj. According to the obtained results, in order to increase the amount of recycling in the waste supply chain network, more infrastructural and operational investments are needed in the area of forming hub centers. By increasing the amount of recycling, the harmful environmental and destructive effects caused by burying and burning mixed waste will be reduced. In this research, it was observed that the Lagrange release method is able to solve large-scale problems with appropriate accuracy and in less time compared to the commercial CPLEX solver. Therefore, the Lagrange release method can be used as an accurate solution to reduce the time of solving large-scale problems.

Cite this article: Bijanpoor, M., Ehtsham Rasi, R., & Karakhani, D. (2024). Multi-Objective Mathematical Model for Optimizing Urban Waste Management (Case study: Karaj City).*Green Management*, 3(4), 1-25.

Publisher: Islamic Azad University, Aliabad Katoul Branch. **ISSN**: 2821-0050

مدل ریاضی چند هدفه برای بهینه سازی مدیریت پسماند های شهری

(مورد مطالعه : شهرکرج)

محسن بیژن پور [۱]، رضا احتشام راثی [۲*]، داوود قراخانی [۳]

۱- گروه مدیریت صنعتی ، واحد قزوین ، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران. رایانامه : mnbijanpoor@yahoo.com
۲- گروه مدیریت صنعتی ، واحد قزوین ، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران. (نویسنده مسئول) رایانامه: ehteshamrasi@qiau.ac.ir
۳- گروه مدیریت صنعتی ، واحد قزوین ، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران. davoodgharakhany@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۲/۰۹

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۱۲/۱۳

تاریخ انتشار:
۱۴۰۲/۱۲/۲۸

کلمات کلیدی:
زنجیره تأمین،
روش آرام سازی لاگرانژ،
برنامه ریزی تصادفی دو مرحله ای،
برنامه ریزی خطی،
ضایعات

چکیده

در این تحقیق با استفاده از روش برنامه ریزی خطی عددصحیح مختلط دوهدفه ، یک شبکه بهینه زنجیره تامین جمع آوری و بازیافت پسماندهای شهری با لحاظ تفکیک از مبداء ارائه گردیده است. در طراحی زنجیره تامین این پژوهش علاوه بر مفهوم بازیافت، مفهوم هاب اختصاصی نیز برای هر نوع از پسماند های تفکیک شده لحاظ گردید. توابع هدف شامل یک تابع اقتصادی برای حداقل سازی هزینه های سرمایه‌گذاری و یک تابع هدف اجتماعی برای حداکثرسازی مقدار بازیافت می باشد. برای حل دقیق مسئله درمقیاس بزرگ از روش آزادسازی لاگرانژ استفاده شده است. برای صحت سنجی و تایید کارایی ، مدل روی یک مطالعه موردی در شهر کرج پیاده سازی شد. با توجه به نتایج یه دست آمده ، برای افزایش میزان بازیافت در شبکه زنجیره تامین پسماند ، نیاز به سرمایه گذاری های زیرساختی و عملیاتی بیشتر در حوزه تشکیل مراکز هاب می باشد. با افزایش مقدار بازیافت ، آثار زیان بار زیست محیطی و تخریبی ناشی از دفن و سوزاندن مخلوط پسماندها کاهش خواهد یافت. در این پژوهش ، مشاهده شد که روش آزادسازی لاگرانژ قادر است در مقایسه با حل کننده تجاری سیپلکس ، مسائل در مقیاس بزرگ را با دقتی مناسب و در زمانی کمتر حل کند.بنابراین روش آزادسازی لاگرانژ می تواند بعنوان یک راه حل دقیق ، برای کاهش زمان حل مسائل مقیاس بزرگ مورد استفاده قرار گیرد .

استناد: بیژن پور، محسن؛ احتشام راثی، رضا، و قراخانی، داوود(۱۴۰۲). مدل ریاضی چند هدفه برای بهینه سازی مدیریت پسماند های شهری (مورد مطالعه : شهرکرج. *مدیریت سبز*، ۳(۴)، ۱-۲۵.

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی واحد علی آباد کتول. **شاپا الکترونیکی:** ۰۰۵۰-۲۸۲۱

مقدمه

در حالیکه در ایران روزانه ۵۸ هزار تن پسماند تولید می شود ، فقط حدود ۱۰ درصد آنها بازیافت می‌شوند. در شهر تهران ، میزان تفکیک از مبدأ پسماند های شهری درحدود ۲ درصد پسماند های تولیدی روزانه است. عملیات جمع آوری و دفع پسماندها ، بدلیل صرف هزینه های سرمایه گذاری گزاف برای ناوگان جمع آوری و حمل پسماند و نیز لزوم صرف هزینه های چشم گیرعملیاتی بسیار پر هزینه است (هزینه‌هایی مانند سوخت ، نگهداری و تعمیرات). بنابراین حتی کاهش های اندک در هزینه های عملیاتی جمع آوری و دفع پسماندها ، منجر به صرفه جویی های بزرگ در هزینه شهرداری ها می شود.

بطور میانگین بین ۶۰ تا ۸۰ درصد هزینه های مدیریت پسماند های جامد شهری مربوط به هزینه های جمع آوری و حمل و نقل پسماند ها است. (تی آلمیرال و همکاران ۲۰۱۳)[1] براساس تازه‌ترین آمارهای اعلام شده ، در جهان سالانه حدود ۲ میلیارد تن پسماند صنعتی و شهری تولید می‌شود که ارزش بازار آن از مرحله جمع آوری تا بازیافت ، به حدود ۵۰۰ میلیارد دلار می‌رسد. ارزش افزوده حاصل از بازیافت پسماند در جهان به اندازه‌ای است که حدود ۱۵ درصد تولید ناخالص داخلی برخی کشورهای صنعتی را تشکیل می دهد . (هاریسون سی و همکاران ۲۰۱۰)[2] درحالی که در جهان به طور متوسط ۷۰ درصد پسماندهای تولید شده بازیافت می‌شود ، این رقم در ایران بصورت خوشبینانه حدود ۲۰ درصد است ولذا سالانه حدود ۱۶میلیون تن پسماند تولیدی کشور در خاک دفن می شود . در فرآیند دفع پسماند ها در کشور نیز ، تنها ۲ درصد از پسماند ها با رعایت اصول بهداشتی دفن می شوند.

طبق آمارهای جهانی، در استرالیا با توجه به شرایط زمین ۷۰ درصد پسماند ها دفن و ۳۰ درصد پس ماندها بازیافت می شود.در کشور ژاپن تنها ۳ درصد پسماندها دفن می شود در حالیکه ۱۷ درصد آنها بازیافت و ۷۴ درصد هم در مسیر بازیافت انرژی قرار می گیرند.سرعت فزاینده رشد جمعیت و توسعه مستمر شهرها در ایران و گسترش فعالیت‌های صنعتی، تجاری و خدماتی منجر به تولید مقادیر زیادی پسماند جامد در شهرهای ایران شده است(اکبرپور شیرازی و همکاران، ۱۳۹۵).[3] بنابراین مدیریت پسماندهای جامد یکی از دغدغه‌های مهم حوزه سلامت و زیست‌محیطی برای دولت و مسئولین شهری است، زیرا در صورت عدم مدیریت صحیح، پسماندهای تولید شده می‌توانند آب‌های سطحی و زیرزمینی، خاک و هوا را در مقیاس وسیع و با سرعت بسیار زیاد آلوده کنند (حبیبی و همکاران، ۲۰۱۷)[4]

1-T.,Almirall,E
2 -Harrison, C
3 -Akbarpour Shirazi
4 -Habibi

ادبیات نظری و پیشینه تحقیق

پسماندهای شهری عمدتاً از پسماندهای روزمره تشکیل شده‌است. مدیریت این پسماندها به دلیل رشد سریع جمعیت و عدم سرمایه‌گذاری مناسب توسط دولت‌ها یا مقامات مسئول، برای بسیاری از کشورهای در حال توسعه به چالشی دائمی تبدیل شده‌است(عرفان بابایی و دیگران ۱۳۹۷)[1]. مدیریت نامناسب پسماندها می‌تواند منجر به مشکلات جدی از جمله آسیب به سلامت انسان، آسیب به اکوسیستم‌ها، از دست دادن تنوع زیستی و آلودگی‌های آب، خاک و هوا شود. مدیریت پسماند شامل گزینه‌های مختلفی شامل به حداقل رساندن تولید پسماند، بازیافت و دفع بهداشتی پسماندها می‌باشد(محمدی و همکاران، ۲۰۱۹).[2] از میان تمام استراتژی‌های مدیریت پسماندهای شهری "عملیات بازیافت پسماند " به دلیل تاثیر آن بررشد اقتصادی درکنار فراهم ساختن حفاظت از محیط‌زیست و سلامت انسان، بیشتر از سایر گزینه‌ها مورد توجه قرارگرفته-است. عملیات جمع‌آوری ، بازیافت یا دفع پسماندها با توجه به لزوم سرمایه‌گذاری در تاسیسات جمع‌آوری و دفع و نیز صرف هزینه‌های عملیاتی بسیار پر هزینه است. بنابراین بهبود اندکی در این فرآیند باعث کاهش چشم‌گیر در هزینه‌های شهرداری‌ها می‌شود(عرفان بابایی و دیگران ۱۳۹۷).

چالش رو به رشد مدیریت پسماند جامد شهری در شهرهای بزرگ مستلزم توسعه ابزارهای پشتیبانی تصمیم‌گیری علمی برای کمک به مقامات در مدیریت و برنامه‌ریزی مسائل شهری است (آصفی و همکاران، ۲۰۱۹) منظور از مدیریت پسماند جامد مجموعه‌ای از برنامه‌ها و قوانین منسجم و سیستماتیک مربوط به کنترل تولید، جمع‌آوری، حمل و نقل، تفکیک، بازیافت و دفن پسماندها بر اساس اصول بهداشت عمومی، اقتصاد و حفظ منابع زیستی است.(اکبرپور شیرازی و همکاران، ۱۳۹۵). طبق تحقیقات انجام شده، مدیریت پسماند جامد شهری را می‌توان به عنوان یک مسئله طراحی شبکه زنجیره تامین در نظر گرفت (محمدی و همکاران، ۲۰۱۹). این شبکه شامل تاسیساتی مانند ایستگاه‌های جمع‌آوری پسماند، ایستگاه های انتقال یا هاب و تاسیسات بازیافت و دفع است. در فرآیند جمع‌آوری پسماندهای خانگی، پسماندها از ایستگاه‌های جمع‌آوری محلی ابتدا به تأسیسات انتقال فرستاده می‌شوند ودرآنجا ازکامیون‌های جمع‌آوری شهری تخلیه و درکامیون‌های بزرگ‌تربارگیری می‌شوند تا به صورت انبوه به محل‌های دفن پسماند منتقل شوند(حبیبی و همکاران، ۲۰۱۷). تصمیمات مهمی که برای افزایش راندمان کلی سیستم در این شبکه اتخاذ می‌شود، شامل شناسایی مکان‌های بهینه برای تأسیسات مختلف پسماند و تعیین جریان مواد از طریق آنها می‌شود (پوریانی و همکاران، ۲۰۱۹)[3].

1- Babaei , E
2 -Mohammadi
3 -Pouriani

به منظور طراحی شبکه زنجیره‌تامین کارا و مناسب برای فرآیند جمع‌آوری پسماندهای شهری، مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی قادر به بهبود عملکرد این زنجیره تامین با بهینه‌سازی مکان تأسیسات و تخصیص تاسیسات به یکدیگر هستند و لذا ازاین نظرمفید هستند(حبیبی و همکاران، ۲۰۱۷). چون پارامترها و اطلاعات مورد نیاز در هنگام طراحی شبکه زنجیره‌تامین پسماند، به طور قطعی دردسترس نمی‌باشند ، لذا طراحی یک زنجیره‌تامین به شکل قطعی ، کارایی آن را در واقعیت کاهش می‌دهد، بنابراین در نظرگرفتن عدم‌قطعیت در طراحی مدل اجتناب ناپذیر است(رحیمی و قضاواتی، ۱۳۹۷)[1]. ارکوت و همکاران در مقاله سال ۲۰۰۸ خود[2] یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط چندهدفه را برای حل مسئله مکانیابی و تخصیص ظرفیت برای تاسیسات زنجیره تامین پسماند در مقیاس‌های منطقه‌ای و استانی با توجه به معیارهای اقتصادی و زیست‌محیطی توسعه دادند.

کوتینیو-رودریگز و همکاران۲۰۱۲.[3] یک مدل دو هدفه را توسعه دادند. مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح که هزینه‌های سرمایه‌گذاری و نارضایتی ناشی از آن را به طور همزمان در بین ساکنین محلی به حداقل می‌رساند، تعداد تاسیسات مورد نیاز، ظرفیت و محل استقرار آن‌ها و سهم هر یک از تاسیسات در تامین تقاضا در این مدل مشخص می‌شود. سانتیبانز-آگیلار و همکاران در مقاله سال ۲۰۱۳ خود[4] یک مدل برنامه‌ریزی عددصحیح مختلط را برای برنامه‌ریزی بهینه یک زنجیره‌تامین مرتبط با سیستم‌های مدیریت پسماندهای شهری با در نظر گرفتن معیارهای اقتصادی و زیست‌محیطی پیشنهاد کردند. حریجانی و همکاران در مقاله سال ۱۳۹۶[5] خود نیز با اتخاذ تصمیمات همزمان در خصوص مکان مراکز پردازش پسماند، تخصیص ظرفیت به مراکز و مسیریابی در شبکه حمل و نقل پسماند، یک مدل برنامه‌ریزی عددصحیح مختلط را برای به حداکثر رساندن سود شبکه بازیافت و دفع در تهران توسعه داده‌اند.

حبیبی و همکاران در مقاله سال خود ۲۰۱۷یک مدل بهینه‌سازی استوار چندهدفه را برای انتخاب محل و تخصیص ظرفیت تمام تاسیسات بازیافت و دفع در یک سیستم مدیریت پسماند جامد ارائه شده است . این مدل به تصمیم گیرندگان اجازه می‌دهد تا مکان تاسیسات بازیافت و دفع، تخصیص تاسیسات به یکدیگر، نوع فن‌آوری پردازش و حمل پسماند، ظرفیت هر تاسیسات، و تعداد وسایل نقلیه مورد نیاز برای حمل و نقل پسماند بین تاسیسات را بهینه‌سازی کنند. در این تحقیق هزینه‌های سرمایه‌گزاری، حمل و نقل و دفن مواد زائد به شکل غیرقطعی در نظرگرفته‌شده‌اند.

1 -Rahimi and Ghezavati
2 -Erkut
3 -Coutinho-Rodrigues
4 -Santibañez-Aguilar
5 -Harijani

محمد و همکاران در مقاله سال ۲۰۱۷خود[1] به منظور کاهش انتشار کربن در مسئله خود سطح ظرفیت تاسیسات و حالت حمل ونقل پسماندها را بهینه کردند. محمد و همکاران در مقاله خود بیان داشته اند، برای رسیدن به اهداف تحقیق یک مدل بهینه‌سازی را برای بررسی یک مساله طراحی شبکه زنجیره تامین پسماند چند دوره‌ای، چند محصولی و دارای ظرفیت پیشنهاد می‌کنند. برای حل این مسئله از یک فرمولاسیون برنامه‌ریزی عددصحیح مختلط استفاده می‌شود.

رودریگو د آلوارنگا گومز و همکاران در مقاله سال ۲۰۱۷ خود به منظور بهینه‌سازی فرآیند جمع‌آوری پسماند یک مدل برای لجستیک معکوس ارائه داده‌اند تا با به حداقل رساندن تعداد کامیون‌ها وکل مسافت طی‌شده، هزینه‌ها کلی سیستم جمع‌آوری را کاهش دهند.

رحیمی و قضاواتی در مقاله سال ۱۳۹۷ خود یک برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط چند دوره‌ای را برای طراحی و برنامه‌ریزی یک شبکه لجستیک معکوس تحت عدم قطعیت برای بازیافت پسماند ساخت و ساز ارائه داده‌اند که در آن اهداف به صورت بیشینه‌سازی سود و اثرات اجتماعی و حداقل سازی اثرات زیست‌محیطی در نظر گرفته شده‌است.

لوپز-سانچز و همکاران[2] در مقاله سال ۲۰۱۸ خود مسئله جمع‌آوری پسماند یک شهر در جنوب اسپانیا به عنوان یک مسئله مسیریابی چندهدفه را مورد بررسی قرارداده اند. به حداقل رساندن هزینه کلی سفر (یعنی کل مسافت طی‌شده توسط همه وسایل جمع‌آوری) و نیز به حداقل رساندن زمان سفر(یعنی مدت‌زمان طولانی‌ترین مسیر برای یک وسیله نقلیه) به عنوان اهداف مدل در نظر گرفته‌شده است.

پوریانی و همکاران در مقاله سال ۲۰۱۹ خود یک مدل برنامه‌ریزی خطی عددصحیح مختلط دو سطحی را توسعه داده‌اند. سطح پایین‌تر این مدل شامل مکان و هزینه‌های تاسیس ایستگاه‌های جمع‌آوری پسماند جامد است و سطح بالاتر شامل تخصیص پسماند به مراکز مختلف است. به منظور مقابله با عدم قطعیت در مقدار مواد زاید جامد جمع‌آوری‌شده، یک رویکرد بهینه‌سازی استوار مبتنی بر سناریو استفاده-کرده‌اند. مدل پیشنهادی با استفاده از یک مطالعه موردی در بابل مورد ارزیابی قرار گرفته‌است.

محمدی و همکاران در مقاله سال، ۲۰۱۹[3]خودیک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط را برای هماهنگی تصمیمات تاکتیکی و عملیاتی در شبکه‌های زنجیره‌تامین پسماند ارائه داده‌است. مساله بهینه‌سازی حاصل به صورت یک مساله برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط مدل‌سازی شده‌است‌که عملکردهای مختلفی مانند جمع‌آوری پسماند در شهرها، تفکیک پسماند درمراکزجداسازی، بازیافت

1 -Mohammed
2- López-Sánchez
3 -Mohammadi

پسماند در کارخانه‌ها و فروش محصولات نهایی به بازارها را پوشش می‌دهد. آدلک و اولکان نی در مقاله سال۲۰۲۰ [1] خود با تمرکز بر روی حل مسئله مکان‌یابی تاسیسات جمع‌آوری پسماند در یک منطقه مسکونی شهری و مسئله مربوط به تخصیص مشتریان (نقاط تولید پسماند) و تخصیص کامیون‌های جمع‌آوری به این مکان‌ها می‌باشد. این مسئله به عنوان مسئله پوشش مجموعه‌ها، که یک نوع مسئله مکانیابی تاسیسات کلاسیک می‌باشد فرمول‌بندی شده‌است. مدل پیشنهادی در این مطالعه، تعداد مکان‌های جمع‌آوری پسماند مورد نیاز برای یک منطقه مسکونی شهری را برآورد می‌کند. قنادپور و زندیه در مقاله سال ۱۳۹۹ [2] به بررسی مساله مسیریابی وسایل نقلیه جمع‌آوری پسماند سلامت برای مراکز پزشکی کوچک در ایران می‌پردازد که مقادیر کمی پسماند تولید می‌کنند. چنکسی یانگ و جیانگ گو چن [3] در مقاله سال۲۰۲۰ خود یک مدل بهینه‌سازی را برای طراحی یک شبکه لجستیک معکوس پسماندهای ساخت و ساز و تخریب ساختمانی منطقه‌ای پیشنهادکرده‌اند و به این منظور یک مدل برنامه‌ریزی خطی عددصحیح مختلط برای طراحی شبکه لجستیک معکوس پیشنهادی را توسعه دادند. زی یو پان و همکاران در مقاله سال ۲۰۲۰ خود یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه مختلط عددصحیح برای به حداقل رساندن هزینه‌های دفع پسماند ساخت‌وسازوتخریب‌ونیزبرای به حداکثررساندن سود شرکت‌های بازیافت و میزان بازیافت پسماند ساخت‌وساز و تخریب توسعه دادند. در این مقاله میزان پسماندهای ساختمانی تولید شده را دارای عدم‌قطعیت در نظر گرفته‌اند تا با نوسانات آتی میزان عرضه پسماند مقابله کنند. سید میتون علی و همکاران (۲۰۲۳) [4] درمقاله سال ۲۰۲۳ خود با عنوان" یک زنجیره تامین حلقه بسته چند هدفه تحت عدم قطعیت: یک فرمول بندی مجدد آرام سازی لاگرانژی [5] کارآمد با استفاده از یک الگوریتم مبتنی بر همسایگی " به موضوع طراحی زنجیره تامین برای مدیریت زباله های شهری پرداخته است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1-Adeleke and Olukanni
2-Ghannadpour and Zandiyeh
3 -Chenxi Yang , Jianguo Chen
4-Syed Mithun Ali
5 -Lagrangian Relaxation

جدول ۱- خلاصه تحقیقات پیشین

مقاله	زنجیره تامین		تابع هدف			روش حل یا الگوریتم حل			عدم قطعیت
	بازیافت	جمع آوری	اقتصادی	اجتماعی	محیط زیستی	حل با سالور تجاری	الگوریتم دقیق	ابتکاری یا فرا ابتکاری	
سانتیبانز گیلار و همکاران (۲۰۱۲)	-	*	*	-	-	*	-	-	-
حریجانی و همکاران (۱۳۹۶)	*	*	*	-	-	*	-	-	-
حبیبی و همکاران (۲۰۱۷)	*	*	*	*	*	*	-	-	*
محمد و همکاران (۲۰۱۷)	-	*	*	*	-	*	-	-	*
گومز و همکاران (۲۰۱۷)	-	*	*	-	-	-	-	*	-
رحیمی و قضاوتی (۱۳۹۷)	*	-	*	*	*	*	-	-	*
لوپز-سانچز و همکاران (۲۰۱۸)	-	*	*	-	-	-	-	*	-
پوریانی و همکاران (۲۰۱۹)	-	*	*	-	-	*	-	-	*
محمدی و همکاران (۲۰۱۹)	*	*	*	-	-	*	-	-	-
آصفی و همکاران (۲۰۱۹)	-	*	*	-	-	*	-	-	*
چنکسی یانگ و جیانگ گو چن(۲۰۲۰)	-	*	*	-	-	*	-	-	*
زی یوبان و همکاران (۲۰۲۰)	-	*	*	*	-	*	-	-	-
سید میتون علی و همکاران(۲۰۲۳)	-	*	*	*	*	-	-	*	*
مقاله حاضر	*	*	*	*	-	-	*	-	-

مفاهیم اصلی پژوهش

"قانون مدیریت پسماندها " در اردیبهشت ۱۳۸۳ به تصویب رسیده است. این قانون شامل مفاهیمی به شرح ذیل است :

مفهوم‌پسماند : به مواد جامد، مایع و گاز (غیر از فاضلاب) گفته می شود که به طور مستقیم یا غیرمستقیم حاصل از فعالیت انسان بوده و ازنظر تولید کننده، زائد تلقی می‌شود. پسماندها به پنج گروه تقسیم می شوند:

پسماندهای‌عادی : به کلیه پسماندهایی گفته می شود که به صورت معمول از فعالیتهای روزمره انسانها درشهرها، روستاها و خارج ازآنها تولید می شود، از قبیل زباله های خانگی و نخاله های ساختمانی .

پسماندهای‌پزشکی(بیمارستانی) : به کلیه پیشماندهای عفونی و زیان آور ناشی از بیمارستانها ، مراکز بهداشتی ، درمانی ، آزمایشگاههای تشخیص طبی و سایر مراکز مشابه گفته می‌شود. سایر پسماندهای خطرناک بیمارستانی از شمول این تعریف خارج است.

کاربرد زنجیره‌تامین‌درمدیریت‌پسماندها: طبق تحقیقات انجام شده، مدیریت پسماند جامد شهری را می‌توان به عنوان یک مسئله طراحی شبکه زنجیره تامین در نظر گرفت (محمدی و همکاران، ۲۰۱۹)[1]. این شبکه شامل تاسیساتی مانند ایستگاه‌های جمع‌آوری پسماند، ایستگاه های انتقال

1- Mohammadi

و تاسیسات بازیافت و دفع است. (حبیبی و همکاران، ۲۰۱۷)[1]. تصمیمات مهمی که برای افزایش راندمان کلی سیستم در این شبکه اتخاذ می‌شود، شامل شناسایی مکان‌های بهینه برای تأسیسات مختلف پسماند و تعیین جریان مواد از طریق آنها می‌شود (پوریانی و همکاران، ۲۰۱۹)[2].

چون پارامترها و اطلاعات مورد نیاز در هنگام طراحی شبکه زنجیره‌تامین پسماند، به طور قطعی دردسترس نمی‌باشند ، لذا طراحی یک زنجیره‌تامین به شکل قطعی ، کارایی آن را در واقعیت کاهش می‌دهد، بنابراین در نظرگرفتن عدم‌قطعیت در طراحی مدل اجتناب ناپذیر است(رحیمی و قضاواتی، ۱۳۹۷)[3].

به توجه به موارد ذکر شده ، این تحقیق مسئله طراحی شبکه زنجیره تامین چند سطحی جمع‌آوری وبازیافت پسماند های شهری را با لحاظ تفکیک در مبداء و عدم‌قطعیت در سرانه تولید پسماند توسط شهروندان را ارائه می‌دهد.

ضرائب لاگرانژ : ضرایب لاگرانژ، نام روشی در بهینه‌سازی است که برای یافتن بیشینه و کمینه موضعی برای توابع با داشتن یک یا چند قید برابری بکار می‌رود. این روش به افتخار ژوزف لویی لاگرانژ به این نام نام‌گذاری شده‌است. با حل موفقیت‌آمیز مسئله‌ی فروشنده‌ی دوره-گرد در سال ۱۹۷۰، که ابعاد آن در مقایسه با قدرت محاسباتی آن زمان بسیار بزرگ بود، آزادسازی ضرایب لاگرانژ به عنوان روشی برای به دست آوردن حدود بالا (و پایین) برای مقدار تابع هدف مسائل برنامه‌ریزی مورد توجه قرار گرفت.

ابزارها و روش مدل سازی

این پژوهش بدلیل عدم استفاده از تئوری آماری فاقد فرضیه می باشد.پرسش اصلی این پژوهش عبارتست از اینست که چگونه می توان یک مدل ریاضی چند هدفه برای بهینه سازی مدیریت پسماند های شهری در شرایط عدم قطعیت طراحی نمود بطوریکه بتواند همزمان هزینه ها و مقدار بازیافت را به ترتیب کاهش و افزایش دهد.

.بنابراین‌هدف‌اصلی‌پژوهش‌عبارتست‌ازارائه مدل‌ریاضی چندهدفه برای بهینه سازی هزینه‌های‌جمع‌آوری‌وبازیافت پسماندهای‌شهری و نیزحداکثرسازی میزان بازیافت زباله های شهری است. اولین تابع هدف این مسئله در پی حداقل کردن هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و نیز هرینه‌های عملیاتی است و دومین تابع هدف یعنی تابع هدف اجتماعی به دنبال حداکثر کردن میزان بازیافت پسماندهای شهری می‌باشد. به منظور تبدیل مدل چند هدفه از روش اپسیلون محدودیت استفاده می شود. همچنین با استفاده از مطالعه موردی در شهر کرج کارایی مدل طراحی شده بررسی خواهد شد. روش حل مورد استفاده برای حل مدل ارائه شده در ابعاد بزرگ ، روش آزادسازی لاگرانژ است ، که در

1 -Habibie
2 -Pouriani
3 -Rahimi and Ghezavati

گروه روش‌های دقیق حل مسئله طبقه بندی می‌شود.در مدل‌های ریاضی ارائه شده برای زنجیره‌تامین پسماندهای شهری ، به مسئله تفکیک از مبداء با لحاظ ایجاد مراکز هاب اختصاصی هر نوع پسماند ، توجه چندانی نشده‌است و لذا تحقیقی که نقاط انتقال یا مراکز هاب در زنجیره‌تامین مذکور را به صورت تفکیکی و مختص هر نوع پسماند در نظر گرفته باشند، یافت نشد بنابراین تمرکز اصلی این مطالعه بر روی مفروضات جدیدی در سطوح زنجیره‌تامین پسماند شهری است.

مفروضات مدل :

۱) در این مدل هفت نوع پسماند تفکیک شده با توجه به شماره اندیس نوع پسماند (i) شامل ۱) پسماند بیمارستانی، ۲) پسماند شیشه‌ای، ۳) پسماند فلزی، ۴) پسماند چوبی، ۵) پسماند تر، ۶) پسماند پلاستیکی و ۷) پسماند کاغذی و مقوا لحاظ شده است.

۲) در این مسئله جریان مواد تنها می‌تواند بین دو سطح متوالی از لایه‌های شبکه مورد نظر برقرار باشد.

۳) مراکز جمع‌آوری پسماند شامل مخازن پسماند در بیمارستان‌ها و نیز مراکز اسکان جمعیت شهری است .

۴) مقدار پسماندهای تولیدی در هر منطقه شهری و یا هر بیمارستان بصورت غیر قطعی ، چند کالایی و چند دوره ای است .

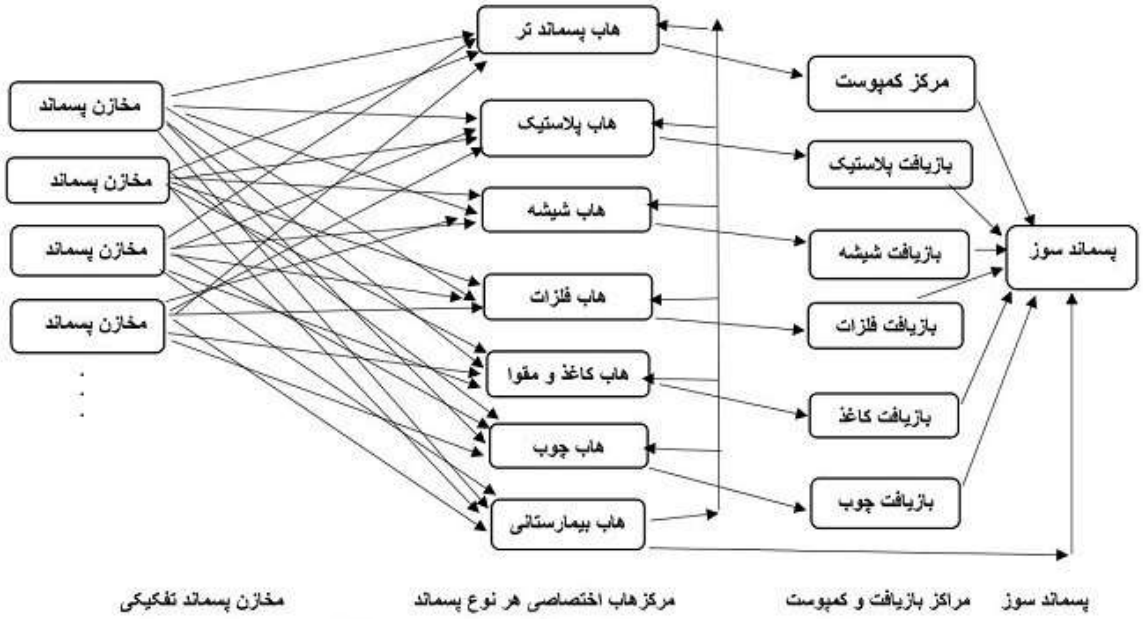
۵) هر منطقه شهری و بیمارستان می‌تواند با یک یا چند مرکز انتقال تخصصی هاب تفکیکی در ارتباط باشد.

۶) پسماند تفکیک شده به مراکز هاب منتقل و پس از تفکیک نهایی به مراکز بازیافت یا امحاء منتقل می‌شوند.

۷) تعداد و مکان جمع‌آوری پسماندهای شهری و بیمارستان‌ها، مکان‌های کاندید مراکز هاب یا انتقال پسماند ها و نیز مراکز بازیافت و امحا مشخص است ولی ظرفیت آن‌ها را مدل بر اساس ظرفیت جمعیتی هر منطقه مسکونی تعیین می‌کند ومسئله بصورت بالانس‌شده درنظر گرفته می‌شود.

۸) فواصل مراکز بالقوه یا کاندید هاب یا مراکز انتقال، فواصل مراکز پسماندسوزی ، فواصل مراکز بازیافت و نیز مسیرهای حمل پسماند های تفکیکی درون هر منطقه شهرداری و همچنین فواصل مراکز هاب به پسماندسوزی یا دفن پسماندها مشخص است.

۹) هزینه‌ی ثابت و عملیاتی هر کدام از مراکز هاب ، پسماند سوزی ، امحا ، کمپوست و نیز هزینه‌های حمل و نقل به ازای حمل یک واحد پسماند و همچنین نحوه و میزان استقرار جمعیت در هر یک از مناطق مشخص می‌باشند.



شکل ۱ – ارتباط لایه های مدل در شبکه مدیریت پسماند های شهری

۱۰) شبکه زنجیره تامینی که هدف این پژوهش ، به حداقل رساندن هزینه‌های آن است، دارای ۴ لایه است که شامل لایه مخازن پسماند تفکیکی شهری و بیمارستانی ، لایه مراکز انتقال یا مراکز هاب مستقر در هر منطقه شهرداری ، لایه مراکز بازیافت پسماندهای تفکیکی شهری و لایه مراکز امحاء (دفن یا سوزاندن) پسماند می باشد. مسئله این پژوهش به صورت چندهدفه است. اولین تابع هدف مدل، مجموع هزینه‌های کلیه فعالیت‌های جمع‌آوری، حمل ، بازیافت، ، کمپوست ، سوزاندن و امحا پسماندها را حداقل می‌کند و شامل هزینه‌های ذیل است:

۱) هزینه ساخت و نصب مخازن پسماندهای تفکیکی برای جمع‌آوری و تفکیک همزمان پسماند در مبداء

۲) هزینه خریدکامیون‌های جمع‌آوری پسماند و نیز کامیون های بزرگ حمل پسماند از مراکز هاب یا انتقال به مراکز بازیافت

۳) هزینه ساخت و راه اندازی مراکز هاب یا انتقال

۴) هزینه ساخت و راه اندازی مراکز بازیافت

۵) هزینه ساخت یا خرید پسماندسوزها

۶) هزینه نیروی انسانی (شامل هزینه نیروی انسانی در بخشهای حمل و راننده‌ها ، جمع‌آوری پسماندها، کارگری مراکز هاب یا انتقال، کارگری مراکز بازیافت و کارگری مراکز امحاء یا کمپوست

۷) هزینه سوخت مصرفی درمسیرجمع آوری ونیز حمل پسماندهای تفکیکی به مراکز بازیافت پسماند ها به ازای هر واحد پسماند

۸) هزینه‌های عملیاتی درمراکز مختلف (شامل هزینه انرژی یا سوخت مصرفی برای بازیافت،تفکیک و سوزاندن یک واحد پسماند)

در این مسئله سرانه تولید پسماند هر شهروند ، بعنوان پارامتر قطعی لحاظ شده است . این تحقیق با توجه به اهداف خود ، بدنبال توسعه مدل ریاضی با توابع هدف اقتصادی و اجتماعی است. حبیبی و همکاران (۲۰۱۷) و محمدی و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهش خود مدل ریاضی برای طراحی شبکه جمع‌آوری پسماند را توسعه داده‌اند، که بعنوان مدل پایه در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌است .

اندیس

اندیس مربوط به نوع زباله	i
اندیس مربوط به مناطق جمع آوری زباله	j
اندیس مربوط به مکان کاندید هاب	k
اندیس مربوط به دوره های زمانی	t
اندیس مربوط به سناریو	s
اندیس مربوط به نوع خودرو	m

پارامترها

میزان زباله نوع i تولید شده در ناحیه j در دوره زمانی t	w_{ijt}
ظرفیت هاب‌های تفکیکی نوع i	CH_i
ظرفیت سطل زباله تفکیکی نوع i	CW_i
ظرفیت خودرو حمل زباله نوع m	CV_m
هزینه ثابت تاسیس هاب تفکیکی نوع i در مکان k	FCH_{ik}
هزینه متغیر سرمایه‌گذاری تاسیس هاب تفکیکی نوع i در مکان k به ازای هر تن ظرفیت	VCH_{ik}
هزینه ثابت خرید سطل زباله تفکیکی به ازای هر تن ظرفیت	FCW

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

VCR_i	هزینه متغیر سرمایه‌گذاری ایجاد مرکز بازیافت زباله نوع i به ازای هر تن ظرفیت
VCL	هزینه متغیر سرمایه‌گذاری تاسیس مرکز زباله‌سوزی به ازای هر تن ظرفیت
FCV_m	هزینه ثابت خرید خودرو حمل زباله نوع m
OCH	هزینه عملیاتی در هاب‌ها
OCR	هزینه عملیاتی در مراکز بازیافت
OCL	هزینه عملیاتی در مراکز زباله‌سوزی
TC	هزینه حمل و نقل (به ازای هر کیلومتر)
EC_i	هزینه کارگری برای جمع‌آوری، تفکیک و بازیافت پسماند نوع i
Pop_j	جمعیت ناحیه j
d_{jk}	فاصله ناحیه شهر j تا مرکز تفکیکی k
$d_{kk'}$	فاصله مرکز تفکیکی k تا مرکز تفکیکی 'k
dl_i	فاصله مرکز بازیافت زباله نوع i تا مرکز زباله سوز
$d_{kk'}$	فاصله مرکز تفکیکی k تا مرکز تفکیکی 'k
d_{ki}	فاصله مرکز تفکیکی k تا مرکز بازیافت زباله نوع i
dl_k	فاصله مرکز تفکیکی k تا مرکز زباله سوز
γ_i	ضریب تبدیل برای بازیافت زباله نوع i
λ_i	ضریب تفکیک زباله بیمارستانی به زباله نوع i
$a1_{ik}$	پارمتر نشانگر که در صورتی یک می‌شود که بتوان زباله i را به هاب k ارسال کرد
$a2_{jk}$	پارامتر نشانگر در صورتی یک می‌شود که بتوان زباله ناحیه j را به هاب k ارسال کرد

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

عدد بزرگ	M

متغیرهای تصمیم

میزان زباله نوع i ارسال شده از ناحیه j به هاب k در دوره t	x_{ijkt}
مقدار زباله i ارسال شده از هاب تفکیکی k به مراکز بازیافت در دوره t (برای زباله بیمارستانی: مقدار زباله ارسال شده از هاب تفکیکی به مرکز زباله‌سوزی)	y_{ikt}
مقدار زباله نوع i که از هاب بیمارستانی k (بعد از تفکیک اولیه) به هاب تخصصی k′مربوط به زباله i ارسال می‌شود	$g_{ikk't}$
مقدار کالا بازیافتی تولید شده از زباله نوع i در زمان t	y'_{ikt}
مقدار پسماند نوع i که از هاب k مستقیما به مراکز زباله‌سوزی ارسال می‌شود	L_{ikt}
میزان زباله نوع i که از هاب k به مرکز بازیافت ارسال شده ولی قابل بازیافت نبوده-است	g'_{ikt}
تعداد سطل زباله نوع i	NW_i
تعداد خودرو نوع m برای حمل زباله نوع i	NV_i^m
ظرفیت هاب مخصوص زباله نوعi در منطقه کاندید k	$CapH_i^k$
ظرفیت مرکز بازیافت زباله نوع i	CR_i
ظرفیت مرکز زباله‌سوزی	CL
متغیر صفر و یک ، اگر هاب تخصصی زباله i در ناحیه k تاسیس شود یک است در غیراینصورت صفر می‌شود.	Z_{ik}

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

$$Min\ F1 = FC + OC + TrC \quad (۱)$$

$$FC = \sum_i \sum_k \left(FCH_{ik} Z_{ik} + VCH_{ik} CapH_i^k\right) + VCL * CL + \sum_i VCR_i CR_i + \sum_i \sum_m FCV_m * NV_i^m + \sum_i FCW * NW_i \quad (۲)$$

$$OC = \sum_i \sum_j \sum_k \sum_t OCH * X_{ijkt} + \sum_{i\neq 1} \sum_k \sum_t OCR * y'_{ikt} + \sum_k \sum_t OCL * y_{1kt} + \sum_i \sum_k \sum_t (L_{ikt} + g'_{ikt}) * OCL \quad (۳)$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

$$TrC = \sum_i \sum_j \sum_k \sum_t (TC * d_{jk} + EC_i) X_{ijkt} + \sum_i \sum_k \sum_{k'} \sum_t (TC * d_{kk'} + EC_i) g_{ikk't} + \sum_i \sum_k \sum_t (TC * dl_k + EC_i) L_{ikt} + \sum_i \sum_k \sum_t (TC * dl_i + EC_i)\, g'_{ikt} + \sum_i \sum_k \sum_t (TC * d_{ki} + EC_i) y_{ikt} \quad (۴)$$

$$Max\ F2 = \sum_i \sum_k \sum_t y'_{ikt} \quad (۵)$$

$$\sum_j x_{ijkt} \le CapH_i^k \quad (۶)$$

$$CapH_i^k \le CH_i Z_{ik} \quad (۷)$$

$$Z_{ik} \le a1_{ik} \quad (۸)$$

$$x_{ijkt} \le w_{ijt} a2_{jk} \quad (۹)$$

$$y_{ikt} + L_{ikt} = \sum_j x_{ijkt} + \sum_{k'} g_{ik'kt} \quad (۱۰)$$

$$y_{1kt} = \lambda_1 \sum_j x_{1jkt} \quad (۱۱)$$

$$\sum_{k'} g_{ikk't} = \lambda_i \sum_j x_{1jkt} \quad (۱۲)$$

$$g_{ikk't} \le M * Z_{ik'} \quad (۱۳)$$

$$\sum_k y'_{ikt} \le CR_i \quad (۱۴)$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

$$y'_{ikt} = \gamma_i y_{ikt} \quad (۱۵)$$

$$y_{ikt} - y'_{ikt} = g'_{ikt} \quad (۱۶)$$

$$\sum_k x_{ijkt} = w_{ijt} \quad (۱۷)$$

$$\sum_k z_{ik} \leq 1 \quad (۱۸)$$

$$\sum_j \sum_k x_{ijkt} \leq CW_i NW_i \quad (۱۹)$$

$$\sum_j \sum_k x_{ijkt} + \sum_k g'_{ikt} \leq CV_1 * NV_i^1 \quad (۲۰)$$

$$\sum_k (y_{ikt} + L_{ikt}) + \sum_k \sum_{k'} g_{ikk't} \leq CV_2 * NV_i^2 \quad (۲۱)$$

$$\sum_k y_{1kt} + \sum_i \sum_k g'_{ikt} + \sum_i \sum_k L_{ikt} \leq CL \quad (۲۲)$$

روش لاگرانژ و اپسیلون محدودیت

در سال‌های اخیر مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی که عملکرد سیستم‌های مدیریت پسماند را از طریق بهینه‌سازی مکان تأسیسات و نیز تخصیص تسهیلات به یکدیگر ، بهبود می دهند توسعه یافته‌اند.در این مطالعه از روش های آزاد سازی لاگرانژ و متد اپسیلون محدودیت برای حل مدل استفاد می شود.در این روش از ساختار اصلی مسائل ، برای به دست‌آوردن حد پایین مقدار بهینه تابع هدف استفاده می شود. در روش آزاد سازی لاکرانژ ، یک یا چند محدودیت سخت به تابع هدف منتقل می شود.(این کار در اصطلاح ، آزاد کردن محدودیت ها نامیده می شود) منظور از محدودیت سخت ، محدودیتی است که حل مسئله را دشوار می‌کند . محدودیت های سخت معمولا دارای متغیرهای باینری یا عدد صحیح هستند.

مسئله آزاد شده ، با استفاده از الگوریتم ساب‌گرادیانت حل می‌شود تا حد پایین یا بالای مناسبی برای جواب بهینه مسئله بدست آید.(ال مارشال،۲۰۰۱). نمایش‌کلی مدل‌سازی به روش اپسیلون محدودیت برای یک مسئله چندهدفه با توابع هدف کمینه‌سازی به صورت رابطه ۲۳ می‌باشد.

$$Min \quad f_1(x) \qquad (۲۳)$$
$$subject\ to: f_2(x) \le \varepsilon_1, f_3(x) \le \varepsilon_3, \dots, f_n(x) \le \varepsilon_n, x \in Feasible$$

در رابطه فوق محدودیت‌های اپسیلون برای یک مسئله بیشینه‌سازی به صورت بزرگ‌تر مساوی می‌باشد. برای به دست آوردن جواب‌های پارتو مختلف باید سمت راست این محدودیت‌ها یعنی ε را تغییر داد. برای تبدیل مسئله این تحقیق به مسئله‌ای تک‌هدفه تابع هدف مربوط به حداکثرسازی تعداد محصولات بازیافتی را به محدودیت‌ها انتقال می‌دهیم. این محدودیت به صورت رابطه ۲۴ می‌باشد. با این توضیحات تابع هدف اول مسئله که مربوط به کمینه‌سازی هزینه‌ها می‌باشد بعنوان تابع هدف اصلی انتخاب می‌شود.

$$\sum_i \sum_k \sum_t y'_{ikt} \ge \varepsilon_2 \qquad (۲۴)$$

به کمک مقادیر به‌دست‌آمده از مرحله قبل بازه تغییر هریک از توابع هدف را بدست می‌آورند. اگر مقادیر بیشینه و کمینه توابع هدف را به ترتیب با f_p^{max} و f_p^{min} بنامیم، آنگاه بازه تغییر هریک از آن‌ها به‌صورت عبارت ۲۵ محاسبه می‌شود:

$$r_p = f_p^{max} - f_p^{min} \qquad (۲۵)$$

پس از محاسبه بازه تغییر برای هر تابع هدف، بازه تغییر آن یعنی r_p به q_p بازه تقسیم می‌شود. سپس برای ε_p در رابطه زیر می‌توان به تعداد $q_p + 1$ مقدار مختلف که از فرمول ۲۶ محاسبه می‌شوند، به دست آورد.

$$\varepsilon_p^k = f_p^{max} - \frac{r_p}{q_p} \times k \quad k = 0,1, \dots, q_p \qquad (۲۶)$$

در رابطه فوق k شماره نقطه جدید مربوط به ε_p را نشان می‌دهد. به کمک روش اپسیلون محدودیت مسئله بهینه‌سازی چندهدفه فوق را می‌توان به $\prod_{p=2}^{n} q_p + 1$ تعداد زیرمسئله بهینه‌سازی تک هدفه تبدیل کرد. هر زیر مسئله دارای فضای جواب شدنی است با توجه به اینکه توسط نامساوی‌های مرتبط با توابع هدف $f_2, \dots, f_p$ محدودتر نیز خواهد شد. هر زیر مسئله منجر به یک جواب پارتو برای مسئله بهینه‌سازی چندهدفه موردنظر می‌شود. همچنین ممکن است به ازای برخی از ε ها برخی از زیر مسائل فضای غیرشدنی ایجاد کنند. نهایتاً

پس از به دست آمدن جبهه پارتوی بهینه تصمیم‌گیرنده می‌تواند مناسب‌ترین جواب ازنظر خود را انتخاب کنند.

مطالعه موردی ، تحلیل یافته ها و نتایج

با توجه به وضعیت فعلی شهر کرج میزان پسماند تولیدی این شهر ، بعنوان پارامتر " میزان پسماند تولیدی " انتخاب گردید . گستردگی مناطق شهری باعث شده است تا شهر کرج به ۱۰ منطقه شهرداری تقسیم گردد.

شکل ۲ : مناطق شهرداری در شهر کرج

روزانه به طور متوسط ۱۰۰۰ تن پسماند در شهر کرج تولید می‌شود. با توجه به جمعیت حدود ۱ میلیون و ۶۰۰ هزار نفری این شهر بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵ ، می‌توان گفت که سرانه تولید پسماند برای هر شخص ۷۰۰ گرم پسماند در روز است.

جدول ۲ – درصد تولید اجزای پسماندهای خانگی

ترکیب فیزیکی پسماند	میانگین درصد وزنی درکشور	درصد وزنی در پسماند تهران
پسماند تر (آلی)	٪۷۲.۰۴	٪ ۷۴.۵۶
پلاستیک	٪ ۷.۷۷	٪ ۶.۲۵
کاغذ مقوا	٪ ۶.۴۳	٪ ۵.۰۴
منسوجات	٪ ۲.۸۶	٪ ۳.۲۹
فلزات	٪ ۲.۵۲	٪ ۲.۴۸
شیشه	٪ ۲.۰۳	٪ ۲.۰۳
لاستیک	٪ ۱.۱۴	٪ ۱.۱۱
چوب	٪ ۱.۱	٪ ۱.۸۲
دیگر مواد	٪ ۴.۱۱	٪ ۳.۴۲

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

برای تعداد و مکان های کاندید هاب‌های تفکیکی محدودیت‌های وجود دارد. پسماندهای بیمارستانی، شیشه، فلز و چوب با توجه به درصد سرانه تولید کمتری که نسبت به سه پسماند دیگر دارند، هر کدام سه نقطه کاندید برای تاسیس هاب دارند، که مدل تنها یک نقطه از این سه نقطه را بعنوان هاب تخصصی انتخاب می‌کند. بعبارت دیگر برای این ۴ نوع پسماند فقط ۴ نقطه بعنوان هاب تفکیکی در جواب نهایی مشخص خواهدشد. همچنین با توجه به اینکه حجم پسماندهای تولیدی برای پسماندهای تر (پسماند نوع ۵) ، پسماند کاغذی (پسماند نوع ۶) و پسماند پلاستیکی (پسماند نوع ۷) بیشتر از دیگر پسماندها است ، بنابراین تعداد نقاط کاندید برای تاسیس هاب تفکیکی و نیز تعداد نقاط انتخابی برای تاسیس آنها بیشتر خواهندبود. به این منظور شهر کرج به ۴ بخش تقسیم و در هر بخش ۳ نقطه کاندید برای هر یک از هاب‌های تخصصی پسماندهای نوع ۵ ، ۶ و ۷ کاندید. برای این نوع پسماندها (پسماندهای تر، کاغذی و پلاستیکی) دیگر محدودیتی برای تعداد تاسیس هاب تفکیکی در نظر گرفته نشده‌است و با توجه به داده‌های ورودی به مدل ، برای هر نوع پسماند ، از یک تا سه نقطه در هر بخش بعنوان هاب تفکیکی هر نوع پسماند انتخاب می‌شوند. ظرفیت نهایی عملیاتی هر نوع هاب تفکیکی حداکثر ۹۰۰ هزار تن در سال لحاظ شده است . نکته قابل توجه در مورد ظرفیت هر نوع هاب پسماند تفکیکی این است که ظرفیت آنها ، مقدار از پیش تعیین شده‌ای ندارد و لذا مدل ، ظرفیت هر مرکز هاب را ، بعنوان یک متغیر تصمیم تعیین خواهدکرد . برای هر نوع از مراکز بازیافت و امحا تنها یک مکان کاندید لحاظ شده است و لذا محدودیتی برای ظرفیت مراکز بازیافت و امحاء لحاظ نگردیده است.تعیین جمعیت مناطق کرج در سال ۱۴۲۰ از اطلاعات سرشماری سال ۱۳۹۵ ورابطه ۲۷ استفاده شد. هزینه کارگری جمع‌آوری برای پسماندهای غیر بیمارستانی بر اساس داده های شهرداری تهران برای سال های۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ در مدل لحاظ گردید.

$$\text{جمعیت در سال ۱۴۲۰} = \text{جمعیت در سال ۱۳۹۵} * (۱/۰۶۵)^{۲۵}$$

جدول۳ – برآورد جمعیت شهرستان کرج در سال ۱۴۲۰

منطقه شهرداری	1	2	3	4	5
جمعیت در سال ۱۳۹۵	۱۲۸ .۹۴۳	۹۷ .۵۰۰	۹۷ .۶۸۱	۲۰۲ .۰۰۰	۲۲۵ .۰۰۰
برآورد جمعیت سال ۱۴۲۰	۶۲۲ .۴۹۸	۴۷۰ .۷۰۰	۴۷۱ .۵۴۷	۹۷۵ .۱۹۵	۱ .۰۸۶ .۲۳۲
منطقه شهرداری	۶	۷	۸	۹	۱۰
جمعیت در سال ۱۳۹۵	۲۴۵ .۰۰۰	۱۹۵ .۰۰۰	140,454	۱۷۵ .۰۰۰	۸۷ .۰۲۶
برآورد جمعیت سال ۱۴۲۰	۱ .۱۸۲ .۷۸۶	۹۴۱ .۴۰۱	۶۷۸ .۵۰۹	۸۴۴ .۸۴۷	۴۲۰ .۱۳۵

جدول ۴- مقادیر اپسیلون تابع هدف دوم

k	ε_2^k
۱	۱،۷۵۲،۵۵۷
۲	۱،۷۹۳،۹۶۴
۳	۱،۸۳۵،۳۷۱
۴	۱،۹۱۸،۱۸۸

جدول ۵ - مقادیر توابع هدف به ازای اپسیلون های متفاوت

شماره مسئله	مقدار تابع هدف دوم(تن)	مقدار تابع هدف اول(میلیون تومان)
۱	۱،۷۵۲،۵۵۷	۲۴۱،۱۷۹
۲	۱،۷۹۳،۹۶۴	۲۴۱،۹۱۸
۳	۱،۸۳۵،۳۷۱	۲۴۴،۶۴۰
۴	۱،۹۱۸،۱۸۸	۲۵۰،۱۴۰

طبق جدول شماره ۵ با افزایش میزان بازیافت هزینه‌های سرمایه‌گذاری به علت نیاز به زیرساخت‌های بیشتر برای مراکز بازیافت افزایش یافته‌اند. مقادیر اپسیلون بر اساس رابطه ۲۶ محاسبه و در جدول ۴ آورده شده اند.در چهار مثال حل شده، در سه مورد اول ۲۵ هاب تفکیکی تاسیس می‌شود، که در جدول ۸ تعداد و مکان هر کدام به تفکیک مناطق شهر کرج نشان داده‌شده‌است. در مورد چهارم ۲۴ هاب تفکیکی ایجاد شده‌است که یک هاب تفکیکی برای زباله پلاستیکی می‌باشد. دلیل این موضوع مرتبط با تابع هدف هزینه‌ها است، زیرا با افزایش میزان بازیافت سرمایه‌گذاری در بخش بازیافت افزایش می‌یابد، در تمامی مسائل حل شده تعداد کل مخازن پسماند تفکیکی برای جمع-آوری برابر با ۵۱۵۶۰ شد.

جدول ۶- نتایج حل با روش لاگرانژ

روش حل	تابع هدف اصلی (تومان)	گپ بهینگی(درصد)	زمان حل (ثانیه)
سیپلکس (Cyplex)	۱۶,۷۴۸,۹۶۲,۹۷۷	۰	۱۵۵
آزادسازی لاگرانژ	۱۶,۷۴۸,۸۳۱,۶۶۶	تقریبا صفر	۱۲۰
آزادسازی عدد صحیح	۱۶,۶۰۴,۸۶۷,۷۶۰	۰,۸۶	۲۱۰

جدول ۷ - هزینه‌های سرمایه‌گذاری، عملیاتی و حمل و نقل

هزینه‌ها (میلیون تومان)			
حمل و نقل	عملیاتی	سرمایه‌گذاری	شماره مسئله
۱۱۷،۱۵۳	۲،۸۷۶	۱۲۱،۱۱۵	۱
۱۱۷،۲۷۲	۲،۸۵۵	۱۲۱،۱۷۹	۲
۱۱۷،۳۶۸	۲،۸۱۷	۱۲۴،۴۵۶	۳
۱۱۷،۶۱۸	۲،۷۴۲	۱۲۹،۷۷۹	۴

از دیگر متغیرهایی که با افزایش میزان بازیافت تغییر می کنند، تعداد و ظرفیت مراکز بازیافت است، که روند صعودی خواهندداشت. مقایسه دو مسئله ۱ و ۴ از لحاظ میزان بازیافت و تعداد مراکز بازیافت در جدول ۹ نشان داده‌شده‌است. میزان ارسال زباله بیمارستانی از هاب بیمارستانی به دیگر هاب‌های تفکیکی، تعداد کامیون‌های انتقال زباله از هاب به مراکز بازیافت و زباله‌سوز و نیز تعداد مراکز جمع‌آوری پسماند (مخازن زباله) با تغییر میزان بازیافت تغییر نمی کنند.

جدول ۸- محل ایجاد مراکز هاب اختصاصی هر نوع زباله (نقاط انتقال زباله)

نوع هاب	منطقه ایجاد هاب
هاب زباله بیمارستانی	۹
هاب زباله شیشه‌ای	۶
هاب زباله فلزی	۶
هاب زباله چوبی	۶
هاب زباله تر بخش ۱	۱ و ۱۰
هاب زباله پلاستیک بخش۱	۱ و ۱۰

هاب زباله کاغذ بخش ۱	۱ و ۱۰
هاب زباله تر بخش ۲	۸
هاب زباله پلاستیک بخش۲	۸
هاب زباله کاغذ بخش ۲	۹
هاب زباله تر بخش ۳	۶
هاب زباله پلاستیک بخش۳	۶
هاب زباله کاغذ بخش ۳	۶
هاب زباله تر بخش ۴	۳ و ۴ و ۵
هاب زباله پلاستیک بخش۴	۳ و ۴ و ۵
هاب زباله کاغذ بخش ۴	۳ و ۴ و ۵

جدول۹ - ظرفیت مراکز بازیافت

ظرفیت مرکز (تن در سال)						
مقوایی	پلاستیکی	تر	چوبی	فلزی	شیشه‌ای	نوع پسماند
۹۲۰۵	۰	۱۳۰۸۸۴	۱۷۷۱	۴۱۸۵	۰	مسئله ۱
۹۲۰۵	۱۸۲۲۹	۱۳۰۸۸۴	۱۷۷۱	۴۱۸۵	۲۵۴۲	مسئله ۴

جدول ۱۰– تعداد مخازن تفکیکی پسماند و تعداد کامیون مورد نیاز برای جمع آوری پسماند

نوع پسماند	ظرفیت روزانه مرکز بازیافت (تن)	تعداد مخازن پسماند	تعداد کامیون جمع آوری	تعداد کامیون کشنده ارسال پسماند
پسماند بیمارستانی	-	۷۳	۲	۱
پسماند شیشه‌ای	۱۰۴	۱۳۵۲	۳۳	۸
پسماند فلزی	۱۷۵	۱۶۷۸	۳۳	۱۰
پسماند چوبی	۷۲	۷۳۳	۱۵	۵
پسماند تر	۵۲۷۹	۴۷۹۴۹	۸۸۰	۲۶۵
پسماند پلاستیکی	۴۵۷	۵۹۳۱	۱۴۲	۳۳
پسماند کاغذی و مقوا	۳۷۶	۴۲۸۰	۹۵	۲۴

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش علاوه برمفهوم بازیافت، مفهوم هاب تفکیکی نیز در طراحی زنجیره تامین در نظرگرفته شد. بمنظور صحت‌سنجی مدل ، یک مطالعه موردی در شهرکرج انجام گرفت و نتایج آن نیز ارائه گردید. در این پژوهش ، مشاهده شد که روش آزادسازی لاگرانژ در مقایسه با حل کننده سیپلکس ، قادر است مسائل در مقیاس های بزرگتر را با دقت مناسب و در زمانی کمتر حل کند. نوآوری‌های این تحقیق شامل توسعه مدل زنجیره تامین جمع آوری و بازیافت پسماند، در نظر گرفتن هاب‌های تفکیکی اختصاصی برای هر نوع زباله ، استفاده از روش آزادسازی لاگرانژ برای حل مدل و مطالعه موردی شهرکرج است. مدل درمطالعه موردی توانست ظرفیت روزانه مورد نیازمراکز بازیافت، تعدادکامیون های مورد نیازبرای جمع آوری پسماندهای موجود درمخازن ، تعداد کامیون مورد نیاز برای ارسال زباله از مراکز هاب به مراکز بازیافت ، مراکز دفن و مراکز پسماند سوزی و همچنین تعداد مخازن مورد نیاز برای جمع آوری پسماندها را با صرف حداقل هزینه تعیین نماید. روش آزادسازی لاگرانژ درمدت ۱۲۰ ثانیه ، حل کننده تجاری CPLEX در مدت۱۵۵ ثانیه و روش آزاد سازی عدد صحیح درمدت ۲۱۰ ثانیه مدل را حل کردند. علاوه بر این مقدار گپ بهینگی در دو روش حل مدل با حل کننده تجاری و روش لاگرانژ تقریبا صفر بود ولی مدت زمان حل مدل با حل کننده تجاری بیشتر ا ز روش لاگرانژ بود. گپ بهینگی در روش آزاد سازی عدد صحیح ۸۶٪ بود. از متغیرهایی‌که با افزایش میران بازیافت تغییر می‌کنند، تعداد و ظرفیت مراکز بازیافت است، که روند صعودی داشته اند. همچنین هزینه‌های حمل و نقل نیز با افزایش میزان بازیافت روند صعودی دارد. با توجه به کمتر بوده هزینه‌های عملیاتی بازیافت به زباله-سوزها ، در روند افزایش میزان بازیافت ، هزینه‌های عملیاتی کاهش می‌یابد، اما با توجه به این که این میزان نسبت به افزایش سایر هزینه ها ناچیز است، با افزایش میزان بازیافت هزینه کلی نیز افزایش می‌یابد. همچنین با در نظر گرفتن شبکه زنجیره‌تامین جمع‌آوری و بازیافت ارائه شده دراین تحقیق و نیز با توجه به بررسی های انجام شده در ادبیات موضوع پژوهش می‌توان موضوعاتی نظیر مسیریابی حرکت کامیونهای جمع‌آوری و حمل پسماند ، برنامه‌ریزی تولید و انبار برای مراکز بازیافت ، استفاده از روش‌های حل ابتکاری و فرا ابتکاری که برای حل مدل با روش‌های حل دقیق دیگر مانند آزادسازی لاگرانژ ترکیب شده اند ، در نظر گرفتن توابع هدف محیط‌زیستی مانند کاهش‌آلودگی در فرآیند حمل و بازیافت پسماند و لحاظ عدم‌قطعیت در میزان پسماند و ظرفیت تسهیلات را پیشنهاد نمود.

منابع

Akbarpour Shirazi, M., Samieifard, R., Abduli, M. A. & Omidvar, B. 2016. J Environ Health Sci Eng. ; 14: 8 DOI: 10.1186/s40201-016-0250-2

Asefi, H., Shahparvari, S. & Chhetri, P. 2019. Integrated Municipal Solid Waste Management under uncertainty: A tri-echelon city logistics and transportation context. Sustainable Cities and Society, 50, 101606oDOI :10.1016/j.scs.2019.101606

Babaei , E., Iraj T., & Mirmehdi, S. 2017. The location-routing problem of the multi-round fuzzy arc considering the multiple journeys of the intermediate discharge platforms: urban waste management. 15th International Industrial Engineering Conference . https://civilica.com/doc/839534 (In persian)

Bakıcı, T0,Almirall,E.,Wareham,J.,2013.A smart city in itiative:ThecaseofBarcelona .JournaloftheKnowledgeEconomy4(2),135–148. Candanedo, DOI: 10.1007/s13132-012-0084-9

Coutinho-Rodrigues, J., Tralhão, L. & Alçada-Almeida, L. 2012. A bi-objective modeling approach applied to an urban semi-desirable facility location problem. European journal of operational research, 223, 203-213oDOI: 10.1016/j.ejor.2012.05.037

Erkut, E., Karagiannidis, A., Perkoulidis, G. & Tjandra, S. A. 2008. A multicriteria facility location model for municipal solid waste management in North Greece. European journal of operational research, 187, 1402-1421i DOI:10.1016/j.ejor.2006.09.021

Ghannadpour, S. F. & Zandiyeh, F. 2020. An adapted multi-objective genetic algorithm for solving the cash in transit vehicle routing problem with vulnerability estimation for risk quantification. Engineering applications of artificial intelligence, 96, 103964. DOI:10.1016/j.engappai.2020.103964

Habibi, F., Asadi, E., Sadjadi, S. J. & Barzinpour, F. 2017. A multi-objective robust optimization model for site-selection and capacity allocation of municipal solid waste facilities: A case study in Tehran. Journal of cleaner production, 166, 816-8341 DOI:10.1016/j.jclepro.2017.08.063

Harijani, A. M., Mansour, S., Karimi, B. & Lee, C.-G. 2017. Multi-period sustainable and integrated recycling network for municipal solid waste–A case study in Tehran. Journal of Cleaner Production, 151, 96-108. DOI:10.1016/j.jclepro.2017.03.030

Harrison, C., Eckman, B., Hamilton, R., Hartswick, P., Kalagnanam, J., Paraszczak, J., Williams, P., 2010. Foundations for smarter cities. IBM J. Res. Dev. 54 (4), 1e16.] DOI:10.1147/JRD.2010.2048257

Hasanvand , MS. , Nabizadeh , R. , Heydari , M. (2008) , Analysis of municipal solid waste in Iran , Journal of health and environment ,1(1), 9-18 , URL: http://ijhe.tums.ac.ir/article-1-182-en.html (In Persian)

Lemaréchal, C. (2001). Lagrangian Relaxation. In: Jünger, M., Naddef, D. (eds) Computational Combinatorial Optimization. Lecture Notes in Computer Science, vol 2241. Springer, Berlin, Heidelberg. 2001, 112-156. DOI:10.1007/3-540-45586-8_4

López- Sánchez, A., Hernández- Díaz, A. G., Gortázar, F. & Hinojosa, M. A. 2018. A Multiobjective GRASP–VND algorithm to solve the waste collection problem. International Transactions in Operational Research, 25, 545-567. DOI:10.1111/itor.12452

lukanni, D. O. 2020. Facility location problems: models, techniques, and applications in waste management. Recycling, 5, 10. DOI:10.3390/recycling5020010

Mathematical modeling in municipal solid waste management: case study of Tehran. Journal of Environmental Health Science and Engineering 2016 May14, 1-12. DOI:10.1186/s40201-016-0250-2

Mavrotas, George. Effective implementation of the ε-constraint method in multi-objective mathematical programming problems. Applied mathematics and computation, 2009, 213.2: 455-465. DOI:10.1016/j.amc.2009.03.037

Mohammadi, M., Jämsä-jounela, S.-L. & Harjunkoski, I. 2019. Optimal planning of municipal solid waste management systems in an integrated supply chain network. Computers & Chemical Engineering, 123, 155-169. DOI:10.1016/j.compchemeng.2018.12.022

Mohammed, F., Selim, S. Z., Hassan, A. & Syed, M. N. 2017. Multi-period planning of closed-loop supply chain with carbon policies under uncertainty. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 51, 146-172. DOI:10.1016/j.trd.2016.10.033

Pouriani, S., Asadi-GangraJ, E. & Paydar, M. M. 2019. A robust bi-level optimization modelling approach for municipal solid waste management; a real case study of Iran. Journal of Cleaner Production, 240, 118125. DOI:10.1016/j.jclepro.2019.118125

Rahimi, M. & Ghezavati, V. 2018. Sustainable multi-period reverse logistics network design and planning under uncertainty utilizing conditional value at risk (CVaR) for recycling construction and demolition waste. Journal of cleaner production, 172, 1567-1581.DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.10.240

Retrieved from EghtesadOnLine: https://www.eghtesadonline.com/n/1nVc " Garbage turnover in Iran " , 2019, In Persian

Retrieved from Mashreghnews : www.mashreghnews.ir/947927 " How much waste is produced in Iran? " , 2020 , In Persian

Santibañez-Aguilar, J. E., Ponce-Ortega, J. M., González-Campos, J. B., Serna-GonzáleZ, M. & EL-Halwagi, M. M. 2013. Optimal planning for the sustainable utilization of municipal solid waste. Waste anagement, 33, 2607-2622.DOI:10.1016/j.wasman.2013.08.010.

Syed, M. A., Amir M., F.-F., Rashik, A., & Kuan, Y. W. (2023). A multi-objective closed-loop supply chain under uncertainty: An efficient Lagrangian relaxation reformulation using a neighborhood- based algorithm . Journal of Cleaner Production,Volume 423.

Yang, C., & Chen, J. (2020). Robust design for a multi-echelon regional construction and demolition waste reverse logistics network based on decision Maker's conservative attitude. Journal of Cleaner Production 273.