"Research Article"

Multi-Objective Mathematical Model For Optimizing The Collection And Recycling Of Urban Waste Under Conditions Of Uncertainty
(The Subject Of Study : Karaj City)

Mohsen Bijanpoor[۱], Reza Ehtsham Rasi [۲] (Ph.D.) , Davood Karakhani[۳] (Ph.D.)*

Abstract

In this research, using the double-objective mixed integer linear programming method, an optimal supply chain network for the collection and recycling of urban waste has been presented in terms of separation from the source and uncertainty in the per capita waste production of citizens. Due to the uncertainty in the parameters of the problem, the two-stage stochastic programming method has been used to model the problem. The objective functions include an economic function to minimize investment costs and a social objective function to maximize the amount of recycling. In order to accurately solve the problem on a large scale, the Lagrange release method has been used. To validate and confirm the effectiveness of the model presented in this research, the model was implemented on a case study in the city of Karaj. According to the obtained results, to increase the amount of recycling in the waste supply chain network, more infrastructural and operational investments are needed. By increasing recycling, the harmful environmental and destructive effects of burying and burning waste will be reduced. The Lagrange release solution method can be used as a suitable solution method to reduce the time of solving problems. In this research, it was observed that the Lagrange release method can solve large-scale problems with appropriate accuracy and in less time compared to the commercial cplex solver.

Keywords : two-stage stochastic programming, Lagrange's release method, linear programming, supply chain, waste management

[۱] - **PhD Candidate, Department of Industrial Management, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran mnbijanpoor@yahoo.com**

[۲] - **Assistant Professor, Department of Industrial Management, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran, ehteshamrasi@qiau.ac.ir**

[۳]- **Assistant Professor, Department of Industrial Management, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran davoodgharakhany@yahoo.com**

۱- Introduction

In Iran, ٥۰,۰۰۰ tons of waste are produced daily, of which only about ۱۰٪ are recycled. In the city of Tehran, the amount of separation from the source of urban waste is about ۲٪ of daily production waste. The operation of collecting and disposing of urban waste is very expensive due to the high investment costs for the waste collection and transportation fleet and the need to spend significant operational costs. Therefore, even small and partial reductions in the operating costs of waste management lead to large savings in the cost of municipalities. On average, between ٦۰ and ۸۰ percent of urban solid waste management costs are related to waste collection and transportation costs. While in the world, on average, ۷۰٪ of the produced waste is recycled, optimistically, this figure reaches about ۲۰٪ in Iran, and this means that in the country, about ۱٦ million tons of waste are buried in the ground without being recycled. One of the important reasons for the low recycling of waste in Iran is the lack of separation from the source of all types of waste produced in the country. The purpose of this research is to reduce the costs of urban waste management through separation from the source of waste and creating special hubs for each type of separated waste.

۲- Literature review

Among all municipal solid waste management strategies, waste recycling has received more attention than other options due to its impact on economic growth, in addition to protecting the environment and human health. Considering the need to invest in collection and disposal facilities as well as high operating costs, carrying out collection and recycling or disposal operations is very expensive. Therefore, a slight improvement in this process causes a significant reduction in the costs of municipalities (Irfan Babaei and others ۲۰۱۷).
The meaning of solid waste management is a set of coherent and systematic programs and laws related to the control of production, collection, transportation, separation, recycling and burial of waste based on the principles of public health, economy and conservation of biological resources. (Akbarpour Shirazi et al., ۲۰۱٥). According to the conducted research, urban solid waste management can be considered as a supply chain network design problem (Mohammadi et al., ۲۰۱۹). This network includes facilities such as waste collection stations, transfer stations and recycling and disposal facilities. In the process of household waste collection, waste collected from local collection stations is first sent to transfer facilities, where it is unloaded from municipal collection trucks and loaded into larger trucks to be transported to landfills in bulk (Habibi et al. colleagues, ۲۰۱۷). In order to design an efficient and suitable supply chain network for the urban waste collection process, mathematical programming models are able to improve the performance of this supply chain by optimizing the location of facilities and allocating facilities to each other, and therefore they are useful from this point of view (Habibi et al., ۲۰۱۷). . Because the parameters and information needed during the design of the waste supply chain network are not definitely available, therefore, the design of a supply chain in a deterministic way reduces its efficiency in reality, so considering the uncertainty in Designing the model is inevitable (Rahimi and Qadavati, ۲۰۱۷). What was stated in the previous researches shows that in most of the researches, the problem of separation from the origin of wastes and the establishment of hub centers for each of the separated wastes have not been taken into consideration, and therefore in this research, both of the above cases have been considered in the construction of the model. .

۳- Methodology

According to the aforementioned, this research presents the problem of designing a multi-level supply chain network for the collection and recycling of urban waste in terms of segregation at the source and uncertainty in the per capita production of waste by citizens. This supply chain includes urban points (segregated waste collection tanks) as waste collection centers, transfer centers or hubs

for separated waste, recycling centers, as well as burial centers and waste incinerators. The flow of materials in this supply chain is considered in such a way that the waste is separated at the source by the citizens and placed in the tanks specific to each type of waste. Then these wastes are transported by collection trucks to the hub or waste transfer centers specific to each waste, and then transported by larger trucks to recycling centers and disposal centers (including burying or burning waste). become In order to design the above network, a mixed integer programming problem is designed, which includes two economic and social goals. The first objective function of this problem seeks to minimize initial investment costs as well as operating costs, and the second objective function, i.e. the social objective function, seeks to maximize the amount of urban waste recycling. In order to take into account the uncertainty in the per capita production of waste by citizens, a two-stage random programming method has been used. In order to linearize the above two objective functions, the epsilon constraint method is used. Also, using a case study in the city of Karaj, the efficiency of the designed model will be investigated. The solution method used to solve the presented model in large dimensions is the Lagrange release method, which is classified in the group of exact problem solving methods.

٤- Results

Therefore, with the aim of covering the existing research gap, an integer linear programming mathematical model was presented for the design of the waste collection and recycling network in terms of separation from the source and also in terms of establishing a hub for each type of separated waste. In this research, in addition to the concept of recycling, the concept of separation hub was also considered in the design of the supply chain. In order to validate the model, a case study was conducted in Karaj and its results were presented. Collecting suitable data to solve the problem was one of the problems of solving the model due to the high amount of required data and the difficulty of accessing some statistics. 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. By increasing recycling, the environmental and destructive effects of burying and burning waste will be reduced. The Lagrange release method can be used as a suitable solution method to reduce the time of solving problems with high values. In this research, it was observed that the Lagrange release method can solve problems with high values with appropriate accuracy and in less time compared to the cplex solver. Therefore, it can be said that the innovations of this research include the development of the waste collection and recycling supply chain model under uncertainty, considering the separation hubs, using the Lagrange release method to solve the model and the case study of Karaj city.

٥- Discussion

The purpose of this study is to design a multi-objective mathematical model to manage municipal and hospital waste. Therefore, in this research, after the investigations and the study of the subject literature, the gap in the existing studies was determined. In the studies conducted in the relevant articles, it was found that the specialized hub for each type of waste was not included in the mentioned articles, and only in a few articles, the concept of recycling was also considered in the design of the supply chain. Also, as far as the study was conducted, no article was found in which exact solution methods were used to reduce the difficulty of solving the problem. Considering the collection and recycling supply chain network presented in this research and also according to the study of the research literature, issues such as routing the movement of waste collection and transportation trucks in the said network, production and storage planning for recycling centers , using heuristic and meta-heuristic solution methods to solve the model which are combined with other exact mathematical solution methods such as Lagrange release, considering environmental objective functions such as pollution reduction in the waste transportation and recycling process and Considering the uncertainty in the capacity of facilities can be considered as the subject of future research.

((مقاله پژوهشی))

مدل ریاضی چند هدفه برای بهینه سازی جمع آوری و بازیافت پسماند های شهری در شرایط عدم قطعیت (مورد مطالعه : شهرکرج)

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

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 و نیز عدم قطعیت در سرانه تولید پسماند شهروندان ارائه گردیده است. با توجه به وجود عدم قطعیت در پارامترهای مسئله از روش برنامه ریزی تصادفی دو مرحله ای برای مدل سازی مسئله استفاده شده است. توابع هدف شامل یک تابع اقتصادی برای حداقل سازی هزینه های سرمایه گذاری و یک تابع هدف اجتماعی برای حداکثرسازی مقدار بازیافت می باشد. به منظور حل دقیق مسئله در ابعاد بزرگ از روش آزادسازی لاگرانژ استفاده شده است.برای صحت سنجی و تایید کارایی مدل ارائه شده در این تحقیق، مدل روی یک مطالعه موردی در شهر کرج پیاده سازی شد. با توجه به نتایج به دست آمده ، برای افزایش میزان بازیافت در شبکه زنجیره تامین پسماند ، نیاز به سرمایه گذاری های زیرساختی و عملیاتی بیشتر می باشد. با افزایش بازیافت، آثار زیان بار زیست محیطی و تخریبی دفن و سوزاندن پسماندها کاهش خواهد یافت. روش حل آزادسازی لاگرانژ، می تواند بعنوان یک روش حل مناسب برای کاهش زمان حل مسائل مورد استفاده قرار گیرد . در این پژوهش ، مشاهده شد که روش آزادسازی لاگرانژ در مقایسه با حل کننده تجاری سیپلکس می تواند مسائل در مقیاس بزرگ را با دقت مناسب و در زمانی کمتر حل کند .

کلمات کلیدی : برنامه ریزی تصادفی دو مرحله ای ، روش آزاد سازی لاگرانژ ، برنامه ریزی خطی ،زنجیره تامین ، مدیریت پسماند

[۱] – دانشجوی دکتری ، گروه مدیریت صنعتی ، واحد قزوین ، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران mnbijanpoor@yahoo.com

[۲] – استادیارگروه مدیریت صنعتی ، واحد قزوین ، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران (نویسنده مسئول) ، ehteshamrasi@qiau.ac.ir

[۳] – استادیارگروه مدیریت صنعتی ، واحد قزوین ، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران davoodgharakhany@yahoo.com

مقدمه

در ایران روزانه ۵۰ هزار تن پسماند تولید می شود و این در حالیست که 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 ، مانند هزینه های سوخت ، نگهداری و تعمیرات ، بسیار پر هزینه است . بنابراین حتی کاهش های اندک در هزینه های عملیاتی جمع آوری و دفع پسماندها ، منجر به صرفه جویی های بزرگ در هزینه ها ی شهرداری ها می شود. بطور میانگین بین ٦٠ تا ٨٠ 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 ، بصورت خوشبینانه این رقم در ایران به حدود ۲۰ درصد می‌رسد و این به آن معناست که در کشور سالانه حدود ١٦میلیون تن پسماند ، در خاک دفن می شود . در فرآیند دفع پسماند ها در کشور ، 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 پسماند ها دفن می شود در حالیکه ۱۷ درصد آنها بازیافت مواد و ٧٤ درصد پس ماندها 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]

ادبیات موضوع پژوهش

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

[1] T.,Almirall,E

[2] - Harrison, C

[3] -Akbarpour Shirazi

[4] - Habibi

به چالشی دائمی تبدیل شده‌است(عرفان بابایی و دیگران ۱۳۹۷)[۱]. مدیریت کنترل‌نشده یا نامناسب این 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 برای مدیریت پسماند جامد است که شامل موارد، به حداقل رساندن تولید پسماند، بازیافت و دفع بهداشتی می‌باشد(محمدی و همکاران، ۲۰۱۹).[۲] در میان تمام استراتژی‌های مدیریت پسماندهای جامد شهری، بازیافت پسماند به دلیل تاثیر آن بر رشد اقتصادی، علاوه بر حفاظت از محیط‌زیست و سلامت انسان، بیشتر از سایر گزینه‌ها مورد توجه قرار گرفته‌است. با توجه به نیاز به سرمایه‌گذاری در تاسیسات جمع‌آوری و دفع و همچنین هزینه‌های عملیاتی بالا، انجام عملیات جمع‌آوری و بازیافت یا دفع 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 می‌باشد(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 و تاسیسات بازیافت و دفع است. در فرآیند جمع‌آوری پسماندهای خانگی، پسماندهای جمع‌آوری‌شده از ایستگاه‌های جمع‌آوری محلی، ابتدا به تأسیسات انتقال فرستاده می‌شوند، جایی که از کامیون‌های جمع‌آوری شهری تخلیه و در کامیون‌های بزرگ‌تر بارگیری 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)[۳]. 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 زنجیره-تامین 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)[٤].

---

[۱]- Babaei , E

[۲] -Mohammadi

[۳] -Pouriani .

[٤] -Rahimi and Ghezavati,

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. این زنجیره تامین شامل نقاط شهری (مخازن جمع آوری زباله تفکیکی) بعنوان مراکز جمع‌آوری پسماند ، مراکز انتقال یا هاب مختص پسماندهای تفکیک شده ، مراکز بازیافت و نیز مراکز دفن و پسماند سوز ها است . جریان مواد در این زنجیره تامین به این صورت در نظر گرفته شده‌است که پسماندها در مبدا توسط شهروندان تفکیک و در مخازن مختص هر نوع پسماند قرار می‌گیرد. سپس این پسماندها توسط کامیون‌های جمع‌آوری به مراکز هاب یا انتقال پسماند مختص هر پسماند منتقل می‌شوند و بعد از آن توسط کامیون‌های بزرگ‌تر به مراکز بازیافت و مراکزدفع (شامل دفن یا سوزاندن پسماند ها) منتقل می‌شوند. به منظور طراحی شبکه فوق، یک مسئله برنامه‌ریزی عددصحیح مختلط طراحی می‌شود، که شامل دو هدف اقتصادی و اجتماعی می‌باشد. 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. برای در نظرگرفتن عدم‌قطعیت در میزان تولید سرانه پسماند توسط شهروندان ، از روش برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای استفاده شده‌است. به منظور خطی‌سازی دو تابع هدف فوق روش اپسیلون محدودیت بکارگرفته می‌شود. 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 گروه روش‌های دقیق حل مسئله طبقه بندی می‌شود. در ادامه مقاله ادبیات نظری مرتبط با موضوع تحقیق بررسی خواهد شد .

با توجه به اهمیت مسئله مدیریت پسماند جامد از جنبه‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی، در دهه‌های اخیر مطالعات بسیاری برای تعیین ساختار شبکه زنجیره تامین جمع‌آوری پسماند صورت گرفته‌است. . (ارکوت و همکاران، ۲۰۰۸)[۱] 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 همکاران، ۲۰۱۲).[۲] 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، ۲۰۱۳)[۳] یک مدل برنامه-ریزی 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، ۱۳۹۶)[۴] نیز با اتخاذ تصمیمات همزمان در خصوص مکان مراکز پردازش پسماند، تخصیص ظرفیت به مراکز و مسیریابی در

---

[۱] -Erkut

[۲] -Coutinho-Rodrigues

[۳] -Santibañez-Aguilar

[۴]– Harijani

شبکه حمل و نقل پسماند، یک مدل برنامه‌ریزی عددصحیح مختلط را برای به حداکثر رساندن سود شبکه بازیافت و دفع در تهران توسعه داده‌اند.در مقاله (حبیبی و همکاران، ۲۰۱۷)یک 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. (محمد و همکاران، ۲۰۱۷)[۱] به منظور کاهش انتشار کربن در مسئله خود سطح ظرفیت تاسیسات و حالت حمل ونقل پسماندها را بهینه کردند. علاوه بر این در این تحقیق جریان بهینه بین تاسیسات مختلف در زنجیره تامین پسماند در نظر گرفته‌شده است تا بتوان تعادل بین هزینه کل زنجیره تامین و انتشار کربن تحت سیاست‌های مختلف کربن ایجاد شود. (محمد و همکاران، ۲۰۱۷) 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 می‌کند. برای حل این مسئله از یک فرمولاسیون برنامه‌ریزی عددصحیح مختلط استفاده می‌شود. رودریگو د آلوارنگا گومز و همکاران (۲۰۱۷) به منظور بهینه‌سازی فرآیند جمع‌آوری پسماند یک مدل برای لجستیک معکوس ارائه داده‌اند تا با حداقل رساندن تعداد کامیون‌های مورد نیاز و کل مسافت طی‌شده، هزینه‌ها کلی سیستم جمع‌آوری را کاهش دهند. این مقاله یک مدل ریاضی و بر اساس مسئله مسیریابی کامیون با چندین سفر برای برنامه‌ریزی لجستیک معکوس برای جمع-آوری پسماند ارائه داده‌است. در این مقاله با توجه ترکیبیاتی بودن مدل مسئله از روش فراابتکاری شبیه‌سازی تبرید استفاده‌شده‌است. (رحیمی و قضاواتی، ۱۳۹۷) در تحقیق 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. در این مقاله مسئله طراحی شبکه با تقاضای احتمالی محصولات بازیافتی و نرخ سرمایه‌گذاری در نظر گرفته شده‌است. (لوپز-سانچز و همکاران، ۲۰۱۸)[۲] حل مسئله جمع‌آوری پسماند یک شهر در جنوب اسپانیا به عنوان یک مسئله مسیریابی چندهدفه مورد بررسی قرار گرفته‌است. اهداف مسئله مورد نظر به حداقل رساندن هزینه کلی سفر است، یعنی، کل مسافت طی‌شده توسط همه وسایل جمع‌آوری و همچنین زمان سفر، یعنی مدت‌زمان طولانی‌ترین مسیر برای یک وسیله نقلیه در نظر گرفته‌شده است. در این مقاله از یک روش ابتکاری مبتنی بر جستجوی حریصانه استفاده‌شده‌است. (پوریانی و همکاران، ۲۰۱۹) 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 استفاده‌کرده‌اند. مدل پیشنهادی با استفاده از یک مطالعه موردی در بابل مورد ارزیابی قرار گرفته‌است. (محمدی و

[۱] -Mohammed

[۲]– López-Sánchez

همکاران، ۲۰۱۹)[۱] یک 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 گشته‌است، که عملکردهای مختلفی مانند جمع‌آوری پسماند در شهرها، تفکیک پسماند در مراکز جداسازی، بازیافت پسماند در کارخانه‌ها و فروش محصولات نهایی به بازارها را پوشش می‌دهد. هدف مدل پیشنهادی یافتن مقدار بهینه پسماند توزیع‌شده در میان تمام سطوح زنجیره‌تامین و مقدار و نوع محصولات تولیدی توزیع‌شده به مشتریان نهایی، علاوه بر به حداکثر رساندن سود خالص کل شبکه زنجیره‌تامین با توجه به محدودیت‌های حمل و نقل، ذخیره‌سازی و ظرفیت تولید تحمیل‌شده توسط مراکز جداسازی، کارخانه‌ها و مراکز توزیع می‌باشد (آصفی و همکاران، ۲۰۱۹)[۲] با هدف بهینه‌سازی شبکه لجستیک و سیستم حمل و نقل در مدیریت جامع پسماندهای شهری، که در آن زنجیره کامل پسماند به عنوان یک شبکه لجستیک سه سطحی فرمول‌بندی شده‌است. یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای فرموله کردن سیستم مدیریت جامع پسماند های شهری در چارچوب مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با پنجره زمانی توسعه داده شده‌است.دراین تحقیق عدم قطعیت در میزان تولید پسماندهای شهری در نظر گرفته‌شده‌است، با توجه به این موضوع یک رویکرد بهینه‌سازی تصادفی دو مرحله‌ای برای پشتیبانی موثر از سیستم حمل و نقل مدیریت جامع پسماندهای شهری پیشنهاد شده‌است.(آدلک و اولکان نی،۲۰۲۰)[۳] 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 جمع-آوری پسماند مورد نیاز برای یک منطقه مسکونی شهری را برآورد می‌کند. . (قنادپور و زندیه، ۱۳۹۹)[٤] به بررسی مساله مسیریابی وسایل نقلیه جمع‌آوری پسماند سلامت برای مراکز پزشکی کوچک در ایران می‌پردازد که مقادیر کمی پسماند تولید می‌کنند. در این تحقیق، یک مدل مسیریابی پایدار محور برای جمع‌آوری پسماند طراحی شده‌است به طوری که هزینه‌های حمل و نقل پسماند کاهش می‌یابد. علاوه بر این، انتظار می‌رود نگرانی‌ها در مورد مصرف بیش از حد سوخت‌های فسیلی ارزشمند و آلودگی‌های مرتبط کاهش یابد و خطرات شیوع بیماری و عواقب ضروری برای جامعه کاهش یابد. از یک الگوریتم تکاملی خود تطبیقی برای حل این مدل بهره گرفته-شده‌است. چنکسی یانگ و جیانگ گو چن(۲۰۲۰) یک مدل بهینه‌سازی را برای طراحی یک شبکه لجستیک معکوس پسماندهای ساخت و ساز و تخریب ساختمانی منطقه‌ای پیشنهاد کرده‌اند. به این منظور، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عددصحیح مختلط برای طراحی شبکه لجستیک معکوس پیشنهادی توسعه داده‌اند. زی یو پان و همکاران (۲۰۲۰) یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه مختلط عددصحیح برای به حداقل رساندن هزینه‌های دفع پسماند ساخت‌وساز و تخریب و نیز برای به حداکثر رساندن سود شرکت‌های بازیافت و میزان بازیافت پسماند

[۱] -Mohammadi

[۲] - Asefi

[۳] -Adeleke and Olukanni

[٤]– Ghannadpour and Zandiyeh

ساخت‌وساز و تخریب توسعه داده‌شده‌است. در این مقاله میزان پسماندهای ساختمانی تولید شده را دارای عدم-قطعیت در نظر گرفته‌اند تا با نوسانات آتی میزان عرضه پسماند مقابله کنند. با توجه به این موضوع، به منظور مدل‌سازی مسئله خود از روش بهینه‌سازی استوار استفاده‌کرده‌اند.

جدول ۱ – خلاصه تحقیقات پیشین و شیوه حل مدل در آنها

Table ۱ - Summary of previous researches and the method of solving the model in them

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	
سانتیباتزگیلار 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)	–	❋	❋	–	–	❋	–	–	❋
چنکسي يانگ و جيانگ گو چن(۲۰۲۰)	–	❋	❋	–	–	❋	–	–	❋
زي يوپان و همکاران (۲۰۲۰)	–	❋	❋	❋	–	❋	–	–	–
مقاله حاضر	❋	❋	❋	❋	–	–	❋	–	❋

با توجه به مطالعات انجام شده، هنوز برخی از مسائل وجود دارد که در ادبیات حوزه مدیریت پسماندهای شهری مورد بررسی قرار نگرفته‌است. . در مدل های ریاضی ارائه شده برای زنجیره تامین پسماندهای شهری ، به مسئله تفکیک از مبداء با لحاظ ایجاد مراکز هاب اختصاصی هر نوع پسماند ، توجه چندانی نشده است و لذا تحقیقی که نقاط انتقال یا مراکز هاب در زنجیره تامین مذکور را به صورت تفکیکی و مختص هر نوع پسماند در نظر گرفته باشند یافت نشد. همچنین در طراحی زنجیره تامین ، مفهوم بازیافت در تعداد کمی از مقالات لحاظ شده بود . همچنین مقاله ای مشاهده نشد که از روش های دقیق برای کاهش دشواری حل مسئله استفاده شده باشد.بنابراین در این مقاله از روش آزادسازی لاگرانژ برای حل مسئله استفاده شد.در کنار موارد فوق الذکر، با توجه به مرور ادبیات و مطالعاتی که انجام گرفته است، پژوهشی مشاهده نشده است که از روش دقیق آزادسازی لاگرانژ در مسئله طراحی شبکه زنجیره تامین جمع آوری و یازیافت پسماند شهری، استفاده کرده باشد. مزیت روش آزادسازی لاگرانژ اینست که قادر به تولید جواب های دقیق برای مسائل می باشد، این در حالی است که روش های حل ابتکاری و فراابتکاری دیگر، تضمینی به ارائه جواب بهینه ندارند و معمولا جواب این دسته از روش ها ، جوابی نزدیک به جواب بهینه است. بنابراین در این مقاله از روش آزادسازی لاگرانژ برای حل مسئله بیان شده استفاده شد.همچنین در این مقاله انواع بیشتری از پسماندها نسبت به مطالعات دیگر در نظر گرفته شده است (در

این مدل هفت نوع پسماند تفکیک شده در نظر گرفته شده است که با توجه به شماره اندیس نوع پسماند (i) شامل ۱) پسماند بیمارستانی، ۲) پسماند شیشه ای، ۳) پسماند فلزی، ٤) پسماند چوبی، ٥) پسماند تر، ٦) پسماند پلاستیکی و ۷) پسماند کاغذی و مقوا می باشد. **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. این زنجیره تامین شامل نقاط شهری (مخازن جمع آوری زباله تفکیکی) بعنوان مراکز جمع‌آوری پسماند ، مراکز انتقال یا هاب مختص پسماندهای تفکیک شده ، مراکز بازیافت و نیز مراکز دفن و پسماند سوز ها است . جریان مواد در این زنجیره تامین به این صورت در نظر گرفته شده‌است که پسماندها در مبدا توسط شهروندان تفکیک و در مخازن مختص هر نوع پسماند قرار می‌گیرد. سپس این پسماندها توسط کامیون‌های جمع‌آوری به مراکز هاب یا انتقال پسماند مختص هر پسماند منتقل می‌شوند و بعد از آن توسط کامیون‌های بزرگ‌تر به مراکز بازیافت و مراکزدفع (شامل دفن یا سوزاندن پسماند ها) منتقل می‌شوند. به منظور طراحی شبکه فوق، یک مسئله برنامه‌ریزی عددصحیح مختلط طراحی می‌شود، که شامل دو هدف اقتصادی و اجتماعی می‌باشد. 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. برای در نظرگرفتن عدم‌قطعیت در میزان تولید سرانه پسماند توسط شهروندان ، از روش برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای استفاده شده‌است. به منظور خطی‌سازی دو تابع هدف فوق روش اپسیلون محدودیت بکارگرفته می‌شود. 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 گروه روش‌های دقیق حل مسئله طبقه بندی می‌شود.**

بنابراین تمرکز اصلی این مقاله بر روی مفروضات جدیدی در سطوح زنجیره‌تامین پسماند شهری است. این مفروضات شامل در نظر گرفتن مبحث تفکیک از مبداء پسماندها توسط شهروندان در مخازن پسماند مخصوص و در تظر گرفتن مراکز انتقال یا هاب اختصاصی هر نوع پسماند و همچنین تسهیلات حمل و نقل برای هر نوع پسماند بصورت تفکیک شده می‌باشد. همچنین در این مقاله سعی شده که زنجیره تامین با یک نگاه یکپارچه نگریسته شود و تصمیم‌های راهبردی، تاکتیکی و عملیاتی بطور همزمان بهینه شوند. علاوه بر این در این مقاله به منظور در نظر گرفتن نوسانات ناشی از پارامتر میزان پسماند تولید شده در هر دوره زمانی، پارامتر میزان پسماند به صورت غیرقطعی در نظرگرفته شده است و از روش بهینه‌سازی تصادفی دو مرحله‌ای برای مدل‌سازی عدم‌قطعیت استفاده‌شده‌است. و از روش بهینه‌سازی تصادفی دو مرحله‌ای برای مدل‌سازی عدم‌قطعیت استفاده‌شده‌است. در مطالعات پیشین انجام شده ، به روش‌های حل دقیق مسائل توجه‌نشده‌است.

. 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 مقاله بر روی مفروضات جدیدی در سطوح زنجیره‌تامین پسماند شهری است. این مفروضات شامل در نظر گرفتن مبحث تفکیک از مبداء پسماندها توسط شهروندان در مخازن پسماند مخصوص و در نظر گرفتن مراکز انتقال یا هاب و همچنین تاسیسات حمل و نقل برای هر نوع پسماند بصورت تفکیک شده می‌باشد. همچنین گرفتن مبحث تفکیک از مبداء پسماندها توسط شهروندان در مخازن پسماند مخصوص و در نظر گرفتن مراکز انتقال یا هاب و همچنین تاسیسات حمل و نقل برای هر نوع پسماند بصورت تفکیک شده می‌باشد. همچنین در این مقاله سعی شده که زنجیره تامین با یک نگاه یکپارچه نگریسته شود و تصمیم‌های راهبردی، تاکتیکی و عملیاتی بطور همزمان بهینه شوند. بطور کلی تصمیمات بلند مدت که فراتر از یکسال بر فرآیندهای پروژه موثرند تصمیمات استراتژیک خواهند بود. اقداماتی نظیر تعیین مراکز هاب و بازیافت و ظرفیت نهایی آنها ، روش ها و سازوکارهای سیستم حمل و نقل پسماند ، نوع سیستم اطلاعاتی تصمیم گیری یا پشتیبان تصمیم ، شیوه یا اهداف استفاده از شبکه سنسورهای ویژه (اینترنت اشیاء) برای افزایش بهره وری واحد های جمع آوری و حمل زباله ، تصمیم گیری در مورد میزان یا درجه تفکیک پسماندها (معمولا ۷ نوع پسماند در شرایط متعارف قابل تفکیک از پسماندها می باشند) ، تعیین پسماندهای دارای اولویت برای تفکیک از مبدا ، شیوه تقسیم بندی مناطق شهری ، شیوه جمع آوری زباله ها ، شیوه تاسیس و نیز تصمیم گیری در مورد تاسیس یا عدم تاسیس و تعداد هاب اختصاصی پسماند در مناطق شهری ، شیوه حمل پسماندها ، اهداف اصلی و محصولات مورد نظر در فرآیند بازیافت ، شیوه تجمیع مناطق شهری برای توازن جمعیت با ظرفیت مراکزهاب ، تعیین سال مورد نظر در آینده برای برآورد جمعیت آتی مناطق مسکونی شهری (مثلا برآورد جمعیت برای ۱۵ سال آینده و یا ۲۵ سال آینده) ومانند آنها از جمله تصمیمات راهبردی خواهند بود.

تصمیمات تاکتیکی تصمیماتی هستند که برای دستیابی به اهداف استراتژیک در مسیردستیابی به هدف دربازه های زمانی ۳ ماه تا یکسال اتخاذ می شوند. در موضوع مورد مطالعه تصمیماتی نظیر تغییر درظرفیت کامیون های حمل و یا شیوه استفاده از شبکه سنسورهای ویژه (اینتر نت اشیاء) در مناطق مختلف با توجه به محدودیت های جغرافیایی هر منطقه شهری ، تغییر در ساعات جمع آوری پسماندها و نظایر آنها از جمله تصمیمات تاکتیکی است.

تصمیمات عملیاتی که برای بازه های زمانی هفتگی تا ماه اتخاذ می شوند مبتنی بر ابتکار های اجرایی برای تسهیل گری تحقق اهداف تاکتیکی می باشند. این تصمیمات عموما کوتاه مدت و برای اجرای فرآیندها و کارهای اجرایی روزانه و حداکثر ماهانه پروژه خواهند بود .

در مدل این تحقیق تصمیماتی نظیر تعیین مکان های استقرار هاب ها ، تعیین تعداد مراکز هاب و نیز تعیین ظرفیت مراکز هاب از جمله تصمیمات راهبردی است. همزمان اتخاذ تصمیماتی نظیر تعیین تعداد کامیون های حمل پسماند ها از جمله تصمیمات تاکتیکی مدل خواهد بود و سرانجام در مدل این تحقیق ، تصمیم گیری در مورد میزان بازیافت و امحاء پسماندها و نیز تصمیم گیری در مورد میزان حمل پسماندها بین مراکز مختلف ، ازجمله تصمیمات تاکتیکی مدل خواهند بود.

با توجه به مرور ادبیات و مطالعاتی که انجام گرفته‌است، پژوهشی مشاهده نشده‌است که از روش دقیق آزادسازی لاگرانژ در مسئله طراحی شبکه زنجیره‌تامین جمع‌آوری و یازیافت پسماند شهری، استفاده کرده‌باشد. مزیت روش

آزادسازی لاگرانژ که قادر به تولید جواب‌های دقیق برای مسائل می‌باشد، این در حالی است که روش‌های حل ابتکاری و فراابتکاری دیگر تضمینی به ارائه جواب بهینه ندارند و معمولا جواب این دسته از روش‌ها جوابی نزدیک به جواب بهینه است. بنابراین در این مقاله از روش آزادسازی لاگرانژ برای حل مسئله بیان شده استفاده-خواهدشد.

علاوه بر این در این مقاله به منظور در نظر گرفتن نوسانات ناشی از پارامتر میزان پسماند تولید شده در هر دوره زمانی، پارامتر میزان پسماند به صورت غیرقطعی در نظرگرفته شده است و از روش بهینه‌سازی تصادفی دو مرحله‌ای برای مدل‌سازی عدم‌قطعیت استفاده‌شده‌است.

در مطالعات پیشین انجام شده ، به روش‌های حل دقیق مسائل توجه‌نشده‌است. بنابراین در مقاله از روش آزادسازی لاگرانژ برای حل مسئله بیان شده استفاده خواهدشد. با توجه به مرور ادبیات و مطالعاتی که انجام گرفته‌است، پژوهشی مشاهده نشده‌است که از روش دقیق آزادسازی لاگرانژ در مسئله طراحی شبکه زنجیره‌تامین جمع‌آوری و یازیافت پسماند شهری، استفاده کرده‌باشد. مزیت استفاده از روش آزادسازی لاگرانژ اینست که قادر به تولید جواب‌های دقیق برای مسائل می‌باشد، این در حالی است که روش‌های حل ابتکاری و فراابتکاری دیگر، تضمینی به ارائه جواب بهینه ندارند و معمولا جواب این دسته از روش‌ها ، جوابی نزدیک به جواب بهینه است. بنابراین در این مقاله از روش آزادسازی لاگرانژ برای حل مسئله بیان شده استفاده‌خواهدشد.

همچنین در این مقاله انواع بیشتری از پسماندها نسبت به مطالعات دیگر در نظر گرفته‌شده‌است (در این مدل هفت نوع پسماند تفکیک شده در نظر گرفته‌شده‌است که با توجه به شماره اندیس نوع پسماند (i) شامل ۱) پسماند بیمارستانی، ۲) پسماند شیشه‌ای، ۳) پسماند فلزی، ٤) پسماند چوبی، ٥) پسماند تر، ٦) پسماند پلاستیکی و ۷) پسماند کاغذی و مقوا می‌باشد.

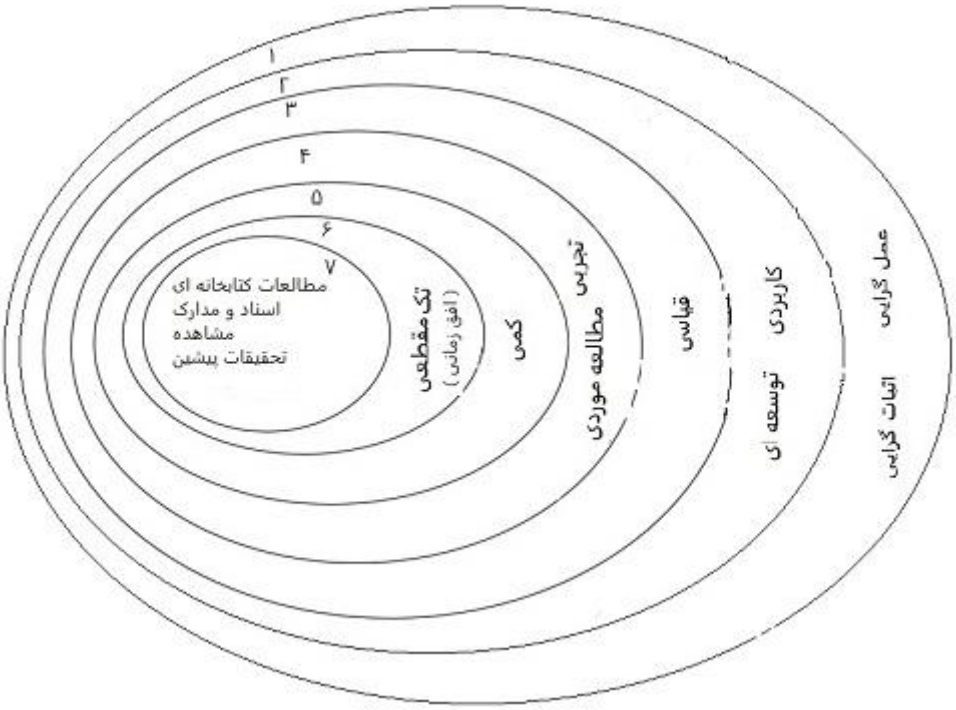
یکی از روش های بیان دیدگاه ها و روش های بکار گرفته شده پژوهشگر در انجام یک تحقیق ، ارائه مدل پیاز پژوهش تحقق موردنظر است.پیازپژوهش مدل درحقیقت، لایه هایی است که اجزای ساختار تحقیق ، فلسفه و نوع روش های بکار گرفته شده در مراحل یا فرآیندهای انجام تحقیق را نشان میدهد.در واقع می توان گفت پیاز پژوهش ضمن آنکه لایه های مختلفی پژوهش را معرفی می کند ، لایه های تاثیر پذیر از لایه های بالاتر را نیز معین می کند.

براساس مدل پیاز پژوهش ، پایه و اساس پژوهش را فلسفه و جهان بینی پژوهشگر معین می کند چرا که هر یک از مراحل بعدی پژوهش مانند انتخاب رویکرد پژوهش یا روش جمع آوری و تحلیل داده ها بر اساس جهان بینی و نگرش پژوهشگر شکل خواهند گرفت. بطور کلی هر پیاز پژوهش دارای لایه های ذیل است :

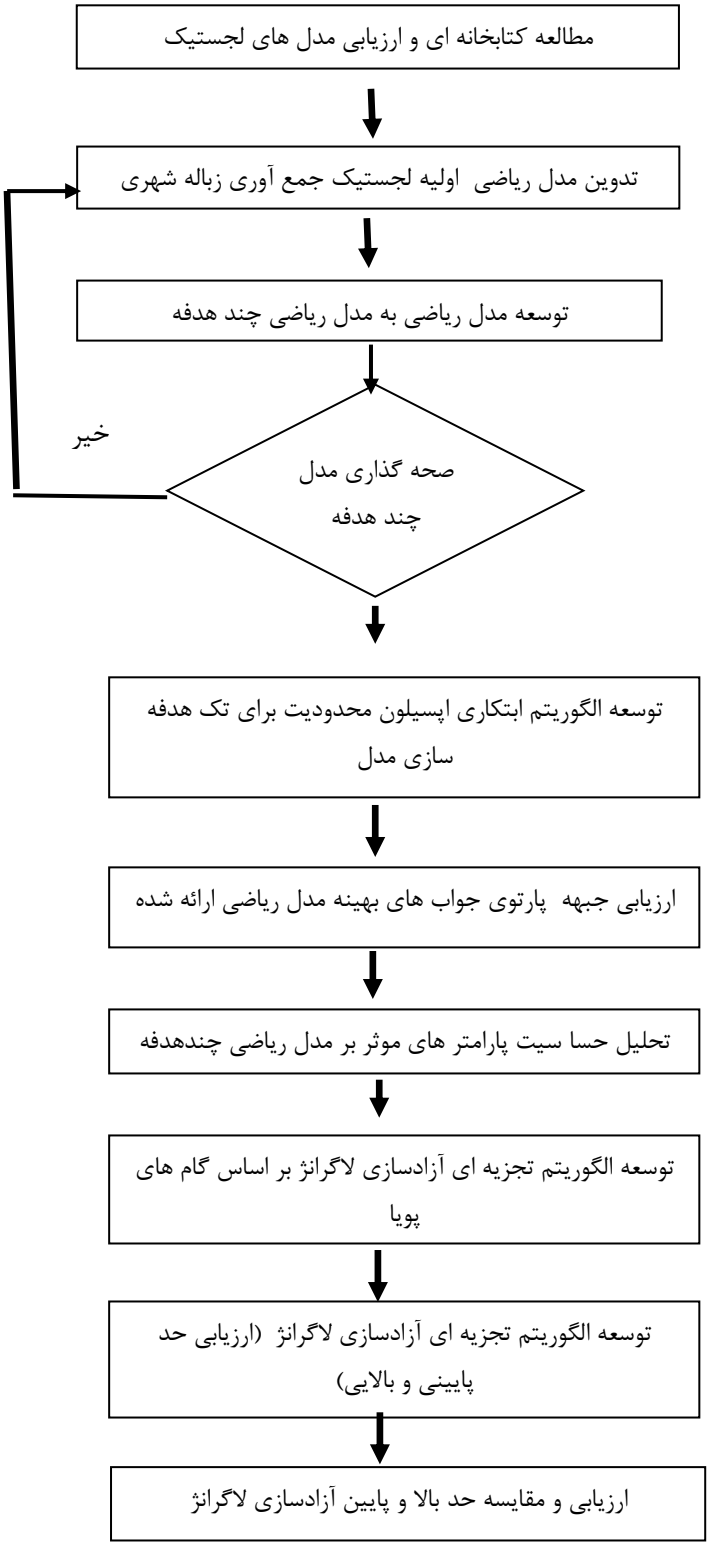
۱) *لایه فلسفه پژوهش* (فلسفه پژوهش را بیان می کند)

۲) *جهت گیری اصلی پژوهش* (جهت گیری پژوهش را بیان می کند)
۳) *لایه رویکردهای پژوهش* (رویکرد پژوهش را بیان می کند)
٤) *لایه راهبردهای پژوهش*(راهبرد پژوهش را بیان می کند)
٥) *لایه روش های پژوهش*(روش های پژوهش را بیان می کند)
٦) *لایه افق زمانی پژوهش* (افق زمانی پژوهش را بیان می کند)
۷) *لایه شیوه های جمع آوری داده ها*(روش های جمع آووری داده ها را بیان می کند)

با توجه به موراد پیش گفته پیاز پژوهش تحقیق حاضر در شکل ۱ نشان داده شده است. در این مقاله مطالعه موردی شهر کرج نیز برای اولین بار مورد توجه قرار گرفته است. در ادامه ابزار و روش تحقیق ، مفروضات مسئله و فرآیند مدل سازی بیان می‌شوند.



شکل ۱: پیاز پژوهش
Figure ۲: Onion of research



شکل ۲ : گام های پژوهش

Figure ۱: research steps

ابزار و روش

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 مدل‌های توسعه یافته ، مدیریت پسماندهای شهری از جنبه های اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

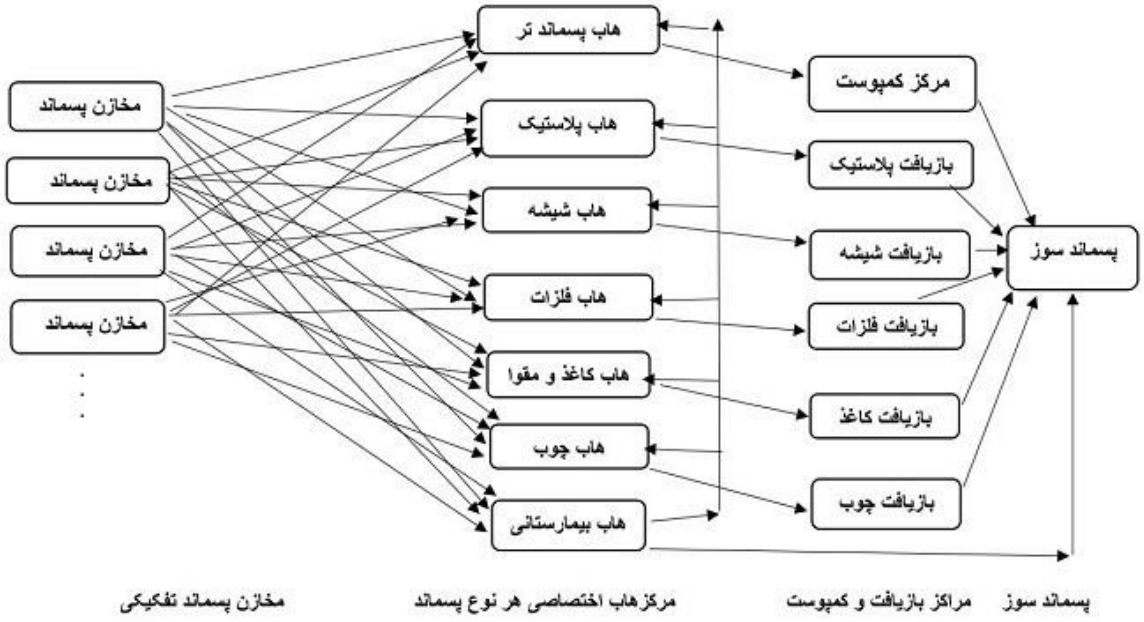
در این مقاله از دو روش آزاد سازی لاگرانژ و اپسیلون محدودیت برای حل مدل استفاد می شود.آزادسازی لاگرانژ یک روش شناخته‌شده برای حل مسائل بهینه سازی در مقیاس بزرگ است. در این روش از ساختار اصلی مسائل ، برای به دست‌آوردن حد پایین مقدار بهینه تابع هدف استفاده می شود. در روش آزاد سازی لاکرانژ ، یک یا چند محدودیت 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 می شود تا حد پایین مناسبی برای جواب بهینه مسئله بدست آید.(ال مارشال،۲۰۰۱) یکی از روش‌های دقیق دیگر برای حل مسائل دارای چند تابع هدف و به دست آوردن جواب‌های پارتوی بهینه استفاده از روش محدودیت اپسیلون است. در این روش یکی از توابع هدف را بعنوان تابع هدف اصلی انتخاب می‌کنیم و مابقی توابع هدف را محدودیت محسوب می کنیم. به این منظور باید برای توابع هدفی که به محدودیت‌ها منتقل شوند حدود قابل قبولی را انتخاب کرد.

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. این مسئله دارای دو تابع هدف اقتصادی و اجتماعی می‌باشد که اهداف آن به ترتیب کاهش هزینه کلی سیستم و افزایش میزان بازیافت می‌باشد. در تابع هدف اقتصادی این مسئله سعی می‌شود که هزینه‌های شبکه زنجیره‌تامین ارائه شده بهینه گردد. به بیان دیگر با استفاده از این تابع هدف هزینه خرید تسهیلات مانند سطل زباله و خودرو جمع‌آوری پسماند، هزینه تاسیس مراکز بازیافت، هزینه تاسیس مراکز انتقال، هزینه عملیاتی بازیافت و امحاء پسماندها و همچنین هزینه حمل و نقل پسماندها بین سطوح زنجیره تامین کمینه می‌شود. علاوه بر این با توجه به گسترس نگرانی‌های زیست‌محیطی و اجتماعی در مورد دفع نامناسب پسماندهای شهری ، با توسعه مراکز بازیافت می‌توان این نگرانی-ها را کاهش داد. بنابراین این پژوهش با استفاده از یک تابع هدف در حوزه اجتماعی به دنبال کاهش دفع و امحاء غیراصولی پسماندهای شهری می‌باشد. در واقع این تابع هدف میزان پسماندهای بازیافت شده را بیشینه می‌کند.

برای بیان روش مدل‌سازی مسئله ، ابتدا مفروضات و سپس متغیرها ، پارامترها ، مدل عددصحیح مختلط دوهدفه و در ادامه اهداف مسئله و نشانه‌گذاری‌ها ارائه می گردند .

- در این مدل هفت نوع پسماند تفکیک شده در نظر گرفته‌شده‌است که با توجه به شماره اندیس نوع پسماند (i) شامل ۱) پسماند بیمارستانی، ۲) پسماند شیشه‌ای، ۳) پسماند فلزی، ٤) پسماند چوبی، ٥) پسماند تر، ٦) پسماند پلاستیکی و ۷) پسماند کاغذی و مقوا می‌باشد.
- در این مسئله مدلسازی تاسیسات جمع‌آوری، مراکز انتقال (هاب تفکیکی)، مراکز دفن و پسماندسوزی و مراکز بازیافت درنظر گرفته‌شده‌است. جریان مواد تنها می‌تواند بین دو سطح متوالی از لایه‌های شبکه مورد نظر برقرار باشد.
- مراکز جمع‌آوری پسماند شامل مخازن پسماند در بیمارستان‌ها و نیز مراکز اسکان جمعیت شهری است .
- مقدار پسماندهای تولیدی در هر منطقه شهری و یا هر بیمارستان بصورت غیر قطعی است .
- هر منطقه شهری و بیمارستان می‌تواند با یک یا چند مرکز انتقال تخصصی هاب تفکیکی در ارتباط باشد.
- پسماند تفکیک شده از مناطق مسکونی و تجاری شهری و بیمارستان‌ها به مراکز هاب یا انتقال مخصوص هر پسماند منتقل و پس از تفکیک نهایی به منظور بازیافت یا امحاء به مراکز بازیافت یا امحاء منتقل می‌شوند.
- 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 یا منطقه شهرداری تعیین می‌کند.
- مسئله بصورت بالانس‌شده درنظر گرفته می‌شود، یعنی مجموع پسماندهای تفکیکی جمع‌آوری شده و ارسالی به مراکز هاب با مجموع پسماندهای تفکیک شده ارسالی از مراکز هاب یا انتقال به مراکز بازیافت و پسماندسوزی برابر است.
- پسماند های شهری بصورت چند کالایی می باشد (شامل پسماندهای تر، پلاستیک ، شیشه ، فلزات ، کاغذ و مقوا و ....) . همچنین مسئله مورد مطالعه چند دوره ای است.
- 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 انتقال یا هاب های کاندید به طرف مراکز پسماندسوزی یا دفن و امحا پسماندها مشخص است.
- 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 شهرداری و نیز میزان جمعیت مناطق تجمیع یافته شهرداری مشخص می‌باشند.



شکل ۳ : ارتباط لایه های مدل در شبکه مدیریت پسماند های شهری

Figure ۱: Urban waste management network model

دراین پژوهش ، هدف ساخت مدل عبارتست است از به حداقل رساندن هزینه‌های جمع آوری ، تفکیک ، حمل و بازیافت پسماندهای شهری به همراه به حداکثر رساندن مقادیر بازیافت محصولات از انواع پسماند شهری .

شبکه زنجیره تامینی که هدف این پژوهش ، به حداقل رساندن هزینه‌های آن است، دارای لایه‌های ذیل است:

- مخازن پسماند تفکیکی شهری و نیز مخازن پسماند بیمارستانی درهر منطقه شهرداری
- مراکز انتقال یا مراکز هاب مستقر در هر منطقه شهرداری
- مراکز بازیافت پسماندهای تفکیکی شهری
- مراکز امحاء (دفن یا سوزاندن) پسماند

مسئله این پژوهش به صورت چندهدفه است . اولین تابع هدف مدل، مجموع هزینه‌های کلیه فعالیت‌های جمع-آوری، حمل ، بازیافت، ، کمپوست ، سوزاندن و امحا پسماندها را حداقل می‌کند و شامل هزینه‌های ذیل است:

- هزینه ساخت و نصب مخازن پسماندهای تفکیکی برای جمع‌آوری و تفکیک همزمان پسماند در مبداء
- هزینه خریدکامیون‌های جمع‌آوری پسماند و نیز هزینه خریدکامیون های بزرگ حمل پسماند از مراکز هاب یا انتقال به مراکز بازیافت
- هزینه ساخت و راه اندازی مراکز هاب یا انتقال
- هزینه ساخت و راه اندازی مراکز بازیافت

- هزینه ساخت یا خرید پسماندسوزها
- 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
- هزینه سوخت مصرفی درمسیرجمع آوری پسماند ها ونیز حمل پسماندهای تفکیکی به مراکز بازیافت پسماند ها به ازای هر واحد پسماند
- هزینههای عملیاتی در مراکز مختلف (شامل هزینه انرژی یا سوخت مصرفی برای بازیافت،تفکیک و سوزاندن یک واحد پسماند)

رویکرد دومین تابع هدف مدل ، کاهش اثرات تخریبی ناشی از دفن و سوزاندن انواع پسماند های شهری در محیط زیست است . این تابع هدف به منظور اجرای مسئولیت اجتماعی شهروندان ، مقادیر محصولات بازیافت شده از انواع پسماندهای شهری را به حداکثر میرساند، تا علاوه بر ایجاد منافع اقتصادی ، از آلودگی زیست محیطی نیز جلوگیری شود.

با توجه به اینکه در شرایط واقعی ، مقادیر تولید پسماند به ازای هر فرد در زمانهای مختلف ، یکسان نیست ، بنابراین برای اینکه مدل نتایج مناسب و مطابق با واقعیت ارائه نماید ، لازم است تا نواسانات مقادیر تولید پسماند به ازای هر فرد در مدل لحاظ گردد. بنابراین با استفاده از "روش برنامهریزی تصادفی دو مرحلهای " که یکی از روشهای مرسوم مدلسازی در شرایط عدمقطعیت است ، موضوع عدم قطعیت میزان پسماند تولیدی هر شهروند را در مدل لحاظ می کنیم .

در روش برنامهریزی تصادفی برای مدل کردن پارامتر دارای عدم قطعیت ، رخدادهای گوناگون را که ممکن است در شرایط واقعی بوقوع بپیوندد را به صورت " سناریوهای گسسته " در نظر میگیرند. در این روش فرض بر این است که اطلاعات تاریخی کافی برای محاسبه احتمالات وقوع هر یک از سناریوها وجود دارد.

منظور از دو مرحلهای بودن روش برنامهریزی تصادفی این است که در مرحله اول تصمیمگیری ، متغیرهای راهبردی مسئله (تعداد مراکز هاب برای تاسیس ، تعدادکامیون های متوسط و بزرگ مورد نیاز، تعداد مراکز بازیافت و تعداد مرکز پسماندسوزی مورد نیاز) مستقل از پارامتر عدمقطعیت تعیین میشوند و در مرحله دوم ، باقیمانده متغیرهای مسئله (متغیر های تصمیم عملیاتی) با رویکرد امید ریاضی و با توجه به مقدار پارامتر غیرقطعی محاسبه میشوند. در این مسئله سرانه تولید پسماند هر شهروند ، بعنوان پارامتر غیرقطعی 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 .درادامه علائم، متغیرهای تصمیم و نیز پارامترهای مسئله معرفی میشوند و سپس مدل مسئله ارائه می گردد.

اندیس

اندیس مربوط به نوع پسماند	i
اندیس مربوط به مناطق جمع آوری پسماند	j
اندیس مربوط به مکان کاندید هاب یا مرکز انتقال	k
اندیس مربوط به دوره های زمانی	t
اندیس مربوط به نوع کامیون حمل پسماند	m
اندیس مربوط به سناریو	s

پارامترها

میزان پسماند نوع i تولید شده در ناحیه j در دوره زمانی t در سناریو s	w_{ijts}
ظرفیت هاب‌های تفکیکی نوع i	CH_i
ظرفیت مخازن پسماند تفکیکی نوع i	CW_i
ظرفیت کامیون حمل پسماند	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 هرتن ظرفیت	VCH_{ik}
هزینه ثابت خرید مخازن پسماند تفکیکی به ازای هر تن ظرفیت	FCW
هزینه متغیر سرمایه‌گذاری ایجاد مرکز بازیافت به ازای هر تن ظرفیت	VCR
هزینه متغیر سرمایه‌گذاری تاسیس مرکز پسماندسوزی به ازای هر تن ظرفیت	VCL
هزینه ثابت خرید کامیون حمل پسماند نوع m	FCV_m
هزینه عملیاتی در هاب‌ها	OCH
هزینه عملیاتی در مراکز بازیافت	OCR
هزینه عملیاتی در مراکز پسماندسوزی	OCL
هزینه حمل و نقل (به ازای هر کیلومتر)	TC
هزینه کارگری برای جمع‌آوری، تفکیک و بازیافت پسماند نوع i	EC_i
جمعیت ناحیه j	Pop_j
فاصله ناحیه j تا هاب تفکیکی k	d_{jk}
ضریب تبدیل برای بازیافت	γ_i
ضریب تفکیک پسماند بیمارستانی	λ_i
	δ_i

پارامتر نشانگر : در صورتی یک می‌شود که بتوان پسماند i را به هاب k ارسال کرد	$a^{۱}_{ik}$
پارامتر نشانگر: درصورتی یک می‌شود که بتوان پسماند ناحیه j را به هاب k ارسال کرد	$a^{۲}_{jk}$
عدد بزرگ	M

متغیرهای تصمیم

میزان پسماند نوع i ارسال شده از ناحیه j به هاب k در دوره t در سناریو s	x_{ijkts}
مقدار پسماند i ارسال شده ازهاب تفکیکی k به مراکزبازیافت (برای پسماند بیمارستانی: مقدار پسماند ارسال شده از هاب تفکیکی به مرکز پسماندسوزی) در سناریو s	y_{ikts}
مقدار پسماند نوع i که از هاب بیمارستانی k (بعد از تفکیک اولیه) به هاب تخصصی k’ مربوط به پسماند i در سناریو s ارسال می‌شود.	$g_{ikk'ts}$
مقدار کالا بازیافتی تولید شده از پسماند نوع i در زمان t در سناریو s	y'_{ikts}
مقدارپسماند نوع i که ازهاب k مستقیما به مراکز پسماندسوزی درسناریو s ارسال می‌شود.	L_{ikts}
میزان پسماند نوع i که از هاب k به مرکز بازیافت در سناریو s ارسال شده ولی قابل بازیافت نبوده‌است.	g'_{ikts}
تعداد مخزن پسماند نوع i	NW_i
تعداد کامیون حمل پسماند نوع m	NV_i^m
ظرفیت هاب مخصوص پسماند نوعi در منطقه کاندید k	$CapH_i^k$
ظرفیت مرکز بازیافت پسماند نوع i	CR_i
ظرفیت مرکز پسماندسوزی	CL
متغیر صفر و یک ، اگر هاب تخصصی پسماند i در ناحیه k تاسیس شود یک است در غیراینصورت صفر می‌شود.	Z_{ik}

پس از بیان علائم ریاضی ، در این قسمت مدل ریاضی شرح داده‌خواهدشد. عبارت شماره یک تابع هدف اول را بیان می‌کند که شامل هزینه ساخت تاسیسات، و امیدریاضی هزینه‌های مرحله دوم به ازای سناریوهای پارمتر غیرقطعی یعنی هزینه عملیاتی و هزینه حمل و نقل می‌باشد. هر کدام از این قسمت‌ها به ترتیب در عبارت ۲ تا ٤ بیان شده‌اند.

$$Min\ F۱ = FC + \mathbb{E}_s[OC_s + TrC_s] \qquad (۱)$$

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

قسمت اول عبارت ۲ هزینه‌های ساخت مراکز هاب یا انتقال تخصصی برای پسماندهای تفکیک شده را محاسبه می‌کند. قسمت دوم و سوم این عبارت به ترتیب هزینه ساخت مراکز بازیافت و پسماندسوزی را بر حسب تعداد هر یک از مراکز محاسبه می‌کند.

دو عبارت پایانی نیز هزینه خرید مخازن پسماند تفکیکی و کامیونهای حمل بار را مشخص می‌کند. هزینه‌های عملیاتی شامل هزینه نیروی انسانی، هزینه تفکیک، بازیافت یا امحاء پسماند در مراکز مختلف می‌باشد که در عبارت ۲ بیان شده‌اند.

عبارت ۲ در قسمت اول هزینه‌های نیروی انسانی در مرحله جمع‌آوری و تفکیک در مراکز هاب یا انتقال را محاسبه می‌کند. قسمت دوم این عبارت هزینه عملیاتی مربوط به مراکز بازیافت را محاسبه می‌کند و دو عبارت پایانی مربوط به هزینه عملیاتی در مراکز پسماندسوزی است.

$$OC_s = \sum_i \sum_j \sum_k \sum_t OCH * X_{ijkts} + \sum_{i \neq ۱} \sum_k \sum_t OCR * y'_{ikts} + \sum_k \sum_t OCL * y_{۱kts} + \sum_i \sum_k \sum_t (L_{ikts} + g'_{ikts}) * OCL \quad (۳)$$

عبارت ۳ در قسمت هزینه، هزینه حمل و نقل و کارگری در مرحله جمع‌آوری پسماندها، انتقال از مراکز بیمارستانی به هاب‌های دیگر، انتقال از مراکز هاب به مراکز بازیافت و امحاء و همچنین شامل هزینه انتقال از مراکز بازیافت به مراکز امحاء می‌باشد.

$$
\begin{aligned}
TrC_s = & \sum_i \sum_j \sum_k \sum_t (TC * d_{jk} + EC_i) X_{ijkts} \\
& + \sum_i \sum_k \sum_{k'} \sum_t (TC * d_{kk'} + EC_i) g_{ikk'ts} \\
& + \sum_i \sum_k \sum_t (TC * d_{kl} + EC_i) L_{ikts} \\
& + \sum_i \sum_k \sum_t (TC * d_{il} + EC_i)\, g'_{ikts} \\
& + \sum_i \sum_k \sum_t (TC * d_k + EC_i) y_{ikts}
\end{aligned}
\qquad (۴)
$$

$$
Max\ F۲ = \mathbb{E}_s \left[\sum_i \sum_k \sum_t y'_{ikts} \right] \qquad (۵)
$$

در تابع هدف دوم به دنبال حداکثرسازی امیدریاضی کالا بازیافتی به ازای تمام سناریوها هستیم که برای مدل‌سازی این هدف از عبارت شماره ۵ استفاده می‌کنیم. در مورد محدودیت‌های مسئله در روش بهینه‌سازی تصادفی دومرحله‌ای باید به این نکته اشاره‌کرد، که به ازای هر سناریو ، دسته محدودیت مختص همان سناریو وجود دارد.

$s.t$:

$$\sum_j x_{ijkts} \le CapH_i^k \qquad \forall\, i,k,t,s \qquad (۶)$$

$$CapH_i^k \le CH_i Z_{ik} \qquad \forall\, i,k,t \qquad (۷)$$

عبارات ٦ و ۷ تضمین می‌کند که در صورتی می‌توان پسماندهای نوع i را به یک مرکز هاب یا انتقال ارسال کرد که مرکز هاب تخصصی پسماند نوع i در محل کاندید k تاسیس شده‌باشد و همچنین مجموع ورودی هر هاب کاندید نباید حداکثر ظرفیت هاب کاندید را نقض کند. این نکته قابل توجه است که در هر نقطه کاندید k نمی‌توان هاب تخصصی مربوط به پسماند i را تاسیس کرد. بعبارت دیگر هر نقطه کاندید هاب تخصصی ، ویژه پسماند نوع i مشخصی است. به منظور بیان این موضوع از پارامتر باینری کمک گرفته‌ایم. اگر مقدار این پارامتر یک باشد به این معنی است که در نقطه k می‌توان هاب تخصصی پسماند i را ایجاد کرد و اگر صفر باشد، اجازه تاسیس ندارد.

$$Z_{ik} \le a۱_{ik} \qquad \forall i,k \qquad (۸)$$

$$x_{ijkts} \le w_{ijts} a۲_{jk} \qquad \forall i,j,k,t,s \qquad (۹)$$

با استفاده از عبارت ۸ این موضوع را بشکل ریاضی مدل کرده‌ایم. همچنین این نکته قابل توجه است که نمی‌توان پسماندهای هر ناحیه شهری را به هر نقطه کاندید مرکز هاب یا انتقال ارسال کرد. به این منظور عبارت ۹ را به مدل اضافه نمودیم تا تخصیص هر ناحیه شهری به هاب تخصصی مجاز آن ناحیه را مدل‌سازی کنیم.

در هر مرکز هاب یا انتقال پس از تفکیک نهایی ، پسماند ها یا به مراکز بازیافت ارسال می‌شوند یا اینکه به مراکز امحاء فرستاده می‌شوند.

$$y_{ikts} + L_{ikts} = \sum_j x_{ijkts} + \sum_{k'} g_{ik'kts} \qquad \forall i,k,t, i \ne ۱, s \qquad (۱۰)$$

عبارت ۱۰ تعادل بین ورودی و خروجی در یک مرکز هاب یا انتقال تخصصی را مشخص می‌کند. ورودی‌های هر هاب شامل پسماند نوع i هستند که از ناحیه‌های شهری یا مراکز بیمارستانی جمع‌آوری شده‌اند. این عبارت برای پسماندهای بیمارستانی که با اندیس ۱ $i = ۱$ مشخص نموده‌ایم، متفاوت می‌باشد که در ادامه راجع به آن بحث می‌شود.

در مراکز هاب بیمارستانی پسماندهای شیشه،پلاستیک،کاغذ و... پس از تفکیک به مراکز هاب تخصصی مربوط به هر پسماند ارسال می‌شوند و مابقی پسماند غیرقابل تفکیک به مرکز پسماندسوزی ارسال می‌شوند.
λ_i درصد پسماندها نوع i موجود در پسماندهای بیمارستانی را مشخص می‌کند که $\sum_i \lambda_i = ۱$ می‌باشد. همچنین $\lambda_۱$ درصد پسماندهای غیرقابل تفکیک را بیان می‌کند.

$$y_{۱kts} = \lambda_۱ \sum_j x_{۱jkts} \qquad \forall k,t,s \qquad (۱۱)$$

$$\sum_{k'} g_{ikk'ts} = \lambda_i \sum_j x_{۱jkts} \qquad \forall i,k,t,s,i \neq ۱ \qquad (۱۲)$$

$$g_{ikk'ts} \leq M * Z_{ik'} \qquad \forall i,k,k',s,t, \neq ۱ \qquad (۱۳)$$

عبارت ۱۱ میزان پسماندهایی که به مرکز امحاء ارسال می‌شوند را مشخص می‌کند و عبارت ۱۲ میزان پسماند نوع i که به هاب تخصصی آن پسماند ارسال می‌شود را تعیین می‌کند که این ارسال به شرطی انجام می‌شود که هاب تخصصی مربوط به پسماند i تاسیس شده باشد . این نکته در عبارت ۱۳ مشخص شده‌است.

$$\sum_k y'_{ikts} \leq CR_i \qquad \forall i,t,s \qquad (۱۴)$$

$$y'_{ikts} = \gamma_i y_{ikts} \qquad \forall i,k,t,s,i \neq ۱ \qquad (۱۵)$$

حداکثر میزان پسماند تفکیک شده باید کمتر از ظرفیت مرکز بازیافت باشد. این موضوع با استفاده از رابطه ۱٤ تضمین می‌شود. به بیان دیگر این محدودیت تعیین کننده ظرفیت بازیافت هر مرکز بازیافت می‌باشد. همچنین میزان بازیافت هر پسماند توسط رابطه ۱۵ به دست می‌آید، که در آن γ_i ضریب بازیافت مربوط به هر پسماند می‌باشد. همانطور که بیان شد، پسماندهای بیمارستانی مستقیم به مراکز بازیافت ارسال نمی‌شوند، بلکه پس از تفکیک به مراکز هاب تخصصی پسماند یا مراکز زباله سوزی ارسال می‌شوند. بنابراین رابطه ۱۵ برای این نوع پسماند برقرار نمی‌باشد. با توجه به این نکته در این محدودیت اندیس مربوط به نوع پسماند نباید برابر با ۱

باشد($i \neq ۱$)، که نشانگر پسماند بیمارستانی است.

$$y_{ikts} - y'_{ikts} = g'_{ikts} \qquad \forall i,k,t,s,i \neq ۱ \qquad (۱۶)$$

$$\sum_{k} x_{ijkts} = w_{ijts} \qquad \forall i,j,t,s \qquad (۱۷)$$

پس از اجرای عملیات بازیافت ، پسماندهای غیرقابل بازیافت از مراکز بازیافت جمع‌آوری می‌شوند و به مراکز امحاء ارسال می‌شوند، این میزان در محدودیت ۱٦ محاسبه شده‌است. با توجه به زنجیره تامین مسئله که مربوط به پسماندهای شهری و بیمارستانی است، این نکته بدیهی است که تمام پسماند تولیدی باید جمع‌آوری شود که در عبارت ۱۷ تضمین می‌شود.

$$\sum_{k} z_{ik} \leq ۱ \qquad \forall\, i \leq ۴ \qquad (۱۸)$$

با توجه به حجم تولید پسماندهای بیمارستانی و نیز حجم تولید پسماندهای شیشه، فلز و چوب که اندیس آنها به ترتیب یک ۳،۲،۱ و٤ می‌باشد، حداکثر تعداد هاب تخصصی مورد نیاز برای آنها برابر یک است که در محدودیت ۱۸ این موضوع در نظر گرفته شده‌است، لذا این محدودیت تنها برای اندیس‌های i از ۱ تا ٤ برقرار می‌باشد.

$$\sum_{j}\sum_{k} x_{ijkts} \leq CW_i NW_i \qquad \forall\, i,t,s \qquad (۱۹)$$

$$\sum_{j}\sum_{k} x_{ijkts} + \sum_{k} g'_{ikts} \leq CV_۱ * NV_i^{۱} \qquad \forall\, t,i,s \qquad (۲۰)$$

$$\sum_{k} (y_{ikts} + L_{ikts}) + \sum_{k}\sum_{k'} g_{ikk'ts} \leq CV_۲ * NV_i^{۲} \qquad \forall\, t,i,s \qquad (۲۱)$$

$$\sum_{k} y_{۱kts} + \sum_{i}\sum_{k} g'_{ikts} + \sum_{i}\sum_{k} L_{ikts} \leq CL \qquad \forall\, t,s \qquad (۲۲)$$

عبارت‌های ۱۹ تا ۲۲ برای محاسبه تعداد مخازن پسماند تفکیکی، کامیون حمل پسماند و ظرفیت مراکز پسماند سوزی استفاده شده‌اند. عبارت ۱۹

برای محاسبه تعداد مخزن پسماند تفکیکی استفاده‌شده است. در عبارت ۲۰ برای محاسبه تعداد کامیون های جمع‌آوری و حمل پسماند به هاب‌ها استفاده‌می‌شود و عبارت ۲۱ برای حمل پسماند بین هاب تا مراکز بازیافت و امحاء استفاده می‌شود. این عبارات تضمین می‌کند که کامیون کافی و لازم برای حمل تمام پسماندها تامین شود. عبارت ۲۲ تضمین می کندکه ظرفیت مراکز امحاء پسماند ها ، پاسخ‌گوی تمام حجم پسماندهای تولیدی غیرقابل تفکیک می‌باشد.

یکی از روش‌های دقیق برای مقابله کردن با مسائل دارای چند تابع هدف و به دست آوردن جواب‌های پارتوی بهینه استفاده از روش محدودیت اپسیلون است. در این روش به این صورت عمل می‌کنیم که یک تابع هدف را بعنوان تابع هدف اصلی انتخاب می‌کنیم و مابقی توابع هدف را به محدودیت‌ها انتقال می‌دهیم. به این منظور باید برای توابع هدفی که به محدودیت‌ها منتقل شوند حدود قابل قبولی را انتخاب کرد. نمایش کلی مدل‌سازی به روش اپسیلون محدودیت برای یک مسئله چندهدفه با توابع هدف کمینه‌سازی به صورت رابطه ۲۳ می‌باشد.(ماوروتاس،۲۰۰۹)

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

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 مقدار محصولات بازیافتی را به محدودیت‌ها انتقال می‌دهیم. این محدودیت به صورت رابطه ٢٤ بیان شده است . با این توضیحات تابع هدف اول مسئله که مربوط به کمینه‌سازی هزینه‌ها می‌باشد بعنوان تابع هدف اصلی انتخاب می‌شود.

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

یکی از مشکلات عمده روش اپسیلون محدودیت درحجم بالای محاسبات است، چرا که برای هرکدام از توابع هدف تبدیل‌شده به محدودیت ، باید چندین مقدار مختلف از مقادیر ε امتحان شود. در روش اپسیلون ، در صورتیکه تابع هدف منتقل شده به محدودیت دارای بازه‌ای پیوسته باشد، حجم محاسبات بسیار افزایش خواهد یافت. یکی از مرسوم‌ترین رویکردهای اجرای روش اپسیلون محدودیت این است که ابتدا بیشنه و کمینه تمامی توابع هدف را بدون در نظر گرفتن سایر توابع هدف و در فضای‌شدنی مسئله به دست می‌آورند. سپس 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:

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

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 $q_p + ۱$ مقدار مختلف که از فرمول ۲٦ محاسبه می‌شوند، به دست آورد.

(۲۶)

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

در رابطه فوق F شماره نقطه جدید مربوط به ε_p را نشان می‌دهد. به کمک روش اپسیلون محدودیت مسئله بهینه‌سازی چندهدفه فوق را می‌توان به $\prod_{p=۲}^{n} q_p + ۱$ 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 $f_۲, \dots, f_p$ 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. (ماوروتاس،۲۰۰۹). نهایتاً پس از به دست آمدن جبهه پارتوی بهینه ، تصمیم‌گیرنده می‌تواند با نظر خود مناسب‌ترین جواب را انتخاب کند.

روش حل مدل

آزادسازی لاگرانژ یک روش شناخته‌شده برای حل مسائل بهینه سازی ترکیبی در مقیاس بزرگ است. در این روش از ساختار اصلی مسائل ، برای به دست‌آوردن حد پایین مقدار بهینه تابع هدف استفاده می شود. در روش آزاد سازی لاگرانژ ، یک یا چند محدودیت سخت به تابع هدف منتقل می شود (این کار در اصطلاح ، آزاد کردن محدودیت ها نامیده می شود) . سپس مسئله آزاد شده ، با استفاده از الگوریتم ساب‌گرادیانت حل می شود تا حد پایین مناسبی برای جواب بهینه مسئله بدست آید. (ال مارشال،۲۰۰۱). . منظور از محدودیت های سخت ، محدودیتی است که حل مسئله را دشوار می‌کند . محدودیت های سخت ، معمولا دارای متغیرهای باینری یا عددصحیح هستند.

در این پژوهش ، محدودیت شماره ۱۳ با توجه به وجود متغیرهای عددصحیح در آن ، به تابع هدف انتقال یافته- است و مطابق مراحل روش آزادسازی لاگرانژ ، درضریب لاگرانژ نیز ضرب شده است. بنابراین تابع هدف مسئله که در عبارت ٤۹ بیان شده‌است به صورت ذیل درمی‌آید:

$$Min\ F۱ = FC + \mathbb{E}_s[OC_s + TrC_s] + \mathbb{E}_s[u_{ikk'ts}(g_{ikk'ts} - M * Z_{ik'})] \quad (۲۷)$$

در عبارت شماره ۲۷ $u_{ikk'ts}$ ضریب لاگرانژ نام دارد که در صورت نقض شدن محدودیت منتقل شده به تابع هدف ، این ضریب عدد خواهد گرفت . ذکر این نکته مهم است که محدودیت منتقل شده به تابع هدف دیگر نباید جزء محدودیت‌های مسئله قرار گیرد. حل این مدل با استفاده از الگوریتم ساب‌گرادیانت انجام می شود.

مطالعه موردی ، تحلیل یافته ها و نتایج

در این قسمت یک مطالعه موردی در شهر کرج برای پیاده‌سازی مدل توسعه داده‌شده است. با توجه به وضعیت فعلی شهر کرج در زمینه تولید پسماند و با هدف برنامه‌ریزی برای جمع‌آوری و بازیافت آن‌ها، میزان پسماند تولیدی این شهر ، بعنوان پارامتر " میزان پسماند تولیدی " انتخاب گردید . گستردگی مناطق شهری باعث شده است تا شهر کرج به۱۰ منطقه شهرداری تقسیم گردد. جمع آوری پسماند های تفکیک شده از این مناطق صورت می گیرد . در نهایت در این مطالعه موردی ، یک طراحی بهینه برای سیستم جمع‌آوری و بازیافت پسماند شهر کرج ارائه گردیده است.

شکل ٤ : مناطق شهرداری در شهر کرج

Figure ۲: Municipal areas in Karaj city

روزانه به طور متوسط ۱۰۰۰ تن پسماند در شهر کرج تولید می‌شود. با توجه به جمعیت حدود ۱ میلیون و ٦۰۰ هزار نفری این شهر بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵ ، می‌توان گفت که سرانه تولید پسماند برای هر شخص ۷۰۰ گرم پسماند در روز است. چون در این پژوهش ، پارامتر " تولید سرانه " پسماند دارای عدم‌قطعیت است ، بنابراین از روش بهینه‌سازی تصادفی دومرحله‌ای برای مدل‌سازی استفاده گردیده است و لذا لازم است مقدار این پارامتر در هر یک ازسناریوهای در نظر گرفته شده مشخص باشد. در این مقاله ۳ سناریو برای " سرانه تولید پسماند " در نظر گرفته شده است که شامل " مقدارکم " ، " مقدار متوسط " و " مقدار زیاد " می باشد. مقدار تولید پسماند

جدول ۲ - درصد تولید اجزای پسماندهای خانگی

Table ۱ - The percentage of production of household waste components

ترکیب فیزیکی پسماند **Type of waste**	میانگین درصد وزنی درکشور **Average weight percentage in the country**	درصد وزنی در پسماند تهران **Weight percentage in Tehran waste**
پسماند تر (آلی) **wet waste**	۷۲.۰٤٪	۷٤.٥٦
پلاستیک **Plastic**	۷.۷۷٪	٦.۲٥٪
کاغذ مقوا **Paper**	٦.٤۳٪	٥.۰٤٪
منسوجات Textiles	۲.۸٦٪	۳.۲۹٪
فلزات Metal	۲.٥۲٪	۲.٤۸٪
شیشه **Glass**	۲.۰۳٪	۲.۰۳٪
لاستیک rubber	۱.۱٤٪	۱.۱۱٪
چوب Wood	۱.۱٪	۱.۸۲٪
دیگر مواد Other materials	٤.۱۱٪	۳.٤۲٪

سرانه در هر یک از سناریوها به ترتیب معادل ٦۰۰ ، ۷٥۰ و ۹٥۰ گرم در روز لحاظ شده است . احتمال وقوع تمامی سناریوها یکسان در نظرگرفته شده است. در مدل با هدف حداقل سازی هزینه‌های سرمایه‌گذاری و حمل و

نقل ، تعداد مخازن پسماند تفکیکی، تعدادکامیون های جمع‌آوری و حمل پسماند، تعداد و مکان هاب‌های تفکیکی پسماند یا مراکز انتقال پسماند و نیز ظرفیت مراکز بازیافت تعیین می‌شوند همچنین در این مدل هفت نوع پسماند تفکیک شده در نظر گرفته‌شده‌است که با توجه به شماره اندیس نوع پسماند یا i شامل ۱) پسماند بیمارستانی، ۲) پسماند شیشه‌ای، ۳) پسماند فلزی، ٤) پسماند چوبی، ٥) پسماند تر، ٦) پسماند پلاستیکی و ۷) پسماند کاغذی و مقوا می‌باشد. مقادیر وزنی هر یک از اجزای تشکیل دهنده پسماندهای جامد شهری در ایران در جدول ۲ درج شده است.(حسنوند و همکاران ۲۰۰۸)[۱]

جدول ۲ نشان می‌دهد که درصد تولید پسماندهای مختلف با هم برابر نیست و مقدارتولید برخی از پسماندها بیشتر از دیگر پسماندها است. بعنوان مثال پسماند تر با بیش از ۷۲ درصد سرانه تولید ، بیشترین سهم را در تولید پسماند ایران به خود اختصاص داده است . به منظور محاسبه سرانه تولید هر نوع پسماند (تولید پسماند به ازای هر نفر در هر روز) می‌توان از مقادیر درصد تولید هر نوع از پسماندها در جدول ذیل بهره برد . برای این منظور ، سرانه تولید پسماند به ازای هر نفر در روز ، در میزان درصد تولید هر نوع از پسماند ها در روز ضرب می‌شود و به این ترتیب مقدار تولید هر نوع پسماند در روز محاسبه می شود .

با توجه به داده‌ها و اطلاعات موجود ، میزان تولید پسماندهای بیمارستانی در۱۲ بیمارستان شهر کرج برابر با ٦ تن در روز است . پسماند های بیمارستانی ترکیبی از هفت نوع پسماند دیگر و پسماندهای خاص بیمارستانی مانند پسماندهای عفونی است . شش تن پسماند بیمارستانی تولیدی روزانه شهر کرج ، بطور میانگین شامل ۲۰ درصد پسماندهای خاص بیمارستانی است و باقی مانده پسماند بیمارستانی ، ترکیبی از هفت نوع پسماند دیگر می-باشد.فرآیند تفکیک برای پسماندهای بیمارستانی متفاوت است. در هاب‌های بیمارستانی ، پسماندها شامل ۲۰ درصد پسماندهای بیمارستانی و عفونی است که قابلیت بازیافت ندارند و بعلت عفونی بودن ، بایستی بلافاصله پس از تفکیک ، مستقیما به مراکز امحاء ارسال شوند و به روش‌های استاندارد سوزانده یا دفن شوند. در مراکز هاب بیمارستانی ، بطور میانگین ۸۰ درصد از پسماندها شامل پسماندهای نوع ۲ تا ۷ هستند. این پسماندها پس از تفکیک در هاب‌های بیمارستانی ، به هاب تخصصی مربوط به هر پسماند ارسال می‌شوند.پسماندهایی که به مرکز بازیافت ارسال می‌شوند ، با توجه به نوع پسماند و همچنین تکنولوژی بازیافت، به طور صد در صد قابل بازیافت نیستند . بنابراین پس از اجرای فرآیند بازیافت هر نوع پسماند ، با توجه به درصد بازیافت پذیری هرنوع پسماند ، مقداری پسماند غیرقابل بازیافت باقی می ماند که به منظور سوزاندن یا دفن به مراکز امحاء ارسال می‌گردند.

تعداد کاندید هاب‌های تفکیکی ، بر اساس جمعیت هر منطقه شهرداری و همچنین مقدارتولید هر نوع پسماند تعیین می‌شود. با توجه به این نکته ، 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 ۵ نوع پسماند فقط پنج نقطه بعنوان هاب تفکیکی در جواب

[۱] -Hasanvand

نهایی مشخص خواهدشد. همچنین با توجه به اینکه حجم پسماندهای تولیدی برای پسماندهای تر (پسماند نوع ٥) ، پسماند کاغذی (پسماند نوع ٦) 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 با توجه به همسایگی مناطق شهرداری در شهر کرج و نیز جمعیت هر منطقه شهرداری ، از طریق ادغام فرضی مناطق شهرداری همجوار ، شهر کرج به ٤ بخش تقسیم گردید . در هر بخش ۳ نقطه کاندید برای هر یک از هاب‌های تخصصی پسماندهای نوع ٥ ، ٦ و ۷ مشخص گردید . به عبارت دیگر در هر بخش ۹ نقطه کاندید برای تاسیس ۳ نوع هاب تفکیکی وجود خواهد داشت . نکته مهم این است که 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. ترکیب حضور مناطق شهرداری در هر یک از ٤ بخش فرضی ایجاد شده در شهر کرج به شرح ذیل است :

- بخش ۱ شامل مناطق شهرداری ۱ و ۳ و ۱۰
- بخش ۲ شامل مناطق شهرداری ۸ و ۹
- بخش ۳ شامل مناطق شهرداری ٦ و ۷
- بخش ٤ شامل مناطق شهرداری ۳ و ٤ و ٥

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 خواهد کرد . برای هر نوع از مراکز بازیافت و امحا تنها یک مکان کاندید لحاظ شده است . مکان تاسیس این مراکز در منطقه حلقه دره واقع در جنوب غربی کرج در نظر گرفته‌شده‌است. با توجه به این که برای هر مرکز بازیافت و امحاء تنها یک نقطه کاندید معین شده است ، بنابراین مدل تنها ظرفیت هر مرکز را با توجه به میزان تولید هر پسماند تعیین می‌کند. همچنین با عنایت به اینکه ، تعداد تاسیس مراکز بازیافت و امحاء محدود به یک مرکز تخصصی برای هر نوع پسماند است ، لذا محدودیتی برای ظرفیت مراکز بازیافت و امحاء لحاظ نگردیده است . برای محاسبه میزان تولید روزانه پسماند خانگی شهروندان در کرج ، نیاز به دانستن جمعیت اسکان یافته درهر یک از مناطق شهرداری کرج خواهد بود . اطلاعات مورد نیاز مربوط به جمعیت اسکان یافته در هر یک از مناطق شهرداری کرج که مربوط به سرشماری ملی انجام گرفته کشور در سال ۱۳۹٥ است در اختیار می باشد . با توجه به رشد جمعیت و نیز مهاجر پذیر بودن شهر کرج ، حل مدل در این مطالعه موردی برای جمعیت تخمین زده شده شهر کرج در سال ۱٤۲۰ انجام شد. دوره‌های زمانی بصورت ماهانه در نظرگرفته‌شده اند. برای محاسبه جمعیت کرج در سال ۱٤۲۰ از نرخ رشد جمعیت ٦.٥ درصد درهر سال استفاده گردیده است. برآورد جمعیت هر منطقه شهرداری کرج در سال ۱٤۲۰ در جدول ۳ بیان شده‌است.

بنابر اظهار نظر استانداری استان البرز ، رشد جمعیت سالانه کرج بطور میانگین حدود ٦,٥ درصد است . با استفاده از رابطه ذیل میتوان جمعیت شهر کرج را در سال ١٤٢٠ برآورد کرد. در رابطه ذیل بکار گیری توان ٢٥ به این دلیل بوده است که برای محاسبه جمعیت سال ١٤٢٠ از دادههای ٢٥ سال قبل از آن یعنی ١٣٩٥ استفادهشدهاست .

جمعیت در سال ١٤٢٠ = جمعیت در سال ١٣٩٥ *(١,٠٦٥)^{٢٥} (٢٧)

جدول٣ : جمعیت برآورد شده شهر کرج در سال ١٤٢٠

Table ٢- Estimated population of Karaj city in ٢٠٤٠

منطقه شهرداری Regional Municipality	١	٢	٣	٤	٥
جمعیت در سال ١٣٩٥ Population in ٢٠١٥	١٢٨,٩٤٣	٩٧,٥٠٠	٩٧,٦٨١	٢٠٢,٠٠٠	٢٢٥,٠٠٠
برآورد جمعیت سال ١٤٢٠ Estimated population in ٢٠٤٠	٦٢٢,٤٩٨	٤٧٠,٧٠٠	٤٧١,٥٤٧	٩٧٥,١٩٥	١,٠٨٦,٢٣٢
منطقه شهرداری Regional Municipality	٦	٧	٨	٩	١٠
جمعیت در سال ١٣٩٥ Population in ٢٠١٥	٢٤٥,٠٠٠	١٩٥,٠٠٠	١٤٠,٤٥٤	١٧٥,٠٠٠٠	٨٧,٠٢٦
برآورد جمعیت سال ١٤٢٠ Estimated population in ٢٠٤٠	١,١٨٢,٧٨٦	٩٤١,٤٠١	٦٧٨,٥٠٩	٨٤٤,٨٤٧	٤٢٠,١٣٥

یکی از هزینههایی که در این مدل لحاظ شده است ، هزینه جمعآوری پسماند است که شامل هزینه حمل و نقل و نیز هزینه کارگری جمعآوری میباشد. بر اساس داده های شهرداری تهران برای سال های١٤٠٠ و ١٤٠١ هزینه کارگری جمعآوری برای پسماندهای غیر بیمارستانی ٥٨٠ هزار تومان به ازای هر تن پسماند و هزینه کارگری جمعآوری پسماندهای بیمارستانی ٢ میلیون و ٨٠٠ هزار تومان به ازای هر تن در نظر گرفتهشدهاست.

برای محاسبه هزینه سوخت در حمل و نقل ، به ازای هر کیلومتر طی مسافت تاسیسات حمل، میزان سوخت مصرفی ۲.۸۵ لیتر گازوئیل با قیمت خرید هر لیتر برابر با ۲۵۰۰ تومان در نظر گرفته شده‌است. در مدل ، هزینه سوخت مصرفی کامیون ها با توجه به میزان طی مسیر آنها محاسبه می‌شود. نکته قابل توجه این است که هر کامیون جمع‌آوری پسماند از مخازن مناطق مسکونی ، روزانه دو سرویس ۳ تنی پسماند به مراکز هاب حمل می کند و هرکامیون حمل پسماند از مراکز هاب به مراکز بازیافت یا امحاء نیز روزانه یک سرویس۲۰ تنی ارائه می نماید . هزینه ثابت ایجاد هر یک از هاب‌های تخصصی بسته به ارزش زمین در مناطق مختلف شهرداری شهر کرج یکی از ارقام ۱۰، ۸ و یا ۷ میلیارد تومان خواهد بود که شامل هزینه‌های مربوط به خرید زمین برای تاسیس هاب در مناطق مختلف شهرداری درشهر کرج می‌باشد. همچنین در مدل ، هزینه خرید کامیون یا کامیونت سبک با ظرفیت بار ۳ تن برای جمع‌آوری پسماند ها ، ۱ میلیارد و ۲۰۰ میلیون تومان و هزینه کامیون کشنده ارسال پسماند به مراکز بازیافت با ظرفیت بار ۲۰ تن ، ۳میلیارد تومان لحاظ شده است . برای حل مدل با در نظر گرفتن داده‌های شهر کرج از حل کننده CPLEX و نرم‌افزار GAMS استفاده‌شده‌است.

این مدل برای ۱۰ منطقه شهرداری کرج بعنوان مراکز تولید پسماند و ۵۱ نقطه کاندید برای تاسیس هاب در درون این مناطق شهری حل شده‌است. دوره‌های زمانی برابر با یک هفته در نظر گرفته‌شده است و مدل بر اساس برآورد جمعیت سال ۱٤۲۰ شهر کرج حل شده‌است. به منظور حل مدل ابتدا باید مقادیر محدودیت اپسیلون مربوط به تابع هدف دوم را انجام داد. طبق روش ارائه شده در قسمت قبل ، باید پس از تعیین بیشترین و کمترین مقدار ممکن برای تابع هدف دوم، بازه بین کمترین و بیشترین مقدار را به نقاط گسسته تقسیم کرد تا بتوان اپسیلون‌های مختلف برای این تابع هدف به دست آورد. پس از حل مدل حداقل مقدار تابع هدف دوم برابر با صفر و بیشترین مقدار آن برابر ۱،۹۱۲،۰۱۰ تن محاسبه گردید . برای به دست آوردن نقاط گسسته بین دو مقدار فوق الذکر در تابع هدف دوم ، پارامتر k برابر با ٤ قرار داده شد و مقادیر اپسیلون برای تابع هدف دوم محاسبه گردید . مقادیر مذکور بر اساس رابطه ۲٦ محاسبه و در جدول ٤ آورده شده اند.

جدول ٤- مقادیر اپسیلون تابع هدف دوم

Table ۳- Epsilon values of the second objective function

k	ε_2^k
۱	٤۷۸,۰۰۲
۲	۹٥٦,۰۰٤
۳	۱,٤۳٤,۰۰٦
۴	۱,۹۱۲,۰۱۰

با استفاده از مقادیر جدول ٤ بعنوان محدودیت اپسیلون و حل مدل ، مقادیر پاسخ جبهه پارتو محاسبه گردیده اند . تصمیم‌گیرنده می‌تواند بهترین مقدار مد نظر خود را از بین پاسخ‌های جبهه پارتو انتخاب کند. مقادیر پاسخ جبهه پارتو در جدول ٥ نشان داده شده اند .

جدول ٥- مقادیر توابع هدف به ازای اپسیلون های متفاوت

Table ٤- Values of objective functions for different epsilons

k	مقدار تابع هدف اول(هزار میلیارد تومان) The value of the first objective function (Thousand billion tomans)	مقدار تابع هدف دوم(تن) The value of the second objective function (tons)
١	١٦,٧٤١	١,٨٤٨,٠٧٩
٢	١٦,٧٤١	١,٨٤٨,٠٧٩
٣	١٦,٧٤١	١,٨٤٨,٠٧٩
۴	١٦,٧۴٨	١,٩١٢,٠١٠

همانگونه که در نتایج درج شده در جدول ٥ دیده می شود ، علی رغم اینکه سمت راست محدودیت اپسیلون برای مسائل ١ تا ٣ متفاوت است ، اما مقادیر به‌دست‌آمده برای توابع هدف اول و دوم در هر سه مسئله یکسان است. دلیل این امر آن است که برای مقادیر اپسیلون صفر تا ١،٨٤٨،٠٧٩ همواره جواب‌شدنی که منجر به جواب با "کمترین هزینه " در تابع هدف اول گردد یکسان و برابر است . بعبارت دیگر ، درصورتی میزان تابع هدف اول (یعنی مقدار هزینه) حداقل و بهترین جواب ممکن حاصل می شود که میزان بازیافت ما برابر با ١،٨٤٨،٠٧٩ تن باشد . بنا براین هر مقداری برای اپسیلون بین ٠ تا ١،٨٤٨،٠٧٩ انتخاب شود، تابع هدف هزینه همواره برابر با ١٦،٧٤١ هزار میلیارد تومان خواهد بود . با افزایش مقدار اپسیلون به ١،٩١٢،٠١٠ مشاهده می‌شود که تابع هدف هزینه نیز تغییر می‌کند و به مقدار ١٦،٧٤٨ هزار میلیارد تومان افزایش می‌یابد. در ادامه مطالعه موردی شهر کرج ، برای بررسی بیشتر تاثیر محدودیت اپسیلون ، تحلیل حساسیت مدل انجام شده‌است. در ادامه حل مقدار سمت راست محدودیت اپسیلون را برابر با ١،٩١٢،٠١٠ در نظر می‌گیریم تا برنامه‌ریزی بر اساس حداکثر میزان ظرفیت برای بازیافت انجام شود. ابتدا به مقایسه تابع هدف و زمان حل آن با دو روش آزادسازی لاگرانژ و سیپلکس می‌پردازیم. برای بررسی کاربردی بودن روش آزادسازی لاگرانژ می‌توان دو مقایسه انجام داد. معیار اول محاسبه تفاوت میان مقدار تابع هدف در روش آزادسازی لاگرانژ با روش آزادسازی عددصحیح است. در صورتی که این مقدار مثبت باشد، استفاده از روش آزادسازی لاگرانژ توصیه می‌شود. در

صورتی استفاده از روش لاگرانژ توجیه پذیر است که میزان عبارت فوق بزرگتر از صفر باشد. بعبارت دیگر حد پایین بهتری برای مسئله به دست آید.

$$IG = Z_{LR} - Z_r \quad (۲۸)$$

در عبارت بالا Z_{LR} پاسخ مسئله آزادسازی لاگرانژ است و Z_r نیز مقدار تابع هدف مسئله آزادسازی عددصحیح است.معیار دوم برای توجیه پذیری استفاده از روش آزادسازی لاگرانژ ، زمان مورد نیاز برای حل مسئله است. در صورتی که روش لاگرانژ بتواند مدت زمان مورد نیاز برای حل مسئله را بهبود دهد ، یعنی حل مسئله با روش لاکرانژ در مدت زمان کمتری نسبت به مسئله اصلی انجام شود، آنگاه استفاده از این روش توجیه پذیر و قابل قبول خواهد بود و در غیر اینصورت حل مسئله با استفاده از روش آزادسازی لاگرانژ توصیه نمی‌شود. نتایج سنجش دو معیار فوق الذکر در مورد کارایی روش لاکرانژ در جدول ٦ نشان داده شده است. همانگونه که دیده می شود روش لاگرانژ از نظر معیار اول یعنی " مقدار تابع هدف اول " مناسب می‌باشد و نسبت به روش آزادسازی عددصحیح ، پاسخ مسئله مقدار بیشتری را کسب کرده است و بنابراین روش لاگرانژ نسبت به سایر روش ها حد پایین بهتری را برای مسئله ارائه می‌دهد. در بررسی معیار دوم یعنی " مدت زمان مورد نیاز برای حل مسئله " ، نیز همانگونه که مشاهده می شود ، روش آزادسازی لاگرانژ زمان کمتری را نسبت به روش سیپلکس برای حل مسئله صرف کرده است . پس استفاده از روش لاکرانژ ، باعث کاهش زمان حل مسئله خواهد شد. علاوه بر دو معیار فوق ، معیار" گپ بهینگی " برای حل مسئله با لاگرانژ کوچک و قابل چشم‌پوشی است. بنابراین بر اساس دو معیار "مقدار تابع هدف " و معیار " زمان مورد نیاز برای حل مسئله " و نیزبراساس معیار سوم با عنوان " گپ بهینگی " بکار گیری روش آزاد سازی لاکرانژ برای حل مدل مناسب و توجیه پذیر است . در ادامه مقاله ، برای بررسی نتایج حل مدل ، برخی از خروجی‌های بدست‌آمده مورد بحث قرار می گیرند .

جدول ٦- نتایج حل با روش لاگرانژ

Table ۵- Results of solving by Lagrange method

روش حل solution method	تابع هدف اصلی (تومان) Main objective function(Toman)	گپ بهینگی(درصد) Optimum gap%	زمان حل (ثانیه) Solving time (seconds)
سیپلکس (Cyplex)	۱۶,۷۴۸,۹۶۲,۹۷۷	۰	۱۵۵
آزادسازی لاگرانژ	۱۶,۷۴۸,۸۳۱,۶۶۶	Almost zero	۱۲۰

Lagrange liberation			
آزادسازی عدد صحیح	۱۶,۶۰۴,۸۶۷,۷۶۰	.۸۶	۲۱۰
Integer release			

جدول ۷- تعداد مخازن تفکیکی پسماند و تعداد کامیون مورد نیاز برای جمع آوری پسماند

Table ۸- The number of waste separation container and the number of trucks required for waste collection

نوع پسماند Type of waste	ظرفیت روزانه مرکز بازیافت (تن) Daily capacity of recycling center (tons)	تعداد مخازن پسماند The number of waste container	تعداد کامیون جمع آوری Number of collection trucks	تعداد کامیون کشنده ارسال پسماند The number of trucks hauling waste
پسماند بیمارستانی Hospital waste	-	۷۳	۲	۱
پسماند شیشه‌ای Glass waste	۱۰۴	۱۳۵۲	۳۳	۸
پسماند فلزی Metal waste	۱۷۵	۱۶۷۸	۳۳	۱۰
پسماند چوبی Wood waste	۷۲	۷۳۳	۱۵	۵
پسماند تر wet waste (organic)	۵۲۷۹	۴۷,۹۴۹	۸۸۰	۲۶۵
پسماند پلاستیکی Plastic waste	۴۵۷	۵۹۳۱	۱۴۲	۳۳
پسماند کاغذی و مقوا	۳۷۶	۴۲۸۰	۹۵	۲۴

Paper waste

نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که ظرفیت مراکز بازیافت تخصصی برای پسماندهای تر، پلاستیکی و کاغذی بیشتر از ظرفیت مورد نیاز برای مراکز بازیافت دیگر پسماند هاست . در بین این سه نوع مرکز بازیافت ، ظرفیت مرکز بازیافت (تولید کمپوست) مربوط به پسماندهای‌تر بیشتر از دیگر پسماندها است. این امر به حجم بیشتر تولید پسماند " تر " نسبت به دیگر پسماندها مربوط است زیرا پسماند " تر " ، نزدیک به ۷۲ درصد از سرانه پسماند تولیدی هر فرد را تشکیل می دهد .

در مورد تعداد کامیون ها به این نکته باید توجه شود که کامیون های جمع آوری پسماند ۳ تنی ، روزانه ۲ سرویس ۳ تنی ارائه می دهند (دو شیفت کار می کنند) اما برای کامیون های کشنده ، تنها یک سرویس ۲۰ تنی حمل پسماند تفکیک شده از محل هاب ها به مراکز بازیافت در نظر گرفته شده است. نکته دیگر در مورد تعداد کامیون ها این است ، که مقادیر جدول ۷ حداقل تعداد کامیون های مورد نیاز برای جمع آوری و حمل پسماند تولید شده شهر کرج در سال ۱٤۲۰ است با این توضیح که برای پیش بینی تعداد کامیون مورد نیاز ، تعداد ۲ سرویس روزانه برای کامیون های جمع آوری پسماند و یک سرویس روزانه برای کشنده های حمل پسماند ها از مراکز هاب به مراکز بازیافت در نظر گرفته شده است . در صورت برنامه ریزی برای ارائه سرویس های بیشتر روزانه توسط هر کامیون کشنده (مثلا ٦ سرویس در ۲٤ ساعت کاری) تعداد کشنده ها مورد نیاز برآورد شده در جدول ۷ به یک ششم تقلیل خواهد یافت . با توجه به نکته بالا هرچه مقدار تولید یک نوع پسماند بیشتر باشد ، به تبع آن تعداد کامیون ها و مخازن مخصوص مورد نیاز برای جمع آوری آن پسماند بیشتر خواهد بود . همچنانکه در جدول ۷ مشخص است بیشترین تعداد مخازن تفکیکی و کامیون ها به ترتیب مربوط به پسماندهای تر، پلاستیکی و کاغذی می‌باشند. این سه نوع پسماند بیشترین مقدار تولید پسماند را به خود اختصاص داده‌اند.

با توجه به نتایج مربوط به مکان تاسیس و نیز ظرفیت هاب ها که در جدول ۸ مشاهده می گردد ، مکان بهینه تاسیس هاب‌های پسماندهای بیمارستانی، شیشه‌ای و فلزی در منطقه ٦ شهرداری کرج می‌باشد. همچنین مکان بهینه تاسیس هاب مخصوص پسماندهای چوبی در منطقه هفت شهرداری شهرکرج می‌باشد.

مدل در هر یک از ٤ بخش شهر کرج که حاصل تجمیع مناطق شهرداری همجوار هستند ، برای پسماند تر، پسماند پلاستیک و پسماند مقوا وکاغذ ، تنها یک هاب تخصیص داده است . بعبارت دیگر در هر بخش می بایست ، یک هاب مخصوص پسماندهای تر، یک هاب مخصوص پسماندهای مقوایی-کاغذی و یک هاب مخصوص پسماند-های پلاستیکی تاسیس شود . بنابراین برای هریک از پسماند های فوق الذکر در هر بخش شهر کرج یک هاب ایجاد می شود و لذا در مجموع برای هر یک پسماند های فوق الذکر در چهار بخش شهر کرج ، ٤ هاب تاسیس خواهد شد. . (٤ هاب برای پسماند تر در چهار بخش شهر کرج ، ٤ هاب برای پسماند پلاستیک در چهار بخش

شهر کرج ، ٤ هاب برای پسماند کاغذ و مقوا در چهار بخش شهر کرج) .این امر به دلیل آنست که چون با تاسیس هر هاب می بایست هزینه ثابت تاسیس هاب را پرداخت ، لذا اگر تاسیس هاب برای سه نوع پسماند تر ، پلاستیکی و کاغذی – مقوایی از ۱ هاب در هر بخش شهر کرج بیشتر شود، جواب بهتری را نمی‌توان به دست آورد.

به عبارت دیگر کاهش هزینه‌های حمل و نقل و هزینه‌های عملیاتی که با تاسیس تعداد هاب بیشتر محقق میشود ، نسبت به افزایش هزینه ثابت تاسیس هاب جدید ، کمتر است . بنابراین بصرفه نیست تعداد بیشتری هاب تاسیس شود. با این توضیحات در مجموع برای تفکیک ۷ نوع پسماندهای سطح شهر کرج نیاز به تاسیس ١٦ هاب تفکیکی می‌باشد. (تعداد ۱۲ هاب تفکیکی برای پسماند های تر ، پلاستیکی و کاغذی در ٤ بخش شهری کرج و تعداد ٤ هاب تفکیکی برای پسماند های شیشه ای ، فلزی ، چوبی و بیمارستانی)

جدول ۸- مکان و ظرفیت هاب‌ها

Table ٦- Location and capacity of hubs

نوع هاب Hub type	منطقه شهرداری تاسیس هاب Hub establishment municipal area	ظرفیت روزانه هاب (تن) Daily capacity of the hub (tons)
هاب پسماند بیمارستانی Hospital waste hub	۶	۸
هاب پسماند شیشه‌ای Glass waste hub	۶	۱۴۸
هاب پسماند فلزی Metal waste hub	۶	۱۸۴
هاب پسماند چوبی Wood waste hub	۷	۸۰
هاب پسماند تر بخش ۱ Area ۱ wet waste hub	۱	۱۲۰۰
هاب پسماند پلاستیک بخش۱ Hub of plastic waste area ۱	۱۰	۱۴۸

هاب پسماند کاغذ بخش ۱ Hub paper waste section ۱	۱۰	۱۰۷
هاب پسماند تر بخش ۲ Area ۲ wet waste hub	۸	۱۱۰۸
هاب پسماند پلاستیک بخش۲ Hub of plastic waste area ۲	۸	۱۳۷
هاب پسماند کاغذ بخش ۲ Hub paper waste section ۲	۹	۹۸
هاب پسماند تر بخش ۳ Area ۳ wet waste hub	۶	۱۲۲۱
هاب پسماند پلاستیک بخش۳ Hub of plastic waste area ۳	۶	۱۵۱
هاب پسماند کاغذ بخش ۳ Hub paper waste section ۳	۶	۱۰۹
هاب پسماند تر بخش ٤ Area ٤ wet waste hub	۴	۱۷۴۳
هاب پسماند پلاستیک بخش٤ Hub of plastic waste area ٤	۴	۲۱۵
هاب پسماند کاغذ بخش ٤ Hub paper waste section ٤	۴	۱۵۵

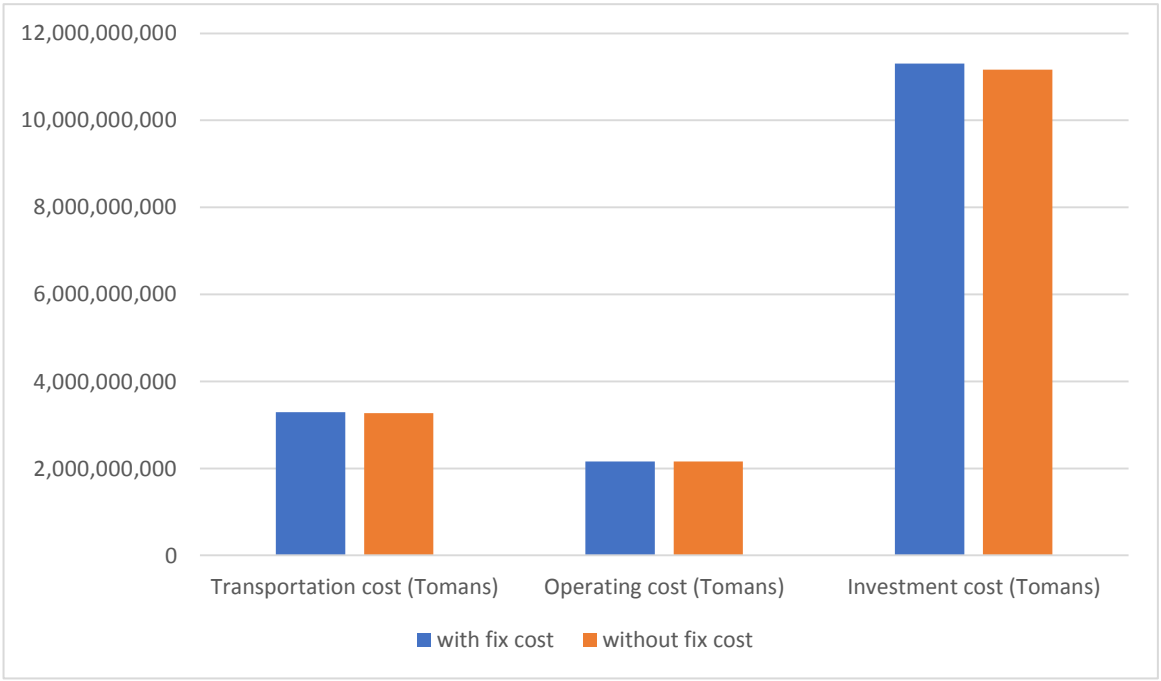
در ادامه ، نتایج مدل را بدون لحاظ هزینه ثابت تاسیس هاب تحلیل می‌کنیم. مدل در این حالت ، هاب‌های مربوط به پسماندهای نوع ۱ تا ۵ را در همان نقاط قبلی تاسیس می کند ولی هاب‌های ۳ نوع پسماند تر، پلاستیکی و کاغذی را در تمام نقاط کاندید ایجاد می نماید . بعبارت دیگر ، اگر در مدل هزینه تاسیس هاب درنظرگرفته نشود ، مدل در هر بخش از بخش های چهار گانه شهر کرج و در تمامی نقاط کاندید ، هاب تاسیس خواهد کرد .

همانگونه که در جدول ۹ مشاهده می شود ، در شرایط عدم لحاظ هزینه تاسیس مراکز هاب ، دلیل تاسیس هاب درتمامی نقاط کاندید توسط مدل این است که هزینه‌های حمل نقل درحالت تاسیس هاب در تمامی نقاط کاندید ، نسبت به هزینه‌های حمل و نقل حالت پیشین کمتر شده‌است.

جدول ۹- تحلیل حساسیت حذف هزینه ثابت تاسیس هاب

Table ۹-Sensitivity analysis of the fixed cost target for the establishment of the hub

هزینه ثابت هاب Hub fixed cost	تعداد هاب Number of hubs	هزینه سرمایه گذاری(تومان) Investment cost (Tomans)	هزینه عملیاتی(تومان) Operating cost] (Tomans)	هزینه حمل‌ونقل(تومان) Transportation cost (Tomans)
دارد Has it	۱۶	۱۱,۳۰۳,۲۰۲,۷۵۲	۲,۱۵۷,۵۰۹,۲۳۲	۳,۲۸۸,۲۵۰,۹۹۳
ندارد Does not have	۴۰	۱۱,۱۶۴,۲۰۲,۷۵۲	۲,۱۵۷,۵۰۹,۲۳۲	۳,۲۶۷,۴۲۳,۶۸۴



شکل ۵- تحلیل حساسیت حذف هزینه ثابت تاسیس هاب

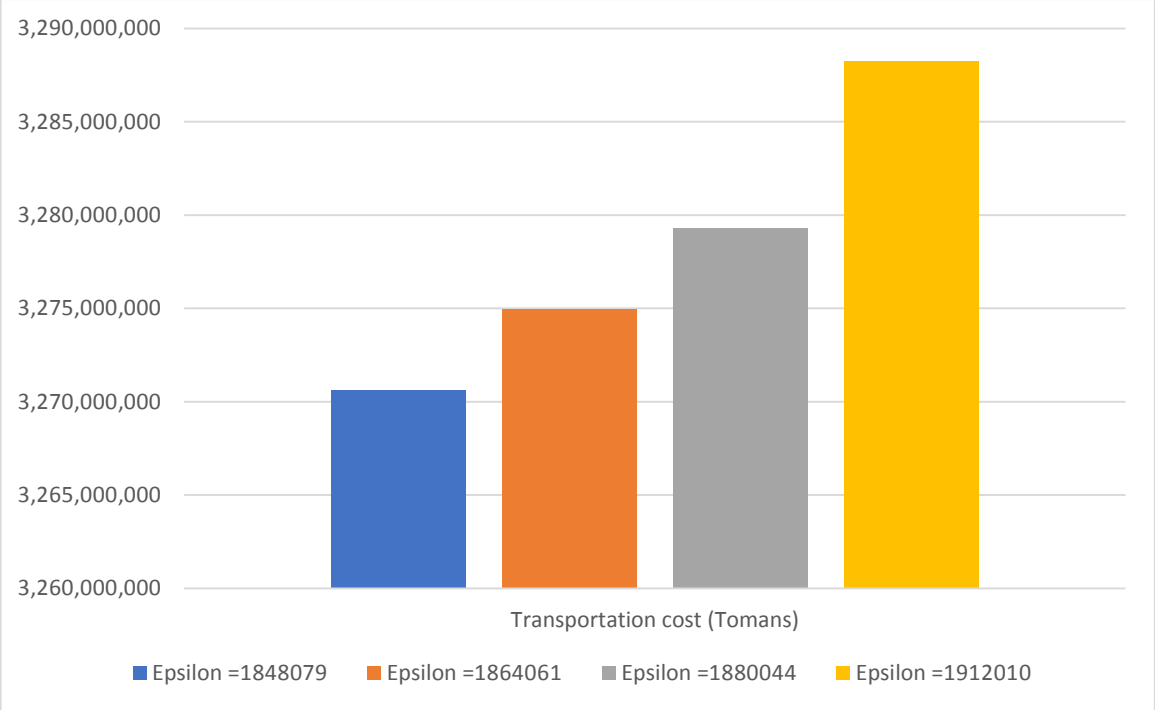
Figure ٤- Sensitivity analysis of removing the fixed cost of establishing the hub

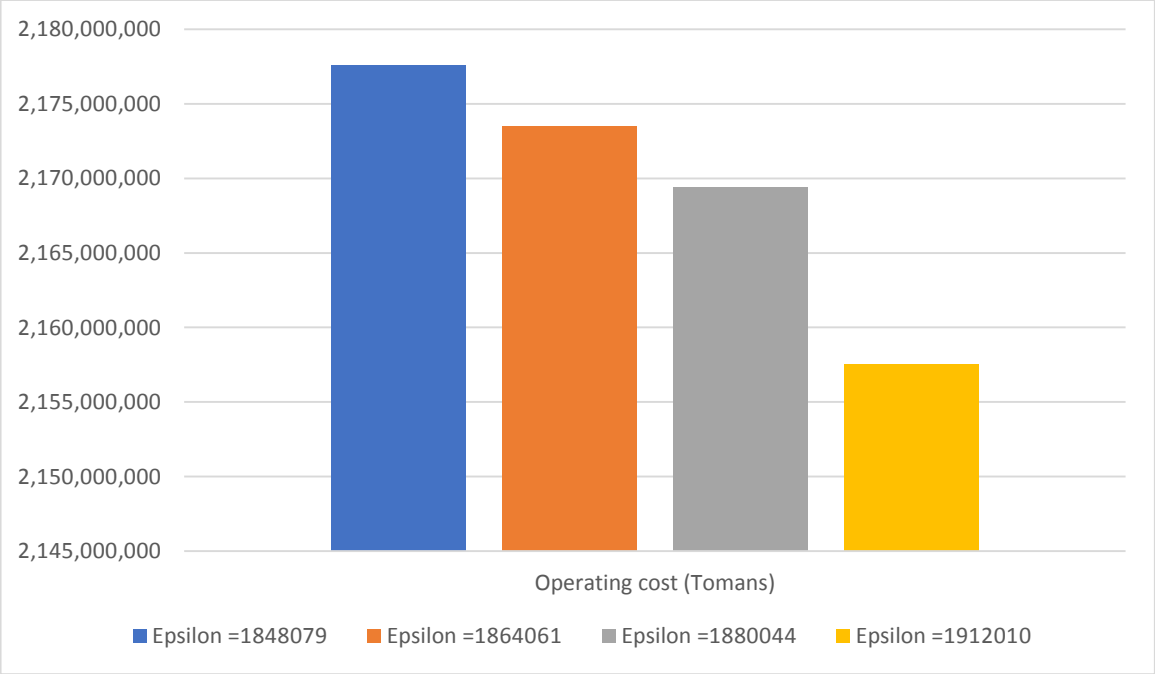
بر اساس نتایج جدول ۱۰ با افزایش مقدار سمت راست محدودیت اپسیلون ، مقادیر تابع هدف اصلی افزایش می-یابد. به عبارت دیگر ، با افزایش مقدار تولید کالای بازیافتی ، هزینه‌های مسئله دچار افزایش می شود . دلیل افزایش هزینه های مسئله در این حالت آنست که افزایش میزان بازیافت باعث افزایش هزینه حمل و نقل می گردد .این افزایش درهزینه ها درحالی روی می دهد که هزینه‌های عملیاتی مسئله کاهش پیدا کرده‌اند، اما مقدار کاهش هزینه های عملیاتی مسئله کمتر از میزان افزایش هزینه‌های حمل و نقل مسئله بوده است. بنابراین ، هزینه کلی مسئله افزایش پیداکرده است. با توجه به این نتایج و نتایج جدول ٤-۵ هر چه مقادیر سمت راست محدودیت اپسیلون افزایش یابد، مقادیرتابع هدف هزینه با روندی افزایشی بدتر خواهد شد.

جدول ۱۰- نتایج تحلیل حساسیت محدودیت اپسیلون

Table ۱۰- Results of sensitivity analysis of epsilon limit

مقدار محدودیت اپسیلون Epsilon limit value	تابع هدف (تومان) Objective function (Toman)	هزینه عملیاتی(تومان) Operating cost (tomans)	هزینه حمل‌ونقل(تومان) Transportation cost (,Tomans)
۱,۸۴۸,۰۷۹	۱۶,۷۴۱,۰۳۷,۴۵۶	۲,۱۷۷,۵۹۴,۶۲۴	۳,۲۷۰,۶۴۶,۲۶۸
۱,۸۶۴,۰۶۱	۱۶,۷۴۱,۲۵۰,۵۶۷	۲,۱۷۳,۴۷۹,۳۴۰	۳,۲۷۴,۹۷۴,۶۶۴
۱,۸۸۰,۰۴۴	۱۶,۷۴۱,۴۹۵,۹۹۹	۲,۱۶۹,۳۶۳,۹۱۲	۳,۲۷۹,۳۳۵,۵۲۴
۱,۹۱۲,۰۱۰	۱۶,۷۴۸,۹۶۲,۹۷۷	۲,۱۵۷,۵۰۹,۲۳۲	۳,۲۸۸,۲۵۰,۹۹۳





شکل ٦- نتایج تحلیل حساسیت محدودیت اپسیلون

Figure ٥- Results of sensitivity analysis of epsilon limit

نتیجه‌گیری

هدف این مطالعه طراحی مدل ریاضی چندهدفه به منظور مدیریت پسماندهای شهری و بیمارستانی است. با توجه به مطالعاتی که صورت گرفته است ، ارتقا و توسعه مدیریت پسماندهای شهری و بیمارستانی یکی از ارکان اساسی خدمات شهری و نیز از ابزارهای مهم حفاظت محیط زیست است. بنابراین در این پژوهش

پس از بررسی‌های انجام یافته و مطالعه ادبیات موضوع ، خلاء موجود مطالعاتی مشخص گردید. در مطالعات انجام شده درمقالات ذیربط مشخص گردید که هاب تخصصی تفکیکی برای هر نوع پسماند در مقالات مذکور لحاظ نشده است و فقط در تعداد کمی از مقالات ، مفهوم بازیافت نیز در طراحی زنجیره تامین در نظر گرفته شده بود . همچنین تا حدی که مطالعه صورت گرفت، مقاله ای مشاهده نشد که در آن از روش‌های دقیق حل برای کاهش سختی حل مسئله استفاده شده باشد . بنابراین با هدف پوشش خلا تحقیقاتی موجود ، یک مدل ریاضی برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح برای طراحی شبکه جمع‌آوری و بازیافت پسماند با لحاظ تفکیک از مبداء و نیز لحاظ تاسیس هاب برای هر نوع از پسماند های تفکیک شده ارائه گردید. در این پژوهش علاوه بر مفهوم بازیافت، مفهوم هاب تفکیکی نیز در طراحی زنجیره تامین در نظر گرفته شد. بمنظور صحت‌سنجی مدل ، یک مطالعه موردی در شهرکرج انجام گرفت و نتایج آن نیز ارائه گردید. جمع‌آوری داده-های مناسب برای حل مسئله با توجه به میزان بالا داده‌های مورد نیاز و سختی دسترسی به برخی از آمار یکی از مشکلات حل مدل بود. با توجه به نتایج یه دست‌آمده ، برای افزایش میزان بازیافت در شبکه زنجیره‌تامین پسماند ، نیاز به سرمایه‌گذاری‌های زیرساختی و عملیاتی بیشتر می‌باشد. با افزایش بازیافت، آثار زیست محیطی و تخریبی دفن و سوزاندن پسماندها کاهش خواهد یافت. روش حل آزادسازی لاگرانژ ، می‌تواند بعنوان یک روش حل مناسب برای کاهش زمان حل مسائل با مقادیر بالا مورد استفاده قرار گیرد . در این پژوهش ، مشاهده شد که روش آزادسازی لاگرانژ در مقایسه با حل کننده سیپلکس می تواند مسائل با مقادیر بالا را با دقت مناسب و در زمانی کمتر حل کند. بنابراین می توان گفت نوآوری‌های این تحقیق شامل توسعه مدل زنجیره تامین جمع آوری و بازیافت پسماند تحت عدم قطعیت، در نظر گرفتن هاب های تفکیکی، استفاده از روش آزادسازی لاگرانژ برای حل مدل و مطاللعه موردی شهر کرج است. همچنین با در نظر گرفتن شبکه زنجیره‌تامین جمع‌آوری و بازیافت ارائه شده در این تحقیق و نیز با توجه به مطالعه ادبیات موضوع ، برای پژوهش های آینده ، موضوعاتی مانند مسیریابی حرکت کامیونهای جمع‌آوری و حمل پسماند در شبکه مذکور، برنامه‌ریزی تولید و انبار برای مراکز بازیافت ، استفاده از روش‌های حل ابتکاری و فرا ابتکاری برای حل مدل که با روش‌های حل دقیق ریاضی دیگر مانند آزادسازی لاگرانژ ترکیب شده باشند ، در نظر گرفتن توابع هدف محیط‌زیستی مانند کاهش‌آلودگی در فرآیند حمل و بازیافت پسماند و لحاظ عدم‌قطعیت در ظرفیت تسهیلات را می توان پیشنهاد نمود .

تعارض منافع :

نویسندگان هیچگونه تعارض منافعی ندارند.

References

Adeleke, O. J. & Olukanni, D. O. ۲۰۲۰. Facility location problems: models, techniques, and applications in waste management. *Recycling*, ٥, ۱۰. **DOI:۱۰.۳۳۹۰/recycling٥۰۲۰۰۱۰**

Akbarpour Shirazi, M., Samieifard, R., Abduli, M. A. & Omidvar, B. ۲۰۱٦. J Environ Health Sci Eng. ; ۱٤: ۸ **DOI: ۱۰.۱۱۸٦/s٤۰۲۰۱-۰۱٦-۰۲٥۰-۲**

Asefi, H., Shahparvari, S. & Chhetri, P. ۲۰۱۹. Integrated Municipal Solid Waste Management under uncertainty: A tri-echelon city logistics and transportation context. *Sustainable Cities and Society*, ۵۰, ۱۰۱۶۰۶. **DOI :۱۰.۱۰۱۶/j.scs.۲۰۱۹.۱۰۱۶۰۶**

Babaei , E., Iraj T., & Mirmehdi, S. ۲۰۱۷. The location-routing problem of the multi-round fuzzy arc considering the multiple journeys of the intermediate discharge platforms: urban waste management. ۱۵th International Industrial Engineering Conference . **https://civilica.com/doc/۸۳۹۵۳٤ (In persian)**

Bakıcı, T.,Almirall,E.,Wareham,J.,۲۰۱۳.A smart city in itiative:ThecaseofBarcelona .JournaloftheKnowledgeEconomy٤(۲),۱۳۵–۱٤۸. Candanedo, **DOI: ۱۰.۱۰۰۷/s۱۳۱۳۲-۰۱۲-۰۰۸٤-۹**

.S.,Nieves,E.H.,González,S.R.,Martín,M.T.S.,Briones,A.G.,۲۰۱۸.Machine learning predictive model for industry ٤.۰.In:Proceedings of the International Conference On Knowledge Management in Organizations,pp.۵۰۱–۵۱۰. Cham:Springer , **DOI:۱۰.۱۰۰۷/۹۷۸-۳-۳۱۹-۹۵۲۰٤-۸_٤۲**

Coutinho-Rodrigues, J., Tralhão, L. & Alçada-Almeida, L. ۲۰۱۲. A bi-objective modeling approach applied to an urban semi-desirable facility location problem. *European journal of operational research*, ۲۲۳, ۲۰۳-۲۱۳**. DOI: ۱۰.۱۰۱٦/j.ejor.۲۰۱۲.۰۵.۰۳۷**

Erkut, E., Karagiannidis, A., Perkoulidis, G. & Tjandra, S. A. ۲۰۰۸. A multicriteria facility location model for municipal solid waste management in North Greece. *European journal of operational research*, ۱۸۷, ۱٤۰۲-۱٤۲۱. **DOI:۱۰.۱۰۱٦/j.ejor.۲۰۰٦.۰۹.۰۲۱**

Ghannadpour, S. F. & Zandiyeh, F. ۲۰۲۰. 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*, ۹٦, ۱۰۳۹٦٤. **DOI:۱۰.۱۰۱٦/j.engappai.۲۰۲۰.۱۰۳۹٦٤**

Habibi, F., Asadi, E., Sadjadi, S. J. & Barzinpour, F. ۲۰۱۷. 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*, ۱٦٦, ۸۱٦-۸۳٤. **DOI:۱۰.۱۰۱٦/j.jclepro.۲۰۱۷.۰۸.۰٦۳**

Harijani, A. M., Mansour, S., Karimi, B. & Lee, C.-G. ۲۰۱۷. Multi-period sustainable and integrated recycling network for municipal solid waste–A case study in Tehran. *Journal of Cleaner Production*, ۱۵۱, ۹٦-۱۰۸. **DOI:۱۰.۱۰۱٦/j.jclepro.۲۰۱۷.۰۳.۰۳۰**

Harrison, C., Eckman, B., Hamilton, R., Hartswick, P., Kalagnanam, J., Paraszczak, J., Williams, P., ۲۰۱۰. Foundations for smarter cities. IBM J. Res. Dev. ۵٤ (٤), ۱e۱٦.] **DOI:۱۰.۱۱٤۷/JRD.۲۰۱۰.۲۰٤۸۲۵۷**

Hasanvand , MS. , Nabizadeh , R. , Heydari , M. (۲۰۰۸) , Analysis of municipal solid waste in Iran , Journal of health and environment ,۱(۱), ۹-۱۸ **, URL: http://ijhe.tums.ac.ir/article-۱-۱۸۲-en.html (In Persian)**

Lemaréchal, C. (۲۰۰۱). Lagrangian Relaxation. In: Jünger, M., Naddef, D. (eds) Computational Combinatorial Optimization. Lecture Notes in Computer Science, vol ۲۲٤۱. Springer, Berlin, Heidelberg. ۲۰۰۱, ۱۱۲-۱۵٦. **DOI:۱۰.۱۰۰۷/۳-۵٤۰-٤۵۵۸٦-۸_٤**

López-Sánchez, A., Hernández-Díaz, A. G., Gortázar, F. & Hinojosa, M. A. ۲۰۱۸. A Multiobjective GRASP–VND algorithm to solve the waste collection problem. *International Transactions in Operational Research*, ۲۵, ۵٤۵-۵٦۷. **DOI:۱۰.۱۱۱۱/itor.۱۲٤۵۲**

Mathematical modeling in municipal solid waste management: case study of Tehran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, ۱٤, ۱-۱۲. **DOI:۱۰.۱۱۸٦/s٤۰۲۰۱-۰۱٦-۰۲۵۰-۲**

Mavrotas, George. Effective implementation of the ε-constraint method in multi-objective mathematical programming problems. Applied mathematics and computation, ۲۰۰۹, ۲۱۳.۲: ٤۵۵-٤٦۵. **DOI:۱۰.۱۰۱٦/j.amc.۲۰۰۹.۰۳.۰۳۷**

Mohammadi, M., Jämsä-jounela, S.-L. & Harjunkoski, I. ۲۰۱۹. Optimal planning of municipal solid waste management systems in an integrated supply chain network. *Computers & Chemical Engineering*, ۱۲۳, ۱۵۵-۱٦۹. **DOI:۱۰.۱۰۱٦/j.compchemeng.۲۰۱۸.۱۲.۰۲۲**

Mohammed, F., Selim, S. Z., Hassan, A. & Syed, M. N. ۲۰۱۷. Multi-period planning of closed-loop supply chain with carbon policies under uncertainty. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, ۵۱, ۱٤٦-۱۷۲. **DOI:۱۰.۱۰۱٦/j.trd.۲۰۱٦.۱۰.۰۳۳**

Pouriani, S., Asadi-GangraJ, E. & Paydar, M. M. ۲۰۱۹. A robust bi-level optimization modelling approach for municipal solid waste management; a real case study of Iran. *Journal of Cleaner Production*, ۲٤۰, ۱۱۸۱۲۵. **DOI:۱۰.۱۰۱٦/j.jclepro.۲۰۱۹.۱۱۸۱۲۵**

Rahimi, M. & Ghezavati, V. ۲۰۱۸. 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*, ۱۷۲, ۱۵٦۷-۱۵۸۱.**DOI: ۱۰.۱۰۱٦/j.jclepro.۲۰۱۷.۱۰.۲٤۰**

Retrieved from Mashreghnews : www.mashreghnews.ir/۹٤۷۹۲۷ " How much waste is produced in Iran? " , ۲۰۲۰ , In Persian

Retrieved from EghtesadOnLine: https://www.eghtesadonline.com/n/۱nVc " Garbage turnover in Iran " , ۲۰۱۹, In Persian

Santibañez-Aguilar, J. E., Ponce-Ortega, J. M., González-Campos, J. B., Serna-GonzáleZ, M. & EL-Halwagi, M. M. ۲۰۱۳. Optimal planning for the sustainable utilization of municipal solid waste. *Waste anagement*, ۳۳, ۲٦۰۷-۲٦۲۲.**DOI:۱۰.۱۰۱٦/j.wasman.۲۰۱۳.۰۸.۰۱۰**.