International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2016)
September 2016, Volume 27, Number 2
pp. 261-274

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

A MULTI OBJECTIVE LOCATION-ROUTING MODEL FOR TREATMENT, RECYCLING AND DISPOSAL CENTERS OF HOSPITAL WASTES

M. Joghtaei, V. Mahmoodian, M. Fazli & A. Bozorgi-Amiri*

Mehdi Joghtaei Navaei, *MSc Student Department of Industrial Eng-Iran University of Science and Technology.*
Vahid Mahmoodian, *MSc Student Department of Industrial Eng-Iran University of Science and Technology.*
Mehdi Fazli, *MSc Student Department of Industrial Eng-Iran University of Science and Technology.*
Ali Bozorgi-Amiri, *Assistance Professor Department of Industrial Eng- College of Eng. University of Tehran.*

Keywords

Hazardous waste management, Location-routing Network, Hospital wastes, Reliability

ABSTRACT

Following the progresses and development of human activities, the volume of hazardous wastes have increased and potential risks included in transportation, treatment, disposing of these materials and especially environmental problems, attracted much attention. 10-25 percent of hospital wastes are classified as hazardous materials too that threatens public health and environment. In this paper a multi-objective mixed-integer location-routing model is developed that in addition to finding best locations of treatment centers, recycling centers and disposal centers, determines amount of each type of wastes should transmit between these centers based on three measures including cost, risk and reliability or availability of routs. The model is solved by LP-metric approach and it's performance is studied in sixteen different weights. The potential positions of facilities are determined using geographical data and GIS software based on environmental measures.

© 2016 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 27, No. 2, All Rights Reserved

نشـــریه بین المللـــی مهنـدسی صنـایع و مدیـــریت تولیـد

شمـــاره ۲، جلـــد ۲۷، تابستان ۱۳۹۵
صفحـــه ۲۷۴-۲۶۲

نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید
دانشگاه علم و صنعت ایران
ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

یک مدل چندهدفه مکان‌یابی – مسیریابی برای احداث مراکز پالایش، بازیافت و دفع زباله‌های بیمارستانی

مهدی جقتایی نوایی، وحید محمودیان، مهدی فضلی و علی بزرگی امیری*

کلمات کلیدی

مدیریت پسماندهای خطرناک،
مکان‌یابی – مسیریابی،
زباله‌های بیمارستانی،
قابلیت اطمینان،
GIS

چکیده:

در پی پیشرفت بشر و توسعه فعالیت‌های انسانی، حجم ضایعات و پسماندهای خطرناک افزایش یافته و با توجه به خطرات حمل و نقل، پاکسازی، دفع و مهم‌تر از همه مشکلات زیست محیطی که دارند، توجه بسیاری را به خود جلب کرده‌اند. ۱۰ الی ۲۵ درصد زباله‌های بیمارستانی نیز از جمله پسماندهای خطرناک به شمار می‌رود و از معضلاتی است که بهداشت عمومی و محیط زیست را تهدید می‌کند. لذا در این مقاله با ارائه یک مدل برنامه ریزی عددصحیح مختلط سعی شده است مکان بهینه‌ی مراکز پالایش، بازیافت و دفع زباله‌های بیمارستانی، با در نظر گرفتن سه معیار هزینه، ریسک و قابلیت اطمینان یا احتمال در دسترس بودن مسیرها و همچنین میزان حمل و نقل بین هر کدام از این مراکز به تفکیک انواع زباله‌ها تعیین شود. همین‌طور عملکرد مدل، از طریق مجموع وزنی توابع هدف و در شانزده وزن‌دهی متفاوت از طریق روش ال-پی متریک مورد بررسی قرار گرفته و نقاط پارتویی به دست آمدند. برای شناسایی نقاط بالقوه بر اساس معیارهای زیست محیطی جهت تأسیس هر کدام از این مراکز نیز از داده‌های ژئوگرافیک و نرم‌افزار GIS استفاده شده است.

۱. مقدمه

در پی پیشرفت بشر و توسعه فعالیت‌های انسانی، حجم ضایعات و پسماندهای خطرناک افزایش یافته و با توجه به خطرات حمل و نقل، پاکسازی، دفع و مهم‌تر از همه مشکلات زیست محیطی که دارند، توجه بسیاری را به خود جلب کرده‌اند. طوری که مسأله مدیریت پسماندهای خطرناک به یکی از موضوعات مهم پژوهشگران تبدیل شده است. خروجی‌های مضر فرآیندهای شیمیایی که در صنایع یا بیمارستان‌ها تولید می‌شوند، پسماند خطرناک نامیده می‌شوند [۱].

تاریخ وصول: ۹۲/۰۸/۰۴
تاریخ تصویب: ۹۳/۰۸/۱۰

مهدی جقتایی نوایی، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، mehdinava@ymail.com
وحید محمودیان، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، vahid_Mahmoodian@ind.iust.ac.ir
مهدی فضلی، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، mehdi_fazli_1367@yahoo.com
*نویسنده مسئول مقاله: **علی بزرگی‌امیری**، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، alibozorgi@ut.ac.ir

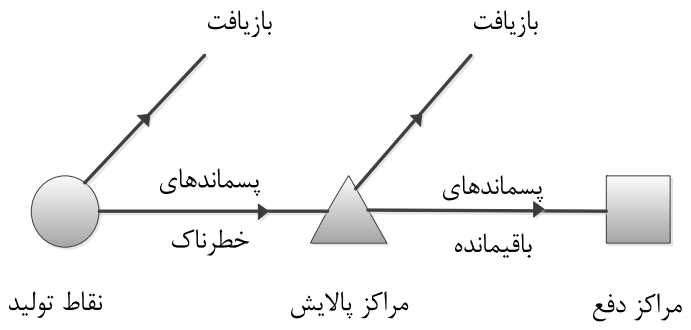
نقطه آغازین یک پسماند خطرناک زمانی است که یک ماده بالقوه پس از اعمال تغییراتی، وضعیت یا خاصیت خود را به گونه‌ای که تأمین کننده‌ی یک نیاز باشد، از دست می‌دهد. یک پسماند وقتی خطرناک تلقی می‌شود که یکی از خواص اشتعال‌پذیری یا انفجار، خورندگی، واکنش‌پذیری و سمی بودن را دارا باشد. مدیریت پسماندهای خطرناک شامل جمع‌آوری، حمل و نقل، پاکسازی، بازیافت و دفع این مواد می‌شود. در کشور ما به منظور عدم ایجاد حساسیت محلی و یا اجتماعی، واژه‌ی "پسماندهای خطرناک" به "پسماندهای ویژه" معادل سازی شده است [۲].

در حوزه بهداشت و درمان، مشخصه‌های کیفی متفاوتی وجود دارند که لازم است مورد پایش و کنترل قرار گیرند [۳]. امروزه با گسترش فناوری‌های مدیریت پسماندهای خطرناک، به خصوص در کشورهای توسعه یافته، سعی می‌شود تولید پسماندها به حداقل مقدار ممکن برسد و گزینه‌های تصفیه، بازیابی و بازیافت، تولید انرژی، امحاء و ... در اولویت اول و گزینه دفن در اولویت‌های بعدی قرار بگیرد [۴]. اما علی‌رغم این تلاش‌ها باز هم مقدار زیادی پسماند تولید می‌شود که بایستی مدیریت شوند. یکی از

سیستم‌های متداول برای مدیریت پسماندهای خطرناک در شکل ۱ آمده است [۵]. در این ساختار مکان‌های تولید مواد خطرناک نقطه‌ی آغاز هستند. با فرض امکان جداسازی مواد قابل بازیافت در این مکان‌ها، مواد خطرناک به دو دسته تقسیم می‌شوند و موادی که قابلیت بازیافت ندارند، به مرکز پاکسازی و پالایش فرستاده می‌شوند. در این مرکز نیز دوباره مواد قابل بازیافت جدا و برای بازیافت ارسال می‌شوند. مابقی مواد نیز برای دفع به مرکز دفع فرستاده می‌شوند.

فتحی [۲] معیارهایی را که در مکان‌یابی محل دفن پسماندها باید به آنها توجه شود، در دو دسته معیارهای زیست محیطی و معیارهای انسانی طبقه‌بندی کرده است. دسته اول ناظر به عوامل طبیعی مانند ناپایداری زمین، فاصله از چشمه‌ها، رودخانه‌ها و دریاچه‌ها، اهمیت توریستی و غیره است و دسته دوم ناشی از محدودیت‌هایی است که به سبب فعالیت‌های انسانی باید رعایت شود، مانند مناطق تحت حفاظت محیط زیست، حریم ابنیه هیدرولیکی، آب‌های زیرزمینی، خطوط انتقال مواد نفتی، مخابرات و غیره.

۱۰ الی ۲۵ درصد زباله‌های بیمارستانی نیز از جمله پسماندهای خطرناک به شمار می‌رود و از معضلاتی است که بهداشت عمومی و محیط زیست را تهدید می‌کند [۶]. به همین علت یکی از بخش‌های اساسی مدیریت پسماندهای خطرناک، چگونگی جمع آوری ، نقل و انتقال، نگهداری موقت و دفع نهایی زباله‌های بیمارستانی، به شکلی امن، می‌باشد.



شکل ۱. مراحل مدیریت پسماند خطرناک [5]

در این راستا مشکلاتی از قبیل نحوه‌ی جمع‌آوری، انتقال به جایگاه موقت، وضعیت و ظرفیت جایگاه، نحوه‌ی انتقال به محل دفع، تفکیک و بازیافت زباله‌ها، محل و ظرفیت زباله‌سوز و غیره وجود دارد. از طرفی زباله‌های بیمارستانی به علت دارا بودن عوامل خطرناک سمی و بیماری زا از جمله مواد: پاتولوژیک، دارویی و شیمیایی و رادیواکتیو از حساسیت خاصی برخوردار هستند. در جدول ۱ انواع زباله‌های بیمارستانی و نحوه‌ی مناسب دفع آن‌ها آورده شده است.

جدول ۱. انواع زباله‌های بیمارستانی و روش‌های دفع آنها [۶]

نوع پسماند	نحوه مناسب دفع
زباله‌های معمولی	به طور روزانه از طریق شهرداری
زباله‌های عفونی، شیمیایی، نوک تیز و برنده	بعد از پالایش (شامل سوزاندن، گندردایی و خرد کردن) همانند زباله‌های بی‌خطر دفع می‌گردند.
اعضا و اندام قطع شده یا جنین	دفن مطابق اصول
زباله‌های رادیواکتیو	طبق ضوابط سازمان انرژی اتمی ایران
زباله‌های پاتولوژیک	سوزاندن
خون و فرآوردهای آن	دفع در فاضلاب، گند زدایی یا دفن

مسأله مدیریت زباله‌های بیمارستانی به طور کلی یک مسأله تصمیم گیری چند معیاره است که دارای معیارهای متضاد زیادی می‌باشد. این تضادها هنگام تعیین مکان‌ها و مسیرهای حمل و معیارهای انتخاب که عبارتند از: هزینه کل جابه‌جایی، ریسک جابه‌جایی‌ها، قابلیت اطمینان مسیر، هزینه ثابت احداث یک سایت پیشنهادی جدید، ریسک مرتبط با جمعیت در معرض خطر و غیره، رخ می‌دهد.

در این مقاله با ارائه یک مدل ریاضی برنامه ریزی عدد صحیح مختلط سعی شده است مکان بهینه‌ی مراکز پالایش، بازیافت و دفع زباله‌های بیمارستانی، با در نظر گرفتن سه معیار هزینه، ریسک و قابلیت اطمینان تعیین و میزان حمل و نقل بین هر کدام از این مراکز به تفکیک انواع زباله‌ها برنامه‌ریزی شود. برای تعیین نقاط بالقوه برای تأسیس هر کدام از این مراکز نیز، از داده‌های واقعی ژئوگرافیک و نرم‌افزار GIS بر اساس معیارهای زیست محیطی بهره برده شده است. بر اساس مرور ادبیات صورت گرفته، این مطالعه اولین تلاش در مکان‌یابی- مسیریابی بهینه پسماندهای خطرناک بیمارستانی است که علاوه بر معیار هزینه، دو معیار ریسک و قابل دسترس بودن مسیرها را نیز مد نظر قرار داده است. علاوه بر این ابعاد مختلفی برای مراکز بازیافت و دفع در نظر گرفته شده است که باعث می‌شود، این انعطاف در مسئله ایجاد شود که، در هر مکان با توجه به نیازی که وجود دارد یک مرکز مناسب

احداث شود و به نوعی از صرف هزینه‌ی اضافی جلوگیری گردد. نوآوری دیگری که در مدل ایجاد شده، بحث عدم قطعیت است. چون هیچ‌گاه تمام اطلاعات به طور دقیق وجود ندارند، وارد کردن احتمال و عدم قطعیت، مدل را به واقعیت نزدیک‌تر خواهد کرد. به این صورت که احتمال در دسترس بودن مسیرهایی که دارای ریسک هستند، بیشینه خواهد شد. یا به عبارت ساده‌تر در بین مسیرهایی که برای آنها ریسک نیز در نظر گرفته شده است، مطمئن‌ترین آنها انتخاب خواهد شد. لذا یکی از فرضیات جدید در این مقاله، در نظر گرفتن احتمال در دسترس بودن برای مسیرهای مختلف است. هر کدام از مسیرهای حمل دارای شرایطی خاص هستند که امکان و احتمال حمل پسماندها در آن‌ها متفاوت است.
در ادامه، در بخش ۲ مرور ادبیات مسأله مکان‌یابی-مسیریابی انجام شده است. در بخش ۳، تشریح مسأله و مدل پیشنهادی آورده شده است. در بخش ۴ به الگوریتم حل پرداخته شده و در بخش ۵ با ارائه مثال عددی، عملکرد مدل پیشنهادی بررسی شده است. در نهایت، بخش ۶ شامل نتیجه‌گیری‌ها و پیشنهادات آتی است.

۲. مرور ادبیات

در ادبیات مکان‌یابی، مسأله مدیریت پسماند، با مکان‌یابی مراکز پالایش و دفع آغاز شد و اغلب با عنوان مکان‌یابی تسهیلات نامطلوب[1] مورد توجه قرار گرفت[۵]. پیرس و دیویدسون [۷] برای اولین بار با ارائه‌ی مدلی برای شناسایی هزینه‌های مؤثر مسیرهای حمل و نقل، ایستگاه‌های انتقال و انبارهای بلندمدت، ایده استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی را در مدیریت پسماند خطرناک مطرح کردند. در حالت کلی، ادبیات مسأله مدیریت پسماندهای خطرناک که شامل مکان‌یابی تسهیلات و یا مسیریابی این مواد می‌شود را می‌توان به سه بخش کلی تقسیم کرد؛ ۱) مدل‌هایی با توابع هدف بیشینه- کمینه ۲) مدل‌هایی با توابع هدف بیشینه- مجموع ۳) مدل‌های چند هدفه[۱]. کمینه‌سازی هزینه و ریسک دو مورد از توابع هدفی هستند که کاربرد بیشتری داشته است. اولین تلاش برای مدل کردن مسأله مکان‌یابی-مسیریابی توسط زوگرافا و سامرا [۸] در سال ۱۹۸۹ صورت گرفت. آنها یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی برای یک نوع از پسماند خطرناک که زمان انتقال، ریسک انتقال و ریسک دفع را حداقل می‌کرد ارائه نمودند. پس از آنها ریولی و همکاران [۹] مدلی ارائه نمودند که ترکیب محدب هزینه و ریسک را حداقل می‌نمود. استوور و پالکار [۱۰] تنها ریسک را در مدل مکان‌یابی - مسیریابی خود در نظر گرفتند. آنها از جمعیت در معرض زباله به عنوان جانشینی برای ریسک، در کمینه سازی ریسک مکان‌یابی و انتقال استفاده نمودند. ژاکوب و وارمردام [۱۱] در سال ۱۹۹۴ مسأله مدیریت پسماند خطرناک را به عنوان یک جریان شبکه پیوسته مدل نمودند. آنها ریسک را به عنوان احتمال رویداد یک حادثه در حین انتقال و مکان‌یابی تسهیل مد نظر قرار دادند. وایمن و کابی [۱۲] هدف‌هایی مشابه مدل کارنت و رتیک [۱۳] در نظر گرفتند؛ با این تفاوت که در مدل آنها انتخاب تکنولوژی‌های مختلف برای پاکسازی لحاظ گردید. جیانیکوس [۱۴] در مدل خود اهداف کمینه سازی هزینه، ریسک و توزیع ریسک برابر بین مراکز جمعیتی را در نظر گرفت. اولین مدل مکان‌یابی-مسیریابی که انواع مختلف پسماند زیانبار را در نظر می‌گرفت در سال ۱۹۹۱ توسط لیست و میرچاندانی [۱۵] ارائه گردید که دارای سه هدف کمینه سازی ریسک، هزینه و بیشینه سازی عدالت در تعیین مکان استقرار تسهیلات پاکسازی و انبارش می‌باشد. آلیدی [۱۶, ۱۷] دو مدل ارائه نمود که هر دوی آنها تنها هزینه مدیریت انواع مختلف پسماند را شامل می‌شدند. از آنجایی‌که مدل‌ها تنها هزینه را شامل می‌شدند، پسماندها از طریق کوتاه‌ترین مسیر به سمت تسهیلات انتقال می‌یافتند. این مدل‌ها به این خاطر مهم بودند که جنبه‌های مختلف مدیریت پسماند خطرناک مثل بازیافت، کاهش مقدار پسماندها و تولید انرژی از طریق زباله‌سوزی را در نظر گرفته بودند. نما و گوپتا [۱۸] مدلی را با در نظر گرفتن انواع مختلف پسماندهای خطرناک و یک تابع هدف ترکیبی شامل هزینه کل و ریسک کل ارائه نمودند. آنها دو نوع محدودیت جدید سازگاری پسماند با پسماند و پسماند با تکنولوژی را در مدل خود وارد نمودند. این افراد بعدها با توسعه یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی چندهدفه و در نظر گرفتن انواع هزینه‌ها و ریسک‌ها کار قبلی خود را کامل کردند [۱۹]. ژانگ و همکاران[۲۰] نیز با ارائه یک مدل مکان‌یابی-مسیریابی هزینه کل، هزینه‌های امنیت وسایل نقلیه و ریسک را کمینه کردند. سیبل آلومور و بهارکارا [۵] در سال ۲۰۰۷ مدل مکان‌یابی- مسیریابی با هدف کمینه‌سازی هزینه کل و ریسک حمل و نقل و با مفروضات واقعی‌تر ارائه کردند. از جمله این محدودیت‌ها ظرفیت‌های حداقلی و حداکثری برای تأسیس مراکز مختلف و در نظر گرفتن تکنولوژی‌های متفاوت برای پالایش انواع پسماندها بود. با این وجود در مدل ارائه شده مراکز بازیافت و حمل مواد قابل بازیافت در نظر گرفته نشده است. از دیگر کاستی‌های این مدل می‌توان به معلوم و قطعی فرض کردن درصد قابل بازیافت پسماندها اشاره کرد. در همین سال اورن امک و بهار کارا [۱] بر روی استانداردهای آلودگی هوا متمرکز شده‌اند و با مدل کردن پخش آلودگی در نتیجه زباله‌سوزی در مراکز جمعیتی با استفاده از معادله پر گاوس سعی کرده‌اند هزینه کل را کمینه کنند. آنها میزان متصاعد شدن آلودگی از زباله‌های سوخته را، متناسب با طول سفر در نظر گرفته‌اند و به این ترتیب آن را با ریسک مسیریابی که مشابهاً تابعی از فاصله در نظر گرفته شده، ترکیب کرده‌اند. آنها با این منطق که با افزایش تعداد زباله سوزها طول سفر کاهش می‌یابد، این معیار را از طریق درصد کاهش فاصله سفر به ازای یک واحد افزایش زباله‌سوز در مدل وارد کرده‌اند. ارهان ارکوت و همکاران [۲۱] یک مدل مکان‌یابی-تخصیص ارائه کردند که شامل تعیین مکان‌ها و تکنولوژی‌های مراکز انتقال، تسهیلات بازیافت مواد، زباله‌سوزها و محل دفن زباله‌های بهداشتی به علاوه‌ی میزان جرایانات بین این مکان‌ها بود. آنها در مدل خود پنج تابع هدف داشتند؛ شامل کمینه‌سازی اثر

گلخانه‌ای، کمینه‌سازی مواد دفعی نهایی که به مراکز دفن برده می‌شوند، بیشینه‌سازی بازیافت انرژی، بیشینه‌سازی بازیافت مواد و کمینه‌سازی هزینه کل. ژائو و ژائو [۲۲] یک مدل عدد صحیح مختلط دو هدفه برای مکان‌یابی مراکز پاکسازی و دفع و همچنین مسیریابی انواع پسماندها شامل آنهایی که باید از مرکز تولید به مراکز بازیافت یا پاکسازی فرستاده شوند و آنهایی که باید از مراکز پاکسازی به مراکز بازیافت و دفع فرستاده شوند، ارائه کردند. آنها در مدل‌شان انواع تکنولوژی‌ها، انواع پسماندها، سازگاری این دو و ظرفیت مراکز مختلف را در نظر گرفته بودند. ژی و همکاران [۲۳] در مدل مکان‌یابی-مسیریابی خود، با در نظر گرفتن روش‌های متعدد حمل و نقل و اضافه کردن مکان‌یابی مراکز انتقال، بیشتر به جنبه حمل و نقل پسماندهای خطرناک پرداخته‌اند. همین‌طور فاندا سامانلی اوغلی [۲۴] نیز یک مدل مکان‌یابی-مسیریابی با هدف تعیین مکان مراکز پاکسازی با تکنولوژی‌های مختلف، مسیریابی انواع پسماندهای زیانبار صنعتی به این مراکز متناسب با تکنولوژی مورد نیاز، مراکز بازیافت و مسیریابی پسماندهای دفعی، ارائه نمود. در نهایت، ارجمند و همکاران [۲۵] در سال ۲۰۱۴ مدل ریاضی و الگوریتم ژنتیکی را برای مساله مکان‌یابی و مسیریابی تسهیلات و و مراکز دفع پیشنهاد کرده‌اند. آنها در مدل خود مجموع وزنی هزینه و ریسک را کمینه کردند.

علی‌رغم تلاش‌های فراوان صورت گرفته، مدل‌های ارائه شده با واقعیت فاصله زیادی دارند. زیرا در دنیای واقعی هیچ‌گاه رویدادها به طور قطعی و پیش‌بینی شده نیستند. در این مقاله علاوه بر در نظر گرفتن عوامل زیست محیطی در انتخاب مکان‌های بالقوه، با واردکردن عدم قطعیت برای مسیرهای موجود، سعی شده است بخشی از این فاصله پوشش داده شود. همین‌طور اعمال امکان ابعاد یا ظرفیت‌های مختلف برای مراکز مورد نظر برای تأسیس، انعطاف مدل ارائه شده را برای تصمیم‌گیری افزایش داده است.

۳. تشریح مسأله و مدل پیشنهادی

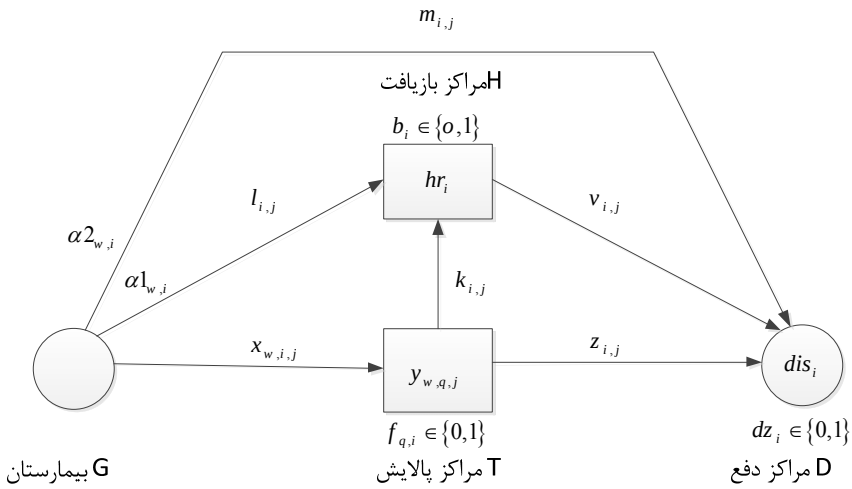
در این بخش، فرضیات مسأله، بیان و مدل ریاضی مسأله ارائه شده است. بحث اصلی، انتخاب مکان مناسب برای مراکز دفن، پالایش و بازیافت و مسیر مناسب برای حمل با در نظر گرفتن ریسک در مسیرهای حمل است. پالایش، بازیافت و دفن ضایعات ایجاد شده نیازمند یک شبکه است. جهت مدل کردن به شکلی اقتصادی جریان ضایعات بین مراکز مختلف، شبکه‌ای بر مبنای مرجع [۲۳] توسعه داده شده که مکان‌های مراکز موجود و مراکز بالقوه، گره‌های آن را تشکیل می‌دهند. یال‌های این شبکه نیز مسیرهای موجود بین این مکان‌ها را نشان می‌دهد. هزینه‌هایی درانتقال ضایعات خطرناک و مکان‌های دفن و بازیافت وجود دارد، و در انتقال ضایعات خطرناک بحث مواجه با ریسک محیط و جمعیت مطرح است. علاوه بر موارد فوق قابلیت دسترسی مسیرها نیز در طراحی شبکه و مدل کردن در نظر گرفته شده است.

مدل ریاضی ارائه شده به دنبال این است تا به سوالات زیر پاسخ دهد:

- مکان مناسب برای احداث مراکز پالایش پسماندها با تکنولوژی‌های مختلف.
- مسیریابی زباله‌های خطرناک و باقیمانده ضایعات پالایش شده.
- مکان‌یابی برای احداث مراکز بازیافت زباله و مسیریابی ضایعات خطرناک و باقیمانده ضایعات.
- مکان‌یابی برای احداث مراکز دفع زباله و مسیریابی حمل ضایعات غیرقابل بازیافت و باقیمانده ضایعات.

فرضیات این مسأله عبارتند از:

۱. مراکز بالقوه و مسیرهای موجود بین آنها مشخص است.
۲. هزینه‌ی ثابت و عملیاتی هر کدام از مراکز در صورت تأسیس و همین‌طور هزینه‌های حمل و نقل به ازای واحد ضایعات و توزیع جمعیت در هر کدام از مسیرها داده شده است. به این ترتیب هزینه‌ی حمل و نقل تنها بستگی به حجم ضایعات حمل شده و فاصله طی شده خواهد داشت.
۳. پالایش، بازیافت و حمل و نقل ضایعات خطرناک ریسکی را در پی دارند که با جمعیت در معرض مرتبط است. برای هر نوع زباله نیز ضریب ریسکی در نظر گرفته شده است که نسبت به جمعیت در معرض به صورت مستقیم و خطی در ریسک اثر می‌گذارند.
۴. یکی از فرضیات جدید در این مقاله در نظر گرفتن احتمال در دسترس بودن مسیر i به j است که در تحقیقات قبلی بدان توجهی نشده است. معمولاً یک مسیر همواره در اختیار و در دسترس نیست و عوامل متعددی از قبیل بلایای طبیعی، ترافیک، تصادفات، خرابی‌های مختلف می‌تواند سبب شود تا یک مسیر را نتوان انتخاب کرد و این امر برای زباله‌های خطرناک بسیار حائز اهمیت است. لذا ما بدنبال مسیری هستیم که حداکثر قابلیت دسترسی را داشته باشد. برای این منظور می‌توان یک حداقل احتمال قابل قبولی را نیز در محدودیت مسأله قرار داد تا با توجه به نوع مسیر از چه میزان احتمالی در کمترین حالت برخوردار باشد.
۵. شبکه‌ای برای حمل ضایعات خطرناک در نظر گرفته شده است که بر پایه توسعه شبکه ارائه شده در مرجع [۲۳] می‌باشد. در این مقاله فرض شده است که گونه‌ای از ضایعات بیمارستانی و بهداشتی لزومی به پالایش و یا بازیافت ندارند و می‌توانند به صورت مستقیم به مکان‌های دفع ضایعات منتقل شوند. که این فرض در شکل (۲) قابل مشاهده است.
۶. در این مدل فرض شده است مکان‌های بالقوه برای پالایش و بازیافت هم اکنون شناسایی شده است و مکان بالقوه برای دفن با استفاده نرم‌افزار GIS شناسایی شده و در مدل بکار گرفته شده است.



شکل ۱. شبکه توسعه داده شده برای زباله بیمارستانی

۳-۱. اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم

$N=(V,A)$ شبکه حمل و نقل گره V و کمان A

$G=\{1,...,g\}$ نقاط تولید ضایعات بیمارستانی، $G \in V$

$T=\{1,...,t\}$ نقاط پالایش بالقوه، $T \in V$

T' نقاط پالایش موجود ، $T' \subset T$

$D=\{1,...,d\}$ نقاط دفع بالقوه، $D \in V$

D' نقاط دفع موجود، $D' \subset D$

$H=\{1,...,h\}$ نقاط بازیافت بالقوه، $H \in V$

H' نقاط بازیافت موجود $H' \subset H$

$W=\{1,...,w\}$ انواع ضایعات خطرناک

$Q=\{1,...,q\}$ تکنولوژی‌های پالایش

Q' تکنولوژی‌های پالایش موجود، $Q' \subset Q$

پارامترها:

$c_{i,j}$	هزینه حمل یک واحد ضایعات خطرناک بیمارستانی بر روی اتصال $(i,j) \in A, i \in G, j \in T$	$POPgt_{i,j}$	تعداد مردم درون فاصله داده شده برای اتصال $(i,j) \in A, i \in G, j \in T$
$cz_{i,j}$	هزینه حمل یک واحد باقیمانده ضایعات بر روی اتصال $(i,j) \in A, i \in T, j \in D$	$POPtd_{i,j}$	تعداد مردم درون فاصله داده شده برای اتصال $(i,j) \in A, i \in T, j \in D$
$cv_{i,j}$	هزینه حمل یک واحد باقیمانده ضایعات بر روی اتصال $(i,j) \in A, i \in H, j \in D$	$POPA_{q,j}$	تعداد مردم پیرامون $j \in T$ با تکنولوژی $q \in Q$
$cr_{i,j}$	هزینه حمل یک واحد ضایعات قابل بازیافت بر روی اتصال $(i,j) \in A, i \in G, j \in H$	$POPB_i$	تعداد مردم پیرامون نقطه $i \in D$
$crr_{i,j}$	هزینه حمل یک واحد باقیمانده ضایعات قابل	$gen_{w,i}$	مقدار ضایعات خطرناک نوع $w \in W$ تولید شده

	بازیافت بر روی اتصال $i \in T, j \in H$ $(i,j) \in A,$
$cd_{i,j}$	هزینه حمل یک واحد ضایعات غیر قابل بازیافت بر روی اتصال $(i,j) \in A, i \in G, j \in D$
$fc_{q,i}$	هزینه ثابت باز کردن یک تکنولوژی $q \in Q$ در نقطه $i \in T$
$fd_{i,l}$	هزینه ثابت بازکردن مرکز دفع در نقطه $i \in D$ با ابعاد $l \in \{1,2,...,L_i\}$
$fh_{i,l}$	هزینه ثابت بازکردن مرکز بازیافت در نقطه $i \in H$ با ابعاد $l \in \{1,2,...,L_i\}$
γ_i	نسبت کل ضایعات خطرناک بازیافت شده در نقطه $i \in H$
$tc^m_{q,i}$	حداقل مقدار ضایعات خطرناک مورد نیاز برای تأسیس تکنولوژی $q \in Q$ در نقطه $i \in T$
$rc^m_{i,l}$	حداقل مقدار ضایعات مورد نیاز برای تأسیس مرکز بازیافت در نقطه $i \in H$ با ابعاد $l \in \{1,2,...,L_i\}$
$dc^m_{i,l}$	حداقل ظرفیت مرکز دفع $i \in D$ با ابعاد $l \in \{1,2,...,L_i\}$
M	یک عدد بسیار بزرگ
$p_{i,j}$	احتمال در دسترس بودن مسیر $(i,j) \in A$

متغیرهای تصمیم:

$x_{w,i,j}$	مقدار ضایعات نوع $w \in W$ حمل شده بوسیله ارتباط $(i,j) \in A, i \in G, j \in T$
$l_{i,j}$	مقدار ضایعات قابل بازیافت حمل شده بوسیله اتصال $(i,j) \in A, i \in G, j \in H$
$v_{i,j}$	مقدار ضایعات باقیمانده حمل شده بوسیله اتصال $(i,j) \in A, i \in H, j \in D$
$y_{w,q,i}$ ، $y_{w,q,j}$	مقدار ضایعات خطرناک نوع $w \in W$ پالایش شده در نقطه $i,j \in T$ با تکنولوژی $q \in Q$
hr_i ، hr_j	مقدار ضایعات بازیافت شده در نقطه $i,j \in H$
$dz_{i,l}$	برابر ۱ اگر مرکز دفع با ابعاد $l \in \{1,2,...,L_i\}$ در نقطه $i \in D$ تأسیس شود؛ در غیر اینصورت برابر ۰
	در نقطه $i \in G$
$\alpha 1_{w,i}$	نسبت بازیافت ضایعات خطرناک نوع $w \in W$ تولید شده در نقطه $i \in G$
$\alpha 2_{w,i}$	نسبت بدون بازیافت ضایعات غیرخطرناک نوع $w \in W$ تولید شده در نقطه $i \in G$
$\beta_{w,q}$	نسبت ضایعات خطرناک بازیافتی نوع $w \in W$ پالایش شده با تکنولوژی $q \in Q$
$r_{w,q}$	نسبت کاهش جرم ضایعات خطرناک نوع $w \in W$ پالایش شده با تکنولوژی $q \in Q$
$tc_{q,i}$	ظرفیت تکنولوژی پالایش $q \in Q$ در نقطه $i \in T$
$rc_{i,l}$	ظرفیت بازیافت نقطه $i \in H$ با ابعاد $l \in \{1,2,...,L_i\}$
$dc_{i,l}$	ظرفیت مرکز دفع $i \in D$ با ابعاد $l \in \{1,2,...,L_i\}$
$com_{w,q}$	برابر ۱ اگر ضایعات نوع $w \in W$ (که می‌تواند پالایش شود) با تکنولوژی $q \in Q$ سازگار باشد؛ در غیر اینصورت برابر ۰
μ_w	میزان وزن ضایعات نوع $w \in W$
p_{gtd}	کمترین احتمال در دسترس بودن مسیر G-T-D
$z_{i,j}$	مقدار ضایعات باقیمانده حمل شده بوسیله اتصال $(i,j) \in A, i \in T, j \in D$
$k_{i,j}$	مقدار ضایعات باقیمانده قابل بازیافت حمل شده بوسیله اتصال $(i,j) \in A, i \in T, j \in H$
$m_{i,j}$	مقدار ضایعات غیر قابل بازیافت حمل شده بوسیله اتصال $(i,j) \in A, i \in G, j \in D$
dis_i ، dis_j	مقدار ضایعات باقیمانده دفع شده در نقطه $i,j \in D$
$f_{q,i}$	برابر ۱ اگر تکنولوژی پالایش $q \in Q$ در نقطه $i \in T$ تأسیس شود؛ در غیر اینصورت برابر ۰
$b_{i,l}$	برابر ۱ اگر مرکز بازیافت با ابعاد $l \in \{1,2,...,L_i\}$ در نقطه $i \in D$ تأسیس شود؛ درغیر اینصورت برابر ۰

$r_{i,j}$ برابر ۱ اگر مسیر $(i,j)\in A$ انتخاب شده باشد؛ در غیر اینصورت برابر ۰

$r_{i,j,k}$ برابر ۱ اگر مسیر $(i,j,k)\in A$ انتخاب شده باشد؛ در غیر اینصورت برابر ۰

۳-۲. مدل ریاضی

امروزه با توجه به اینکه پارامترهای زیادی در فرآیند تصمیم‌گیری وارد می‌شوند، از هدف‌های چندگانه برای نیل به مطلوبیت مورد نظر استفاده می‌شود [۲۶]. مدل ریاضی که برای مسأله مکان‌یابی - مسیریابی زباله‌های بیمارستانی پیشنهاد شده بصورت زیر است:

$$\begin{aligned}\text{Min } f_1 &= \sum_{i\in G}\sum_{j\in T}\sum_{w\in W} c_{i,j}x_{w,i,j} + \sum_{ieT}\sum_{j\in D} cz_{i,j}z_{i,j} + \sum_{i\in H}\sum_{j\in D} cv_{i,j}v_{i,j}\\ &+\sum_{i\in G}\sum_{j\in H} cr_{i,j}l_{i,j} + \sum_{i\in T}\sum_{j\in H} crr_{i,j}k_{i,j} + \sum_{i\in G}\sum_{j\in D} cd_{i,j}m_{i,j} + \sum_{i\in T}\sum_{q\in Q} fc_{q,i}f_{q,i} +\\ &\sum_{i\in D}\sum_{l=1}^{L_i} fd_{i,l}dz_{i,l} + \sum_{i\in H}\sum_{l=1}^{L_i} fh_{i,l}b_{i,l}\end{aligned} \quad (۱)$$

$$\text{Min } f_2 = \sum_{i\in G}\sum_{j\in T}\sum_{w\in W} \mu_w POPgt_{i,j}x_{w,i,j} + \sum_{i\in T}\sum_{j\in D} POPtd_{i,j}z_{i,j} \quad (۲)$$

$$\text{Min } f_3 = \sum_{w\in W}\sum_{q\in Q}\sum_{i\in T} \mu_w POPA_{q,i}y_{w,q,i} + \sum_{i\in D} POPB_i dis_i \quad (۳)$$

$$\text{Max } f_4 = \sum_{i\in G}\sum_{j\in H}\sum_{k\in D} p_{i,j}\cdot p_{j,k}\cdot r_{i,j,k} \quad (۴)$$

$$s.t: gen_{w,i} = \alpha 1_{w,i}\, gen_{w,i} + \alpha 2_{w,i}\, gen_{w,i} + \sum_{j\in T} x_{w,i,j} \qquad \forall i\in G,\ \forall w\in W \quad (۵)$$

$$\sum_{w\in W} \alpha 1_{w,i}\, gen_{w,i} = \sum_{j\in H} l_{i,j} \qquad \forall i\in G \quad (۶)$$

$$\sum_{w\in W} \alpha 2_{w,i}\, gen_{w,i} = \sum_{j\in D} m_{i,j} \qquad \forall i\in G \quad (۷)$$

$$\sum_{i\in G} x_{w,i,j} = \sum_{q\in Q} y_{w,q,j} \qquad \forall w\in W,\ \forall j\in T \quad (۸)$$

$$\sum_{w\in W}\sum_{q\in Q} y_{w,q,i}\left(1-r_{w,q}\right)\left(1-\beta_{w,q}\right) = \sum_{j\in D} z_{i,j} \qquad \forall i\in T \quad (۹)$$

$$\sum_{w\in W}\sum_{q\in Q} y_{w,q,i}\left(1-r_{w,q}\right)\beta_{w,q} = \sum_{j\in H} k_{i,j} \qquad \forall i\in T \quad (۱۰)$$

$$f_{q,i} = 1 \qquad \forall q\in Q',\ \forall i\in T' \quad (۱۱)$$

$$\sum_{i\in T} k_{i,j} + \sum_{i\in G} l_{i,j} = hr_j \qquad \forall j\in H \quad (۱۲)$$

$$hr_i\left(1-\gamma_i\right) = \sum_{j\in D} v_{i,j} \qquad \forall i\in H \quad (۱۳)$$

$$b_{i,l} = 1 \qquad \forall i\in H',\ l\in\{1,2,\ldots,L_i\} \quad (۱۴)$$

$$\sum_{i\in H} v_{i,j} + \sum_{i\in T} z_{i,j} + \sum_{i\in G} m_{i,j} = dis_j \qquad \forall j\in D \quad (۱۵)$$

$$dz_{i,l} = 1 \qquad \forall i\in D',\ l\in\{1,2,\ldots,L_i\} \quad (۱۶)$$

$$\sum_{w\in W} y_{w,q,i} \le tc_{q,i} f_{q,i} \qquad \forall q\in Q,\ \forall i\in T \quad (۱۷)$$

$\sum_{w\in W} y_{w,q,i} \geq tc^{m}_{q,i} f_{q,i}$	$\forall q \in Q \ ,\forall i \in T$	(۱۸)
$y_{w,q,i} \leq tc_{q,i} com_{w,q}$	$\forall w \in W \ ,\forall q \in Q \ ,\forall i \in T$	(۱۹)
$dis_i \leq \sum_{l=1}^{L_i} dc_{i,l} dz_{i,l}$	$\forall i \in D$	(۲۰)
$dis_i \geq \sum_{l=1}^{L_i} dc^{m}_{i,l} dz_{i,l}$	$\forall i \in D$	(۲۱)
$\sum_{l=1}^{L_i} dz_{i,l} \leq 1$	$\forall i \in D$	(۲۲)
$hr_i \leq \sum_{l=1}^{L_i} rc_{i,l} b_{i,l}$	$\forall i \in H$	(۲۳)
$hr_i \geq \sum_{l=1}^{L_i} rc^{m}_{i,l} b_{i,l}$	$\forall i \in H$	(۲۴)
$\sum_{l=1}^{L_i} b_{i,l} \leq 1$	$\forall i \in H$	(۲۵)
$\left(p_{i,j} r_{i,j}\right)\left(p_{j,k} r_{j,k}\right) \geq p_{gtd}$	$\forall i \in G, j \in T, k \in D$	(۲۶)
$\sum_{w \in W} x_{w,i,j} \leq M . r_{i,j}$	$\forall i \in G, j \in T$	(۲۷)
$r_{i,j} \leq M . z_{i,j}$	$\forall i \in T, j \in D$	(۲۸)
$r_{i,j,k} \leq r_{i,j}$	$\forall i \in G, j \in T, k \in D$	(۲۹)
$r_{i,j,k} \leq r_{j,k}$	$\forall i \in G, j \in T, k \in D$	(۳۰)
$x_{w,i,j} \geq 0$	$\forall w \in W \ ,\forall i \in G \ ,\forall j \in T$	(۳۱)
$y_{w,q,i} \geq 0$	$\forall w \in W \ ,\forall q \in Q \ ,\forall j \in T$	(۳۲)
$z_{i,j} \geq 0$	$\forall i \in T \ ,\forall j \in D$	(۳۳)
$m_{i,j} \geq 0$	$\forall i \in G, \forall j \in D$	(۳۴)
$k_{i,j} \geq 0$	$\forall i \in T \ ,\forall j \in H$	(۳۵)
$l_{i,j} \geq 0$	$\forall i \in G, \forall j \in H$	(۳۶)
$v_{i,j} \geq 0$	$\forall i \in H, \forall j \in D$	(۳۷)
$dis_i \geq 0$	$\forall i \in D$	(۳۸)
$hr_i \geq 0$	$\forall i \in H$	(۳۹)
$f_{q,i} \in \{0,1\}$	$\forall i \in T \ ,\forall q \in Q$	(۴۰)
$dz_{i,l} \in \{0,1\}$	$\forall i \in D, l \in \{1,2,...,L_i\}$	(۴۱)

$$\forall i \in H, \quad l \in \{1,2,...,L_i\} \qquad (۴۲)$$

$$(i,j) \in A \qquad (۴۳)$$

$$(i,j,k) \in A \qquad (۴۴)$$

$$b_{i,l} \in \{0,1\}$$

$$r_{i,j} \in \{0,1\}$$

$$r_{i,j,k} \in \{0,1\}$$

تابع هدف (۱) نشان دهنده هزینه حمل زباله‌ها از مراکز تولید ضایعات به مراکز دفن، پالایش و بازیافت و نیز هزینه بازگشایی مراکز جدید است. تابع هدف (۲) بیانگر ریسک مرتبط با جمعیت در طول مسیر ضایعات خطرناک است. تابع هدف (۳) نشان‌دهنده ریسک مرتبط با جمعیت مراکز احداث دفع و پالایش جدید است. تابع هدف (۴) نشان‌دهنده قابلیت دسترسی مسیر حمل زباله‌های خطرناک است.

محدودیت (۵) الی (۸) مربوط به تعادل جریان بین گره‌های متناظر با مراکز تولید به گره‌های بازیافت، پالایش و دفع است. محدودیت‌های (۹) و (۱۰) جریان از مراکز پالایش به مراکز دفع و بازیافت را با در نظر گرفتن کاهش جرم ضایعات خطرناک ناشی از انواع تکنولوژی‌های موجود در مراکز پالایش، کنترل می‌کند. محدودیت (۱۱) تکلیف مراکز پالایش با تکنولوژی‌های موجود را تعیین می‌کند. محدودیت (۱۲) بیانگر معادله بین ورودی‌های مراکز بازیافت از مراکز تولید و پالایش و حجمی از ضایعات است که در این مراکز تحت فرآیند بازیافت قرار می‌گیرند. محدودیت (۱۳) مربوط به جریان از مراکز بازیافت به مراکز دفع می‌باشد. محدودیت (۱۴) مراکز بازیافت موجود را مشخص کرده است و محدودیت (۱۵) معادله متناظر ورودی‌های مراکز دفع از مراکز بازیافت، پالایش و تولید، با حجمی از ضایعات است که در این مراکز، دفع می‌شود. محدودیت (۱۶) نیز بیانگر مراکز دفع موجود می‌باشد. محدودیت‌های (۱۷، ۲۰ و ۲۳) به ترتیب، مربوط به محدودیت ظرفیت مراکز پالایش، دفع و بازیافت است. محدودیت‌های (۱۸، ۲۱ و ۲۴) نیز به ترتیب کمترین حجم ضایعات اقتصادی برای راه‌اندازی هر کدام از مراکز پالایش، دفع و بازیافت می‌باشد. محدودیت‌های ۲۲ و ۲۵ نیز برای این است که در هر مکان به ترتیب بیش از یک ابعاد از مراکز دفع و بازیافت را نمی‌توان تأسیس نمود. محدودیت (۱۹) تضمین می‌کند که ضایعات تنها به مراکز پالایش با قابلیت مناسب فرستاده شود. محدودیت (۲۶) حداقل احتمال دسترسی به مسیرهای منتهی از مراکز تولید به مراکز دفع را نشان می‌دهد. محدودیت (۲۷ و ۲۸) بیانگر این است که در صورتی به یک مسیر مقدار اختصاص می‌یابد که آن مسیر انتخاب شود. محدودیت (۲۹و۳۰) بیانگر انتخاب مسیر از نقطه تولید ضایعات به مرکز پالایش و سپس دفع است در صورتیکه هر یک از مسیرهای جز یعنی مسیر نقطه تولید به مرکز پالایش و نیر از مرکز پالایش به مرکز دفع انتخاب شده باشد. محدودیت‌های (۳۱) تا (۴۴) حدود و نوع متغیرها را مشخص می‌کنند.

۴. رویکرد حل

برای حل مدل ارائه شده، از رویکردی بر اساس روش ال.پی – متریک[۲] توضیح داده شده در [۲۷] استفاده شده است که در آن فاصله بین نقاط مبدأ تعیین شده توسط تصمیم‌گیرنده برای توابع هدف، با ناحیه هدف موجه کمینه می‌شود [۲۸]. در زلنی [۲۹] نشان داده شده است که جواب‌های حاصل از این روش به ازای وزن‌های مثبت، جزئی از مجموعه جواب‌های پارتویی هستند.

در این روش مسأله چند هدفه ابتدا با توجه به هر تابع هدف بصورت جداگانه حل شده و مقدار بهینه هر کدام از توابع هدف مستقل از سایرین به دست می‌آید. سپس مدل در قالب بهینه کردن مجموع اختلاف نرمال شده میان هر تابع هدف با مقدار بهینه متناظرش، مجدداً فرمول نویسی می‌شود. برای مدل پیشنهادی، چهار تابع هدف در نظر گرفته شده است. بر اساس این روش هر تابع هدف بصورت جداگانه حل خواهد شد. فرض می‌شود مقادیر f_i^{best} مقدار بهینه تابع هدف برای $i = 1,...,4$ می‌باشد، حال تابع هدف ال.پی-متریک را می‌توان بصورت زیر فرمول نویسی کرد.

$$\min \ z = \sum_{i=1}^{4} \lambda_i \left(\frac{f_i^{best} - f_i}{f_i^{best}} \right) \qquad (۴۵)$$

در این فرمول نویسی $\sum_{i=1}^{4} \lambda_i = 1$ می‌باشد و $0 \le \lambda_i \le 1$ است. به این ترتیب با این وزن‌دهی مدل به یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط تک هدفه تبدیل شده است که به کمک حل کننده‌های برنامه‌ریزی خطی به شیوه‌ای موثر قابل حل است.

۵. نتایج محاسباتی

در این بخش با در نظر گرفتن سه حالت به بررسی مدل پیشنهادی و نتایج محاسباتی آن پرداخته خواهد شد: در حالت اول بدون در نظرگرفتن تسهیلات موجود از قبیل دفع، بازیافت و پالایش و با تعداد سه بیمارستان اقدام به حل و یافتن نقاط پاراتویی کرده و به

ازای ۱۶ ترکیب وزنی مختلف برای توابع هدف نقاط پاراتویی حاصل خواهد شد. این ۱۶ ترکیب وزنی برگرفته از [۲۴] بصورتی تصادفی ایجاد شده‌اند که در هر ترکیب میزان اهمیت هر تابع هدف نسبت به سایر توابع هدف نشان داده شده است. در حالت دوم با همان اطلاعات و با در نظر گرفتن یک نقطه دفع، پالایش و بازیافت موجود به بررسی اعتبار مدل پرداخته خواهد شد و در حالت سوم نیز با همان اطلاعات حالت دوم و افزایش ابعاد مسأله و در نظر گرفتن ۱۰ بیمارستان و مرکز تولید زباله به بررسی نتایج مدل پرداخته خواهد شد.

برای بدست آوردن جواب، مدل در نرم افزار GAMS 23.8 کدنویسی شده و توسط حل کننده‌ی BARON و کامپیوتری با مشخصات CPU Core 2 Duo 2.4GH ،RAM 4G DDR3 و سیستم عامل ویندوز سون ۳۲ بیتی حل شده است. مدل در بزرگترین حالت (حالت سوم) در زمانی کمتر یک دقیقه به جواب بهینه رسیده است.

۵-۱. حالت اول

در حالت اول برای بدست آوردن نقاط بالقوه برای دفن زباله‌های بیمارستانی ابتدا با استفاده از نرم‌افزار GIS و مطابق محدودیت‌های ارائه شده توسط تورج فتحی [۲] و با در نظر گرفتن ۳ بیمارستان به عنوان مراکز تولید ضایعات و بر اساس نقشه جغرافیایی شهر تهران، نقاط بالقوه برای حالت اول مشخص می‌شود (شکل ۳). در محیط GIS گزینه‌هایی که حداقل معیارهای فنی و زیست محیطی مورد نیاز برای دفن را ندارند حذف می‌شوند [۳۰].

مکان مناسب برای دفع زباله‌های بیمارستانی بر اساس اطلاعات ورودی

شکل ۲. مراکز بالقوه برای دفن زباله بیمارستانی

در ادامه، با در نظر گرفتن سه مرکز پالایش بالقوه با دو تکنولوژی و دو مرکز بازیافت با قابلیت تأسیس با ابعاد بزرگ یا کوچک و عدم وجود نقطه موجود برای مراکز پالایش، دفع و بازیافت و در نظر گرفتن اعداد تصادفی برای پامترهای مسأله اقدام به حل تک تک توابع هدف و بدست آوردن نقاط بهینه پاراتویی شده است. لازم به ذکر است اعداد تصادفی متناسب با داده‌های واقعی شبیه‌سازی شده است و سعی شده است تا از حالت واقعی تبعیت نمایند. در جدول ۲ نتیجه حل هر تابع هدف به تنهایی آمده است.

جدول ۲. حل‌های بهینه هر یک از توابع هدف زمانی که به تنهایی حل گردند

	f_1	f_2	f_3	f_4
مقدار تابع هدف	90157.85	64804.85	107628.50	7.10

برای بدست آوردن نقاط پارتویی ترکیب‌های وزنی زیر در نظر گرفته شده است که در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. ضریب وزنی تخصیص داده شده به هر تابع هدف

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
λ_1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.25	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.7
λ_2	0.1	0.1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.4	0.7	0.25	0.1	0.3	0.3	0.1	0.1	0.4	0.1
λ_3	0.1	0.4	0.7	0.3	0.1	0.3	0.4	0.1	0.25	0.3	0.1	0.3	0.1	0.4	0.1	0.1

λ_4	0.7	0.4	0.1	0.3	0.4	0.2	0.1	0.1	0.25	0.3	0.3	0.1	0.4	0.1	0.1	0.1
مقدار تابع هدف وزنی	4.4356	3.4641	2.1339	3.0021	3.4316	2.5449	2.1043	2.0716	2.8343	3.0907	3.0705	2.1827	3.5643	2.2412	2.21۰۰	2.3396

بعد از دادن ضریب وزنی و داده‌های اولیه، مدل اجرا شد. نتایج به دست آمده، در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴: مکان‌های پیشنهادی احداث

مکان‌های جدید احداث						
مراکز بازیافت با اندازه L		مراکز دفع با اندازه L		مراکز پالایش با تکنولوژی Q		شماره جواب
بزرگ	کوچک	بزرگ	کوچک	دارویی	شیمیایی	
1,2	-	-	1,2	1,2,3	1	1
1	-	2	-	1,2,3	2	2
1	-	2	-	1,2,3	2	3
1	-	2	-	1,2,3	3	4
1	-	2	-	1,2,3	3	5
1	-	2	-	1,2,3	1	6
1	-	2	-	1,2,3	1	7
1	-	2	-	1,2,3	3	8
1	-	2	-	1,2,3	1	9
1	-	2	-	1,2,3	1	10
2	-	2	-	1,2,3	1	11
1	-	2	-	1,2,3	1	12
1	-	2	-	1,2,3	1	13
1	-	2	-	1,2,3	1	14
2	-	2	-	1,2,3	1	15
1	-	2	-	1,2,3	1	16

۵-۲. حالت دوم

در این حالت علاوه بر اطلاعات حالت قبلی یک نقطه دفع موجود با اندازه کوچک و یک نقطه بازیافت با اندازه بزرگ و به علاوه یک نقطه پالایش در نظر گرفته شده است. حل به ازای هر تابع هدف و یک ترکیب وزنی در جدول آمده است که نشان دهنده معتبر بودن مدل در این حالت است. بررسی نتایج حاصل شده از نرم‌افزار گمز به روشنی رفتار درست و منطقی مدل را به نمایش می‌گذارد.

جدول ۵. حل‌های بهینه هر یک از توابع هدف زمانی که به تنهایی حل گردند.

	f_1	f_2	f_3	f_4
نتیجه	41178.20	67530.25	107484.50	27.83

برای حالتی که ضریب وزنی تخصیص داده شده به هر تابع هدف برابر باشد نتیجه حاصله بصورت جدول خواهد بود:

جدول ۶. مکانهای جدید احداث برای حالت دوم

مکان‌های جدید احداث						
مراکز بازیافت با اندازه L		مراکز دفع با اندازه L		مراکز پالایش با تکنولوژی Q		
بزرگ	کوچک	بزرگ	کوچک	شیمیایی	عفونی	$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = 0.25$
1	-	-	1	2,3	-	

علت کاهش نقاط احداث نسبت به حالت اول در در نظر گرفتن مراکزی به عنوان مراکز موجود است که سبب شده است تا از احداث بی مورد مراکز جدید جلوگیری بعمل آید و بهترین حالت را در نظر بگیرد.

۵-۳. حالت سوم

در این حالت با در نظر گرفتن ۱۰ بیمارستان و همان تعداد نقاط بالقوه برای احداث مراکز جدید و مراکز موجود مسأله را در ابعاد بزرگتر مورد ارزیابی قرار داده‌ایم که نتایج آن بصورت جدول است:

جدول ۷. حل‌های بهینه هر یک از توابع هدف زمانی که به تنهایی حل گردند

	f_1	f_2	f_3	f_4
نتیجه	52601.04	238282.20	419167.10	7.97

برای حالتی که ضریب وزنی تخصیص داده شده به هر تابع هدف برابر باشد نتیجه حاصله بصورت جدول خواهد بود.

جدول ۸. مکانهای جدید احداث در حالت سوم

مکان‌های جدید احداث						
مراکز بازیافت با اندازه L		مراکز دفع با اندازه L		مراکز پالایش با تکنولوژی Q		
بزرگ	کوچک	بزرگ	کوچک	شیمیایی	عفونی	$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = 0.25$
-	۱	1	-	1,3	-	

که مجدداً مشاهده می‌شود مدل در این حالت نیز بدرستی عمل کرده است. علت درستی با بررسی نتایج حاصل شده از حل توسط نرم‌افزار گمز قابل بررسی است که رفتار منطقی مدل را به نمایش می‌گذارد.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای مسأله مکان‌یابی- مسیریابی زباله‌های بیمارستانی پیشنهاد شده است. مدل‌های موجود، مکان احداث مراکز دفع، پالایش و بازیافت، مسیر حمل زباله‌های خطرناک و فرضیاتی چون ریسک مسیر حمل ضایعات خطرناک و مکان دفع و پالایش این ضایعات را در نظرگرفته‌اند. در حالی که هیچکدام از مطالعات پیشین معیارهای ریسک، هزینه و قابلیت دسترسی را بصورت همزمان ندیده‌اند. علاوه بر این هیچ شبکه‌ای در مطالعات قبلی، مراکز بیمارستانی، پالایش، بازیافت و دفع زباله را بدین صورت که توانایی حمل مستقیم (ضایعات غیرقابل بازیافت و ضایعاتی که به پالایش نیازی ندارند.) از مراکز تولید به مراکز دفع را داشته باشند در نظر نگرفته است. در این مقاله مکان بهینه احداث از نظر ریسک و هزینه، مسیری با کمترین ریسک و هزینه و بیشترین قابلیت دسترسی تعیین می‌شود. علاوه براین، مدل پیشنهادی تمام ملاحظات از قبیل سازگاری تکنولوژی مراکز پالایش، ظرفیت حداقل و حداکثر برای احداث مراکز مورد نظر، ریسک هر منطقه و هر مسیر و قابلیت اطمینان آنها را نیز در نظر می‌گیرد.

برای حل مدل پیشنهادی با توجه به اهداف و معیارهای چندگانه، از روش ال.پی-متریک استفاده شده است. به این صورت که، ۱۶ ترکیب وزنی متفاوت از توابع هدف در مدل جایگذاری و جواب‌های پارتویی آنها به دست آمده است. در این‌حالت تصمیم‌گیران قادرند متناسب با ترجیحات‌شان و اینکه هر یک از معیارهای هزینه، ریسک و قابلیت اطمینان برایشان چقدر اهمیت دارد، یک نقطه پاراتویی و یک ترکیب جواب را برگزینند.

برای تحقیقات آتی می‌توان مباحث ترافیک، تصادف و غیره و تأثیر آن در مسیریابی را در مدل پیشنهادی لحاظ نمود. با افزایش ابعاد مسأله با توجه به NP-Hard بودن مسأله مکان‌یابی-مسیریابی [۲۴]، بکارگیری روش‌های ابتکاری و فراابتکاری پیشنهاد می‌گردد.

پی‌نوشت

1. Undesirable facilities
2. LP-metric

مراجع

[1] Emek E, Kara BY. Hazardous waste management problem: The case for incineration, Computers & Operations Research, 2007, Vol. 34, pp. 1424-1441.

[2] Fathi T. Environmental criteria of waste disposal centers, presented at the Third National Conference of Waste Management, 1386.

[3] Fatahi A, et al. Statistical monitoring of rare events in healthcare, IJIEPM, 2011, Vol. 22, pp. 243-252.

[4] Wentz CA. Hazardous waste management, 2nd edition, 2 ed, McGraw-Hill New York, 2001.

[5] Alumur S, Kara BY. A new model for the hazardous waste location-routing problem, Computers & Operations Research, 2007, Vol. 34, pp. 1406-1423.

[6] Prüss A, et al. Teacher's Guide: Management of Wastes from Health-care Activities, World Health Organization, 1999.

[7] Peirce JJ, Davidson GM. Linear programming in hazardous waste management, Journal of the Environmental Engineering Division, 1982, Vol. 108, pp. 1014-1026.

[8] Zografos KG, Samara S. Combined location-routing model for hazardous waste transportation

and disposal, Transportation Research Record, 1989.

[9] ReVelle C, et al. Simultaneous siting and routing in the disposal of hazardous wastes, Transportation Science, 1991, Vol. 25, pp. 138-145.

[10] Stowers CL, Palekar US. Location models with routing considerations for a single obnoxious facility, Transportation Science, 1993, Vol. 27, pp. 350-362.

[11] Jacobs TL, Warmerdam JM. Simultaneous routing and siting for hazardous-waste operations, Journal of urban planning and development, 1994, Vol. 120, pp. 115-131.

[12] Wyman MM, Kuby M. Proactive optimization of toxic waste transportation, location and technology, Location Science, 1995, Vol. 3, pp. 167-185.

[13] Current J, Ratick S. A model to assess risk, equity and efficiency in facility location and transportation of hazardous materials, Location Science, 1995, Vol. 3, pp. 187-201.

[14] Giannikos I. A multiobjective programming model for locating treatment sites and routing hazardous wastes, European Journal of Operational Research, 1998, Vol. 104, pp. 333-342.

[15] List G, Mirchandani P. An integrated network/planar multiobjective model for routing and siting for hazardous materials and wastes, Transportation Science, 1991, Vol. 25, pp. 146-156.

[16] Alidi AS. An integer goal programming model for hazardous waste treatment and disposal, Applied Mathematical Modelling, 1992, Vol. 16, pp. 645-651.

[17] Alidi AS. A multiobjective optimization model for the waste management of the petrochemical industry, Applied Mathematical Modelling, 1996, Vol. 20, pp. 925-933.

[18] Nema AK, Gupta SK. Optimization of regional hazardous waste management systems: an improved formulation, Waste Management, 1999, Vol. 19, pp. 441-451.

[19] Nema A, Gupta S. Multiobjective risk analysis and optimization of regional hazardous waste management system, Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management, 2003, Vol. 7, pp. 69-77.

[20] Zhang M, et al. Location-routing model of hazardous materials distribution system based on risk bottleneck, in Services Systems and Services Management, Proccedings of the International Conference on ICSSSM'05, 2005, 2005, pp. 362-368.

[21] Erkut E, et al. A multicriteria facility location model for municipal solid waste management in North Greece, European Journal of Operational Research, 2008, Vol. 187, pp. 1402-1421.

[22] Zhao J. Model and Algorithm for Hazardous Waste Location-Routing Problem, in ICLEM, ed: American Society of Civil Engineers, 2010, pp. 2843-2849.

[23] Xie Y, et al. A multimodal location and routing model for hazardous materials transportation, Journal of Hazardous Materials, 2012, Vol. 227-228, pp. 135-141.

[24] Samanlioglu F. A multi-objective mathematical model for the industrial hazardous waste location-routing problem, European Journal of Operational Research, 2013, Vol. 226, pp. 332-340.

[25] Ardjmand E, Weckman G, Park N, Taherkhani P, Singh M. Applying genetic algorithm to a new location and routing model of hazardous materials, International Journal of Production Research, 2014, pp. 1-13.

[26] Jabalameli MS, Bozorgi-Amiri A, Heydari M, A multi-objective possibilistic programming model for relief logistics problem, IJIEPM, 2011, Vol. 22, pp. 66-76.

[27] Bozorgi-Amiri A, Jabalameli MS, Mirzapour Al-e-Hashem SMJ. A multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty, OR Spectrum, 2011, Vol. 19, pp. 1-29.

[28] Yu PL. A class of solutions for group decision problems, Management Science, Vol. 19, 1973, pp. 936-946.

[29] Zeleny M. Compromise programming, Multiple criteria decision making, 1973, Vol. 1245, pp. 262-301.

[30] Mohseni N, Behzadian and Ardeshir. Bridge Construction site location by using analytical hierarchy process and fuzzy logic in GIS, IJIEPM, 2011, Vol. 22, pp. 1-12.