Journal of Operational Research in its Applications
Vol.23, NO.1, Spring 2026
ISSN: 2251-7286
DOI: 10.71773/jamlu-2026-1-2345

Landfill Site Selection in Mazandaran Province Using a Hybrid Approach of Mathematical Modeling and Fuzzy Analytic Hierarchy Process

S.H. Nasseri[1*], S. Mansouri[2]
[1] *Associate Professor, Department of Mathematics, University of Mazandaran, Babolsar, Iran,*
[2] *Ph.D. Student, Department of Mathematics, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.*

Research Paper

Received: 24 September 2025
Accepted: 10 February 2026

Abstract: Municipal solid waste disposal has increased significantly in recent decades, mainly due to population growth and lifestyle changes. Proper landfill site selection plays a key role in urban solid waste management. This study evaluates the spatial suitability of existing landfill sites and identifies optimal locations for new disposal facilities in Mazandaran Province, Iran. A two-stage hybrid approach was applied. In the first stage, Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) was used in a Geographic Information System (GIS) environment to determine suitable areas based on multiple environmental and spatial criteria. In the second stage, a capacitated P-median model was formulated to design an optimal waste management network. To reduce infeasibility, the coverage radius constraint was defined in a fuzzy form using an acceptance level (α). The results show that the system is feasible only when 12 facilities are selected with a coverage radius of 160 km, including 7 main sites with high capacities and 5 transfer stations. The proposed hybrid framework can support regional solid waste management planning.

Introduction: Landfill site selection is a complex problem that involves environmental, spatial, and economic considerations. In many regions, landfill sites have been established without comprehensive analysis, leading to environmental problems and high operational costs. Mazandaran Province, due to its dense population and sensitive natural conditions, faces serious challenges in municipal solid waste disposal. Recent research has shown that combining multi-criteria decision-making methods with optimization models in a hybrid approach can improve landfill planning. However, strict spatial constraints in location models often result in infeasible solutions. Therefore, more flexible modeling approaches are required. This study proposes a hybrid FAHP–GIS and P-median approach to address these issues.

Materials and Methods: This study was conducted as a case study in Mazandaran Province. In the first stage, relevant criteria were weighted using FAHP based on expert opinions, and suitability maps were generated in a GIS environment. Suitable areas were then extracted as candidate landfill sites. In the second stage, a capacitated P-median model was developed to minimize total costs subject to demand satisfaction, capacity, and facility number constraints. The coverage radius was modeled as a fuzzy constraint using an α-cut approach to improve

---

* *Corresponding Author: Nasseri@umz.ac.ir*

feasibility. This hybrid modeling framework combines spatial analysis and optimization.

Results and Discussion: The FAHP–GIS analysis showed that a large portion of Mazandaran Province is unsuitable for landfill development. Only a limited number of suitable locations were identified. Optimization results indicate that feasible solutions are obtained only when 12 facilities are selected with a coverage radius of 160 km. The optimal network consists of 7 main sites with high capacities and 5 transfer stations with lower capacities. These results reflect the spatial limitations of the current waste management system and demonstrate the efficiency of the hybrid modeling approach.

Conclusions: This study shows that combining FAHP–GIS analysis with a capacitated P-median model in a hybrid framework provides a practical and realistic approach for landfill site selection. The results highlight the need for a redesigned network with fewer, higher-capacity facilities. This approach can be applied to other regions with similar conditions.

Keywords: Location Problem, Site Selection, Fuzzy Mathematical Programming, P-Median Problem, Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP), Geographic Information System (GIS).

مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال بیست و سوم، شماره اول (پیاپی ۸۸)،بهار ۰۵، ص ص ۱۴۴-۱۱۹
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱
DOI: 10.71773/jamlu-2026-1-2345

مکان‌یابی سایت‌های دفن زباله در استان مازندران با استفاده از رویکرد تلفیقی مدلسازی ریاضی و روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

سید هادی ناصری[1*]، سمیرا منصوری[2]
۱-دانشیار، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران
۲-دانشجوی دکتری، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

رسید مقاله: ۲ مهر ۱۴۰۴
پذیرش مقاله: ۲۱ بهمن ۱۴۰۴

چکیده

دفع زباله‌های شهری در قرن حاضرافزایش یافته است که بیشتر به دلیل افزایش جمعیت و تغییر در سبک زندگی است. مکانیابی صحیح یک موضوع مهم درمدیریت پسماند جامد شهری می‌باشد. این مطالعه با هدف بررسی وضعیت مکانی سایت های فعلی دفن زباله در استان مازندران ومکانیابی برای سایت های جدید انجام شده است. این پژوهش به صورت مطالعه موردی دراستان مازندران انجام شد. در مرحله نخست، ازترکیب روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شد و در مرحله دوم، مساله مکانیابی با استفاده از مدل P-median با ظرفیت محدود فرموله شد. به‌منظور افزایش انعطاف‌پذیری مدل و رفع مشکل نشدنی‌بودن، قید شعاع پوشش به‌صورت فازی– انعطاف پذیر و مبتنی بر سطح پذیرش (α) مدل‌سازی شد. نتایج نشان داد که ساختار بهینه شبکه مدیریت پسماند تنها در صورت انتخاب ۱۲ سایت و شعاع پوشش ۱۶۰ کیلومتر شدنی است و شامل ۷ سایت مادر با ظرفیت بالا و ۵ ایستگاه انتقال با ظرفیت محدود می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که رویکرد تلفیقی انجام‌شده قادر است ضمن شناسایی واقع‌بینانه محدودیت‌های مکانی، ساختار بهینه و اجرایی شبکه مدیریت پسماند را در مقیاس منطقه‌ای تعیین کند. این رویکرد با کاهش تعداد سایت‌ها، تمرکز ظرفیت در سایت‌های مادر و تعریف ایستگاه‌های انتقال، می‌تواند به عنوان چارچوبی کارآمد برای بازطراحی شبکه دفن زباله در استان مازندران و سایر مناطق با شرایط مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: مساله مکانیابی، انتخاب سایت، برنامه‌ریزی ریاضی فازی، مساله p- میانه، تحلیل سلسله مراتبی فازی، سیستم اطلاعات جغرافیایی.

۱ مقدمه

استان مازندران در شمال ایران واقع شده است که بین ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۸ دقیقه عرض شمالی و طول جغرافیایی که بین ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار دارد. این

* عهده‌دار مکاتبات
آدرس الکترونیکی: Nasseri@umz.ac.ir

استان دارای شرایط حساس از نظر طبیعی و اکولوژیکی است. جنگل‌های هیرکانی از با ارزش‌ترین و کهن‌ترین جنگل‌های جهان است که ارزش زیستی فراوانی دارد. این جنگل در شمال ایران و جنوب سواحل دریای خزر واقع شده است که حدود ۶ درصد از مساحت ایران را به خود اختصاص داده است. این جنگل از گونه‌های نادر درختان و گیاهان تشکیل شده است و پستانداران و پرندگان مختلفی در آن لانه گزیده‌اند که در نهایت آن را به اکوسیستمی کامل تبدیل کرده است [۱]. از طرف دیگر دریای خزر و رشته کوه های البرز نیز در شمال ایران و در استان زیبا و توریستی مازندران قرار دارد. بنابراین استان مازندران شرایط جغرافیایی و اکولوژیکی بسیار حساسی دارد که علاوه بر این دارای زمین‌های کشاورزی و شالیزارهای زیادی می‌باشد. همان‌طور که گفته شد مازندران استانی توریستی است که سالانه میلیون ها گردشگر این استان را به عنوان به عنوان مقصد سفر خود انتخاب می‌کنند [۲]. در ایران به طور متوسط روزانه حدود ۷۰۰ گرم زباله تولید می‌شود که این رقم در مازندران به حدود ۱ کیلوگرم در روز افزایش پیدا می‌کند. به طور طبیعی وقتی جمعیت منطقه‌ای بیشتر می‌شود حجم زباله تولیدی در آن افزایش پیدا می‌کند که ناشی از حضور گسترده گردشگران در استان می‌باشد. این عدد گاهی در ایام تعطیلات به حدود ۲ کیلوگرم در روز به ازای هر نفر افزایش می‌یابد. دفع زباله در این مناطق بصورت سنتی و کاملا قدیمی انجام می‌شود تقریبا بیشتر زباله‌ها در حاشیه سواحل و رودخانه‌ها و در دل جنگل‌های با ارزش هیرکانی دفع می‌شوند که باعث ورود شیرابه به آب و خاک این منطقه شده است [۳]. سطح آب های زیر زمینی و سفره‌های آبی دراین منطقه بالا است و به شدت تحت تاثیر نفوذ شیرابه ها قرار گرفته است و این زباله در این طبیعت دیرینه و کم نظیر سکنی گزیده است و منجر به اثرات مخرب زیست محیطی شده است.

تحقیقات بسیاری در سال‌های اخیردر زمینه مکانیابی انجام شده است. وو و همکاران [۴] یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی مبتنی بر TODIM و اعداد فازی شهودی مثلثی را برای تعیین مکان‌های بهینه برای نیروگاه‌های ذخیره‌سازی پمپ باد-PV آب دریا معرفی کرد. آزاده و همکاران [۵] یک رویکرد سلسله مراتبی یکپارچه مبتنی بر طبقه بندی عددی، تجزیه و تحلیل اجزای اصلی و تحلیل پوششی داده‌ها را برای تعیین مکان های بهینه برای نیروگاه‌های خورشیدی ایجاد کردند. ادریس و همکاران [۶]یک مدل بهینه‌سازی فضایی یکپارچه بر اساس سیستم اطلاعات جغرافیایی و برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای زنجیره تامین تاسیسات تولید برق معرفی کردند. در مطالعه آنها، هدف به حداقل رساندن هزینه کلی و انتشار گازهای گلخانه ای و در عین حال شناسایی مناسب‌ترین مکان‌ها برای تاسیسات پیش تصفیه است. جونگ و همکاران [۷] رویکردی مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی و تجزیه و تحلیل تصمیم گیری چندمعیاره برای شناسایی مناطق بهینه برای تاسیسات زیست توده پیشنهاد کرد. حبیبی و همکاران [۸] یک مدل بهینه‌سازی روبوست چندهدفه برای یک سیستم جامع مدیریت زباله پیشنهاد کردند. این مدل به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا مکان‌های بهینه برای بازیافت و تاسیسات دفع زباله را تعیین کنند. استوبینگ و همکاران [۹] از یک استراتژی بهینه‌سازی برای تعیین اندازه و مکان بهینه نیروگاه‌های بیوانرژی با در نظر گرفتن جنبه‌های زیست محیطی و اقتصادی استفاده کردند. جئونگ و رامیرز-گومز [۱۰] از تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی و دیمتل‌فازی برای تعیین مکان‌های مناسب برای گیاهان زیست توده با در نظر گرفتن معیارهای محیطی، ژئوفیزیکی و اجتماعی-اقتصادی

استفاده کردند. ژائو و همکاران [۱۱] از یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح ۰- ۱برای شناسایی مکان های بهینه نیروگاه‌های زیست توده و طراحی زنجیره تامین مواد اولیه آنها استفاده کردند. داس و همکاران [۱۲] از اعداد فازی مثلثی در مقادیر سمت راست و ضرایب در تابع هدف و محدودیت‌ها برای منعکس کردن عدم قطعیت استفاده کردند. پرز-کا ندو و همکاران [۱۳] با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی‌خطی کاملاً فازی، به عدم دقت در یک مساله زمان‌بندی پروژه پرداخت. از طرف دیگر ناصری و ابراهیم نژاد به طور مفصل در کتابشان به انواع مدل‌های برنامه‌ریزی‌خطی‌فازی و روش‌های حل آن پرداختند [۱۴]. در این مطالعه با استفاده از تلفیق روش تصمیم‌گیری چند معیاره (روش سلسله مراتبی فازی) در سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS و مدل مکانیابی با ظرفیت محدود مبتنی بر مساله P-Median به بررسی و مکانیابی سایت های دفن زباله استان مازندران پرداخته شد. در ادبیات تحقیق، مکان‌یابی تسهیلات با در نظر گرفتن شعاع پوشش و شرایط عدم‌قطعیت مورد توجه قرار گرفته است. قاسمی و همکاران [۱۵] با ارایه یک مدل مکان‌یابی تسهیلات امدادی با شعاع پوشش متغیر، نشان دادند که اعمال شرایط عدم‌قطعیت می‌تواند به تصمیم‌گیری واقع‌بینانه‌تر در طراحی شبکه‌های خدماتی منجر شود. ناصری و همکاران یک مدل ریاضی چندهدفه برای مساله مکانیابی- مسیریابی وسایل نقلیه با قیود فازی انعطاف‌پذیر ارایه کردند که اهداف آن حداقل کردن هزینه‌های مربوط به استقرار مراکز عرضه کاندید، هزینه ثابت استفاده از وسایل نقلیه و هزینه حمل و نقل و همچنین حداکثر کردن رضایت مشتری از طریق حداقل کردن هزینه‌های کمبود و کاهش اثرات مخرب زیست محیطی می‌باشد [۱۶]. همچنین غفاری فر و همکاران یک مدل مکانیابی - مسیریابی برای مساله مدیریت پسماند تحت شرایط فازی انعطاف‌پذیر ارایه کردند[۱۷] .

۲ روش حل مساله

این مطالعه در دو مرحله انجام شده است در مرحله اول با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در سیستم اطلاعات جغرافیایی مکان های مناسب و نامناسب سایت های دفن در استان مازندران تعیین شد سپس در مرحله دوم پژوهش، مساله انتخاب بهینه و کاهش تعداد سایت‌ها از میان گزینه‌های شناسایی‌شده مطرح می‌شود. به‌منظور پاسخ‌گویی به این نیاز تصمیم‌گیری، یک مدل بهینه‌سازی مکان‌یابی با ظرفیت محدود مبتنی بر مساله P -Median توسعه داده شد [۱۸] که هدف آن تعیین تعداد محدودی از سایت‌های منتخب به‌گونه‌ای است که ضمن پوشش تقاضای کل استان، مجموع هزینه‌های حمل‌ونقل و احداث حداقل گردد.

۲-۱ گام‌های اساسی در این مطالعه موردی در مرحله اول پژوهش

گام ۱. تعیین و تعریف هدف مساله: مکانیابی سایت های زباله در استان مازندران

گام ۲. تعیین معیارهای مساله: در این مطالعه از ۱۲ لایه اصلی اطلاعاتی جغرافیایی استان مازندارن [۱۹،۲۰] وهمچنین قوانین و استانداردهای زیست محیطی [۲۱] استفاده شده است که این لایه ها عبارتند از توپوگرافی، خطوط ارتباطی، خاک شناسی، کاربری اراضی، آب های سطحی، بارش، آب های زیرزمینی، زمین شناسی، جاذبه های طبیعی و گردشگری، جمعیت، شهرو روستا، خطوط انتقال نیرو می‌باشد.

گام ۳. آنالیز و فرآورده‌سازی داده‌ها در محیط GIS : فرآیند آماده‌سازی لایه‌ها و استانداردسازی نقشه‌ها انجام شود به‌طوری‌که ازفاصله اقلیدسی برای محاسبه فاصله استفاده شود.

گام ۴. ماتریس مقایسات زوجی حسب نظر خبرگان محیط زیست و آبخیزداری استان تکمیل و امتیازدهی شود و سپس وزن دهی به لایه ها از طریق نرم افزار IDRISI TERRSET استخراج شود.

گام ۵. از تابع عضویت فازی برای همه‌ی لایه ها استفاده شود. انتخاب نوع تابع فازی برای هر لایه براساس ماهیت داده ها و تاثیر آن در مساله صورت گیرد.

گام ۶. تمامی لایه‌های فازی با هم تجمیع و همپوشانی شود.

گام ۷. نقشه نهایی براساس کلاس بندی در دو سطح تولید شود.

شایان ذکر است که در گام ۲ بعضی ازاین معیارها دارای زیرمعیار نیز می‌باشند به عنوان مثال لایه کاربری اراضی شامل زیر معیارهایی چون اراضی آبی، شهر، مرتع، جنگل، باغ، کشاورزی می‌باشد که به صورت کامل در بخش ماتریس مقایسات زوجی آورده شده است. و هم چنین در گام ۶ در این هم پوشانی از عملگر FUZZY AND که همان مفهوم توابع اشتراک فازی استفاده می‌شود. همان‌طور که از مفهوم اشتراک فازی برداشت می‌شود استفاده از این عملگر برای تولید نقشه نهایی منجر به یک نتیجه بسیار محافظه‌کارانه می‌شود که استانداردهای محیط زیستی را می‌تواند برآورده کند. لازم به ذکر است که ماتریس مقایسات زوجی در این پژوهش، بر اساس امتیازدهی خبرگان حوزه منابع طبیعی و آب خیز داری استان مازندران تهیه و تکمیل شد. این ماتریس به‌عنوان ورودی مدل مکانیابی، زمینه لازم برای تعیین وزن معیارها و تولید نقشه نهایی مکان‌های مناسب و نامناسب دفن پسماند در استان را فراهم می‌کند.

۲-۲ روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یکی از برجسته‌ترین روش‌های ریاضی برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه بوده و به طور گسترده در ادبیات تحقیق در عملیات مورد مطالعه قرار گرفته است هم چنین برای حل مسایل بیشماری در دنیای واقعی به کار گرفته شده است. AHP انقلابی در نحوه حل مسایل پیچیده تصمیم‌گیری ایجاد کرده و در طی سه دهه به طور قابل توجهی تکامل یافته است که در این میان روش‌های ترکیبی در مطالعات به قضاوت های کارشناسی کمتری نسبت به AHP دارند [۲۲]. فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی یک نظریه اندازه‌گیری از طریق مقایسه‌های زوجی است و برای استخراج مقیاس‌های اولویت از قضاوت‌های خبرگان استفاده می‌کند.

۲-۳ تشکیل ماتریس مقایسات زوجی

دسته‌بندی لایه ها و تشکیل ماتریس مقایسات زوجی و وزن دهی به لایه ها در زیر آورده شده است.

جدول۱. ماتریس وزنی لایه های اصلی

		معیارهای اصلی												
		توپوگرافی	خطوط ارتباطی	خاک	کاربری اراضی	آب های سطحی	بارش	آب های زیر زمینی	زمین شناسی	گردشگری	جمعیت	شهر و روستا	خطوط انتقال نیرو	وزن
A	توپوگرافی	۱												۰/۰۳۲۴
B	خطوط ارتباطی	۲	۱											۰/۰۳۹۲
C	خاک	۲	۳	۱										۰/۰۴۹۳
D	کاربری اراضی	۴	۳	۳	۱									۰/۰۸۲۷
E	آب های سطحی	۲	۴	۲	۳	۱								۰/۰۹۶۹
F	بارش	۴	۳	۳	۴	۲	۱							۰/۱۳۶۸
G	آب های زیر زمینی	۱/۳	۱/۴	۱/۳	۱/۴	۱/۷	۱/۳	۱						۰/۰۲۳۸
H	زمین شناسی	۳	۲	۳	۱/۳	۱	۱/۵	۲	۱					۰/۰۵۳۴
I	گردشگری	۳	۲	۲	۱/۲	۱/۲	۱/۴	۲	۲	۱				۰/۰۶۰۲
J	جمعیت	۶	۴	۵	۳	۴	۲	۷	۶	۴	۱			۰/۱۹۶۸
K	شهر و روستا	۶	۳	۴	۳	۲	۴	۶	۵	۳	۲	۱		۰/۲۰۸۳
I	خطوط انتقال نیرو	۱/۴	۱/۲	۱/۵	۱/۳	۱/۴	۱/۳	۱/۵	۱/۲	۱/۴	۱/۴	۱/۴	۱	۰/۰۲۰۲

Consistency ratio =۰/۰۹ (نرخ سازگاری)

براساس نتایج حاصل از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، معیارهای شهر، روستا و جمعیت حدود ۴۰ درصد از کل وزن تصمیم‌گیری را به خود اختصاص داد. این اولویت‌گذاری در غالب بودن اهمیت فاکتورهای جمعیتی در فرآیند مکانیابی بیانگر آن است که مدل در راستای کاهش بیماری ها و آلودگی‌ها برای انسان ها از منظر بهداشتی، اجتماعی، زیبایی‌شناسی، کاهش تعارضات محلی تاکید دارد. همچنین عوامل هیدرولوژیک شامل آب‌های زیرزمینی، آب های سطحی و بارش حدود ۲۵ درصد از کل وزن را تشکیل دادند که نشان‌دهنده توجه ویژه به حفاظت ازمنابع آبی و کاهش ریسک نشت شیرابه به آب های زیرزمینی و سطحی است. نرخ سازگاری ۰/۰۹محاسبه شد که کمتر ازحد آستانه ی ۰/۱ می‌باشد و نشان دهنده اعتبار منطقی و انسجام نظرات خبرگان در مقایسات زوجی است. توزیع وزن‌های به‌دست آمده با هدف پژوهش و شرایط اقلیمی استان مازندران هم راستا می‌باشد.

جدول ۲. ماتریس وزنی لایه کاربری اراضی

		زیرمعیارها						
		اراضی آبی	شهر	مرتع	جنگل	باغ	کشاورزی	وزن
A	اراضی آبی	۱						۰/۴۵۰۴
B	شهر	۱/۳	۱					۰/۳۰۲۴
C	مرتع	۱/۹	۱/۷	۱				۰/۰۲۶۹
D	جنگل	۱/۵	۱/۵	۵	۱			۰/۱۱۱۵
E	باغ	۱/۷	۱/۷	۴	۱/۴	۱		۰/۰۵۴۳
F	کشاورزی	۱/۷	۱/۷	۳	۱/۲	۱	۱	۰/۰۵۴۴

Consistency ratio = ۰/ ۰۸

در لایه کاربری اراضی زیرمعیارهای اراضی آبی، شهر و جنگل به ترتیب اهمیت بیشتری نسبت به سایرزیر معیارها دارد و این وزن ها هم جهت با هدف پژوهش به‌دست آمد.

جدول۳. ماتریس وزنی لایه زمین شناسی

		زیرمعیارها				
		دوره اول	دوره دوم	دوره سوم	دوره چهارم	وزن
A	دوره اول	۱				۰/۰۴۴۵
B	دوره دوم	۴	۱			۰/۱۱۱۳
C	دوره سوم	۶	۳	۱		۰/۲۳۴۳
D	دوره چهارم	۸	۶	۴	۱	۰/۶۰۹۹

Consistency ratio =۰/ ۰۸

به طور کلی، استان مازندران از نظر زمین‌شناسی تحت تاثیر دوره‌های مختلفی قرار گرفته است. اما دوره چهارم که به دوران کواترنری معروف است اهمیت ویژه‌ای درارزیابی و مکانیابی سایت‌های دفع زباله در استان مازندران دارد. دلایل تمرکز بر دوره چهارم زمین‌شناسی، ویژگی‌های خاصی چون رسوب گذاری، هیدروژئولوژی و مخاطرات مرتبط به آن است. این دوره شامل رسوبات آبرفتی ، دشت های ساحلی، تشکیل جلگه ها و تغییرات اقلیمی پس از آخرین یخبندان است که بخش وسیعی از گستره استان مازندران را فرا گرفته است. به همین جهت دوره چهارم بیشترین وزن را در لایه زمین شناسی در جهت رسیدن به هدف پژوهش به خود اختصاص داد.

جدول٤. ماتریس وزنی لایه جاذبه های طبیعی و گردشگری

		زیرمعیارها			
		پناه گاه حیات وحش	مناطق حفاظت شده	پارک ملی	وزن
A	پناه گاه حیات وحش	۱			۰/۰۷۵۲
B	مناطق حفاظت شده	۳	۱		۰/۱۸۳
C	پارک ملی	۸	۵	۱	۰/۷۴۱۸

Consistency ratio = ۰/۰۸

طیف وسیعی از استان مازندران شامل اکوسیستم های طبیعی جنگل‌ها، رودخانه‌ها، آبشارها و... می‌باشد که دلیل اهمیت بالای پارک‌های ملی را نشان می‌دهد. مناطق حفاظت‌شده شامل جنگل‌های حفاظت‌شده، تالاب‌های ملی و بین المللی، مناطق شکارممنوع و... می‌باشد. پناهگاه‌های حیات‌وحش، زیستگاه‌های مهم گونه‌های جانوری و گیاهی در معرض خطر هستند که وزن‌های به‌دست آمده این دو زیرمعیار همچنان حساسیت‌های زیست محیطی را برای مکان های دفع زباله نشان می‌دهد.

جدول٥. ماتریس وزنی لایه ارتفاع

			زیرمعیارها					
			کمتر از ۱۰۰۰	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۱۵۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۲۵۰۰	به بالا ۲۵۰۰	وزن
۱	A	کمتر از ۱۰۰۰	۱					۰/۳۸۷۱
۲	B	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۱	۱				۰/۲۷۰۵
۳	C	۱۵۰۰-۲۰۰۰	۱/۳	۱	۱			۰/۲۰۱۱
۴	D	۲۰۰۰-۲۵۰۰	۱/۵	۱/۳	۱/۳	۱		۰/۱۱۲۶
۵	E	به بالا ۲۵۰۰	۱/۹	۱/۹	۱/۵	۱/۹	۱	۰/۰۲۸۷

Consistency ratio = ۰/۰۸

جدول٦. کلاس‌بندی لایه ارتفاع

کد		
۱	کمتر از ۱۰۰۰	A
۲	۱۰۰۰-۱۵۰۰	B
۳	۱۵۰۰-۲۰۰۰	C
۴	۲۰۰۰-۲۵۰۰	D
۵	به بالا ۲۵۰۰	E

لایه ارتفاع استان مازندران درچهار سطح کلاس‌بندی شد که هر کد معرف یک سطح است. با توجه به شرایط اقلیمی استان، درمناطق پایین دست زمین های کشاورزی، شالیزارها، سفره‌های آب زیرزمینی و مناطق جمعیتی قرار دارد. به همین دلیل مناطق با ارتفاع پایین وزن بیشتری را نسبت به مناطق بالادست به خود اختصاص داد.

جدول۷. ماتریس وزنی لایه جمعیت

		زیرمعیارها				
		۸-۲۰	۲۰-۱۰۰	۱۰۰-۲۰۰	۲۰۰-۳۲۰	وزن
A	۸-۲۰	۱				۰/۰۵۲
B	۲۰-۱۰۰	۳	۱			۰/۰۹۸۳
C	۱۰۰-۲۰۰	۵	۴	۱		۰/۲۴۸۳
D	۲۰۰-۳۲۰	۷	۶	۴	۱	۰/۶۰۱۴

Consistency ratio =۰/۰۹

لایه جمعیت استان در چهار سطح ۲۰-۸ هزار نفر،۱۰۰-۲۰ هزار نفر، ۲۰۰تا۱۰۰ هزار نفر و ۳۲۰-۲۰۰ هزار نفر کلاس‌بندی شد مناطق پرجمعیت وزن بیشتری را به خود اختصاص دادند.

جدول۸. ماتریس وزنی آب های زیر زمینی

		زیرمعیارها				
		کربنات نمک دار	کربنات گوگرد دار	کلردار ها	کربنات کلسیم دار	وزن
A	کربنات نمک دار	۱				۰/۰۴۳۵
B	کربنات گوگرد دار	۷	۱			۰/۱۸۱۶
C	کلردار ها	۴	۱/۵	۱		۰/۱۸۷
D	کربنات کلسیم دار	۹	۴	۴	۱	۰/۵۸۸

Consistency ratio = ۰/۰۶

با توجه به مواد تشکیل دهنده آب های زیر زمینی در استان مازندران و میزان پراکندگی منابع آبی حاوی این مواد در چهار سطح، دسته کربنات کلسیم دار دارای وزن بالاتری نسبت به بقیه شد.

۲-٤ اعمال توابع عضویت به لایه‌ها

در این پژوهش از سه نوع تابع عضویت فازی شامل توابع بزرگ[1]، کوچک[2] و خطی[3] با هدف نرمال‌سازی داده‌ها انجام شد. انتخاب نوع تابع عضویت برای هر لایه اطلاعاتی بر اساس ماهیت داده ها، نقش آن در مطلوبیت مکانی و در راستای هدف تصمیم گیری انجام گرفت. این سه تابع عضویت Large، Small وLinear به ترتیب با فرمول‌های ریاضی (۱) تا (۳) در زیر آورده شد [۲۳]:

$$\mu(x)=\frac{1}{1+\left(\frac{x}{f_2}\right)^{-f_1}} \tag{1}$$

$$\mu(x)=\frac{1}{1+\left(\frac{x}{f_2}\right)^{f_1}} \tag{2}$$

$$\mu(x)=\begin{cases} 0 & if\ \ x<\min x \\ \dfrac{x-\min x}{\max x-\min x} & if\ \min x\le x\le \max x \\ 1 & if\ \ x>\max x \end{cases} \tag{3}$$

[1] Large
[2] Small
[3] Linear

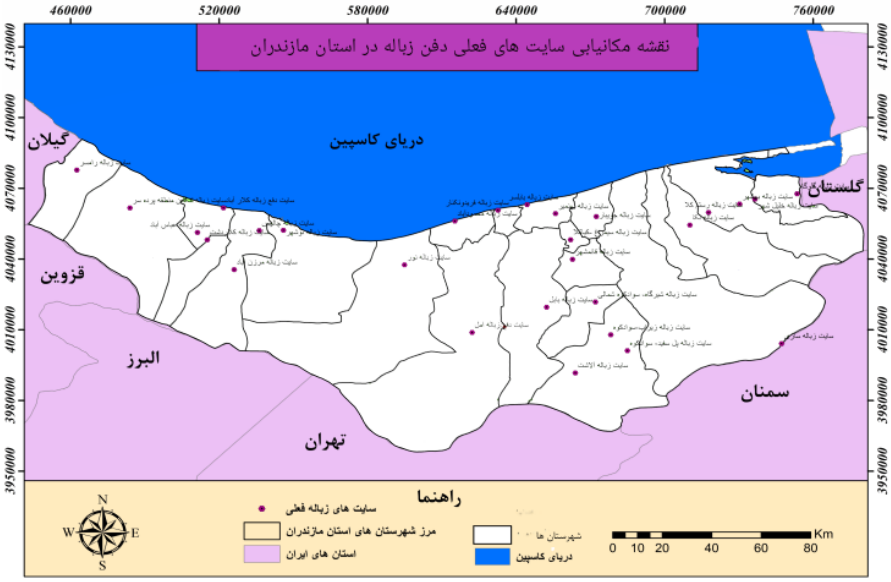
که در آن $\mu(x)$ تابع عضویت، f_1 پارامتر پراکنش[1]، f_2 نقطه میانی[2]، $\min x$ نقطه ای است که درجه عضویت آن به صفر و $\max x$ نقطه است که در آن درجه عضویت به یک می‌رسد. نمودارهای زیر توابع عضویت فازی را نشان می‌دهند. توابع عضویت فازی Large و Small براساس دو پارامتر نقطه میانی و پراکنش تعریف می‌شوند. نقطه میانی همان نقطه‌ای است که مقدار تابع عضویت در آن به ۰/۵می‌رسد و هم چنین محل گذاراصلی این توابع می‌باشد. پارامتر پراکنش گستردگی و سرعت این گذار را کنترل می کند به‌طوری‌که هر چه مقدار پارامتر پراکنش کوچک‌تر باشد تغییر عضویت سریع‌تر و متمرکزتراتفاق می‌افتد (به‌صورت پله‌ای و ناگهانی) و در مقابل با بزرگ‌تر شدن پارامتر پراکنش، تغییرات به‌صورت تدریجی و ملایم‌تر رخ می‌دهد.

۲-۵ همپوشانی لایه‌ها

عملگرهای فازی در شرایط عدم قطعیت یکی از مهم‌ترین ابزارهای مدلسازی در مسایل دنیای واقعی هستند. انتخاب عملگر مناسب، براساس هدف پژوهش و ماهیت داده‌ها نقش اساسی و کلیدی در تعیین نتیجه نهایی دارد. عملگرهای فازی درمحیط GIS در ابزار Fuzzy Overlay قرار دارند. دراین مطالعه از عملگر اشتراک فازی استفاده شد تا تطابق هم زمان همه معیارها و قوانین و الزامات محیط زیستی تضمین شود. این عملگر به دلیل ماهیت محافظه‌کارانه باعث می‌شود که درجه عضویت پایین در هر معیار، عضویت نهایی را کاهش دهد بنابراین مناطقی که در کلیه معیارها درجه عضویت مطلوبی کسب کرده باشند به عنوان مکان های مناسب شناسایی می‌شوند. با توجه به تراکم بالای جمعیت پایین دست، حساسیت‌های اکولوژیکی و گستردگی منابع آبی در نواحی پایین دست اقلیم استان مازندران، استفاده از این عملگر منجر به شناسایی مکان‌های بسیار محدودی در ارتفاعات بالاتر شد. این نتیجه اگر چه از نظر مساحت پیشنهادی محدود است اما از نظر تطابق با قوانین زیست محیطی و اصول پایداری از اعتبار بالایی برخوردار است و پیام روشنی را برای مدیریت پسماند استان ارایه می‌دهد. بنابراین در گام ششم از این مساله، تمامی لایه‌های به‌دست آمده از گام پنجم با یکدیگر تجمیع و همپوشانی می‌شوند و در نهایت نقشه نهایی تحت عنوان مکانیابی سایت های دفن زباله در استان مازندران با کلاس بندی در ۲ سطح به عنوان خروجی مساله در این مرحله تولید می‌شود.

[1] spread
[2] midpoint

شکل ۱. منطقه مورد مطالعه (نقشه استان مازندران)



شکل ۲. نقشه مکانیابی سایت های فعلی دفن زباله استان مازندران

نقشه بالا ۲۸ سایت فعلی دفن زباله در استان مازندران را نشان می‌دهد. بررسی نقشه سایت‌های دفن زباله فعال استان نشان می‌دهد که اغلب این سایت‌ها در مناطق نامناسب از نظر معیارهای زیست‌محیطی و مکانی قرار گرفته‌اند. این تمرکز نامطلوب، لزوم استفاده از یک چارچوب تصمیم‌گیری علمی و چندمعیاره برای شناسایی مکان‌های مناسب را آشکار می‌سازد. از این‌رو، در ادامه پژوهش، مکان‌یابی سایت‌های جدید با استفاده از روش فازی AHP در محیط GIS انجام شده است.

شکل۳. نقشه مکان یابی سایت های دفن زباله در استان مازندران

شکل بالا نقشه پلیگون‌شده سایت‌های دفن زباله در استان به عنوان خروجی این مرحله می‌باشد که با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در محیط GIS به‌دست آمد. تعداد ۲۶ لکه جغرافیایی(که به رنگ قرمز در نقشه نشان داد شد) با قابلیت بالقوه برای استقرار سایت دفن زباله در سطح استان مازندران شناسایی شد. این لکه‌ها، که عمدتاً در نواحی مرتفع‌تر استان متمرکز هستند، به‌عنوان گزینه‌های اولیه مکان‌یابی مطرح گردیدند. (رنگ سبز که تقریبا کل گستره جغرافیایی استان را در برگرفته نشان‌دهنده نامناسب بودن مکان برای دفن زباله می‌باشد. لازم به ذکر است که در قسمت راهنما نقشه سایت‌های فعلی دفن زباله استان که شامل ۲۸ سایت می‌باشد با استفاده از نماد نقطه‌ای شش‌ضلعی به رنگ بنفش نمایش داده شده‌اند.). با این حال، استقرار هم‌زمان سایت دفن زباله در تمامی این لکه‌ها از نظر اقتصادی، زیست‌محیطی و مدیریتی امکان‌پذیر نبوده و منجر به افزایش چشمگیر هزینه‌های احداث و بهره‌برداری خواهد شد. از این‌رو، درمرحله دوم پژوهش(بخش۴)، مساله انتخاب بهینه و کاهش تعداد سایت‌ها از میان گزینه‌های شناسایی‌شده مطرح می‌شود.

۳ مدل مساله مکانیابی تسهیلات با ظرفیت‌های محدود[1](CPLPM)

در این بخش، مساله مکان‌یابی ظرفیت‌های محدود (CPLP) با تسهیلات چندگانه در یک مکان (CPLPM) معرفی می‌شود که حالتی خاص از CPLP کلاسیک است که چندین تسهیلات در یک مکان می‌توانند ایجاد شوند. CPLPM کاربردهای مختلفی در مکان‌یابی خدمات عمومی دارد. در این مطالعه از این مدل بهره گرفته و مدل

[1] Capacitated Plant Location Problem Model

توسعه داده شده است. اگرچه می‌توان CPLPM را به عنوان یک CPLP استاندارد مدل کرده و حل کرد، اما این روش معمولاً عملکرد ضعیفی دارد. CPLP یک مساله بهینه‌سازی ترکیبیاتی کلاسیک است [۲۴]. این مساله مکان‌یابی برای سازمان‌های عمومی و خصوصی بسیار حایز اهمیت است و هدف آن تعیین مجموعه‌ای از تسهیلات دارای ظرفیت (انبارها، کارخانه‌ها، مراکز توزیع، ایستگاه‌های انتقال، و غیره) است به گونه‌ای که مجموع هزینه‌های ساخت تسهیلات و حمل و نقل کمینه شود. بر خلاف سایر مسایل، وجود تسهیلات چندگانه در یک مکان مجاز هست. CPLP به شدت NP-hard است [۲۵] و به طور گسترده در نظریه خوشه‌بندی و مکان‌یابی مورد مطالعه قرار گرفته است. در این مساله:

U: مجموعه تسهیلات بالقوه

V: مجموعه ای از مشتریان

d_j: تقاضای مشتری j، $(j \in V)$ که در آن $d_j \geq ۰$

q_i : ظرفیت امکانات i، $(i \in U)$ که در آن $q_i \geq ۰$

c_{ij}: هزینه تامین تمام تقاضای مشتری j، $(j \in V)$ از تسهیلات i $(i \in U)$

f_i: هزینه ثابت مرتبط با افتتاح تسهیلات i، $(i \in U)$ که در آن $f_i \geq ۰$

p : تعداد تسهیلات مورد نظر باز شده (همچنین میانه نیز نامیده می‌شود)

y_i: متغیری دودویی است که درآن

$$y_i = \begin{cases} ۱ & \text{اگر تسهیلات } i \text{ ایجادشود، } (i \in U) \\ ۰ & \text{درغیر این‌صورت} \end{cases}$$

x_{ij}: متغیر تصمیم گیری پیوسته، متناظر با تقاضای مشتری j، $(j \in V)$ که از تسهیلات i، $i \in U$ تامین می‌شود. بنابراین، می‌توان مساله برنامه‌ریزی خطی آمیخته با عدد صحیح را به شکل زیر فرمول بندی کرد:

$$\begin{aligned}
&(CPLP)\ Min \sum_{i\in U}\sum_{j\in V} c_{ij}x_i + \sum_{i\in U} f_i y_i && (۱-۴)\\
&s.t. \quad \sum_{i\in U} x_{ij} = ۱, \quad j \in V && (۲-۴)\\
&\qquad \sum_{j\in V} d_j x_{ij} \leq q_i y_i, \quad i \in U && (۳-۴)\\
&\qquad \sum_{i\in U} y_i = p, && (۴-۴)\\
&\qquad x_{ij} \geq ۰, \quad i \in U, j \in V && (۵-۴)\\
&\qquad y_i \in \{۰,۱\} \quad i \in U && (۶-۴)
\end{aligned} \tag{۴}$$

تابع هدف (۴-۱) کاهش هزینه‌های کل را بیان می‌کند. قید (۴-۲) اطمینان می‌دهند که تقاضای هر مشتری را برآورده کند. قید (۴-۳) ارتباط بین متغیرهای x_{ij} و y_i را برقرار می‌کند. بیان می‌کند که هیچ مشتری نمی‌تواند از تسهیلات بسته (غیر فعال) خدمات دریافت کند و تقاضای کل که از تسهیلات باز (فعال) تأمین می‌شود، از ظرفیت

تسهیلات تجاوز نمی‌کند. قید (۴-۴) بیان می‌کند که تعداد تسهیلات باز برابر با p است. قید (۴-۵) کران پایین برای متغیر x_{ij} نشان می‌دهد. شایان ذکر است که محدودیت های (۴-۲)-(۴-۵) $x_{ij} \leq ۱$ $(i \in U, j \in V)$ را نشان می‌دهند. در نهایت، قید (۴-۶) ماهیت دودویی متغیر تصمیم مربوط به ایجاد تسهیلات را تضمین می‌کند.

در CPLPM ، U نشان دهنده مجموعه ای از مناطق است که امکان قرارگیری تسهیلات در آن‌ها وجود دارد. این مجموعه به n زیرمجموعه غیرتهی $U_۱$ تا U_n تقسیم می‌شود، هرکدام متناظر با یک مکان است که یک یا چند منطقه در آن قابل دسترسی است. بنابراین، $f_i = f_i'$ اگر $i \in U_k$ $(k \in \{۱,...,n\})$ باشد و $C_{ij} = C'_{ij}$ اگر $i \in U_k$ $(k \in \{۱,...,n\})$ و $j \in V$.

٤ مدلسازی ریاضی سایت های دفن زباله مطالعه موردی: استان مازندران

در مرحله دوم پژوهش، به‌منظور تعیین مکان‌های بهینه سایت‌های زباله، از مدل P-median با ظرفیت‌های محدود استفاده شده است. در این مرحله، سایت‌های استخراج شده از تحلیل مکانی مرحله اول به‌عنوان گزینه‌های کاندید در نظر گرفته شده و مدل زیر جهت انتخاب مکان‌های بهینه با هدف حداقل‌سازی تابع هدف و کاهش تعداد سایت‌ها شناسایی شد. مدل زیر براساس مدل p – میانه در فصل سوم طراحی و توسعه داده شده است.

تعریف مجموعه‌ها:

شهرستان‌ها : $I = \{۱,...,۲۲\}$

سایت‌های کاندید: $J = \{۱,...,۲۶\}$

شهرستان‌های بالقوه ای که سایت‌های کاندید در آن قرار دارند: $k = \{۱,...,۷\}$

پارامترها:

h_i: میزان زباله تولید شده در شهر i (تقاضا)

cap_j: ظرفیت سایت کاندید j برای جمع آوری زباله

d_{ij}: فاصله شهرستان i از سایت کاندید j

f_j: هزینه راه اندازی سایت کاندید j

c_{ij}: هزینه جمع آوری زباله از شهرستان i به سایت کاندید j

$r_{\max}$: حداکثر شعاع تحت پوشش

p: تعداد مجاز برای راه اندازی سایت کاندید

y_{j_k}: سایت j در شهرستان های بالقوه k که سایت های کاندید در آن قرار دارند

متغیرهای تصمیم:

$$x_{ij} = \begin{cases} ۱ & \text{اگر زباله از شهر } i \text{ به سایت کاندید } j \text{ هدایت شود} \\ ۰ & \text{در غیر این‌صورت} \end{cases}$$

$$y_j = \begin{cases} ۱ & \text{اگر سایت کاندید } j \text{ دایر شود} \\ ۰ & \text{در غیر این‌صورت} \end{cases}$$

مدل ریاضی:

$$\begin{aligned}
&\min \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} + \sum_j f_j y_j \\
&s.t. \sum_j x_{ij} = ۱ \qquad \forall i \in I \\
&\sum_i h_i x_{ij} \le cap_j y_j \\
&\sum_j y_j = p \\
&\sum_{j_k \in J} y_{j_k} = ۱ \\
&\sum_j d_{ij} x_{ij} \le r_{\max} \\
&x_{ij} \le y_j \\
&x_{ij} \in \{۰,۱\}, y_j \in \{۰,۱\}
\end{aligned} \tag{۵}$$

تمامی داده‌های مورد استفاده در حل مدل ریاضی در زیر ارایه شده است:

جدول۹. ظرفیت سایت ها و هزینه راه اندازی

کد	سایت هایکاندید در کل استان مازندارن	ظرفیت برآوردی سایت ها تن/ روز	هزینه راه اندازی سایت ها
۱	سایت کاندید در رامسر	۱۷۰	۱۷۵۰۰۰۰۰۰۰۰
۲	سایت کاندید در تنکابن	۳۴	۱۲۵۰۰۰۰۰۰۰
۳	سایت کاندید در تنکابن	۱۰۶	۳۸۷۵۰۰۰۰۰۰
۴	سایت کاندید در تنکابن	۹۰	۳۳۰۰۰۰۰۰۰۰
۵	سایت کاندید در تنکابن	۷۰	۲۵۲۵۰۰۰۰۰۰
۶	سایت کاندید در تنکابن	۱۰۶	۳۸۷۰۰۰۰۰۰
۷	سایت کاندید در تنکابن	۲۸۷	۲۰۲۵۰۰۰۰۰۰۰
۸	سایت کاندید در نور	۲۲۲	۱۵۹۷۵۰۰۰۰۰۰
۹	سایت کاندید در آمل	۱۴۵	۱۰۴۵۰۰۰۰۰۰۰
۱۰	سایت کاندید در آمل	۲۷	۱۹۵۰۰۰۰۰۰۰
۱۱	سایت کاندید در آمل	۱۰۴	۷۵۲۵۰۰۰۰۰۰
۱۲	سایت کاندید در آمل	۲۰	۱۵۰۰۰۰۰۰۰۰

۱۳	سایت کاندید در آمل	۲۴	۱۷۲۵۰۰۰۰۰۰
۱۴	سایت کاندید در آمل	۸۳	۵۹۷۵۰۰۰۰۰۰
۱۵	سایت کاندید در آمل	۲۳۷	۱۷۰۵۰۰۰۰۰۰۰
۱۶	سایت کاندید در آمل	۲۵۵	۱۸۴۰۰۰۰۰۰۰۰
۱۷	سایت کاندید در آمل	۵۲	۳۸۰۰۰۰۰۰۰۰
۱۸	سایت کاندید در آمل	۱۴۰	۱۰۰۷۵۰۰۰۰۰۰
۱۹	سایت کاندید در آمل	۲۰۵	۱۴۷۵۰۰۰۰۰۰۰
۲۰	سایت کاندید در سوادکوه	۵۷	۴۱۲۵۰۰۰۰۰۰
۲۱	سایت کاندید در بابل	۹۶	۶۹۷۵۰۰۰۰۰۰
۲۲	سایت کاندید در بابل	۲۹۰	۱۱۳۰۰۰۰۰۰۰۰
۲۳	سایت کاندید در سوادکوه	۵۲	۳۲۲۵۰۰۰۰۰۰
۲۴	سایت کاندید درسوادکوه	۲۴	۱۷۷۵۰۰۰۰۰۰
۲۵	سایت کاندید در ساری	۳۲۲	۴۷۵۰۰۰۰۰۰۰
۲۶	سایت کاندید در ساری	۱۳۲	۱۷۰۰۰۰۰۰۰۰

سایت‌های مناسب دفن زباله به‌دست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در نرم افزار GIS برای راحتی در مدل ریاضی کدگذاری شده‌اند. از آنجا که سایت‌های دفن پیشنهادی در حال حاضر به صورت عملیاتی فعال نیستند و ظرفیت واقعی برای آن ها وجود ندارد، تعیین ظرفیت‌ها بر مبنای محاسبات و برآورد کارشناسی انجام شد. در مرحله نهایی برای اطمینان از پاسخگویی شبکه‌ی پیشنهادی به تقاضای تولید زباله و ایجاد حاشیه‌ی اطمینان در مدل، ظرفیت‌هایی که بر اساس فرمول به‌دست آمد با نظر کارشناسی تعدیل گردید تا ضمن حفظ واقع گرایی، از امکان‌پذیری مدل و پایداری در اجرای عملی اطمینان حاصل شود. در این مطالعه، ظرفیت پایه هر سایت بر اساس مساحت های استخراج‌شده از تحلیل GIS و با استفاده از رابطه حجمی دفن زباله با فرض چگالی ۰/۷ تن بر متر مکعب، ارتفاع ۲۰ متر و سهم قابل استفاده‌ی۰/۵ درصد از مساحت کل و از فرمول زیر محاسبه گردید.

چگالی زباله: $\rho = ۰/۷\ ton/m^۳$

ارتفاع دفن : $H = ۲۰m$

درصد استفاده از زمین: ۰/۵ درصد

عمر سایت : $t = ۲۰\ years$

مساحت سایت : A_j

$$cap_j = \frac{\rho \times H \times \left(A_j \times ۰/۰۰۵\right)}{t = ۲۰ \times ۳۶۵}$$

هزینه راه اندازی سایت ها شامل همه هزینه های اولیه از جمله آماده سازی زمین، زیرساخت، زهکشی، ژئوممبران، فنس کشی، تجهیزات اولیه و هزینه صدور مجوز در مطالعات زیست محیطی می باشد بر اساس آمارهای سازمان شهرداری هزینه راه اندازی به ازای هر متر مربع بین ۴۰۰ تا ۸۰۰ هزار تومان بسته به شیب، خاک،زهکشی و زیرساخت متغیر می باشد. برای پایداری مدل از میانگین ۵۰۰ هزار تومان بر متر مربع در محاسبات استفاده شد.

هزینه اولیه: $C_{base} = ۵۰۰۰۰۰$

$$f_j = \left(A_j \times ۰/۰۰۵\right) \times C_{base}$$

جدول۱۰. میزان زباله تولیدی در هر شهرستان در روز

کد	شهرستان	میزان زباله تولیدی در روز (تقاضا) تن/ روز
۱	آمل	۲۰۰
۲	بابل	۲۶۰
۳	بابلسر	۹۰
۴	بهشهر	۹۰
۵	تنکابن	۲۵۰
۶	جویبار	۷۰
۷	چالوس	۱۱۰
۸	رامسر	۸۰
۹	ساری	۲۸۰
۱۰	سوادکوه	۴۵
۱۱	سوادکوه شمالی	۲۵
۱۲	سیمرغ	۲۰
۱۳	عباس آباد	۶۰
۱۴	فریدونکنار	۶۰
۱۵	قائمشهر	۲۵۰
۱۶	کلاردشت	۲۵
۱۷	گلوگاه	۴۰
۱۸	محمود آباد	۷۰
۱۹	میاندرود	۵۰
۲۰	نکا	۸۰
۲۱	نور	۱۰۰
۲۲	نوشهر	۱۱۰

میزان زباله تولیدی در هر شهرستان بر اساس داده های شهرداری و تلفیق میانگین سرانه تولید روزانه حدود یک کیلوگرم به ازای هر نفر در استان مازندران براساس جمعیت می‌باشد.

جدول۱۱. فاصله شبکه‌ای شهرستان‌ها از سایت‌ها (d_{ij})

کد	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶
۱	۳۴۱/۵۴۷	۲۸۰/۵۷۳	۲۷۷/۴۱۹	۲۷۶/۷۳۹	۲۸۹/۶۴۹	۲۹۳/۱۷۳	۲۹۸/۲۶۸	۱۰۷/۰۵۵	۳۷/۴۴۹	۶۴/۰۸۹	۳۷/۲۷۸	۹۲/۶۹۶	۶۳/۷۷	۸۴/۰۶۸	۴۲/۴۱۵	۲۹/۳۹۲	۳۲/۴۲۵	۴۹/۵۵۵	۴۴/۳۳۴	۶۶/۵۱۷	۶۴/۵۶۴	۶۳/۰۸۹	۱۹۴/۳۲۵	۱۹۵/۰۴۸	۱۹۲/۳۳۲	۲۵۵/۹۴۹
۲	۲۹۰/۰۱۵۸	۲۲۹/۲۴۳	۲۲۶/۰۸۹	۲۲۵/۴۰۹	۲۳۸/۲۱۹	۲۴۱/۸۴۳	۲۴۶/۳۳۹	۱۲۸/۰۳۹	۱۳۶/۳۹۹	۹۷/۵۳۹	۱۳۶/۲۲۷	۴۸/۱۲۳	۴۲/۲۵۴	۲۱/۹۵۶	۱۰۳/۶۰۷	۱۰۳/۹۸۶	۹۹/۴۵۶	۱۰۴/۳۸۷	۱۰۴/۵۲۶	۹۴/۹۲۷	۹۴/۵۴۷	۹۳/۰۷۳	۱۰۸/۱۶۸	۱۰۸/۸۹۱	۱۰۶/۱۷۵	۱۶۴/۱۶۸
۳	۲۹۹/۷۵۱	۲۳۸/۶۰۳	۲۳۵/۲۴۹	۲۳۴/۷۶۹	۲۴۷/۶۷۹	۲۵۱/۲۰۳	۲۵۶/۲۹۸	۱۴۷/۶۹۷	۱۵۶/۰۵۶	۱۱۷/۱۹۶	۱۵۵/۸۸۵	۵۹/۹۷۸	۶۷/۶۱۸	۵۹/۰۱۱	۱۲۳/۲۶۴	۱۲۳/۶۴۴	۱۲۰/۱۴۷	۱۲۹/۴۰۴	۱۲۴/۱۸۴	۱۲۳/۹۵۱	۱۲۳/۶۶۱	۱۲۲/۱۸۶	۱۲۰/۸۵۸	۱۲۱/۵۸۱	۱۱۸/۸۶۵	۱۵۵/۲۹۱

۴	۸۹/۴۰۱	۱۳۳/۳۹۵	۱۵۰/۶۷۴	۱۴۹/۹۵۰	۱۷۶/۰۹۰	۱۷۷/۵۶۴	۱۹۳/۴۸۹	۱۹۲/۶۲۶	۱۸۷/۴۰۵	۱۹۱/۵۶۴	۱۹۳/۲۹۱	۱۹۲/۹۱۲	۱۲۱/۲۵۰	۱۳۷/۲۶۵	۱۳۰/۵۱۶	۲۲۵/۵۲۲	۱۸۶/۸۴۴	۲۲۵/۷۰۴	۲۱۷/۲۴۴	۳۲۷/۵۵۹
۵	۴۰۱/۵۸۰	۳۶۱/۹۴۵	۳۶۶/۶۶۲	۳۶۳/۹۳۹	۲۷۴/۹۹۳	۲۷۶/۶۴۷	۲۶۹/۱۲۴	۲۶۹/۴۳۷	۲۷۴/۶۵۸	۲۶۶/۸۵۴	۲۶۸/۸۱۸	۲۶۸/۵۱۸	۲۶۶/۸۴۰	۲۴۶/۵۴۲	۲۴۰/۶۱۱	۳۰۱/۱۳۸	۲۶۲/۴۵۰	۳۰۱/۳۱۰	۱۸۳/۴۹۳	۷۰/۳۲۰	۶۵/۲۲۵
۶	۱۲۲/۷۷۶	۱۱۱/۶۲۷	۱۱۴/۳۴۴	۱۱۳/۶۲۱	۱۳۸/۸۲۰	۱۴۰/۲۹۵	۱۴۸/۶۷۸	۱۴۸/۳۰۰	۱۵۰/۱۳۵	۱۶۶/۶۴۱	۱۴۷/۷۶۰	۱۴۷/۳۸	۷۷/۴۸۶	۹۱/۷۳۴	۸۴/۰۹۵	۱۸۰/۰۰۱	۱۴۱/۲۱۳	۱۸۰/۰۷۳	۱۷۱/۸۱۴	۲۸۱/۱۳۸	۲۷۶/۰۴۲
۷	۳۳۲/۴۶۶	۲۸۲/۸۲۱	۲۸۵/۵۴۷	۲۸۴/۸۲۴	۱۹۵/۸۷۸	۱۹۷/۳۵۳	۱۹۰/۰۰۴	۱۹۰/۳۳۳	۱۹۵/۵۴۴	۱۹۰/۲۴۱	۱۸۹/۷۸۳	۱۸۹/۴۰۴	۱۸۷/۷۲۶	۱۶۷/۴۲۸	۱۶۱/۴۹۷	۲۲۲/۰۲۴	۱۸۳/۴۳۶	۱۱۷/۱۸۱	۱۰۴/۳۷۸	۱۳۴/۸۷۶	۱۲۶/۲۵۷
۸	۴۷۱/۳۴۷	۳۷۷/۷۱۲	۳۸۰/۴۲۹	۳۷۹/۷۰۶	۲۹۰/۷۶۰	۲۹۲/۲۳۵	۲۸۵/۰۱۸	۲۸۵/۲۰۵	۲۹۰/۴۲۵	۲۸۴/۳۷۸	۲۸۴/۶۶۵	۲۸۴/۲۸۵	۲۸۲/۶۰۸	۲۶۲/۳۱۰	۲۵۶/۳۷۹	۳۱۶/۹۰۶	۲۷۸/۳۱۷	۳۱۷/۰۷۷	۱۹۹/۲۶۰	۹۰/۴۴۹	۸۵/۲۵۴
۹	۱۰۲/۷۵۷	۹۷/۸۳۸	۱۱۳/۰۶۲	۱۱۲/۳۳۹	۱۳۸/۴۷۸	۱۳۹/۹۵۳	۱۵۵/۳۶۵	۱۵۵/۰۱۴	۱۴۹/۷۹۳	۱۵۵/۳۲۵	۱۵۵/۶۷۹	۱۵۵/۳۰۰	۸۲/۷۳۹	۹۹/۶۵۴	۹۲/۹۰۵	۱۸۷/۹۲۰	۱۴۹/۳۳۲	۱۸۸/۰۹۲	۱۷۹/۷۳۳	۲۸۹/۹۴۷	۲۸۴/۸۵۲
۱۰	۱۷۰/۶۶۲	۸۰/۶۸۰	۸۳/۳۹۷	۸۲/۶۷۳	۵۶/۱۵۲	۵۷/۶۲۷	۷۲/۹۲۴	۷۲/۶۸۸	۶۷/۴۶۷	۱۱۹/۸۲۴	۱۲۰/۴۰۱	۷۳/۶۰۸	۹۳/۶۲۲	۹۶/۳۹۵	۱۴۳/۲۹۱	۱۵۲/۷۲۱	۱۲۹/۵۶۰	۱۵۲/۸۹۳	۱۷۰/۷۱۰	۳۴۲/۱۶۸	۳۳۷/۰۷۳
۱۱	۱۴۴/۹۶۳	۶۹/۱۳۴	۷۱/۸۴۱	۷۱/۱۱۷	۱۰۸/۲۲۷	۱۰۹/۷۰۲	۱۲۴/۸۹۷	۱۲۴/۷۶۳	۱۱۹/۵۴۲	۱۴۰/۰۲۱	۱۴۰/۳۰۸	۱۲۵/۶۸۲	۵۵/۳۷۵	۷۵/۶۷۳	۸۴/۴۴۴	۱۷۲/۵۴۹	۱۳۳/۸۶۱	۱۷۲/۷۲۱	۱۶۴/۳۶۱	۲۸۳/۲۲۱	۲۷۸/۱۷۶
۱۲	۱۲۹/۲۵۴	۱۲۹/۲۵۴	۱۰۳/۲۲۳	۱۰۵/۲۱۶	۱۲۴/۸۹۹	۱۲۶/۳۷۳	۱۳۴/۵۲۱	۱۳۴/۲۷۹	۱۳۶/۲۱۴	۱۳۳/۵۶۲	۱۳۳/۸۳۹	۱۳۳/۴۵۷	۶۳/۵۶۴	۷۷/۸۱۳	۷۰/۱۷۳	۱۶۶/۰۸۰	۱۳۲/۳۹۱	۱۶۶/۲۵۱	۱۵۷/۸۹۲	۲۶۷/۲۱۶	۲۶۷/۱۲۱
۱۳	۳۶۷/۵۱۹	۳۳۷/۸۸۴	۳۳۰/۴۰۱	۳۳۹/۷۷۷	۲۴۰/۹۳۱	۲۴۴/۴۰۶	۲۳۵/۱۲۵	۲۳۵/۳۷۶	۲۴۰/۵۹۷	۲۳۵/۰۰۵	۲۳۴/۸۳۶	۲۳۴/۴۵۷	۲۳۲/۷۷۹	۲۱۲/۴۸۱	۲۰۶/۵۵۰	۲۶۷/۰۷۷	۲۲۸/۳۸۹	۲۶۷/۲۴۹	۱۴۴/۴۳۱	۸۶/۹۸۴	۸۱/۸۸۹
۱۴	۱۶۱/۸۷۸	۱۳۲/۳۹۰	۱۲۵/۱۰۶	۱۳۴/۳۸۳	۱۲۵/۷۸۹	۱۲۷/۲۶۴	۱۲۰/۲۵۹	۱۲۰/۲۳۴	۱۲۵/۴۵۵	۱۱۹/۴۵۹	۱۱۹/۶۹۴	۱۱۹/۳۱۵	۶۷/۳۴۱	۶۳/۶۶۸	۵۵/۷۸۴	۱۵۱/۹۳۵	۱۱۳/۲۴۷	۱۵۲/۱۰۷	۱۴۳/۷۴۷	۲۴۶/۸۳۱	۲۴۱/۷۳۵
۱۵	۱۲۳/۹۰۳	۸۹/۱۴۹	۹۱/۸۶۶	۹۱/۱۳۳	۱۱۷/۲۸۲	۱۱۸/۷۵۷	۱۳۳/۹۶۷	۱۳۳/۸۱۸	۱۲۸/۵۹۷	۱۳۳/۵۲۸	۱۳۳/۶۷۵	۱۳۳/۲۹۶	۶۲/۳۳۴	۷۸/۶۴۹	۷۱/۹۰۰	۱۶۶/۹۱۶	۱۲۸/۲۲۸	۱۶۷/۰۸۸	۱۵۸/۲۲۸	۲۶۸/۴۴۳	۲۶۳/۸۴۸
۱۶	۳۳۹/۳۳۲	۲۹۹/۵۹۷	۳۰۲/۳۱۳	۳۰۱/۵۹۰	۳۱۲/۶۴۴	۳۱۴/۱۱۹	۳۰۶/۹۸۵	۳۰۷/۰۸۹	۳۱۲/۳۱۰	۳۰۶/۸۹۲	۳۰۶/۵۲۹	۳۰۶/۱۷۰	۳۰۴/۴۹۲	۱۸۴/۱۹۴	۱۷۸/۲۶۳	۳۳۸/۷۹۰	۳۰۰/۱۰۲	۳۳۸/۸۶۲	۱۳۱/۱۴۴	۱۲۰/۸۸۵	۱۱۵/۷۸۹
۱۷	۱۱۹/۶۱۹	۱۶۸/۱۱۹	۱۸۶/۱۱۹	۱۸۵/۳۹۶	۲۱۱/۵۳۵	۲۱۳/۰۱۰	۲۲۸/۲۱۸	۲۲۸/۰۷۱	۲۲۲/۸۵۰	۲۲۸/۵۸۲	۲۲۸/۷۳۶	۲۲۸/۲۵۷	۱۵۶/۷۹۵	۱۷۲/۷۱۰	۱۶۵/۹۶۱	۲۶۰/۹۷۷	۲۳۲/۲۸۹	۲۶۱/۱۴۹	۲۵۲/۷۹۰	۳۶۲/۰۰۴	۳۵۷/۹۰۹
۱۸	۱۸۶/۶۷۱	۱۵۱/۵۴۳	۱۵۴/۲۵۹	۱۵۳/۵۳۶	۱۱۳/۸۵۰	۱۱۵/۳۲۵	۱۰۸/۰۰۵	۱۰۸/۲۹۵	۱۱۳/۵۱۶	۱۰۷/۵۲۴	۱۰۷/۷۷۵	۱۰۷/۳۷۶	۶۹/۶۴۹	۵۱/۷۲۹	۴۲/۴۲۱	۱۳۹/۹۹۶	۱۰۱/۳۰۸	۱۴۰/۱۶۸	۱۳۱/۸۰۹	۲۳۳/۲۶۰	۲۱۸/۱۶۴

۱۹	۳۵۲/۴۱۲	۳۰۵/۲۹۲	۳۰۲/۲۳۸	۳۰۱/۵۵۸	۳۱۴/۴۶۸	۳۱۷/۹۹۲	۳۲۳/۰۸۷	۲۱۲/۸۷۳	۲۲۱/۲۳۲	۱۸۲/۲۷۲	۲۲۱/۰۶۰	۱۲۶/۰۴۴	۱۳۲/۷۹۳	۱۱۶/۸۷۸	۱۸۸/۴۴۰	۱۸۸/۸۱۹	۱۸۸/۵۶۵	۱۸۲/۹۳۳	۱۸۸/۱۵۴	۱۸۸/۳۵۸	۱۷۳/۰۹۳	۱۷۱/۶۰۸	۱۴۵/۴۷۹	۱۴۶/۲۰۲	۱۳۰/۸۰۳	۲۹۶/۶۴۷
۲۰	۳۴۷/۱۱۸	۲۹۶/۶۷۷	۲۹۳/۴۹۳	۲۹۲/۸۱۳	۳۰۵/۷۲۳	۳۰۹/۲۲۷	۳۱۴/۳۲۲	۲۰۴/۱۳۳	۲۱۲/۴۸۷	۱۷۳/۶۲۷	۱۱۷/۳۰۰	۱۳۴/۰۴۹	۱۰۸/۱۳۴	۱۷۹/۶۹۵	۱۸۰/۰۷۴	۱۷۹/۸۱۷	۱۷۴/۱۸۸	۱۷۹/۴۰۹	۱۷۹/۲۲۵	۱۶۴/۳۴۸	۱۶۲/۸۷۳	۱۳۶/۷۳۴	۱۳۷/۴۵۷	۱۲۰/۱۷۹	۷۸/۴۴۱
۲۱	۳۵۸/۱۹۱	۲۰۹/۴۴۲	۲۰۶/۲۸۸	۲۰۵/۶۰۸	۲۲۷/۱۳۷	۲۲۲/۰۴۲	۲۱۸/۵۱۸	۱۴/۸۳۳	۱۲۹/۴۷۷	۹۰/۶۱۷	۱۲۹/۳۰۵	۱۰۳/۶۳۴	۷۴/۷۰۹	۹۵/۰۰۷	۹۶/۶۸۵	۹۷/۰۶۴	۹۶/۹۵۴	۱۰۲/۸۲۵	۱۰۴/۶۳۴	۹۷/۴۵۲	۱۰۳/۱۵۹	۲۲۳/۸۷۳	۲۲۲/۴۵۷	۱۳۷/۵۹۷	۲۱۹/۸۸۰	۲۶۶/۸۸۷
۲۲	۱۶۱/۲۱۵	۱۱۱/۹۲۷	۱۰۸/۷۷۳	۱۰۸/۰۹۳	۱۱۴/۴۷۵	۱۲۹/۶۲۲	۱۲۴/۵۲۷	۱۲۱/۰۰۳	۱۰۸/۰۹۳	۱۱۱/۹۲۷	۱۲۱/۵۹۳	۱۷۷/۵۲۴	۱۹۳/۴۳۲	۱۲۱/۸۳۳	۱۹۹/۵۰۰	۱۹۹/۸۸۰	۱۹۸/۸۶۵	۲۰۰/۶۴۰	۲۰۰/۴۲۰	۲۰۰/۱۲۵	۲۰۷/۴۵۰	۲۰۵/۹۷۵	۲۹۴/۹۲۱	۲۹۵/۶۴۴	۲۹۲/۹۲۷	۳۳۲/۵۶۲

جدول بالا ماتریس فاصله شبکه‌ای شهرستان‌ها از سایت‌های دفن زباله است که با استفاده از شبکه راه‌های استان از طریق نرم افزار GIS استخراج شد.

جدول ۱۲. هزینه انتقال زباله (c_{ij})

کد	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱	۲۰۲۲۷۲۲۰۰	۱۸۴۱۷۱۹۰۰	۱۸۳۲۵۷۰۰	۱۸۳۰۲۱۷۰۰	۱۸۶۸۹۴۷۰۰	۱۸۷۹۵۱۹۰۰	۱۸۹۹۸۰۴۰۰	۱۳۲۱۱۶۵۰۰	۱۱۱۱۳۳۴۷۰۰
۲	۳۴۳۱۶۱۶۲۰	۲۱۹۴۰۴۷۷۰	۲۱۸۱۷۴۷۱۰	۲۱۷۹۰۹۵۱۰	۲۲۲۹۴۴۴۱۰	۲۲۴۳۱۸۷۷۰	۲۳۲۶۳۰۶۲۱۰	۱۷۹۹۳۵۲۱۰	۱۸۳۱۹۵۶۱۰
۳	۸۵۶۶۳۲۸۵	۷۲۲۱۱۹۴۰۵	۷۶۷۸۵۶۱۵	۷۶۶۹۳۸۱۵	۷۸۴۲۶۶۲۵	۷۸۹۱۲۴۰۵	۷۹۶۰۰۲۳۰	۶۴۹۳۹۰۹۵	۶۶۰۶۷۵۶۰
۴	۹۵۰۰۲۹۲۰	۸۶۴۱۶۴۰	۸۶۴۰۵۸۵۰	۸۶۳۱۴۰۵۰	۸۸۰۰۵۶۹۰۰	۸۸۵۳۲۶۴۰	۸۹۲۲۰۴۴۵	۷۴۳۴۱۴۴۰	۷۵۴۷۰۰۴۰
۵	۱۴۲۶۲۸۰۰۰	۱۴۱۱۵۰۷۱۲۵	۱۴۰۳۲۴۲۷۵	۱۴۳۳۹۶۶۲۵	۱۴۸۱۳۷۸۷۵	۱۴۹۹۵۹۳۷۵	۱۵۱۳۷۰۰۰۰	۱۹۳۸۰۹۸۷۵	۲۳۷۹۹۱۲۵۰
۶	۶۸۰۰۰۱۳۵	۶۲۶۶۱۵۱۵	۶۲۳۳۰۲۴۰	۶۲۳۵۸۸۴۰	۶۲۶۱۴۴۹۵	۶۲۹۸۴۳۱۰	۶۴۱۹۹۶۹۵	۵۳۰۴۰۴۷۰	۵۳۹۸۱۸۱۶۵
۷	۸۲۷۷۷۲۵۵	۷۳۳۳۴۸۶۵	۷۳۸۱۱۴۴۵۵	۷۳۷۰۲۳۵۵	۷۵۸۲۳۴۰۵	۷۶۴۱۳۴۸۶۵	۷۷۲۵۴۵۴۰	۷۲۳۲۳۳۷۰	۹۱۶۶۳۳۴۰
۸	۵۳۸۴۳۴۴۰	۴۷۶۸۵۶۴۰	۴۷۳۰۷۱۶۰	۴۸۲۵۸۲۸۰	۴۹۸۰۷۶۰۰	۵۰۳۰۴۸۰	۵۰۴۸۱۸۸۰	۶۳۹۱۱۲۰۰	۷۸۰۴۹۳۴۰
۹	۲۷۵۸۶۴۵۴۰	۲۵۴۳۴۵۸۴۰	۲۵۳۰۲۱۱۶۰	۲۵۲۳۳۵۵۶۰	۲۵۸۱۵۷۷۶۰	۲۵۹۴۳۷۸۴۰	۲۶۱۷۷۷۷۴۰	۲۱۵۴۸۷۸۶۰	۲۱۸۹۹۸۶۴۰

کد	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶
۱	۱۱۹۲۲۶۷۰۰	۱۱۱۱۸۳۴۰۰	۱۲۷۸۰۸۸۰۰	۱۱۹۱۳۱۰۰	۱۲۵۲۲۰۴۰۰	۱۱۳۰۲۴۵۰۰	۱۰۸۸۱۷۶۰۰	۱۰۹۷۲۷۵۰۰	۱۱۴۸۶۶۵۰۰	۱۱۳۳۰۲۰۰	۱۱۹۹۵۵۱۰۰	۱۱۹۶۳۶۳۰۰	۱۱۵۸۷۹۵۰۰	۱۱۷۹۲۵۷۰۰	۱۵۸۵۱۴۴۰۰	۱۵۷۶۹۹۶۰۰	۱۷۶۷۸۴۷۰۰
۲	۱۶۸۰۴۰۲۱۰	۱۸۳۱۲۸۵۳۰	۱۴۸۷۶۷۹۷۰	۱۴۶۶۷۹۰۶۰	۱۳۸۵۶۲۸۴۰	۱۷۰۴۰۶۲۷۰	۱۷۰۵۵۴۵۴۰	۱۶۸۷۸۷۸۴۰	۱۷۰۷۱۰۹۳۰	۱۷۰۷۶۵۱۴۰	۱۶۷۰۲۱۵۳۰	۱۶۶۸۷۳۳۳۰	۱۷۲۱۸۵۵۲۰	۱۷۳۱۸۱۶۲۰	۱۷۴۶۳۲۷۲۰	۱۹۴۴۹۸۵۲۰
۳	۶۰۸۲۱۲۶۰	۶۶۰۴۴۴۷۵	۵۳۰۹۷۰۳۰	۵۴۱۲۸۴۳۰	۵۲۹۶۶۴۸۵	۶۱۶۴۰۶۶۰	۶۱۶۹۱۹۴۰	۶۱۲۱۹۸۴۵	۶۲۴۲۹۰۴۰	۶۱۷۶۴۸۴۰	۶۱۷۳۳۳۸۵	۶۱۶۹۴۳۳۵	۶۱۴۹۵۱۱۰	۶۱۳۱۵۸۳۰	۶۱۴۱۳۴۳۵	۶۱۰۴۶۷۷۵	۶۹۵۶۴۲۸۵
۴	۷۰۲۳۳۹۴۰	۷۵۴۴۶۸۲۰	۶۲۶۱۹۶۶۰	۶۳۵۳۰۷۷۵	۶۱۳۸۲۲۵۰	۷۱۰۴۳۱۲۰	۷۱۰۹۴۲۸۵	۷۰۸۶۱۱۴۰	۷۰۲۹۹۶۷۵	۷۱۰۰۴۵۱۰	۷۱۱۲۱۰۱۵	۶۹۰۱۱۶۴۰	۶۸۷۷۲۱۵۰	۶۸۶۳۲۴۵۰	۶۵۳۴۰۹۹۰	۶۳۰۰۸۳۳۵	۵۷۰۶۹۱۳۵
۵	۲۳۳۴۱۸۷۵۰	۲۳۷۹۲۶۷۵۰	۲۱۵۲۲۹۱۲۵	۲۱۷۴۵۳۲۵۰	۲۲۵۰۶۵۰۰۰	۲۲۵۶۹۴۲۵۰	۲۲۵۸۳۶۷۵۰	۲۲۵۰۷۰۲۵۰	۲۲۷۹۹۶۷۵۰	۲۲۶۰۳۸۸۷۵	۲۲۵۹۲۱۵۰۰	۲۲۸۶۷۵۱۲۵	۲۲۸۱۲۳۳۷۵	۲۶۱۷۴۷۱۲۵	۲۶۱۷۴۸۲۵۰	۲۶۰۷۲۹۳۷۵	۲۷۵۵۹۲۵۰۰
۶	۴۹۸۳۷۸۶۵	۵۳۷۰۶۱۰۵	۵۳۹۰۰۱۰۵	۴۴۶۳۲۰۷۰	۴۳۱۳۶۰۳۰	۵۰۴۷۴۹۰۰	۵۰۵۱۴۸۰۰	۵۰۳۹۷۳۰۵	۵۰۷۶۴۱۷۵	۵۰۵۷۱۵۰۰	۵۰۶۱۱۱۹۰	۴۹۷۳۰۹۷۵	۴۹۶۳۷۱۰۰	۴۶۹۳۰۲۰۵	۴۷۰۰۶۱۲۰	۴۶۷۳۰۸۳۵	۴۷۸۹۱۴۸۰
۷	۸۵۲۵۰۴۴۰	۹۱۶۳۳۹۶۰	۸۱۶۴۷۰۰۵	۸۲۶۳۵۶۲۰	۸۵۹۷۴۷۹۰	۸۶۲۵۱۶۶۰	۸۶۳۱۴۱۹۵	۸۶۳۸۹۷۶۵	۸۷۲۶۴۷۶۰	۸۷۴۸۱۹۷۰	۸۷۲۷۷۲۵۵	۸۷۵۶۳۲۹۵	۸۷۳۸۱۹۷۰	۸۷۶۳۳۲۰۵	۸۷۳۰۲۳۵۵	۸۷۲۷۷۲۵۵	۱۰۸۲۰۶۸۹۰
۸	۷۳۳۸۶۰۴۰	۷۸۰۲۸۷۲۰	۷۱۴۷۴۷۰۵	۷۱۴۷۷۲۰۰	۷۳۹۱۲۹۶۰	۷۴۱۱۴۲۰۰	۷۴۱۵۹۸۰۰	۷۴۱۲۵۲۶۰	۷۴۸۵۱۰۰۰	۷۴۲۲۴۶۰۰	۷۴۲۰۲۱۶۰	۷۵۰۶۸۲۰۰	۷۴۸۹۱۲۰۰	۸۷۵۶۴۷۳۰	۸۷۳۹۱۷۸۰	۸۵۳۳۵۴۴۰	۹۶۵۶۱۶۴۰
۹	۲۰۴۶۷۲۴۰	۲۱۸۹۲۶۴۰۰	۱۷۹۰۲۰۱۰۰	۱۸۱۸۵۴۶۸۰	۱۷۵۱۷۰۳۸۰	۲۰۵۲۲۶۰۰۰	۲۰۵۳۱۵۱۸۰	۲۰۵۲۳۶۵۰۰	۲۰۲۹۱۳۰۶۰	۲۰۵۱۰۵۸۸۰	۲۰۵۲۵۳۳۰۰	۱۹۸۷۸۰۲۶۰	۱۹۸۱۶۰۷۶۰	۱۸۷۱۸۳۳۸۰	۱۸۷۴۸۶۰۴۰	۱۸۱۰۹۱۹۶۰	۱۸۳۱۵۷۹۴۰

۱۰	۳۴۰۱۹۶۸۵	۲۷۹۴۵۹۰۰	۲۸۱۲۹۲۹۷	۲۸۰۸۰۴۴۷	۲۶۲۹۰۲۶۰	۲۶۲۸۹۸۲۲	۲۷۴۲۲۳۷۰	۲۷۴۲۲۳۷۰	۲۷۰۵۴۰۲۲	۳۰۵۸۸۱۲۰	۳۰۶۳۳۴۰۰	۲۷۴۶۸۵۴۰	۲۸۸۱۹۴۸۵	۲۹۰۰۶۶۶۲	۳۲۱۷۸۸۹۲	۳۲۸۰۸۶۶۷	۳۱۲۴۵۳۰۰	۳۲۸۲۰۲۱۰	۳۴۰۲۲۹۲۵	۴۵۵۹۶۳۴۰	۴۵۲۵۴۴۲۷	۴۵۰۱۴۵۵۷	۴۴۱۴۳۱۳۲	۴۴۱۸۹۰۹۲	۴۴۴۰۱۹۲۷	۴۷۷۴۵۸۱۰
۱۱	۱۷۹۳۶۱۱۲	۱۵۰۹۲۱۵۰	۱۵۱۹۴۰۳۷	۱۵۱۶۶۸۸۷	۱۶۵۵۸۵۱۲	۱۶۶۱۳۸۲۵	۱۷۱۸۳۶۳۷	۱۷۱۷۸۶۱۲	۱۶۹۸۷۸۲۵	۱۷۷۵۰۷۸۷	۱۷۷۶۱۵۵۰	۱۷۲۱۳۰۷۵	۱۴۵۷۶۵۶۲	۱۵۳۳۷۷۳۷	۱۵۶۶۶۶۵۰	۱۸۹۷۰۵۸۷	۱۷۵۱۹۷۸۷	۱۸۹۷۷۰۳۷	۱۷۶۶۴۵۳۷	۳۳۱۲۷۰۷۸۷	۳۲۲۹۷۵۷۵	۳۳۳۱۳۴۵۰	۳۳۳۱۱۰۱۰	۳۲۴۵۷۲۲۵	۳۴۴۳۲۹۵۰
۱۲	۱۳۸۷۷۶۲۰	۱۳۸۷۷۶۲۰	۱۳۰۹۶۶۹۰	۱۳۱۵۶۴۸۰	۱۳۲۴۶۴۷۰	۱۳۷۹۱۱۹۰	۱۴۰۳۵۶۳۰	۱۴۰۳۱۳۷۰	۱۴۰۸۶۴۲۰	۱۴۰۰۶۸۶۰	۱۴۰۱۵۱۷۰	۱۴۰۰۳۷۷۰	۱۱۹۰۶۹۲۰	۱۲۳۳۴۳۹۰	۱۲۱۰۵۱۹۰	۱۴۹۸۲۴۰۰	۱۳۸۱۷۱۳۰	۱۴۹۸۷۵۳۰	۱۴۷۳۶۷۶۰	۱۸۰۱۶۴۸۰	۱۷۸۶۳۶۳۰	۱۷۷۵۷۹۱۰	۱۷۳۱۱۰۱۰	۱۷۴۸۵۶۳۰	۱۸۶۸۴۵۵۰
۱۳	۶۳۰۷۶۷۱۰	۵۹۵۰۹۵۶۰	۵۹۷۵۴۰۹۰	۵۹۶۸۸۹۳۰	۵۱۶۸۳۹۹۰	۵۱۸۱۶۵۴۰	۵۱۱۶۱۲۵۰	۵۱۱۸۳۸۴۰	۵۱۶۵۳۷۳۰	۵۱۱۵۰۴۵۰	۵۱۱۳۵۲۴۰	۵۱۱۰۱۱۳۰	۵۰۹۵۰۱۱۰	۴۹۱۳۳۲۹۰	۴۸۵۸۹۵۰۰	۵۴۰۳۶۹۳۰	۵۰۵۵۵۰۱۰	۵۴۰۵۲۴۱۰	۴۳۴۴۸۷۹۰	۳۷۸۳۸۵۶۰	۳۷۳۷۰۰۱۰	۳۷۰۵۲۸۵۰	۳۵۸۹۰۹۵۰	۳۵۵۵۲۱۵۰	۳۶۳۳۶۰۱۰	۴۰۸۵۰۵۸۰
۱۴	۴۴۵۶۹۰۲۰	۴۱۹۱۵۱۰۰	۴۲۱۵۵۵۴۰	۴۲۰۹۴۴۷۰	۴۱۳۲۱۰۱۰	۴۱۴۵۳۷۶۰	۴۰۸۳۳۲۱۰	۴۰۸۲۱۰۶۰	۴۱۲۹۰۹۵۰	۴۰۷۵۱۳۱۰	۴۰۷۷۴۶۶۰	۴۰۷۳۸۳۵۰	۳۶۰۶۰۶۹۰	۳۵۷۳۰۱۲۰	۳۵۰۲۰۵۶۰	۴۳۶۷۴۱۵۰	۴۰۱۹۲۳۳۰	۴۳۶۸۹۶۳۰	۴۲۹۳۷۲۳۰	۵۲۲۱۴۷۹۰	۵۱۷۵۴۱۵۰	۵۱۴۳۹۰۸۰	۵۰۷۷۷۰۹۰	۵۰۳۳۸۲۹۰	۵۶۰۶۲۲۴۰	۵۴۸۶۷۴۵۰
۱۵	۱۷۱۴۶۳۶۲۵	۱۵۸۴۳۰۸۷۵	۱۵۹۴۴۹۷۵۰	۱۵۹۱۷۸۶۲۵	۱۶۸۹۸۰۷۵۰	۱۶۹۵۳۳۸۷۵	۱۷۵۳۷۶۲۵	۱۷۵۱۸۱۷۵۰	۱۷۳۲۳۲۸۷۵	۱۷۵۴۴۸۰۰۰	۱۷۵۵۰۳۱۲۵	۱۷۵۳۶۱۰۰۰	۱۴۸۵۳۵۲۵۰	۱۵۴۴۹۳۳۷۵	۱۵۱۹۶۲۵۰۰	۱۸۷۵۹۳۵۰۰	۱۷۳۰۸۵۵۰۰	۱۸۷۶۵۸۰۰۰	۱۸۴۵۳۳۰۰۰	۲۲۵۸۵۶۲۵	۲۳۳۹۹۳۳۰۰	۲۲۲۶۲۱۵۰۰	۲۱۷۷۸۸۰۲۵۰	۲۱۸۰۳۲۵۰۰	۲۱۹۲۱۸۰۰۰	۲۳۷۹۵۷۸۷۵
۱۶	۲۵۳۲۱۲۰۰	۲۳۷۳۴۸۸۷	۲۳۸۳۶۷۳۷	۲۳۸۰۹۶۲۵	۲۰۴۴۷۱۵۰	۲۰۵۲۹۶۲	۲۰۲۶۱۹۳۷	۲۰۲۶۵۸۳۷	۲۰۴۶۱۶۲۵	۲۰۲۵۸۴۵۰	۲۰۲۴۵۵۸۷	۲۰۲۳۱۳۷۵	۲۰۱۶۸۴۵۰	۱۹۴۰۷۲۷۵	۱۹۱۸۴۸۶۲	۲۱۴۵۴۶۲۵	۲۰۰۰۳۸۲۵	۲۱۴۶۱۰۷۵	۱۷۰۴۲۹۰۰	۱۷۰۳۳۱۸۷	۱۶۸۴۲۰۸۷	۱۶۷۰۹۹۷۵	۱۶۳۲۵۸۱۲	۱۶۲۵۱۳۵۰	۱۶۳۶۹۶۲۵	۱۸۲۵۲۱۶۲
۱۷	۳۷۱۷۷۱۴۰	۳۰۰۸۷۱۴۰	۳۱۱۶۷۱۴۰	۳۱۱۳۳۷۶۰	۳۲۶۹۲۱۰۰	۳۲۷۸۰۶۰۰	۳۳۶۹۳۰۸۰	۳۳۶۸۴۲۶۰	۳۳۳۷۱۰۰۰	۳۳۷۱۴۹۳۰	۳۳۷۲۲۹۱۶۰	۳۳۷۰۱۴۲۰	۲۹۹۰۷۷۰۰	۳۰۳۶۲۶۰۰	۲۹۹۵۷۶۶۰	۳۵۶۵۸۵۶۰	۳۳۳۳۷۳۴۰	۳۵۶۶۸۹۴۰	۳۵۱۶۷۴۰۰	۴۱۷۸۰۲۴۰	۴۱۴۷۴۵۴۰	۴۱۲۳۶۱۰۰	۴۰۴۸۸۵۰۰	۴۰۵۲۹۳۰۰	۴۰۷۱۸۵۴۰	۴۳۷۶۵۷۶۰
۱۸	۵۴۶۰۴۵۵	۵۰۹۱۲۰۱۵	۵۱۱۹۷۱۹۵	۵۱۰۸۹۷۸۰	۴۶۵۵۴۲۵۰	۴۷۱۰۹۱۲۵	۴۶۶۴۰۵۲۵	۴۶۴۷۰۹۷۵	۴۶۹۱۹۱۸۰	۴۶۲۹۰۰۲۰	۴۶۳۱۶۳۷۵	۴۶۲۷۴۴۸۰	۴۲۳۱۳۱۴۵	۴۰۴۳۱۵۴۵	۳۹۴۵۴۲۰۵	۴۹۶۹۹۵۸۰	۴۰۵۳۷۳۴۰	۴۹۷۱۷۶۴۰	۴۸۸۳۹۹۴۵	۵۸۴۴۳۳۰۰	۵۷۹۰۷۳۳۰	۵۷۵۳۷۳۰۵	۵۶۱۸۱۶۵۰	۵۶۵۱۶۵۰	۵۶۵۸۴۲۳۰	۶۱۹۱۹۲۷۰
۱۹	۴۷۲۴۸۵۲۵	۳۴۸۱۰۳۲۵	۳۵۹۶۵۱۵۰	۳۵۹۱۰۹۲۵	۳۷۸۷۱۳۵۰	۳۷۹۸۱۹۷۵	۳۹۱۲۶۸۵۰	۳۹۱۱۱۵۵۰	۳۸۷۱۹۹۷۵	۳۹۱۴۳۳۷۵	۳۹۱۶۱۴۲۵	۳۹۱۳۳۰۰۰	۳۳۷۶۵۸۵۰	۳۳۹۵۵۹۴۷۵	۳۳۴۵۳۳۰۰	۴۱۵۷۹۵۰۰	۳۸۶۷۷۹۰۰	۴۱۵۹۳۴۰۰	۴۰۹۵۴۷۸۵	۴۹۲۳۱۵۲۵	۴۸۸۴۹۴۰۰	۴۸۵۸۵۱۰۰	۴۷۶۱۶۸۵۰	۴۷۶۶۴۷۸۵۰	۴۷۹۰۴۴۰۰	۵۱۴۳۰۹۰۰
۲۰	۴۹۴۱۲۹۲۰	۵۴۳۲۱۴۸۰	۵۶۴۹۴۸۴۰	۵۶۴۰۸۰۸۰	۵۹۵۴۴۷۶۰	۵۹۷۲۱۷۶۰	۵۹۷۲۱۷۶۰	۶۱۵۰۷۰۰۰	۶۱۵۲۹۰۸۰	۶۰۹۰۲۵۶۰	۶۱۵۸۷۶۴۰	۶۱۶۰۸۸۸۰	۶۱۵۶۳۴۰۰	۵۲۹۷۶۰۸۰	۵۴۸۸۵۸۸۰	۵۴۰۷۶۰۰۰	۶۰۸۳۵۲۴۰	۶۵۲۴۹۸۴۴۰	۶۴۹۹۴۷۶۰	۷۷۷۲۱۰۴۰	۷۷۱۰۹۶۴۰	۷۶۶۸۶۷۶۰	۷۵۱۳۷۵۶۰	۷۵۲۱۹۱۶۰	۷۵۵۹۷۶۴۰	۸۱۶۵۴۱۶۰
۲۱	۹۰۰۳۳۰۵۰	۸۲۹۸۲۰۰۰	۸۳۳۸۹۵۵۰	۸۳۳۸۰۹۵۰	۶۵۴۷۳۸۵۰	۶۵۶۹۵۱۰۰	۶۴۶۱۷۸۰۰	۶۴۶۴۰۶۰۰	۶۵۴۳۲۷۵۰	۶۴۵۳۳۱۰۰	۶۴۵۵۹۶۰۰	۶۴۵۰۲۷۵۰	۶۴۶۲۵۱۰۵۰	۶۱۲۰۶۳۵۰	۶۵۵۴۵۱۰۰	۶۹۳۹۵۷۵۰	۶۳۵۹۲۵۵۰	۶۹۴۲۱۵۵۰	۵۲۴۴۴۹۵۰	۸۴۰۷۰۵۵۰	۸۱۳۰۶۳۰۰	۸۲۷۷۷۷۰۰	۸۰۸۴۱۲۰۰	۸۰۸۴۳۲۰۰	۸۱۴۱۶۳۰۰	۸۸۷۲۸۶۵۰
۲۲	۱۰۹۸۷۲۷۲۰	۱۰۳۳۳۲۹۵۵	۱۰۳۷۸۱۲۶۰	۱۰۳۶۶۱۹۶۵	۸۸۹۵۸۷۷۵	۸۹۲۲۹۲۲۵۰	۸۸۰۲۰۶۲۵	۸۸۰۶۹۳۰۰	۸۸۶۹۰۶۰۰	۸۷۸۱۲۷۲۵	۸۷۹۸۰۲۰۰	۸۷۹۱۷۵۰۰	۸۷۶۶۰۷۹۵	۸۴۲۹۱۴۶۰	۸۳۳۱۲۸۴۵	۹۳۳۹۹۹۶۵	۸۶۹۱۶۲۸۰	۹۳۳۲۸۱۸۰	۷۳۸۸۳۲۷۵	۷۶۳۷۶۳۰	۷۵۵۴۶۴۵۵	۷۴۹۶۵۴۹۵	۷۳۸۳۵۳۴۵	۷۲۹۴۰۹۴۵	۷۳۴۶۷۹۵۵	۸۱۶۰۰۴۷۵

جدول بالا ماتریس هزینه جمع آوری زباله از شهر i به سایت j (c_{ij}) است که با استفاده از داده های شهرداری و فرمول زیر محاسبه شد. هزینه جابه جایی زباله از شهر i به سایت j به ازای هر یک تن بر یک کیلومتر:

$r = ۱۵۰۰$ (مبنای قیمت به تومان می‌باشد). هزینه جمع آوری هر تن زباله داخل سطح شهر: $f = ۵۰۰۰۰۰$ (مبنای قیمت به تومان می‌باشد).

$$c_{ij} = \left(r \times d_{ij} + f\right) \times h_i$$

مدل بالا با استفاده از داده های موجود در نرم افزار لینگو اجرا شد. براساس استاندارد های جهانی حداکثر شعاع تحت پوشش ۱۰۰ کیلومتر می‌باشد $r_{\max} = ۱۰۰(km)$ مدل در این حالت نشدنی شد و در نهایت نمی توان هیچ مرکزی برای سایت های دفن زباله استان پیشنهاد نداد. برای دستیابی به یک جواب شدنی که امکان معرفی سناریوهای پیشنهادی میسر شود در این راستا حداکثر سطح پذیرش شعاع پوشش با رویکرد فازی $\alpha = ۰/۴$ نتیجه شد. از این رو برای هر $۰ \le \alpha \le ۰/۴$ فضای تصمیم گیری با معیار های استاندارد جهانی شدنی است. اکنون با در نظر گرفتن سطح قابل قبول(شدنی بودن فضای تصمیم که به ازای $\alpha = ۰/۴$) به دست می‌آید حداقل شعاع پذیرش با تخطی از استاندارد های جهانی به شعاع حداقل ۱۶۰ کیلومتر می رسد به منظور جلوگیری از بی کرانی فضای تصمیم حداکثر شعاع قابل پذیرش با ملاحظات یاد شده ۱۷۰ کیلومتر در نظر گرفته شد. تابع عضویت فضای جواب(فضای تصمیم) به‌صورت زیر خواهد بود:

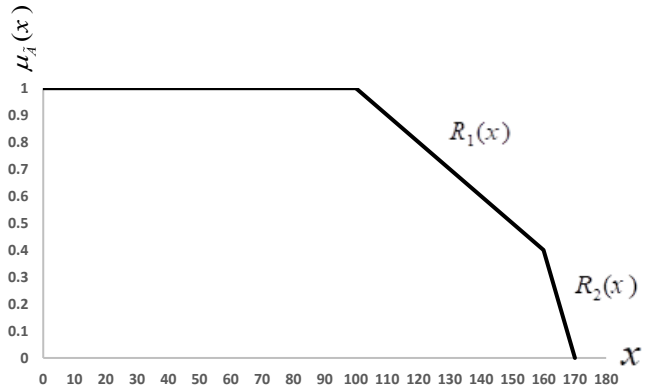
$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} ۱ & ۰ \le x < ۱۰۰ \\ R_۱(x) & ۱۰۰ \le x \le ۱۶۰ \\ R_۲(x) & ۱۶۰ \le x \le ۱۷۰ \\ ۰ & x \ge ۱۷۰ \end{cases}$$

که در آن ضابطه $R_۲(x)$ به‌صورت زیر است:

$$R_۲(x) = \frac{۱۷۰ - x}{۱۰}$$

$$y = R_۲(x) = \frac{۱۷۰ - x}{۱۰} \Rightarrow x = ۱۷۰ - ۱۰y$$

در این صورت فضای تصمیم برای هر $۰ \le \gamma \le ۱$ (γ پارامترانعطاف پذیری شعاع پوشش)روی مقادیر $x(\gamma) = ۱۷۰ - ۱۰(\gamma)$ نشان داده می‌شود. به ازای هر شعاع پوشش مورد مطالعه $۱۰۰ \le r_{\max} \le ۱۶۰$فضای تصمیم ناشدنی است یعنی با پذیرش $۰/۴ < \alpha < ۱$مساله تصمیم‌گیری ناشدنی است. بنابراین $\forall \gamma_i \in [۰,۱]$ داریم: $۱۶۰ + ۱۰(۱ - \gamma_i)$. تخطی از حداکثر شعاع پوشش $\lambda = ۱۰$ کیلومتر در نظر گرفته شد. شکل زیر تابع عضویت حداکثر شعاع پوششی را نشان می‌دهد:



شکل٤. تابع عضویت قید حداکثر شعاع پوشش

بنابراین مدل نهایی به‌صورت مساله فازی انعطاف پذیر بیان و سپس حل شد :

$$
\begin{aligned}
&\min \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} + \sum_j f_j y_j \\
&s.t. \ \sum_j x_{ij} = ۱ \qquad \forall i \in I \\
&\quad \sum_i h_i x_{ij} \le cap_j y_j \\
&\quad \sum_j y_j = p \\
&\quad \sum_{j_k \in J} y_{j_k} = ۱ \\
&\quad \sum_j d_{ij} x_{ij} \le r_{\max} + \lambda(۱-\gamma_i) \\
&\quad x_{ij} \le y_j \\
&\quad x_{ij} \in \{۰,۱\}, y_j \in \{۰,۱\} \\
&\quad \gamma_i \in [۰,۱]
\end{aligned}
\tag{۶}
$$

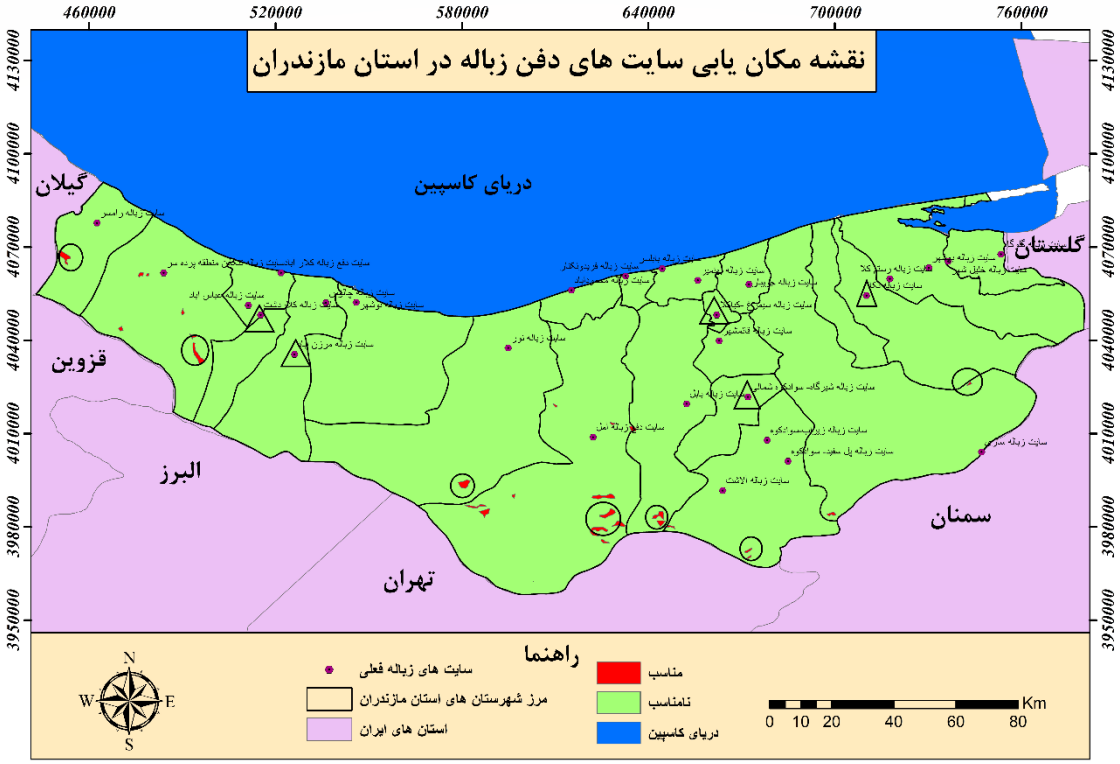
نتایج حل مدل P-Median با ظرفیت محدود، ساختار بهینه شبکه و نوع کاربری سایت‌های منتخب را تعیین می‌کند. خلاصه خروجی مدل و مشخصات سایت های مادر و ایستگاه‌های انتقال در جدول زیر ارائه شده است:

جدول۱۳. سایت های پیشنهادی بر اساس خروجی مدل ریاضی

سایت‌های مرکزی زباله به عنوان سایت مادر با ظرفیت بین ۲۰۰ تا ۷۰۰ تن در روز	ایستگاه انتقال زباله با ظرفیت حداکثر ۱۰۰ تن در روز
$y_۱$: سایت زباله در شهر رامسر	ایستگاه کلاردشت ایستگاه مرزن‌آباد ایستگاه شیرگاه ایستگاه کیاکلا
$y_۷$: سایت زباله در شهر تنکابن	
$y_۸$: سایت زباله در شهر نور	
$y_۹$ ، $y_{۱۱}$ ، $y_{۱۵}$ ، $y_{۱۶}$ ، $y_{۱۸}$ ، $y_{۱۹}$: سایت های زباله در شهر آمل	

$y_{۲۲}$: سایت زباله در شهر بابل	ایستگاه نکا
$y_{۲۳}$: سایت زباله در شهر سوادکوه	
$y_{۲۶}$: سایت زباله در شهر ساری	

نقشه نهایی سایت های دفن زباله تحت عنوان ۷ سایت مادر با نماد دایره و ۵ سایت ایستگاه انتقال با نماد مثلث در نقشه بعدی ارائه می‌شود:



شکل ۵. نقشه نهایی مکانیابی سایت های دفن زباله در استان مازندران

با تحلیل نقشه خروجی در مرحله اول و خروجی مدل ریاضی در مرحله دوم ۷ ناحیه در استان به صورت سایت مادر با ظرفیت های دپوی بین ۲۰۰ تا ۷۰۰ تن و ۵ سایت به عنوان ایستگاه انتقال (دپوی موقت) با ظرفیت حداکثر ۱۰۰ تن در روز پیشنهاد شد. لازم به ذکر است که در مجموع ۲۸ سایت فعلی در حال حاضر در استان مازندران وجود دارد که با بررسی های انجام شده در مرحله اول در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی تقریبا همه سایت ها از لحاظ معیار های زیست محیطی در مکان نامناسبی قرار دارند با این حال برای رفع مشکل پسماند خانگی استان با توجه به گردشگرپذیر بودن و هم چنین شبکه راه های استان و پاسخگویی میزان زباله تولید شده(تقاضای) شهرهای استان توسط ظرفیت سایت های دفن، چند سایت از سایت های فعلی به عنوان سایت دپوی موقت (ایستگاه انتقال) زباله لازم است در نظر گرفته شود بنابراین با استفاده از روش تصمیم گیری سلسله مراتبی نقاط بحرانی و نقاط هم پوشانی حذف شدند. به منظور کاهش تعداد سایت‌های بالقوه و انتخاب گزینه‌های مناسب برای باقی‌ماندن به‌عنوان ایستگاه‌های انتقال، از روش تصمیم گیری چند معیاره استفاده شد. در این مرحله، ۲۸ سایت اولیه بر اساس سه معیار اصلی شامل: فاصله از منابع حساس زیست محیطی (به ویژه آب‌های سطحی و زیرزمینی)، فاصله از مراکز جمعیتی

و ارتفاع مورد ارزیابی قرار گرفتند. این سه معیار به عنوان مهم‌ترین عوامل محدودکننده در مکان‌یابی سایت های دفن در منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شدند. بر اساس تحلیل کیفی لایه‌های اطلاعات مکانی و با تکیه بر نظر خبرگان، در نهایت ۵ سایت از سایت های فعلی که شامل سایت زباله نکا، سایت زباله کیاکلا، سایت زباله شیرگاه، سایت زباله مرزن آباد، سایت زباله کلاردشت به عنوان ایستگاه انتقال در نظر گرفته شدند. از این سایت‌ها به دلیل برخورداری از شرایط مناسب‌تر نسبت به سایر گزینه‌ها، به عنوان ایستگاه‌های انتقال می‌توان مورد استفاده قرار داد.

جدول ۱٤. مقدار تابع هدف مساله بالا به ازای مقادیر مختلف γ_i

γ_i	۰	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۶	۰/۷	۰/۸	۰/۹	۱
مقدار تابع هدف	۱۴۰۶۸۸۳۰۰۰۰۰	۱۴۰۶۸۸۳۰۰۰۰۰	۱۴۰۶۸۸۳۰۰۰۰۰	۱۴۰۶۸۸۳۰۰۰۰۰	۱۴۰۶۸۸۳۰۰۰۰۰	۱۴۰۶۸۸۳۰۰۰۰۰	۱۴۱۲۳۲۶۰۰۰۰۰	۱۴۱۲۳۲۶۰۰۰۰۰	۱۴۱۲۳۲۶۰۰۰۰۰	۱۵۱۲۹۴۱۰۰۰۰۰	۱۵۱۲۹۴۱۰۰۰۰۰

جدول بالا نشان می‌دهد که مقدار تابع هدف به ازای مقادیر مختلف (γ_i) ثابت باقی می‌ماند که بیانگر مقاوم بودن و پایداری جواب نسبت به عدم قطعیت موجود در شعاع پوشش است. مدل فازی فقط برای بهبود عددی نبوده بلکه برای بررسی پایداری تصمیم گیری ها استفاده شده است. با نزدیک شدن γ_i به عدد یک فضای جواب کوچکتر و مقدار تابع هدف بدتر می‌شود. در این فصل نتایج مدل‌های مکانی و بهینه‌سازی ارائه شد. فصل بعدی در راستای کاهش تعداد سایت‌ها و بهبود مدیریت پسماند استان مازندران، به تحلیل و جمع بندی نتایج می‌پردازد.

۵ بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، مساله مکان‌یابی سایت زباله در استان مازندران با رویکردی تلفیقی در دو مرحله مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله اول، به منظور شناسایی مناطق بالقوه مناسب برای استقرار سایت ها، از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (Fuzzy AHP) در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شد. در این مرحله، با استفاده از لایه‌های مختلف جغرافیایی نقشه نهایی طی چندین عملیات به دست آمد.

مطالعه انجام شده همانطور که پیش بینی می‌شد نشان داد که تقریبا هیچ مکان مناسبی در ارتفاعات پایین استان وجود ندارد و مکان های بسیارمحدودی را در ارتفاعات بالاترنشان داده است. و این بدان معنا است که متاسفانه تقریبا هر ۲۸ سایت دفن زباله در استان مازندران در مکان نامناسب قرار دارند. خروجی این مرحله به صورت نقشه‌های مکانی بوده و در نهایت ۲۶ لکه مکانی مناسب به عنوان گزینه‌های بالقوه مکان‌یابی استخراج گردیدند.

نقشه نهایی در دو سطح مناسب و نامناسب کلاس بندی شده است. لازم به ذکر است که درنهایت برای انتخاب سایت های دفن زباله به بازدید های میدانی در محل نیاز است. همانطور که در شکل۳ دیده شده است رنگ سبز که تقریبا کل نقشه را فراگرفته نشان دهنده نامناسب بودن مکان برای دفن زباله می باشد.

در مرحله دوم، به منظور انتخاب بهینه و کاهش تعداد سایت ها، مساله مکان‌یابی با ظرفیت محدود با استفاده از مدل P-Median توسعه‌یافته و در قالب یک مطالعه موردی برای استان مازندران فرموله و حل شد. این مدل علاوه بر هزینه‌های حمل‌ونقل و احداث، محدودیت‌های ظرفیت، شعاع پوشش و قیود مکانی را نیز در نظر گرفت.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، مشخص شد که ساختار بهینه شبکه شامل ۷ سایت مادر با ظرفیت‌های بالا در بازه‌ای حدود ۲۰۰ تا ۷۰۰ تن در روز و ۵ سایت باقی‌مانده با ظرفیت‌های حداکثر ۱۰۰ تن در روز به عنوان ایستگاه‌های انتقال است. بنابراین مدل تنها در شرایطی شدنی است که تعداد سایت‌های منتخب برابر با ۱۲ سایت ($p = ۱۲$) و شعاع پوشش برابر با ۱۶۰ کیلومتر در نظر گرفته شود. این یافته بیانگر وجود محدودیت‌های ساختاری و فضایی در شبکه مدیریت پسماند استان است.

همچنین در برخی شهرستان‌ها، به‌ویژه در مناطق مرکزی و شرقی استان مانند آمل، مدل به طور هم‌زمان چند سایت را در یک محدوده مکانی انتخاب کرد. این رفتار مدل به عنوان نشانه‌ای از تمرکز بالای تولید پسماند و فشار مکانی شبکه تفسیر شد. از این رو، این سایت‌ها به صورت یک سایت تجمیعی مادر با ظرفیت بالا در نظر گرفته شدند.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری سلسله مراتبی فازی در GIS با مدل‌های بهینه‌سازی مکان‌یابی، ابزاری موثر برای طراحی شبکه‌های پیچیده مدیریت پسماند در مقیاس منطقه‌ای فراهم می‌کند. رویکرد تلفیقی پیشنهاد شده ضمن کاهش فضای جست‌وجو، امکان تحلیل واقع‌بینانه محدودیت‌های فضایی و عملیاتی را فراهم ساخته و به عنوان چارچوبی قابل تعمیم برای سایر مناطق مشابه کشور می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در پژوهش‌های آتی، پیشنهاد می‌شود مدل ارائه‌شده با داده‌های پویای زمانی و سناریوهای رشد جمعیت و تغییر الگوی تولید پسماند تلفیق شود.

سپاسگزاری

نویسندگان از داوران محترم که با ارسال نقطه‌نظرات خود در بهبود نسخه‌های اصلاحی آتی مقاله ارائه خواهند نمود، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

منابع

[1] Homami Totmaj, L., Rasi, A., Neumann, K., Pirouzi, S., Alizadeh, K., & Behling, H. (2023). Representation of the Hyrcanian forest (northern Iran) in modern pollen rain revealed by palynological and DNA-metabarcoding data. Acta palaeobotanica, 63(1), 100–117.(In Persain).

[2] Ghorbanpour, Z., Abessi, O., & Kardel, F. (2021). Evaluation of the Ecological Risk for the Tunnel Drilling Waste of Tehran-Shomal Highway on Chaloos River. Journal of water and soil science, 24(4), 37–55. (In Persain).

[3] Amirsoleymani, Y., Abessi, O., & Ghajari, Y. E. (2022). A spatial decision support system for municipal solid waste landfill sites (case study: The Mazandaran Province, Iran). Waste management & research: the journal for a sustainable circular economy, 40(7), 940–952. (In Persain).

[4] Wu, Y., Zhang, T., Xu, C., Zhang, B., Li, L., Ke, Y., … Xu, R. (2019). Optimal location selection for offshore wind-PV-seawater pumped storage power plant using a hybrid MCDM approach: A two-stage framework. Energy conversion and management, 199, 112066.

[5] Azadeh, A., Ghaderi, S. F., & Maghsoudi, A. (2008). Location optimization of solar plants by an integrated hierarchical DEA PCA approach. Energy policy, 36(10), 3993–4004.

[6] Mohd Idris, M. N., Hashim, H., & Razak, N. H. (2018). Spatial optimisation of oil palm biomass co-firing for emissions reduction in coal-fired power plant. Journal of cleaner production, 172, 3428–3447.

[7] Jeong, J. S., & Ramírez-Gómez, Á. (2017). Renewable energy management to identify suitable biomass facility location with GIS-based assessment for sustainable environment. Energy procedia, 136, 139–144.
[8] Habibi, F., Asadi, E., Sadjadi, S. J., & Barzinpour, F. (2017). A multi-objective robust optimization model for site-selection and capacity allocation of municipal solid waste facilities: A case study in Tehran. Journal of cleaner production, 166(5), 816–834.
[9] Steubing, B., Ballmer, I., Gassner, M., Gerber, L., Pampuri, L., Bischof, S., Zah, R. (2014). Identifying environmentally and economically optimal bioenergy plant sizes and locations: A spatial model of wood-based SNG value chains. Renewable energy, 61, 57–68.
[10] Jeong, J. S., & Ramírez-Gómez, Á. (2018). Optimizing the location of a biomass plant with a fuzzy-DEcision-MAking Trial and Evaluation Laboratory (F-DEMATEL) and multi-criteria spatial decision assessment for renewable energy management and long-term sustainability. Journal of cleaner production, 182, 509–520.
[11] Zhao, X., & Li, A. (2016). A multi-objective sustainable location model for biomass power plants: Case of China. Energy, 112, 1184–1193.
[12] Das, S. K., Edalatpanah, S. A., & Mandal, T. (2018). A proposed model for solving fuzzy linear fractional programming problem: Numerical Point of View. Journal of computational science, 25, 367–375.
[13] Pérez-Cañedo, B., Concepción-Morales, E. R., & Edalatpanah, S. A. (2019). A Revised Version of a Lexicographical-based Method for Solving Fully Fuzzy Linear Programming Problems with Inequality Constraints. Fuzzy information and engineering, 11(4), 474–493.
[14] Nasseri, S. H., Ebrahimnejad, A., & Cao, B.-Y. (2019). Fuzzy Linear Programming (pp. 39–61). Springer.
[15] Ghasemi, P., & Shojaei, A. A. (2017). Emergency facilities location with variable coverage radius underuncertainty: A case study of Khorasan Province. Journal of Operational Research In Its Applications, 14(1), 77–93.
[16] Nasseri, S. H., Ghaffari-far, F.(2023). A Multi-Objective Mathematical Model for Vehicle Location-Routing Problem with Flexible Fuzzy Constraints. Journal of Operational Research In Its Applications, 20 (2) ,149-169. (In Persain).
[17] Ghaffari-far, F., Nasseri, S. H., Tavakkoli- Moghaddam, R. (2023) . A Vehicle Location-Routing Model for Waste Management Problem under Fuzzy Flexible Conditions. Iranian Journal of Operations Research, 14(1), 80-103.
[18] Jamshidi, M. (2009). Median location problem. In R. Z. Farahani & M. Hekmatfar (Eds.), Facility location: Concepts, models, algorithms and case studies. Heidelberg, Germany: Physica-Verlag. 178–190.
[19] Collective, S. (1398). Shapefiles of Mazandaran Province. Shahrnagar Site. https://www.shahrnegar.com/.(In Persain)
[20] Collective.M. (n.d.). Shapefiles of Mazandaran Provinc. https://memarifile.com/shapefile. (In Persain)
[21] Agency, E. P. (n.d.). Guidelines for technical assessment and environmental criteria for landfills for normal and special waste. (In Persain)
[22] Tavana, M., Soltanifar, M., & Santos-Arteaga, F. J. (2023). Analytical hierarchy process: revolution and evolution. Annals of Oerations Research, 326(2), 879–907.
[23] Şimşek, K., & Alp, S. (2022). Evaluation of Landfill Site Selection by Combining Fuzzy Tools in GIS-Based Multi-Criter hgtia Decision Analysis: A Case Study in Diyarbakır, Turkey. Sustainability, 14(16), 9810.
[24] Bramel, J., & Simchi-Levi, D. (1998). The logic of logistics: Theory, algorithms, and applications. New York, NY: Springer-Verlag.
[25]Mirchandani, P. B., & Francis, R. L. (1990). Discrete location theory. New York, NY: Wiley.