مکان‌یابی پهنه‌های مناسب برای دفن بهداشتی پسماند شهری در تهران با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)

مرجان بدری✉[۱]، هومن بهمن‌پور[۲]

نوع مقاله: علمی پژوهشی

از صفحه ۵۵ تا ۷۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۵

چکیده

یکی از مهم‌ترین مشکلات در جوامع بشری یافتن مکانی بهینه برای دفن بهداشتی انواع پسماندها است. هدف از این پژوهش، پهنه‌بندی عرصه‌های مناسب برای دفن بهداشتی پسماند شهری در تهران است. بدین منظور از تکنیک AHP و ابزار GIS استفاده شد. در ابتدا فهرست معیارهای موثر شناسایی شد و سپس نسبت به وزن‌دهی و اولویت‌بندی معیارها اقدام شد و در نهایت، لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان داد که شش دسته معیار شامل فاصله از راه‌های ارتباطی، فاصله از آبراهه، نقاط بارشی، فاصله از گسل، شیب و کاربری اراضی در مکان‌یابی مراکز دفن پسماند موثر هستند. طبق مدل‌سازی صورت گرفته مشخص شد بیشترین وزن با مقدار ۰/۴۱ به لایه فاصله از راه‌های ارتباطی و کم‌ترین وزن به لایه فاصله از مراکز فضای سبز با مقدار ۰/۰۳۶ اختصاص یافت. در نهایت مطابق با نقشه نهایی بدست آمده مشخص شد قسمت‌های شمال‌غربی شهر تهران شامل منطقه ۲۲ شهرداری بیشترین پتانسیل را جهت احداث مراکز دفن پسماند از خود نشان دادند.

واژگان کلیدی: پسماند شهری، مکان‌یابی، تصمیم‌گیری چندمعیاره، سیستم اطلاعات جغرافیایی، تهران

[۱] ✉ دانشجوی دکتری تخصصی برنامه‌ریزی محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (نویسنده مسئول) dr.m.badri.hse@gmail.com

[۲] استادیار گروه محیط زیست، دانشکده فنی و مهندسی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران

مقدمه

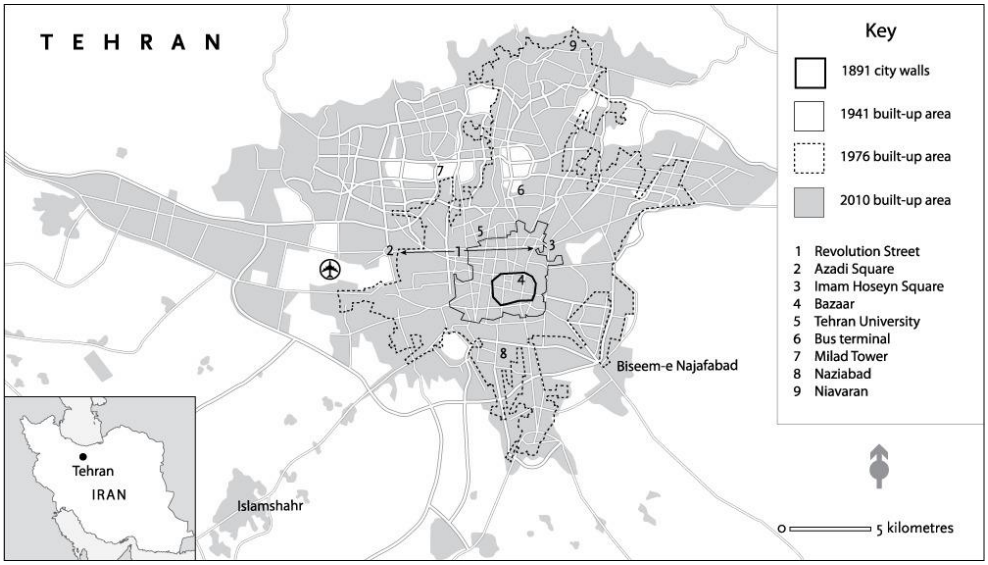
گسترش بی‌رویه شهرها و در نتیجه افزایش بی‌رویه جمعیت شهری در جهان به ویژه در سال‌های اخیر، موجب افزایش بیش از پیشِ مصرف و در نتیجه افزایش تولید انواعِ پسماند در مناطق شهری گردیده است (ژو و لی، ۲۰۱۷)(رهامان و همکاران، ۲۰۲۲). آنچه امروزه تبدیل به یک دغدغه در محیط زیست شهری گردیده چگونگی دفع و معدوم‌سازی زباله‌های شهری است. باید توجه داشت که روش‌های مختلف دفع به عوامل و شاخص‌های زیادی بستگی دارد و روش‌های مختلفی از جمله: سوزاندن و تبدیل کمپوست برای دفع پسماندها نیز پیشنهاد گردیده است (آسوری و همکاران، ۲۰۲۲). با این حال به نظر می‌رسد، هنوز هم در بسیاری از مناطق شهری بهترین روش دفع، دفع بهداشتی پسماندها باشد. مواد زائد، اعم از خطرناک و غیرخطرناک، هر سه عنصر، خاک، هوا را در معرض خطر قرار می‌دهد (امیری، ۲۰۲۳). امروزه با توجه به گسترش روزافزون جمعیت شهری و به دنبال آن افزایش مصرف کالاها و همچنین افزایش انواع پسماند از جمله پسماندهای خانگی، صنعتی، اتمی و... فعالیت‌های چشمگیری برای حل معضل پسماند و روش‌های مناسب دفن این مواد انجام گرفته است (روی و همکاران، ۲۰۲۲). در این راستا انتخاب یک محل دفن مناسب برای پسماندهای جامد شهری، به دلایل متعدد می‌تواند باعث رفع بسیاری از نگرانی‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی ناشی از دفع پسماندها گردد (اسلام و همکاران، ۲۰۲۲). عدم توجه به مسائل زیست محیطی در بسیاری از شهرهای کشور به عنوان یک دشمن پنهان، محیط زیست محل دفن را تهدید می‌نماید. (اندئوبو و همکاران، ۲۰۲۲). دفن مواد جامد شهری از جمله معضلات اصلی بسیاری از شهرهای کشور از جمله تهران به‌شمار می‌آید. در سایر شهرهای کشور به خصوص شهرهای بزرگ مشکلات ناشی از دفن غیراصولی پسماند، محیط زیست و سلامت شهروندان را بطور نگران کننده‌ای تهدید می‌نماید و یکی از معضلات مهم مدیران شهری در کشور، یافتن محل‌های مناسب دفن پسماند می‌باشد، تا علاوه بر رعایت مساله مقبولیت مردمی، محل دفن حداقل تأثیرات زیست محیطی را داشته باشد (تقوای و همکاران، ۲۰۲۱). باید توجه داشت که روش‌های مختلف دفع پسماند به عوامل و شاخص‌های زیادی بستگی دارد (اکبرپور، ۲۰۲۲)(دئوس و همکاران، ۲۰۲۱) برای دفن بهداشتی پسماند معیارها و شاخص‌های متعدد و متنوعی ارایه شده است که هر یک محدودیت‌ها و شرایط خاص خود را دارد (اگولار، ۲۰۱۸). مکان‌یابی سلسله عملیات و اقدامات و تمهیداتی در زمینه حصول اطمینان از وجود شرایط و فراهم آمدن امکان اجرای یک فعالیت است. (فیضی و همکاران، ۲۰۲۱). هدف نهایی از مکان‌یابی دستیابی به مناسب‌ترین محلی است که کمترین آثار سو را برای محیط زیست و منابع طبیعی اطراف داشته باشد و از نظر اقتصادی کم‌هزینه‌ترین و از دیدگاه مهندسی نیز بهترین ویژگی را داشته باشد (همیدات و همکاران، ۲۰۲۲). انتخاب محل دفن، مهمترین قدم برای ایجاد و توسعه یک برنامه رضایت‌بخش دفن است. همچنین مکان‌یابی و مدیریت صحیح محل دفن پسماند به عنوان یکی از اصول توسعه پایدار محسوب می‌شود، به‌طوری که از ضروریات طرح‌های توسعه شهری جهت رسیدن به توسعه پایدار است (اکلر و همکاران، ۲۰۲۳). بدیهی است که بدون استفاده از یک سیستم توانمند، به عنوان ابزاری مطمئن که توانایی استفاده از لایه‌های اطلاعاتی متعدد و تجزیه و تحلیل آنها را داشته باشد، امکان حل بهینه این معضل امکان‌پذیر نخواهد بود. با توجه به توانایی‌های وسیع سیستم اطلاعات جغرافیایی در مسائل تصمیم‌گیری و توانایی ادغام و رویهم‌گذاری لایه‌های اطلاعاتی، گزینه مناسب و اثربخش جهت یافتن محل مناسب برای دفن پسماند استفاده از GIS و فناوریهای مرتبط با آن می‌باشد (امیری، ۲۰۲۳). سیستم اطلاعات جغرافیایی به دلیل توانایی مدیریت حجم عظیمی از داده‌ها، در این خصوص بسیار مناسب می‌باشد (ازترک و کاریپوقلو، ۲۰۲۳). روش تصمیم‌گیری چندمعیاره در واقع شیوه‌ای موثر از

مدیریت شرایط است که با شفاف‌سازی محاسن و معایب گزینه‌های ممکن در شرایط عدم قطعیت کار می‌کند (چن، ۲۰۲۱). در سالیان اخیر گوناگونی در این خصوص در ایران صورت گرفته است. از جمله صادق طالبی (۱۴۰۲) اقدام به مکان‌یابی محل دفن پسماند شهری در بم با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تصمیم‌گیری چندمعیاره نمود. باقرآبادی (۱۴۰۱) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی محل دفن پسماند شهری صحنه را مکان‌یابی نمود. چگنی و همکاران (۱۴۰۰) در لرستان اقدام به مکان‌یابی محل دفن پسماند شهری نمودند. آنها از ابزار GIS و تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده کردند.

با افزایش جمعیت شهری، نیاز برای یافتن محل جدید به منظور دفن پسماند ضرورت دارد. با توجه به عوامل متعدد مؤثر در مکان‌یابی محل دفن و وسعت زیاد منطقه مورد مطالعه روش‌های سنتی جهت مکان‌یابی محل دفن پسماند بسیار وقت‌گیر، هزینه‌بر و کم دقت خواهند بود (یزدی و همکاران، ۲۰۲۰). در نتیجه افزایش تولید پسماند، ظرفیت محل فعلی مورد استفاده جهت دفن پسماند تکمیل گردیده است. بدین جهت استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) یافت جهت بهترین و مناسب‌ترین مکان جهت دفن پس ماند ضروری به نظر می‌رسد (افضلی و فقیهی زرندی، ۲۰۱۸). عدم توجه به مسائل محیطی در بسیاری از شهرهای کشور به عنوان یک چالش اساسی قرن حاضر محیط زیست محل دفن را تهدید می‌نماید. اما آنچه جمع‌آوری و دفع زباله را به کار ضروری و اجتناب‌ناپذیر مبدل کرده رعایت بهداشت است. بخش زیادی از مواد زائد شهری خصوصیاتی دارند که بنابر آن خصوصیات، ماندنشان در محیط زندگی، سلامت زندگی، سلامت انسان و موجودات زنده را خطر انداخته، موجب بروز مشکلاتی در محیط‌های انسانی می‌شوند. بنابراین، پژوهش حاضر در راستای مرتفع‌نمودن بخشی از این نیازها و مشکلات تهیه و تدوین گردیده است. هدف از این تحقیق یافتن مکان بهینه برای دفن بهداشتی پسماند شهری در تهران است.

منطقه مورد مطالعه

در سال‌های اخیر شهر تهران، با رشد بی‌رویه جمعیت روبرو گشته است. جمعیت شهر تهران، از سال ۱۳۳۵ خورشیدی تا به امروز، بیش از ۵ برابر و مساحت آن ۷/۵ برابر شده است. طبق سرشماری سال ۱۳۹۵ بالغ بر ۸،۶۹۳،۷۰۶ نفر بوده و مساحت آن ۷۳۰ کیلومترمربع است (شکل ۱). بر اساس آمار سازمان ملل متحد در سال ۲۰۱۴ تهران چهلمین شهر پُرجمعیت جهان به‌شمار آمده و سازمان ملل پیش‌بینی نموده که در سال ۲۰۳۰ جمعیت شهر تهران به حدود ۱۰ میلیون نفر افزایش یابد (دارابی و همکاران، ۲۰۱۹). در شهر تهران روزانه حدود ۷۵۰۰ تن و سالیانه حدود ۵/۲ میلیون تن پسماند تولید می‌شود که با توجه به آنالیز انجام شده حدود ۷۰ تا ۷۵ درصد مواد آلی قابل تبدیل به کمپوست (زباله تر) و ۲۰ تا ۲۵ درصد مواد خشک قابل بازیافت و ۵ تا ۱۰ درصد سایر مواد زاید وجود دارد. میزان تولید زباله به عوامل و پارامترهای بسیاری بستگی دارد که برخی از آنها عبارتند از: جمعیت، وسعت محدوده مورد بررسی عوامل اقتصادی - اجتماعی - فرهنگی ، تغییرات نزولات جوی و.... (قزلباش و مقصودی، ۲۰۱۸).



شکل ۱. موقعیت شهر تهران و روند تغییرات آن در بازه زمانی ۱۸۹۱ میلادی تا ۲۰۲۰

یکی از عوامل محدودکننده توسعه فضاهای زیرزمینی در شهر تهران، پتانسیل لرزه‌خیزی است. در مجموع ۴۱۰ کیلومتر گسل زمین‌لرزه در محدوده و خارج از محدوده شهر تهران شناسایی شده است که ۲۴۹ کیلومتر آن در داخل محدوده شهر تهران قرار دارد، در مجموع ۸۰ کیلومترمربع وسعت گسل‌های تهران در داخل و خارج از محدوده است که ۴۷ کیلومتر گسل زمین‌لرزه در داخل محدوده تهران قرار دارد. در همین ارتباط و در راستای پیاده‌سازی شیوه مذکور باید گفت که شهر تهران، بر اساس نقشه پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای کشور در پهنه خطر بسیار زیاد زمین‌لرزه قرار گرفته است. این در حالی است که بر اساس مطالعات انجام شده توسط مشاوران ایرانی و نیز آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (جایکا) و مرکز مطالعات زمین‌لرزه و زیست محیطی تهران، در صورت وقوع زمین‌لرزه در تهران حدود ۴۸۰.۰۰۰ ساختمان به شدت آسیب دیده و حدود ۲۲۰ میلیارد دلار خسارت مستقیم به شهر وارد خواهد شد (احسانی و بهمن پور، ۲۰۱۸).

داده‌ها و روش‌ها

این تحقیق از نوع کاربردی است. برای مکان‌یابی بهینه محل دفن بهداشتی پسماند شهری ابتدا قوانین فرادستی و پیشینه تحقیق مورد بررسی قرار گرفت. سپس، اقدام به استخراج معیارهای موثر بر مکان‌یابی گردید. در ادامه، لایه‌های جغرافیایی شهر تهران تهیه و براساس معیارهای شناسایی شده اقدام به وزن‌دهی آنها گردید. برای وزن‌دهی لایه‌ها از تکنیک سلسله مراتبی استفاده شد و سپس، با استفاده از تکنیک رویهم‌گذاری لایه‌ها در محیط GIS نسبت به تعیین پهنه مناسب اقدام شد. مراحل اجرای تحقیق به شکل زیر بوده است:

۱. تدوین معیارهای موثر بر مکان‌یابی

در این مرحله، از طریق بررسی اسناد فرادستی، قوانین و ضوابط و همچنین مطالعات پیشین نسبت به تدوین فهرست معیارهای موثر بر مکان‌یابی محل دفن بهداشتی پسماند شهری اقدام شد. بر این مبنا، شش دسته معیار کلی شناسایی شدند. در ادامه، از طریق طیف لیکرت نسبت به هر یک از معیارهای شناسایی شده وزن داده شد تا امتیاز وزنی به دست آید. فهرست نهایی در جدول ۱ ارایه شده است.

جدول ۱. امتیازدهی معیارهای مکان‌یابی دفن پسماند شهری در تهران

معیار	طبقه	امتیاز کیفی	امتیاز وزنی
دسترسی به شبکه ارتباطی	۱۰۰۰ > متر	بسیار نامناسب	۱
	۲۰۰۰ – ۱۰۰۰ متر	نامناسب	۲
	۵۰۰۰ – ۲۰۰۰ متر	متوسط	۳
	۱۰۰۰۰ – ۵۰۰۰ متر	مناسب	۴
	۲۰۰۰۰ – ۱۰۰۰۰ متر	بسیار مناسب	۵
فاصله از آبراهه‌ها	۱۰۰۰ > متر	بسیار نامناسب	۱
	۲۰۰۰- ۱۰۰۰ متر	نامناسب	۲
	۴۰۰۰ - ۲۰۰۰ متر	متوسط	۳
	۶۰۰۰ – ۴۰۰۰ متر	مناسب	۴
	۶۰۰۰ > متر	بسیار مناسب	۵
فاصله از گسل‌ها	۱۵۰۰ – ۰ متر	بسیار نامناسب	۱
	۳۰۰۰ – ۱۵۰۰ متر	نامناسب	۲
	۵۰۰۰ – ۳۰۰۰ متر	متوسط	۳
	۷۰۰۰ – ۵۰۰۰ متر	مناسب	۴
	۷۰۰۰ > متر	بسیار مناسب	۵
شیب	۲۰ > متر	بسیار مناسب	۱
	۳۰ – ۲۰ متر	مناسب	۲
	۳۵ – ۳۰ متر	متوسط	۳
	۴۰ – ۳۵ متر	نامناسب	۴
	۴۰ > متر	بسیار نامناسب	۵
کاربری اراضی	مناطق مسکونی	بسیار نامناسب	۱
	مناطق جنگلی	نامناسب	۲
	مناطق زراعی و کشاورزی	متوسط	۳
	مناطق صنعتی	مناسب	۴
	اراضی بایر	بسیار مناسب	۵
بارندگی	بسیار زیاد	بسیار نامناسب	۱
	زیاد	نامناسب	۲
	متوسط	متوسط	۳
	اندک	مناسب	۴
	بسیار اندک	بسیار مناسب	۵

(اسلام و همکاران، ۲۰۲۲)(اکار و همکاران، ۲۰۲۲)(هوشیار، ۲۰۱۶)(ISWA، ۲۰۱۹)

۲. اولویت‌بندی معیارها

در این مرحله با استفاده از تکنیک سلسله مراتبی (AHP) نسبت به اولویت‌بندی معیارها اقدام شد. در این روش به واحدهای هر لایه ارزش‌های مناسب بر پایه مطالعات و نتایج کارشناسی داده و سپس درخت سلسله مراتبی برای لایه‌های اکتشافی رسم شده است که سه سطح اصلی هدف لایه‌ها و زیرلایه‌ها را دارد (چن، ۲۰۲۱)(مسیکا و همکاران، ۲۰۲۱). پس از این مرحله لایه‌ها و زیرلایه‌ها در یک ماتریس قرار گرفتند؛ دو به دو باهم مقایسه شدند و اهمیت (وزن) لایه‌ها و زیرلایه‌ها به دست آمد (یزدی، ۲۰۲۰). با استفاده از روش AHP لایه‌های اکتشافی به صورت مقایسه

زوجی و با استفاده از جدول استاندارد پیشنهاد شده توسط ساعتی (۲۰۰۵) (جدول ۲) از حالت کیفی به کمی تبدیل شده و با توجه به هدف تصمیم‌گیری رتبه-بندی می‌شوند (ساعتی، ۲۰۰۵).

جدول ۲. مقایسه ۹ کمیت روش سلسله مراتبی برای مقایسه دودویی

امتیاز (شدت اهمیت)	تعریف
۱	با اهمیت و ارجحیت مساوی
۳	با اهمیت و ارجحیت اندکی بیشتر
۵	با ارجحیت و اهمیت قوی
۷	با ارجحیت خیلی قوی
۹	با ارجحیت بی‌نهایت
۲،۴،۶،۸	ارزش میانی

(بسکسه و همکاران، ۲۰۱۵)(

ماتریس مقایسه زوجی برای n لایه مختلف به‌صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود و در نهایت مقادیر وزنی مناسب برای لایه‌ها و زیرلایه‌ها طبق رابطه ۲ محاسبه می‌گردد

رابطه ۱

$$A=\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} . a_{ij}>0; a_{ij}=\frac{1}{a_{ji}}; a_{ji}=1 \forall i.$$

رابطه ۲

$$Aw=\lambda_{max\,.\,W}$$

گفتنی است که سازگاری ماتریس مقایس‌های زوجی در روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یکی از موضوعاتی است که باید همواره در فرآیند تصمیم‌گیری در نظر گرفته شود. سازگاری قضاوت‌ها در فرایند یاد شده با محاسبه نسبت سازگاری CR مطابق رابطه ۳ ارزیابی می‌شود.

رابطه ۳ $CR=CI/RI$

در رابطهٔ بالا CI شاخص سازگاری و شاخص نسبت ماتریس تصادفی است. در این پژوهش برای بررسی سازگاری قضاوت‌ها، از روابط مورد استفاده در تعیین میزان سازگاری در روش سلسله مراتبی (AHP) استفاده شده است. چناچه نسبت سازگاری CR به دست آمده کم‌تر از ۰/۱ باشد؛ مقایسات زوجی و قضاوت‌های انجام گرفته مورد قبول است (ساعتی، ۲۰۰۵). کارشناسانی که در این تحقیق مشارکت داشتند، ۱۲ نفر از صاحب‌نظران حیطه مدیریت محیط زیست، مدیریت شهری و مهندسی عمران بودند که از سابقه بیش از ۲۰ سال و عضویت در هیات علمی دانشگاههای معتبر تهران برخوردار بودند.

که در آن W بردار وزنی و بالاترین مقدار ویژه ماتریس است (قزلباش و مقصودی، ۲۰۱۸)

۳. رویهم‌گذاری لایه‌های اطلاعاتی

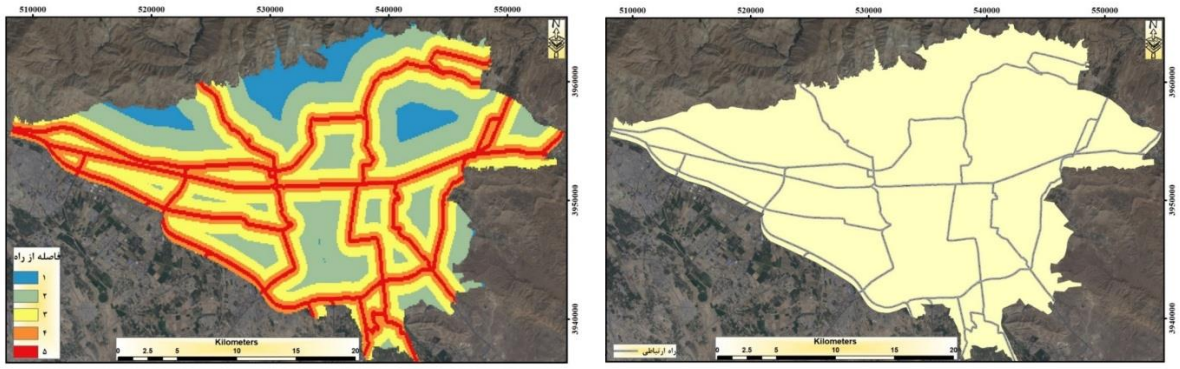
پس از نهایی شدن معیارها و اولویت‌بندی آنها توسط کارشناسان، از ابزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای رویهم‌گذاری لایه‌های استفاده شد. (ارزم و همکاران، ۲۰۲۱). بدین منظور از نرم‌افزار ArcGIS, Version 10.2 استفاده شد. سیستم اطلاعات جغرافیایی یک سیستم مدیریت مبتنی بر داده‌های دیجیتالی است که به منظور مدیریت محدوده وسیعی از انواع داده‌ها طراحی شده است (اکبری و همکاران، ۲۰۲۰). در واقع، به عنوان ابزاری ایده‌آل در مطالعات

مربوط به قابلیت‌سنجی سایت‌ها به شمار می‌رود، زیرا که از توانایی مطلوبی به منظور ساخت، ذخیره، ترکیب و تحلیل لایه‌های اطلاعاتی، با توجه به نیاز و تعریف ارائه شده از سوی کاربر، برخوردار است (توفیق خطاب و همکاران، ۲۰۲۰)(وو و همکاران، ۲۰۱۹).

یافته‌های تحقیق

دسترسی به شبکه ارتباطی

یکی از مهم‌ترین فاکتورهای موثر در انتخاب محل دفن زباله دسترسی به شبکه راه‌ها است. توجه به این شاخص از نظر اقتصادی و عملکردی حائز اهمیت است. برآورد هزینه حمل و نقل و مدت زمان لازم برای دسترسی به محل دفن زباله از جمله اصلی‌ترین معیار برای وزن‌دهی به شاخص دسترسی و طبقه‌بندی آن است. به طور کلی جهت سهولت و کاهش زمان حمل و نقل و هزینه، مکان دفن پسماند باید حتی‌المقدور به جاده‌های اصلی و راه‌های موجود نزدیک باشد. مطابق شکل ۲ بنابراین هرچه فاصله به راه‌های اصلی کم‌تر باشد، وزن بیشتری به آن تعلق می‌گیرد و برعکس (شکل ۲).

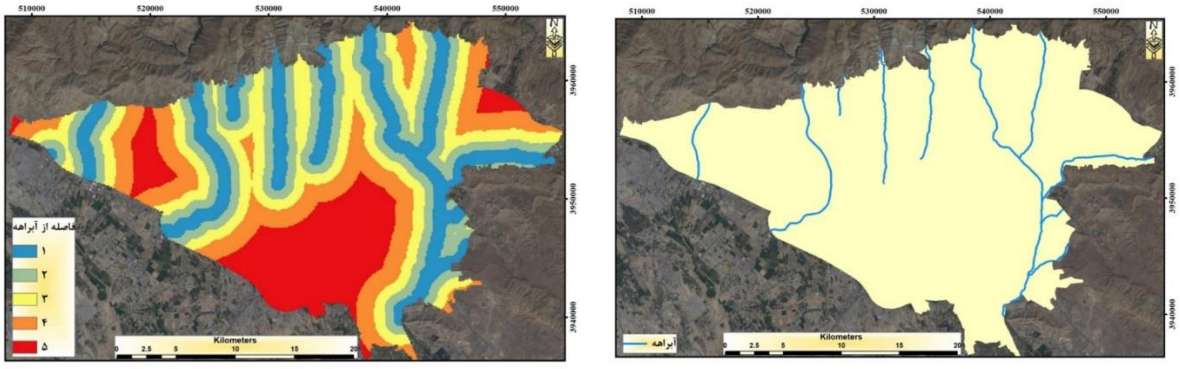


(ب) (الف)

شکل ۲. نقشه راه‌های ارتباطی (الف) و کلاس‌بندی آن در شهر تهران (ب)

فاصله از شبکه آبراهه

با توجه به آن که چشمه‌ها محل و مظهر ظهور آب‌های زیرزمینی به سطح زمین هستند و همچنین رودخانه‌ها محل‌هایی هستند که امکان انتخاب سایت دفع و دفن در آن‌ها وجود ندارد. شبکه آبراهه در اصل منظر سمت و سوی آب زیرزمینی بوده و هر قدر در سطح از آبراهه‌ها دورتر شویم به منظره کاهش سطح آب زیرزمینی بوده و محیط جهت احداث پسماند مناسب‌تر می‌باشد. مطابق شکل ۳ بیشترین میزان تراکم آبراهه‌ها در شمال تهران واقع شده‌اند که به ترتیب با فاصله گرفتن از آن‌ها وزن بیشتری به آن‌ها تعلق می‌گیرد.

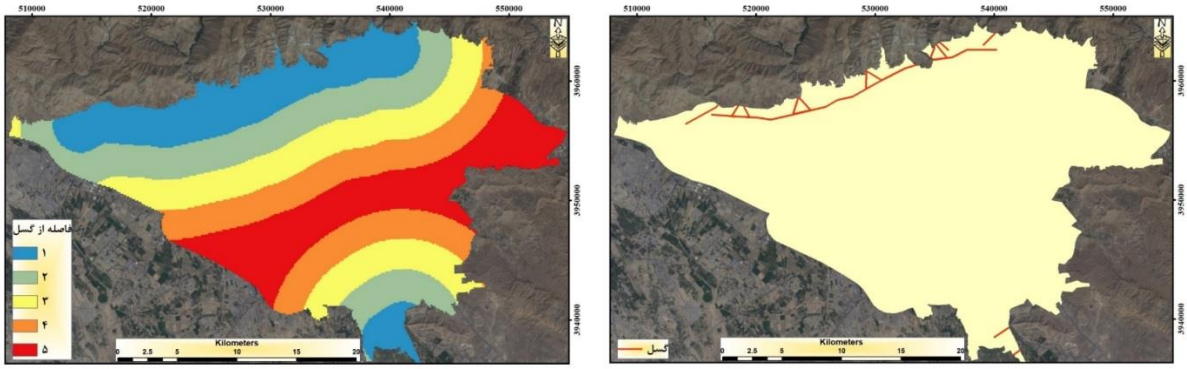


(ب) (الف)

شکل ۳. نقشه فاصله از آبراهه‌ها (الف) و کلاس‌بندی آن در شهر تهران (ب)

فاصله از گسل

مکان دفن باید خارج از محدوده گسل‌ها باشد، زیرا معمولاً در محل گسل‌ها درز و شکاف‌ها بسیار زیاد بوده و همین مسأله باعث افزایش نفوذپذیری در منطقه می‌شود. همچنین در گسل‌های فعال خطر تخریب پسماندهای دفن شده توسط حرکات لرزه‌ای هم وجود دارد. بنابراین هرچه از گسل‌ها فاصله بیشتر شود، وزن بیشتری به آن تعلق می‌گیرد و برعکس. مطابق شکل ۴ قسمت‌های مرکزی شهر تهران بیشترین فاصله از گسل‌های منطقه دارا می‌باشند.

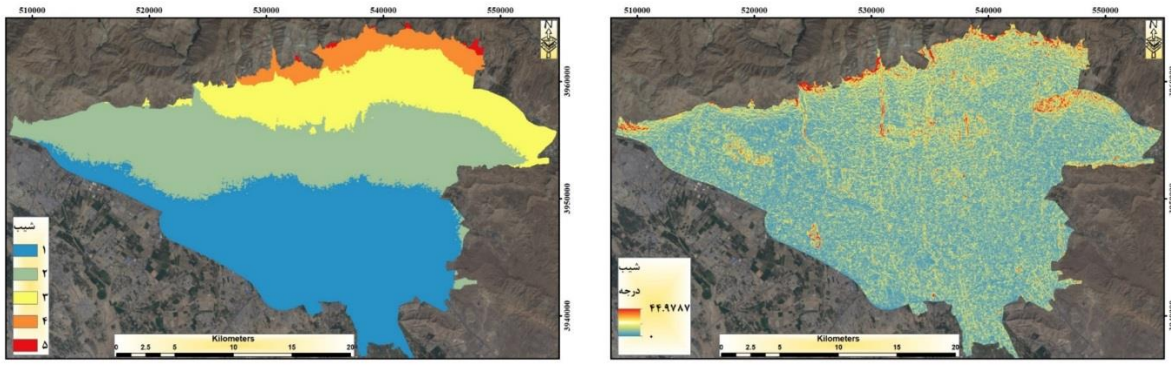


(ب) (الف)

شکل ۴. نقشه گسل‌های شهر تهران (الف) و کلاس‌بندی آن (ب)

شیب

مشهود است نواحی پرشیب و کوهستانی برای انتخاب محل‌های دفن پسماندها نامناسب؛ بنابراین با حذف این نواحی در محیط GIS چنین پهنه‌هایی از قلمرو مطالعات مکان‌یابی حذف می‌شوند. جهت دفن زباله شیب یک پارامتر فیزیکی بشمار می‌رود، زیرا در شیب‌های تند دفن زباله چه از نظر جاری شدن شیرابه زباله به هنگام بارش و چه از نظر اقتصادی (احداث راه‌ها و زیرساخت‌ها) با مشکل مواجه می‌شود. بنابراین هرچه مقدار شیب کم‌تر باشد، وزن بیشتری به آن جهت پتانسیل‌یابی مراکز دفن پسماند بشمار می‌روند. بنابراین مطابق شکل ۵ نواحی جنوبی شهر تهران کم‌ترین میزان شیب را دارا می‌باشند.



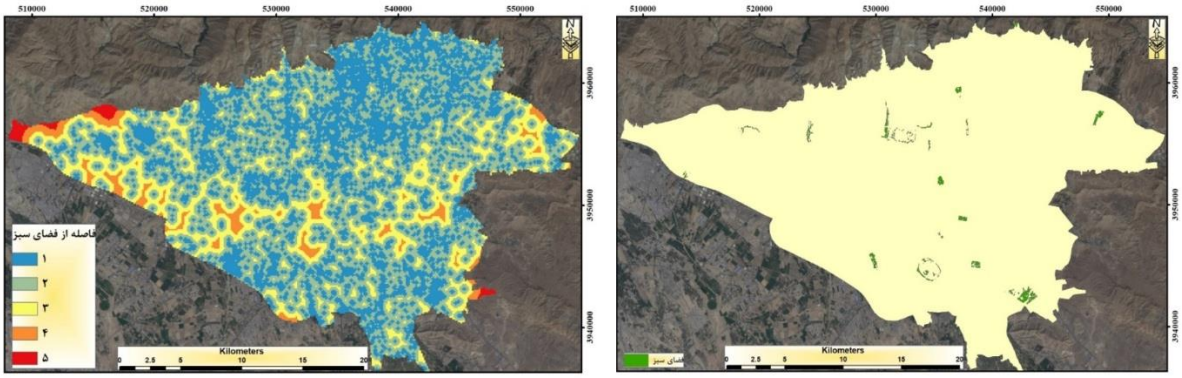
(ب) (الف)

شکل ۵. نقشه شیب (الف) و کلاس‌بندی آن در شهر تهران (ب)

کاربری اراضی

کاربری اراضی یکی دیگر از عواملی است که باید در انتخاب محل دفن به آن‌ها توجه کرد، با توجه به کاربری اراضی پوشش گیاهی در این مطالعه فاصله از پوشش گیاهی به عنوان معیار کاربری اراضی در نظر گرفته شده است. واضح است هرچه از فضاهای سبز فاصله بگیریم مناطق برای دفن پسماند مناسب‌تر بوده و همین دلیل وزن بیشتری به آن تعلق می‌گیرد و

برعکس. مطابق شکل ۶ نواحی شمال‌غربی تهران بیشترین فاصله را از فضاهای سبز شهری دارا می‌باشند.

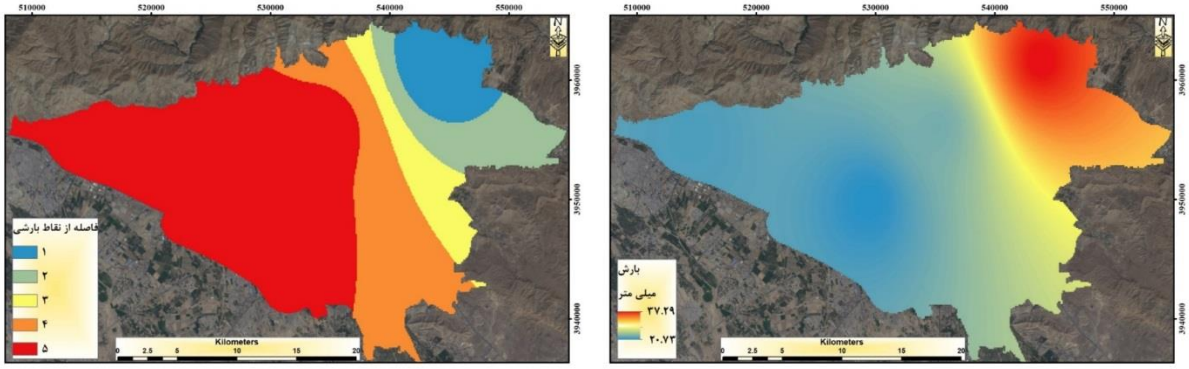


(ب) (الف)

شکل ۶. نقشه کاربری اراضی (الف) و کلاس‌بندی آن در شهر تهران (ب)

بارندگی

بطور کلی آگاهی از شدت و مدت زمان بارش و محاسبه تخمینی آن در جلوگیری از تماس آب‌های سطحی با مواد دفن شده و همچنین تخمین میزان شیرابه تولیدی کمک شایانی می‌نماید. از آنجایی که نواحی دارای بارندگی کم‌تر جهت احداث مکان‌های دفن پسماند دارای ارزش بیشتر نسبت به نواحی پرباران هستند، بنابراین به نواحی با بارش کم‌تر وزن بیشتری برای احداث مراکز دفن پسماند تعلق می‌گیرد. مطابق شکل ۷ در قسمت‌های غربی شهر تهران کم‌ترین میزان بارش ثبت شده است.



شکل ۷. نقشه میزان بارش (الف) و کلاس‌بندی آن در شهر تهران (ب)

استانداردسازی

در این بخش تمامی المان‌های ماتریس تصمیم مرحله قبل، به صورت بی‌مقیاس و قابل مقایسه با هم تبدیل می‌شوند. در فرآیند بی‌مقیاس سازی، شاخص‌های مختلف که مقیاس‌های متفاوتی دارند، بدون بعد گشته و قابل مقایسه خواهند شد. روش اصلی بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم در این پژوهش، روش بی-مقیاس‌سازی خطی می‌باشد. مطابق این روش به ازای جنبه مثبت برای شاخصها، هر ارزش r_{ij} را به ماکزیمم موجود از ستون j ام (r^*j) تقسیم می‌کنیم. یعنی:

رابطهٔ ۱
$$n_{ij} = \frac{r_{ij}}{r*j}$$

و چنانچه شاخص‌ها جنبه منفی داشته باشند، داریم:

رابطهٔ ۲
$$n_{ij} = 1 - \frac{r_{ij}}{r*j}$$

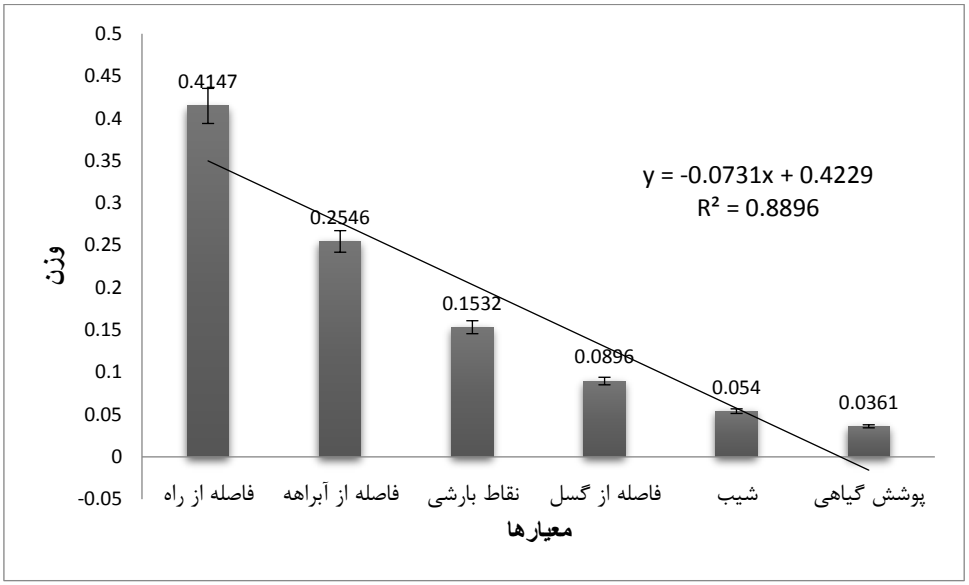
در واقع این مرحله کمک می‌کند تا یک رتبه‌بندی اولیه روی گزینه‌های تصمیم‌گیری مسأله مورد مطالعه صورت پذیرد.

تعیین ارزش هر گزینه به ازای هر معیار

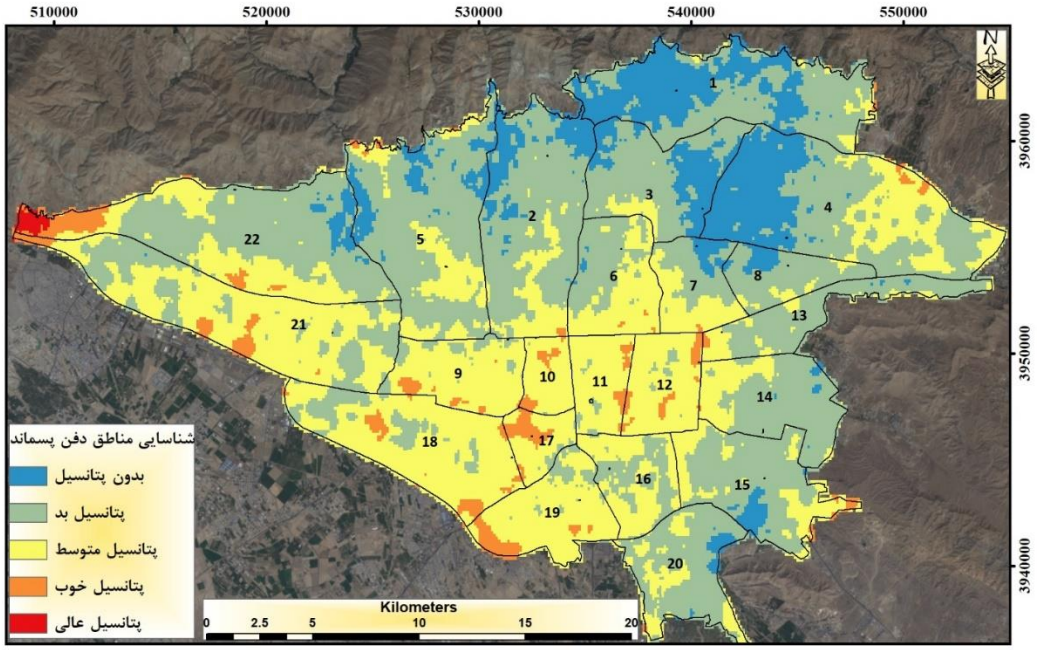
پس از تعیین معیارهای مختلف، که شامل لایه‌های فاصله از راه‌های ارتباطی، فاصله از آبراهه‌ها، نقاط بارشی، فاصله از گسل، شیب و پوشش گیاهی، در ابتدا یک ماتریس مقایسه زوجی برای لایه‌های نام برده شده تشکیل شد. در این ماتریس، ۶ معیار بر اساس نظرات متخصصین و با استفاده از جدول شاخص وزن‌دهی به‌صورت مقایسه زوجی وزن‌دهی شدند و در نهایت با استفاده از روش AHP، مقدار اوزان مناسب برای هریک از معیارها محاسبه گردید (جدول ۳). طبق این روش، بیشترین وزن با مقدار ۰/۴۱ به لایهٔ فاصله از راه‌های ارتباطی و کم‌ترین وزن به لایه فاصله از پوشش گیاهی با مقدار ۰/۰۳۶ اختصاص یافت. مطابق شکل ۸ وزن‌های هر یک از معیارها بدست آمد. در این روش لایه‌های اطلاعاتی مختلف با یکدیگر تلفیق شده و نقشهٔ نهایی مناطق مناسب جهت احداث مراکز دفع پسماند مطابق شکل ۸ تولید شد. ضریب ناسازگاری بدست آمده برای ماتریس لایه‌های معیار CR=۰/۰۳۷ بدست آمد. ضریب ناسازگاری بدست آمده برای شناسایی پتانسیل احداث مراکز دفن پسماند نشان می‌دهد که لایه‌های انتخاب شده و کلاس‌بندی شده بر اساس نظر متخصصان مربوطه، توانسته به‌خوبی و با ضریب ناسازگاری بسیار پایین مدل‌سازی نهایی را انجام دهد و نقشهٔ نهایی از دقت بالایی برخوردار است.

جدول ۳. ماتریس مقایسه زوجی لایه‌های اکتشافی و اوزان محاسبه شده توسط روش AHP

	فاصله از راه	فاصله از آبراهه	نقاط بارشی	فاصله از گسل	شیب	کاربری اراضی
فاصله از راه	1	2	3	5	7	9
فاصله از آبراهه	0.5	1	2	3	5	7
نقاط بارشی	0.333	0.5	1	2	3	5
فاصله از گسل	0.2	0.333	0.5	1	2	3
شیب	0.143	0.2	0.333	0.5	1	2
کاربری اراضی	0.111	0.143	0.2	0.333	0.5	1



شکل ۸. وزن‌های بدست آمده از روش AHP برای معیارها



شکل ۹. نقشهٔ مکان‌های مناسب جهت احداث مراکز دفن پسماند در شهر تهران

نتیجه‌گیری

روش نامناسب جمع‌آوری و دفع پسماند، آلودگیهای زیست محیطی، آب و خاک را سبب شده و مخاطرات بهداشتی را به دنبال دارد. لازمه موفقیت در این انتخاب روش مناسب برای دفن و یا دفع پسماند، در نظر گرفتن معیارهای ویژه‌ای است که می‌باید در تصمیم‌گیری‌ها دخالت داده شوند. (قربان‌راده و همکاران، ۲۰۱۹). وجود معیارهای متعدد با درجه اهمیت مختلف و تأثیرگذار، کار تصمیم‌گیری را مشکل می‌کند. محل انتخاب شده برای جمع‌آوری و دفن پسماندها می‌تواند اثرات منفی و زیان‌بار بالقوه‌ای بر محیط زیست، سلامتی جامعه و اقتصاد آن محل داشته باشد (واناپالی و همکاران، ۲۰۲۱). مکان‌یابی و مدیریت صحیح محل دفن زباله به عنوان یکی از ارکان اصلی توسعه پایدار محسوب می‌شود. به طوری که یافتن محل مناسب از ضروریات طرح‌های توسعه شهری می‌باشد. برای انجام دفع و دفن بهداشتی به منظور کاهش خطرات بالقوه زیست‌محیطی لندفیل، مکان‌یابی علمی با در نظر گرفتن عواملی چون آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی، فاصله از مناطق مسکونی، عوامل زمین‌شناسی و ... امری اجتناب‌ناپذیر است.

شناسایی محل مناسب برای دفع پسماندها، نیاز به یکسری فرآیند گسترده‌ای دارد و بایستی از یک طرف مطابق با الزامات قانونی و مقررات دولتی باشد و از طرفی هزینه‌های اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی و بهداشتی را به حداقل برساند (فروناتو و تروتا، ۲۰۱۹). بر همین اساس پژوهش حاضر با هدف مکان‌یابی مراکز دفن پسماند در شهر تهران صورت پذیرفت.

هدف این پژوهش پتانسیل‌یابی مراکز دفن پسماند (زباله) با بهره‌گیری روش تصمیم‌گیری چندمعیاره در شهر تهران با توجه به ابعاد مکانی مسأله، ماهیت نیمه-ساختاریافته و مشارکتی آن، نیاز به توسعه روشی یکپارچه برای استفاده از معیارهای مکانی به همراه مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره تحلیل سلسله مراتبی (AHP) می‌باشد. به منظور حل مسأله مورد نظر این تحقیق استفاده شده است. چرا که تصمیم‌گیری در این زمینه نیازمند در نظر گرفتن سناریوهای تصمیم‌گیران مختلف و انجام تحلیل‌های متعدد می‌باشد. لذا با استفاده از این روش، تصمیم-گیران میتوانند سناریوهای مختلف مورد نظر خود را تعریف و نتایج حاصل از آنها را مشاهده و بررسی نمایند. به منظور مکان‌یابی مراکز دفن پسماند پس از بررسی مطالعات پیشین و مشورت‌های انجام شده با

کارشناسان امر ۶ معیار تأثیرگذار بر مسأله انتخاب گردید. پس از تعیین معیارهای مختلف، که شامل لایه-های فاصله از راه‌های ارتباطی، فاصله از آبراهه، نقاط بارشی، فاصله از گسل، شیب و پوشش گیاهی است. تلفیق نقشه‌های معیار توسط نظر کارشناسان مربوطه و روش AHP صورت پذیرفت. مطابق این روش به ترتیب معیارهای فاصله از راه> فاصله از آبراهه> بارش> فاصله از گسل > شیب> پوشش گیاهی> مهمترین معیارهای در شناسایی مراکز دفن پسماند شناخته و رتبه‌بندی شدند. مطابق با نقشه نهایی بدست آمده قسمت‌های شمال‌غربی (منطقه ۲۲) شهر تهران بیشترین پتانسیل را جهت احداث مراکز دفن پسماند در شهر تهران از خود نشان دادند و می‌توان برای مطالعات مقدماتی در این مناطق بازدیدهای صحرایی را جهت احداث این مراکز انجام داد. جهت ارتقای پژوهش حاضر پیشنهادات زیر ارائه شده‌اند:

- تدوین برنامه‌ها و طرح‌هایی برای هدایت و کنترل رشد و توسعه در محدود منطقه شهری می‌تواند به جلوگیری و کاهش میزان آسیب‌ها و خسارت‌های غیرقابل جبران به منابع حیاتی زیستی، اراضی مرغوب کشاورزی، مناطق ییلاقی، گذراندن اوقات فراغت و ... کمک کند و همچنین شرایط مناسب برای کارکرد شهر تهران را فراهم کند.
- همراه با افزایش تولید زباله‌های خانگی، بیمارستانی و... توجه به برنامه‌های بازیافت زباله، کمپوست و صناعی وابسته به آن لازم و ضروری است و لزوم تعیین ضوابط برای دفن بهداشتی زباله‌های بیمارستانی احساس می‌شود.
- نواحی مکان‌یابی شده در این پژوهش، نیازهای این شهر را در چند سال آینده پاسخ داده و با توجه به قرارگیری آن در شعاع چند کیلومتری دور از شهر، امکان ایجاد تأسیسات و تجهیزات بازیافت زباله نیز وجود دارد.
- بهره‌گیری از روش‌هایی نظیر جنگل تصادفی (RF) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) جهت تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و بالارفتن دقت مکان‌یابی.

منابع

Afzali, A. & Faqihi Zarandi, A. (2018). Feasibility of setting up a joint burial site for solid waste in Khomeini Shahr city and its neighboring cities using fuzzy logic and AHP. *Journal of Environmental Science and Technology*, Vol, 21, No, 77-87. (in Persian)

Aguilar, J.A.A., Aguilar, H.A.N., Hernandez, R.F.G., Valencia, M.N.R. (2018) Emplacement of solid waste management infrastructure for the Frailesca Region, Chiapas, México, using GIS tools. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21-(3), 391-399.

Akar, A. U., Yalpir, S., Sisman, S., Goktepeli, G., & Yel, E. (2023). A deterministic approach in waste management: delineation of potential territories in Turkey for industrial symbiosis of olive pomace, marble wastes and plastics by integrating Fuzzy AHP to GIS. *Environment, Development and Sustainability*, *25*(6), 5635-5662.

Akbari, D., Omrani, N., Akbari, M. (2020). "Locating tourist accommodation centers using ANP-VIKOR model (Case study of Rodsar County)", Journal of Geographic Information System Application and Remote Sensing in Planning, Volume 11, Number 2, Summer 99. 26-37 pp.

Akbarpour, N., Salehi-Amiri, A., Hajiaghaei-Keshteli, M., & Oliva, D. (2021). An innovative waste management system in a smart city under stochastic optimization using vehicle routing problem. *Soft Computing*, *25*, 6707-6727.

Amiri, F. (2023). Solid waste disposal site selection using geospatial information technologies and fuzzy analytic hierarchy process (FAHP): a case study in Bandar Bushehr, Iran. *GeoJournal*, *88*(3), 3347-3368.

Andeobu, L., Wibowo, S., Grandhi, S. (2022). Artificial intelligence applications for sustainable solid waste management practices in Australia: A systematic review. *Science of the Total Environment*, *834*, 155389.

Aslam, B., Maqsoom, A., Tahir, M. D., Ullah, F., Rehman, M. S. U., & Albattah, M. (2022). Identifying and ranking landfill sites for municipal solid waste management: An integrated remote sensing and GIS approach. *Buildings*, *12*(5), 605.

Asori, M., Dogbey, E., Morgan, A.K., Ampofo, S.T., Mpobi, R.K.J., and Katey, D. (2022). Application of GIS-based multi criteria decision-making analysis (GIS-MCDA) in selecting locations most suitable for siting engineered landfills–the case of Ashanti Region, Ghana. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 33(3), 800-826.

Arzam, F., Mirhosseini, S.Q., Dehghani, M., Bakhordari Ahmadi, M. (2021). Providing a multi-objective optimization model for health, safety, and environmental risks of waste disposal sites in coastal cities (case study: Bandar Abbas coastal city). *Tolo Health Yazd*, year 20, No, 3. 88-102. (in Persian)

Beskese, A., Demir, H.H., Ozcan, H.K., Okten, H.E. (2015). Landfill site selection using fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS: a case study for Istanbul. *Environmental Earth Sciences*, 73(7), 3513–3521.

Chen, T. (2021). A diversified AHP-tree approach for multiple-criteria supplier selection. *Computational Management Science*, *18*(4), 431-453.

Darabi, H., Choubin, B., Rahmati, O., Torabi Haghighi, A., Biswajeet, P. (2019). Urban Flood Risk Mapping Using the GARP and QUEST Models: A Comparative Study of Machine Learning Techniques. *Journal of Hydrology*, 2019, 569:142–54.

Deus, R.M., Esguícero, F.J., Battistelle, R.A.G., & Jugend, D. (2022). Drivers and barriers to successful solid waste management: assessing through an aggregated indicator. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, *24*(4), 1476-1484.

De Vicente, S.M.G., Smith, N.A., El-Guebaly, L., Ciattaglia, S., Di Pace, L., Gilbert, M., Torcy, D. (2022). Overview on the management of radioactive waste from fusion facilities: ITER, demonstration machines and power plants. *Nuclear Fusion*, *62*(8), 085001.

Ehsani, M., Bahmanpour, H. (2018). Underground transportation system risk assessment to mitigate vulnerability against natural disasters through intelligent urban management, 2018, *International Journal of Human Capital in Urban Management* (IJHCUM), 3(3): 179-192, Summer 2018

Faizi, M., Behbahani-Nia, A., Asami Zawareh, S.R., & Rostami, N. (2021). Determining a suitable place for sanitary burial of wastes from Ilam city. *Scientific journal of Ilam University of Medical Sciences*, 29th edition, 3rd issue, 48-38. (in Persian).

Ferronato, N., & Torretta, V. (2019). Waste mismanagement in developing countries: A review of global issues. *International journal of*

of Systems Science and Systems Engineering, *14*, 1-36.
Taqwai, M., Metoli, S., & Ghobadi Jhanbaz, Gh.R. (2021). Evaluation and analysis of urban planning roughness metrics using Analytical Hierarchy Process (AHP) Study area: Shahr Noor. *Scientific-research quarterly of geography and regional planning*, 12th year, No. 1, 553-570. (in Persian)
Towfigh Khatab, A., Fahiminejad, A., Bahmanpour, H. (2020). Locating and zoning suitable sites for the development of sports tourism in Shahrood city with a sustainable development approach, Journal of GIS & RS Application in Planning, 3(11), 52-66 pp.
Rahaman, Z.A., Kafy, A.A., Saha, M., Rahim, A.A., Almulhim, A.I., Rahaman, S.N., Al Rakib, A. (2022). Assessing the impacts of vegetation cover loss on surface temperature, urban heat island and carbon emission in Penang city, Malaysia. *Building and Environment*, *222*, 109335.
Vanapalli, K. R., Sharma, H. B., Ranjan, V. P., Samal, B., Bhattacharya, J., Dubey, B. K., & Goel, S. (2021). Challenges and strategies for effective plastic waste management during and post COVID-19 pandemic. *Science of The Total Environment*, *750*, 141514.
Wu, S., Chen, J., Zhou, W., Iqbal, J., Yao, L. (2019). A modified logit model for assessment and validation of debris-flow susceptibility. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 78: 4421–4438.
Yazdi, M., Korhan, O., & Daneshvar, S. (2020). Application of fuzzy fault tree analysis based on modified fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS for fire and explosion in the process industry. *International journal of occupational safety and ergonomics*, *26*(2), 319-335.
Zhou, Z., Li, M. (2017). Spatial-temporal change in urban agricultural land use efficiency from the perspective of agricultural multi-functionality: A case study of the Xi'an metropolitan zone. *Journal of Geographical Sciences*, *27*, 1499-1520.
environmental research and public health, *16*(6), 1060.
Ghezelbash, R., & Maghsoudi, A. (2018). A hybrid AHP-VIKOR approach for prospectivity modeling of porphyry Cu deposits in the Varzaghan District, NW Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, *11*, 1-15.
Ghorbanzadeh, O., Pourmoradian, S., Blaschke, T., & Feizizadeh, B. (2019). Mapping potential nature-based tourism areas by applying GIS-decision making systems in East Azerbaijan Province, Iran. *Journal of Ecotourism*, *18*(3), 261-283.
Hemidat, S., Achouri, O., El Fels, L., Elagroudy, S., Hafidi, M., Chaouki, B., Guo, J. (2022). Solid waste management in the context of a circular economy in the MENA region. *Sustainability*, *14*(1), 480.
Hoshiar, S. (2016). Optimum placement of municipal solid waste disposal using hierarchical analysis process (Case study: Bukan city). *Geographical Space Scientific-Research Quarterly*, Vol. 17, No. 57, 255 272. (in Persian)
ISWA (2019). Landfill Operational Guidelines, 3rd edition. A report from ISWA'S working group on landfill, 2019. 56 p.
Maceika, A., Bugajev, A., Šostak, O. R., & Vilutienė, T. (2021). Decision tree and AHP methods application for projects assessment: a case study. *Sustainability*, *13*(10), 5502.
Ozturk, S., Karipoglu, F. (2023). Investigation of the best possible methods for wind turbine blade waste management by using GIS and FAHP: Turkey case. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(6), 15020-15033.
Roy, H., Alam, S.R., Bin-Masud, R., Prantika, T.R., Pervez, M.N., Islam, M.S., Naddeo, V. (2022). A Review on Characteristics, Techniques, and Waste-to-Energy Aspects of Municipal Solid Waste Management: Bangladesh Perspective. *Sustainability*, *14*(16), 10265.
Saaty, T. L. (2005). Making and validating complex decisions with the AHP/ANP. *Journal*

Locating suitable areas for sanitary landfill of municipal waste in Tehran using Geographic Information System (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) technique

Abstract

The exponential growth of urban populations, particularly in megacities such as Tehran, has significantly increased the volume of municipal solid waste (MSW), posing critical environmental and public health concerns. This study addresses the challenge of identifying optimal sites for the sanitary landfill of urban waste using a hybrid approach that combines Geographic Information System (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM), specifically the Analytic Hierarchy Process (AHP). Initially, six key spatial criteria were selected based on environmental regulations and literature review: (1) distance from communication roads, (2) distance from waterways, (3) rainfall intensity, (4) proximity to geological faults, (5) land slope, and (6) land use/vegetation cover. Each criterion was classified, weighted using expert opinions, and integrated into a spatial decision-making framework in the ArcGIS environment. The AHP results revealed that "distance from communication roads" was the most influential criterion (weight = 0.41), due to its direct impact on transportation efficiency and cost. Conversely, "distance from green spaces" received the lowest weight (0.036), as these areas are typically protected. A pairwise comparison matrix was used to ensure consistency in expert judgment, with a consistency ratio of 0.037, indicating reliable weight assignments. Spatial overlay analysis revealed that the northwestern zones of Tehran, particularly District 22, demonstrate the highest suitability for landfill development. These areas exhibit favorable characteristics, including low population density, suitable slope, minimal rainfall, and distance from faults and ecologically sensitive zones. The study confirms the effectiveness of GIS-AHP integration in resolving complex urban planning problems by providing transparent, reproducible, and spatially-explicit solutions. Moreover, the methodological framework enables authorities to reduce environmental risks, optimize economic costs, and enhance decision-making for sustainable waste management. Given the limitations of traditional landfill site selection methods, this research underscores the importance of adopting geospatial technologies coupled with expert-driven MCDM techniques for urban sustainability. The results can guide city planners in field investigations, long-term waste management strategies, and the establishment of supplementary recycling or composting facilities in proximity to the identified landfill zones.

Keywords: Urban waste, location, multi-criteria decision making, geographic information system, Tehran