مجله مهندسی بهداشت محیط، پاییز ۱۴۰۰، سال ۹، شماره ۱:۴۱-۵۸

مکان‌یابی محل دفن پسماند جامد شهری با استفاده از روش‌های سوارا (SWARA)، کوپراس (COPRAS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مورد مطالعه: شهر کرمانشاه

سمیه جلیلیان[۱] سهیل سبحان اردکانی[*۲]، مهرداد چراغی[۳]، سیدمسعود منوری[۴]، بهاره لرستانی[۳]

[۱]دانشجوی دکتری تخصصی محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

[۲]دکترای تخصصی علوم محیط‌زیست، استاد گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

[۳]دکترای تخصصی علوم محیط‌زیست، دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

[۴]دکترای تخصصی علوم محیط‌زیست، دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع‌طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۸

چکیده

زمینه و هدف: انتخاب محل دفن پسماند جامد شهری به‌خاطر اهمیتی که در کنترل آلودگی‌های محیط‌زیستی و معضلات آن دارد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از آن‌جا که، مکان‌یابی فرآیندی زمان‌بر و چندجانبه با دخالت پارامترهای مختلف اقتصادی- اجتماعی و به‌ویژه محیط‌زیستی است، نیازمند استفاده از نظر خبرگان، منابع اطلاعاتی زیاد و روش‌های چند معیاره است. بنابراین، این پژوهش با هدف پیشنهاد مناسب‌ترین محل دفن پسماندهای جامد شهری کرمانشاه در سال ۱۳۹۸ انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش توصیفی، با استفاده از روش وزن‌دهی سوارا (SWARA)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش کوپراس (Copras) به‌عنوان یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) و همچنین، نظرسنجی از هفت نفر از متخصصان محیط‌زیست برای ارزیابی و امتیازدهی معیارهای محیط‌زیستی و اقتصادی-اجتماعی منتخب شامل ارتفاع از سطح دریا، جهت جغرافیایی، شیب، فاصله از مناطق حفاظت شده، فاصله از زمین‌های کشاورزی، کاربری اراضی، شیب، فاصله از جاده، فاصله از فرودگاه، فاصله از خطوط ریلی و راه‌آهن، فاصله از خطوط انتقال نیرو، منابع آب سطحی و زیرزمینی، فاصله از مراکز جمعیتی، فاصله از گسل، نوع پوشش گیاهی و نوع خاک نسبت به شناسایی مناسب‌ترین محل دفن پسماندهای جامد شهری کرمانشاه اقدام شد.

یافته‌ها: نتایج حاصل از روش سوارا نشان داد که منابع آب، نوع خاک و فاصله از زمین‌های کشاورزی به‌ترتیب با وزن نهایی برابر با ۰/۳۰۰، ۰/۲۰۲ و ۰/۱۱۹ مهم‌ترین معیارها و شیب، فاصله از خطوط انتقال نیرو و فاصله از گسل نیز به‌ترتیب با وزن نهایی برابر با ۰/۰۲۰، ۰/۰۱۵ و ۰/۰۱۵ کم اهمیت‌ترین معیارها در مکان‌یابی بوده‌اند. همچنین، نتایج روش کوپراس نشان داد که نواحی جنوب غربی شهر به‌دلیل ویژگی‌هایی از جمله دوری از مناطق مسکونی و زمین‌های کشاورزی و همچنین، برخورداری از شیب و جاده دسترسی مناسب از شرایط مناسب‌تری برای دفن پسماند جامد شهری برخوردار بودند. به‌طوری‌که، سایت شاه‌ولی با مساحت تقریبی ۹۰ هکتار برای ۲۰ سال آینده به‌عنوان محل دفن پسماند جامد شهری کرمانشاه پیشنهاد شد.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، نتایج مطالعه نشان داد که استفاده از روش‌های سوارا و کوپراس با توجه به انعطاف‌پذیری بالا و دقت در ارائه نتایج می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش‌های معمول وزن‌دهی و رتبه‌بندی باشد و به‌تبع آن، می‌توان گزینه نهایی پیشنهادی این روش‌ها را با اطمینان برای استقرار دفن‌گاه پسماند جامد شهری انتخاب کرد. در نهایت، با توجه به این‌که امروزه انتخاب محل مناسب استقرار لندفیل از مهم‌ترین معضلات محیط‌زیستی کلان‌شهرها محسوب می‌شود، نسبت به لحاظ کردن سایر معیارها همچون پارامترهای جمعیت شناختی و از طرفی، کاربرد روش‌های جدیدتر تصمیم‌گیری چند معیاره همچون آراس (ARAS) و مولتی مورا (MULTIMOORA) در مطالعه‌های مربوط به استقرار کاربری‌ها و به‌ویژه مکان‌یابی لندفیل توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: دفن زباله، پسماند جامد، مکان‌یابی، تصمیم‌گیری، سیستم اطلاعات جغرافیایی

***نویسنده مسئول:** دکترای تخصصی علوم محیط‌زیست، استاد گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

ایمیل: s_sobhan@iauh.ac.ir - شماره تماس ۰۸۱۳۴۴۸۱۶۶۳

مقدمه

امروزه، همگام با رشد جمعیت، گسترش شهرها و به‌تبع آن افزایش فعالیت‌های شهری، تغییر الگو و افزایش نرخ مصرف، مقادیر زیادی زباله جامد در جوامع شهری تولید می‌شود که برنامه‌ریزی و مدیریت برای سامان‌دهی پسماندهای شهری به‌منظور حفظ بهداشت جوامع و سلامتی محیط را ضروری ساخته و به یکی از مهم‌ترین مشکلات پیش‌روی برنامه‌ریزان شهری در سراسر جهان و به‌ویژه کشورهای درحال‌توسعه تبدیل کرده است. به‌طوری‌که در این کشورها، برنامه‌ریزی ضعیف و غیرعلمی و از طرفی، کمبود منابع مالی منجر به عملکرد ضعیف مدیریت پسماند جامد شهری شده است[1]. علاوه بر این، بسیاری از مردم به‌ویژه در مناطق روستایی، زباله‌های تولیدشده را در نزدیک‌ترین مناطق در دسترس مانند حاشیه جاده‌ها، زمین‌های کشاورزی و مراتع، حاشیه رودخانه‌ها و یا به‌طور مستقیم به‌داخل رودخانه‌ها و کانال‌ها تخلیه می‌کنند[2] که به انواع آلودگی محیط‌زیستی و تهدید بهداشت عمومی منجر شده است[3]. از این‌رو، علاوه بر ضرورت آموزش به شهروندان برای کاهش حجم زباله تولیدی، تفکیک از مبدأ و شیوه نگهداری پسماندهای تولیدی، طراحی سیستم منظم جمع‌آوری، حمل‌ونقل، فرآوری، بازیابی و دفع نهایی پسماندهای جامد شهری نیز یکی از نیازهای اساسی کشورهای درحال توسعه محسوب می‌شود[4].

مکان‌یابی محل‌های دفن زباله مستلزم تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی، اعمال قوانین و لحاظ کردن معیارهای اقتصادی- اجتماعی و محیط‌زیستی است که استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (Multi Criteria Decision Making: MCDM) همراه با قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌تواند این نیاز را برآورده سازد[5]. در این خصوص، اولین گام برای مکان‌یابی محل دفن زباله، برآورد وزن معیارها است که از گذشته تا به امروز، روش‌های مختلفی از جمله روش سلسله مراتبی (AHP)، تحلیل شبکه‌ای (ANP)، بهترین و بدترین (BWM) و نظایر آن برای محاسبه وزن معیارها مورداستفاده قرار گرفته است[6].

استفاده از روش‌های مختلف وزن‌دهی و اولویت‌بندی در مطالعات مکان‌یابی امری رایج و کاملاً کاربردی است که در این بین، استفاده از هر کدام از روش‌ها می‌تواند مزایا و یا محدودیت‌هایی را به‌دنبال داشته باشند. به‌عنوان مثال، روش‌های AHP و ANP هنگامی که تعداد گزینه‌ها زیاد باشند، کاربردی ندارند ولی در عوض روش SWARA برای مواقعی که تعداد گزینه‌ها یا معیارها زیاد باشد، مناسب‌تر است. به‌علاوه، در خصوص ویژگی روش‌های چند معیاره رتبه‌بندی همچون تاپسیس (TOPSIS)، آراس (ARAS)، ویکور (VIKOR)، واسپاس (WASPAS) و کوپراس (COPRAS) در مطالعات مکان‌یابی نیز می‌توان به رتبه‌بندی بر اساس ماهیت معیارهای مثبت و منفی در روش‌های تاپسیس و کوپراس و یا رتبه‌بندی بر اساس دو نوع الگوریتم مجموع وزنی (WSM) و ضرب وزنی (WPM) در روش واسپاس اشاره کرد[5]. از جمله روش‌های بروزتر، دقیق‌تر و کم‌تر مورد استفاده قرار گرفته در مطالعه‌های مربوط به مکان‌یابی می‌توان به‌روش سوارا (SWARA) یا تحلیل نسبت ارزیابی وزن‌دهی تدریجی که یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه با هدف وزن‌دهی و رتبه‌بندی معیارها و زیرمعیارها با در نظر گرفتن ارزش آن‌ها است، اشاره کرد که قابلیت آن در وزن‌دهی معیارها همانند روش‌های BWM، آنتروپی شانون (Shanon Entropy) و لینمپ (LINMAP) است. بدین صورت‌که، در این روش به مهم‌ترین معیار رتبه یک و به کم‌اهمیت‌ترین آن‌ها، کوچک‌ترین رتبه تعلق خواهد گرفت. از طرفی، در روش سوارا، کارشناسان (پاسخ‌دهندگان) نقش مهمی در تعیین وزن معیارها داشته و به آن‌ها امکان انتخاب اولویت‌های مدنظر داده می‌شود.[7] به‌طور کلی، می‌توان اذعان داشت که روش سوارا به‌عنوان یک روش عینی رتبه‌بندی معیارها، در زمره روش‌های جدیدی است که

در مقایسه با روش‌های نام‌برده شده با تعداد مقایسه‌های کم‌تر، نتایج دقیق‌تری را ارایه می‌کند[۶،۷].

از طرفی، در سال‌های اخیر استفاده از روش Copras به‌عنوان یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره در مقایسه با روش‌هایی که در آن‌ها فرآیند ارزیابی گزینه‌ها در شرایطی مبهم انجام شده و ارزش هر معیار به‌صورت دقیق نمی‌تواند مشخص شود، به‌دلیل سادگی محاسبه‌ها، رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها و در نظر گرفتن معیارهای مثبت و منفی و به‌ویژه در ارزیابی محیط داخلی، انتخاب مدل کنترل کیفیت و اولویت‌بندی پروژه‌های شهری توسعه‌یافته است.[۸]

تاکنون چندین مطالعه در خصوص مکان‌یابی محل دفن پسماند جامد شهری با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در ایران و سایر کشورها انجام شده است که از جمله می‌توان به مطالعه Yesilnacar و Cetin (۲۰۰۵) که طی آن با استفاده از معیارهای زمین‌شناسی، کاربری زمین، آب و هوا و گسل نسبت به انتخاب محل‌های بهینه برای دفن پسماندهای خطرناک در جنوب شرقی آناتولی ترکیه اقدام شد[۹]، پژوهش Chang و همکاران (۲۰۰۸) که برای مکان‌یابی محل دفن پسماند جامد شهری هارلینگن در جنوب تگزاس معیارهای تصمیم‌گیری چندمعیاره در محیط GIS استفاده کردند[۱۰]، مطالعه Yadav (۲۰۱۳) که طی آن از روش‌های AHP و تاپسیس به منظور مکان‌یابی محل دفن پسماند در کشور هند استفاده کرد[۱۱]، پژوهش Ahmad و همکاران (۲۰۱۶) که نسبت به مکان‌یابی محل دفن پسماند جامد شهر پنجاب پاکستان با استفاده از GIS و روش AHP اقدام کردند[۱۲]، مطالعه Bottero و همکاران (۲۰۱۹) که فاصله از مناطق مسکونی را مهم‌ترین معیار در مکان‌یابی محل دفن پسماند جامد شهری معرفی کردند[۱۳]، پژوهش Moeinaddini و همکاران (۲۰۱۱) که نسبت به مکان‌یابی محل دفن جدید پسماند جامد شهر کرج با استفاده از روش تاپسیس فازی سلسله مراتبی اقدام کردند[۱۴]، مطالعه Samimian (۲۰۱۷) که اراضی شمال و غرب شهرستان قائم‌شهر را به‌دلیل وجود حریم مناسب از گسل و رودخانه و معیارهای قابل قبول از نظر زمین‌شناسی و پوشش گیاهی و شیب زمین، مناسب‌ترین مکان‌ها برای استقرار محل دفن پسماند جامد شهری معرفی کرد[۱۵]، پژوهش Mirabadi و Abdi (۲۰۱۷) که با استفاده از روش تحلیل سلسه مراتبی نسبت به مکان‌یابی محل دفن پسماند جامد شهرستان بوکان اقدام کرده و معیارهای هیدرولوژی و کاربری اراضی را با وزن‌های ۰/۲۳۵ و ۰/۰۲۳ به‌ترتیب مهم‌ترین و کم‌اهمیت‌ترین معیار مکان‌یابی در منطقه مورد مطالعه معرفی کردند[۱۶] و Moghimi Kandlousy و همکاران (۲۰۱۸) که نسبت به مکان‌یابی مناطق مستعد دفن بهداشتی پسماندهای جامد شهری گیلان با استفاده از روش تاپسیس اقدام و پنج محدوده مستعد در جنوب و جنوب غربی شهرستان لنگرود با بالاترین درجه تناسب و قرار گرفتن در کلاس عالی را به‌عنوان مناطق جدید دفن پسماندهای شهری پیشنهاد کردند[۱۷]، اشاره کرد.

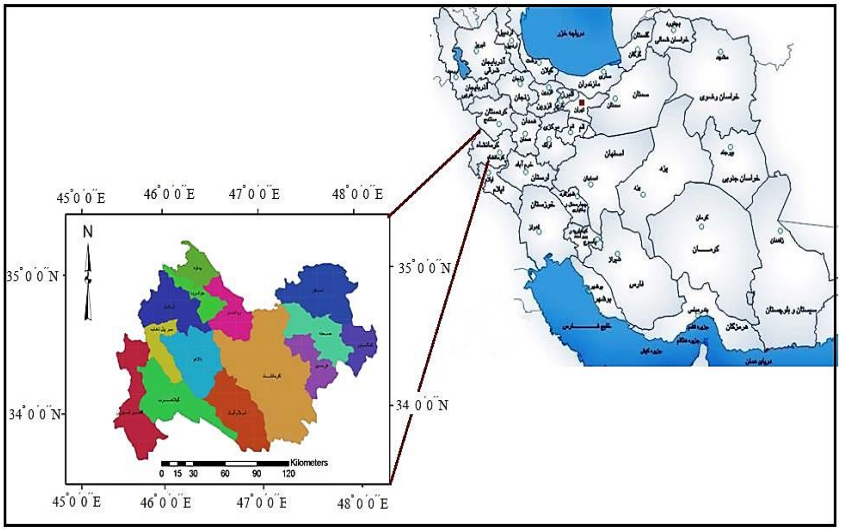
با توجه به مشکلات محیط‌زیستی و اقتصادی- اجتماعی دفن زباله در سایت فعلی شهر کرمانشاه از جمله عدم تناسب فاصله پیمایش برای حمل پسماند جمع‌آوری شده از مناطق مختلف شهر تا مکان فعلی که به افزایش بار ترافیک شهری و به‌تبع آن افزایش هزینه حمل و نقل، آلودگی بصری و بهداشتی در سطح شهر منجر شده است. از طرفی، شیب تند محل تخلیه زباله (کوه سفید) که علاوه بر کمبود فضای مناسب برای دفن، باعث شده است که خاک کافی برای پوشاندن زباله‌ها در دسترس نباشد، و علاوه بر آن، جاری شدن مقدار زیادی شیرابه از محل دفن پس از هر بار بارش و همچنین، مجاورت محل دفن با سراب قنبر که آب آشامیدنی بخشی از شهر کرمانشاه را تأمین می‌کند و به احتمال زیاد، نفوذ شیرابه‌های بالادست و یا آب‌شویی آن‌ها توسط نزولات جوی باعث آلودگی آب این سراب شده است[۱۸]، اهمیت و ضرورت مکان‌یابی محل جدید دفن پسماندهای جامد شهری کرمانشاه را بیش از پیش نمایان می‌سازد. از این‌رو، این پژوهش با هدف مکان‌یابی محل دفن

پسماندهای جامد شهر کرمانشاه با روش‌های سوارا و کوپراس برای یک دوره ۲۰ ساله در سال ۱۳۹۸ انجام یافت.

مواد و روش

محدوده موردمطالعه

شهر کرمانشاه با مساحت ۹۳۳۸۹۹۵۶ مترمربع و جمعیت ۹٤٦٦٥۱ نفر در غرب ایران در محدوده طول جغرافیایی ٤٥ درجه و ۲۰ دقیقه و ۳۹ ثانیه تا ٤۸ درجه و ۱ دقیقه و ۵۸ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۷ دقیقه و ۸ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۱۷ دقیقه و ۸ ثانیه شمالی واقع‌شده است[۱۹]. نقشه موقعیت استقرار شهر کرمانشاه در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱: نقشه موقعیت استقرار شهر کرمانشاه

روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش توصیفی، پس از جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات لازم از طریق مطالعه کتابخانه‌ای و جستجوی سایت‌های اینترنتی و همچنین، مراجعه به ادارات و مؤسسات مرتبط، نسبت به انتخاب و وزن‌دهی معیارها و آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی اقدام شد. بدین صورت‌که، در گام اول ۱۳ معیار شامل: پوشش گیاهی، منابع آب سطحی و زیرزمینی، نوع خاک، ارتفاع از سطح دریا، جهت جغرافیایی، شیب، فاصله از مراکز جمعیتی، فاصله از زمین‌های کشاورزی، فاصله از جاده و راه‌آهن، فاصله از خطوط انتقال نیرو و انرژی، فاصله از گسل، فاصله از مناطق حفاظت شده و فاصله از فرودگاه انتخاب شد.

پس از آن، برای وزن‌دهی معیارها، پرسش‌نامه‌ای طراحی و در اختیار هفت نفر از کارشناسان و خبرگان اداره کل حفاظت محیط‌زیست و همچنین سازمان مدیریت پسماند شهرستان کرمانشاه قرار داده شد. در گام بعدی، پس از وارد کردن امتیازات هر معیار به نرم‌افزار سوارا، نسبت به توزین معیارها، استخراج وزن نهایی هر معیار، تعیین مهم‌ترین و کم اهمیت‌ترین معیار و پس از آن تهیه نقشه مربوط به هر معیار با استفاده از نسخه ۱۰.۲ نرم‌افزار ArcGIS اقدام شد. در نهایت، با تجزیه و تحلیل نقشه‌های حاصل و با استفاده از روش کوپراس، مکان‌های مناسب برای دفن پسماند جامد شهر کرمانشاه پیشنهاد شد. لازم به‌ذکر است که برای بررسی پایایی ابتدایی پرسش‌نامه

از آزمون آلفای کرونباخ استفاده شد. روایی همگرا پرسشنامه نیز از طریق واریانس استخراج شده (AVE) و پایایی ترکیبی (CR) بررسی شد.

در مرحله بعد، نسبت به ایجاد ماتریس تصمیم روش کوپراس و محاسبه نسبت مجموع وزن‌های مثبت (s_j^+) و منفی (s_j^-) نرمال استخراج شده در روش سوارا با استفاده از روابط ۱ و ۲ اقدام شد. در گام بعد، درصد مطلوبیت (Qi) و پس از آن، امتیاز نهایی هر معیار (Ni) استخراج شدند. بدین مفهوم که مکان واجد بزرگ‌ترین Ni، بیان‌گر مطلوب‌ترین و مکان واجد کوچک‌ترین Ni نیز نشان‌دهنده نامطلوب‌ترین محل برای استقرار دفن‌گاه پسماند جامد شهری بودند.

مراحل روش سوارا به‌تفکیک در زیر آورده شده است:

مرحله ۱: رتبه‌بندی معیارها با توجه به اهمیت آن‌ها توسط خبرگان.

مرحله ۲: تعیین ارزش متوسط اوزان (S_j) معیارها.

مرحله ۳: محاسبه ضریب k_j با استفاده از رابطه ۱:

$$k_j = \begin{cases} 1. & j = 1 \\ S_j + 1. & j > 1 \end{cases} \qquad (۱)$$

مرحله ٤: اندازه‌گیری مجدد وزن محاسبه شده (q_j) هر معیار با استفاده از رابطه ۲:

$$q_j = \begin{cases} 1. & j = 1 \\ \frac{q_{j-1}}{k_j}. & j > 1 \end{cases} \qquad (۲)$$

مرحله ۵: محاسبه مقادیر وزن نسبی (wj) معیارها با استفاده از رابطه ۳:

$$w_j = \frac{q_j}{\Sigma_{k=1}^{n} qk} \qquad (۳)$$

سپس، تأثیراتی که هر معیار می‌تواند بر مکان دفن پسماند داشته باشد توسط نسخه ۱۰.۲ نرم‌افزار ArcGIS امتیازدهی و لایه‌های اطلاعاتی نفوذپذیری خاک، فاصله از مناطق حفاظت‌شده، فاصله از فرودگاه، فاصله از منابع آبی سطحی (رودخانه‌ها) و منابع آب زیرزمینی (چاه‌ها)، فاصله از خطوط نیرو، شیب، گسل، فاصله از جاده، فاصله از اراضی کشاورزی و باغی تهیه شدند (شکل ۲).

ایجاد ماتریس تصمیم و محاسبه وزن معیارها به روش کوپراس

در این پژوهش، برای تشکیل ماتریس تصمیم، ۳٦ منطقه بر اساس وزن‌های استخراج شده معیارها در روش سوارا (جدول ۱) مورد ارزیابی قرار گرفتند. همچنین، به منظور نرمال‌سازی ماتریس تصمیم با استفاده از رابطه ۱ هر درایه ماتریس تصمیم بر مجموع درایه‌های ستون خود تقسیم شد و پس از آن در وزن هر معیار مندرج در ستون که قبلاً در روش سوارا محاسبه‌شده بود، ضرب شد. به‌عنوان مثال، برای محاسبه مربوط به سلول A_{11} (تقاطع معیار اول و گزینه A_1) در ماتریس تصمیم به‌صورت زیر اقدام شد:

$$d_{12}=\frac{1201}{1201+1485+1193+\ldots+1606+1437}\times 0.023=0.0005$$

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، برای محاسبه مجموع وزن‌های مثبت و منفی نرمال‌شده برای هر گزینه با استفاده از روابط ۱ و ۲ مقادیر (s_j^+) و (s_j^-) که به‌ترتیب بیان‌گر با مجموع امتیازات معیارهای مثبت و منفی (شیب و ارتفاع از سطح دریا) در ماتریس نرمال‌شده برای هر گزینه بودند، محاسبه شدند. به‌عنوان مثال برای گزینه A_1 به‌صورت ذیل اقدام شد:

$$S_{A1}^+ = 0.003 + 0.000 + 0.009 + 0.003 + 0.000 + 0.002 + 0.000 + 0.007 + 0.001 + 0.006 = 0.03$$

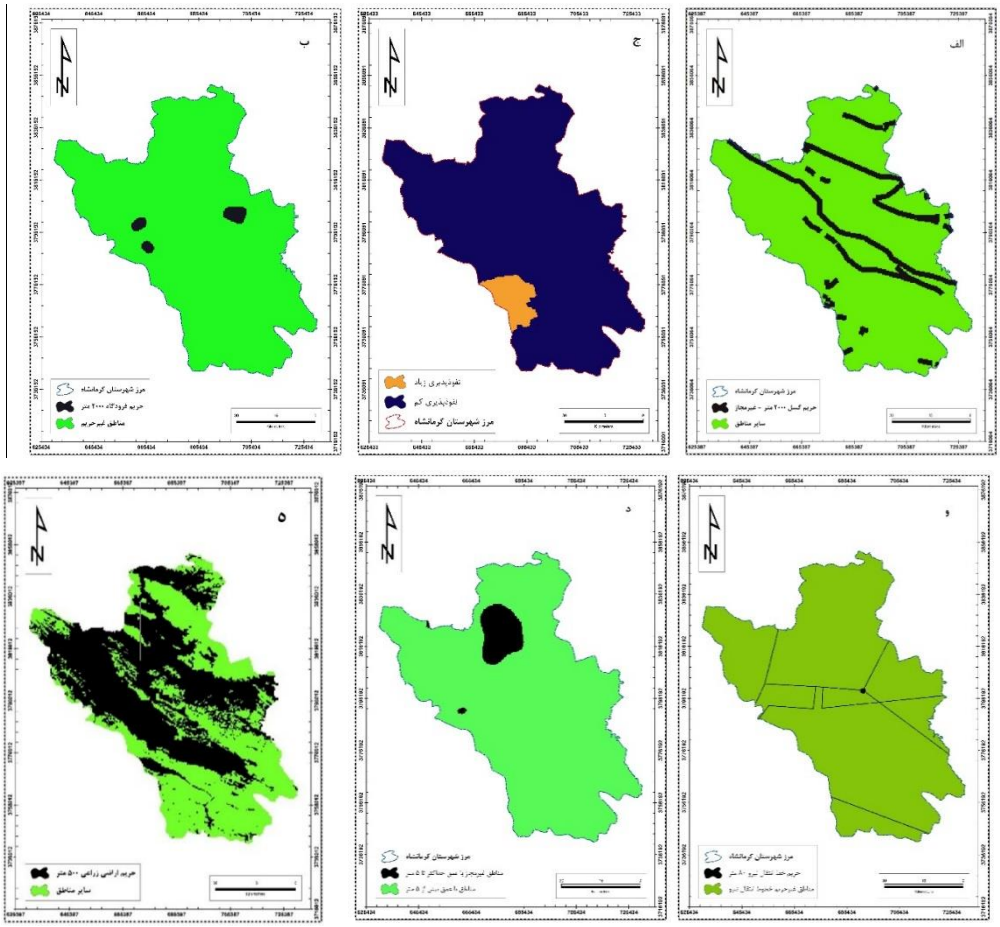
$$S_{A1}^- = 0.0005 + 0.0001 = 0.0006$$

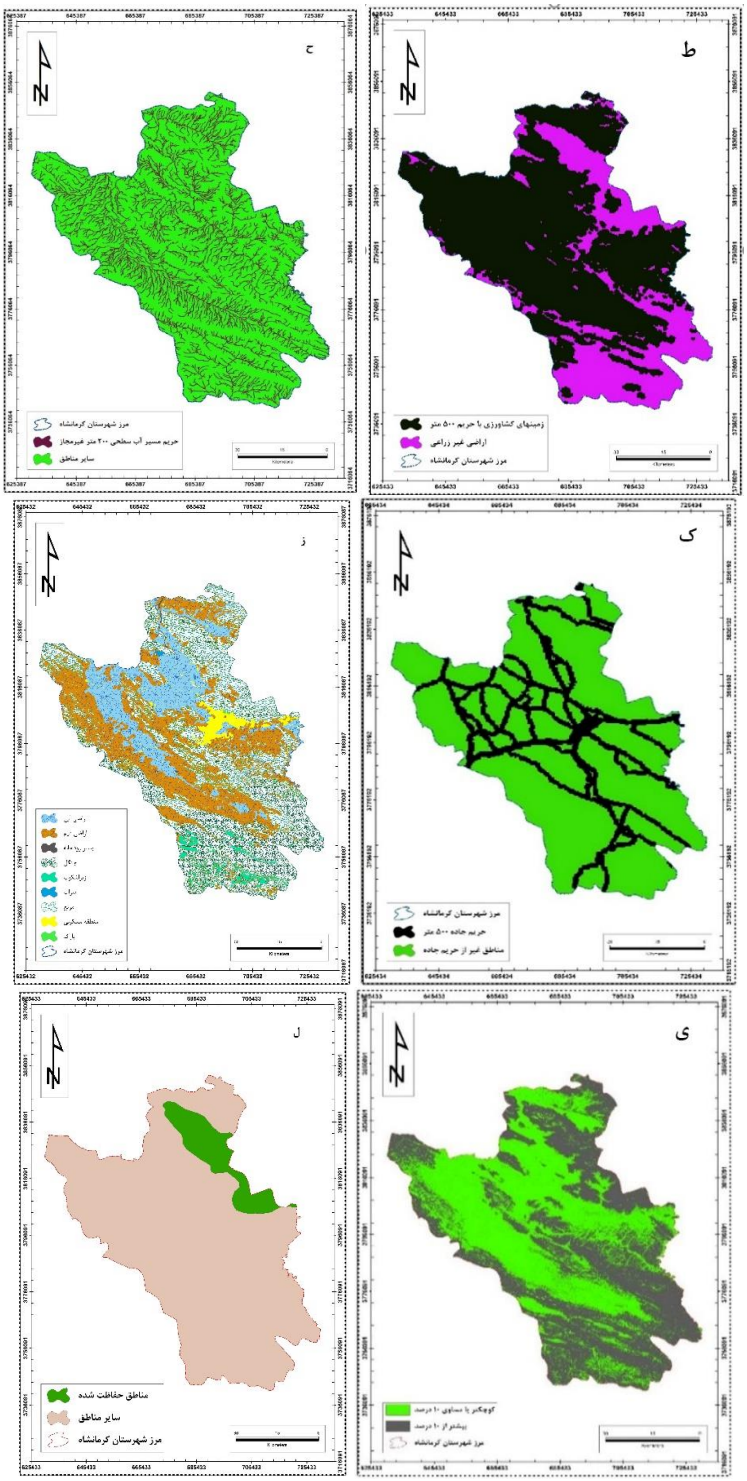
از طرفی، محاسبات مربوط به سایر گزینه‌ها نیز به‌طریق مشابه انجام شد که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است. در مرحله بعد، رتبه‌بندی مقایسه‌ای گزینه‌های جایگزین (Alternatives) بر اساس معیارهای مثبت و منفی انجام و اهمیت نسبی هر گزینه (Q_i) محاسبه شد که به‌عنوان مثال برای گزینه A_1 به‌صورت زیر بود:

همچنین، محاسبات مربوط به سایر گزینه‌ها نیز به‌طریق مشابه انجام شد. پس از آن، نسبت به تعیین درصد مطلوبیت هر گزینه اقدام شد. بدین‌صورت که، هر مقدار Q_i بر بیش‌ترین مقدار Q تقسیم شد که نتایج آن در جدول ۲ آورده شده است.

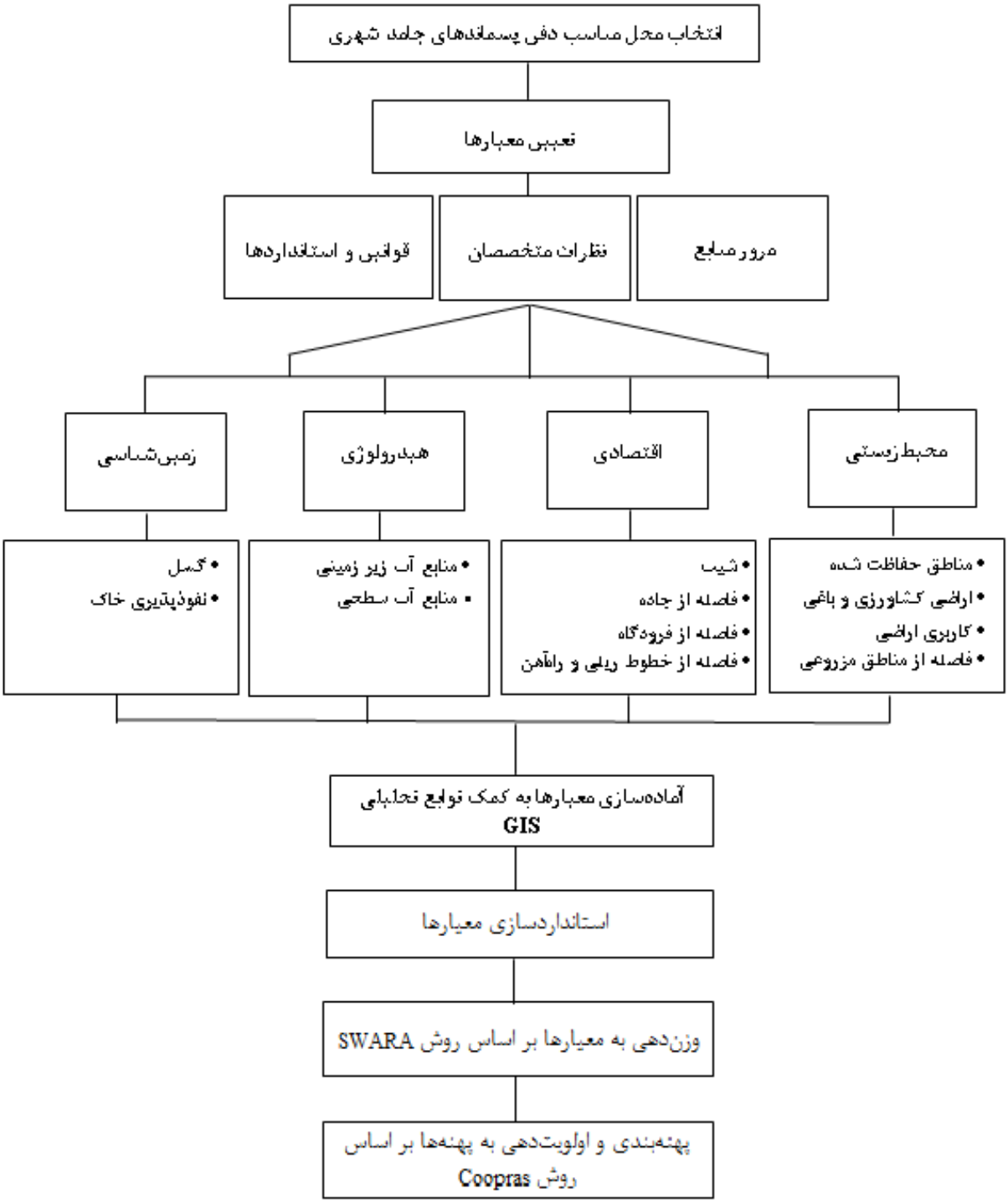
در گام آخر نیز رتبه‌بندی نهایی گزینه با استفاده از مقادیر Q و یا N_i انجام شد. فلوچارت مراحل اجرای پژوهش در شکل ۳ نشان داده شده است.

$$Q_{A1} = 0.030 + \frac{0.0006 + 0.001 + 0.001 + 0.001 + 0.002 + \cdots + 0.001 + 0.001}{0.0006 \times \left(\frac{1}{0.0006} + \frac{1}{0.0001} + \frac{1}{0.001} + \frac{1}{0.001} + \cdots + \frac{1}{0.001} + \frac{1}{0.001}\right)} = 0.0323$$





شکل ۲: لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده در انتخاب محل مناسب دفن پسماندهای جامد شهری کرمانشاه؛ الف) فاصله از گسل، ب) فاصله از فرودگاه، ج) نفوذپذیری خاک، د) عمق آب های زیرزمینی، ه) فاصله از زمین های کشاورزی، و) خطوط نیرو، ز) کاربری اراضی، ح) آب های سطحی، ط) پوشش گیاهی و باغی، ی) شیب، ک) فاصله از جاده؛ ل) فاصله از مناطق حفاظت شده



شکل ۳: فلوچارت مراحل انجام پژوهش

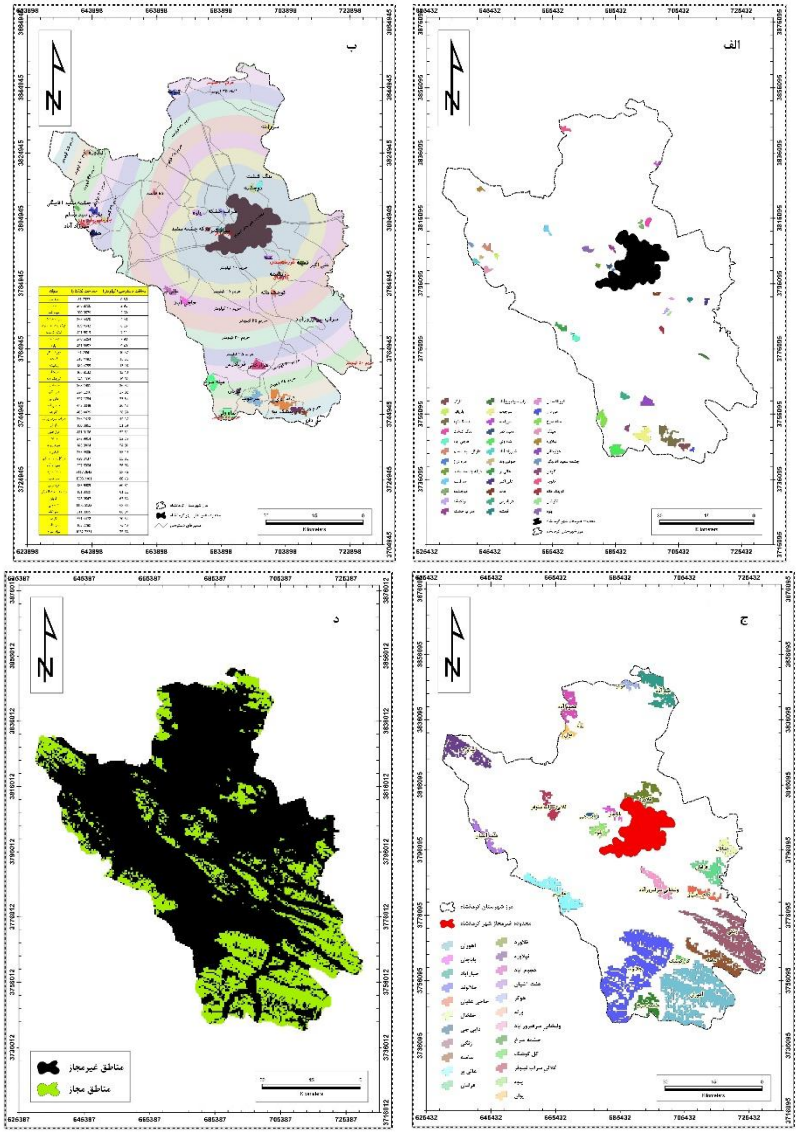
جدول ۱: وزن نهایی معیارها

نام معیار	وزن							میانگین وزن‌ها	رتبه
	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7		
ارتفاع از سطح دریا	۰/۰۳۵	۰/۰۲۰	۰/۰۱۸	۰/۰۵۳	۰/۰۱۹	۰/۰۱۳	۰/۰۰۶	۰/۰۲۳	۹
جهت جغرافیایی	۰/۰۳۲	۰/۰۲۳	۰/۰۱۵	۰/۰۲۲	۰/۰۲٤	۰/۰۱٤	۰/۰۲۳	۰/۰۲۲	۱۰
شیب	۰/۰۲٤	۰/۰۲۱	۰/۰۱٦	۰/۰۲٤	۰/۰۲۱	۰/۰۱۱	۰/۰۲٤	۰/۰۲۰	۱۱
فاصله از جاده	۰/۰٦٦	۰/۰۷۸	۰/۰۷۲	۰/۰۷۰	۰/۰۳۰	۰/۰٤۰	۰/۰۲۵	۰/۰۵۵	۵
فاصله از خطوط انتقال نیرو و راه‌آهن	۰/۰۲۵	۰/۰۱۹	۰/۰۱۳	۰/۰۱٦	۰/۰۱۷	۰/۰۰۸	۰/۰۰۹	۰/۰۱۵	۱۲
فاصله از زمین‌های کشاورزی	۰/۰۸۹	۰/۱۵۲	۰/۱۵۲	۰/۰۸۱	۰/۰۷۹	۰/۲۰۱	۰/۰۸۲	۰/۱۱۹	۳
فاصله از فرودگاه	۰/۰۵۵	۰/۰۵۲	۰/۰۲۰	۰/۰٤۰	۰/۰۵۱	۰/۰۳۱	۰/۰۳٤	۰/۰٤۰	۷
فاصله از گسل	۰/۰۲٤	۰/۰۱۹	۰/۰۱۳	۰/۰۱٦	۰/۰۱۷	۰/۰۰۸	۰/۰۰٦	۰/۰۱۵	۱۳
فاصله از مراکز جمعیتی	۰/۱۲۸	۰/۱۰۲	۰/۱۰۱	۰/۱۳۰	۰/۱۱۹	۰/۱۰۰	۰/۱۲٤	۰/۱۱۵	٤
فاصله از مناطق حفاظت‌شده	۰/۰۳٦	۰/۰۳۳	۰/۰۲۹	۰/۰۲۹	۰/۰٤۲	۰/۰۱۷	۰/۰۱۲	۰/۰۲۸	۸
منابع آب (سطحی و زیرزمینی)	۰/۲۵۰	۰/۲۷٤	۰/۲۷٦	۰/۳۱۱	۰/۳۱۳	۰/۲۸۷	۰/۳۹۰	۰/۳۰۰	۱
نوع پوشش گیاهی	۰/۰٤٤	۰/۰۲٦	۰/۰٤۳	۰/۰٤۹	۰/۰٦٦	۰/۰۵۰	۰/۰٤۱	۰/۰٤۵	٦
نوع خاک	۰/۱۹۳	۰/۱۸۳	۰/۱۹۷	۰/۱۹٤	۰/۲۰۲	۰/۲۲۱	۰/۲۲۳	۰/۲۰۲	۲

یافته‌ها

مقادیر وزن نهایی استخراج شده معیارها در روش سورا در جدول ۱ آورده شده است. بر این اساس، معیار «منابع آب» اعم از سطحی و زیرزمینی با وزن برابر با ۰/۳۰۰ رتبه اول را به‌خود اختصاص داده است. معیارهای «نوع خاک» و «فاصله از زمین‌های کشاورزی» نیز با وزن‌های برابر با ۰/۲۰۲ و ۰/۱۱۹ به‌ترتیب رتبه‌های دوم و سوم را به خود اختصاص دادند.

نتایج مربوط به تعیین مناسب‌ترین مکان‌های دفن پسماند جامد شهری کرمانشاه با استناد به نقشه‌های خروجی نرم‌افزار ArcGIS در شکل ٤ نشان داده شده است. بر این اساس، منطقه شاه‌ولی واقع در ناحیه جنوبی شهر کرمانشاه با مساحت تقریبی ۸۹/۵ هکتار و فاصله ۳۳۰۰ متر از مرکز شهر مناسب‌ترین مکان برای دفن بهداشتی پسماندهای جامد شهر کرمانشاه تعیین شد که پس از آن منطقه‌های میله‌سرخ و بیشیک تپه در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفتند. این در حالی است که، نتایج مربوط به‌روش کوپراس نیز نشان داد که از بین ۳٦ منطقه منتخب، منطقه‌های شاه‌ولی (A_{18})، میله‌سرخ (A_{33}) و بیشک تپه (A_3) به‌ترتیب رتبه‌های اول تا سوم را برای استقرار مکان دفن بهداشتی پسماند جامد شهر کرمانشاه به‌خود اختصاص داده‌اند (جدول ۲). لازم به‌ذکر است که در این پژوهش، صحت و دقت نتایج با بازدید میدانی از سایت‌های منتخب مورد ارزیابی قرار گرفت.



شکل ٤: نقشه پهنه‌های مناسب برای دفن بهداشتی پسماندهای جامد شهری الف) قابلیت‌های مکانی دفن، ب) مسیرهای دسترسی به مکان‌های دفن، ج) مکان‌های مناسب دفن، د) نتایج نهایی منطق بولین

جدول ۲: رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها

نام روستا	کد	s_j+	s_j-	Q_i	N_i (%)	رتبه
انارک	A_1	۰/۰۳۰	۰/۰۰۰۶	۰/۰۳۲	۵۸/۹	۵
بازیانی	A_2	۰/۰۲۳	۰/۰۰۱	۰/۰۲۵	٤٤/۸	۲۳
بیشک تپه	A_3	۰/۰۳۳	۰/۰۰۱	۰/۰۳٦	٦۵/۰	۳
تنگ کنشت	A_4	۰/۰۳۱	۰/۰۰۱	۰/۰۳۲	۵۸/۱	۷
چشمه سفید آقا بیگی	A_5	۰/۰۲۷	۰/۰۰۲	۰/۰۲۷	٤۹/۸	۱٦
حاجی‌آباد	A_6	۰/۰۲۱	۰/۰۰۱	۰/۰۲۲	۳۹/۲	۲۹
دار گل سید مسلم	A_7	۰/۰۲۸	۰/۰۰۱	۰/۰۲۹	۵۲/۷	۱۰
درکه چشمه سفید	A_8	۰/۰۲۵	۰/۰۰۱	۰/۰۲٦	٤۷/۱	۱۹
دره دراز	A_9	۰/۰۲۵	۰/۰۰۱	۰/۰۲٦	٤۷/۲	۱۸
ده قاسم	A_{10}	۰/۰۱۸	۰/۰۰۱	۰/۰۲۰	۳۵/۸	۳٦
دو چشمه	A_{11}	۰/۰۲۳	۰/۰۰۱	۰/۰۲۵	٤٤/۹	۲۲
زنگیشه	A_{12}	۰/۰۱۹	۰/۰۰۱	۰/۰۲۰	۳٦/۹	۳۲
سراب خشکه	A_{13}	۰/۰۲۱	۰/۰۰۱	۰/۰۲۳	٤۱/۳	۲٦
سراب‌سر فیروزآباد	A_{14}	۰/۰۳۱	۰/۰۰۲	۰/۰۳۲	۵۷/۷	۸
سرجوب	A_{15}	۰/۰۲۳	۰/۰۰۱	۰/۰۲۵	٤٦/۳	۲۰
سرزامله	A_{16}	۰/۰۳۳	۰/۰۰۱	۰/۰۳٤	٦۲/۷	٤
سیاه کمر	A_{17}	۰/۰۲۵	۰/۰۰۱	۰/۰۲٦	٤۷/۵	۱۷
شاه‌ولی	A_{18}	۰/۰۵٤	۰/۰۰۱	۰/۰۵۵	۱۰۰	۱
شیرزاد آباد	A_{19}	۰/۰۲۸	۰/۰۰۲	۰/۰۲۹	۵۲/٦	۱۲
صوفی وند	A_{20}	۰/۰۲۷	۰/۰۰۲	۰/۰۲۸	۵۱/۰	۱٤
عالی‌بر	A_{21}	۰/۰۲۲	۰/۰۰۱	۰/۰۲۳	٤۲/۷	۲٤
علی‌اکبر	A_{22}	۰/۰۱۹	۰/۰۰۱	۰/۰۲۱	۳۷/۷	۳۱
عمه	A_{23}	۰/۰۱۹	۰/۰۰۱	۰/۰۲۰	۳۵/۹	۳۵
فریادرس	A_{24}	۰/۰۲۹	۰/۰۰۲	۰/۰۲۹	۵۳/۷	۹
قمشه	A_{25}	۰/۰۲۲	۰/۰۰۱	۰/۰۲۳	٤۲/٦	۲۵
قورباغستان	A_{26}	۰/۰۱۸	۰/۰۰۱	۰/۰۲۰	۳۵/۹	۳٤
کریان	A_{27}	۰/۰۳۱	۰/۰۰۱	۰/۰۳۲	۵۸/۷	٦
کلوچه	A_{28}	۰/۰۲۲	۰/۰۰۲	۰/۰۲۲	٤۰/۷	۲۷
کوچک‌دانه	A_{29}	۰/۰۲۸	۰/۰۰۲	۰/۰۲۹	۵۲/٦	۱۱
گاوشان	A_{30}	۰/۰۱۹	۰/۰۰۱	۰/۰۲۰	۳٦/٤	۳۳
می‌دان	A_{31}	۰/۰۲۷	۰/۰۰۱	۰/۰۲۹	۵۲/٤	۱۳
میلکه	A_{32}	۰/۰۲۷	۰/۰۰۲	۰/۰۲۷	۵۰/۱	۱۵

میله‌سرخ	A_{33}	۰/۰۴۱	۰/۰۰۲	۰/۰۴۱	۷۵/۵	۲
نیلاوره	A_{34}	۰/۰۲۴	۰/۰۰۱	۰/۰۲۵	۴۶/۱	۲۱
هزارخانی	A_{35}	۰/۰۲۱	۰/۰۰۱	۰/۰۲۲	۴۰/۵	۲۸
یلوه	A_{36}	۰/۰۲۰	۰/۰۰۱	۰/۰۲۱	۳۸/۶	۳۰

بحث

در این پژوهش، نسبت به شناسایی محل مناسب دفن پسماند جامد شهری کرمانشاه با استفاده از روش‌های سوارا و کوپراس به‌عنوان روش‌های چندمعیاره اقدام شد. نتایج خروجی روش سوارا نشان داد که معیار «فاصله از منابع آب سطحی و زیرزمینی» از بیش‌ترین اهمیت برخوردار بوده است و از این‌رو، با توجه به خطر آلودگی منابع آبی و به‌ویژه منابع آب سطحی، محل دفن پسماند باید در فاصله حداقل ۳۰۰۰ متری از این منابع مستقر شده باشد. در این خصوص، آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا (EPA) نیز رعایت فاصله ۲۰۰ متری محل دفن پسماند از دریاچه، برکه و تالاب را ضروری دانسته و اعلام کرده است در صورتی‌که محل دفن در شعاع ۲۰۰ متری منابع آب سطحی باشد، می‌بایست برای کنترل رواناب‌های سطحی محل دفن تدابیر لازم اتخاذ شود. از طرفی، بر طبق قوانین این سازمان، هیچ محل دفنی نباید در فاصله ۱۰۰ متری از رودخانه‌های قابل کشتیرانی واقع شود و در موارد خاص، رعایت حداقل فاصله ۳۰ متری را ضروری دانسته است. به‌علاوه، اعلام شده است که هیچ محل دفنی نباید در دشت‌های سیلابی با دوره برگشت ۱۰۰ سال واقع شود و در صورتی‌که محل دفن در دشت سیلابی یک رودخانه فرعی واقع شده باشد، می‌بایست به منظور ممانعت از ورود سیلاب به محل دفن در امتداد رودخانه خاک‌ریز احداث شود[۲۰]. نتایج این مطالعه نشان داد که «فاصله از منابع آب سطحی و زیرزمینی» با میانگین وزنی برابر با ۰/۳۰۰ به عنوان مهم‌ترین معیار شناخته شد (جدول ۱). به‌طوری‌که، بازدید میدانی نیز نشان داد که فاصله سایت منتخب یعنی "شاه‌ولی" از منابع آب سطحی و زیرزمینی بیش‌تر از ۳۰۰۰ متر است. از طرفی، ذکر این نکته ضروری است که توجه به «نوع و جنس سنگ بستر» مکان دفن بسیار ضروری است و دفن‌گاه باید در محلی نفوذناپذیر انتخاب شود که به آلودگی منابع آب زیرزمینی منجر نشود[۲۰]. از دیگر سو، عواملی همچون «عمق آب زیرزمینی» و «نوع خاک» نیز از اهمیت زیادی در انتخاب محل دفن برخوردار هستند. به‌طوری‌که، هرچه عمق آبخوان بیش‌تر و تراوایی خاک‌های سطحی منطقه نیز کم‌تر باشد، مناسب‌تر است. از طرفی، هرچه درصد شن و ماسه در ساختار خاک بیش‌تر باشد، میزان نفوذپذیری آن نیز افزایش یافته و در مقابل، افزایش درصد رس در خاک نه تنها از میزان نفوذپذیری آن می‌کاهد، بلکه وجود کلوئیدها به‌نحو مؤثری در تبادلات کاتیونی شرکت کرده و زمینه‌ساز پدیده فیلتراسیون جریان سیالی می‌شود که از آن عبور می‌کند. در این خصوص، نتایج نشان داد که «نوع خاک» با میانگین وزنی برابر با ۰/۲۰۲ (جدول ۱)، سومین معیار مهم در مکان‌یابی محل دفن پسماند جامد شهری کرمانشاه شناخته شده است.

یکی دیگر از مسائل مهم در زمینه خاک‌شناسی، لایه پوشاننده مدفن زباله است که به‌صورت پوشش روزانه و نهائی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدیهی است که هر قدر این لایه پوششی غیرقابل نفوذتر باشد، مناسب‌تر است. بهترین خاک پوششی مخلوطی از ماسه و رس است. زیرا اگر خاک آهکی، شنی و ماسه سنگ دانه درشت باشد، نفوذپذیر بوده و باعث نفوذ شیرابه‌های سمی به منابع آب زیرزمینی خواهد شد. در این رابطه، Yamani و Alizadeh (۲۰۱۶) مناسب‌ترین سنگ بستر برای انتخاب مکان دفن زباله که مانع نفوذ شیرابه زباله به منابع

آب زیرزمینی می‌شود را سنگ‌های آذرین یکپارچه مانند کوارتز و بازالت و سنگ‌های رسوبی نفوذناپذیر مانند شیل و نمک و سنگ‌های دگرگونی غیرگسلی و متراکم مانند شیست، آمفیبولیت و گرانولیت معرفی کردند[۲۱]. در پژوهش حاضر نیز جنس سنگ بستر مکان‌های پیشنهادی دفن پسماند عمدتاً مارنی و مارنی–سیلتی بود، که در زمره سنگ‌های نفوذناپذیر محسوب می‌شوند.

از دیگر عوامل مهم در مکان‌یابی، توجه به فاصله مناسب لندفیل از زمین‌های کشاورزی برای جلوگیری از آلودگی محصولات و به‌تبع آن به‌خطر افتادن سلامت شهروندان است. در این پژوهش، «فاصله از زمین‌های کشاورزی» با میانگین وزن نهایی برابر با ۰/۱۱۹ (جدول ۱)، سومین معیار مهم و اثرگذار در مکان‌یابی محل دفن پسماند جامد شهری کرمانشاه معرفی شد. طبق مقررات، حفظ فاصله حداقل ۵۰۰ متری از زمین‌های کشاورزی برای جلوگیری از آلودگی‌های احتمالی ناشی از نشت شیرابه و جابجایی پسماندهای آلوده توسط باد و ماشین‌آلات ضروری است. در این خصوص، Alistair و همکاران (۲۰۰۳) حداقل فاصله لازم لندفیل از زمین‌های کشاورزی را ۳۰۰۰ متر اعلام کرد[۲۲]. نتایج بازدید میدانی نشان داد که فواصل مکان‌های پیشنهادی برای استقرار محل دفن پسماند از زمین‌های کشاورزی بیش‌تر از ۳۰۰۰ متر بود.

«فاصله از مراکز جمعیتی» نیز با میانگین وزن نهایی برابر با ۰/۱۱۵ (جدول ۱)، چهارمین معیار مهم و اثرگذار در مکان‌یابی محل دفن پسماند جامد شهری کرمانشاه معرفی شد. بر طبق قوانین، تا شعاع ۵۰۰ متری محل دفن پسماند خطرناک نباید هیچ منطقه مسکونی وجود داشته باشد و دفن‌گاه باید در خارج از مراکز جمعیتی و صنعتی استقرار یابد. Barakat و همکاران (۲۰۱۷) فاصله پنج کیلومتر از شهرها، یک کیلومتر از شهرک‌ها و روستاهای با جمعیت بیش‌تر از ۵۰۰ نفر و ۵۰۰ متر را از سایر روستاها ضروری دانستند[۲۳]. Chang و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهش خود معیار فاصله از مناطق مسکونی را به‌عنوان مهم‌ترین عامل در تعیین مکان دفن پسماند معرفی کردند[۱۰]. Zamorano و همکاران (۲۰۰۸) نیز گزارش کردند که فاصله از مناطق مسکونی از بیش‌ترین وزن و اهمیت در مکان‌یابی لندفیل برخوردار بوده است[۲۴]. همچنین، Alistair و همکاران (۲۰۰۳) حداقل فاصله لازم لندفیل از نواحی جمعیتی (شهری و روستایی) را ۳۰۰۰ متر اعلام کرد[۲۲]. Khorshiddoust و Adeli (۲۰۰۹) نیز معیارهای ژئومورفولوژی و زیر معیارهایی چون سنگ بستر، خاک و گسل را به‌عنوان مهم‌ترین پارامترهای مرتبط با مکان‌یابی محل دفن پسماند شهر بناب معرفی کرد[۲۵].

«فاصله از جاده» با میانگین وزن نهایی برابر با ۰/۰۵۵ (جدول ۱) به‌عنوان پنجمین معیار تاثیرگذار در مکان‌یابی محل دفن پسماند جامد شهری کرمانشاه معرفی شد. بر طبق مقررات و به‌دلایل زیباشناختی و جلوگیری از انتشار بو آزاردهنده، محل دفن پسماند خطرناک نباید در فاصله ۲۰۰ متری از جاده‌های اصلی واقع شده باشد. هرچند که، با توجه به توپوگرافی زمین و همچنین کاشت درختان و احداث خاک‌ریز در اطراف جاده می‌توان محل دفن را در فواصل کم‌تری از جاده‌ها (حداقل ۵۰ متری) نیز احداث کرد[۲].

«نوع پوشش گیاهی» با میانگین وزن نهایی برابر با ۰/۰۴۵ به عنوان ششمین معیار تاثیرگذار در مکان‌یابی محل دفن پسماند جامد شهری کرمانشاه معرفی شد. بر طبق مقررات، محل دفن باید در منطقه‌ای بدون پوشش گیاهی یا با پوشش فقیر و یا فاقد گونه‌های کمیاب و با ارزش گیاهی مستقر باشد که بازدید میدانی از گزینه نهایی پیشنهادی در این پژوهش نیز بر مطابقت محل مد نظر با قوانین مرتبط با پوشش گیاهی صحه گذاشت.

همان‌طور که اشاره شد، محل دفن پسماند باید فاصله‌ای مناسب از گسل و فرودگاه و همچنین خطوط انتقال نیرو داشته باشد. در این پژوهش نیز «فاصله از فرودگاه» با میانگین وزن نهایی برابر با ۰/۰۴۰ (جدول ۱) به‌عنوان هفتمین معیار تاثیرگذار

در مکان‌یابی محل دفن پسماند جامد شهری کرمانشاه معرفی شد. Arabameri و Ramesht (۲۰۱۶) در پژوهشی که با هدف مکان‌یابی محل دفن پسماند حوزه آبریز شاهرود–بسطام انجام شد، گزارش کردند که پهنه منتخب به‌دلیل تراکم پایین آبراهه و فاصله مناسب از گسل، از بیش‌ترین وزن و بالاترین ارجحیت برای دفن پسماند برخوردار بوده است[۲۶].

«فاصله از مناطق حفاظت‌شده» و «ارتفاع از سطح دریا» نیز با میانگین وزنی برابر با ۰/۰۲۸ و ۰/۰۲۳ به ترتیب هشتمین و نهمین معیار تاثیرگذار در مکان‌یابی محل دفن پسماند جامد شهری کرمانشاه معرفی شدند. بر طبق مقررات، محل دفن زباله‌های خطرناک نباید در مناطق حفاظت‌شده مستقر شوند. از طرفی، زمین‌های خیلی مرتفع به‌دلیل هزینه خاکبرداری زیاد و زمین‌های خیلی پست و چاله‌دار هم به‌دلیل ارتفاع کم و خطر نشت شیرابه به منابع آب زیرزمینی برای استقرار دفن‌گاه مناسب نیستند.

توپوگرافی منطقه به‌دلیل تاثیر بر ساختار منطقه و جهت جریان‌های سطحی در اطراف مدفن زباله، یکی از مهم‌ترین معیارها در انتخاب محل دفن است. به‌طوری‌که، تصمیم‌گیری در مورد نوع طراحی لندفیل ارتباط متقابلی با توپوگرافی محل دارد. زمین‌های مسطح و تپه‌ماهورهای ملایم، محل مناسبی برای مدفن زباله از نوع سطحی و خاک‌ریزی هستند. در این خصوص، زمین‌های طبیعی گود می‌توانند به‌دلیل ویژگی‌های زیبایی‌شناختی و کاهش آلودگی صوتی به‌عنوان محل مناسبی برای مدفن زباله‌ها انتخاب شوند. هرچند از گودی‌هایی مانند فرو چاله‌ها که در ارتباط با فرآیندهای کارستی در مناطق آهکی بوده و علاوه بر ناپایداری، از قابلیت آلودگی آب‌های زیرزمینی نیز برخوردار هستند، برای این منظور باید اجتناب کرد. در این پژوهش، «جهت جغرافیایی» و «شیب» با میانگین وزن برابر با ۰/۰۲۲ و ۰/۰۲۰ به‌ترتیب دهمین و یازدهمین معیار تاثیرگذار در مکان‌یابی محل دفن پسماند جامد شهری کرمانشاه معرفی شدند. در مورد عامل «جهت جغرافیایی» باید توجه داشت که محل منتخب برای جلوگیری از پخش بوی آزاردهنده، نباید در جهت بادهای غالب ورودی به شهر باشد. علاوه بر آن، شیب‌های بیش‌تر از ٪۱۵ به دلیل افزایش نرخ فرسایش و همچنین مشکلات مربوط به فرآیندهای خاک‌برداری و عمرانی باید به‌عنوان مناطق نامناسب برای دفن زباله مد نظر باشند.

در این پژوهش سایت‌های پیشنهادی مناسب دفن پسماند در نواحی جنوب غربی شهر قرار داشتند که از تراکم جمعیتی پایین‌تری نسبت به سایر نواحی برخوردار بوده و از طرفی، فاصله‌ای بیش‌تر از ۳۰۰۰ متر از مناطق روستایی و زمین‌های کشاورزی و باغی داشتند. در این خصوص، Emadodin و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی که با هدف مکان‌یابی محل دفن پسماند شهری گرگان انجام یافت، گزارش کردند که نواحی شمالی شهرستان به‌دلیل مجاورت با چاه‌های آب زیرزمینی، نزدیکی به فرودگاه، نزدیکی به شهرهای گرگان، جلین و سرخن‌کلا، زمین‌شناسی نامناسب و از طرفی نزدیکی به روستاها از قابلیت استقرار محل دفن پسماند برخوردار نبوده‌اند[۲۷].

تاکنون در بسیاری از مطالعات، از قابلیت‌های GIS از آن‌جا که قادر به تجزیه و تحلیل حجم عظیمی از لایه‌های اطلاعاتی بوده و از سوی دیگر از قابلیت تلفیق داده‌ها برای مدل‌سازی، مکان‌یابی و تعیین تناسب اراضی از طریق ارزش‌گذاری بهینه سرزمین برخوردار است، برای مکان‌یابی محل دفن پسماند جامد شهری استفاده شده است[۲۸]. در مطالعه Mesbahi و همکاران (۲۰۲۰) نیز با توجه به قابلیت‌های GIS، استفاده از این سیستم در مطالعه‌های مکان‌یابی محل دفن پسماند را بسیار تأثیرگذار دانسته‌اند[۲۰].

در بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری لازم است تا نسبت به ارزیابی، وزن‌دهی و تعیین درجه اهمیت معیارهای تصمیم‌گیری و به‌تبع آن، ارزیابی گزینه‌ها و انتخاب بهینه اقدام کرد که روش سوارا از جمله روش‌های مناسب برای این منظور است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که برخلاف فرآیند تحلیل سلسله مراتبی که در آن وزن‌دهی به گزینه‌ها با مقایسه زوجی

گزینه‌ها نسبت به هدف صورت می‌گیرد و از طرفی، گزینه‌ها نسبت به تک‌تک معیارها مورد مقایسه زوجی، ارزیابی و امتیازدهی قرار می‌گیرند، روش سوارا یک روش انعطاف‌پذیر، روان و به‌راحتی قابل اجرا برای مکان‌یابی محل دفن زباله است .در خصوص ارجحیت و ارزش روش سوارا، Zolfani و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که روش سوارا به‌عنوان یک روش جدید از نظم و چارچوبی کاملاً متفاوت در مقایسه با روش‌هایی همچون ANP، BWM و AHP برخوردار بوده و مشخصه آن دادن رتبه یک به مهم‌ترین معیار و رتبه آخر به کم اهمیت‌ترین معیار است و از این‌رو، دقت آن در مقایسه با روش‌های مورد اشاره بسیار بیش‌تر است. در خصوص نقطه ضعف روش سوارا نیز می‌توان اذعان داشت از آن‌جایی‌که در این روش امتیازدهی و طبقه‌بندی هر معیار به دانش، تجربه و اطلاعات شخص فرد خبره وابسته است، لذا، اگر شخص اطلاعات کافی و بروز درباره موضوع مورد ارزیابی نداشته باشد، ممکن است در نتیجه کلی پژوهش اثرگذار باشد[۲۹]. علاوه بر این، Zavadskas و همکاران (۲۰۰۷) نیز گزارش کردند که روش کوپراس یکی از روش‌های کاربردی قدرتمند تصمیم‌گیری است که می‌توان از آن برای اولویت‌بندی یا رتبه‌بندی گزینه‌های مختلف با استفاده از وزن معیارها استفاده کرد. همچنین، نتایج پژوهش آن‌ها مشخص کرد که استفاده از روش کوپراس برای حل مشکلات ناشی از تصمیم‌گیری برای تعداد زیادی سناریو و معیار قابل اجراست و این روش برای تجزیه و تحلیل و مکان‌یابی کاربری‌های مختلف بسیار مناسب است. این پژوهشگران همچنین از دیگر مزیت‌های روش کوپراس در مقایسه با سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره را اجرای آن طی چند گام متوالی عنوان کردند که به افزایش دقت تصمیم‌گیری، افزایش اطمینان به نتایج و به‌تبع آن اطمینان بالا به گزینه نهایی پیشنهادی منجر می‌شود[۳۰]. نتایج روش کوپراس نشان داد که از بین ۳۶ محل مورد بررسی، سایت شاه‌ولی از همه پارامترهای محیط‌زیستی و اقتصادی- اجتماعی از جمله سنگ بستر نفوذناپذیر، فاصله بیش‌تر از ۳۰۰۰ متر از منابع آب سطحی و زیرزمینی، فاصله بیش‌تر از ۳۰۰۰ متر از مناطق مسکونی، شیب کم‌تر از ٪۱۰، فاصله مناسب از جاده و خطوط انتقال نیرو و فاصله بیش‌تر از ۲۰۰۰ متر از مناطق حفاظت شده برخوردار بوده است. از این‌رو، این مکان از شرایط بسیار مناسب برای استقرار محل دفن پسماند جامد شهری کرمانشاه برخوردار بوده است و پس از آن، سایت‌های واجد رتبه‌های ۲ تا ۵ یعنی میله‌سرخ، بیشیک تپه، سرزامله و انارک نیز بدین لحاظ از شرایط مناسب برخوردار بوده‌اند.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که پنج محل شاه‌ولی میله‌سرخ، بیشیک تپه، سرزامله و انارک از نظر معیارهای محیط‌زیستی و اقتصادی- اجتماعی در مقایسه با مرکز دفن فعلی، از شرایط بسیار مناسب‌تری برای استقرار دفن‌گاه برخوردار بوده‌اند که این موضوع را می‌توان با رویکرد ترکیبی مورد استفاده یعنی کاربرد روش‌های سوارا و کوپراس در وزن‌دهی و رتبه‌بندی معیارها مرتبط دانست. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که سایت شاه‌ولی با برخورداری از جاده دسترسی مناسب، شیب مناسب و همچنین هم‌خوانی با سایر پارامترهای مکانی مدنظر، با مساحت تقریبی ۹۰ هکتار می‌تواند برای ۲۰ سال آینده به‌عنوان محل دفن پسماند جامد شهری کرمانشاه انتخاب و جایگزین محل دفن زباله فعلی این شهر شود که لازمه آن مساعدت اداره کل منابع‌طبیعی استان برای تملک این محل توسط شهرداری کرمانشاه است. در نهایت، با توجه به این‌که امروزه انتخاب محل مناسب استقرار لندفیل از مهم‌ترین معضلات محیط‌زیستی کلان‌شهرها محسوب می‌شود، نسبت به لحاظ کردن سایر معیارها همچون پارامترهای جمعیت‌شناختی و از طرفی، کاربرد روش‌های جدیدتر تصمیم‌گیری چند معیاره همچون آراس و

مولتی مورا (MULTIMOORA) در مطالعه‌های مربوط به استقرار کاربری‌ها و به‌ویژه مکان‌یابی دفن‌گاه توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از رساله دکتری تخصصی محیط‌زیست با کد ۱۷۱٤۸۰۰٦۹۰۷٦٤۲۱۱۳۹۹۱٦۲۳۱۰٤۷۱ مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان است. بدین وسیله نویسندگان از معاونت محترم پژوهش و فن‌آوری دانشگاه برای فراهم کردن امکانات اجرای مطالعه، سپاسگزاری می‌کنند.

References

1. Mandal K. Review on evolution of municipal solid waste management in India: practices, challenges and policy implications. Mater Cycles Waste Manag 2019; 21(6): 1263-79.
2. Ruan Barbosa de Aquino Í, Ferreira da Silva Junior J, Guarnieri P, et al. The proposition of a mathematical model for the location of electrical and electronic waste collection points. Sustainability 2021; 13(1): 224-39.
3. Cannon C. Examining rural environmental injustice: An analysis of ruralness, class, race, and gender on the presence of landfills across the United States. Rural Dev 2020; 15(1): 89-114.
4. Chabak M, Asakereh A, Bahrami H, et al. [Location of municipal solid waste landfill using geographic information system and hierarchical analysis (Case study of Ahvaz city)]. Sixth National Conference on Modern Studies and Research In the field of Geography, Architecture and Urban planning of Iran, Tehran, 2018 (In Persian).
5. Makonyo M, Msabi MM. Potential landfill sites selection using GIS-based multi-criteria decision analysis in Dodoma capital city, central Tanzania. GeoJ 2021; 1-31. doi: 10.1007/s10708-021-10414-5.
6. Ismaili A, Barzegari GH, Asghari Kaljahi E. [Weighting of effective criteria in locating landfills for Malekan city]. 10th National Geological Conference of Payame Noor University, 2017 (In Persian).
7. Yücenur GN, Ipekçi A. SWARA/WASPAS methods for a marine current energy plant location selection problem. Renew Energy 2021; 163:1287-98.
8. Asodariya H, Patel HV, Babariya D, et al. Application of multi criteria decision making method to select and validate the material of a flywheel design. Mater Today: Proceedings 2018; 5(9):17147-55.
9. Yesilnacar MI, Cetin H. Site selection for hazardous wastes: a case study from the GAP area, Turkey. Eng Geol 2005; 81(4): 371-88.
10. Chang NB, Parvathinathan G, Breeden JB. Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. J Environ Manage 2008; 87(1): 139-53.
11. Yadav SK. GIS based approach for site selection in waste management. Environ Eng Manag J 2013; 4(5): 507-14.
12. Ahmad A, Javaid U, Javed MA, et al. Landfill sites identification using GIS and multi-criteria method: a case study of intermediate city of Punjab, Pakistan. J Geogr Inf Syst 2016; 8(1): 40-9.
13. Bottero M, Oppio A, Bonardo M, et al. Hybrid evaluation approaches for urban regeneration processes of landfills and industrial sites: the case of the Kwun Tong area in Hong Kong. Land Use Policy 2019; 82: 585-94.
14. Moeinaddini M, Khorasani, N, Danehkar, A, et al. [Siting MSW landfill using hierarchical fuzzy TOPSIS methodology (case study: Karaj)]. J Nat Environ 2011; 64(2): 155-67 (In Persian).
15. Samimian M. [Location of areas prone to sanitary landfill of municipal waste using TOPSIS method Case study: Ghaemshahr city]. GIS & RS Applicat Plan 2017; 8(2): 1-10 (In Persian).
16. Mirabadi M, Abdi AH. [Landfill locate in Bukan by Boolean logic and analytical hierarchy process (AHP)]. J Environ Sci Technol 2017; 19(1): 149-68 (In Persian).
17. Moghimi Kandlousy A, Mohebbi Tafreshi A, Mohebbi Tafreshi GH. [Locating appropriate areas of municipal waste landfill using TOPSIS method (Case study: Langroud County)]. J Res Environ Health 2018; 4(2): 112-28 (In Persian).
18. Alaee Taleghani M, Sanjary F, Jalilian A. [Optimized siting municipal solid waste landfill for Kermanshah city using experimental method and based on the regional geomorphologic characteristics]. Urban Region Stud Res 2010; 2(6): 20-34 (In Persian).
19. Zinatizadeh S, Azmi A, Monavari SM, et al. Evaluation and prediction of sustainability of urban areas: A case study for Kermanshah city, Iran. Cities 2017; 66: 1-9.
20. Mesbahi F, Mostafa Nejad S, Nadiri A. Determining the appropriate location for municipal solid waste disposal using Analytic Hierarchy Process (AHP) and Geographic Information System (GIS): A case study in Sardasht, Iran. J Environ Health Eng 2020; 8(2): 26-41.
21. Yamani M, Alizadeh SH. [Optimal location of landfill for solid waste in Hashtgerd area using Analytical Hierarchy

Process (AHP) and Geographic Information System (GIS)]. Geogr Data (SEPEHR) 2016; 24(96): 79-90 (In Persian).

22. Alistair A, Brito MG, Sá Caetano P, et al. A landfill site selection process incorporating GIS modellinfg. Proceedings of Ninth International Waste Management and Landfill Symposium, Italy, 2003; 8 p.
23. Barakat A, Hilali A, El Baghdadi M, et al. Landfill site selection with GIS-based multi-criteria evaluation technique. A case study in Béni Mellal-Khouribga Region, Morocco. Environ Earth Sci 2017; 76(12): 413.
24. Zamorano M, Molero E, Hurtado A, et al. Evaluation of a municipal landfill site in Southern Spain with GIS-aided methodology. J Hazard Mater 2008; 160(2-3): 473-81.
25. Khorshiddoust AM, Adeli Z. [The application of AHP method for optimum solid waste landfill site selection: A case study of Bonab City in East Azerbaijan Province, Iran]. J Environ Stud 2009; 35(51): 27-32 (In Persian).
26. Arabameri AR, Ramesht MH. [Site selection of landfill with emphasis on hydrogeomorphological – environmental parameters Shahrood-Bastam watershed]. Sci J Manage Sys 2016; 16(43): 58-80 (In Persian).
27. Emadodin S, Farzaneh F, Arekhi S, et al. [Landfill Site Selection for Municipal Waste Materials using Analytic Hierarchy Process and Artificial Neural Networks (Case study: Gorgan City)]. Geogr Environ Hazard 2020; 9(34): 55-9 (In Persian).
28. Lu JW, Chang NB, Liao L. Environmental informatics for solid and hazardous waste management: advances, challenges, and perspectives. Critical Rev Environ Sci Technol 2013; 43(15): 1557-1656.
29. Zolfani SH, Yazdani M, Zavadskas EK. An extended stepwise weight assessment ratio analysis (SWARA) method for improving criteria prioritization process. Soft Comput 2018; 22(22): 7399-7405.
30. Zavadskas EK, Kaklauskas A, Peldschus F, et al. Multi-attribute assessment of road design solutions by using the COPRAS method. Baltic J Road Bridge Eng 2007; 2(4): 195-203.

Journal of Environmental Health Engineering, December 2021; Vol. 9, No. 1: 41-58

Landfill site selection for municipal solid waste with combining SWARA technique and COPRAS method using GIS (Case study: Kermanshah, Iran)

S. Jalilian[1], S. Sobhanardakani[*2], M. Cheraghi[3], S.M. Monavari[4] and B. Lorestani[3]

[1] PhD. Candidate in Environmental Science, Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.

[2] Ph.D. in Environmental Science, Professor of Environmental Science, Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.

[3] Ph.D. in Environmental Science, Associate Professor of Environmental Science, Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.

[4] Ph.D. in Environmental Science, Associate Professor of Environmental Science, Department of the Environment, College of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

*E-mail: ***s_sobhan@iauh.ac.ir***

Received: 7 September. 2021; Accepted: 29 November. 2021

ABSTRACT

Background & Objective: The selection of municipal solid waste landfills is significant because it controls environmental pollution and its problems. Since site selection is a time-consuming and multifaceted process involving various socio-economic and environmental parameters, it requires expert opinion, extensive information resources, and multi-criteria methods. Therefore, this study was carried out for landfill site selection of municipal solid waste of city of Kermanshah combining SWARA technique and Copras method using GIS in 2019.

Materials & Methods: In this descriptive study, the Copras method and SWARA technique were selected as multi-criterion decision-making methods (MCDM) were used. Also, the environmental and socio-economic criteria including height above sea level, geographical direction, slope, distance from the protected areas, distance from the agricultural areas, land use, distance from the road, distance from the airport, distance from railway lines, distance from transmission lines, surface and groundwater resources, distance from residential areas, distance from faults, type of vegetation and soil type were evaluated by seven environmental specialists.

Results: The results of the SWARA method showed that the water resources criterion with a final weight of 0.300 is the most important criterion. Also, the type of soil and the distance from agricultural lands with a final weight of 0.202 and 0.119, respectively are the others. While, slope, distance from transmission lines and distance from fault with final weights of 0.020, 0.015 and 0.015 were the least important criteria for site selection. Besides, the results of the Copras method showed that the southwestern areas of the city of Kermanshah had better conditions for disposal of municipal solid waste due to their characteristics such as distance from residential areas and agricultural lands, suitable slope, and proper road access. Thus, the "Shah Vali" site with an approximate area of 90 ha was suggested as a landfill for municipal solid waste in city of Kermanshah for the next 20 years.

Conclusion: In general, based on the results obtained, SWARA and Copras methods, due to their novelty, high flexibility, and accuracy in presenting the results, could be an excellent alternative to the other conventional weighting methods. Consequently, we can confident to their final proposed options, which have suitable characteristics of the landfill. Finally, given that landfill site selection is one of the most critical environmental issues in metropolitan areas, consider other criteria such as demographic parameters and the application of newer multi-criteria decision-making methods such as ARAS and MULTIMOORA in site selection studies are recommended.

Keywords: Waste disposal, Solid waste; Site selection, Decision making; Geographical information system