University of Tehran Press

Town & Country Planning

Home Page: https://jtcp@ut.ac.ir

Online ISSN: 2423-6268

Strategic Management of Waste from Religious Tourism: A Case Study of Locating Municipal Waste Landfills in Najaf and Karbala Provinces

Ammar Rasheed Al-Hamami[1] | Ozeair Abessi[2*] | Ali Chabuk[3]

1. Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran. E-mail: ammar.rasheed10@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran. E-mail: Oabessi@nit.ac.ir
3. Department of Environment Engineering, School of Engineering, University of Babylon, Babylon Iraq. E-mail: ali.chabuk@uobabylon.edu.iq

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received: December 15, 2025
Revised: February 25, 2026
Accepted: February 26, 2026
Published online: 05 March 2026

Keywords:
Waste management,
Landfill,
Location,
Turism,
Karbala.

ABSTRACT

Iraq in general and the Middle Euphrates provinces in particular suffer from fundamental weaknesses in the collection and safe disposal of municipal solid waste. The lack of national strategies and the high production of waste, especially during religious occasions, have highlighted the need for urgent action to implement a cost-effective and sustainable waste management approach. The strategic decision of local managers, which was reached as a result of expert meetings with experts in the field, including the researchers of the present study, is based on locating suitable land for centralized waste disposal in each province and constructing sanitary landfills in accordance with engineering standards. The legal weakness in Iraq and the lack of transparent criteria for location was followed up in this study by reviewing the study history and presenting a set of effective criteria appropriate to the conditions of Iraq and weighting them using the SRS method. Finally, with a future study to estimate population growth and the increase in the number of religious tourists, an estimate of the amount of waste produced was provided, and locations with sufficient surface area for the construction of a landfill were selected and proposed from among highly desirable lands in a combined GIS map in a way that would have the ability to accept waste over the next 50 years.

Cite this article: Al-Hamami, A. R.; Abessi, O. & Chabuk, A. (2025-2026). Strategic Management of Waste from Religious Tourism: A Case Study of Locating Municipal Waste Landfills in Najaf and Karbala Provinces. *Town and Country Planning*.17 (2), 279-296. http//doi.org/10.22059/jtcp.2026.408179.670539

© Authors retain the copyright and full publishing rights.
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jtcp.2026.408179.670539

انتشارات دانشگاه تهران

آمایش سرزمین

سایت نشریه: https://jtcp@ut.ac.ir/

شاپا الکترونیکی: ۶۲۶۸-۲۴۲۳

مدیریت راهبردی پسماندهای ناشی از گردشگری مذهبی: مطالعهٔ موردی مکان‌یابی لندفیل زباله‌های شهری در استان‌های نجف و کربلا

عمار رشید الحمامی[۱] | عزیر عابسی[۲*] | علی چابوک[۳]

۱. گروه محیط زیست، دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، ایران. رایانامه:ammar.rasheed10@gmail.com

۲. نویسندهٔ مسئول، گروه محیط زیست، دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، ایران. رایانامه: Oabessi@nit.ac.ir

۳. گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی، دانشگاه بابیلون، عراق. رایانامه: ali.chabuk@uobabylon.edu.iq

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۲۴
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۲/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۷
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۲/۱۴

کلیدواژه:
مدیریت پسماند،
محل دفن زباله،
مکان‌یابی،
گردشگری،
کربلا.

چکیده

کشور عراق به‌طور کلی و استان‌های فرات میانی به‌طور خاص از ضعف بنیادین در سیستم‌های جمع‌آوری و دفع ایمن زباله‌های جامد شهری رنج می‌برند. فقدان استراتژی‌های ملی و تولید بالای زباله، به‌ویژه در مناسبت‌های مذهبی، ضرورت اقدام فوری برای اعمال یک روش کم‌هزینه و پایدار مدیریت پسماند را آشکار ساخته است. تصمیم راهبردی مدیران محلی که در نتیجهٔ نشست‌های تخصصی با متخصصان امر از جمله محققان مطالعهٔ حاضر حاصل شده است، بر مکان‌یابی زمین‌های مناسب برای دفن زباله به‌صورت متمرکز در هر استان و احداث لندفیل‌های بهداشتی مطابق با استانداردهای مهندسی، استوار است. ضعف قانونی در کشور عراق و نبود معیارهای شفاف برای مکان‌یابی در این مطالعه با بررسی سابقهٔ مطالعه و ارائهٔ مجموعه‌ای از معیارهای تأثیرگذار متناسب با شرایط کشور عراق و وزن‌دهی آن‌ها به روش SRS پیگیری شد. در نهایت با آینده‌پژوهی برای برآورد رشد جمعیت و افزایش تعداد گردشگران مذهبی، تخمینی از میزان زبالهٔ تولیدی ارائه و مکان‌هایی با سطح کافی برای احداث لندفیل از میان زمین‌های با مطلوبیت بالا در نقشهٔ GIS ترکیبی، به نحوی که توانایی پذیرش زباله طی ۵۰ سال آینده را داشته باشد، انتخاب و پیشنهاد شد.

استناد: رشید الحمامی، عمار؛ عابسی، عزیر و چابوک، علی (۱۴۰۴). مدیریت راهبردی پسماندهای ناشی از گردشگری مذهبی: مطالعهٔ موردی مکان‌یابی لندفیل زباله‌های شهری در استان‌های نجف و کربلا. *آمایش سرزمین*، ۱۷ (۲) ۲۷۹-۲۹۶. http//doi.org/10.22059/jtcp.2026.408179.670539

© نویسندگان.
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
DOI: http//doi.org/10.22059/jtcp.2026.408179.670539

مقدمه

عراق به‌عنوان یکی از قطب‌های مهم گردشگری مذهبی در جهان، سالانه پذیرای میلیون‌ها زائر مذهبی است، که بخش قابل توجهی از درآمدهای ارزی این کشور را تأمین می‌کنند. زائران از کشورهای مختلف برای شرکت در مناسبت‌های دینی، به‌ویژه مراسم اربعین و زیارت اماکن مقدس، وارد این کشور می‌شوند. اوج حضور زائران مربوط به مراسم اربعین حسینی است که طی آن زائران مسیر ۸۰ کیلومتری شهر نجف تا کربلا را طی ۳ تا ۵ روز پیاده می‌پیمایند. آمار منتشرشده نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر، شمار زائران اربعین به‌شدت افزایش یافته است؛ به‌طوری که تعداد آن‌ها از حدود ۱۱ میلیون در سال ۲۰۱۶، به بیش از ۲۲ میلیون در سال ۲۰۲۴ افزایش یافته است (Kadum et al., 2025). این حجم چشم‌گیر ورود گردشگران مذهبی، علاوه بر آثار اقتصادی و فرهنگی، چالش‌های قابل توجهی را در حوزهٔ مدیریت شهری و محیط زیست ایجاد می‌کند. یکی از اساسی‌ترین این چالش‌ها، افزایش تولید پسماندهای شهری است که در دوره‌های اوج سفرها می‌تواند به چندین برابر حد معمول برسد.

در سال ۲۰۱۴، مقادیر پسماندهای شهری جمع‌آوری‌شده در استان کربلا در حدود ۵۶۰ هزار تن در سال و حضور گردشگران مذهبی عامل افزایش ۱۵ درصد حجم سالانهٔ زباله در کشور عراق برآورد شده است (Abdulredha et al., 2020). همچنین تأکید شده است که حضور زائران اربعین در استان کربلا باعث افزایش ۱۲ تا ۱۴ برابری میزان تولید زباله طی این دورهٔ زمانی کوتاه می‌شود، به نحوی که مقدار ۶۵۰ تنی زباله در روز تا میزان ۸۰۰۰ تا ۹۰۰۰ تن در روز افزایش می‌یابد (Abdulredha et al., 2020). انباشت زباله، کمبود زیرساخت‌های جمع‌آوری و دفع اصولی، توزیع نامتوازن امکانات مدیریت پسماند در شهرهای زیارتی (نجف و کربلا) و فشار مضاعف بر سیستم‌های موجود، همگی زمینه‌ساز پیامدهای محیط زیستی و بهداشتی جدی برای کشور عراق شده است. چالش‌های مشابه در کشورهای منطقه و در سطح دنیا بارها گزارش شده است؛ مشکلات مزمن مدیریت زباله‌های شهری در استان‌های شمالی ایران ناشی از هجوم گردشگران در روزهای تعطیل و مناسبت‌های ملی (امیرسلیمانی و همکاران، ۲۰۱۹)، افزایش تولید زباله در مناطق تفریحی و توریستی گرانادا در اسپانیا و تأثیر فصلی گردشگری بر ترکیب زباله (Peula et al., 2023)، افزایش فصلی تولید زباله در منطقهٔ گردشگری کدای گونونگ بالا و در بندر لامپونگ اندونزی (Falaguna et al., 2024)، افزایش مقطعی تولید زباله در جزایر تفریحی مثل جزیرهٔ ایبیزا[1] در اسپانیا (Arbulú et al., 2024)، جزیرهٔ نوزی بی ماداگاسکار (Ferronato et al., 2024)، و جزیرهٔ پاسارن اندونزی (Mawaddah et al., 2024)، تنها نمونه‌های محدودی از تأثیر گردشگران بر رشد ناگهانی تولید زباله در یک منطقهٔ محدود و ایجاد بحران‌های زیستی و اجتماعی- فرهنگی است. همچنین گزارش شده که به سبب حضور گردشگران، علاوه بر حجم زباله، کیفیت زباله نیز دستخوش تغییرات اساسی شده است و ترکیب زباله به‌شدت به سمت حضور بیشتر پسماندهای غذایی و زباله‌های پلاستیکی تغییر می‌کند (Falaguna et al., 2024). علاوه بر آن، در قالب یک روند جهانی به دلیل رشد جمعیت، افزایش سطح رفاه، میزان درآمد، و استانداردهای زندگی، تولید پسماند جامد شهری در دنیا به‌شدت در حال افزایش است. همچنین مشاهده می‌شود که توسعهٔ فعالیت‌های اقتصادی و تولیدی در مناطق شهری نیز تولید پسماندهای شهری را به میزان قابل توجهی افزایش داده است (Amirsoleymani et al., 2020). ازاین‌رو در سال‌های اخیر مدیریت حجم فزایندهٔ تولید زباله‌ها به یک نگرانی بنیادی در سیستم‌های شهری تبدیل شده است.

مدیریت پسماند به تکنیک‌های جمع‌آوری، حمل‌ونقل، و در نهایت پردازش و دفع ایمن پسماندها در محیط زیست اشاره دارد و یک رویکرد ترکیبی فنی، اجتماعی- اقتصادی و راهبردی را طلب می‌کند که با هدف حفظ طبیعت و به حداقل رساندن استفاده از منابع و ترویج بازیافت و استفادهٔ مجدد از زباله انجام می‌گیرد. این ساختار تضمین می‌کند که تمام مواد جامد و حتی پسماندهای مایع، گاز، رادیواکتیو و هر پسماند خطرناکی، به‌طور مناسب جمع‌آوری و مدیریت شوند و تلاش می‌کند تا با استفاده از روش‌های مناسب، تأثیر مضر آن‌ها بر محیط زیست را به حداقل برساند (Unnisa & Rav, 2012). بنابراین هر سیستم شهری متناسب با شرایط منطقهٔ خود باید رویکردهایی مؤثر و شخصی‌سازی‌شده را برای حفظ سلامت عمومی، بهداشت، زیبایی‌شناسی، و حفظ ثبات اقتصادی توسعه دهد.

1. Ibiza

در کشورهای با درآمد کم و متوسط، دفن زباله در زمین به دلیل هزینه‌های نسبتاً پایین، توانایی مدیریت زباله‌های دسته‌بندی‌نشده و الزامات فنی کمتر در مقایسه با سایر روش‌ها، عملی‌ترین گزینهٔ مدیریت زباله محسوب می‌شود (پیروی و همکاران، ۲۰۲۲). دفن بهداشتی زباله در لندفیل‌های بهداشتی متفاوت از دپوی زباله و پوشاندن آن با خاک است، و نیازمند رعایت مجموعه‌ای گسترده از ملاحظات فنی در مکان‌یابی محل، طراحی، ساخت، بهره‌برداری و پایش آن است (امیرسلیمانی و همکاران، ۲۰۱۹). در صورت مهندسی صحیح، دفن زباله‌ها به این روش بهبود قابل توجه محیط زیستی‌ای نسبت به تخلیه در فضای باز خواهد داشت. ازاین‌رو، دفن بهداشتی زباله در مکان‌های تخصصی طراحی‌شده برای آن، نسبت به دپوی زباله در فضاهای باز به‌طور واضح ترجیح داده می‌شود (Amirsoleymani et al., 2022). در محل‌های دفن زباله، تجزیهٔ بیولوژیکی مواد آلی دفن‌شده، باعث تولید بوهای نامطبوع، متان و شیرابه خواهد شد (Ali et al., 2016). رویکرد دفن کنترل‌شدهٔ زباله در زمین باید با اقدامات مهندسی خاصی همراه باشد تا نفوذ شیرابه و انتشار گاز را تا حد امکان محدود کند (Aksoy & San, 2019). در این زمینه مجموعه‌ای از ملاحظات فنی و مهندسی اعم از استفاده از لایه‌های رس کوبیده، عایق‌کاری محل با پوشش‌های ژئوممبرین، سلول‌بندی، پوشش روزانهٔ خاکی، پاشش آب، لوله‌های جمع‌آوری گاز و پوشش نهایی محل توصیه شده است. از طرفی از دست خارج شدن منابع زباله برای استفادهٔ مجدد، محل‌های دفن زباله را تنها به یک مسیر گذار به سمت سیستم‌های یکپارچه و پایدار در مقیاس میان‌مدت تبدیل کرده است. در درازمدت نیز انتظار می‌رود که روش‌های دفع زبالهٔ شهری به سمت گزینه‌های پیشرفته‌تر و پایدارتر، از جمله بازچرخوانی و بازاستفاده از مواد، سوزاندن و استحصال انرژی، کمپوست در مقیاس بزرگ، هضم بی‌هوازی و سیستم‌های بازیافت یکپارچه، تکامل یابد. سهم هر یک از این روش‌ها متفاوت خواهد بود و تصمیم‌گیری در این حوزه بر اساس میزان زبالهٔ تولیدشده، ترکیب زباله، نیازهای فناوری، و ظرفیت برنامه‌ریزی شهری انجام خواهد شد. در عمل دفن زباله در بسیاری از موارد اجتناب‌ناپذیر است و حتی در کشورهای پیشرفته با رویکردهای متنوع در مدیریت پسماند، دفن زباله‌ها همچنان برای امحای زباله‌های غیرقابل استفاده، خاکستر زباله‌سوزها، حجم مازاد بر ظرفیت ناشی از حضور گردشگران و یا حوادث و رویدادهای غیرمنتظره مورد توجه قرار می‌گیرد (Amirsoleymani et al., 2022).

متأسفانه به‌رغم فراگیری در سایر مناطق دنیا، دفن بهداشتی زباله در کشور عراق چندان رایج نیست. منابع مالی محدود، اجرا نشدن مقررات محیط زیستی، و نبود برنامه‌های استراتژیک ملی برای مدیریت زباله، در کنار مشکلات زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی، مانند عمق کم آب‌های زیرزمینی در بسیاری از مناطق کشور، از دلایل آن عنوان شده است. با این حال، در سال‌های اخیر و در برخی از مناطق کشور عراق، تلاش‌های محدودی برای شناسایی و توسعهٔ مکان‌های مناسب دفن بهداشتی زباله انجام شده است (Chabuk, 2019; Aziz, 2022)؛ اما به‌رغم توسعهٔ مطالعات مرتبط با مکان‌یابی لندفیل‌ها در سطح دنیا، این نوع مطالعات در کشور عراق هنوز در مراحل اولیهٔ توسعه قرار دارند و از نظر تنوع روش‌ها و عمق تحلیل‌ها بسیار محدود هستند. عزیز (۲۰۲۲) به‌منظور انتخاب محل مناسب برای دفن زباله‌های شهری در منطقهٔ TaqTaq استان کردستان عراق، از روش‌های مکان‌محور، عکس‌های ماهواره‌ای و تحلیل چندمعیاره به روش ترکیب خطی وزن معیارها استفاده کرده است. این مطالعه محدود به یک منطقهٔ کوچک است و تنها ۷ معیار شیب، کاربری اراضی، فاصله از جاده، حریم شهر، مناطق مسکونی، رودخانه‌ها، و آب‌های سطحی را بررسی کرده است. در نتیجهٔ این مطالعه ۲۵ درصد از محدودهٔ طرح، برای دفن زباله مناسب تشخیص داده شد، که تنها ۱ درصد از آن دارای مطلوبیت بالا بوده است. سلمان و همدم (۲۰۲۴) به مطالعهٔ منطقهٔ Al-Zubair در جنوب شرق استان بصره اقدام کرده‌اند، که به‌واسطهٔ توسعهٔ شهری و صنعتی سال‌های اخیر بصره با چالش جدی مدیریت زباله های تولیدی مواجه شده است. آن‌ها در مطالعهٔ خود ۹ معیار فاصله از زمین‌های کشاورزی، آب‌های سطحی، مناطق مسکونی، جاده‌های دسترسی، راه‌آهن، خطوط انتقال نیرو، و مناطق نفت‌خیز را در کنار وضعیت منطقه از منظر شیب و جنس خاک مورد توجه قرار دادند و با کمک تحلیل‌های مبتنی بر سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) و وزن‌دهی معیارها به روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، نقشه‌ای برای شاخص مطلوبیت مناطق جنوبی بصره با هدف انتخاب مکان‌هایی با بیشرین مطلوبیت برای دفن زباله‌های شهری توسعه داده‌اند. در انتها تنها یک محدوده با مساحت کافی برای توسعهٔ لندفیل بهداشتی با قابلیت پذیرش زباله تا بعد از سال ۲۰۵۰ انتخاب و پیشنهاد شد. چَبوک و همکارانش (۲۰۱۹) با اشاره به پیچیدگی‌های خاص کشور عراق و به

دلیل نبود دسترسی به لایه‌های اطلاعاتی مکانی، آمار، اطلاعات زباله، و سایر معیارهای تأثیرگذار، به مکان‌یابی محل‌های مناسب دفن زباله در استان بابل عراق اقدام کردند. در این منطقه دپوهای موجود غیربهداشتی و از نظر عملیاتی بسیار مخرب و آلاینده گزارش شده‌اند. ۱۵ معیار مهم‌تر از انبوه معیارهای تأثیرگذار که داده‌های آن در دسترس یا قابل تهیه بودند، انتخاب و با کمک تحلیل‌های چندمعیاره اعم از روش AHP و RSW وزن‌دهی و اولویت‌دهی شدند. معیارهای انتخاب شامل شیب، جنس خاک، عمق آب زیرزمینی، ارتفاع، قابلیت کشاورزی و کاربری زمین‌ها و فاصله از مناطق مسکونی، رودخانه‌ها، روستاها و مراکز شهری، مناطق با ارزش تاریخی و باستانی، راه و راه‌آهن، خطوط نیرو و خطوط گاز و نفت بوده‌اند. در نهایت ۱۰ مکان با ظرفیت محدود پیشنهاد شدند که تنها برای ده سال قابلیت پذیرش زباله را دارند.

مطالعات مورد اشاره محدود به مناطق کوچکی هستند که اطلاعات مکانی آن قابل جمع‌آوری و یا ساخته شدن به کمک داده‌های میدانی و عکس‌های ماهواره‌ای است، و مطالعات برای افق زمانی محدود و بدون آینده‌نگری در روند تولید زباله در کشور عراق انجام شده است. محدود بودن معیارهای مکانیابی، فقدان مدل‌سازی اثرات بلندمدت، ضعف در استفاده از از روش‌های متنوع تصمیم‌گیری، به‌روز نبودن و کیفیت پایین داده‌های منطقه‌ای و همچنین در نظر نگرفتن مطالعات اقتصادی‌ـ اجتماعی از مهم‌ترین شکاف‌های مطالعاتی طرح‌های حاضر هستند. در این مطالعه سعی شده است تا با به‌روزرسانی مطالعات، بخشی از نواقص حاضر برطرف شود. ازاین‌رو بر افزایش تعداد معیارها، دقت لایه‌های اطلاعاتی و انجام مطالعات آینده‌پژوهی برای اتخاذ تصمیمات استراتژیک در محدودهٔ مطالعاتی بزرگتری در حد دو استان تأکید شده است. هدف این مطالعه تعیین مکان‌های بهینه برای دفن زباله در منطقهٔ متأثر از حضور گردشگران مذهبی در استان‌های نجف و کربلا، بر اساس سناروی‌های آینده‌پژوهانه با انتخاب معیارهای کلیدی، و همسو با مقررات محیط زیستی و اجرایی عراق است. این مطالعه از این منظر نوآورانه است، که تاکنون برنامه‌ریزی راهبردی مدیریت پسماند در کشور عراق با نگاه آینده‌اندیشانه و محاسبهٔ حجم زبالهٔ تولیدی و اختصاص مکان مناسب برای دریافت این حجم عظیم در مقیاس ۵۰ ساله مورد بررسی قرار نگرفته است.

روش پژوهش

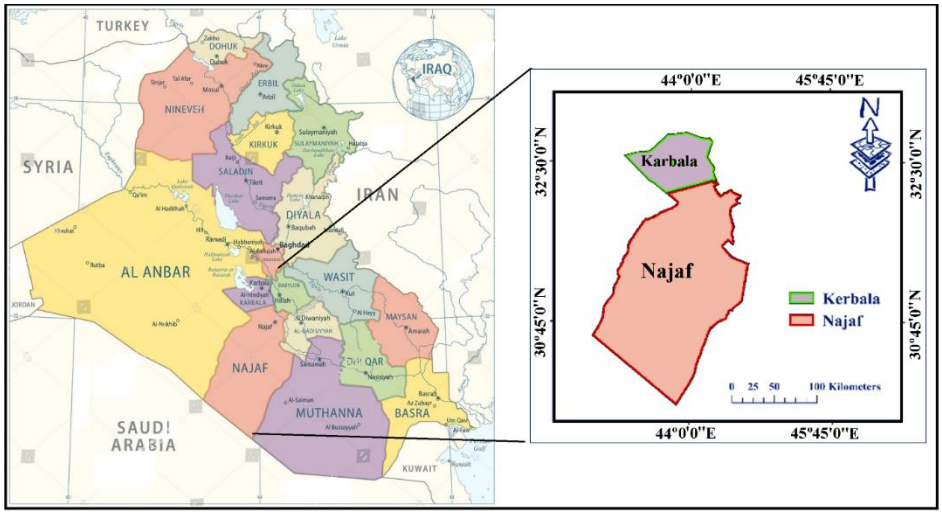
منطقهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ مورد مطالعه محدودهٔ استان‌های نجف و کربلا در مرکز عراق است که تقریباً از ۱۰۰ کیلومتری جنوب غربی بغداد، پایتخت عراق، آغاز شده است و تا مرز کشور عربستان سعودی ادامه دارد. این استان‌ها بخشی از منطقهٔ فرات میانی شامل استان‌های نجف، بابل، کربلا و قادسیه و پذیرای بیش از ۱۲ درصد از جمعیت کشور و مناطق شهری، تاریخی و زیارتی کشور عراق هستند (شکل ۱). استان نجف در منتهی علیه جنوب عراق در منطقه‌ای بیابانی با ارتفاع ۷۰ متر از سطح دریا قرار دارد (Al-Mamoori et al., 2018). این استان که با عربستان سعودی هم‌مرز است، مساحتی تقریباً برابر با ۲۸۵۴۵ کیلومتر مربع دارد و در سال ۲۰۲۴، دارای جمعیت ۱,۷۷۸,۷۳۹ نفر بوده است (Iraqi Ministry of Planning, 2024). این استان ۶/۶ درصد ازکل مساحت عراق را تشکیل می‌دهد. استان کربلا با مساحت ۴۹۸۶ کیلومتر مربع و جمعیت ۱,۴۱۸,۹۵۰ نفر (مطابق آمار ۲۰۲۴) دارای تراکم جمعیت حدوداً ۲۴۰ نفر در هر کیلومتر مربع است و تقریباً ۱/۲ درصد از مساحت کل عراق را تشکیل می‌دهد. این استان در مرکز کشور عراق بخش کوچکی از قلمرو جغرافیایی کشور عراق را در بر می‌گیرد، اما به‌واسطهٔ اهمیت مذهبی و زیارتی، نقش پررنگی در اقتصاد و سیاست کشور برعهده دارد.

۹۳ درصد از زباله‌های تولیدی در کشور عراق در محل‌های دفن غیرمجاز و بدون مجوز محیط زیستی دفع می‌شوند. سرانهٔ تولید زباله در عراق ۱/۳ کیلوگرم در روز برای هر نفر است و پایتخت شهر بغداد، به‌عنوان بزرگترین شهر این کشور، در روز چیزی افزون بر ۹۰۰۰ تن زباله تولید می‌کند که به‌صورت دفن غیربهداشتی در حاشیهٔ شهر امحا می‌شود (Al-Anbari et al., 2016). شهر نجف مرکز تجمع جمعیت در استان نجف است و با جمعیت ۱/۴۱ میلیون نفر در سال ۲۰۲۴، به‌تنهایی به میزان ۱۳۰۰ تن زباله در روز تولید می‌کند. این عدد برای شهر کربلا با جمعیتی در حدود ۷۰۰۰۰۰ نفر ۶۵۰ تن زباله در روز است، که زباله در هر دو این شهرها عمدتاً در مراکز دفن روباز یا نیمه‌بهداشتی دفع می‌شود (Abdulredha, 2019). در مطالعه‌ای دیگر کَدوم و

همکارانش (۲۰۲۵) مقادیر میانگین تولید زباله را در حدود ۰/۳۶ کیلوگرم پسماند غذایی و ۰/۱۸ کیلوگرم زبالهٔ پلاستیک، به‌ازای هر زائر گزارش کرده‌اند. با در نظر گرفتن رویداد اربعین میزان زبالهٔ تولیدی سالانه در کل استان کربلا چیزی در حدود ۵۶۰ هزار تن و سرانهٔ آن ۲/۱ کیلوگرم به‌ازای هر نفر در روز گزارش شده است (Abdulredha, 2019). پیش‌بینی می‌شود با رشد سالانهٔ ۲ـ ۳ درصد میزان زبالهٔ تولیدی و رشد سالانهٔ ۵ـ ۱۰ درصد تعداد زائران، میزان زبالهٔ تولیدی در سال ۲۰۳۵ به میزان ۳۰ـ ۵۰ درصد افزایش یابد (Abdulredha et al., 2020). میزان بازیافت رسمی زباله صفر درصد و بازیافت غیررسمی چیزی در حدود ۵ درصد عنوان شده است. در حال حاضر زباله‌های کربلا در یک محل دفن زباله در حدود ۱۰ کیلومتری جنوب کربلا، در مکانی فاقد حصارکشی، کنترل ورودی، دسترسی مناسب برای وسایل نقلیه و امنیت کافی دفع می‌شود. فرآیند امحا بدون پایش محیط زیستی و بازرسی منظم انجام شده و محل شاهد آتش‌سوزی‌های متناوب و نشت و نفوذ شیرابه به زمین است. محل دفن زباله یک معدن قدیمی است که در آن زباله‌های جامد شهری معمولاً در شیارهای خاک ریخته، فشرده و گاهی با یک لایهٔ نازک خاک پوشانده می‌شوند (Abdulredha et al., 2020). زباله‌های نجف نیز به طریق مشابه در چند مکان رسمی ولی کنترل‌نشده در اطراف شهر در مناطق Bahr Al-Najaf و Hawali به‌صورت غیربهداشتی دفع یا رها می‌شوند.

با توجه به سهم بالای زباله‌های آلی در ترکیب پسماندهای این منطقه (در حدود ۶۰ درصد)، کمپوست زباله و استفاده از لندفیل‌های بهداشتی به‌عنوان راهکار مدیریت پسماند در میان‌مدت پیشنهاد شده است. با توجه به تجربهٔ محدود کمپوست در عراق و کشورهای مشابه، به دلیل ضعف در تفکیک زباله‌ها، کیفیت کمپوست تولیدی ناشی از حضور شیشه، ریزپلاستیک‌ها، و زباله‌های آلوده، خطرناک و الکترونیکی، نامناسب پیش‌بینی شده و نظر متخصصان در مرحلهٔ حاضر بر اولویت مکان‌یابی و احداث لندفیل‌های بهداشتی برای علاج سریع مشکل استوار است (Abdulredha et al., 2020). این در حالی است که وجود دپوهای غیربهداشتی زباله در اقصی نقاط عراق و مشکلات ناشی از آن به یک چالش اجتماعی و محیط زیستی بزرگ در کشور تبدیل شده است (Al-Anbari et al., 2016; Abdulredha et al., 2020). دفن بهداشتی زباله، ایمن‌ترین اقدام برای مقابله با افزایش ناگهانی زباله در بازهٔ زمانی مراسم اربعین تشخیص داده شد و برآورد حجم لندفیل مورد نیاز برای پذیرش ۵۰ سالهٔ زباله تا سال ۲۰۷۵ مورد هدف قرار گرفت. در ادامه روش کار در تحقیق حاضر برای تهیهٔ نقشه‌های مورد نیاز در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و معیارهای حاکم بر اساس قوانین و شرایط محلی کشور عراق تعیین و محدودیت‌های این معیارها ارائه می‌شود.



شکل ۱. موقعیت استان‌های نجف و کربلا در محدودهٔ فرات میانی در مرکز کشور عراق

نقشه‌ها و لایه‌های اطلاعاتی

به‌منظور تجمیع نقشهٔ لایه‌های مورد نیاز در نرم‌افزار GIS، شیپ فایل‌ها به‌صورت جداگانه برای ویژگی‌های مختلف، از جمله مناطق شهری، رودخانه‌ها، جاده‌های اصلی و فرعی، روستاها، ارتفاع، شیب، خطوط برق، میدان‌های پالایشگاهی و راه‌آهن از منابع رسمی تهیه شد. با توجه به اهمیت مذهبی، تاریخی و باستان‌شناسی کشور عراق لایه‌ها اطلاعاتی خاص مانند لایهٔ انواع

خاک، از نقشهٔ اکتشافی خاک عراق در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ (Buringh, 1960) و لایهٔ نقشهٔ باستان‌شناسی عراق در مقیاس ۱:۱۵۰۰۰۰۰ از کتابخانهٔ دیجیتال جهانی استخراج شد. همچنین از کریجینگ که یک روش درون‌یابی مکانی پیشرفته در ابزارهای تحلیل مکانی است، استفاده شده است. این روش به پر کردن شکاف‌های بین نقاط دادهٔ شناخته‌شده کمک می‌کند و نمای دقیق‌تری از روابط مکانی ارائه می‌دهد. از این روش برای تولید نقشهٔ عمق آب‌های زیرزمینی از داده‌های جمع‌آوری‌شده از ۱۰۲ چاه، بر اساس اطلاعات وزارت منابع آب عراق در سال ۲۰۲۴، استفاده شد. در آخر نقشه‌های تولیدشده برای تبدیل نقشه‌های برداری به فرمت رستری استفاده می‌شوند، که امکان تجسم آسان‌تر داده‌های رستری را فراهم می‌کنند.

معیارهای مکان‌یابی

معیارهای لازم برای انتخاب مکان مناسب برای توسعهٔ لندفیل‌های بهداشتی بسیار متنوع و بعضاً کیفی و توصیفی هستند، که از یک اقلیم به اقلیم دیگر و از کشوری به کشور دیگر متفاوت از هم خواهند بود. برای سال‌ها هیچگونه معیار مدون و مورد تأییدی از جانب سازمان‌های محیط زیستی در دسترس نبود و قوانین محدود به یک سری رهنمودهای کلی و عمومی بوده‌اند؛ اما در سال‌های اخیر، در گزیده‌ای از کشورهای دنیا معیارهایی کمّی به‌عنوان معیارهای پایه برای انجام مطالعات مکان‌یابی تدوین شده‌اند که در بسیاری از موارد شفاف، کمّی و غیرقابل تغییر هستند. ارائهٔ مقادیر مشخص برای حداقل فاصلهٔ محل لندفیل از رودخانه‌ها، تراز آب زیرزمینی، منابع آب شرب، مناطق حفاظت‌شده، آثار باستانی، گسل‌ها و حداقل شیب، میزان نفوذپذیری خاک و ... در این قوانین، استانداردی روشن بر فرآیند مکان‌یابی لندفیل‌های بهداشتی فراهم کرده است و از آنجا که برگرفته از مطالعات محلی و منطقه‌ای بوده‌اند، توانسته‌اند پایانی بر بحث‌های بی‌شمار حول معیارهای لازم برای مکان‌یابی محل‌های دفن در سطح کشورها باشند. در این زمینه می‌توان به ارائهٔ معیارهای مکان‌یابی محل دفن زباله‌های جامد شهری توسط سازمان حفاظت محیط زیست امریکا (USEPA, 1991)، قوانین وزارت محیط زیست ایالت انتاریو کانادو در ارتباط با مکان‌یابی لندفیل‌ها (Government of Ontario, Ministry of the Environment, 1998)، قوانین مدیریت پسماند کشور هند (Government of India, Ministry of Environment, 2016)، قوانین مکان‌یابی لندفیل‌ها در کشور ترکیه (Republic of Turkey, Ministry of Environment and Forestry, 2010) و مادهٔ ۲۳ آیین‌نامهٔ اجرایی مدیریت پسماند ایران (Shaeri & Rahmati, 2011) اشاره کرد؛ اما همچنان در برخی از کشورها از جمله عراق، ضعف‌های قانونی چالش‌برانگیزی برای مکان‌یابی محل‌های دفن زباله‌های شهری وجود دارد. در بسیاری از رهنمودهای ملی کشور عراق، به مکان‌یابی بر اساس ارزیابی ریسک[1] و استخراج معیارها و فاصله‌ها، مبتنی بر شناسایی مخاطرات، تعریف اهداف حفاظتی، مدل‌سازی اثرات و تعیین عدم قطعیت‌ها و ضرایب ایمنی بر اساس تجربیات پیشین و شرایط هر پروژه توصیه شده است (Chabuk, 2019). در مطالعهٔ حاضر، معیارهای کمّی ناظر بر مکان‌یابی محل‌های دفن زباله‌های شهری با مرور سابقهٔ مطالعات در کشور عراق و سایر کشورهای منطقه استخراج شده است. به این منظور با هدف ایجاد یک پایگاه دادهٔ دیجیتال، شانزده معیار مجزا به‌عنوان معیارهای مکان‌یابی انتخاب و فرآیندهای مختلف GIS، از جمله بافرینگ، برش، استخراج، هم‌پوشانی، تحلیل مجاورت، تبدیل و طبقه‌بندی مجدد برای تولید لایه‌های نهایی مورد استفاده قرار گرفته است. در ادامه به هر کلاس یک رتبه‌بندی و امتیاز و یک منطقهٔ بافر متناسب اختصاص داده شد (جدول ۱). تنظیم مناطق ممنوعه برای اعمال محدودیت‌ها از طریق اعمال امتیاز صفر انجام گرفته است. این موضوع به ایجاد مناطق مناسب یا مناطق دارای محدودیت‌های خاص در اطراف مناطق کلیدی بر روی نقشه‌ها کمک می‌کند.

برای شناسایی مطلوب‌ترین گزینه و اختصاص وزن به هر معیار بر اساس اهمیت آن از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره[2] استفاده شده است. وزن‌دهی معیارها به این روش، بر اساس سابقهٔ مطالعات، قضاوت کارشناسی و قوانین و مقررات محیط زیستی انجام می‌شود. برای تهیهٔ نقشهٔ مطلوبیت منطقه و نشان دادن اولویت‌های انتخاب محل دفن زباله، از روش SRS برای وزن‌دهی معیارها استفاده شد و معیارهای ترکیبی به‌دست‌آمده با کمک ابزارهای GIS روی هم قرار گرفتند.

1. risk-basedsiting
2. MCDM (Multi-Criteria Decision Making)

معیارها و فاصله‌ها

اولین معیار در مکان‌یابی محل دفن زباله، فاصله از منطقهٔ حائل شهری است که به پیشنهاد گزیده‌ای از مطالعات پیشین (Isalou et al., 2013; Effat & Hegazy, 2012; Sener, 2004) به چهار دستهٔ از ۰ تا ۵ کیلومتر، ۵ تا ۱۰ کیلومتر، ۱۰ تا ۱۵ کیلومتر و بیش از ۱۵ کیلومتر تقسیم شده است. مناطق حائل روستا، که از هر روستا تا محل دفن زباله امتداد دارند، به دو دستهٔ ۰ تا ۱ کیلومتر و بیش از ۱ کیلومتر طبقه‌بندی شده‌اند (Uyan, 2014; Sener, 2004). در نقشهٔ عمق آب‌های زیرزمینی، به مکان‌های بالقوه به‌ترتیب بر اساس عمق‌های ۰ تا ۳ متر، ۳ تا ۱۰ متر، ۱۰ تا ۳۰ متر، ۳۰ تا ۵۰ متر، ۵۰ تا ۷۵ متر و بیش از ۷۵ متر، رتبه‌های ۴، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ اختصاص داده شد (Sadek et al., 2006; Moeinaddini et al., 2010). برای معیار فاصله از رودخانه با هدف حفاظت حداکثری از آب‌های سطحی در برابر آلودگی به منطقهٔ حائل در فاصلهٔ ۰ تا ۱۰۰۰ متر از مرز رودخانه، نمرهٔ صفر و به مناطق فراتر از ۱۰۰۰ متر، نمرهٔ ۱۰ اختصاص یافت (Uyan, 2014; Eskandari et al., 2012; Yildirim, 2012). برای لایهٔ جاده‌های اصلی و فرعی که فاصله از جاده تا محل‌های دفن زباله را نشان می‌دهد، چندین محدودهٔ مجزا ارائه شده است که محدوده و امتیاز هر یک در جدول ۱ آورده شده است (Kara & Doratli, 2012; Sharifi et al., 2009). برای نقشهٔ خطوط ارتفاعی منطقه که شامل ارتفاع از سطح متوسط دریا است، امتیازهای ۹، ۱۰، ۷، ۵ و ۴ به‌ترتیب برای پنج دستهٔ ارتفاعی در نظر گرفته شد (Sadek et al., 2006; Demesouka et al., 2013). مکان‌هایی که بسیار بالاتر از سطح دریا هستند و هزینه‌های حمل‌ونقل بالایی دارند، نامناسب تلقی می‌شوند و برعکس، مناطق نزدیک به سطح دریا در برابر آلودگی آب و خطرات سیل آسیب‌پذیرتر هستند. در نقشهٔ شیب، به مناطقی با شیب ۰ـ ۵ درجه که مناسب‌ترین شیب برای مکان‌یابی لندفیل‌ها است امتیاز ۱۰ و به مناطقی با شیب بیش از ۵ درجه، امتیاز ۶ اختصاص داده شد. به نحو خاصی دو استان نجف و کربلا دارای زمین‌های پست و شیب یکنواخت بسیار ناچیز و کمتر از ۵ درصدی هستند. خاک در منطقهٔ کربلا از رسوبات آبرفتی تشکیل شده است. این رسوبات در کل منطقه تا عمق بیش از ۵۰ متر گسترش یافته‌اند، بدون اینکه هیچ سنگ بستر نمایان باشد (Jassim & Goff, 2006). علاوه بر این، خاک و بستر سنگی منطقه هیچ نشانه‌ای از ترک یا گسل نشان نمی‌دهد. بنابراین، منطقهٔ فرات میانی به‌عنوان یک منطقه با خطر لرزه‌ای طبقه‌بندی نمی‌شود (González et al., 2020). بر اساس مطالعات بورینگ (۱۹۶۰)، لایهٔ خاک در منطقه به ۱۵ دسته تقسیم می‌شوند که به هر کدام بر اساس ویژگی‌های نفوذپذیری و کیفی خاک، امتیاز متناسب اختصاص داده شده است (Buringh, 1960). برای لایهٔ موقعیت فرودگاه، مناطق حائل به سه دستهٔ زیر ۵ کیلومتر در اطراف فرودگاه که لایهٔ ممنوع برای جایابی لندفیل‌های شهری تلقی می‌شوند، مناطق حائل ۵ تا ۱۰ کیلومتری و ناحیهٔ حایل دورتر از ۱۰ کیلومتری تقسیم شده‌اند (Uyan, 2014; Kontos et al., 2003; Demesouka et al., 2013). نقشهٔ کاربری اراضی منطقه به چهار دستهٔ زمین‌های کشاورزی و حاصل‌خیز، پهنه‌های آبی، زمین‌های بی‌استفاده و مناطق ساخته‌شده تقسیم و به همهٔ مناطق امتیاز صفر اختصاص داده شده است، به غیر از زمین‌های بی‌استفاده که امتیاز ۱۰ دریافت کردند (Alkaradaghi et al., 2019; Sharifi et al., 2009; Thapa & Murayama, 2008). لایهٔ مکان‌های باستانی با توجه به اهمیت فوق‌العادهٔ عراق در تاریخ باستان‌شناسی دنیا به سه دسته تقسیم شدند. مناطقی که در فاصلهٔ ۱ کیلومتری از مکان‌های باستانی قرار دارند، حذف و به آن‌ها امتیاز صفر داده شد و مناطق حائل بین ۱ تا ۳ کیلومتر از مکان‌های باستانی امتیاز ۵ و مناطق بیش از ۳ کیلومتر حداکثر امتیاز ۱۰ را دریافت کردند (Uyan, 2014; Eskandari et al., 2012; Ersoy & Bulut, 2009). محدودهٔ اطراف میادین پالایشگاهی به دو دستهٔ مناطق حائل ۰ تا ۵ کیلومتری اطراف سایت‌های نفت و گاز با امتیاز صفر و یا ممنوع، و مناطق حائل بیش از ۵ کیلومتری با امتیاز ۱۰ تقسیم شدند (Alkaradaghi et al., 2019; Uyan, 2014; Sener et al., 2011). در نقشهٔ خطوط برق، فاصلهٔ خطوط برق تا محل‌های دفن زباله به دو کلاس (۰ تا ۳۰ متر و بیش از ۳۰ متر) طبقه‌بندی شدند (Yildirim, 2012; Sener, 2004). در لایهٔ اطلاعاتی راه‌آهن کل منطقه به دو دستهٔ ۰ تا ۰/۵ کیلومتر و بیش از ۰/۵ کیلومتر با امتیازهای ۰ و ۱۰ تقسیم شدند (Nas et al., 2010; Wang et al., 2009; Sener, 2004). برای نقشهٔ سرعت باد، با توجه به اهمیت مشکل بوهای نامطبوع و حشرات، سرعت باد به چهار کلاس بر اساس سرعت باد تقسیم و امتیاز متناسب اختصاص داده شد (Eskandari et al., 2012).

جدول ۱. معیارهای مکان‌یابی محل‌های دفن، فاصله‌های پیشنهادی و امتیازهای مطلوبیت هر معیار

ردیف	معیار	ناحیهٔ محدودیت	امتیاز	مرجع
۱	منطقهٔ شهری (km)	0 – 5 km	۰	Isalou et al. (2013); Effat & Hegazy (2012); Sener (2004)
		5 – 10 km	۱۰	
		10 – 15 km	۷	
		> 15 km	۴	
۲	روستاها (km)	0 - 1 km	۰	Uyan (2014); Sener (2004)
		> 1 km	۱۰	
۳	عمق آب زیرزمینی (m)	0 – 3 m	۴	Sadek et al., (2006); Moeinaddini et al. (2010)
		3 – 10 m	۶	
		10 – 30 m	۷	
		30 – 50 m	۸	
		50 – 75 m	۹	
		75 – 104 m	۱۰	
۴	رودخانه (km)	0 - 1 km	۰	Eskandari et al. (2012); Yildirim (2012)
		> 1 km	۱۰	
۵	جاده‌های اصلی (km)	0 - 0.5 km	۰	Kara & Doratli (2012); Sharifi et al. (2009)
		0.5 – 1 km	۷	
		1 – 2 km	۱۰	
		2 – 3 km	۵	
		> 3 km	۳	
۶	جاده‌های فرعی (km)	0 - 100 m	۰	Sener et al. (2006); Demesouka et al. (2013)
		100 – 500 m	۵	
		500 – 1000 m	۷	
		> 1000 m	۱۰	
۷	فرودگاه (km)	0 - 5	۰	Uyan (2014); Kontos et al. (2003); Demesouka et al. (2013)
		5 - 10	۵	
		> 10	۱۰	
۸	کاربری زمین (LU)	پهنه‌های آبی	۰	Alkaradaghiet al.(2019); Sharifi et al. (2009); Thapa & Murayama (2008)
		مناطق ساخته‌شده	۰	
		زمین‌های کشاورزی و حاصلخیز	۰	
		زمین‌های بی‌استفاده و بایر	۱۰	
۹	مکان‌های باستانی (km)	0 - 1 km	۰	Uyan (2014); Eskandari et al. (2012); Ersoy and Bulut (2009)
		1 – 3 km	۵	
		> 3 km	۱۰	
۱۰	ارتفاع (a.m.s.l)	7 – 91 m	۹	Sadek et al. (2006); Demesouka et al. (2013)
		91 – 182 m	۱۰	
		182 – 273 m	۷	
		273 – 364 m	۵	
		364 – 455 m	۴	
۱۱	شیب (درجه)	0º - 5º	۱۰	Effat & Hegazy (2012); Sener (2004)
		>5º	۶	
۱۲	جنس خاک	SH (34)	۳	Buringh (1960)
		SW (35)	۴	
		S1	۱	
		S4	۵	
		S5	۷	
		S6	۹	
		S7	۱۰	
		S8	۹	
		S9	۶	
		S11	۴	
		S17	۱	
		S18	۳	
		S20	۶	
		S21	۳	
		S5'	۸	
۱۳	پالایشگاه‌ها (km)	0 – 5 km	۰	Alkaradaghi et al. (2019); Sener et al. (2011)
		> 5 km	۱۰	
۱۴	خطوط نیرو (m)	0 – 30 m	۰	
		> 30 m	۱۰	
۱۵	راه‌آهن (km)	0 - 0.5 km	۰	Nas et al. (2010); Wang et al. (2009); Sener (2004)
		> 0.5 km	۱۰	
۱۶	سرعت باد (m/s)	2.19 - 2.42	۵	Eskandari et al. (2012)
		1.93 - 2.19	۶	
		1.64 - 1.93	۷	
		≤ 1.64 m/s	۸	

وزن‌دهی معیارها

در مکان‌یابی لندفیل‌های بهداشتی آشکار است که اهمیت معیارهای تأثیرگذار به یک میزان نیست. معیارهایی مهم‌تر و معیارهایی دارای اهمیت کمتر هستند. به دلیل پیچیدگی و تعدد عوامل مؤثر (محیط زیستی، اجتماعی، اقتصادی و فنی) لازم است معیارها وزن‌دهی شوند تا اولویت‌بندی واقع‌بینانه‌ای را فراهم کنند. به این ترتیب اهمیت نسبی هر معیار بر اساس نظر کارشناسان یا داده‌های محلی تعیین می‌شود تا معیارها اغلب متعارض مدیریت شود تا دقت و قابلیت تکرارپذیری افزایش یابد و تصمیمات متناسب با شرایط محلی انعطاف‌پذیر شوند. این موضوع باعث افزایش کارایی و صرفه‌جویی منابع می‌شود و توجیه‌پذیری قانونی تصمیمات را بهتر ممکن می‌سازد. با توجه به تعدد معیارهای تأثیرگذار و به‌منظور اولویت‌بندی دقیق عوامل متعارض معمولاً از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای وزندهی معیارها استفاده می‌شود. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره با شفاف‌سازی، ساده‌سازی و منطقی‌تر کردن فرآیند تصمیم‌گیری، کیفیت تصمیم را بهبود می‌بخشند، ازاین‌رو به‌عنوان یک جزء اصلی در تصمیم‌گیری‌های مدرن و عملیاتی بسیار مورد اقبال و توجه هستند (Arvind & Janpriy, 2018). در این مطالعه از یکی از روش‌های سادهٔ وزن‌دهی چندمعیاره[1] با عنوان روش مجموع رتبه‌بندی مستقیم[2] استفاده شده است. در این روش وزن معیارها بر اساس رتبه‌ای که به هر معیار داده می‌شود، محاسبه می‌شود. به این ترتیب که معیارها از مهم‌ترین تا کم‌اهمیت‌ترین با استفاده از فرمول () مرتب می‌شوند و برای استانداردسازی، وزن هر معیار بر مجموع کلی تمام وزن‌ها تقسیم می‌شود. این مجموع با کمک رابطهٔ $(n - r_g + 1)$ همانطور که در معادلهٔ زیر نشان داده شده است، به‌دست می‌آید (Effat & Hegazy, 2012; Alkaradaghi et al., 2019).

$$W_i = \frac{n - r_i + 1}{\sum (n - r_g + 1)} \quad (۱)$$

در این معادله W_i نشان‌دهندهٔ اهمیت نسبی وزن نرمال‌شده برای معیار i است؛ n نشان‌دهندهٔ تعداد کل معیارها و g از ۱ تا n (اینجا ۱۶) متغیر است؛ r_i به رتبهٔ معیار iام اشاره دارد، درحالی‌که r_g مجموع رتبه‌های همهٔ معیارها است. نتایج روش SRS که در نتیجهٔ هم‌اندیشی و پویش فکری تعدادی از متخصصان محیط زیست توسعه داده شده، در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲. وزن‌های اختصاص یافته به معیارها در روش SRS و مقادیر نرمال وزن‌ها

ردیف	معیار	روش SRS	
		وزن معیار(n–ri + 1)	وزن نرمال‌شده (Wi)
۱	منطقهٔ شهری	۱۶	0.1176
۲	روستاها	۱۵	0.1103
۳	تراز آب زیرزمینی	۱۴	0.1029
۴	رودخانه	۱۳	0.0956
۵	جادهٔ اصلی	۱۲	0.0882
۶	جادهٔ فرعی	۱۱	0.0809
۷	ارتفاع	۱۰	0.0736
۸	شیب	۹	0.0662
۹	جنس خاک	۸	0.0588
۱۰	فرودگاه	۷	0.0515
۱۱	کاربری اراضی	۶	0.044
۱۲	مناطق باستانی	۵	0.0368
۱۳	پالایشگاه‌ها	۴	0.0294
۱۴	خطوط انتقال نیرو	۳	0.0221
۱۵	راه‌آهن	۲	0.0147
۱۶	باد	۱	0.0074

1. MCDM weighting
2. Straight Rank Sum-SRS

با تکمیل مجزای نقشهٔ معیارها، فرآیند انتخاب مکان‌های مناسب دفن زباله در منطقه با ترکیب وزن هر معیار و تجمیع امتیاز معیارها انجام می‌گیرد. برای این منظور از نتایج جدول فوق و با استفاده از روش ترکیب خطی وزنی (WLC) شاخص مطلوبیت را برای مکان‌های مورد مطالعه با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

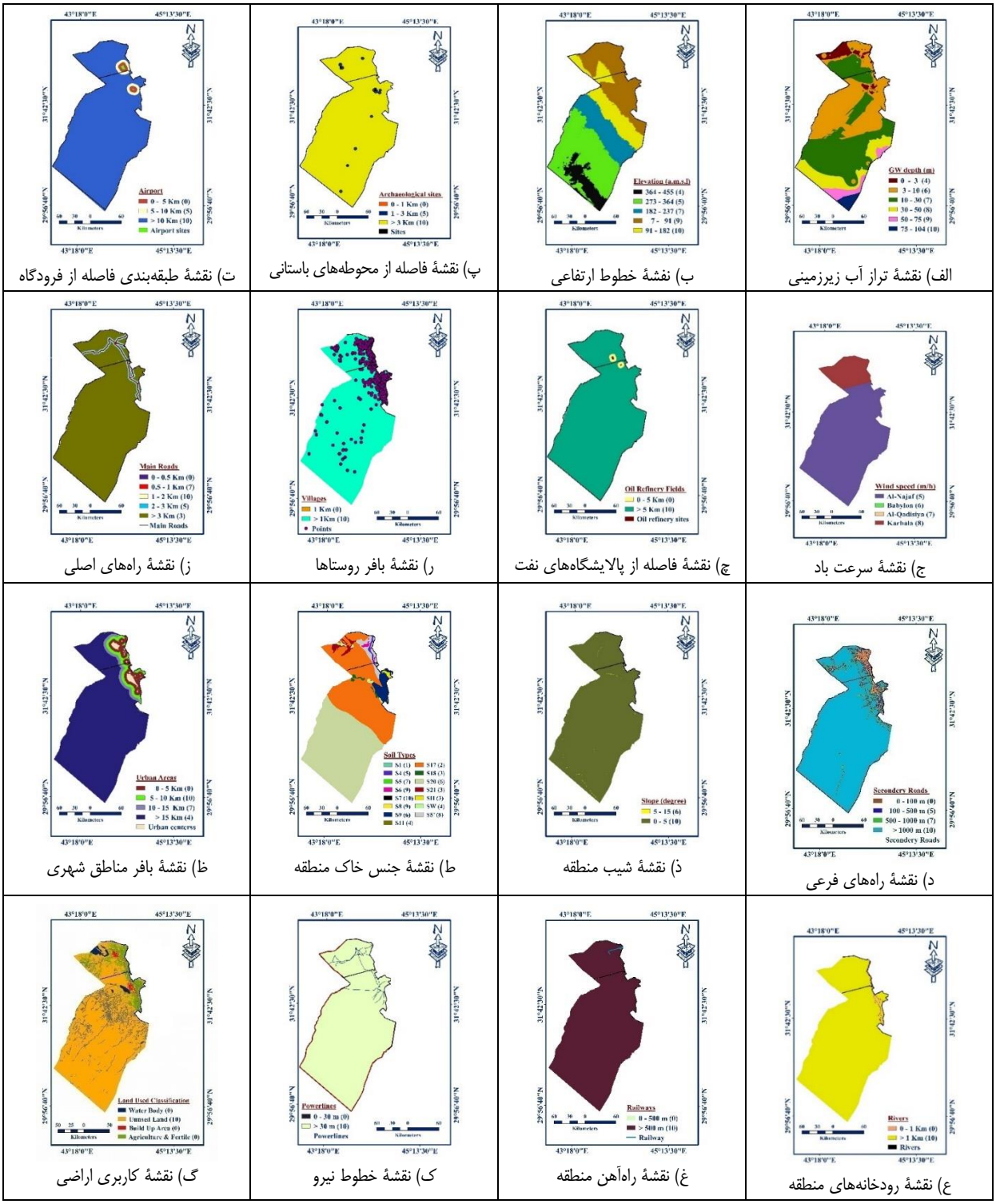
$$Y_i = \sum_{i=1}^{n} W_i \times C_i \quad (۲)$$

در این معادله n نشان‌دهندهٔ تعداد کل معیارها، Y_i شاخص مطلوبیت، W_i نشان‌دهندهٔ اهمیت نسبی هر معیار و C_i مقدار رتبه‌بندی برای معیار (i) است (El-Alfy et al., 2010). به این ترتیب با استفاده از عملیات ریاضی و منطقی برای لایهٔ اطلاعاتی در نرم‌افزار GIS، هر معیار ارزیابی و نقشهٔ مطلوبیت یا امتیاز تجمیعی برای وزن‌های هر معیار ایجاد می‌شود. این فرآیند شامل ضرب وزن اهمیت نسبی هر معیار در مقادیر رتبه‌بندی معیارها و سپس جمع کردن آن‌ها است.

یافته‌های پژوهش و بحث

در شکل ۲ معیارهای مؤثر در مکان‌یابی محل‌های دفن در محدودهٔ مورد مطالعه (استان‌های نجف و کربلا) در قالب نقشه‌ای مجزا آورده شده است. در شکل ۱۶ معیار مورد بررسی و مناطق حذفی یا نواحی با مطلوبیت صفر مشخص و بافرهای هر یک از معیارها متناسب با فواصل تعیین‌شده نشان داده شده است. در این مطالعه سعی شده است تا معیارهای پیشنهادی دربرگیرندهٔ اهم موارد تأثیرگذار باشد و از آوردن معیارهای با اهمیت کمتر در منطقهٔ عراق، مثل فاصله از مناطق لرزه‌خیز یا گسل پرهیز شده است.

نقشهٔ نهایی مطلوبیت منطقهٔ طرح برای مکان‌یابی لندفیل‌های بهداشتی بر اساس تجمیع امتیازها به روش خطی به ۷ کلاس مجزا دسته‌بندی و در قالب شکل ۳ آورده شده است. این دسته‌ها شامل مناطق نامناسب، مطلوبیت بسیار کم، مطلوبیت کم، نسبتاً مناسب، مطلوبیت عادی، مطلوبیت زیاد، و بسیار مناسب است. هر کلاس شامل مناطق خاصی بود که مساحت و درصد آنها از کل منطقهٔ مورد مطالعه استخراج و در قالب جدول ۳ آورده شده است. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود تنها ۶/۲۷ درصد از منطقهٔ مورد مطالعه برای دفن بهداشتی زباله‌های شهری استان‌های نجف و کربلا بسیار مناسب تشخیص داده شده، در صورتی که عمدهٔ منطقه ۶۹/۸۳ درصد، دارای مطلوبیت بالا بوده است. جالب آنکه تنها ۱ درصد منطقه نامطلوب یا دارای مطلوبیت پایین تشخیص داده شد. طبیعی است مناطقی با بهترین مطلوبیت به‌عنوان مناطق پیشنهادی برای احداث لندفیل‌های بهداشتی انتخاب شوند، ولی معذوریت اصلی در این موارد، انتخاب زمینی با حداقل مساحت مورد نیاز است. در بسیاری از موارد حداقل مساحت مورد نیاز برای ساخت محل دفن در میان مناطق بسیار مطلوب در دسترس نیست و یا به دلیل عبور یک جاده، نهر یا خطوط انتقال نیرو، یک منطقهٔ وسیع مناسب از دسترس خارج شده و یا به زمین‌های کوچک‌تری تقسیم می‌شود که امکان انتخاب ندارند. در ادامه با پیش‌بینی رشد جمعیت در منطقهٔ مورد مطالعه و افزایش تولید پسماندهای شهری و همچنین پسماندهای ناشی از حضور گردشگران مذهبی با تأکید بر مراسم اربعین در این دو استان، حداقل سطح مورد نیاز برای انتخاب مکانی به‌عنوان لندفیل برآورد و در میان زمین‌های بامطلوبیت حداکثر انتخاب می‌شود.



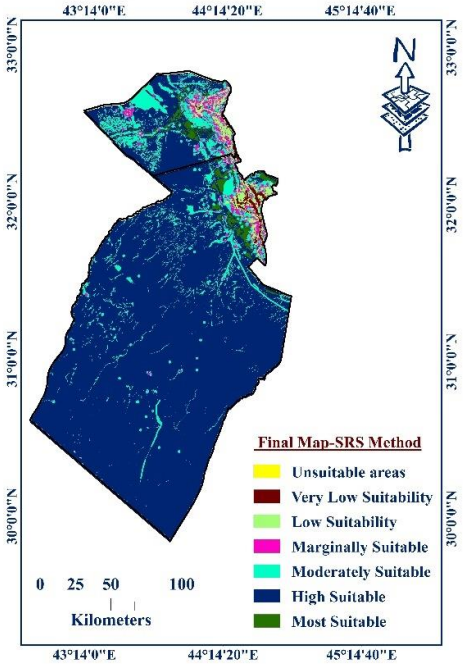
الف) نقشهٔ تراز آب زیرزمینی | ب) نقشهٔ خطوط ارتفاعی | پ) نقشهٔ فاصله از محوطه‌های باستانی | ت) نقشهٔ طبقه‌بندی فاصله از فرودگاه

ج) نقشهٔ سرعت باد | چ) نقشهٔ فاصله از پالایشگاه‌های نفت | ر) نقشهٔ بافر روستاها | ز) نقشهٔ راه‌های اصلی

د) نقشهٔ راه‌های فرعی | ذ) نقشهٔ شیب منطقه | ط) نقشهٔ جنس خاک منطقه | ظ) نقشهٔ بافر مناطق شهری

ع) نقشهٔ رودخانه‌های منطقه | غ) نقشهٔ راه‌آهن منطقه | ک) نقشهٔ خطوط نیرو | گ) نقشهٔ کاربری اراضی

شکل۲. نقشه‌های طبقه‌بندی شدهٔ منطقه مورد مطالعه برای (الف) تراز آب زیرزمینی، (ب) خطوط ارتفاعی، (پ) محوطه‌های باستانی، (ت) فرودگاه‌ها، (ج) سرعت باد، (چ) پالایشگاه، (ر) بافر روستاها، (ز) راه‌های اصلی، (د) راه‌های فرعی، (ذ) شیب منطقه، (ط) جنس خاک، (ظ) مناطق شهری، (ع) رودخانه‌های منطقه، (غ) راه‌آهن، (ک) خطوط نیرو، (گ) کاربری اراضی



شکل ۳. نقشهٔ مطلوبیت محدودهٔ استان‌های نجف و کربلا برای مکان‌یابی لندفیل‌های بهداشتی

جدول ۳. مساحت هر دسته و درصد از مساحت کل منطقهٔ مورد مطالعه در نقشهٔ مطلوبیت به‌دست‌آمده

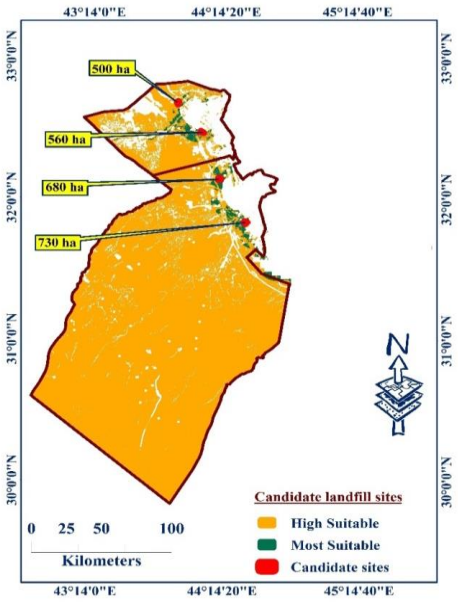
ردیف	دسته	روش SRS	
		مساحت(km^2)	جمعیت ٪
۱	مناطق نامناسب	11.23	0.02
۲	مطلوبیت بسیار کم	344.03	0.78
۳	مطلوبیت کم	1512.14	3.09
۴	نسبتا مناسب	2488.03	5.22
۵	مطلوبیت عادی	7112.4	15.12
۶	مطلوبیت زیاد	32892.03	69.83
۷	بسیار مناسب	2997.55	6.27

نرخ رشد جمعیت در کشور عراق در سال‌های دههٔ ۲۰۱۰ بالا و به حدود ۴ درصد رسیده بود. در حال حاضر (۲۰۲۴) نرخ رشد جمعیت کشور عراق به‌طور میانگین ۲/۲ درصد است؛ ولی با توسعهٔ اقتصادی و اجتماعی کشور، گمان می‌رود که این نرخ به ۱/۸ درصد کاهش یابد. در محدودهٔ استان‌های نجف و کربلا، با فرض نرخ رشد جمعیت بلندمدت به میزان ۱/۸ میزان جمعیت برای سال ۲۰۴۰، در استان نجف پیش‌بینی شده است، که به ۱/۴ میلیون نفر و در استان کربلا به ۱/۸ میلیون نفر برسد. با حفظ همین نرخ رشد، افزایش مقدار جمعیت در سال ۲۰۷۵ در استان نجف تا ۴/۵ میلیون نفر و در استان کربلا تا ۳/۵ میلیون نفر پیش‌بینی می‌شود. این افزایش سریع جمعیت و به‌طور موازی بالا رفتن سریع تعداد زائرین و گردشگران مذهبی، به‌ویژه در رویداد بزرگ اربعین، نگرانی‌های جدی بسیاری برای آیندهٔ محیط زیستی کشور عراق در این محدوده ایجاد کرده است. خشکسالی‌های متعدد، کاهش ورود آب به رودخانه‌های اصلی کشور از جانب شمال به دلیل سد سازی‌های کشور ترکیه و افزایش سریع تولید زباله‌های شهری و خانگی، مهم‌ترین چالش‌های محیط زیستی پیش روی کشور عراق در دهه‌های پیش رو عنوان شده‌اند (Abdulredha et al., 2020).

برای جمعیت‌های تخمین‌زده‌شده و برآورد ورود گردشگران مذهبی با روند حاضر، پیش‌بینی می‌شود که در اثر سرانهٔ تولید زباله ۰/۵۷ کیلوگرم برای هر نفر، میزانی در حدود ۴۷۰.۰۰۰ تن در سال برای ساکنین استان نجف و ۳۰.۰۰۰ تن در سال تنها برای زائرین اربعین در این استان در سال ۲۰۴۰ زباله تولید شود. میزان زبالهٔ تولیدی بازهٔ اربعین در حدود ۵ـ ۶ درصد از زبالهٔ کلی تولیدی استان برآورد شده است و پیش‌بینی می‌شود، با این روند میزان تولید زباله در استان نجف تا سال ۲۰۷۵ تا میزان بالای

۹۴۰.۰۰۰ تن در سال افزایش یابد. از آنجا که بخش عمدهٔ پیاده‌روی اصلی مراسم اربعین در استان کربلا انجام می‌شود، منطقی است میزان تولید زبالهٔ این مراسم در استان کربلا بیشتر از نجف باشد و با در نظر گرفتن جمعیت ساکن استان و روند افزایش ورود گردشگران مذهبی برای سرانهٔ تولید زبالهٔ ۰/۵۷ کیلوگرم برای هر نفر، مجموع تولید زبالهٔ استان کربلا به ۳۷۰.۰۰۰ تن در سال ۲۰۴۰ و ۷۰۰.۰۰ تن در سال ۲۰۷۵ برسد. با توجه به پویایی بالای سیاسی و اجتماعی کشور عراق طی دهه‌های اخیر و تغییرات سریع اجتماعی، اقتصادی و الگوهای رفتاری مردم و گردشگران مقادیر برآوردشده دارای عدم قطعیت‌های بالایی بوده است و تنها برآوردی بر اساس مفروضات انجام‌شده در اختیار قرار می‌دهد. چَبوک و همکارانش (۲۰۱۹) مقدار زبالهٔ تولیدی در سال ۲۰۴۰ برای استان نجف را ۲۹۰۰۶۱ تن و برای استان کربلا ۲۴۳۵۸۳ تن برآورد کرده‌اند، که بسیار محافظه‌کارانه‌تر از مقادیر پیش‌بینی‌شده در مطالعهٔ حاضر است. ازاین‌رو بزرگی این اعداد اهمیت برنامه‌ریزی برای مدیریت پایدار پسماندهای زائد در منطقه را آشکارتر می‌سازد و سهمی حداقل ۵ درصدی زبالهٔ تولیدی در مراسم اربعین نسبت به کل زبالهٔ تولیدی در استان، اهمیت برنامه‌های اورژانسی جمع‌آوری و امحا زباله‌های تولیدی در این مراسم را نشان می‌دهد.

علاوه بر حجم مورد نیاز لندفیل، عمق کم آب‌های زیرزمینی در منطقه که در مقیاس ۵۰ سال آینده با روند پیش‌بینی‌شده برای بالا آمدن آب دریاهای آزاد و به‌ویژه خلیج فارس، کمتر هم خواهد شد، از دیگر چالش‌های خاص پیش رو برای مکان‌یابی محل دفن زباله‌های جامد در محدودهٔ مورد مطالعه است. با فرض چگالی ۷۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب زباله در فرآیند دفن در انتهای سال ۲۰۷۵ پیش‌بینی حجم سالانهٔ زباله در استان نجف به ۱۴۳۲۸۵۷ متر مکعب و در استان کربلا به ۱۰۰۰۰۰۰ متر مکعب خواهد رسید. به این ترتیب می‌توان برآورد کرد، که برای دفن زباله‌های تولیدی طی ۵۰ سال برنامه‌ریزی‌شده برای این طرح، لندفیلی به حجم حداقل ۵۰ میلیون متر مکعب برای نجف و به حجم ۳۲ میلیون متر مکعب برای استان کربلا نیاز است. با این مفروضات، مساحت مورد نیاز برای نگهداری کل زباله‌های تولیدشده از سال ۲۰۲۵ تا ۲۰۷۵ در استان نجف برای لندفیلی به ارتفاع حداکثر ۲۵ متر و به شکل ذوزنقه‌ای با شیب ۳ به ۱ برابر با ۲.۰۰۰.۰۰۰ مترمربع (۲۰۰ هکتار) با ابعاد حدودی ۱۸۰۰ متر در ۱۲۰۰ متر خواهد بود. برای استان کربلا برای لندفیل ذوزنقه‌ای مشابه، زمینی به مساحت ۱۲۸۰۰۰۰ مترمربع (۱۲۸ هکتار) به ابعاد تقریبی۹۰۰ متر در ۱۵۰۰ متر مورد نیاز خواهد. با توجه به نیاز به راه‌های دسترسی، پارکینگ، تأسیسات نگهبانی، شست‌وشوی چرخ و ... مساحت مورد نیاز بسیار بیشتر از حداقل ابعاد مورد اشاره خواهد بود، و بر اساس آن معمولاً زمینی تا ۲ برابر این ابعاد مورد نیاز است. بر اساس ابعاد تشریح‌شده از میان فضاهای موجود، دو مکان در هر استان از میان زمین‌هایی با بیشترین مطلوبیت شناسایی و انتخاب شد. مکان‌های پیشنهادی دربرگیرندهٔ زمینی به مساحت ۷۳۰ و ۶۸۰ هکتار در استان نجف و ۵۶۰ و ۵۰۰ هکتار در استان کربلا هستند، که در شکل ۴ نشان داده شده‌اند.



شکل ٤. مکان‌های انتخابی از دستهٔ مطلوب‌ترین زمین‌های موجود در استان‌های نجف و کربلا با حداقل سطح مورد نیاز

نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر مدیریت پسماندهای شهری در کشور عراق به یکی از بزرگترین چالش‌های محیط زیستی این کشور تبدیل شده است. سیستم جمع‌آوری و امحای پسماند در کشور عراق عمدتاً سنتی بوده و دفع زباله در محیط از طریق تلنبار و دپوی زباله در زمین‌های بایر پیرامون شهرها انجام می‌گیرد. این تأسیسات صرفاً محلی انتخاب شده، استانداردهای محیط زیستی را برآورده نکرده، و به مراکز تولید بوهای نامطبوع، تجمع حشرات، نفوذ شیرابه، و تولید گاز تبدیل شده‌اند. تصمیم راهبردی مدیران منطقه‌ای به‌عنوان اولین گام در مدیریت پایدار زباله در استان‌های نجف و کربلا بر تغییر دفع روباز زباله به دفن بهداشتی که در محل‌هایی مناسب مکان‌یابی، طراحی و نهایتاً ساخته می‌شوند، استوار است. مکان‌یابی اولین‌گام در حل این چالش بزرگ محسوب می‌شود و نیز ساخت تأسیسات مهندسی لندفیل‌های بهداشتی که در منابع علمی مختلف جزئیات آن ارائه شده است، گام بعدی محسوب می‌شود. به دلیل ضعف در وجود قوانین مشخص برای مکان‌یابی محل‌های دفن در کشور عراق مشابه کشورهای دیگر منطقه، در این مطالعه اقدام به بررسی نظر محققان و ارزیابی سابقهٔ مطالعات شد و متناسب با شرایط ویژهٔ کشور عراق مجموعه‌ای از معیارهای تأثیرگذار در مکان‌یابی محل‌های دفن زباله‌های شهری انتخاب و به روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (روش SRS) وزن و اهمیت هر یک تعیین شد. ۱۶ معیار تأثیرگذار استخراج و با ترکیب وزنی معیارهای فوق به کمک نرم‌افزار ArcGIS لایه‌های اطلاعاتی ترکیب و مکان‌هایی با حداکثر امتیاز به‌عنوان مکان‌هایی با مطلوبیت بیشتر انتخاب شد. در انتخاب معیارهای تأثیرگذار سعی شده است تا علاوه بر ملاحظات محیط زیستی به نگرانی‌های اجتماعات محلی مجاور مکان‌های دفن نیز پرداخته شود. ازاین‌رو حداکثر فاصلهٔ محل دفن از مناطق شهری، روستاها، فرودگاه‌ها، مکان‌های باستانی لحاظ و فاصلهٔ مناسب از جاده‌های اصلی و فرعی، و خطوط برق و راه‌آهن در نظر گرفته شد. سعی شده است تا بیشترین میزان پارامترهای فیزیکی مانند ارتفاع، شیب، انواع خاک، باد و عمق آب‌های زیرزمینی در انتخاب محل لحاظ و وزنی متناسب با اهمیت هر معیار در نظر گرفته شود. در نهایت با پیش‌بینی رشد جمعیت و روند افزایش تولید زباله‌های شهری، میزان حجم زباله در افق ۵۰ سالهٔ بهره‌برداری تخمین زده شد و حجم و ابعاد حداقلی مورد نیاز برآورد شد. دو محل با مساحت ۷۳۰ و ۶۸۰ هکتار در استان نجف و مساحت ۵۶۰ و ۵۰۰ هکتار در استان کربلا در انتها به‌عنوان مکان‌هایی که حداقل مساحت لازم برای دفن زباله‌های تولیدی هر استان تا سال ۲۰۷۵ را دارا باشند، پیشنهاد شد. محدودهٔ انتخابی باید شامل مساحت کافی بر ساخت ابنیهٔ وابسته، راه‌های دسترسی، تأسیسات تخلیه، تصفیهٔ شیرابه و توسعهٔ آتی سیستم‌های تفکیک در مقصد و کمپوست زباله باشد.

سابقهٔ مطالعات مرتبط با مکان‌یابی محل‌های دفن زباله در کشور عراق در مقایسه با کشورهای حاشیه (ایران، عربستان و ترکیه) بسیار محدودتر، و مقید به مطالعات محلی و کوچک مقیاس با لایه‌های اطلاعاتی با دامنهٔ مشخص است. مطالعات بدون آینده‌پژوهی و بر راه‌حل‌های غیرمتمرکز استوار بوده و تنها هدف شهر یا صنعت کوچکی بوده است. مطالعهٔ حاضر در سطحی بسیار گسترده‌تر انجام شده است ولی همچنان به دو استان پرتراکم و پراهمیت عراق از منظر گردشگر مذهبی یعنی نجف و کربلا محدود است و سایر مراکز جمعیتی به‌ویژه مابقی استان‌های منطقهٔ فرات میانی، در نظر گرفته نشده است. در منطقهٔ مورد مطالعه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز برای مکان‌یابی به‌طور عمومی در دسترس نیست و تهیه و ساخت آن‌ها بسیار زمان‌بر و پرهزینه است. توسعهٔ یک سیستم مدیریت پشتیبان تصمیم برای ارائهٔ نتایج این تحقیقات به‌صورت برخط برای مدیران تصمیم‌ساز و اشتراک داده‌ها و لایه‌های به‌دست‌آمده با سایر محققان با هدف تسریع فرایندهای آتی و گسترش مطالعات مشابه در آینده، می‌تواند بسیار راهگشا باشد. در راهبرد ارائه‌شده برای مدیریت پسماندهای شهری در منطقه نیز می‌توان انتظار داشت در بازهٔ کوتاه‌مدت، دفن زباله راهکاری فوری برای مشکلات حاد پسماندهای تولیدی در استان‌های نجف و کربلا فراهم کند، با این امید که در بازهٔ درازمدت بتوان از سایر مؤلفه‌های پایدارتر در مدیریت پسماندهای شهری نیز بهره گرفت.

منابع

Abdulredha, M., Kot, P., Al Khaddar, R., Jordan, D., & Abdulridha, A. (2020). Investigating municipal solid waste management system performance during the Arba'een event in the city of Kerbala, Iraq. *Environment, Development and Sustainability*, 22 (2), 1431-1454. https://doi.org/10.1007/s10668-018-0256-2

Abdulredha, M., Abdulridha, A., Shubbar, A.A., Alkhaddar, R., Kot, P., & Jordan, D. (2020). Estimating municipal solid waste generation from service processions during the Ashura religious event. In IOP Conference Series. *Materials Science and Engineering* 671 (1), 012075. IOP Publishing. DOI: 10.1088/1757-899X/671/1/012075

Al-Anbari, M., Thameer, M., Al-Ansari, N., & Knutsson, S. (2016). Estimation of domestic solid waste amount and Its required Landfill volume in Najaf Governorate-Iraq for the Period 2015-2035. *Engineering*, 8 (6), 339-346. DOI: 10.4236/eng.2016.86031

Abdulredha, M. A. (2019). *An Investigation of Municipal Solid Waste Management During the Arba'Een Pilgrimage in Kerbala, Iraq*. Liverpool John Moores University (United Kingdom).

Alkaradaghi, K., Ali, S. S., Al-Ansari, N., & Laue, J. (2019). November. Landfill site selection using GIS and multi-criteria decision-making AHP and SAW methods: a case study in Sulaimaniyah Governorate, Iraq. *In Conference of the Arabian Journal of Geosciences*, 289-292. Cham: Springer International Publishing. DOI: 10.4236/eng.2020.124021

Al-Mamoori, S. K., Al-Maliki, L. A., Hussain, H. M., & Al-Ali, M. J. (2018). Geotechnical Mapping for Some Chemical Properties of an-Najaf Province Using GIS. Kufa. *Engineering*, 9 (3), 92-113.

Ali, M., Wang, W., & Chaudhry, N. (2016). Application of life cycle assessment for hospital solid waste management: A case study. *The Air & Waste Management Association*, 66 (10): 1012–1018. https://doi.org/10.1080/10962247.2016.1196263

Aksoy, E., & San, B. T. (2019). Geographical information systems (GIS) and multi-criteria decision analysis (MCDA) integration for sustainable landfill site selection considering dynamic data source. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78 (2), 779–791. DOI: 10.1007/s10064-017-1135-z

Amirsoleymani, Y., Abessi, O., & Ebrahimian Ghajari, Y. (2020). Evaluation of spatial restriction for the urban sanitary landfill along the Mazandaran province using GIS and analytical hierarchy process. *Advanced Environmental Sciences*, 18(4), 1-20. doi: 10.52547/envs.18.4.1. (in Persian)

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*, 40 (7), 940-952. https://doi.org/10.1177/0734242X21106061

Amirsoleymani, Y., Abessi, O., & Ebrahimian Ghajari, Y. (2020). Environmental Evaluation of Municipal Landfills in Mazandaran Province based on Iran National Environmental Regulations. *Town and Country Planning*, 12 (1), 101-124. DOI: 10.22059/jtcp.2020.295687.670062 (In Persian)

Arvind J., & Janpriy, S. (2018). A Comprehensive Literature Review of MCDM Techniques ELECTRE, PROMETHEE, VIKOR, and TOPSIS Applications in Business Competitive Environment. *International Journal of Current Research*, 10 (2), 65461-65477.

Arbulú, I., Rey-Maquieira, J., & Sastre, F. (2024). The impact of TOURISM and seasonality on different types of municipal solid waste (MSW) generation: The case of Ibiza. *Heliyon*, 10 (13). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33894

Aziz, R. S. (2022). Landfill Site Selection for Solid Waste Using GIS-based Multi-Criteria Spatial Modeling. ARO. *The Scientific Journal of Koya University*, 10 (2), 99-105. DOI: https://doi.org/10.14500/aro.11017

Aziz, S. Q., Omar, I. A., & Mustafa, J. S. (2018). Design and study for composting process site. International. *Engineering Inventions*, 7 (9), 9–18.

Buringh, P. (1960). Soils and soil conditions in Iraq. Ministry of Agriculture, 337.

Chabuk, A. (2019). Solid Waste Landfills in an Arid Environment: Site Selection and Design. *Ph.D. Thesis*, Luleå University of Technology, Sweden.

Chabuk, A., Al-Ansari, N., Hussain, H. M., Laue, J., Hazim, A., Knutsson, S., & Pusch, R. (2019). Landfill sites selection using MCDM and comparing method of change detection for Babylon Governorate, Iraq. *Environmental science and pollution research*, 26 (35), 35325-35339. https://doi.org/10.1007/s11356-019-05064-7

Demesouka, O., Vavatsikos, A., & Anagnostopoulos, K. (2013). Suitability analysis for siting MSW landfills and its multicriteria spatial decision support system: Method, implementation and case study. *Waste Management*, 33 (5), 1190–1206. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.01.030

Eskandari, M., Homaee, M., & Mahmodi, S. (2012). An integrated multi criteria approach for landfill siting in a conflicting environmental, economical and socio-cultural area. *Waste Management*, 32, 1528–1538. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.03.014

Ersoy, H., & Bulut, F. (2009). Spatial and multi-criteria decision analysis-based methodology for landfill site selection in growing urban regions. *Waste Management & Research*, 27 (5), 489–500. DOI: 10.1177/0734242X08098430

Effat, H. A., & Hegazy, M. N. (2012). Mapping Potential Landfill Sites for North Sinai Cities Using Spatial Multicriteria Evaluation. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 15 (2), 125-133. DOI: 10.1016/j.ejrs.2012.09.002.

Falaguna, B., Mufti, A. A., Kurnianingtyas, E., & Setiajaya, A. (2024). Study Of Waste Generation And Composition In The Tourist Area Of Bandar Lampung City (Case Study: Kedai Gunung Balau Bandar Lampung). *Sustainable Environmental and Optimizing Industry*, 6 (1), 13-18. DOI: 10.36441/seoi.v6i1.2286

Ferronato, N., Mertenat, A., Zurbrügg, C., & Torretta, V. (2024). Can tourism support resource circularity in small islands? On-field analysis and intervention proposals in Madagascar. *Waste Management & Research*, 42 (5), 406-417. https://doi.org/10.1177/0734242X231187561

Kadum, H., Algboory, H. L., Mohammed, N. K., Muhialdin, B. J., & Filimonau, V. (2025). Food and plastic waste generation at a large-scale religious festival and implications for sustainable management. *Waste Management & Research*, p.0734242X251385955. DOI: 10.1177/0734242X251385955

Government of India, Ministry of Environment, Forest and Climate Change (2016). Solid Waste Management Rules, 2016. Gazette of India, Part II, Section 3, Sub-section (ii).

Government of Ontario, Ministry of the Environment. (1998). Ontario Regulation 232/98: Landfilling Sites, under the Environmental Protection Act.

González, A., Kelly, C., & Rymszewicz, A. (2020). Advancements in web-mapping tools for land use and marine spatial planning. *Transactions in GIS*, 24 (2), 253–267. DOI: 10.1111/tgis.12603

Iraqi Ministry of Planning (2024) Records of the Directorate of the Ministry, internal reports, Baghdad: Iraqi Ministry of Planning.

Isalou, A., Zamani, V., Shahmoradi, B., & Alizadeh, H. (2013). Landfill site selection using integrated fuzzy logic and analytic network process (F-ANP). *Environmental Earth Sciences* 68 (6),1745–1755. DOI: 10.1007/s12665-012-1865-y

Jassim, S. Z., & Goff, J. C. (2006). Geology of Iraq. DOLIN, sro, distributed by Geological Society of London, 356.

Kontos, T. D., Komilis D. P., & Halvadakis, C. P. (2003). Siting MSW landfills on Lesvos Island with a GIS – based methodology. *Waste Management and Research*, 21 (3), 262–277. DOI: 10.1177/0734242X0302100310

Kara, C., & Doratli, N. (2012). Application of GIS/AHP in siting sanitary landfill: A case study in Northern Cyprus. *Waste Management & Research*, 30, 966–980. https://doi.org/10.1177/0734242X12453975

Moeinaddini, M., Khorasani, N., Danehkar, A., Darvishsefat, A. A., & Zienalyan, M. (2010). Siting MSW landfill using weighted linear combination and analytical hierarchy process (AHP) methodology in GIS environment (case study: Karaj). *Waste Management*, 30, 912-920. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.01.015

Mawaddah, N., Alam, F. C., Bunga, V. U., Hanami, Z. A., Prayogo, W., Kamal, M., Hasiany, S., Gultom, T., & Putri, Z. O. (2024). September. A Study of waste generation and waste composition in Pasaran Island for the sustainability of tourism industry in Lampung, Indonesia. In IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 1388 (1), 012052. IOP Publishing. DOI: 10.1088/1755-1315/1388/1/012052

Nas, B., Cay, T., Iscan F., & Berktay, A. (2010). Selection of MSW landfill site for Konya, Turkey using GIS and multi-criteria evaluation. *Environmental Monitoring & Assessment*, 160, 491–500. DOI: 10.1007/s10661-008-0713-8

Salman, Q. and Hamdan, A. (2024). Landfill site selection using analytical hierarchy process and GIS: a case study in Al-Zubair district, Basrah, Iraq. *Muthanna Journal of Engineering and Technology*, 12 (2). DOI: 10.52113/3/eng/mjet/2024-12-02/50-61

Sadek, S., El-Fadel, M., & Freiha, F. (2006). Compliance factors within a GIS-based framework for landfill siting. *International Journal of Environmental Studies*, 63 (1), 71–86. DOI: 10.1080/00207230600562213.

Shaeri, A. M., & Rahmati, A. (2011). Human Environmental Laws, Regulation Criteria and Standards, Iran Department of Environment.

Sener, B. (2004). Landfill site selection by using geography information System. MSc Dissertation, Middle East Technical University.

Sharifi, M., Mosslem, H. M., Vessali, E., Mosstafakhani, P., Taheri, K., Shahoie, S., & Khodamoradpour, M. (2009). Integrating multi-criteria decision analysis for a GIS-based hazardous waste landfill sitting in Kurdistan Province. Western Iran. *Waste Management*, 29 (10), 2740–2758. DOI: 10.1016/j.wasman.2009.04.010

Sener, B., Süzen, M. L., & Doyuran, V. (2006). Landfill site selection by using geographic information systems. *Environmental Earth Sciences*, 49 (3), 376-388. DOI: 10.1007/s00254-005-0075-2

Şener, Ş., Sener, E., & Karagüzel, R. (2011). Solid waste disposal site selection with GIS and AHP methodology: A case study in Senirkent–Uluborlu (Isparta) Basin, Turkey. *Environmental Monitoring & Assessment*, 173 (1-4), 533–554. DOI: 10.1007/s10661-010-1403-x

Peula, F. J., Martín-Lara, M. Á., & Calero, M. (2023). Effect of COVID-19 pandemic on municipal solid waste generation: a case study in Granada city (Spain). *Material Cycles and Waste Management*, 25 (4), 2543-2555. https://doi.org/10.1007/s10163-023-01671-2

Republic of Turkey, Ministry of Environment and Forestry (2010) Landfill Regulation. Official Gazette No. 27533, 26 March 2010.

Thapa, R. B., & Murayama, Y. (2008). Land evaluation for peri-urban agriculture using analytical hierarchical process and geographic information system techniques: A case study of Hanoi. *Land Use Policy*, 25 (2), 225–239. DOI: 10.1016/j.landusepol.2007.06.004

Uyan, M. (2014). MSW landfill site selection by combining AHP with GIS for Konya, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 71, 1629–1639. https://doi.org/10.1007/s12665-013-2567-9

United States Environmental Protection Agency (1991). Criteria for municipal solid waste landfill location restrictions (40 C.F.R. Part 258, Subpart B).

Unnisa, S. A., & Rav, S. B. (2012). Sustainable solid waste management. Apple Academic Press, New York, 180. https://doi.org/10.1201/b13116

Wang, G., Qin, L, Li, G., & Chen, L. (2009). Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: A case study in Beijing, China. *Environmental Management*, 90 (8), 2414–2421. DOI: 10.1016/j.jenvman.2008.12.008

Yildirim, V. (2012). Application of raster-based GIS techniques in the siting of landfills in Trabzon Province, Turkey: A case study. *Waste Management & Research*, 30 (9), 949–960. DOI: 10.1177/0734242X12445656