فصلنامه علوم‌محیطی، دوره یازدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۳

۴۱-۵۴

روشی بهینه برای تعیین مکان مناسب دفن زباله‌های جامد شهری با کاربرد تحلیل چندمعیاره و GIS

مهناز اسکندری [۱]، مهدی همایی [۲*] و شهلا محمودی [۳]

[۱] دانشجوی دکتری خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران

[۲] استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

[۳] استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج

تاریخ دریافت: ۹۲/۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۲/۹/۲۳

چکیده

انتخاب مکان مناسب دفن زباله‌های شهری از مسائل پیچیده در برنامه‌ریزی استفاده از زمین است. برای انتخاب یک مکان بهینه، معیارهای زیست‌محیطی، فنی ـ اقتصادی و اجتماعی ـ فرهنگی بسیاری را باید در نظر گرفت. هدف این پژوهش، ارائه روشی بهینه بر پایه تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره و سامانه اطلاعات جغرافیایی توأم با نظرسنجی از متخصصین برای تعیین مکان مناسب خاکچال است. روش پیشنهادی، پس از بسط، برای انتخاب مکان مناسب دفن زباله‌های شهر مرودشت مورد ارزیابی قرار گرفت. در گام نخست، با توجه به هدف مسئله و به‌کمک نظرسنجی از ۴۰ متخصص مدیریت مواد زاید، معیارهای ارزیابی تعیین شد. سپس با ورود نقشهٔ معیارها به محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی، پایگاه اطلاعات مکانی منطقهٔ مورد مطالعه ایجاد شد. آنگاه در مرحله طراحی تصمیم‌گیری، دو مرحله توأم معین شد: در مرحلهٔ اول، مکان‌های نامناسب بر پایهٔ ۱۳ معیار محدودکننده و براساس ضوابط سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران، حذف شد. در مرحلهٔ دوم، به‌کمک ۱۶ معیار ارزیابی تعیین‌شده توسط متخصصین، مناطق انتخابی مرحلهٔ اول با جزئیات بیشتری بررسی شد. بدین‌منظور ابتدا معیارهای ارزیابی استاندارد، و سپس با توجه به پاسخ متخصصین به اهمیت هریک از معیارها و با استفاده از روش رتبه‌بندی وزن‌دهی شدند. نتایج مرحله اول نشان داد که تنها ۱۱/۱۲ درصد از منطقه مورد مطالعه برای خاکچال مناسب است و کمبود زمین از نظر این کاربری یکی از عوامل محدودکننده در منطقه به‌شمار می‌آید. همچنین نتایج مرحله دوم مکان‌یابی نشان داد که درحدود ۴/۴ درصد از کل منطقهٔ مورد مطالعه برای احداث خاکچال شهر مرودشت واجد بیشترین تناسب است.

کلمات کلیدی: تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره، سامانه اطلاعات جغرافیایی، مکان‌یابی خاکچال، مواد زاید جامد شهری.

Optimized Approach for MSW Landfill Siting Using MCDA and GIS

Mahnaz Eskandari,[1] Mehdi Homaee[2*] & Shahla Mahmodi[3]

[1] *PhD. Student of Soil, Science Faculty of Agriculture, Eslamic Azad University, Tehran, Iran.*

[2] *Professor, Department of Soil, Science Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.*

[3] *Professor , Department of Soil Science Faculty of Agriculture, Tehran University, Karaj, Iran.*

Abstract

Landfill siting is a complicated landuse planning task. For optimized site selection, several environmental, technical, economical and socio-cultural criteria must be considered. This study presents a method for landfill site selection based on using the multi criteria decision analysis (MCDA) and geographic information system (GIS) combined with related experts opinions. The proposed method was then tested for siting of Municipal solid waste (MSW) landfill in Marvdasht. In the intelligence stage of the decision making, based on sampling and questionnaire results of 40 experts in MSW domain, some evaluation criteria were determined. Suitable maps were then obtained and digitized to make a GIS database of the study area. In decision making design step, two stages were employed. In the first stage, 13 constraints based on Iran's environmental protection organization were determined. The Boolean map of spatial constraint was obtained with AND operation. In the second stage, the suitable site that was obtained in the first-stage analysis was evaluated in details based on 16 factors. The criteria were standardized and then the relative importance weight of them was estimated with rank ordering method based on different expert's opinions. The obtained results of firs step indicated that only 11.12 percent of the whole region is suitable for landfill siting. Therefore, shortage of land is an important limiting factor in the study area. The obtained results of second step indicated that almost 4.4 percent of the whole region can be considered as best suitable place for landfill site.

Keywords: GIS, Landfill Siting, Multi Criteria Decision Analysis, Municipal Solid Waste.

* Corresponding author. *E-mail Address*: Mhomaee@modares.ac.ir

۱- مقدمه

مدیریت مواد زاید جامد از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی در سراسر جهان است. کاهش تولید زباله، بازیافت، چرخهٔ مواد، استحصال انرژی، سوزاندن و سرانجام دفن در خاکچال‌ها اجزاء مهم مدیریت مواد زاید هستند [۱]. به‌رغم تلاش‌های انجام‌شده برای کاهش تولید مواد زاید از مبدأ، چرخهٔ دوباره و بازیافت، هنوز حجم زیادی از مواد زاید تولیدشده به‌شکل خاکچال به محیط‌زیست بازگردانده می‌شود. در حال حاضر، دفن زباله در خاکچال‌ها به‌دلیل سادگی و کم‌هزینه‌بودن نسبت به سایر روش‌ها شایع‌ترین و برترین روش مدیریت مواد زاید جامد شهری است [۲].

حجم زباله‌های تولیدی در کشورهای مختلف بسته به شرایط اقتصادی، فرهنگی و اجتماعی بسیار متفاوت است. بر پایهٔ گزارش سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا، در این کشور نزدیک به ۵۴درصد زباله‌های جامد شهری تولید شده در سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ در خاکچال‌ها دفن شده‌اند. در کشورهای در حال توسعه، که در آن‌ها برخی از اجزاء مدیریت مواد زاید ــ مانند کاهش از مبدأ، بازیافت و چرخهٔ دوباره مواد ــ در مراحل نخستین اجراست یا اصلاً مورد توجه قرار نگرفته، این آمار بسیار بیشتر است. در ایران فرهنگ تفکیک زباله از مبدأ، بررسی امکان اقتصادی بازیافت مواد و آگاهی اولیای امور از پتانسیل آلایندگی خاکچال‌ها برای محیط‌زیست فعالیتی نسبتاً نوپاست و برای تکامل نیازمند آگاهی‌بخشی و گذر زمان است.

سیستم مدیریت مواد زاید هنگامی پایدار است که از نظر زیست‌محیطی قابل کنترل، از نظر اجتماعی پذیرفته شده، و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد [۳]. بنابراین در مکان‌یابی یک خاکچال، معیارهای بسیاری در حوزه‌های زیست‌محیطی، اجتماعی ـ فرهنگی و فنی ـ اقتصادی باید مد نظر قرار گیرد. این امر تصمیم‌گیری برای مکان جدید خاکچال را بسیار دشوار و طاقت‌فرسا کرده است [۴]. برای آسان‌تر شدن این مسئله، پژوهش‌گران بسیاری[۴، ۵، ۶، ۷، ۸] در دو دههٔ اخیر از روش‌های تحلیل تصمیم چندمعیاره[1] (MCDA) استفاده کرده‌اند. ویژگی مشترک همهٔ روش‌های MCDA، در نظر داشتن معیارهای مستقل متعددی است که معمولاً با یکدیگر در تضادند. در این روش‌ها به‌جای آن که فقط یک تابع بهینه‌سازی یک‌بعدی برای رسیدن به هدف مسئله مد نظر قرار بگیرد، معیارهای ارزیابی را در یک مسیر چندبعدی به سمت تصمیم‌گیری پایدارتر هدایت می‌کنند. افزون بر این، روش‌های چندمعیاره کمک می‌کنند تا تصمیم‌گیرندگان شناخت بهتری از موضوع داشته باشند و گزینه‌های تصمیم‌گیری را از دیدگاه‌های مختلف بررسی کنند. حالت معمول در این روش‌ها، تعیین تناسب چند گزینه از نظر معیارهای مختلف ارزیابی در راستای هدف مسئله است [۳].

معیارهای مورد استفاده در تعیین مکان مناسب خاکچال، در سطح مکان متغیرند. بنابراین بهتر است در مدیریت داده‌ها، از تکنیک‌های بررسی داده‌های مکانی استفاده شود. در سال‌های اخیر، از سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی[2] (GIS) به‌عنوان ابزاری سودمند در تحلیل تناسب کاربری اراضی استفاده شده است. کاربرد GIS در مکان‌یابی، تنها به‌لحاظ کاهش هزینه‌ها و زمان برتری نمی‌یابد، بلکه این سامانه با فراهم‌آوردن یک بانک اطلاعات دیجیتالی، به بازبینی درازمدت مکان نیز کمک می‌کند [۹].

تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی مفهومی است که از تلفیق GIS با روش‌های MCDA به وجود آمده، و در سال‌های اخیر به‌طور گسترده توسط پژوهش‌گران استفاده می‌شود. به‌عنوان نمونه، کونتوس و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، تحلیل مکانی و نیز آمار مکانی، مکان مناسب دفن زباله‌های جامد شهری را در جزیرهٔ لمنوس یونان تعیین کردند [۱۰]. در پژوهشی توسط دلگادو و همکاران (۲۰۰۸)، از سه مدل پشتیبان تصمیم‌گیری چندمعیاره، برای مکان‌یابی خاکچال زباله شهری استفاده شد. به‌دلیل عدم قطعیت موجود در داده‌های اولیه، این پژوهش‌گران مدل بولین را به‌عنوان بهترین مدل انتخاب کردند؛ زیرا این مدل در انتخاب مکان مناسب خاکچال محدودیت بیشتری را در نظر می‌گیرد. یکی از معیارهای مورد توجه این پژوهش‌گران در کاهش هزینه‌های دفن بهداشتی زباله‌ها «انتخاب مکان دفن» بوده است، به‌گونه‌ای که دست کم به‌وسیله دو شهر قابل استفاده باشد [۱۱]. سوماتی و همکاران (۲۰۰۸) برای مکان‌یابی خاکچال جدید، روشی بر پایهٔ کاربرد MCDA و هم‌پوشانی نقشه‌ها در GIS ارائه کرده‌اند. این روش برای تعیین محل دفن زباله‌های شهر پانديچری هندوستان مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت آنان از میان مناطق منتخب، سه منطقه

مناسب برای خاکچال را برپایه پیمایش صحرایی تعیین کردند [۹]. جنلتی در پژوهش خود (۲۰۱۰)، برای انتخاب مکان مناسب خاکچال زایدات خنثی از روشی بر پایه نظرسنجی افراد ذی‌نفع همراه با ارزیابی چندمعیاره مکانی استفاده کرد. معیارهای ارزیابی و وزن اختصاص یافته به آن‌ها با توجه به نظر افراد ذی‌نفع معین و مکان مناسب خاکچال طی دو مرحله مشخص شد. پس از تعیین مناطق مناسب، با تحلیل حساسیت، میزان پایداری در تصمیم‌گیری سنجیده شد [۱۲]. معین‌الدینی و همکاران (۲۰۱۰)، برای تعیین مکان مناسب خاکچال زباله‌های شهری کرج، از تحلیل تصمیم چندمعیاره و GIS استفاده کردند. آنان برای جمع‌بندی نهایی و تعیین اولویت مکان‌های منتخب، از دو روش تحلیل سلسله‌مراتبی و جمع ورودی‌های وزن‌دار استفاده کردند. بررسی صحرایی نشان داد که نتایج حاصل از روش تحلیل سلسله‌مراتبی در مقایسه با نتایج حاصل از روش جمع ورودی‌های وزن‌دار با داده‌های واقعی مطابقت بیشتری دارد [۱۳].

در ایران تولید زباله در دو دهه اخیر به دو دلیل «افزایش جمعیت» و «تغییر فرهنگ تولید و مصرف» افزایش چشم‌گیری داشته است. دفع مواد زاید در نزدیکی اغلب شهرهای ایران، به‌صورت خاکچال بهداشتی انجام نمی‌شود. در اکثر موارد، زباله‌ها در محل‌های دفع تل‌انبار و حتی به آتش کشیده می‌شود. در بهترین حالت، مواد زاید در ترانشه‌های طبیعی یا مصنوعی ریخته شده و با خاک پوشانده می‌شود. استفاده از سیستم جمع‌آوری و تصفیه شیرابه، استحصال گاز حاصل از تخمیر زباله‌ها و کاربرد لاینرهای طبیعی و مصنوعی برای جلوگیری از انتشار شیرابه به محیط در محل‌های دفن زباله‌های شهری در ایران هنوز شکل نگرفته است. وجود این مشکلات باعث شد تا اخیراً سازمان حفاظت محیط‌زیست کشور، ضوابط جدیدی برای مکان‌یابی محل دفن زباله‌های جامد شهری تهیه و تصویب کند. عدم مطابقت شرایط بسیاری از محل‌های دفن زباله با این ضوابط یا بهره‌برداری از بیشتر حجم موجود از محل‌های دفن کنونی، باعث توجه پژوهش‌گران به موضوع «مکان‌یابی خاکچال زباله‌های شهری» به‌عنوان یکی از چالش‌های مهم زیست‌محیطی شده است. به‌عنوان نمونه، مطالعاتی[۱۴-۱۷] با به‌کارگیری روش‌های مختلف MCDA و GIS، برای تعیین مکان مناسب دفن زباله در شهرهای مختلف انجام شده است، اگرچه در بیشتر این مطالعات، انتخاب معیارهای ارزیابی و وزن‌دهی به آن‌ها توسط متخصصین مرتبط انجام نشده و از نظرسنجی افراد ذی‌نفع و متخصصین غالباً استفاده نشده است.

هدف پژوهش حاضر ارائه و ارزیابی روشی بر مبنای تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره و سامانه اطلاعات جغرافیایی توأم با نظرسنجی از متخصصین و افراد ذی‌نفع است. بدین‌منظور، قابلیت‌های GIS در پشتیبانی از تصمیمات وابسته به مکان، در سه مرحله اصلی فرایند تصمیم‌گیری ــ آگاهی، طراحی و انتخاب ــ مورد استفاده قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقهٔ مورد مطالعه

شهرستان مرودشت بین ′۴۴ °۵۱ تا ′۳۰ °۵۳ طول شرقی و ′۱۵ °۲۹ تا ′۵۹ °۳۰ عرض شمالی در استان فارس قرار گرفته است. بخش عمده این منطقه را دشت و باقی‌مانده را ارتفاعات چین‌خورده زاگرس تشکیل می‌دهد. متوسط ارتفاع منطقه از سطح دریا ۱۵۹۰ متر، میانگین بارش سالانه حدود ۳۹۰ میلی‌متر و میانگین دما ۱۷/۷ درجه سانتی‌گراد است. مرودشت از باستانی‌ترین مناطق ایران، و دارای آثار تاریخی بسیار ــ نظیر مجموعه کاخ‌های تخت‌جمشید، کاخ صدستون، نقش رجب، نقش رستم، پل خان، پل بندامیر و شهر تاریخی استخر ــ است. مرودشت از پهناورترین و حاصل‌خیزترین دشت‌های استان فارس است و اراضی آن عمدتاً کشاورزی، به‌ویژه کشت‌های پاییزه گندم و جو، است. دشت مرودشت به‌طور عمده از رسوبات سیلابی (از جنس سیلت، رس و شن)، آبرفت‌های رودخانه‌ای، و رسوبات مردابی (از جنس سیلت، رس و نمک) تشکیل شده است. توپوگرافی منطقه به‌طور عمده دشت هموار است. مرکز شهرستان، شهر مرودشت است که جمعیت آن براساس سرشماری سال ۱۳۸۵، برابر با ۳۵۰۱۲۴ نفر اعلام شده است.

متوسط سرانه تولید زباله در مرودشت ۷۰۰ گرم‌نفر در روز است و بدین‌ترتیب، به‌طور متوسط حدود ۸۷ تن زباله در روز تولید می‌شود. حدود ۹۱/۳۵ درصد از کل زباله تولیدی را مواد قابل بازیافت تشکیل می‌دهد که ۷۰/۶۳ درصد آن مواد آلی تجزیه‌پذیر است. خاکچال فعلی در فاصله‌ای کم‌تر از ۳۰۰متر از زمین‌های کشاورزی و کم‌تر از ۲۰۰متر از چاه‌های آب زیرزمینی واقع شده است. این

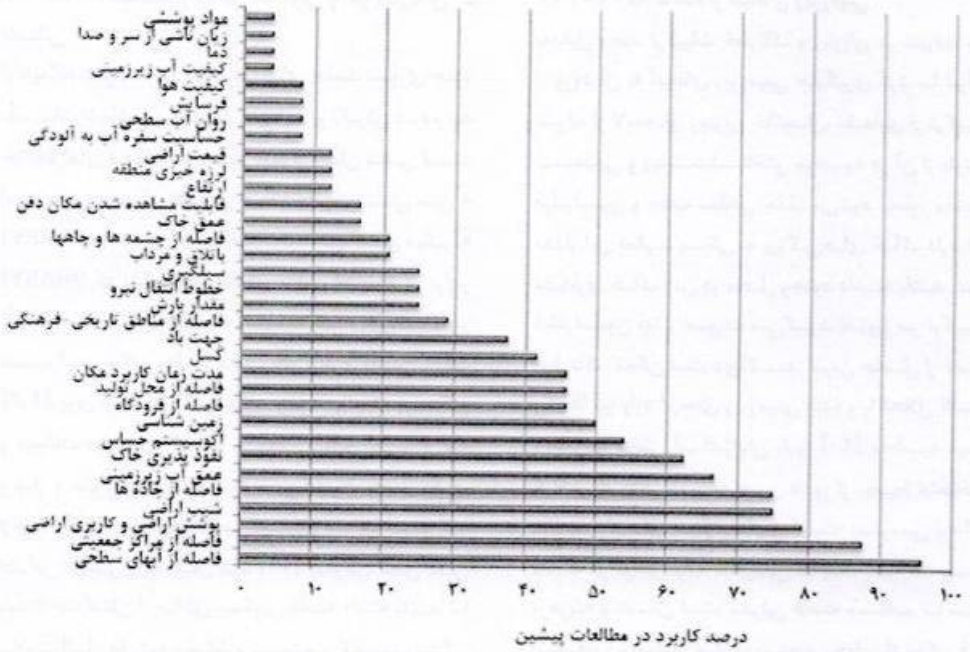
محل به روی ترانشه‌های حفرشده برای برداشت خاک رس کارخانه‌های آجرپزی واقع شده و فاقد حصار و نگهبان است. در این محل روزانه مقداری خاک برای پوشش زباله‌ها استفاده می‌شود اما به‌دلیل کافی نبودن مقدار آن، مشکلاتی همچون بوی بد زباله، تجمع مگس و پراکنده شدن زباله‌های سبک در اطراف آزاردهنده است. پس‌ماندهای بیمارستانی در این محل دفن نمی‌شوند. برای شیرابه و گاز متصاعد از زباله‌ها در محل دفن، تاکنون چاره‌ای اندیشیده نشده است. از آنجا که مکان فعلی دفن زباله در مجاورت کوره‌های آجرپزی و روی معدن رس مستقر است، و اگرچه فقط از ۵۰ درصد ظرفیت آن استفاده شده، شهرداری مرودشت ناچار است به درخواست سازمان محیط‌زیست محل جدیدی را به دفن زباله اختصاص دهد. طبق نظرسنجی‌های انجام شده، تخصیص مساحتی حدود ۱۰۰هکتار برای خاکچال شهر مناسب است. با در اختیار داشتن چنین مساحتی می‌توان پیشرفت‌های احتمالی آتی، مانند احداث کارخانه کمپوست یا سیستم استحصال انرژی از زباله‌ها و همچنین یک حصار منطقی از زمین‌های اطراف محل دفن را در نظر داشت.

۲-۲- روش مکان‌یابی

مکان‌یابی خاکچال‌ها یک مسئله تصمیم‌گیری در رابطه با برنامه‌ریزی استفاده از اراضی است. بر پایه مدل سیمون و مطابقت آن با برنامه‌ریزی، فرایند تصمیم‌گیری را می‌توان به سه مرحله «آگاهی»، «طراحی» و «انتخاب» تفکیک کرد [۱۲]. در تحلیل تصمیم‌گیری مکانی، قابلیت‌های GIS برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری در هر سه مرحله مهم است. در مرحلهٔ آگاهی، هدف مسئله تعیین ساختار کلی تصمیم‌گیری است. سپس معیارهای ارزیابی بر پایه میزان دست‌یابی به هدف انتخاب می‌شود. در این مرحله سیستم اطلاعات جغرافیایی نقش مهمی در ایجاد پایگاه داده‌های مکانی با جمع‌آوری، ذخیره‌سازی و بازیابی اطلاعات دارد. در مرحلهٔ طراحی، راه حل‌های ممکن برای حل مسئله‌ای که در مرحلهٔ آگاهی ویژگی‌های آن جمع‌آوری شده، بررسی و سلسله‌مراتب تصمیم‌گیری برای ساخت مدل طراحی می‌شود [۱۲، ۱۸]. در پژوهش حاضر، این سه مرحله از تصمیم‌گیری در ساخت مدل بهینه برای تعیین مکان مناسب خاکچال مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۲-۱- آگاهی

نخستین گام در هر تصمیم‌گیری، تعیین معیارهای ارزیابی است به‌گونه‌ای که معرف میزان دست‌یابی به هدف مسئله باشند. معیارهای ارزیابی در ارتباط با وضعیت مسئله و بر پایه مطالعات گذشته، قوانین و مقررات محلی یا ملی موجود و نظرسنجی آرای افراد صاحب‌نظر تعیین می‌شود [۱۸]. بررسی مطالعات گذشته در انتخاب معیارها کمک زیادی به تصمیم‌گیری خواهد کرد. بنابراین، به‌منظور تعیین معیارهای ارزیابی برای مکان‌یابی محل دفن زباله‌های شهری، ابتدا تحقیقات انجام‌شده در گذشته به‌طور گسترده مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۱ معیارهای ارزیابی مورد استفاده در مطالعات گذشته برای تعیین مکان مناسب خاکچال، همراه با درصد کاربرد آن‌ها نشان داده شده است. به‌این ترتیب فهرستی از معیارهای ارزیابی به دست آمد که برای مشخص شدن اهمیت هریک، پرسش‌نامه‌ای تهیه و برای متخصصین فعال در حوزه مدیریت مواد زاید جامد فرستاده شد. ۴۰ متخصص با تخصص در رشته‌های محیط‌زیست (آلودگی‌های محیط‌زیست، مدیریت محیط‌زیست، ارزیابی اثرات محیط‌زیست، تنوع زیستی، آلودگی هوا)، بهداشت محیط، زمین‌شناسی زیست‌محیطی، عمران (محیط‌زیست)، اقتصاد، هیدرولوژی و منابع آب و خاک‌شناسی به این پرسش‌نامه پاسخ دادند و اهمیت هریک از معیارها را در قالب پنج واژه زبانی خیلی‌مهم، مهم، اهمیت متوسط، کم‌اهمیت و خیلی کم‌اهمیت تعیین کردند. نحوه تهیه پرسش‌نامه به‌گونه‌ای بود که افزون بر ساده بودن در پاسخ‌دهی، بتوان به دو منظور آن را به کار برد: ۱. انتخاب معیارهای ارزیابی؛ ۲. تعیین اولویت این معیارها در مرحله وزن‌دهی. پس از تعیین معیارهای ارزیابی، بانک اطلاعات مکانی برای مسئله تصمیم‌گیری در نرم‌افزارهای GIS تهیه می‌شود. به‌عنوان نمونه برای تعیین مکان مناسب خاکچال زباله‌های جامد شهری مرودشت، نقشه مربوط به هریک از معیارها از سازمان یا مؤسسه مربوطه تهیه شد. سپس این نقشه‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS 9.3 رقومی شده و با ساخت نقشه‌های موضوعی بانک اطلاعات جغرافیایی ایجاد شد. همچنین، نقشه‌های موجود به‌کمک تصاویر ماهواره‌ای سال‌های اخیر به‌روزرسانی شد. در ادامه، به معیارهای ارزیابی مورد استفاده در این پژوهش خواهیم پرداخت.



شکل ۱- نمودار معیارهای مورد استفاده در مطالعات گذشته برای مکان‌یابی خاکچال‌ها، و فراوانی کاربرد آن‌ها

۲-۲-۱-۱- فاصله از آب‌های سطحی، چاه‌ها، قنات‌ها و چشمه‌ها

به‌دلیل تولید شیرابه از زباله، پتانسیل آلوده‌شدن آب‌ها به‌وسیله خاکچال‌ها بسیار زیاد است. برای جلوگیری از احتمال آلودگی، حتی در خاکچال‌هایی که به‌صورت بهداشتی ساخته می‌شوند، بهتر است تا حد امکان خاکچال از منابع آب سطحی و زیرزمینی فاصله داشته باشد. مطالعات کالرجیس (۲۰۰۱) نشان می‌دهد که کم‌ترین زمان لازم برای غیرفعال شدن پاتوژن‌ها ۵۰ تا ۶۰ روز است. از آنجا که سرعت حرکت آب‌های زیرزمینی متغیر است تعیین کم‌ترین فاصله از چاه‌ها در صورت احتمال آلوده‌شدن به شیرابه زباله بر این اساس مشکل است [۱۰]. تأثیر شیرابه بر آب‌های سطحی و زیرزمینی حین عبور از محیط متخلخل به عوامل بسیاری بستگی دارد. برای راحتی کار در مکان‌یابی، تنها فاصله مستقیم مکان دفن از آب‌ها در نظر گرفته می‌شود. دو رودخانه مهم سیوند و کُر تشکیل‌دهنده آب‌های سطحی منطقه مورد مطالعه‌اند و برای کشاورزی از این دو رودخانه استفاده می‌شود. موقعیت رودخانه‌ها به‌کمک نقشه‌های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور ترسیم شد. موقعیت قنات‌ها، چشمه‌ها و چاه‌های منطقه نیز از شرکت آب منطقه‌ای استان فارس اخذ شده است. آمار نشان می‌دهد که در منطقه مورد مطالعه ۷۷۰۰ چاه وجود دارد که عمدتاً برای مصارف کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. تعداد زیاد چاه‌های دایر در منطقه بیانگر برداشت‌های بی‌رویه از آب زیرزمینی در دهه‌های اخیر است.

۲-۲-۱-۲- موقعیت گسل‌ها

گسل‌ها شکستگی‌های طبیعی زمین هستند که امکان عبور سریع شیرابه و تداخل آن با آب‌های زیرزمینی را فراهم می‌کنند. از سوی دیگر، در محل گسل‌ها معمولاً زمین‌لرزه‌هایی رخ می‌دهد که پایداری مکان دفن در برابر نشت شیرابهٔ حاصل از زباله‌ها به محیط را تهدید می‌کند. بنابراین مکان دفن زباله نباید در محل این شکستگی‌ها باشد. نقشه موقعیت گسل‌ها در منطقه مورد مطالعه با رقومی‌سازی خطوط گسل در نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ به دست آمد.

۲-۲-۱-۳- فاصله از مناطق مسکونی و آثار تاریخی - باستانی

از دیدگاه عموم، مکان دفن زباله‌های جامد شهری جزو تأسیسات نامطلوب به شمار می‌آید و نگرش مردم به خاکچال‌های نزدیک به محل زندگی‌شان منفی است. امروزه پدیده‌های «نه در حیاط‌خلوت پشتی من[۲]» (NIMBY) و «نه در حیاط‌خلوت پشتی کسی دیگر[۳]» (NIABY) که نشان‌دهنده نگرش منفی اجتماع در برابر تأسیسات دفع زباله است، شناخته شده هستند و بر تصمیم‌گیری مکان مناسب دفن زباله تأثیری به‌سزا دارند [۳و۴]. بوی نامطبوع، آتش‌سوزی، وجود حشرات، پرندگان و حیوانات مزاحم، پراکندگی زباله‌های سبک، سروصدا، گرد و غبار و حتی کاهش قیمت اراضی اطراف محل دفن، ازجمله تأثیرات خاکچال‌ها بر اجتماع اطراف است که اعتراض عمومی را به دنبال دارد [۱۹]. بنابراین، محل دفن باید تا حد امکان از مناطق مسکونی فاصله داشته باشد تا سلامت انسان‌ها را به مخاطره نیندازد و کیفیت زندگی آن‌ها را کاهش ندهد. نقشه موقعیت مناطق مسکونی با توجه به نقشه توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه و به‌کمک اطلاعات جدید به‌روز رسانی شد. افزون بر مناطق مسکونی، منطقه مرودشت در بردارنده آثار باستانی - تاریخی کهنی است که نشان‌دهنده قدمت فرهنگ و تمدن ایرانی است. واضح است که محل دفن زباله‌ها باید از این آثار تاریخی بین‌المللی فاصله مناسب و کافی داشته باشد، به‌گونه‌ای که هیچ آثار سوئی متوجه این یادگاران کهن فرهنگ پارسی نشود. آثار باستانی منطقه مورد مطالعه عبارت است از: مجموعه کاخ‌های تخت‌جمشید، نقش رستم، نقش رجب، شهر تاریخی استخر و پل خان.

۲-۲-۱-۴- فاصله از جاده‌ها

هرچه محل خاکچال به جاده‌ها نزدیک‌تر باشد، هزینه‌های ساخت مجدد جاده کاهش می‌یابد. البته باید به این نکته نیز توجه داشت که موقعیت جاده‌ها از دیدگاه اجتماعی، علاوه بر دیدگاه اقتصادی، نیز دارای اهمیت است. در صورتی که مکان خاکچال نزدیک به جاده‌های پرتردد باشد، به‌لحاظ زیبایی منظر مشکلاتی در پی خواهد داشت.

۲-۲-۱-۵- فاصله از آب‌های زیرزمینی

به‌دلیل وجود ترکیبات خطرناک و زیان‌آور در شیرابه، باید از ورود آن به آب‌های زیرزمینی جلوگیری کرد. با تراوش شیرابه از لایه‌های زیرین خاکچال، مقداری از ترکیبات شیمیایی و زیست‌شناختی موجود در آن از طریق فیلتراسیون و جذب سطحی حذف می‌شود. به‌طور معمول، مقدار این فعالیت بستگی به ویژگی‌های خاک دارد. اگر مقداری خاک رس در محل وجود داشته باشد، عمل فیلتراسیون بهتر صورت می‌گیرد. افزون بر ترکیبات خطرناک، ممکن است دی‌اکسید کربن حاصل از تخمیر زباله‌ها نیز وارد آب‌های زیرزمینی شده و با انحلال کلسیم و منیزیم، سختی آب افزایش یابد [۲۰]. محاسبه میزان کاهش آلودگی شیرابه حین عبور از محیط متخلخل، نیازمند داده‌های بسیار و دقیق است؛ دسترسی به این داده‌ها در مراحل اولیه مکان‌یابی در یک مساحت وسیع، پرهزینه و ناممکن است. بنابراین فاصله مستقیم تا سطح آب‌های زیرزمینی ملاک سنجش خطر آلودگی قرار می‌گیرد و تلاش می‌شود خاکچال در محلی احداث شود که بیشترین فاصله ممکن از آب‌های زیرزمینی را داشته باشد. نقشه تراز آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، با توجه به اطلاعات سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای شرکت آب منطقه‌ای استان فارس، به روش کریجینگ معمولی در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد.

۲-۲-۱-۶- هدایت هیدرولیک خاک زیرین

هرچه مقدار این معیار کم‌تر باشد، مدت زمان عبور شیرابه از محیط متخلخل بیشتر و در نتیجه عمل فیلتراسیون و حذف پاتوژن‌ها محتمل‌تر است. درمورد مرودشت که در دشتی با تشکیلات رسوبی نسبتاً یکسان قرار گرفته و لایه سطحی زمین‌شناسی آن رسوبات غیریک‌پارچه است، در نظر گرفتن هدایت هیدرولیکی خاک زیرین برای کاهش احتمالی آلودگی آب‌های زیرزمینی معیاری مؤثر است. نقشه این معیار با توجه به اطلاعات نقشه ارزیابی اراضی مؤسسه تحقیقات خاک و آب استان فارس با مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ تهیه شد.

۲-۲-۱-۷- کیفیت آب زیرزمینی

کیفیت آب‌زیرزمینی براساس میزان شوری آب سنجیده

شده است. اطلاعات نقطه‌ای نشان‌دهندهٔ شوری آب چاه‌ها، به‌روشی مشابه با سطح آب زیرزمینی به نقشه پیوسته رستری تبدیل شد و سپس این نقشه با روش مشاوران دانشگاه کالیفرنیا (۱۹۷۴) [۲۱]، در سه دسته کیفی کم، متوسط و زیاد ـــ براساس درجه محدودیت‌شان برای استفاده در کشاورزی آبی ـــ تفکیک شد. رهنمودهای کیفیت آب آبیاری به این دلیل مورد استفاده قرار گرفت که برداشت از آب‌های زیرزمینی در اطراف شهر مرودشت عمدتاً برای مصارف کشاورزی است. در این روش که مبتنی بر محاسبه شوری آب است، چنانچه هدایت الکتریکی آب زیرزمینی بیش از ۳دسی‌زیمنس بر متر باشد، در مصرف آب با محدودیت شدید مواجه‌ایم؛ اما در شرایطی که هدایت الکتریکی برابر با ۰/۷-۳ باشد محدودیت مصرف متوسط است و در حالتی که این عامل کم‌تر از ۰/۷ باشد محدودیتی برای مصرف نداریم.

۲-۲-۱-۸- جهت باد غالب در منطقه

مناطقی که در جهت باد غالب قرار دارند، از بوی بد خاکچال متأثر می‌شوند. گلباد مرودشت از سازمان هواشناسی ایران به دست آمد و نشان می‌دهد که باد غالب منطقه در جهت غربی است. پس از آن، بیشترین باد از سمت‌های جنوب شرقی و جنوب غربی در منطقه می‌وزد. برای ترسیم نقشه‌ای که تأثیر جهت باد را نشان دهد، ابتدا نقشه رقومی ارتفاعی به‌کمک منحنی‌های تراز ترسیم و سپس با توجه به آن، نقشه جهت شیب منطقه در نرم‌افزار ArcGIS ایجاد شد. این نقشه در مراحل بعدی مکان‌یابی بر پایه گلباد منطقه با اختصاص درجه‌ای مناسب با هر جهت شیب، مجدداً رده‌بندی شد.

۲-۲-۱-۹- عمق خاک

عمق خاک یکی از معیارهای اقتصادی است که به‌دلیل توجه به نیاز روزانه برای پوشش زباله‌ها با خاک و نوع ماشین آلات برای حفر ترانشه اهمیت دارد. خاک منطقه مورد مطالعه از رسوبات ضخیم آبرفتی تشکیل شده و از نظر عمق خاک در محدوده مورد مطالعه، محدودیت زیادی دیده نمی‌شود.

۲-۲-۱-۱۰- کاربری اراضی

مرودشت در دشتی حاصل‌خیز واقع شده که کاربری زمین‌های اطراف آن کشاورزی است. بر پایه نقشه ارزیابی اراضی برای کشاورزی آبی، اراضی این منطقه در شش رده دسته‌بندی می‌شود: ۱. بدون محدودیت، ۲. با محدودیت جزئی، ۳. با محدودیت متوسط، ۴. با محدودیت شدید، ۵. دارای محدودیت شدید اما با تناسب نامشخص، ۶. نامناسب برای کشاورزی آبی [۲۲]. از آنجا که کاربری زمین‌های اطراف شهر مرودشت یکسان است، نوع و کیفیت خاک هر واحد از اراضی مستقیماً بر قیمت و مالکیت آن‌ها تأثیر دارد. بنابراین رده اراضی برای کشاورزی به‌عنوان معیار مستقیم در تعیین قیمت اراضی و به‌عنوان معیاری اقتصادی در این پژوهش به کار گرفته شده است.

۲-۲-۲- طراحی

در این پژوهش تعیین مکان مناسب دفن زباله‌های جامد شهری در دو مرحله انجام شد: ۱. حذف اراضی نامناسب برای مکان دفن زباله با به‌کارگیری معیارهای محدودکننده یا بافرهای مبتنی بر قوانین سازمان محیط‌زیست ایران؛ ۲. تعیین شاخص ترکیبی تناسب اراضی در هر پیکسل از مناطق برگزیده در مرحله اول برای کاربری خاکچال، با استفاده از معیارهای عامل. برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره در نرم‌افزار ILWIS مدل ارزیابی چندمعیاره فضایی[۵] (SMCE) ارائه شده است. بنابراین، در این پژوهش با توجه به قابلیت‌های این مدل در ساخت الگوریتم تصمیم‌گیری، استانداردسازی، وزن‌دهی و محاسبه نقشه نهایی تناسب اراضی از نرم‌افزار ILWIS 3.3 استفاده شد. نقشه‌های معیار در این نرم‌افزار به‌شکل رستری با اندازه سلول ۱۰۰متر تبدیل شدند تا به‌وسیله آن‌ها تصمیم چندمعیاره برای تعیین مکان مناسب خاکچال تحلیل شود.

۲-۲-۲-۱- معیارهای محدودکننده

معیارهای محدودکننده براساس منطق بولین تعیین شد. در این منطق، اراضی یا مناسب‌اند یا نامناسب، و حالت بینابینی برای تناسب اراضی وجود ندارد. بنابراین، استفاده از این منطق برای مشخص ساختن بافرها مناسب است. براساس ضوابطی که اخیراً توسط سازمان محیط‌زیست ایران برای مکان خاکچال‌ها ابلاغ شده، بافرها مشخص شدند [۲۳]. بر پایه این قوانین، بافر در نظر گرفته شده برای رودخانه‌ها ۱کیلومتر، برای آثار باستانی ۳کیلومتر، برای مناطق مسکونی ۱کیلومتر، برای جاده‌های

اصلی ۳۰۰متر، برای قنات‌ها ۴۰۰متر، برای چاه‌ها ۴۰۰متر، برای چشمه‌ها ۴۰۰متر، و برای خطوط گسل ۲۰۰متر بود. کمینه و بیشینه بافر برای شهر مرودشت و چاه‌های آب شرب به‌ترتیب برابر با ۳کیلومتر، ۳۰ کیلومتر و ۱کیلومتر در نظر گرفته شد. مناطق سیل‌گیر براساس نقشه ارزیابی اراضی، اراضی کشاورزی باارزش (رده ۱ و ۲ طبق نقشه ارزیابی اراضی) و مناطق با آب زیرزمینی بالاتر از ۵ متر نیز حذف شد.

۲-۲-۲-۲- معیارهای عامل

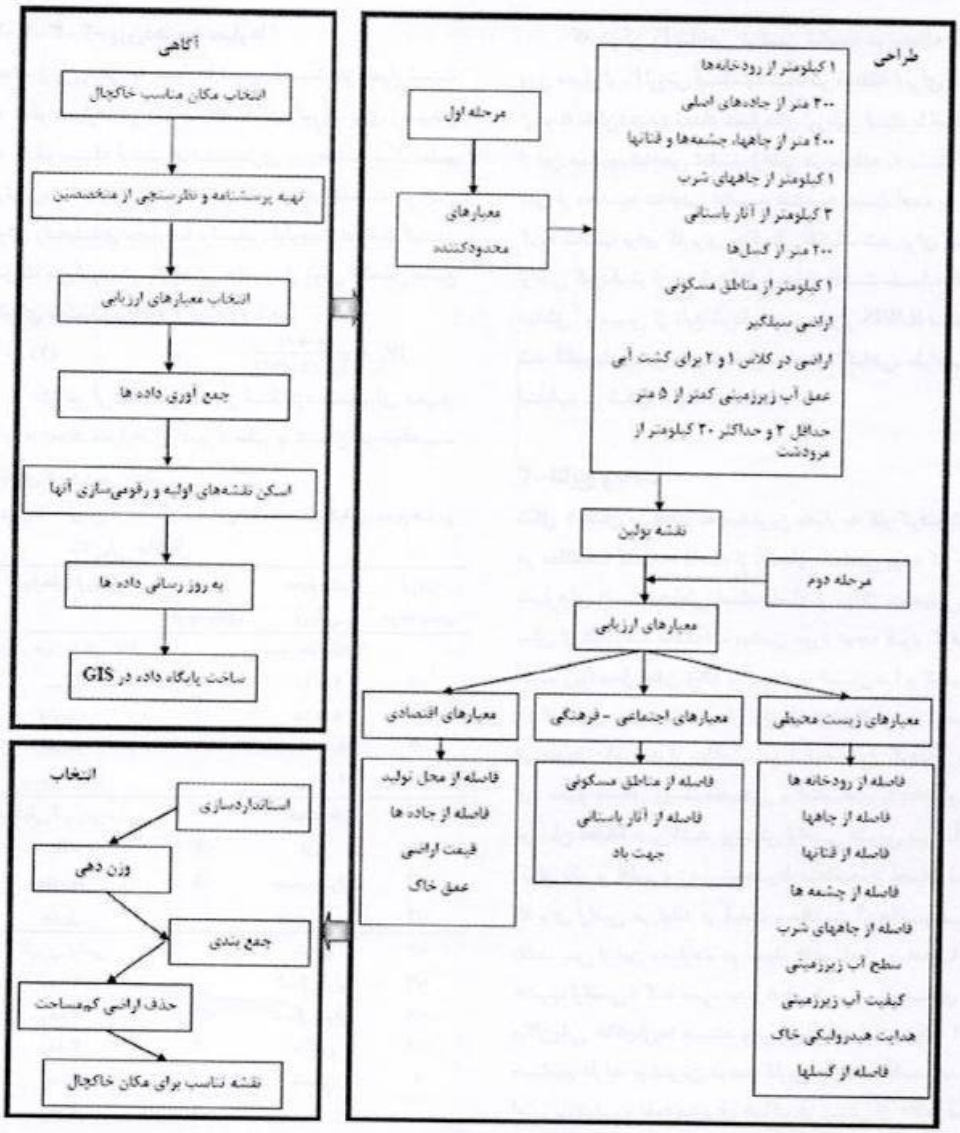
معیارهای عامل معیارهایی هستند که می‌توانند تناسب یک گزینه را نسبت به هدف مسئله، کاهش یا افزایش دهند. بنابراین، این معیارها براساس یک مقیاس پیوسته اندازه‌گیری می‌شود [۲]. در مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره، کاستی در تناسب یک معیار می‌تواند با فزونی تناسب در معیاری دیگر جبران شود. با کمک معیارهای فاکتور در مکان‌یابی خاکچال می‌توان شاخص تناسب نهایی اراضی را مشخص کرد. معیارهای عامل که با نظرسنجی از متخصصین مشخص شد، با توجه به مطالعات پیشین به سه گروه زیست‌محیطی، فنی ـ اقتصادی و اجتماعی ـ فرهنگی تفکیک شد. سپس در مدل تعیین مکان مناسب خاکچال این معیارها به‌صورت سلسله‌مراتبی طراحی شد. در شکل ۲ (مرحله دوم از قسمت طراحی مدل) سلسله‌مراتب تصمیم‌گیری ارائه شده است. ۹ معیار فاصله از رودخانه‌ها، چاه‌ها، قنات‌ها و چشمه‌ها، چاه‌های آب شرب، سطح و کیفیت آب‌های زیرزمینی، هدایت هیدرولیکی خاک و فاصله از گسل‌ها ــ به‌دلیل تأثیرشان بر محیط‌زیست ــ در گروه معیارهای زیست‌محیطی طبقه‌بندی شدند. ۳ معیار جهت باد، فاصله از مناطق مسکونی و آثار تاریخی ـ باستانی نیز در گروه معیارهای اجتماعی ـ فرهنگی جای گرفتند، و ۴ معیار فاصله از مرودشت، فاصله از جاده‌ها، قیمت اراضی، و عمق خاک در گروه معیارهای فنی ـ اقتصادی قرار داده شدند. بنابراین در مرحله دوم، ۱۶ معیار عامل برای تعیین مکان مناسب خاکچال زباله‌های شهر مرودشت تعیین شدند.

۲-۲-۳- انتخاب

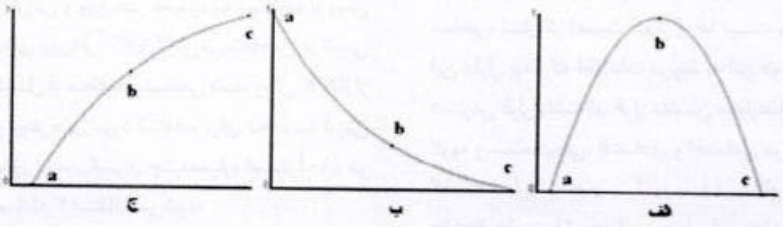
در این مرحله از تصمیم‌گیری و با اجرای مدل طراحی شده، مناطق مناسب برای خاکچال معین می‌شوند. برای جمع‌بندی معیارهای ارزیابی لازم است مراحل استانداردسازی، وزن‌دهی و ترکیب معیارهای ارزیابی و حذف اراضی کوچک‌تر از مساحتی معین انجام شود.

۲-۲-۳-۱- استانداردسازی معیارها

نقشه تهیه شده از هریک از معیارهای ارزیابی دارای مقیاس متفاوتی است. در روش‌های MCDA لازم است تمام معیارهای ارزیابی بر پایه مقیاسی یکسان سنجیده شوند. روش‌های مختلفی برای استانداردسازی معیارها تاکنون به کار رفته است. در این پژوهش برای استانداردسازی معیارهای ارزیابی که به‌صورت فاصله‌ای هستند، از توابع پیوسته استفاده شد. در شکل ۳ نمای سه تابع سیگموییدی مورد استفاده نشان داده شده است. در این توابع، محور xها نشان‌دهندهٔ فاصله از معیار مورد نظر، و محور yها نشان‌دهنده عدد استاندارد شده براساس تابع کاربردی در دامنه ۱-۰ است. با تعیین مقادیر سه نقطه a، b و c، شکل تابع استانداردسازی تنظیم شد. مقدار نقطه a با توجه به مقدار بافرها تنظیم شد. مقدار نقطه c نیز با توجه به حداکثر مقدار معیار که بهترین یا بدترین حالت مکان خاکچال را نشان می‌دهد، تعیین شد، زیرا عدد استاندارد شده معادل در این نقطه، برابر با ۱ است. استانداردسازی فاصله از محل تولید زباله (شهر مرودشت) به‌کمک تابع سیگموییدی متقارن (شکل ۳الف) انجام شد. معیار فاصله از جاده‌ها به‌کمک تابع شکل ۳ب و معیارهای فاصله از آب‌های سطحی، فاصله از چاه‌ها، قنات‌ها، چشمه‌ها، جاده‌ها، مناطق مسکونی، مناطق تاریخی ـ باستانی و عمق آب زیرزمینی به‌کمک توابع سیگموییدی ارائه شده در شکل ۳ج استاندارد شدند. مقادیر سه نقطه a، b و c در تابع ۳c به‌گونه‌ای تنظیم شد که با افزایش فاصله از مرودشت مقدار عدد استاندارد شده افزایش یابد و در ۱۵ کیلومتری از شهر برابر با ۱ شود. سپس با افزایش فاصله از این مقدار، عدد استاندارد شده کاهش می‌یابد به‌گونه‌ای که در فاصله ۳۰ کیلومتری شهر برابر صفر شود. زیرا افزایش فاصله از محل تولید، باعث افزایش هزینه‌های حمل و نقل روزانه زباله به محل دفن می‌شود. معیارهای رده‌ای مانند هدایت هیدرولیکی خاک، کیفیت آب زیرزمینی، کاربری اراضی، عمق خاک و جهت باد، به روش درجه‌بندی استاندارد شدند. مقادیر استاندارد شدهٔ مختص به هر یک از معیارها در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۲- سلسله‌مراتب به کار رفته برای تصمیم‌گیری در مکان‌یابی محل خاکچال



شکل ۳ – توابع به کار رفته برای استانداردسازی معیارهای ارزیابی

۲-۲-۳-۲- وزن‌دهی به معیارها

هدف از وزن‌دهی به معیارها تعیین اهمیت هر معیار نسبت به دیگر معیارها در یک مسئله تصمیم‌گیری، برای رسیدن به هدف مسئله است. مرتب‌سازی وزن‌ها در یک نظم ترتیبی، ساده‌ترین روش تعیین اهمیت آن‌هاست. در این روش رتبه‌بندی معیارها براساس اولویت تصمیم‌گیران صورت می‌گیرد. در پژوهش حاضر، از روش حاصل‌جمع رتبه‌ای به‌کمک معادلهٔ ۱ استفاده شد:

$$W_k = \frac{n-k+1}{\sum_{i=1}^{n}(n-i+1)} \qquad (۱)$$

که در آن W_k معرف وزن استاندارد شده برای معیار kام، n تعداد معیارهای مورد نظر و k بیان‌گر موقعیت رتبه‌ای هر معیار است.

جدول ۱ – ارزش درجه‌بندی معادل با رده‌های کیفی معیارها در مکان‌یابی خاکچال

معیارهای ارزیابی	ارزش درجه‌بندی	معیارهای ارزیابی	ارزش درجه‌بندی
هدایت هیدرولیکی خاک		عمق خاک(Cm)	
سریع	۰/۲	۱۰-۲۵	۰/۱
متوسط	۰/۷	۲۵-۸۰	۰/۳
آهسته	۰/۹	۱۲۰-۸۰	۰/۶
بسیار آهسته	۱	بیش از ۱۲۰	۱
رده کیفی آب زیرزمینی		جهت باد	
بالا	۰/۲	غربی	۰/۱
متوسط	۰/۸	جنوب شرقی	۰/۳
پایین	۱	جنوب غربی	۰/۴
کاربری اراضی		شرقی	۰/۶
رده ۱	۰/۰۱	شمال غربی	۰/۷
رده ۲	۰/۱	شمال شرقی	۰/۸
رده ۳	۰/۴	جنوبی	۰/۹
رده ۴	۰/۷	شمالی	۱
رده ۵	۰/۹		
رده ۶	۱		

۲-۲-۳-۳- جمع‌بندی و حذف مناطق کم‌مساحت

پس از تعیین ارزش و وزن هر معیار، با استفاده از روش جمع ورودی‌های وزن‌دار[۶] (SAW) ارزش شاخص ترکیبی برای هر پیکسل از منطقه مشخص شد. روش SAW از پرکاربردترین روش‌های مورد استفاده برای محاسبه ارزش نهایی در مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره است [۱۰]. در این روش از معادله ۲ استفاده می‌شود:

$$V_i = \sum_{j=1}^{n} W_j V_{ij} \qquad (۲)$$

که در آن V_i شاخص ترکیبی تناسب در منطقه i، W_j وزن معیار j، V_{ij} ارزش استاندارد شده در منطقه i برای معیار j، و n نشان‌دهنده تعداد معیارهای ارزیابی است. با استفاده از این معادله، شاخص تناسب اراضی در منطقه به دست آمد. پس از محاسبه شاخص تناسب، نقشهٔ به دست آمده به پنج گروه تناسب برای کاربری خاکچال تفکیک شد. برای حذف اراضی کوچک‌تر از ۱۰۰ هکتار ابتدا از قابلیت شماره‌دهی مناطق[۷] و سپس از تابع شرطی در نرم‌افزار ILWIS استفاده شد. الگوریتم روش کار، شامل مراحل آگاهی، طراحی و انتخاب، در شکل ۲ ارائه شده است.

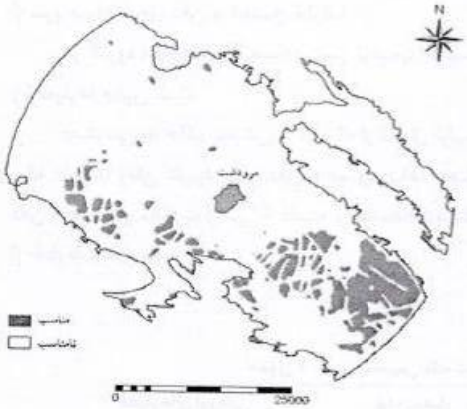
۳- نتایج و بحث

شکل ۱ نشان می‌دهد که بیشترین معیار به کار گرفته شده در مطالعات گذشته، فاصله از آب‌های سطحی بوده که جزء معیارهای زیست‌محیطی است. فاصله از مراکز جمعیتی در بیش از ۸۵درصد مطالعات پیشین مورد توجه قرار گرفته است، زیرا محل دفن زباله بر سلامت انسان‌ها و کیفیت زندگی‌شان مؤثر است. معیار نوع پوشش و کاربری اراضی در حدود ۸۰درصد از مطالعات مورد توجه قرار گرفته، زیرا این معیار مسائل زیست‌محیطی و اقتصادی را به‌صورت توأمان لحاظ می‌کند. پوشش اراضی افزون بر تأثیر اکولوژیک بر اقلیم و زیست‌محیط منطقه، از لحاظ نوع کاربری اراضی می‌تواند بر قیمت و مالکیت آن‌ها نیز مؤثر باشد. پس از این معیارها، دو معیار «فاصله از جاده‌ها» و «شیب اراضی» که جزء معیارهای فنی ـ اقتصادی در مکان‌یابی خاکچال‌ها هستند و بر هزینه‌های دفن زباله اثر مستقیم دارند، بیشترین درصد کاربرد را داشته‌اند. عمق آب زیرزمینی و نفوذپذیری خاک در بیش از ۶۰ درصد مطالعات کاربرد داشته‌اند. این دو معیار بر آلودگی آب‌های زیرزمینی توسط شیرابه خاکچال تأثیر به‌سزایی دارند. کاهش درصد کاربرد دو معیار اخیر نسبت به آب‌های سطحی، نشان‌گر اهمیت کم‌تر آن‌ها نیست بلکه بیشتر به این دلیل بوده که اطلاعات مربوط به این دو معیار کم‌تر در دسترس قرار داشته‌اند. قرار داشتن معیارهایی از هر سه گروه زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی در رأس مطالعات گذشته نشان‌گر اهمیت این سه دیدگاه در مکان‌یابی خاکچال‌هاست. اگر چه این نمودار را می‌توان یک راهنمای کلی برای تعیین معیارهای ارزیابی برشمرد، معیارهای مورد

نیاز برای تعیین مکان خاکچال و اهمیت هریک ــ بسته به شرایط اکولوژیک، زیست‌محیطی، آب و هوایی، فرهنگ مردم ساکن در منطقه و نرخ تولید زباله و نوع آن ــ متفاوت است. بنابراین، روش صحیح آن است که برای تعیین اهمیت هریک از معیارها، به متخصصین فعال در زمینه مدیریت مواد زاید همان منطقه مراجعه شود. به‌همین منظور با توجه به معیارهای به کار رفته در مطالعات پیشین (شکل ۱) پرسش‌نامه‌ای تهیه شد که در آن از اهمیت هریک از معیارها برای مکان‌یابی خاکچال سؤال شده است. سپس به ۴۰ نفر از متخصصین و مسئولین در کل منطقه مراجعه و پرسش‌نامه توسط آن‌ها تکمیل شد.

نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که در بیشتر پاسخ‌ها معیارهایی همچون فاصله از آب‌های سطحی، کیفیت و فاصله از آب‌های زیرزمینی، فاصله از چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها، هدایت هیدرولیکی خاک، سیل‌گیری، فاصله از اکوسیستم‌های حساس، جهت باد و فاصله از آثار باستانی، برای مکان‌یابی خاکچال‌ها اهمیت بالایی دارند. معیارهایی همچون جنس سنگ بستر، گسل، لرزه‌خیزی، شیب، کاربری و پوشش اراضی، عمق خاک، قیمت اراضی، مدت زمان کاربرد مکان دفن، دسترسی به خاک برای پوشش روزانه، فاصله از محل تولید و جاده‌ها، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از فرودگاه و سروصدای مکان دفن بر اجتماع اطراف، بیشترین فراوانی پاسخ را در گزینه «اهمیت زیاد» داشته‌اند. بر این مبنا، یک الگو برای تعیین معیارهای ارزیابی به دست آمد. به‌دلیل عدم وجود اکوسیستم حساس و فرودگاه در منطقه مورد مطالعه، توپوگرافی هموار، عدم تفاوت قابل ملاحظه در جنس سنگ بستر و عدم دسترسی به اطلاعات پتانسیل لرزه‌خیزی، این معیارها در مکان‌یابی خاکچال شهر مرودشت در نظر گرفته نشدند. براساس معیارهای ارزیابی نقشه‌های لازم تهیه و بانک اطلاعات پایه در محیط نرم‌افزار GIS ایجاد شد.

نتایج اعمال بافرها در مرحله اول مکان‌یابی (شکل ۴) نشان می‌دهد که ۸۸/۸۷ درصد از کل اراضی مورد مطالعه برای مکان خاکچال زباله شهری نامناسب است. این نتیجه با توجه به شرایط خاص منطقه دور از انتظار نیست. بالا بودن سطح آب زیرزمینی، کاربری متراکم کشاورزی در منطقه و وجود آثار باستانی بسیار مهم باعث می‌شود کمبود زمین برای خاکچال عاملی محدودکننده به‌شمار آید. بدین‌ترتیب، فقط حدود ۱۱/۱۲ درصد اراضی باقی‌مانده از مرحله اول، قابلیت بررسی بیشتر با معیارهای عامل را در مرحله دوم داشتند.



شکل ۴ – نقشه بولین منطقه مورد مطالعه برمبنای معیارهای محدودکننده

نتایج حاصل از وزن‌دهی به گروه معیارها و زیرمعیارها در هر گروه، در جدول ۲ ارائه شده است. بدیهی است که در هر گروه، حاصل‌جمع وزن زیرمعیارها برابر با واحد است. این جدول نشان می‌دهد که براساس پاسخ ۴۰ نفر متخصص، در تعیین مکان مناسب خاکچال زباله شهری اهمیت معیارهای زیست‌محیطی بیش از معیارهای اجتماعی ـ فرهنگی، و اهمیت معیارهای اجتماعی ـ فرهنگی بیش از معیارهای فنی ـ اقتصادی است. بر این مبنا، در گروه معیارهای زیست‌محیطی، ترتیب اهمیت زیرمعیارها چنین است:

فاصله از آب‌های سطحی = فاصله از آب‌های زیرزمینی = فاصله از چاه‌ها؛

چشمه‌ها و قنات‌ها > فاصله از اکوسیستم‌های حساس > ضریب آب‌گذری خاک > سیل‌گیر بودن منطقه > کیفیت آب زیرزمینی > فاصله از گسل‌ها > لرزه‌خیزی منطقه > کاربری و پوشش اراضی = شیب اراضی > جنس سنگ بستر زیرین > مقدار بارش > کیفیت هوای منطقه > مقدار فرسایش > دمای سالانه هوا.

از پاسخ متخصصین یادشده به پرسش‌های مطرح‌شده چنین برمی‌آید که ترتیب اهمیت زیرمعیارها در

گروه اجتماعی ـ فرهنگی عبارت است از:

فاصله از مناطق تاریخی ـ باستانی > جهت باد = فاصله از مراکز جمعیتی > فاصله از فرودگاه > قابلیت مشاهده شدن محل دفن از مناطق مسکونی = زیبان ناشی از سرو صدای محل دفن بر اجتماع اطراف.

در گروه معیارهای اقتصادی نیز ترتیب اهمیت زیرمعیارها چنین است:

دسترسی به خاک پوششی > فاصله از محل تولید زباله = مدت زمان کاربرد مکان دفن = عمق خاک محل دفن > قیمت و مالکیت اراضی > فاصله از جاده‌ها > فاصله از خطوط انتقال نیرو.

اراضی در منطقه ابتدا مربوط به گروه نامناسب و سپس به‌ترتیب در گروه‌های مناسب، مناسب‌ترین، تناسب متوسط و تناسب کم قرار می‌گیرند. بدین‌ترتیب مشخص شد که ۴/۴ درصد از کل منطقه (معادل ۷۹۰۱ هکتار) بیشترین تناسب را برای احداث خاکچال دارد. این منطقه در جنوب شرقی شهر مرودشت قرار گرفته که می‌توان با بررسی‌های صحرایی و مطالعات تکمیلی، ۱۰۰ هکتار از آن را برای احداث خاکچال این شهر انتخاب کرد. خاک‌های این منطقه، به‌دلیل شوری زیاد بایر هستند کاربری مهمی ندارند. به‌همین دلیل، توسعه شهری و روستایی نیز در این اراضی صورت نگرفته است. افزون بر این، منطقه

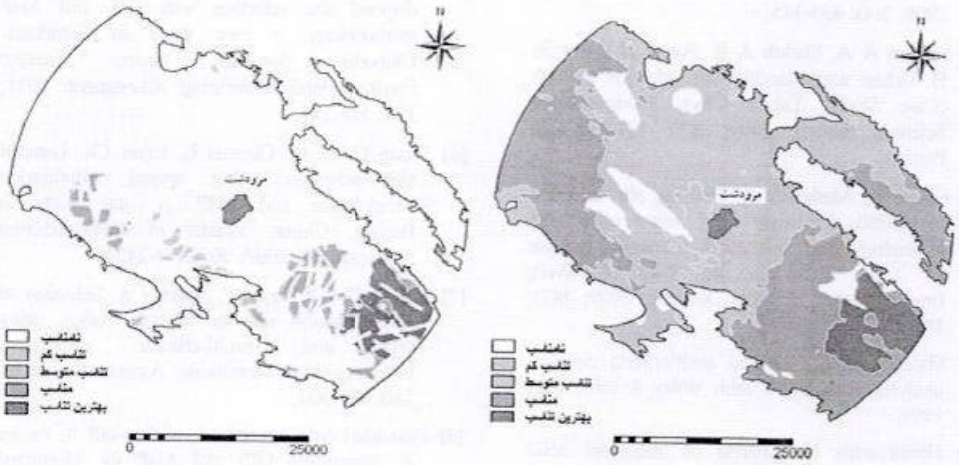
جدول ۲ – وزن تخصیص داده شده به گروه معیارها و زیرمعیارهای مربوط به آن‌ها

معیارهای ارزیابی	وزن معیار	معیارهای ارزیابی	وزن معیار
معیارهای زیست محیطی	**۰/۴۲**	**معیارهای فنی ـ اقتصادی**	**۰/۲۴**
فاصله از رودخانه‌ها	۰/۱۴	فاصله از محل تولید	۰/۳
فاصله از چاه‌ها	۰/۱۴	کاربری اراضی	۰/۲
فاصله از چشمه‌ها	۰/۱۴	فاصله از جاده‌ها	۰/۱
فاصله از قنات‌ها	۰/۱۴	عمق خاک	۰/۴
فاصله از چاه‌های آب شرب	۰/۱۴	**معیارهای اجتماعی ـ فرهنگی**	**۰/۳۴**
سطح آب زیرزمینی	۰/۱۴	فاصله از مناطق مسکونی	۰/۲۵
کیفیت آب زیرزمینی	۰/۰۴	فاصله از آثار باستانی	۰/۵
هدایت هیدرولیکی خاک	۰/۰۷	جهت باد	۰/۲۵
فاصله از گسل‌ها	۰/۰۲		

پس از وزن‌دهی به معیارها و جمع‌بندی آن‌ها به‌کمک روش جمع خطی ورودی‌های وزن‌دار، نقشه ترکیبی شاخص تناسب اراضی به دست آمد. این نقشه از نوع ارزشی بوده و به هر پیکسل آن عددی بین صفر تا ۱ اختصاص می‌یابد. سپس این نقشه براساس شاخص تناسب به دست آمده در دامنه‌های ۰/۲-۰، ۰/۴-۰/۲، ۰/۶-۰/۴، ۰/۸-۰/۶ و ۱-۰/۸ به‌ترتیب به پنج رده «نامناسب»، «تناسب کم»، «تناسب متوسط»، «مناسب» و «مناسب‌ترین» تفکیک شد. در شکل ۵الف نقشه تناسب اراضی منطقه برای خاکچال شهر مرودشت، در پنج گروه تناسب نشان داده شده است. درصد اراضی در هر گروه تناسب به‌ترتیب برابر با ۸۸/۸۷، ۰، ۱/۰۸، ۴/۴۹ و ۴/۳۹ از کل منطقه مورد مطالعه است. بنابراین، بیشترین مساحت مشخص‌شده به‌اندازه کافی از آثار باستانی موجود فاصله دارد (حداقل ۱۹ کیلومتر). همچنین سطح آب زیرزمینی این منطقه به‌طور متوسط بیش از ۱۰ متر است که نسبت به سطح آب در منطقه، عمیق طبقه‌بندی می‌شود.

چنان که گفته شد، طراحی ساختار انجام پژوهش، به‌طور هم‌زمان در دو مرحله انجام شد. در شرایطی که مرحله اول انجام نشود و فقط با تنظیم حداقل مقادیر در توابع استانداردسازی در راستای رعایت ضوابط سازمان محیط‌زیست تلاش شود، نتایج حاصله متفاوت خواهد بود. در شکل ۵ب تناسب اراضی در منطقه برای خاکچال بدون اعمال بافرها نشان داده شده است. چنان که مشاهده می‌شود، درصد بسیاری از اراضی در گروه «مناسب» قرار می‌گیرد، حال آن که این اراضی دست کم یکی از ضوابط سازمان محیط‌زیست

را در رابطه با مکان خاکچال نادیده می‌گیرند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که درصورت عدم انجام مرحله اول در این پژوهش ــ یعنی اعمال نکردن بافرها، برای آن که به‌کمک نحوه استانداردسازی معیارها خود به خود این اراضی از تناسب کم برخوردار شوند ــ ممکن است تصمیم‌گیرنده به مسیری اشتباه در مکان‌یابی هدایت شود.



(الف) (ب)

شکل ۵ – نقشه تناسب نهایی اراضی برای خاکچال شهر مرودشت. الف) روش دو مرحله‌ای پیشنهادی؛ ب) روش عدم اعمال بافرها

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش مکان‌یابی خاکچال دفن زباله‌های جامد شهری با توجه به نظرسنجی از متخصصین بررسی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که از نظر اکثر متخصصین، توجه به مسائل زیست‌محیطی بیش از دیگر مسائل مرتبط با مکان دفن زباله واجد اهمیت است. در میان معیارهای زیست‌محیطی نیز، «توجه به عدم آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی» مهم‌ترین عاملی است که در تعیین مکانی جدید برای دفن زباله باید در نظر گرفت. در این پژوهش همچنین نشان داده شد که یک روش بهینه برای تعیین مکان مناسب دفن زباله، استفاده از روشی دومرحله‌ای است که طی آن، در مرحله نخست براساس ضوابط محدودکننده موجود اراضی کاملاً نامناسب حذف می‌شود و سپس در مرحله بعد، با استفاده از معیارهای مناسب از دیدگاه متخصصین، بهترین مناطق با کم‌ترین خطر زیست‌محیطی و اعتراض اجتماعی، چنان انتخاب می‌شود که برای کشورهای در حال توسعه با بودجه اندک نیز مناسب باشند.

پی‌نوشت‌ها

1. Multi Criteria Decision Analyses (MCDA)
2. Geographical Information System (GIS)
3. Not In My Backyard
4. Not In Anyone's Backyard
5. Spatial Multi Criteria Evaluation (SMCE)
6. Simple Additive Weighting
7. area numbering

منابع

[1] Abdoli M A. Recycling of municipal solid wastes; Tehran, Iran, Tehran University publishing; 2005. [In Persian]

[2] Eskandari M, Homaee M, Mahmodi S. An integrated multi criteria approach for landfill siting in a conflicting environmental, economical and socio-cultural area; Waste Management; 2012; 32: 1528-1538.

[3] Morrissey A J, Browne J. Waste management models and their application to sustainable waste management; Waste Management; 2004; 24: 297-308.

[4] Chang N B, Parvathinathan G, Breeden J B.

Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region; Journal of Environmental Management; 2008; 87(1): 139-153.

[5] Sener S, Sener E, Karaguzel R. Solid waste disposal site selection with GIS and AHP methodology: a case study in Senirkent-Uluborlu (Isparta) Basin, Turkey; Environmental Monitoring Assessment; 2011; 173: 533-554.

[6] Wang G, Li Q, Guoxue L, Lijun Ch. Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: A case study in Beijing, China; Journal of Environmental Management; 2009; 90: 2414-2421.

[7] Nas B, Cay T, Iscan F, Berktay A. Selection of MSW landfill site for Konya, Turkey using GIS and multi-criteria evaluation; Environmental Monitoring Assessment; 2010; 160: 491-500.

[8] Eskandari M, Homaee M, Mahmoodi S, Pazira E. Integrating GIS and AHP for Municipal Solid Waste Landfill Site Selection; Journal of Basic and Applied Scientific Research; 2013; 3(4): 588-595.

[9] Sumathi V R, Natesan U, Sarkar Ch. GIS-based approach for optimized siting of municipal solid waste landfill; Waste Management; 2008; 28: 2146–2160.

[10] Kontos T, Komilis D P, Halvadakis C P. Siting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology; Waste Management; 2005; 25: 818-832.

[11] Delgado O B, Mendoza M, Granados E L, Geneletti D. Analysis of land suitability for the siting of inter-municipal landfills in the Cuitzeo Lake Basin, Mexico; Waste Management; 2008; 28: 1137-1146.

[12] Geneletti D. Combining stakeholder analysis and spatial multicriteria evaluation to select and rank inert landfill sites; Waste Management; 2010; 30: 328-337.

[13] Moeinaddini M, Khorasani N, Danehkar A, Darvishsefat A A, zienalyan M. Siting MSW landfill using weighted linear combination and analytical hierarchy process (AHP) methodology in GIS environment (case study: Karaj); Waste Management; 2010; 30: 912-920.

[14] Khorasani N, Mehrdadi N, Darwishsefat A A, shokraie A. Environmental study toward site selection for Landfill for the city of Sari; Iranian natural resources journal; 2004; 57(2): 1-14. [In Persian]

[15] Salman Mahini A. Gholamalifard M. Siting MSW landfills with a weighted linear combination methodology in a GIS environment; International Journal of Environmental Science and Technology; 2006; 3(4): 435-445.

[16] Matkan A A, Shakib A R, Pouali H, Nazmfar H. Urban waste landfill site selection by GIS (Case Study: Tabriz City); Environmental Sciences Journal; 2009; 6(2): 121-132. [In Persian]

[17] Fataee E, Alesheikh A. Housing site selection of landfills for urban solid wastes using GIS technology and analytical hierarchy process (A Case Study in the City of Givi); Environmental Sciences Journal; 2009; 6(3): 145-158. [In Persian]

[18] Malczewski J. GIS and multicriteria decision analysis. New York: John Wiley & sons, Inc.; 1999.

[19] Heidarzadeh N. Criteria of municipal solid waste landfilling. Tehran, Iran, Organization of national municipalities publishing; 1999. [In Persian]

[20] Omrani Gh A. Solid Waste. Tehran, Iran, Islamic Azad University publishing; 2010. [In Persian]

[21] University of California, committee of consultants. Guidelines for interpretation of water quality for agriculture. University of California, Davis; 1974.

[22] Ayoubi Sh, Jalalian A. Land evaluation (agriculture and natural resources). Isfahan, Iran, Isfahan university of technology publishing; 2006. [In Persian]

[23] Iran's Environmental Protection Organization (IEPO), Office for Soil and Water Pollution Studies. Guidelines for Siting MSW Sanitary Landfill. Tehran, Iran; 2009. [In Persian]