

مکان یابی محل دفن پسماندهای خطرناک استان زنجان با استفاده

از تحلیل سلسله مراتبی

مهدی برومندی^۱

ماشاله خامه چیان^{۲*}

khamechm@modares.ac.ir

محمد رضا نیکودل^۳

تاریخ پذیرش: ۸۸/۶/۲۵

تاریخ دریافت: ۸۸/۳/۳۰

چکیده

زمینه و هدف: مدیریت پسماندهای خطرناک در سال‌های اخیر در کشور با توجه به رشد افزایشی آن مورد توجه قرار گرفته است. استان زنجان به دلیل وجود واحدهای صنعتی متعدد، نیاز به راهکاری مدیریتی در مورد پسماندهای خطرناک دارد. دفن پسماندها یکی از رایج‌ترین راهکارهای مدیریتی پسماندها می‌باشد. پیدا کردن محلی بهینه که هم دارای کم‌ترین خطرات زیست محیطی بوده و هم از لحاظ اقتصادی بهینه باشد، هدف اصلی این مقاله است.

روش کار: روشی که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است تلفیقی از سامانه اطلاعات جغرافیایی و تصمیم‌گیری چند متغیره می‌باشد. یک روش دو مرحله‌ای که شامل حذف مناطق ممنوع و محاسبه شاخص مناسب بودن می‌باشد، برای شناسایی محل‌های بهینه دفن پسماندها مورد استفاده قرار گرفته است.

یافته‌ها: جهت به دست آوردن اهمیت نسبی عوامل موثر از تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شده است. برای محاسبه شاخص مناسب بودن و ارزیابی منطقه مورد مطالعه جهت دفن پسماندهای خطرناک، از روش وزن‌دهی ساده افزایشی استفاده شده است. در نهایت مناطقی با شاخص مناسب بودن بالا، جهت دفن پسماندهای خطرناک در استان معرفی می‌شوند.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان می‌دهد ترکیب سامانه اطلاعات جغرافیایی و تصمیم‌گیری چند متغیره در مکان‌یابی محل دفن پسماندها بسیار کارآمد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مکان‌یابی، پسماندهای خطرناک، تحلیل سلسله مراتبی، زنجان

۱- کارشناس ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار، گروه زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس* (مسئول مکاتبات)

۳- استادیار، گروه زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه

تاثیر گذار می‌باشند. هر یک از این عوامل شرایط خاصی را ایجاد می‌کند که در مکان‌یابی محل دفن پسماندها تاثیرگذار می‌باشند. وجود عوامل متعدد باعث شده که مکان‌یابی محل دفن پسماندها هویتی چند بعدی و ساختاری میان‌رشته‌ای یافته باشد.

تا کنون تلاش‌های زیادی جهت مکان‌یابی محل دفن پسماندها صورت گرفته است؛ این امر در دهه‌های اخیر بیش‌تر مبتنی بر استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی بوده است. به دلیل وجود پارامترهای موثر بر تعیین مکان پسماندها این موضوع نیاز به تحلیل چند معیاره دارد. از روش‌های مختلفی برای مکان‌یابی محل دفن پسماندها استفاده شده است که عمده تفاوت در این پژوهش‌ها مربوط به تفاوت در نوع عوامل موثر و نحوه وزن‌دهی به عوامل موثر در مکان‌یابی محل دفن پسماندها می‌باشد. مطالعات Chang و همکاران (۲۰۰۶) (۷) و ماهینی و غلام‌علی فرد (۲۰۰۶) (۸) نمونه‌هایی از پژوهش‌هایی هستند که عوامل متعددی را جهت مکان‌یابی محل دفن پسماندها به کار برده‌اند. در حالی که برخی دیگر مانند Dorhofer (۱۹۹۳) (۹) و Simsek و همکاران (۲۰۰۶) (۱۰) فقط به بررسی یکی از عوامل موثر با هدف مکان‌یابی (به طور مثال آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در مکان‌یابی محل دفن پسماندها) پرداخته‌اند. استفاده از روش‌های مختلف برای وزن‌دهی نیز در تحقیقات اخیر دیده می‌شود. استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و سامانه اطلاعات جغرافیایی در مکان‌یابی محل دفن پسماندها یکی از روش‌هایی است که از آن استفاده شده است (۶، ۱۱ و ۱۲). هدف از انجام این تحقیق مکان‌یابی محل دفن پسماندهای خطرناک در استان زنجان با استفاده از تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل سلسله مراتبی می‌باشد.

مواد و روش

۱- منطقه مورد مطالعه

استان زنجان در ناحیه مرکزی شمال غرب کشور قرار دارد. این استان وسعتی در حدود ۲۲۱۶۴ کیلومتر مربع دارد و شهر زنجان با ارتفاع ۱۶۶۳ متر از سطح دریا، مرکز این استان

مدیریت پسماندها مساله‌ای است که امروزه با توجه به رشد روزافزون جمعیت، فن‌آوری و صنعت باید مورد توجه جدی قرار بگیرد. نبود مدیریت پسماندها و یا مدیریت نادرست آن می‌تواند سلامت محیط زیست و بشر را به مخاطره بیندازد.

پسماندهای خطرناک که با ۴ ویژگی اشتعال‌پذیری، خوردگی، سمیت و واکنش‌پذیری بالا شناخته می‌شوند و نسبت به سلامتی انسان و محیط زیست خطر آفرین هستند (۱-۴)، باید به طرز صحیحی دفن شوند تا میزان این خطرات را کاهش دهند. انباشت این پسماندها به طور غیراصولی و یا در مکانی نامناسب می‌تواند عواقب جبران‌ناپذیری داشته باشد. مشکل تولید، ذخیره، اصلاح، حمل و نقل، بازیافت و دفن پسماندهای خطرناک تبدیل به یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های کشورها و به خصوص کشورهای در حال توسعه شده است (۵). بیش‌تر پسماندهای خطرناک تولیدشده در کشورهای در حال توسعه یا به صورت کنترل نشده دفن می‌شوند و یا در محل دفن پسماندهای شهری، دفع می‌شوند (۵). راه‌کارهایی متعددی جهت مدیریت پسماندها وجود دارد که کاهش تولید پسماندها، بازیافت، سوزاندن، ذخیره در زیر زمین و دفن پسماندها^۱ از جمله این راه‌کارهای مدیریتی می‌باشد (۱ و ۳). مدفن بهداشتی پسماندها برای پسماندهای خطرناک به عنوان یکی از راه‌کارهای متداول در اغلب کشورها به کار می‌رود.

دفن پسماندها به دلیل هزینه پایین در مقایسه با دیگر راه‌کارهای مدیریتی و همچنین قبول طیف وسیعی از انواع پسماندها، در سطح دنیا یکی از متداول‌ترین روش‌ها می‌باشد (۶). جهت اجرای صحیح این راهکار نیاز به یافتن محلی مناسب است که کم‌ترین اثرات سوء را برای محیط زیست و منابع طبیعی اطراف محل دفن داشته باشد و از نظر اقتصادی نیز کم‌ترین هزینه‌ها و از دیدگاه مهندسی نیز بهترین ویژگی را دارا باشد.

مکان‌یابی محل دفن پسماندها فرآیندی بسیار پیچیده و مشکل‌می‌باشد، زیرا عوامل بسیار و متعددی در این فرآیند

عوامل زیادی در انتخاب محل دفن پسماندهای خطرناک موثر می‌باشند. این عوامل شامل عوامل زمین‌شناسی، زیست‌محیطی، هیدرولوژی، هیدروژئولوژیکی، اقتصادی، اجتماعی، ریخت‌شناسی و ... می‌باشد. این عوامل با توجه به شرایط منطقه می‌تواند تغییر کند.

عوامل موثر در مکان‌یابی محل دفن پسماندهای خطرناک با توجه به تأثیری که بر این امر دارند، در این جا با مقیاس ۱ تا ۵ طبقه‌بندی می‌شوند. امتیاز ۱ مناطق خیلی نامناسب و ۵ مناطق کاملاً مناسب جهت دفن پسماندها را نشان می‌دهد. همچنین با توجه به برخی عوامل حریمی در نظر گرفته می‌شود که به منزله مکان‌هایی است که به هیچ وجه قابلیت دفن پسماندهای خطرناک را ندارند و به عنوان مناطق ممنوع شناسایی می‌شوند. مناطق ممنوع^۵، مناطقی هستند که به دلیل خطرات زیست محیطی، خطر نسبت به سلامتی بشر و هزینه‌های خیلی زیاد جهت دفن پسماندها مناسب نیستند (۱۴ و ۱۵).

برای به دست آوردن محل‌های مناسب جهت دفن پسماندها از یک روش دو مرحله‌ای در این تحقیق استفاده شده است. مرحله اول شناخت مناطق ممنوع جهت دفن پسماندها در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. مرحله دوم ارزیابی مناطق جهت دفن پسماندها می‌باشد که در این مرحله با استفاده از تصمیم‌گیری چند متغیره، به لایه‌های اطلاعاتی وزن داده می‌شود و از روی هم‌نهی لایه‌های اطلاعاتی یک نقشه با پهنه‌بندی منطقه، تهیه می‌شود. از روی هم‌نهی نقشه مناطق ممنوع و نقشه پهنه‌بندی یک نقشه ارزیابی به دست می‌آید که مناطق مستعد دفن را می‌توان با توجه به آن مشخص کرد.

۳- عوامل موثر

در این مطالعه ۱۶ لایه اطلاعاتی شامل شیب، زمین‌شناسی (سنگ‌شناسی، گسل‌های اصلی و فرعی)، آب‌های سطحی (رودخانه‌ها و آبراهه‌ها)، هیدروژئولوژی، فرسایش‌پذیری، کاربری اراضی، اقلیم (بارش و تبخیر)، مراکز جمعیتی (شهرها، روستاها، مراکز صنعتی)، راه‌های اصلی و فرعی به صورت رقومی

می‌باشد. این استان از شمال به استان‌های گیلان و اردبیل، از شرق به استان قزوین، از جنوب غربی و غرب به استان‌های کردستان، آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی و از جنوب به استان همدان محدود است.

از نظر موقعیت جغرافیایی این استان در ۳۳ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۵ دقیقه عرض جغرافیایی شمالی و ۴۷ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۲۰ دقیقه طول جغرافیایی محدود شده است. بر اساس آخرین تقسیمات کشوری (سال ۱۳۸۶) استان زنجان دارای هفت شهرستان ابهر، ایجرود، خدابنده، خرم‌دره، زنجان، طارم و ماه‌نشان و همچنین دارای ۱۶ بخش، ۴۶ دهستان و ۱۱۳۷ آبادی می‌باشد. بر اساس آخرین سرشماری کشور جمعیت استان بالغ بر ۹۶۴۶۰۱ نفر می‌باشد (۱۳).

۲- روش شناسی

در این مقاله از ترکیب سامانه اطلاعات جغرافیایی^۱ (GIS) و تصمیم‌گیری چند متغیره^۲ (MCA) جهت مکان‌یابی استفاده شده است. تلفیق GIS و تصمیم‌گیری چندمتغیره ابزار قدرتمندی را به وجود می‌آورد که در مکان‌یابی محل دفن پسماندها بسیار راهگشا می‌باشد، زیرا که GIS مدیریت و دستکاری داده‌ها را برعهده می‌گیرد و با استفاده از تصمیم‌گیری چند متغیره، وزن‌دهی و ارزیابی همه عوامل انجام می‌گیرد (۶).

این روش شامل مراحل زیر می‌باشد (۱۱):

- ۱- تهیه داده‌های رقومی مورد نیاز با استفاده از بسته نرم‌افزاری GIS
- ۲- مشخص نمودن پارامترهای موثر در مکان‌یابی
- ۳- کاربرد سلسله مراتب تحلیلی^۳ (AHP) جهت تعیین وزن نسبی پارامترهای موثر
- ۴- وزن دهی ساده برای شناسایی شاخص مناسب بودن^۴
- ۵- تعیین مناطق مناسب جهت دفن پسماندهای خطرناک

- 1-Geographic information system
- 2-Multi Criteria Analysis
- 3-Analytical Hierarchy Process
- 4-Suitability index

قرار می‌گیرد و هم از دیدگاه زمین‌شناسی ساختمانی، که در اینجا گسل‌های اصلی و فرعی جهت ارزیابی منطقه مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است. برای منطقه مورد مطالعه با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی، جنس لایه‌ها مشخص شده است و طبقه‌بندی و امتیازدهی با توجه به جدول ۱ صورت گرفت. نتیجه حاصل در شکل ۲ ارایه شده است. امتیاز صفر نشان دهنده مناطق ممنوع جهت دفن پسماندهای خطرناک می‌باشد.

نواحی گسل خورده از دو دیدگاه جهت دفن پسماندها مناسب نیستند. نخست این‌که مناطق گسلی (فعال و غیرفعال) نفوذپذیری منطقه را بالا برده و حرکت شیرابه را در مجراها بیش‌تر می‌کند. دیدگاه دیگر به بررسی تاثیر گسل در لرزه‌خیزی منطقه می‌پردازد. ساختمان مدفن پسماندها به عنوان یک سازه مهندسی می‌تواند تحت تاثیر حرکات ناشی از زلزله و گسلش، تخریب و سلامت محیط زیست و انسان را تهدید کند.

برای استفاده در محیط نرم‌افزاری GIS تهیه شدند. فایل‌های تهیه شده به فرمت رستر با قدرت تفکیک ۱۰۰ متر تبدیل شدند. تحلیل و بررسی بر روی فایل‌های با فرمت رستر دارای انعطاف‌پذیری بیش‌تری نسبت به فرمت برداری می‌باشند.

در صورتی که مکان‌یابی محل دفن پسماندها را به صورت یک فرآیند سلسله‌مراتبی نشان دهیم، هدف اصلی مکان‌یابی می‌باشد و با توجه به عوامل موثر سلسله‌مراتب بعدی مشخص می‌شوند و در نهایت لایه‌های اطلاعاتی در ردیف آخر قرار می‌گیرند. تحلیل سلسله‌مراتبی برای مکان‌یابی محل دفن پسماندها در شکل ۱ نشان داده شده است.

۳-۱- زمین‌شناسی

سنگ‌شناسی هر منطقه به طور مستقیم کنترل‌کننده نوع خاکی است که از آن ایجاد می‌شود. خاکی که باید ظرفیت باربری و همچنین مهاجرت شیرابه‌ها را کنترل کند (۱۶). سنگ و نوع ساختار آن تعیین‌کننده طبیعت خاک و میزان نفوذپذیری سنگ بستر می‌باشد. ساختارهای زمین‌شناسی نیز می‌توانند در حرکت شیرابه‌ها و آلودگی آب‌های زیرزمینی نقش داشته باشند. همچنین این ساختارها بر روی شکست دامنه‌ای در طول درزه‌ها و صفحات لایه‌بندی تاثیرگذار می‌باشند (۱۶). بنابراین در مورد زمین‌شناسی هم جنس لایه‌ها مورد بررسی

مکان‌یابی محل دفن پسماندها



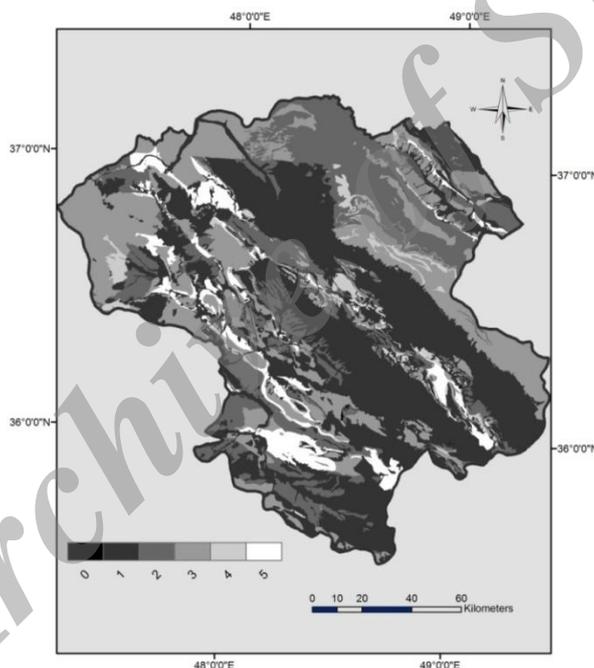
شکل ۱- تحلیل سلسله‌مراتبی در مکان‌یابی محل دفن پسماندهای خطرناک

جدول ۱- قابلیت دفن پسماندها بر اساس جنس سنگ بستر

مناسب بودن	جنس واحد زمین شناسی
بسیار بالا (۵)	شیل، مارن و رس
بالا (۴)	شیست، توف رسی، سنگ‌های تبخیری، پهنه‌های رسی گلی، لس ریز دانه
مناسب تا ضعیف (۳)	سنگ‌های آذرین و دگرگونی با شکستگی کم
ضعیف تا خیلی ضعیف (۲)	تناوب ماسه‌سنگ و شیل، مارن‌های ماسه‌ای
نامناسب (۱)	ماسه‌سنگ، آهک، دولومیت، نهشته‌های دامنه‌ای، کنگلومرا، مخروط افکنه، آبرفت‌های عهد حاضر، مخروط افکنه‌ها
مناطق ممنوع	زمین لغزش‌ها، دشت‌های سیلابی

مورد مطالعه با توجه به فاصله از گسل‌های اصلی و فرعی استان طبقه بندی انجام یافته است (جدول ۲).

آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) حداقل فاصله ۶۰ متر از گسل‌های فعال را توصیه کرده است (۱۷). در منطقه



شکل ۲- قابلیت دفن پسماندهای خطرناک با توجه به جنس سنگ

۳-۲- آب‌های سطحی

حدود ۱۰۰ فوت (۳۰/۴۸ متر) از هر رودخانه یا آبراهه و حداقل ۳۰۰ فوت (۹۱/۴۴ متر) از رودخانه‌های پیچ‌درپیچ (ماندری) قرار بگیرد (۱۸).

در مورد منطقه مورد مطالعه علاوه بر این که سدها، بندها و دریاچه آن‌ها به عنوان مناطق ممنوع در نظر گرفته شده‌اند، بر اساس تراکم آبراهه‌های استان و همچنین فاصله از رودهای اصلی منطقه طبقه‌بندی انجام گرفته است (جدول ۲).

یکی از پارامترهای مهمی که در مکان‌یابی محل دفن پسماندها باید مورد توجه قرار گیرد، وجود آب‌های سطحی آن منطقه می‌باشد. آب‌های سطحی شامل دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، آبراهه‌ها، مسیل‌ها، باتلاق‌ها و ... باید شناسایی و بررسی‌های لازم بر روی آن‌ها انجام گیرد. مدفن پسماندها نباید در محیطی واقع شود که احتمال خطر آلودگی آب‌های سطحی و منابع آب وجود داشته باشد. بنابراین مدفن پسماندها باید در فاصله‌ای در

۳-۳- آب‌های زیرزمینی

زیرزمینی (چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات) و تراکم آن‌ها طبقه‌بندی انجام یافته است (جدول ۲). تراکم بالای منابع بهره‌برداری موقعیت آبخوان‌های مهم استان را نیز مشخص می‌کند. میزان تراکم بر اساس تعداد منابع بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی (شامل چاه، چشمه و قنات) در واحد کیلومتر مربع و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS Desktop تعیین شده است. نقشه تهیه شده در شکل ۳ ارائه شده است.

مدفن پسماندها باید حداقل در فاصله‌ای در حدود ۳۰۵ متری از چاه‌های آب قرار داشته باشد. عمق آب زیرزمینی منطقه در محل دفن پسماندها اهمیت زیادی دارد. معمولاً آبخوان‌هایی با عمق سطح آب زیرزمینی بیش از ۶۰ متر جهت دفن پسماندها مناسب در نظر گرفته می‌شوند (۱۱، ۱۶ و ۱۹). مناسب بودن محل دفن پسماندها بر اساس عمق آب زیرزمینی منطقه در جدول ۳ ارائه شده است. اهمیت توجه به آبخوان‌ها در مکان‌یابی محل دفن پسماندها مورد توجه جدی قرار گرفته است. در استان زنجان با توجه به منابع بهره‌برداری از آب‌های

جدول ۲- قابلیت دفن پسماندها بر اساس عوامل مختلف

امتیاز					عامل موثر	
۱	۲	۳	۴	۵		
۱-۳	۳-۵	۵-۱۰	۱۰-۱۵	بیش از ۱۵	فاصله از گسل‌های اصلی (کیلومتر)	زمین شناسی
۰/۵-۱	۱-۲	۲-۳	۳-۴	بیش از ۴	فاصله از گسل‌های فرعی (کیلومتر)	
۱-۲	۲-۴	۴-۶	۶-۸	بیش از ۸	فاصله از رودخانه (کیلومتر)	آب‌های سطحی
خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم	تراکم آبراهه	
خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم	تراکم منابع بهره‌برداری	آب‌های زیرزمینی
بیش از ۲۰	۱۵-۲۰	۱۰-۱۵	۵-۱۰	۰-۵	شیب سطح زمین (درجه)	ریخت‌شناسی
کمتر از ۱۸۰۰	۱۸۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۲۲۰۰	۲۲۰۰-۲۴۰۰	بیش از ۲۴۰۰	میزان تبخیر (میلی‌متر)	شرایط اقلیم
بیش از ۶۰۰	-۶۰۰	-۵۰۰	-۴۰۰	کمتر از ۳۰۰	میانگین بارندگی (میلی‌متر)	
بیش از ۲۰	۱۵-۲۰	۱۰-۱۵	۵-۱۰	۱-۵	فاصله از راه اصلی (کیلومتر)	راه‌های دسترسی
بیش از ۸	۶-۸	۴-۶	۲-۴	۰/۵-۲	فاصله از راه فرعی (کیلومتر)	
بیش از ۵۰	۳۰-۵۰	۲۰-۳۰	۱۰-۲۰	۵-۱۰	فاصله از شهرها (کیلومتر)	فاصله از منابع
۰/۵-۱	۱-۲	۲-۳	بیش از ۵	۳-۵	فاصله از روستاها (کیلومتر)	تولیدی
بیش از ۴۰	۳۰-۴۰	۲۰-۳۰	۱۰-۲۰	۳-۱۰	فاصله از شهرک‌های صنعتی (کیلومتر)	

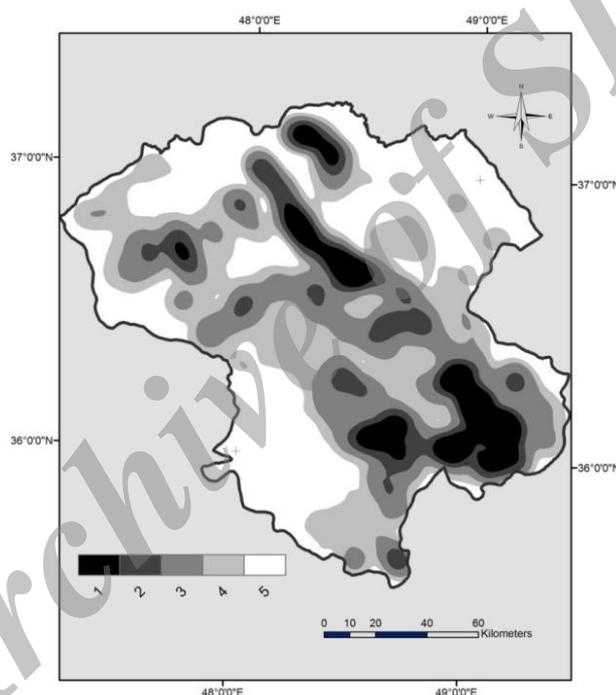
جدول ۳- قابلیت دفن پسماندها با توجه به عمق آب زیرزمینی (۱۱)

مناسب بودن	عمق آب زیر زمینی
بالا	بیش از ۶۰ متر (۲۰۰ فوت)
متوسط	بین ۱۵ متر تا ۶۰ متر
کم	کمتر از ۱۵ متر (۵۰ فوت)

۳-۴- ریخت شناسی

قابلیت شکست دامنه‌ای ارتباط مستقیمی با میزان شیب توپوگرافی دامنه دارد. شکست دامنه‌ای در زیر یا در نزدیکی محل دفن پسماندها باعث شکست در بدنه مدفن پسماندها شده و مواد دفن شده در محیط اطراف آزاد می‌شوند. بر این اساس شیب‌های بیش از ۱۵٪ باید به عنوان مناطق

نامناسب جهت دفن پسماندها مورد بررسی قرار بگیرد (۱۸). در منابع مختلف طبقه‌بندی‌های متفاوتی بر اساس شیب جهت دفن پسماندهای خطرناک صورت گرفته است. در این مقاله طبقه‌بندی شیب بر اساس مقدار شیب به دست آمده از نقشه توپوگرافی برحسب درجه در جدول ۲ ارائه شده است.



شکل ۳- قابلیت دفن پسماندهای خطرناک با توجه به تراکم منابع بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی

۳-۵- کاربری زمین

مناسب‌ترین محل از نظر کاربری زمین برای دفن پسماندها مناطق با کاربری صنعتی می‌باشد. مناطقی که دارای کاربری مشخص نیستند یا کاربری‌هایی مانند کشاورزی به صورت ضعیف دارند، نیز جهت مکان‌یابی پسماندها مناسب به نظر می‌رسند (۱۹). نوع کاربری اراضی در استان زنجان و همچنین امتیازی که کاربری اراضی با هدف دفن پسماندهای خطرناک در آن، کسب کرده است، در جدول ۴ ارائه شده است.

۳-۶- شرایط اقلیمی

در مکان‌یابی محل دفن پسماندها شرایط اقلیمی مانند بادهای غالب، میزان بارش، تبخیر و تغییرات دمایی باید مورد توجه قرار بگیرند. این‌ها مواردی هستند که می‌توانند در تولید شیرابه، گرد و غبار، خاک‌های پوششی و میزان فرسایش تاثیر گذار باشند (۱۶). در این‌جا عواملی که مورد بررسی قرار گرفته‌اند، میانگین بارش و تبخیر سالیانه در استان می‌باشد و بر اساس آن‌ها امتیازدهی انجام یافته است (جدول ۲).

۳-۷- راه‌های دسترسی

فرعی ۵۰۰ متر به عنوان حریم در نظر گرفته شده است، تا از دفن پسماندها در مجاورت راه‌ها به دلیل خطرات زیست‌محیطی و زیبایی شناختی جلوگیری شود. طبقه‌بندی انجام یافته با توجه به فاصله از راه‌های اصلی و فرعی استان و تاثیر آن در مکان‌یابی محل دفن پسماندها در جدول ۲ مشاهده می‌شود.

به طور کلی برای سهولت و کاهش زمان حمل و نقل، مکان دفن باید تا حد امکان دارای راه اصلی و جاده بوده و دسترسی به محل آن‌ها آسان باشد. همچنین باید دقت کرد که جاده‌ها از نظر عرض و پهنا برای عبور ماشین‌های سنگین مناسب باشد. برای راه‌های اصلی یک کیلومتر و برای راه‌های

جدول ۴- قابلیت دفن پسماندها بر اساس کاربری اراضی

ردیف	علامت اختصاری	نوع کاربری اراضی	توضیحات	امتیاز
۱	BL	اراضی بدون پوشش و بیرون زدگی سنگی	اراضی با تاج پوشش گیاهان مرتعی کمتر از ۵٪ و بیرون زدگی سنگی	۵
۲	RB	بستر رودخانه	بستر رودخانه های بزرگ	۰
۳	SH	بیشه‌زار و درختچه‌زار	درختچه زار با تراکم تاج پوشش بیش از ۱۰ درصد	۳
۴	R3	مراتع کم تراکم	مرتع با تراکم تاج پوشش بیش از ۵۰ درصد (گیاهان یک و چند ساله)	۴
۵	R2	مراتع نیمه متراکم	مرتع با تراکم تاج پوشش بین ۵۰-۲۵ درصد (گیاهان یک و چند ساله)	۴
۶	R1	مراتع متراکم	مرتع با تراکم تاج پوشش بین ۲۵-۵ درصد (گیاهان یک و چند ساله)	۳
۷	IF	زراعات آبی و باغات	---	۲
۸	DF	زراعات دیم	---	۳
۹	L	سطوح آبی	دریاچه‌ها و مخازن آب	۰
۱۰	F3	جنگل تنک	جنگل با تراکم تاج پوشش ۲۵-۵ درصد	۲
۱۱	F2	جنگل نیمه انبوه	جنگل با تراکم تاج پوشش ۵۰-۲۵ درصد	۲
۱۲	F1	جنگل انبوه	جنگل با تراکم تاج پوشش بیش از ۵۰ درصد	۱
۱۳	URB	مناطق مسکونی	مناطق شهری، روستایی و تاسیسات	۰

امتیاز ۰ نشان دهنده مناطق ممنوع می‌باشد.

۳-۸- فاصله از منابع تولید پسماندها

زیاد از روستاها به دلیل کاهش دسترسی به محل‌های مناسب امتیاز کم‌تری کسب می‌کنند.

۴- وزن نسبی پارامترها

تعیین وزن‌ها یک مرحله اصلی در استخراج اولویت‌های تصمیم‌گیر به شمار می‌رود. در این جا برای تعیین وزن نسبی لایه‌های اطلاعاتی از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است. روش مقایسه دوتایی به وسیله ساعتی (۱۹۸۰) در زمینه فرآیند سلسله مراتب تحلیلی (AHP) ارایه شده است. این روش شامل مقایسه دوتایی به منظور ایجاد یک ماتریس نسبت می‌باشد (نقل از ۱۱،۲۰ و ۲۱). این روش مقایسه‌های دوتایی

محل دفن پسماندها باید در خارج از مراکز جمعیتی و صنعتی باشد. با توجه به خطرات احتمالی ناشی از آلودگی محیط حتما باید حریم لازم از شهرها و روستاها رعایت شود. Sener (۲۰۰۶) فاصله ۵ کیلومتر را برای شهرها، یک کیلومتر برای شهرک‌ها و روستاهای با جمعیت بیش از ۵۰۰ نفر و ۵۰۰ متر را برای دیگر روستاها در نظر گرفته است (۶). طبقه‌بندی ارایه شده برای مراکز جمعیتی و تولیدی در جدول ۲ مشاهده می‌شود. شهرک‌های صنعتی و شهرها به عنوان منابع تولید پسماندهای خطرناک در نظر گرفته شده‌اند ولی برای روستاها احتمال آلودگی نیز مورد توجه قرار گرفته است. هرچند فاصله

عوامل موثر را به عنوان ورودی دریافت کرده و وزن‌های نسبی را به عنوان خروجی تولید می‌نماید.

بنابراین با توجه به وجود ۱۶ عامل موثر در مکان‌یابی محل دفن پسماندهای خطرناک استان زنجان یک ماتریس ۱۶*۱۶ تهیه شد که در جدول ۵ ارایه شده است. در این

ماتریس عوامل موثر دو به دو با هم مقایسه و با توجه به اهمیت‌شان نسبت به یکدیگر امتیازی در مقیاس ۱ تا ۹ کسب می‌کنند. با استفاده از عملیاتی که توسط ساعتی جهت محاسبه وزن ارایه شده است، وزن نسبی برای هر کدام از عوامل محاسبه شده و در ستون انتهایی جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵- ماتریس نسبت جهت تعیین اهمیت نسبی عوامل موثر در مکان‌یابی محل دفن پسماندهای خطرناک

عوامل موثر	شهر	هیدروژنولوزی	شهر	رودخانه	شهرک‌های صنعتی	آبراهه	زمین شناسی	روستا	کاربری زمین	گسل اصلی	راه اصلی	راه فرعی	فرسایش	گسل فرعی	بارش	تبخیر	وزن نسبی
شیب	۱	۱	۲	۳	۳	۴	۵	۵	۶	۶	۷	۸	۸	۹	۹	۰/۱۹۱	
هیدروژنولوزی	۱/۲	۱	۱	۲	۲	۳	۴	۴	۵	۵	۶	۷	۷	۸	۸	۰/۱۳۷	
شهر	۱/۲	۱	۱	۲	۲	۳	۴	۴	۵	۵	۶	۷	۷	۸	۸	۰/۱۳۷	
رودخانه	۱/۳	۱/۲	۱/۲	۱	۱	۲	۳	۳	۴	۴	۵	۶	۶	۷	۷	۰/۰۹۷	
شهرک‌های صنعتی	۱/۳	۱/۲	۱/۲	۱	۱	۲	۳	۳	۴	۴	۵	۶	۶	۷	۷	۰/۰۹۷	
آبراهه	۱/۴	۱/۳	۱/۳	۱/۲	۱/۲	۱	۲	۲	۳	۳	۴	۵	۵	۶	۶	۰/۰۹۶	
زمین شناسی	۱/۵	۱/۴	۱/۴	۱/۳	۱/۳	۱/۲	۱	۱	۲	۲	۳	۴	۴	۵	۵	۰/۰۵۰	
روستا	۱/۵	۱/۴	۱/۴	۱/۳	۱/۳	۱/۲	۱	۱	۲	۲	۳	۴	۴	۵	۵	۰/۰۵۰	
کاربری زمین	۱/۶	۱/۵	۱/۵	۱/۴	۱/۴	۱/۳	۱/۲	۱/۲	۱	۱	۲	۳	۳	۴	۴	۰/۰۳۲	
گسل اصلی	۱/۶	۱/۵	۱/۵	۱/۴	۱/۴	۱/۳	۱/۲	۱/۲	۱	۱	۲	۳	۳	۴	۴	۰/۰۳۲	
راه اصلی	۱/۶	۱/۵	۱/۵	۱/۴	۱/۴	۱/۳	۱/۲	۱/۲	۱	۱	۲	۳	۳	۴	۴	۰/۰۳۲	
راه فرعی	۱/۷	۱/۶	۱/۶	۱/۵	۱/۵	۱/۴	۱/۳	۱/۳	۱/۲	۱/۲	۱	۲	۲	۳	۳	۰/۰۲۲	
فرسایش	۱/۸	۱/۷	۱/۷	۱/۶	۱/۶	۱/۵	۱/۴	۱/۴	۱/۳	۱/۳	۱/۲	۲	۲	۳	۲	۰/۰۱۶	
گسل فرعی	۱/۸	۱/۷	۱/۷	۱/۶	۱/۶	۱/۵	۱/۴	۱/۴	۱/۳	۱/۳	۱/۲	۲	۲	۳	۲	۰/۰۱۶	
بارش	۱/۹	۱/۸	۱/۸	۱/۷	۱/۷	۱/۶	۱/۵	۱/۵	۱/۴	۱/۴	۱/۳	۲	۲	۳	۱	۰/۰۱۱	
تبخیر	۱/۹	۱/۸	۱/۸	۱/۷	۱/۷	۱/۶	۱/۵	۱/۵	۱/۴	۱/۴	۱/۳	۲	۲	۳	۱	۰/۰۱۱	

نتایج

در این تحقیق مناطق ممنوع شامل مناطقی هستند که در مرحله امتیازدهی، امتیاز صفر کسب کرده‌اند و همچنین مناطقی که باید برای آن‌ها حریم مورد نظر رعایت شود. به طور مثال مناطقی که از طرف سازمان حفاظت محیط زیست به عنوان مناطق حفاظت شده معرفی شده‌اند، همراه با حریم یک کیلومتری برای آن‌ها به عنوان مناطق ممنوع مشخص می‌شوند. میزان حریم در نظر گرفته شده برای عوامل مختلف در جدول ۶ مشخص شده است. همچنین درصد پوشش داده شده توسط

حریم هر کدام از لایه‌های اطلاعاتی نیز به صورت درصدی از مساحت استان ذکر شده است. این نکته قابل توجه است که مجموع درصد‌های پوشش داده شده از صد در صد بیش‌تر خواهد شد و این مربوط به همپوشانی حریم برخی لایه‌های اطلاعاتی با یکدیگر است. در نهایت وسعتی از استان که به عنوان مناطق ممنوع در نظر گرفته شده و امکان دفن پسماندها در این مناطق وجود ندارد، ۷۱٪ مساحت استان می‌باشد.

جدول ۶- مناطق ممنوع جهت دفن پسماندهای خطرناک در استان زنجان

ردیف	منطقه ممنوع	میزان حریم	درصد پوشش داده شده
۱	مناطق حفاظت شده	کل منطقه و یک کیلومتر حریم	۱۲/۴۹
۲	شهر	۵ کیلومتر از حومه شهر	۸/۶۳
۳	روستا	۵۰۰ متر	۱۲/۹۹
۴	راه اصلی	یک کیلومتر	۷/۴۷
۵	راه فرعی	۵۰۰ متر	۱۱/۷۴
۶	راه آهن	یک کیلومتر	۱/۹۰
۷	فرودگاه	۸ کیلومتر	۰/۹۲
۸	رود اصلی	یک کیلومتر	۱۳/۰۹
۹	آبراهه	۵۰۰ متر	۳۲/۲۶
۱۰	سدهای اصلی	یک کیلومتر	۰/۰۹
۱۱	بندها	۵۰۰ متر	۱/۵۵
۱۲	دریاچه سد	دریاچه و یک کیلومتر حریم	۱/۱۴
۱۳	گسل اصلی	یک کیلومتر	۱/۸۶
۱۴	گسل فرعی	۵۰۰ متر	۹/۲۹
۱۵	چاهها	۵۰۰ متر	۱۲/۳۴
۱۶	چشمهها	۵۰۰ متر	۱۵/۱۱
۱۷	قنوات	۵۰۰ متر	۱/۸۸

رایج ترین روش ها در تصمیم گیری چند متغیره می باشد. برای محاسبه شاخص مناسب بودن در این روش از رابطه ۱ استفاده می شود:

$$V_i = \sum_{j=1}^n W_j v_{ij} \quad (1)$$

که در این رابطه V_i شاخص مناسب بودن برای مساحت i ، W_j وزن نسبی برای پارامتر j ، v_{ij} امتیاز مساحت i در پارامتر j ، و n تعداد پارامترها می باشد (۸).

شاخص مناسب بودن برای منطقه مورد مطالعه بین ۱/۳۵۸ تا ۴/۸۵۹ متغیر می باشد. این فاصله مطابق با طبقه بندی های قبلی انجام گرفته به ۵ رده با فواصل برابر تقسیم شد (جدول ۷). نتیجه به صورت یک طیف رنگی در شکل ۴ مشاهده می شود. پهنه های پیشنهادی از بین رده های ۴ و ۵ و در مناطقی که دارای مساحت کافی جهت احداث مدفن پسماندها باشند، پیشنهاد می شوند. مناطق ممنوع در این شکل با رنگ سفید مشخص شده است. موقعیت پهنه های مستعد

حال به ارزیابی شاخص های مختلف در استان پرداخته می شود و در نهایت با طبقه بندی آن ها مناطق مستعد دفن پسماندهای خطرناک گزینش می شوند. همان طور که قبلا نیز به آن اشاره شد در این مقاله از روش وزن دهی سلسله مراتبی (AHP) جهت به دست آوردن وزن نسبی عوامل موثر استفاده شد. برای اطمینان از این موضوع که در ماتریس تناسب مقایسه های صورت گرفته بین عوامل موثر سازگار هستند، از شاخصی به نام شاخص توافق^۱ (CI) استفاده می شود. در صورتی که مقدار این شاخص از ۰/۱ کم تر باشد نشان دهنده سازگاری ماتریس بوده (۲۱) و از وزن های نسبی به دست آمده می توان برای ارزیابی استفاده کرد. مقدار این شاخص برای این ماتریس ۰/۰۳۱ به دست آمده است.

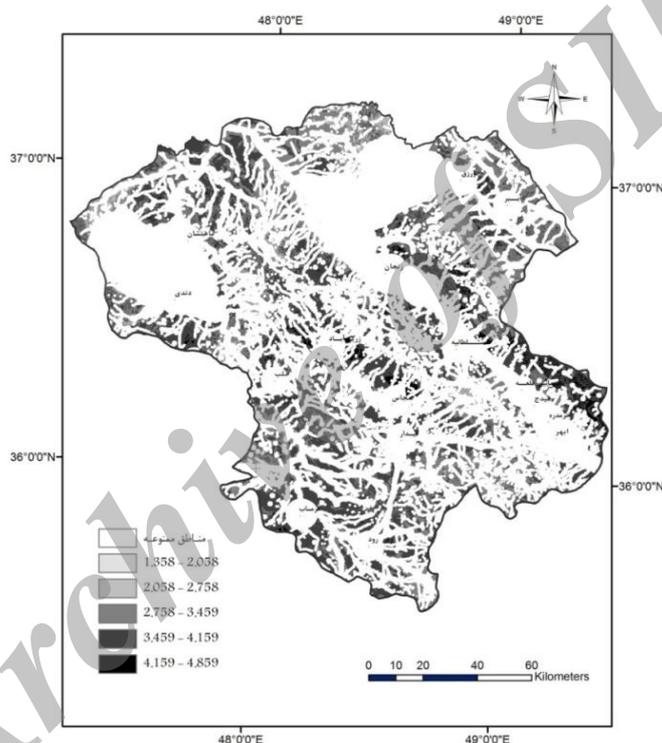
برای تعیین میزان شاخص مناسب بودن و ارزیابی مناطق مستعد استان جهت دفن پسماندهای خطرناک از روش وزن دهی ساده استفاده شد. این روش یکی از متداول ترین و

1-Consistency Index

جهت دفن پسماندهای خطرناک در استان زنجان در شکل ۵ دیده می‌شود.

جدول ۷- طبقه‌بندی شاخص مناسب بودن و توصیف آن

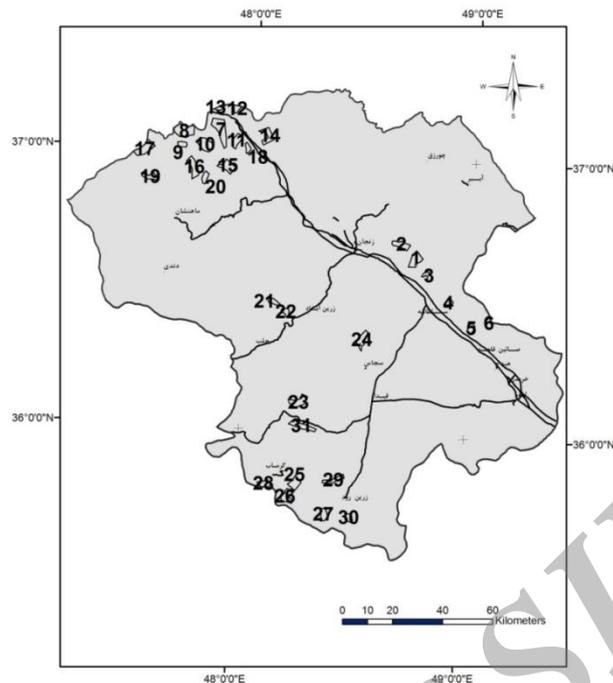
توصیف	مجموع امتیاز
کاملاً نامناسب	۱/۳۵۸ - ۲/۰۵۸
نامناسب	۲/۰۵۸ - ۲/۷۵۸
نسبتاً مناسب	۲/۷۵۸ - ۳/۴۵۹
مناسب	۳/۴۵۹ - ۴/۱۵۹
کاملاً مناسب	۴/۱۵۹ - ۴/۸۵۹



شکل ۴- نقشه شاخص مناسب بودن جهت دفن پسماندهای خطرناک در استان زنجان

کیفیت آب زیرزمینی، جهت و سرعت باد و فاصله از خطوط نیرو نیز مورد توجه قرار گرفت، تا مناسب‌ترین گزینه‌ها انتخاب شوند. در نهایت از بین پهنه‌های پیشنهادی، پهنه‌های شماره ۷، ۱۴ و ۲۹ به عنوان گزینه‌های نهایی پیشنهاد شدند.

جهت نهایی کردن پهنه‌های پیشنهادی و همچنین بررسی مطالعات صورت گرفته، از پهنه‌های تعیین شده بازدید انجام یافت. در بازدیدهای صحرائی علاوه بر عواملی که در مراحل ارزیابی مورد بررسی قرار گرفتند، پارامترهایی مانند عمق و



شکل ۵- موقعیت پهنه‌های مستعد جهت دفن پسماندهای خطرناک در استان زنجان

نتیجه‌گیری

محاسبه صحیح اهمیت نسبی پارامترها، تاثیر زیادی در انتخاب صحیح محل دفن پسماندها می‌گذارد. بازدیدهای میدانی از محل‌های پیشنهادی جهت بررسی نتایج به دست آمده تکمیل کننده نتایج حاصل می‌باشد و محل‌های بهینه جهت دفن پسماندها با توجه به این بررسی‌ها گزینش می‌شوند.

منابع

1. Tchobanoglous, G., Kreith, F., 2002., Handbook of Solid Waste Management, McGraw-Hill Pub., New York.
2. عباس پور، م؛ ۱۳۷۷؛ مهندسی محیط زیست؛ جلد اول؛ مرکز انتشارات علمی دانشگاه آزاد اسلامی.
3. Williams P.t., 2005, Waste treatment and disposal. 2nd edition, John wiley and sons, 380p.
4. LaGrega M., Buckingham P.L., Evans J.C., 2001, Environmental resources management, 2nd edition, McGraw-Hill Pub.
5. M. I. Yesilnacar, H. Cetin., 2005, Site selection for hazardous wastes: A case

روشی که در این مقاله جهت مکان‌یابی محل دفن پسماندها مورد استفاده قرار گرفت، شامل استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل‌های چند متغیره می‌باشد. ترکیب سامانه اطلاعات جغرافیایی و تصمیم‌گیری چند متغیره در مکان‌یابی محل دفن پسماندها بسیار مناسب می‌باشد و در صورتی که نقشه‌ها و اطلاعات مورد استفاده قرار گرفته دارای دقت بالایی باشند، می‌توان به نتایج به دست آمده تکیه کرد. در تصمیم‌گیری چند متغیره تعیین اهمیت نسبی پارامترها به وسیله روش تحلیل سلسله مراتبی AHP جهت محاسبه اهمیت نسبی پارامترها کارآمد به نظر می‌رسد. با توجه به سازگاری بالای ماتریس نسبت تهیه شده (با توجه به مقدار CI) از مقادیر به دست آمده در وزن دهی ساده برای محاسبه شاخص مناسب بودن استفاده شد. سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به عنوان یک ابزار در هر دو مرحله به کمک گرفته شد تا تحلیل‌های مکانی مربوطه انجام شود.

تشخیص مناسب پارامترها با توجه به قوانین و مقررات موجود و همچنین وضعیت کلی منطقه، رعایت حریم لازم،

14. Sadek S., El-Fadel M., and Freiha F., 2006, Factors within a gis-based framework for landfill siting, *International Journal of Environmental Studies*, Volume 63, Number 1, pp. 71-86.
15. Cumminus V., Odennell V., Allen A., Doneolly J., Kokoulas S., 2002, A new approach to landfill site selection in Ireland using GIS, Available in : technology,2002,cmrc.ucc.ie/publication s/conf_proceedings/Rio_Landfill.pdf
16. Sener, B.,2004, Landfill site selection by using geographic information system. M.Sc Thesis, METU, 114 pp. <http://www.rsgis.metu.edu.tr>
17. Environmental protection agency, 2006, EPA landfill manuals, Manual on site selection. <http://www.epa.gov>
18. Bagchi, A., 1994, Design, Construction and Monitoring of Landfills. 2nd ed.,John Wiley & Sons. Inc., New York.
19. Schwartz, E. M., 2001, A Simple Approach to Solid Waste Planning for Urbanizing Counties, M.Sc. Thesis, University of Missouri-Kansas City.
۲۰. حیدرزاده، ن؛ ۱۳۷۹، مکان یابی محل دفن مواد زائد جامد شهری با استفاده از GIS برای شهر تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس.
21. Malczewski, J., 1999. GIS and Multicriteria Decision Analysis, John Wiley & Sons,Canada, 392 p.
- study from the GAP area, Turkey., *Journal of Engineering Geology* 81 , 371-388
6. Sener B., Suzen M.L., Doyuran V., 2006, Landfill site selection by using geographic information systems, *Environmental geology J.*, Vol.49. 376-388.
7. Chang N.B., Parvathianathan G., Breeden J.B., Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region., 2008, *J. of Environmental Management*, Volume 87, Issue 1, , Pages 139-153.
8. Mahini A.S., Gholamalifard M., 2006, Siting MSW landfills with a weighted linear combination methodology in GIS environment, *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 3 (4), 435-445.
9. Dorhofer G. 1993, The role of natural geological barriers for the sitting of landfills in Germany. *Geoconfin* 93, vol. I, p. 39-45.
10. Simsek C., Kincal C., Gunduz O., 2006, A solid waste disposal site selection procedure based on groundwater vulnerability mapping, *Environmental geology J.*, Vol.49. 620-633.
11. Kontos, T.D., Komilis D.P. and Halvadakis C.P. 2005, Siting MSW landfill with spatial multiple criteria analysis methodology. *Journal of Waste Management*, 25, 818-832.
12. Guiqin, W., Li, Q., Guoxue L and Lijin, C., 2009., Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: A case study in Beijing, China., *Journal of Environmental Management.*, doi:10.1016/j.jenvman.2008.12.008
۱۳. وب سایت مرکز آمار ایران <http://www.sci.org.ir>