جغرافیا و توسعه شماره ۳۴ بهار ۱۳۹۳
وصول مقاله : ۱۳۹۰/۷/۱۲
تأیید نهایی : ۱۳۹۱/۱۱/۲۱
صفحات : ۱۵۲- ۱۳۹

اولویّت‌بندی مکان‌های مستعد دفن پسماند شهر مشهد با تأکید بر شاخص‌های ژئومورفیک

دکتر عادل سپهر[۱]، مصطفی بیگلر فدافن[۲]، اعظم صفرآبادی[۳]

چکیده

رشد روزافزون جمعیّت شهرها و کلان‌شهرها ضمن ایجاد فرصت‌های مناسب جهت توسعه فیزیکی - کالبدی، اقتصادی، اجتماعی و افزایش سطح رفاه، نیاز به مدیریت شهری را در برنامه‌ریزی محیط زیست کلان‌شهرها ضروری کرده است. افزایش تولید زباله‌های خانگی، از جمله چالش‌های محیط زیستی گریبانگیر اکثر کلان‌شهرها در سال‌های اخیر است، به گونه‌ای که انتخاب مکان مناسب دفن این پسماندها با توجه به شرایط مکانی، از اولویت‌های مدیریت شهری است. شهر مشهد، با بیش از ۳ میلیون نفر جمعیّت، دومین کلان‌شهر ایران، دومین شهر مذهبی جهان و پایتخت معنوی ایران است که با تولید حجم وسیعی از زباله‌های خانگی در دهه اخیر روبه‌رو است. شناخت مناطق مستعد دفن زباله‌های مذکور، از مسائل مهم مدیریت پسماندها در این کلان‌شهر محسوب می‌شود. هدف این پژوهش مکان‌گزینی مناطق مناسب دفن پسماند خانگی کلان‌شهر مشهد بر پایه‌ی شاخص‌های ژئومورفیک بوده است. بدین منظور با کمک روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره رتبه‌ای تاپسیس و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، پنج مکان دفن پسماند شناسایی، اولویّت‌بندی و مکان‌یابی گردید. رتبه‌بندی مناطق دفن پسماند بر اساس هفت معیار ژئومورفولوژیک شیب، جنس سنگ بستر، فاصله از گسل، فاصله از آب سطحی، عمق آب زیرزمینی، کاربری اراضی و تیپ ژئومورفولوژی انجام گرفته است. با استفاده از الگوریتم تاپسیس شاخص‌ها امتیازدهی و وزن‌دهی شد و در نهایت، رتبه‌بندی مناطق، صورت گرفت. همچنین، با کمک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، مقایسه زوجی بین شاخص‌ها انجام و اهمیت معیارها و نقش مؤثر هرکدام در انتخاب مناطق مشخص شد. نتایج نشان‌دهنده‌ی آن است که منطقه‌ی دو - مکان جدید دفن پسماند واقع در جاده میامی- در رتبه‌ی نخست دفن زباله قرار دارد. همچنین منطقه یک، واقع در جاده نیشابور، که مکان قدیم دفن زباله‌های شهر مشهد بوده است، در این رتبه‌بندی، جایگاه مناسبی را کسب نکرده است.

کلیدواژه‌ها : پسماند خانگی، معیارهای ژئومورفولوژیک، روش تاپسیس، روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، مشهد.

۱- استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسؤول) adelsepehr@um.ac.ir
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران mostafa.biglar@yahoo.com
۳- دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه اصفهان am_safarabadi@yahoo.com

مقدمه

طیّ دو دهه‌ی اخیر، مدیریت پسماندهای جامد شهری[1] (MSW) از نگرانی‌های عمده مدیران شهری و نیز از موضوع‌های مهم مورد بحث است. از این رو راه حل‌های فنی برای MSW، باید اهداف بهداشتی، محیط زیستی و همچنین جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی را مد نظر قرار دهد *(Magrinho et al, 2006: 1477)*.

اگرچه دفن، رایج‌ترین روش برای دفع پسماندهای جامد است. اما تغییرات به وجود آمده در شیوه زیست و الگوی مصرف در سال‌های اخیر منجر به افزایش سرانه تولید پسماندهای جامد و تولید قابل توجه این مواد در مناطق شهری و صنعتی شده است *(Tchobanoglous, 1993: 93)*. بنابراین، از دیدگاه اکولوژیک مشکلات آلودگی رودخانه‌ها، آب‌های زیرزمینی، خاک و چشم‌اندازهای زشت ناشی از تجمع زباله‌ها در اطراف شهر و غیره است که در اثر عدم به‌کارگیری اصول فنی و اکولوژیک، به وجود آمده است *(سعیدنیا، ۱۳۸۳: ۴۷)*. در ایران، با سرانه تولید زباله خانگی ۸۰۰گرم، روزانه در حدود ۵۰۰۰۰ تُن مواد زائد جامد تولید می‌شود *(حیدرزاده، ۱۳۷۸: ۱۳)*. ازدیاد جمعیّت و توسعه صنعتی به‌گونه‌ای که در برنامه‌ی سوم جمهوری اسلامی ایران مطرح است، موجب افزایش مواد زائد جامد و به دنبال آن تغییرات فیزیکی ـ شیمیایی این مواد است. به طور کلی محل دفن پسماند باید در مکانی استقرار یابد که از جهات گوناگون اعم از محیط زیستی، اجتماعی و اقتصادی کمترین آسیب را به همراه داشته باشد. در این میان، مرحله‌ی مکان‌یابی از مهم‌ترین مراحل اجرایی است، زیرا مکان‌یابی مناسب می‌تواند بسیاری از مشکلات قابل پیش‌بینی در محل دفن را به شکل قابل توجه مرتفع سازد. از جمله این مشکلات جنبه‌های محیط زیستی و ژئومورفولوژی، اجتماعی و اقتصادی است.

بدین لحاظ شناخت و دسته‌بندی معیارها و محدودیت‌های مکان‌گزینی محل دفن برای محدوده‌ی مورد مطالعه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است *(سپهر، ۱۳۹۰: ۲۱)*. شهر مشهد، با بیش از ۳ میلیون نفر جمعیّت دومین کلان‌شهر ایران است از سویی بر طبق آمار استانداری خراسان رضوی، شهر مشهد، با وجود بارگاه امام رضا (ع)، سالانه پذیرای بیش از ۲۵ میلیون نفر گردشگر مذهبی است. بنابراین، این کلان‌شهر با حجم زیادی از تولید زباله و به دنبال آن نیاز به دفع مناسب آن رو به رو است. محل فعلی دفن زباله شهر مشهد بر روی گرانیت شهر که به وسیله‌ی آبرفت‌های عصر حاضر پوشیده شده، قرار گرفته است. این پی سنگ ترکیبی از سنگ‌های گرانیت، گرانودیوریت و پگماتیت است. گسله جنوب نزدیک‌ترین گسل به این محل است که از جنوب آن عبور می‌کند. درزه و ترک‌های بسیار زیادی در این سنگ‌ها وجود دارد که نقش بسیار بالایی در انتقال شیرابه ناشی از زباله‌ها به داخل زمین بازی می‌کند. خاک‌های تشکیل شده در محل، خاک‌های جوانی هستند که تکامل پروفیلی ندارند، بنابراین عمق ناچیز و قابلیت نفوذپذیری زیادی را شامل می‌شوند و به همین دلیل نقش مهمی در انتقال شیرابه به داخل درزه و ترک‌های موجود در سنگ‌های فوق‌الذکر دارند. از سویی محل دفن کنونی به علت بوی بد و تجمع حیوانات در محل دفن، قرار گرفتن منطقه در مسیر سیلاب و جاری شدن حجم زیادی از شیرابه و مواد زائد به جاده نزدیک منطقه دفن و احتمال آلودگی آب‌های سطحی، نزدیکی منطقه به خطوط نیرو (لوله‌های آب و دکل‌های برق) در فاصله کمتر از ۱۰۰ متر، قرار گرفتن چندین کارخانه در فاصله کمتر از ۳۰۰ متر در اطراف منطقه دفن، وجود شیب نامساعد در برخی از نقاط منطقه دفن (بیشتر از ۴۰ درصد) که موجب جاری شدن دائمی شیرابه حاصل از مواد زائد

1- **Municipal Solid Waste**

به اراضی پایین‌دست است و احتمال نفوذ شیرابه به آب‌های زیرزمینی و غیره، مواجه است و با اعتراض مناطق مسکونی مواجه است. از این رو مکان‌یابی و احداث مکان‌های دفن مناسب در این کلان‌شهر بیش از پیش احساس می‌شود.

سنر و همکاران (۲۰۱۰) در حوضه آبخیز دریاچه Beysehir، برای انتخاب مکان مناسب دفن زباله، معیارهایی از جمله: زمین‌شناسی، هیدرولوژی، کاربری زمین، شیب، ارتفاع و توپوگرافی را بررسی کرده و نتیجه به دست آمده؛ مناطق با درجه شایستگی بالا، متوسط، پایین و خیلی پایین را ارائه نموده که دو مکان مناسب برای دفن زباله انتخاب و پیشنهاد شده است. یونگ (۲۰۱۰) در هنگ کنگ، بازیافت زباله را به عنوان یکی از عوامل اصلی پایداری محیط زیست بررسی کرده و برای داشتن برنامه موفقیت آمیز بازیافت، مؤلفه‌های اقتصادی و اجتماعی را عوامل اثر گذار دانسته است. ماهامید و تاوابا[1] (۲۰۱۰)، در پژوهشی برای مکان‌یابی جایگاه‌های دفن زباله با کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی در فلسطین، عنوان داشته‌اند که مناسب‌ترین مکان‌های دفن بر پایه معیارهای محیطی، اراضی جنگلی همراه با بافت خاک رسی و شیب کمتر از ۵٪ هستند.

یحیی و همکاران[2] (۲۰۱۰)، در پژوهشی درباره مکان‌یابی محل‌های دفن زباله در نیجریه به این نتیجه رسیدند که کاربری زمین، بیشترین تأثیر را در مکان‌یابی محل‌های دفن زباله دارا است.

فرجی‌سبکبار و همکاران (۱۳۸۷)، در پژوهشی با عنوان مکان‌یابی محل دفن بهداشتی زباله‌های روستایی با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای در قوچان، به این نتیجه رسیدند که مکان‌های نامناسب عمدتاً بر روی دشت‌های حاصل‌خیز و با نفوذپذیری بالا و مکان‌های نامناسب در تپه‌ماهورها که ضخامت خاک بیشتر و از مراکز جمعیّتی، زمین‌های مناسب کشاورزی و مناطق حساس فاصله بیشتری دارند قرار دارند.

خورشیددوست و عادلی (۱۳۸۸)، در مطالعه‌ای برای شناخت مکان‌های مستعد دفن پسماند شهر بناب، کاربرد عوامل ژئومورفولوژیک را در مکان‌یابی دفن زباله‌های شهری بررسی کرده است. وی مهم‌ترین معیارهای مؤثر در مکان‌گزینی دفن پسماند را عوامل ژئومورفولوژی، هیدرواقلیم، اثرات محیط زیستی، کاربری اراضی، خطوط ارتباطی و شبکه‌های انتقالی و عوامل اقتصادی-اجتماعی معرفی کرده است(جدول۱).

جدول ۱: عوامل و معیارهای مؤثر در مکان‌یابی دفن پسماند

معیار	زیرمعیار
ژئومورفولوژی	تیپ ژئومورفولوژیک، فاصله از آب سطحی، شیب، گسل، عمق آب زیرزمینی، جنس سنگ بستر
هیدرواقلیم	آب‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی، یخبندان، باد، بارش
اثرات محیط زیستی	آلودگی هوا، خاک و آب، پوشش گیاهی
کاربری اراضی	نواحی جمعیّتی، جهت توسعه شهری، تاسیسات صنعتی، اراضی کشاورزی
خطوط ارتباطی و شبکه‌های انتقالی	خطوط انتقال نیرو، شبکه جاده‌ای
عوامل اقتصادی	هزینه‌های جانبی، استفاده مجدد از زمین، طول عمر

مأخذ: خورشید دوست و همکاران، ۱۳۸۸: ۶۵

1- Mahamid. I and Thawaba. S
2- Yahya S, Liori C, Whanda S, Edicha J. 2010

پناهنده و همکاران (۱۳۸۸)، در پژوهشی با عنوان، کاربرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در مکان‌یابی جایگاه دفن پسماند در شهر سمنان، معتقدند که مهم‌ترین معیار انتخاب محل دفن پسماند، فاصله از گسل است و صیحانی پرشکوه و همکاران (۱۳۹۰)، در پژوهشی با عنوان مکان‌یابی محل دفن بهداشتی زباله‌های شهر حاجی‌آباد به روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی بیان داشتند که روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یک روش انعطاف‌پذیر، روان و به راحتی قابل اجرا برای مکان‌یابی محل دفن زباله است و تلفیق آن با ابزارهای سامانه اطلاعات جغرافیایی بهخصوص روش همپوشانی ریاضی از کارایی بالایی برخوردار است. در این پژوهش با استفاده روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، اقدام به انتخاب مکان‌مناسب دفن بهداشتی زباله‌های‌شهرمشهد شده است. این موضوع برای شهر مشهد به دلیل برخورداری از توانایی‌های بالقوه‌طبیعی و چشم‌اندازهای اکولوژیک، جاذبه زیارتی وجود حرم مطهر امام رضا (ع) و همچنین به عنوان یکی از مناطق مهم توریستی شرق کشور، از اهمیت ویژه برخوردار است.

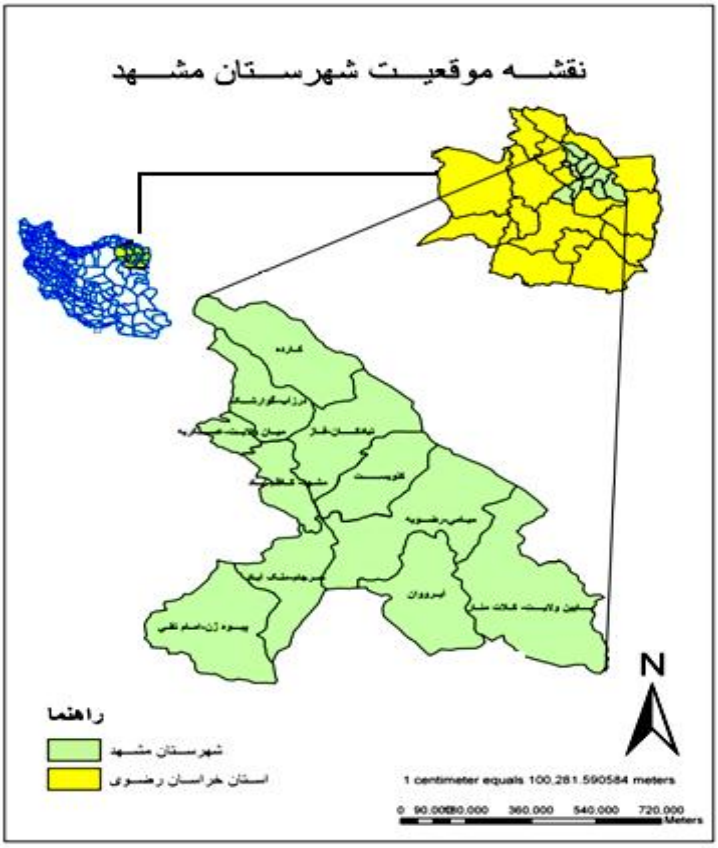
- موقعیت منطقه‌ی مطالعاتی

مشهد پایتخت معنوی ایران اسلامی، دومین کلان‌شهر ایران پس از تهران، در چهارمین استان پهناور کشور، خراسان رضوی واقع شده است. بر اساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال۱۳۸۵، جمعیّت این کلان‌شهر در حدود ۲۴۱۰۸۰۰ نفر بوده است. این در حالی است که بر اساس آمار رسمی در اوایل سال ۱۳۹۱، جمعیّت این کلان‌شهر، از مرز سه میلیون نفر گذشته است. شهر مشهد به واسطه‌ی وجود حرم امام رضا (ع)، سالانه پذیرای بیش از ۲۵ میلیون گردشگر مذهبی داخل و بیش از یک میلیون زائر خارج از کشور است *(استانداری خراسان رضوی، ۱۳۹۰)*. بر اساس آمار استانداری خراسان رضوی (۱۳۹۰)، مشهد، تنها در فصل تابستان سال ۱۳۸۹، پذیرای بیش از ۱۳ میلیون زائر بوده است. آمار مذکور نشان می‌دهد وجود حرم امام رضا (ع) در مشهد موجب شده است که به طور میانگین هر ایرانی، هر سه سال یک‌بار به مشهد سفر کند. دشت مشهد، در حدود ۳۳۵۱ کیلومترمربع مساحت دارد که با ارتفاع متوسط ۱۲۱۵ متر و حداکثر ارتفاع ۱۶۰۰ متر در شمال شرقی کشور واقع شده است (جدول ۲). شکل ۱، نقشه‌ی موقعیت شهرستان مشهد در استان خراسان رضوی را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل شهرستان مشهد دارای ۱۲ بخش جداگانه است.

جدول ۲: مشخصات حوضه آبریز دشت مشهد

شاخص	مقدار
وسعت دشت (km^2)	۳۳۵۱
وسعت حوضه آبریز (km^2)	۹۹۰۹/۴
متوسط بارش حوضه آبریز ($^{mm}/_{year}$)	۲۴۷/۵
متوسط ارتفاع دشت (m)	۱۲۱۴/۳
حداکثر ارتفاع دشت (m)	۱۶۰۰
حداقل ارتفاع دشت (m)	۹۰۰
متوسط ارتفاع در ارتفاعات (m)	۲۰۷۶
حداکثر ارتفاع در ارتفاعات (m)	۳۲۴۹
حداقل ارتفاع در ارتفاعات (m)	۹۰۳/۸

مأخذ: مطالعات نگارندگان،۱۳۹۰



شکل ۱: نقشه موقعیت شهرستان مشهد به همراه تقسیمات اداری- سیاسی

مأخذ: مطالعات نگارندگان، ۱۳۹۰

- روش پژوهش

در پژوهش حاضر از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره آنتروپی، تاپسیس و ای اچ پی برای مکان‌یابی مناسب دفع پسماندهای شهری مشهد استفاده شده است. آنتروپی[1] یک مفهوم بسیار با اهمیت در علوم اجتماعی، فیزیک و تئوری اطلاعات است. وقتی داده‌های یک ماتریس تصمیم‌گیری، به‌طور کامل مشخص شد، می‌توان از روش آنتروپی، برای ارزیابی وزن‌ها استفاده کرد. ایده‌ی روش فوق، این است که هر چه پراکندگی در مقادیر یک شاخص، بیشتر باشد، آن شاخص از اهمیت بیشتری برخوردار است *(سپهر، ۱۳۹۰: ۲۹)*. آنتروپی در نظریه اطلاعات، یک معیار عدم اطمینان است که با توزیع احتمال مشخص، بیان می‌شود. اندازه‌گیری این عدم اطمینان، توسط شانون[2] بیان شده است. ابتدا شاخص‌ها مشخص و سپس مقادیر شاخص‌های کیفی به کمّی تبدیل می‌شود. مدل تاپسیس توسط هوانگ و یون[3] در سال ۱۹۸۱، پیشنهاد شد. در این روش m گزینه، به وسیله‌ی n شاخص، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. اساس این تکنیک، بر این مفهوم استوار است که گزینه انتخابی، باید کمترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل منفی داشته باشد. فرض بر این است که مطلوبیت هر شاخص، به طور یکنواخت افزایشی یا کاهشی است. مدل ای اچ پی توسط فردی عراقی‌الاصل به نام ساعتی، در دهه‌ی

1-Entropy

2-Shanon

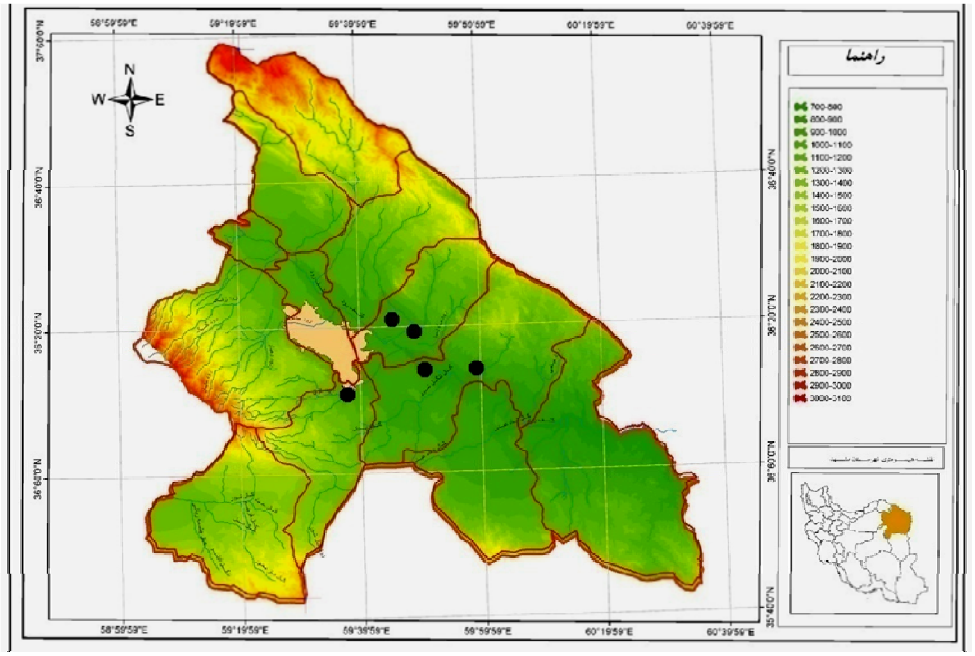
3-Hwang and yoon

۱۹۷۰ پیشنهاد شد. این مدل، مانند آنچه در مغز انسان انجام می‌شود، به تجزیه و تحلیل مسائل می‌پردازد *(سپهر، ۱۳۹۰: ۳۱)*. در این مطالعه به منظور رتبه‌بندی مناطق مستعد دفن پسماند شهر مشهد، ابتدا دو منطقه‌ی موجود دفن پسماند، شامل منطقه قدیم (منطقه‌ی ملک‌آباد) و منطقه‌ی جدید (منطقه‌ی میامی)، انتخاب شد. سپس شاخص‌های‌ژئومورفولوژیک مؤثر در دفن پسماند بر اساس روش دلفی بررسی و در نهایت هفت شاخص ژئومورفولوژیک بر مبنای نظر خبرگان تعیین و مشخص شد (جدول ۳).

جدول ۳: معیارها و شاخص‌های ژئومورفولوژیک مؤثر در انتخاب مکان دفن پسماند کلان‌شهر مشهد

معیار ژئومورفیک	شاخص کیفی		کلاس کمی
شیب (٪)	> ۴۰		۱
	۳۰ – ۴۰		۲
	۲۰ – ۳۰		۳
	۱۰ – ۲۰		۴
	< ۱۰		۵
جنس سنگ بستر	ماسه‌سنگ- آهک- دولومیت- نهشته‌های دامنه‌ای- کنگلومرا- مخروط‌افکنه- آبرفت‌های عهد حاضر		۱
	دشت سیلابی با سنگ کف نفوذپذیر		۲
	سنگ‌های آذرین و دگرگونی با شکستگی کم- لس سیلتی		۳
	شیست- توف رسی- سنگ‌های تبخیری – پهنه‌های رسی گلی- لس ریزدانه		۴
	شیل- مارن- رس		۵
فاصله از گسل (m)	< ۱۰۰۰		۱
	۱۰۰۰ – ۳۰۰۰		۲
	۳۰۰۰ – ۵۰۰۰		۳
	۵۰۰۰ – ۱۰۰۰۰		۴
	> ۱۰۰۰۰		۵
فاصله از آب سطحی (m)	< ۵۰۰		۱
	۵۰۰ – ۲۰۰۰		۲
	۲۰۰۰ – ۵۰۰۰		۳
	۵۰۰۰ – ۸۰۰۰		۴
	> ۸۰۰۰		۵
عمق آب زیرزمینی (m)	< ۵۰		۱
	۵۰ – ۱۰۰		۲
	۱۰۰ – ۲۰۰		۳
	۲۰۰ – ۳۰۰		۴
	> ۳۰۰		۵
کاربری اراضی	جنگل- رودخانه- مسکونی		۱
	مراتع خوب- زراعت آبی و باغات		۲
	مرتع متوسط- زراعی		۳
	مرتع فقیر		۴
	زمین بایر و لخت		۵
تیپ ژئومورفولوژیک	کوه	واحد کوهستان	۱
	تپه		۲
	دشت فرسایشی	واحددشت‌سر	۳
	دشت اپانداژ (پخش سیلاب)		۴
	دشت پوشیده		۵

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



شکل۲: نقشه‌ی موقعیت مکان‌های دفن زباله (قدیم، جدید و پیشنهادی) در شهرستان مشهد

مأخذ: مطالعات نگارندگان، ۱۳۹۰

جدول ۴: تعیین مکان دقیق مناطق مورد مطالعه

شماره منطقه	مکان
منطقه ۱	مکان دفن قدیم (جاده مشهد- نیشابور)
منطقه ۲	مکان دفن جدید (جاده مشهد- سرخس) (جاده میامی)
منطقه ۳	جنوب کنویست
منطقه ۴	مرکز کنویست
منطقه ۵	غرب رضویه

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

پس از تعیین شاخص‌های ژئومورفولوژیک، سه منطقه‌ی دیگر علاوه بر دو منطقه‌ی قدیم و جدید دفن پسماند، بر پایه ویژگی‌های ژئومورفولوژیک و شرایط محیط‌زیستی منطقه انتخاب، تا ارزیابی مناطق و مکان‌یابی جایگاه مناسب بر مبنای پنج منطقه انتخابی صورت گیرد. شکل ۲ و اطلاعات جدول ۴، موقعیت جغرافیایی مکان‌های دفن پسماند را در مطالعه‌ی حاضر نشان می‌دهند. پس از تعیین مکان‌های دفن پسماند برای ارزیابی و رتبه‌بندی، به هریک از معیارهای ژئومورفیک بر اساس شاخص کیفی هر معیار، درجه کمی بین ۵-۱ داده شد؛ به گونه‌ای که ارزش عددی ۱ معرف شرایط نامناسب معیار برای دفن پسماند و ارزش عددی ۵ معرف شرایط خوب معیار و نقش مؤثر معیار ژئومورفولوژیک در دفن پسماند است. ارزش‌های عددی حد واسط شرایط میانه و متوسط را برای نقش معیار نشان می‌دهد (جدول ۳).

بعد از تعیین درجات کمی شاخص‌ها، با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و روش راه‌حل ایده‌آل تاپسیس (TOPSIS)، نسبت به اوزان‌بندی، رتبه‌بندی و مقایسه نتایج حاصل از به‌کارگیری دو

روش تصمیم‌گیری اقدام شد. به منظور تعیین وزن‌های مربوط به معیارها و شاخص‌های ژئومورفولوژیک، از روش وزن‌دهی آنتروپی شانون بهره گرفته شد. بدین منظور پس از تعیین ماتریس تصمیم شامل گزینه‌ها و معیارهای تصمیم نسبت به ارزش‌دهی ۵-۱ بر اساس نظر کارشناسان، عناصر ماتریس تصمیم کامل گردید (جدول۵). پس از تعیین ماتریس تصمیم، برای محاسبه ماتریس وزنی با کمک رابطه ۱ مقدار وزن هر ستون و ردیف ماتریس محاسبه و در نهایت بر اساس رابطه ۲، میزان عدم اطمینان (E)، وزن مربوط به هر شاخص ژئومورفولوژیک محاسبه گردید (جدول ۶).

رابطه ۱:

$$P_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} a_{ij}}$$

رابطه ۲:

$$E_j = -k \sum [P_{ij} \ln P_{ij}]$$

$$k = \frac{1}{\ln(m)}$$

(تعداد مناطق = m)

جدول ۵: ماترس تصمیم حاصل از امتیازدهی مناطق

	شیب	جنس سنگ بستر	گسل	فاصله از آب سطحی	عمق آب زیرزمینی	کاربری اراضی	تیپ ژئومورفولوژیک
منطقه ۱	۵	۳	۴	۲	۱	۳	۲
منطقه ۲	۵	۴	۲	۲	۲	۴	۲
منطقه ۳	۵	۱	۳	۳	۱	۲	۴
منطقه ۴	۵	۱	۴	۳	۱	۲	۴
منطقه ۵	۵	۴	۴	۲	۱	۳	۲

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

جدول ۶: میزان عدم اطمینان حاصل از فرمول اصلی شانون

(نتایج حاصل از فرمول شانون)	شیب	جنس سنگ بستر	گسل	فاصله از آب سطحی	عمق آب زیرزمینی	کاربری اراضی	تیپ ژئومورفولوژیک
E	۱	۰/۹	۰/۹۶۲	۰/۹۳۳	۰/۹۷۵	۰/۷۹۸	۰/۹۵۷

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

به منظور رتبه‌بندی مناطق بر اساس الگوریتم TOPSIS، پس از وزن‌دهی معیارها در هر منطقه، بر اساس نظر کارشناسی با کمک اوزان حاصل از آنتروپی شانون، ماتریس وزنی محاسبه شد (رابطه ۳).

همچنین با دادن پرسشنامه‌هایی به افراد مطلع، میزان ارزش احتمالی شاخص‌های مورد نظر سنجیده شد که برآیندهای ردیف λi در جدول ۷ را موجب گردید (مجموع ارزشی این شاخص‌ها، برابر ارزش ۱ است).

رابطه ۳:

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} a_{ij}^2}}$$

جدول ۷: مقایسه‌ی معیارهای ژئومورفیک در آنتروپی شانون

تیپ ژئومورفولوژیک	کاربری اراضی	عمق آب زیرزمینی	فاصله از آب سطحی	گسل	جنس سنگ بستر	شیب	شاخص آنتروپی شانون
۰/۱	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱	۰/۱	۰/۲۵	۰/۱۵	λi
۰/۰۱۰۳	۰/۴۸۶	۰/۰۶۱	۰/۰۱۶۸	۰/۰۹۱۵	۰/۲۴۲	۰	Wi
۰/۰۱۰۳	۰/۰۷۲۹	۰/۰۰۱۹۵	۰/۰۰۱۶۸	۰/۰۰۹۱۵	۰/۰۶۰۵	۰	λi *Wi

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

پس از تعیین ماتریس وزنی و وزن‌های مربوط به هر معیار ژئومورفیک، با استفاده از الگوریتم تاپسیس، ایده‌آل‌های مثبت و منفی برای هر شاخص ژئومورفیک محاسبه شد. برای شاخصی با جنبه مثبت، ایده‌آل مثبت بزرگترین مقدار V است و ایده‌آل منفی کوچکترین مقدار ماتریس V است (رابطه ۴).

رابطه ۴:

Vj^{+}= [Min Vi1, Max Vi2, Max Vi3, Max Vi4, Max Vi5, Max Vi6, Max Vi7]

Vj^{-}= [max Vi1, Min Vi2, Min Vi3, Min Vi4, Min Vi5, Min Vi6, Min Vi7]

سپس فاصله‌ی هر معیار از ایده‌آل مثبت و منفی با کمک رابطه ۵ به دست آمد.

رابطه ۵:

فاصله از ایده‌آل مثبت:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{m}(v_{ij} - v_j^+)^2}$$

فاصله از ایده‌آل منفی:

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{m}(v_{ij} - v_j^-)^2}$$

در نهایت، رتبه هر منطقه بر اساس میزان نزدیکی هر عامل به راه‌حل ایده‌آل محاسبه شد (رابطه ۶). مقدار CL در رابطه ۶ بین صفر و یک است و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد، راهکار به جواب ایده‌آل نزدیک‌تر است و منطقه بهتر است.

رابطه ۶:

$$CL_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}$$

در مرحله‌ی بعد با کمک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، نسبت به مقایسات زوجی گزینه‌های معیارهای ژئومورفیک و نیز رتبه و اولویّت هر منطقه، اقدام شد. مقایسات زوجی شاخص‌ها بر اساس دامنه‌ی امتیازات ۱ تا ۹ صورت گرفت که امتیاز ۱ معرف کمترین اهمیت یک معیار در مقایسه با دیگر معیارها و امتیاز ۹ بالاترین رجحان یا اهمیت معیار را نشان می‌دهد. ارقام مابین، شرایط حد واسط و امتیاز ۵، معرف برابری اهمیت دو گزینه است (جدول ۸). همانند مرحله‌ی قبل با استفاده از اوزان آنتروپی، مقایسات زوجی و ماتریس وزنی مقایسات، معیارها نسبت به هم سنجیده شدند (جدول ۸). همچنین پس از انجام مقایسات زوجی، نسبت مقایسات مناطق بر اساس هر معیار ژئومورفیک به طور مجزا صورت گرفت. برای نمونه ماتریس وزنی مربوط به معیار سنگ‌شناسی در جدول ۹ آورده شد.

جدول ۸: مقایسه زوجی معیارهای ژئومورفولوژیک بر پایه الگوریتم AHP

معیارهای ژئومورفیک	شیب	جنس سنگ	گسل	آب سطحی	آب زیرزمینی	کاربری اراضی	تیپ ژئومورفولوژیک
شیب	۱	۵	۰/۲	۰/۲	۱	۱	۰/۲
جنس سنگ	۰/۲	۱	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۱
گسل	۵	۱۰	۱	۱	۵	۵	۱
آب سطحی	۵	۱۰	۱	۱	۵	۵	۱
آب زیرزمینی	۱	۵	۰/۲	۰/۲	۱	۱	۰/۲
کاربری اراضی	۱	۵	۰/۲	۰/۲	۱	۱	۰/۲
تیپ ژئومورفولوژیک	۵	۱۰	۱	۱	۵	۵	۱
جمع	۱۸/۲	۴۶	۳/۷	۳/۷	۱۸/۲	۱۸/۲	۳/۷

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

پس از انجام محاسبات مربوط به مقایسات زوجی و گزینه‌های مناطق، بر اساس نتایج به دست آمده از دو روش AHP و TOPSIS کار تجزیه، تحلیل و انتخاب و رتبه‌بندی مناطق صورت گرفت.

جدول ۹: ماتریس وزنی معیار سنگ‌شناسی

عامل (معیار) نگ شناسی (وزنی)	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵	میانگین
منطقه ۱	۰/۰۸۸	۰/۱۸۵	۰/۰۴۳	۰/۰۴۳	۰/۱۸۵	۰/۱۰۸
منطقه ۲	۰/۰۱۷۵	۰/۰۳۷	۰/۰۴۳	۰/۰۴۳	۰/۰۳۷	۰/۰۳۵۵
منطقه ۳	۰/۸۷۷	۰/۳۷	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۳۷	۰/۴۹۶
منطقه ۴	۰/۸۷۷	۰/۳۷	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۳۷	۰/۴۹۶
منطقه ۵	۰/۰۱۷۵	۰/۰۳۷	۰/۰۴۳	۰/۰۴۳	۰/۰۳۷	۰/۰۳۵۵

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

نتایج و بحث

در این پژوهش عوامل مؤثر در محل دفن زباله مطرح و برای افزایش دقت و تمرکز در جهت اجرای عملیاتی و کاهش خطاهای ناشی از بررسی چند متغیّر با یکدیگر، عوامل ژئومورفولوژیک بررسی شد؛ با وجود این که محوریت عملکرد با عوامل ژئومورفولوژیک بوده، اما عوامل دیگر نیز از جمله اثر کاربری اراضی در انتخاب محل دفن، مد نظر قرار گرفت. در شاخص‌های ژئومورفولوژیک به کار رفته، برای کاهش خطا، بازه تشخیص و ارزش‌دهی بین ۱ تا ۵ انتخاب شد. در ضمن برای این که این مناطق در حالت آرمانی و برتر بررسی شوند، شیب این مناطق در بهترین حالت (یعنی کمتر از ۱۰ درصد) قرار داده شد؛ تا مناطق بسیار مناسب از لحاظ شیب بررسی شوند و در صورت نیاز، از شیب‌های مناسب (۱۰ تا ۳۰ درصد) یا کمتر مناسب (بیش از ۳۰ درصد) استفاده شود. نتیجه‌ی اصلی این دو عامل، بررسی تخصصی در محل‌های دفن قدیمی و یا محل‌های دفن پیشنهادی، است.

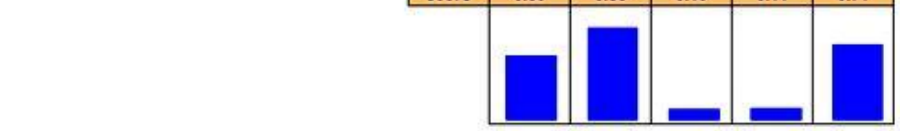
نتایج حاصل از محاسبه آنتروپی (Wi) حاکی از آن است که با توجه به مناطق مورد نظر و اهمیت‌های داده شده، بیشترین اهمیت مربوط به شاخص‌های کاربری اراضی و جنس سنگ بستر و کم اهمیت‌ترین

شاخص‌ها در انتخاب محل دفن پسماند، شاخص‌های شیب و گسل هستند. بنابراین، از آنجا که دو عامل کاربری اراضی و جنس بستر مهم‌ترین عوامل ژئومورفیک در تعیین جایگاه مناسب دفن پسماند هستند، با اهمیت دادن به این دو شاخص با عدم اطمینان و در نتیجه ریسک کمتری در تصمیم‌گیری روبرو خواهیم بود. نتایج حاصل از به‌کارگیری روش تاپسیس حاکی از آن است که منطقه‌ی دو - منطقه‌ی فعلی دفن واقع در میامی، بهترین منطقه دفن پسماند است و منطقه‌ی سه بدترین شرایط انتخاب دفن پسماند را داراست. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل روش تاپسیس در جدول ۱۰ ارائه شده است. به طور کلی، اولویّت‌بندی مناطق بر اساس الگوریتم تاپسیس به صورت زیر ارائه شده است:

منطقه ۳ < منطقه ۴ < منطقه ۱ < منطقه ۵ < منطقه ۲

جدول۱۰:اولویّت مناطق دفن پسماند کلان‌شهر مشهد بر اساس روش تاپسیس

				Options							
				1	2	3	4	5			
			Units	Importance	makane dafne ghadime (mashhad_neishabor)	makane dafne jadide (mashhad_sarakhs)(mayames)	makane dafne pishnahadi (jonobe kenevist)	makane dafne pishnahadi (markaze kenevist)	makane dafne pishnahadi (gharbe razavieh)	Goal	- Ideal	+ Ideal
Criteria	1	Slope			5	5	5	5	5	minimize	5	5
	2	Lithology		0.369	3	4	1	1	4	maximize	1	4
	3	Fault		0.0558	4	2	3	4	4	maximize	2	4
	4	Surface Water		0.0102	2	2	3	3	2	maximize	2	3
	5	Ground Water		0.0558	3	1	2	2	1	maximize	1	3
	6	Landuse		0.4455	3	4	2	2	3	maximize	2	4
	7	Geomorphic type		0.0638	2	2	4	4	2	maximize	2	4
				Score	0.60	0.86	0.10	0.11	0.71			



مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

نتایج حاصل از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، نشان‌دهنده‌ی آن است که در رتبه‌ی نخست، منطقه فعلی دفن پسماند کلان‌شهر مشهد -منطقه دو- میامی- قرار دارد. بنابراین، نتایج حاصل از ای اچ پی با نتایج حاصل تاپسیس هماهنگی دارد و می‌توان گفت که انتخاب محل کنونی دفن پسماند شهر مشهد، درست صورت گرفته است. نتایج روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در جدول ۱۱ ارائه شده است.

جدول ۱۱: ماتریس حاصل از الگوریتم زوجی AHP و تعیین اولویّت نهایی مقایسات

ماتریس ستون‌های میانگین جداول AHP	شیب	سنگ شناسی	گسل	آب سطحی	آب زیرزمینی	کاربری اراضی	خصوصیت ژئومرفولوژیک			
منطقه ۱	۰/۲	۰/۱۰۸	۰/۰۵۲۲	۰/۲۹۴	۰/۲۳۸	۰/۰۰۷	۰/۳۱۲	×	۰/۰۶۲۲ ۰/۰۱۹۲ ۰/۲۶۳۱ ۰/۲۶۳۱ ۰/۰۶۲۲ ۰/۰۶۲۲ ۰/۲۶۳۱	= ۰/۲۰۴۳ ۰/۲۳۱۵ ۰/۱۵۵۷ ۰/۱۱۰۵ ۰/۱۶۴۴
منطقه ۲	۰/۲	۰/۰۳۵۵	۰/۶۱۴	۰/۲۹۴	۰/۰۴۷	۰/۰۲۹	۰/۳۱۲			
منطقه ۳	۰/۲	۰/۴۹۶	۰/۲۲۴	۰/۰۵۸	۰/۲۳۸	۰/۳۸۸	۰/۰۳۱			
منطقه ۴	۰/۲	۰/۴۹۶	۰/۰۵۲۲	۰/۰۵۸	۰/۲۳۸	۰/۳۸۸	۰/۰۳۱			
منطقه ۵	۰/۲	۰/۰۳۵۵	۰/۰۵۲۲	۰/۲۹۴	۰/۲۳۸	۰/۰۰۷	۰/۳۱۲			

ترتیب اولویت مناطق در مدل AHP	رتبه ۱	رتبه ۲	رتبه ۳	رتبه ۴	رتبه ۵
	منطقه ۲	منطقه ۱	منطقه ۵	منطقه ۳	منطقه ۴

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

همچنین بر اساس مقایسات زوجی صورت گرفته بین معیارهای ژئومورفیک با استفاده از روش AHP مشخص شد که معیارهای سنگ‌شناسی و تیپ ژئومورفولوژی در اولویّت بالاتری قرار دارند و نقش مؤثرتری در انتخاب یک محل به عنوان محل دفن پسماند دارند. این نتایج تا حدودی نتایج حاصل از آنتروپی را تصدیق می‌کند. به طور کلی، از تلفیق کلیه‌ی نتایج حاصل از به‌کارگیری هر سه روش، باید فاصله از گسل، تیپ ژئومورفولوژی و سنگ بستر، شیب و نیز کاربری اراضی را از مهم‌ترین معیارهای ژئومورفیک در انتخاب محل مناسب دفن پسماند برشمرد.

نتیجه

دراین تحقیق از روش تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین ارزش و وزن معیارهای مختلف برای مکان‌یابی محل‌های دفن زباله‌ها استفاده شد. نتایج حاصل با توجه به استفاده از معیارهای ژئومورفیک اولویّت و برتری منطقه دو را نسبت به سایر مناطق نشان می‌دهد که این امر نشان از انتخاب کارشناسانه‌ی این منطقه، توسط مجریان طرح دارد. این پژوهش صرفاً بر پایه‌ی عوامل ژئومورفولوژیک صورت گرفته، قطعاً سایر عوامل اقتصادی، اجتماعی و کشاورزی نیز در انتخاب محل مناسب دفن پسماند تأثیرگذار هستند. نتایج کار نشان‌دهنده‌ی آن است که منطقه یک اولویّت مناسب برای دفن پسماند ندارد، زیرا مکان‌یابی این محل با دقت پایین صورت گرفته و در بارندگی‌های شدید، آب زیرزمینی با شیرابه ناشی از پسماندها مخلوط شده و مشکلات عدیده محیط زیستی را به وجود می‌آورد. در ضمن به دلیل طراحی نامناسب مکان دفن منطقه یک، نشت شیرابه به خارج از محل دفن و به وجود آمدن دریاچه‌ی شیرابه، علاوه بر مخاطرات محیط زیستی، منجر به تغذیه موجوداتی از این شیرابه شده که توسط پرندگان عبوری، این موجودات خورده شده و این پرندگان نیز توسط شکارچیان، صید شده و وارد چرخه غذایی انسان می‌شود و بیماری‌های مختلف را ایجاد خواهد کرد. منطقه‌ی دو محل مناسب دفن پسماند تشخیص داده شد که عمده علل این انتخاب، عدم احتمال توسعه آتی شهر مشهد به این سمت بوده است، زیرا شهر مشهد در جهت‌های شمالی، غربی و شمال غربی پیشرفت می‌کند و تغییر محسوسی در جهت شرق و جنوب شرقی- منطقه دو- نخواهد داشت.

منابع

- پناهنده، محمد؛ بهروز ارسطو؛ آریامن قویدل؛ فاطمه قنبری (۱۳۸۸). کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در مکان‌یابی جایگاه دفن پسماند شهر سمنان، مجله سلامت و محیط. فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران. دوره دوم. شماره چهارم.
- حیدرزاده، نیما (۱۳۷۸). مکانیابی محل دفن مواد زاید جامد شهری با استفاده از GIS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- خورشیددوست، علی‌محمد؛ زهرا عادلی (۱۳۸۸). کاربرد عواملی ژئومورفیک در مکان‌یابی دفن زباله‌های شهری (مطالعه موردی شهر بناب)، فصلنامه جغرافیای طبیعی. سال دوم. شماره ۵.
- سازمان مدیریت پسماند (۱۳۹۱). گزارش بخش دفن و ایستگاه‌ها، مهندس عبدالله‌زاده. ۱۳۹۱/۲/۱۰.
- سپهر، عادل (۱۳۹۰). پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از مکان‌گزینی نامناسب زباله‌گاهها و دفن غیر اصولی زباله در مشهد، جزوه آموزشی.
- سعیدنیا، احمد (۱۳۸۳). کتاب سبز راهنمای شهرداری‌ها؛ مواد زاید جامد شهری (جلد هفتم)، انتشارات سازمان شهرداری‌ها و دهیاری کشور. چاپ سوم.
- صیحانی‌پرشکوه، راضیه؛ محسن دهقانی؛ حیدر قادری (۱۳۹۰). مکان‌یابی محل دفن بهداشتی زباله‌های شهر حاجی‌آباد به روش AHP و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، فصلنامه جغرافیای طبیعی لار. سال چهارم. شماره ۱۲.
- فرجی سبکبار، حسنعلی؛ محمد سلمانی؛ فاطمه فریدونی؛ حسین کریم‌زاده؛ حسن رحیمی (۱۳۸۹). مکان‌یابی محل دفن بهداشتی زباله روستایی با استفاده از مدل فرآیند شبکه‌ای تحلیل (ANP)، مطالعه موردی نواحی روستایی شهرستان قوچان، فصلنامه مدرس علوم انسانی. دوره ۱۴. شماره ۶۳.
- Mahamid. I., Thawaba. S (2010). Multi Criteria and Landfill Site Selection Using GIS: A Case Study from Palestine. The Open Environmental Engineering Journal, 3 (1).
- Yahya, S., Liori, C., Whanda, S., Edicha, J (2010). Land Fill Site Selection for Municipal Solid Waste Management using Geographic Information System and Multi-criteria Evaluation Techniques. American Journal of Scientific Research, 10.
- Sener, S., Sener, E., Nas, B., Karaguzel, R (2010). Combining AHP with GIS for landfill site selection: A case study in the Lake Beysehir catchment area (Konya, Turkey), Waste Management 30.
- Yau, Yung (2010). Domestic waste recycling, collective action and economic incentive: The case in Hong Kong. Waste Management, 30 (12).
- Magrinho, A., Didelet, F., Semiao, V (2006). Municipal Solid Waste Disposal in Portugal. Waste Management, 26.
- Tchobanoglous. G (1993). Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues, McGraw Hill, New York.