

Application of electre model in locating of municipal solid waste landfill (case study: the city of Khorramabad)

ABSTRACT

Background & objective: Nowadays, increasing the urban population, followed increasing in waste production has attracted the attention of environmental researchers towards the sanitary waste disposal. It is estimated that in Khorramabad city with a population of over than 348,216 people, about 458 tones of urban waste are daily produced which are dumped in open lands. Therefore, finding a suitable site for waste disposal is necessary. The purpose of this study is to identify and introduce suitable locations for the sanitary waste disposal across the city using Electre as a Multi Criteria Decision Analysis.

Materials & Methods: For this purpose, 14 criteria including soil erosion, geology, land use, distance to roads, distance to rivers, springs and kanats, distance to faults, distance to cities and villages, slope, elevation, groundwater depth, distance to protected areas and climate were used. Three common methods including Boolean, Analytic Hierarchy Process (AHP) and Linear Combination Weighted (WLC) were used to combine the criteria maps. Considering the minimum area required for landfill sitting for a period of 20 years, five candidate sites were ultimately extracted from the final resulting map of WLC in order to introduce the best site for urban landfill. Then, these five candidates were ranked using Electre model.

Results: Results of weighting process showed that the groundwater depth, distance to faults and cities had the highest weights whereas elevation and slope criteria had the lowest weights. The consistency ratio for the weighting process was 0.08, which was less than 0.1, presenting the consistency and credibility of the weighting process. According to the WLC method, major parts of north-west, west and north of the area under study were identified as optimal sites. According to the results of Electre model, a site with an area of 694 hectares located in the west of city was identified as the best alternative.

Conclusion: The results showed that the Electre method along with multi-criteria evaluation methods can have high performance in locating sanitary municipal solid waste disposal.

Document Type: Research article

Keywords: Multi criteria evaluation, weighted linear combination, Khorramabad, Electre, landfill..

Fazelnejad neda

M.Sc. Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran.

Mirzaei Rouhollah

* Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran.
rmirzaei@kashanu.ac.ir

Rasol heidary Soreshjani

Assistant Professor, Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran.

Received: 13 February 2017

Accepted: 21 April 2017

► **Citation:** Fazelnejad N, Mirzaei R, heidary Soreshjani R. Application of electre model in locating of municipal solid waste landfill (case study: the city of Khorramabad). *Journal of Research in Environmental Health*. Spring 2017;3 (1) : 56-66.

کاربرد روش الکترو در مکان‌یابی دفن بهداشتی پسماندهای شهری (مطالعه موردی: شهرستان خرم‌آباد)

چکیده

زمینه و هدف: افزایش روزافزون جمعیت شهری و به‌دنبال آن پسماندهای شهری، باعث شده تا مسئله دفع و دفن بهداشتی آن‌ها مورد توجه جدی بسیاری از کارشناسان مسائل زیست محیطی قرار گیرد. در شهرستان خرم‌آباد با جمعیتی بالغ بر ۳۴۸۲۱۶ نفر، روزانه نزدیک به ۴۵۸ تن پسماند شهری جمع‌آوری می‌شود که با توجه به دفع سنتی و تلنبار شدن، یافتن مکانی مناسب به‌منظور دفن این حجم عظیم پسماند ضروری است. از این‌رو مطالعه حاضر با هدف شناسایی و معرفی مکان‌های مناسب جهت دفن بهداشتی پسماند در سطح شهرستان خرم‌آباد با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره الکترو انجام شد.

مواد و روش‌ها: در مطالعه حاضر ۱۴ معیار مختلف شامل فرسایش‌پذیری، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، چشمه و قنات، فاصله از گسل، فاصله از مراکز شهری و روستایی، طبقات شیب و ارتفاع، عمق آب زیرزمینی، فاصله از مناطق حفاظت شده و اقلیم مورد استفاده قرار گرفت. سه روش کلی بولین، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و ترکیب خطی وزنی برای ترکیب نقشه معیارها استفاده شد. در نهایت به‌منظور معرفی بهترین پهنه‌ها برای دفن بهداشتی مواد زائد جامد شهری، با توجه به حداقل مساحت مورد نیاز جهت دفن بهداشتی مواد زائد جامد برای دوره ۲۰ ساله، ۵ گزینه از نتیجه نهایی روش ترکیب خطی وزنی استخراج گردید و سپس این گزینه‌ها با استفاده از مدل الکترو رتبه‌بندی شدند.

یافته‌ها: بر اساس نتایج فرآیند وزن‌دهی، بیشترین وزن را معیار عمق آب زیرزمینی، فاصله از گسل و شهر و کم‌ترین وزن را طبقات شیب و ارتفاع به خود گرفتند. نسبت سازگاری برای فرآیند وزن‌دهی ۰/۰۸ به‌دست آمد که کمتر از ۰/۱ بود که نشان از سازگاری و اعتبار فرآیند وزن‌دهی دارد. بر اساس روش ترکیب خطی وزنی، قسمت‌های عمده‌ای از شمال غرب، غرب و جنوب شهرستان به‌عنوان مناطق مناسب شناسایی شدند. در نهایت بر اساس روش الکترو، لکه‌ای با مساحت ۶۹۴ هکتار واقع در غرب شهرستان به‌عنوان بهترین منطقه پیشنهادی معرفی گردید.

نتیجه‌گیری: روش الکترو به همراه روش‌های معمول ارزیابی چند معیاره جهت مکان‌یابی دفن بهداشتی پسماندهای شهری می‌تواند کارایی بالایی داشته باشد.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

کلید واژه‌ها: ارزیابی چندمعیاره، ترکیب خطی وزنی، خرم‌آباد، روش الکترو، لن‌دیل.

ندا فاضل‌نژاد

کارشناس ارشد، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.

روح‌اله میرزایی

استادیار، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران. (نویسنده مسئول)

رسول حیدری سورشجانی

استادیار، گروه جغرافیا و اکوتوریسم، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۰۱

◀ **استاد:** فاضل‌نژاد ن، میرزایی ر، حیدری ر. کاربرد روش الکترو در مکان‌یابی دفن بهداشتی پسماندهای شهری (مطالعه موردی: شهرستان خرم‌آباد). *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. بهار ۱۳۹۶؛ ۳(۱): ۵۶-۶۶.

مقدمه

امروزه افزایش رشد سریع جمعیت و توسعه شهرنشینی نه تنها باعث افزایش استفاده از منابع غیر قابل تجدید شده است، بلکه موجب افزایش پسماند و همچنین آلودگی شدید محیط زیست نیز شده است؛ بنابراین، انتخاب مکان مناسب برای دفن بهداشتی پسماندها امری اجتناب ناپذیر است (۱). شناسایی مکان مناسب جهت دفن بهداشتی پسماندهای جامد شهری، فرآیندی پیچیده است، زیرا مستلزم در نظر گرفتن تمام عوامل زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی است (۲). در واقع هدف از انتخاب مکان مناسب جهت دفن بهداشتی پسماندها، یافتن مکان‌هایی است که تخریب محیط زیست را به حداقل برساند، سلامت عمومی را مدنظر قرار دهد و از نظر اقتصادی نیز کارآمد باشد (۳، ۴).

دفن بهداشتی پسماندهای شهری مانند هر پروژه مهندسی دیگر به اطلاعات پایه و برنامه‌ریزی دقیق نیازمند است. انتخاب فاکتورهای متعدد باعث تعدد لایه‌های اطلاعاتی شده و تلاش برای یافتن راه‌حلی مناسب برای تحلیل بر روی تعداد زیاد لایه‌های اطلاعاتی و اخذ نتیجه صحیح، تصمیم‌گیران را به‌طور ناخودآگاه به سمت‌وسوی استفاده از سیستمی سوق می‌دهد که علاوه بر دقت بالا، از نظر سرعت عمل و سهولت انجام عملیات در حد بالایی قرار داشته باشد (۵).

استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، ابزاری قدرتمند برای انتخاب محل مناسب جهت دفن بهداشتی پسماندهاست (۳)، زیرا تکنولوژی سیستم اطلاعات جغرافیایی قابلیت بالایی در مدیریت و تحلیل لایه‌ها دارد و می‌توان از این سیستم برای مدیریت بهینه پسماندهای شهری بهره برد (۶).

در زمینه مکان‌یابی جایگاه دفن بهداشتی پسماندهای شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، مطالعات بسیاری در داخل و خارج از کشور انجام شده است که از آن جمله می‌توان به مطالعه دفیو و گیسی (۲۰۱۴)، سنو و همکاران (۲۰۱۰)، کنتس و همکاران (۲۰۰۵)،

شهابی و همکاران (۲۰۰۹)، معین‌الدینی و همکاران (۲۰۱۰)، تقوایی و همکاران (۲۰۱۱)، منوری (۲۰۰۲) و هندریکس و باکلی (۱۹۹۲) اشاره کرد (۴-۲، ۱۱-۷). جهت مکان‌یابی دفن بهداشتی پسماندهای شهری، بیشتر تمرکز در اغلب مطالعاتی که ذکر شد بر روی روش‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، ترکیب خطی وزنی و بولین بوده و بر اساس لایه‌های به‌کار برده شده، نقشه نهایی پیوسته را ارائه داده‌اند. به نظر می‌رسد ضعف عمده این مطالعات این است که در نهایت بهترین منطقه را برای دفن بهداشتی پسماند مشخص نکرده‌اند، از این رو در مطالعه حاضر علاوه بر استفاده از روش‌های نام برده شده جهت اولویت‌بندی گزینه‌های منتخب، از روش الکترا استفاده شد تا در نهایت گزینه مناسب‌تر شناسایی شود.

روش الکترا^۱ برای اولین بار توسط یو در سال ۱۹۹۲ مطرح شد و به‌عنوان یکی از بهترین فنون تصمیم‌گیری چند شاخصه^۲ مورد توجه قرار گرفت. در روش الکترا تمام گزینه‌ها با استفاده از مقایسه‌های غیر رتبه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفته و به‌این ترتیب گزینه‌های غیر مرتبط حذف می‌شوند. تمام مراحل این روش بر مبنای یک مجموعه هماهنگ و یک مجموعه ناهماهنگ پایه‌ریزی می‌شود و به همین دلیل به آنالیز هماهنگی معروف است (۱۲). در این روش به‌جای رتبه‌بندی گزینه‌ها، از مفهوم جدیدی معروف به روابط غیر رتبه‌ای استفاده می‌شود (۱۳).

شهرستان خرم‌آباد با جمعیت ۳۴۸۲۱۶ نفر، روزانه ۴۵۸ تن پسماند شهری تولید می‌کند. نحوه عملکرد دفع در مکان‌های فعلی زباله‌های شهر خرم‌آباد به‌صورت دفع سطحی و تلنبار شدن است که باعث آلودگی شدید هوا شده و همچنین آلودگی سطوح خاک، رواناب و سرانجام آب‌های زیرزمینی را فراهم آورده است. مطالعه حاضر با هدف مکان‌یابی جایگاه دفن بهداشتی پسماندهای شهری خرم‌آباد با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش تصمیم‌گیری چندمعیاره الکترا انجام شد. این شهرستان از طرف شمال به شهرستان‌های سلسله و دلفان و از

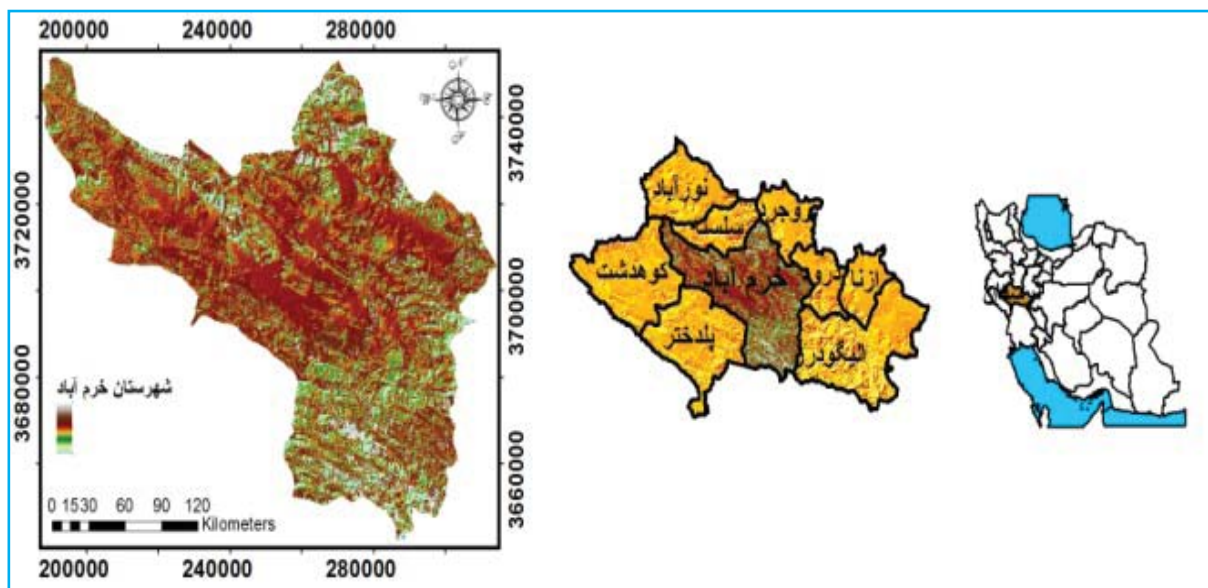
1. Electre

2. Multiple Attribute Decision Making :MADM

روش کار

شهرستان خرم‌آباد با مساحت ۶۲۳۳ کیلومتر مربع در ۴۸ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی، تقریباً در مرکز استان لرستان واقع شده است و هم‌چنین در ارتفاع ۱۱۴۷۸ متری از سطح دریا قرار دارد (شکل ۱).

شمال شرق به شهرستان بروجرد و از طرف شرق به شهرستان‌های الیگودرز و درود و از طرف جنوب به شهرستان پلدختر و از غرب به شهرستان کوهدشت محدود می‌شود (شکل ۱). میانگین دمای سالانه شهرستان خرم‌آباد ۱۷/۲ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه آن ۵۰۹ میلی‌متر ثبت شده است.



شکل ۱. موقعیت شهرستان خرم‌آباد در ایران و استان لرستان

جدول ۱. نقشه‌های محدودیت در نظر گرفته شده جهت مکان‌یابی دفن بهداشتی پسماندهای جامد شهری بر اساس منطق بولین

ردیف	نقشه‌های محدودیت	حد قابل قبول
۱	فاصله از جاده‌های اصلی	بیشتر از ۳۰۰ متر
۲	فاصله از رودخانه	بیشتر از ۲۵۰ متر
۳	فاصله از گسل	بیشتر از ۱۰۰ متر
۴	فاصله از چشمه و قنات	بیشتر از ۲۵۰ متر
۵	فاصله از شهر	بیشتر از ۳۰۰۰ متر
۶	فاصله از روستا	بیشتر از ۸۰۰ متر
۷	فاصله از مناطق حفاظت شده	بیشتر از ۲۰۰۰ متر
۸	عمق آب‌های زیرزمینی	بیشتر از ۵ متر
۹	درصد شیب	کمتر از ۲۰ درصد
۱۰	طبقات ارتفاعی	کمتر از ۲۰۰۰ متر

در این مطالعه ۱۰ لایه فاصله از شهر و روستا، فاصله از رودخانه و جاده، فاصله از چشمه و قنات، عمق آب زیرزمینی،

در این مطالعه به منظور مکان‌یابی بهینه محل دفن پسماندهای شهری ابتدا با توجه به موقعیت جغرافیایی شهرستان خرم‌آباد پارامترها، معیارها و ضوابط انتخاب مکان‌های مناسب برای دفن بهداشتی با توجه به استانداردهای مختلف، از جمله استانداردهای مربوط به سازمان حفاظت محیط زیست شناسایی، ارزیابی و انتخاب شدند. هرکدام از این معیارهای انتخاب شده که شامل فاصله از شهر و روستا، فاصله از رودخانه و جاده، فاصله از چشمه و قنات، عمق آب زیرزمینی، فاصله از مناطق حفاظت شده و گسل، طبقات درصد شیب و ارتفاعات، اقلیم منطقه، فرسایش‌پذیری، زمین‌شناسی و کاربری اراضی است، از اهمیت خاصی برخوردارند و محدودیت‌هایی را در انتخاب محل دفن بهداشتی مواد زائد جامد ایجاد می‌کنند.

با در نظر گرفتن ارتفاع محل دفن (Hu) به طور متوسط ۱۰ متر و دانسیته پسماند ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب (متوسط دانسیته پسماندهای شهری در ایران)، حداقل مساحت مورد نیاز (Dt) جهت دفن بهداشتی پسماندهای شهری بر اساس معادله زیر محاسبه گردید (۱۵).

معادله (۳)

$$Dt = W_{20} / \text{Density} \times \text{Height}$$

جهت انجام روش ترکیب خطی وزنی لازم است که معیارها وزن دهی شوند. به همین دلیل در مطالعه حاضر جهت وزن دهی معیارها از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. جهت انجام مقایسه زوجی معیارها میزان اهمیت نسبی هر کدام با توجه به مقیاس بندی ساعتی مورد بررسی قرار گرفت. پس از آن وزن معیارها و همچنین میزان سازگاری توسط نرم افزار Expert Choice به دست آمد. چنانچه شاخص سازگاری معادل ۰/۱ یا کمتر بود، وزن دهی صحیح بوده و در غیر این صورت، وزن های نسبی داده شده به معیارها بایستی تغییر یابند و وزن دهی مجدد انجام شود (۱۶).

در مطالعه حاضر برای انجام روش ترکیب خطی وزنی، ابتدا معیارهای فاصله از شهر و روستا، فاصله از رودخانه و جاده، فاصله از چشمه و قنات، عمق آب زیرزمینی، فاصله از مناطق حفاظت شده و گسل ها، طبقات درصد شیب و ارتفاعات، اقلیم منطقه، فرسایش پذیری، زمین شناسی و کاربری اراضی در نرم افزار ArcGIS به فرمت رستری تبدیل شدند.

در مطالعه حاضر پس از مرور منابع و بررسی نظرات کارشناسی، از همه توابع فازی استفاده شد. مقادیر آستانه و نوع تابع فازی جهت استانداردسازی نقشه معیارها در این مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است (۷، ۱). پس از استانداردسازی هر کدام از معیارها، از قابلیت دیگر نرم افزار IDRISI استفاده شد؛ یعنی با استفاده از منوی MCE و با انتخاب گزینه WLC، نقشه های محدودیت ها و معیارها با اعمال وزن های معیارها که قبلاً به دست آمده بود، تلفیق شدند. نتیجه حاصل از این تلفیق، نقشه نهایی بود که با انتخاب قسمت هایی با ارزش بیشتر از

فاصله از مناطق حفاظت شده و گسل ها، طبقات درصد شیب و ارتفاعات برای ساختن نقشه های محدودیت استفاده شدند. استانداردسازی هر کدام از این لایه ها بر اساس جدول ۱ و با استفاده از منطق بولین انجام گرفت و به مناطقی که امکان اجرای دفن بهداشتی پسماند را داشتند، عدد یک و مناطقی که جهت انجام دفن بهداشتی پسماند دارای محدودیت بودند، عدد صفر تعلق گرفت (۷، ۱). در نهایت لایه های محدودیت با نقشه های نهایی حاصل از روش ترکیب خطی وزنی، با اعمال دستور AND در محیط نرم افزار ArcMap 10.1 ترکیب شدند.

یکی از موارد بسیار مهم در تعیین مکان مناسب جهت دفن بهداشتی پسماندها، مناسب و کافی بودن مکان دفن می باشد که بتواند برای حداقل ۱۵ تا ۲۰ سال مکان مورد نیاز جهت دفن پسماند را تأمین کند (۱۴). جهت محاسبه حداقل مساحت مورد نیاز برای دفن بهداشتی پسماند، باید به عواملی مانند نرخ تولید پسماند، جمعیت و دانسیته پسماندهای فشرده شده توجه داشت. همچنین باید میزان رشد جمعیت و تولید سالیانه پسماندها و ارتفاع و شکل محل دفن مورد نیاز مورد بررسی قرار گیرد (۱۴، ۱۰). لذا جهت برآورد سطح زمین مورد نیاز به ترتیب از معادله های زیر استفاده شد:

معادله نرخ رشد جمعیت:

$$P_t + p_0(1+r)^t \quad \text{معادله (۱)}$$

در معادله ۱، P_t جمعیت در سال ۱۳۹۰، p_0 جمعیت در سال ۱۳۸۰ و r میزان رشد جمعیت برای ۱۰ سال در شهرستان خرم آباد است.

در این مطالعه با توجه به این که میزان رشد پسماند معادل رشد جمعیت در نظر گرفته شد و با احتساب دوره طراحی ۲۰ ساله برای محل دفن مواد زائد جامد، مقدار مواد زائد تولید شده طبق معادله ۲ محاسبه گردید.

$$W_{20} = Q \times \frac{(1+r)^{20}-1}{r} \quad \text{معادله (۲)}$$

در معادله ۲، Q مقدار تولید روزانه پسماند و W_{20} مقدار پسماند شهری تولید شده در مدت زمان ۲۰ سال است.

۱۷۰ و با مساحت بیشتر از حداقل مساحت مورد نیاز جهت دفن پسماندهای شهری شهرستان خرم‌آباد، مکان‌های مناسب‌تر شناسایی شدند، سپس با استفاده از روش الکترونیکی بین گزینه‌های مستعد دفن بهداشتی پسماندهای شهری اولویت‌بندی صورت گرفت. مراحل انجام شده در روش الکترونیکی به شرح زیر آورده شده

جدول ۲. حد آستانه و نوع تابع فازی جهت استانداردسازی نقشه‌های معیار در منطق فازی

معیارها	نقاط کنترل	a	b	c	d	نوع تابع فازی
شیب (درصد)		*	*	۳	۴۰	کاهشی
فاصله از رودخانه (متر)		۶۰۰	۲۰۰۰	*	*	افزایشی
فاصله از جاده اصلی (متر)		۱۶۰	۲۴۰	۱۰۰۰	۱۲۵۰	متقارن
فاصله از شهر (متر)		۳۰۰۰	۵۰۰۰	۲۵۰۰۰	۴۰۰۰۰	متقارن
فاصله از روستا (متر)		۱۰۰۰	۵۰۰۰	*	*	افزایشی
فاصله از گسل (متر)		۵۰۰	۱۵۰۰	*	*	افزایشی
زمین‌شناسی	تعریف شده توسط کاربر	*	*	*	*	
کاربری اراضی	تعریف شده توسط کاربر	*	*	*	*	
طبقات ارتفاعی (متر)		*	*	۱۰۰	۱۸۰۰	کاهشی
چشمه و قنات (متر)		۱۰۰۰	۲۵۰۰	*	*	افزایشی
عمق آب‌های زیرزمینی (متر)		۶	۳۰	*	*	افزایشی
اقلیم‌شناسی	تعریف شده توسط کاربر	*	*	*	*	
فرسایش‌پذیری	تعریف شده توسط کاربر	*	*	*	*	
فاصله از مناطق حفاظت شده (متر)		۳۲۰	۳۰۰۰	*	*	افزایشی

است:

$$W = \{W_1, W_2, \dots, W_n\} \quad \text{معادله (۵)}$$

$$v_{ij} = W_j \times j \quad \text{معادله (۶)}$$

در معادله بالا، W_j وزن هر معیار و j معیارها را نشان می‌دهد.

د- تشکیل مجموعه ماتریس‌های هماهنگ و ناهماهنگ

پس از تشکیل ماتریس موزون، گزینه‌ها با توجه به ماتریس موزون، دوباره از نظر بزرگ‌تر و کوچک‌تر بودن مورد مقایسه قرار گرفتند، یعنی تمامی گزینه‌ها نسبت به تمامی شاخص‌ها، مورد ارزیابی قرار گرفتند و مجموعه شاخص‌های موجود (I): به دو زیرمجموعه متمایز هماهنگ (S_{ki}) و ناهماهنگ (D_{ki}) تقسیم شدند و به ترتیب با استفاده از معادلات ۷ و ۸ به دست آمدند.

$$S_{ki} = \{j / v_{kj} \geq v_{ij}\} \quad \text{معادله (۷)}$$

$$D_{ki} = \{j / v_{kj} < v_{ij}\} = I - S_{ki} \quad \text{معادله (۸)}$$

الف- تشکیل ماتریس تصمیم

ماتریس تصمیم یا همان ماتریس امتیازدهی گزینه‌ها بر اساس معیارها تشکیل شده است. ماتریس تصمیم با X و هر درایه آن با X_{ij} به دست آمده است.

ب- نرمال‌سازی داده‌ها

مرحله بعدی نرمال‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری می‌باشد که از

معادله ۴ استفاده شده است:

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m x_{ij}^2}} \quad \text{معادله (۴)}$$

ج- تشکیل ماتریس تصمیم وزن‌دار

در این مرحله مجموعه‌ای از وزن‌های مربوط به شاخص‌ها مانند معادله ۵ تعریف شده است و سپس در ماتریس نرمالیزه بر

۵- محاسبه ماتریس هماهنگی

پس از تشکیل مجموعه هماهنگ، ارزش ممکن از مجموعه هماهنگی (S_{ki}) به وسیله اوزان موجود از شاخص های ناهماهنگ در آن مجموعه اندازه گیری شدند و ماتریس هماهنگی طبق معادله ۹ محاسبه شد؛ یعنی معیار هماهنگی برابر با مجموع اوزان (W_i) از شاخص هایی است که مجموعه S_{ki} را تشکیل می دهند.

$$I_{kl} = \sum S_{ki} w_i \sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad \text{معادله (۹)}$$

و- محاسبه ماتریس ناهماهنگ

در این مرحله بین گزینه هایی که دوبره دو به هم مقایسه شدند، تفاضل صورت گرفت و ماتریس ناهماهنگ با استفاده از عناصر ماتریس موزون و به ازای مجموعه ناهماهنگ، طبق معادله ۱۰ محاسبه شد.

$$NI_{ki} = \frac{\max_{j \in D_{ki}} |V_{kj} - V_{ij}|}{\max_{j \in J} |V_{kj} - V_{ij}|} \quad \text{معادله (۱۰)}$$

ز- مشخص نمودن ماتریس هماهنگ مؤثر

ماتریس هماهنگ مؤثر طبق معادله ۱۱ محاسبه شد. برای ایجاد این ماتریس، عنصری که ماتریس هماهنگ (I) بزرگ تر یا مساوی آن بود، آن مؤلفه در ماتریس هماهنگ مؤثر (H)، مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر به خود گرفت.

$$\sum_{i=1}^m \bar{I} = \sum_{i=1}^m m(m-1)/I_{ki} \quad \text{معادله (۱۱)}$$

$$H_{ki} = 1 \leftarrow I_{ki} \geq \bar{I}$$

$$H_{ki} = 0 \leftarrow I_{ki} < \bar{I}$$

ح- مشخص نمودن ماتریس ناهماهنگ مؤثر

این ماتریس طبق معادله ۱۲ به دست آمد. تشکیل ماتریس ناهماهنگ مؤثر، درست عکس ماتریس هماهنگ مؤثر می باشد؛ یعنی عنصری که ماتریس ناهماهنگ آن بزرگ تر یا مساوی آن بود، آن مؤلفه در ماتریس ناهماهنگ مؤثر مقدار صفر و در غیر این صورت مقدار یک را به خود گرفت.

معادله (۱۲)

$$\bar{NI} = \sum_{i=1}^m \sum_{i=k}^m NI_{ki} / m(m-1)$$

حال داریم:

$$G_{ki} = 1 \quad NI \leq \bar{NI} \quad \text{اگر}$$

$$G_{ki} = 0 \quad NI > \bar{NI} \quad \text{اگر}$$

ط- محاسبه ماتریس کلی مؤثر

در این مرحله ماتریس کلی مؤثر با به کارگیری معادله ۱۳ به دست آمد. در این مرحله که در واقع گام آخر روش الکترون است، درایه های ماتریس هماهنگ مؤثر در درایه های ماتریس ناهماهنگ مؤثر ضرب شده است. سپس یک ستون به عنوان باخت و یک ستون به عنوان برد و یک ستون هم به عنوان جواب نهایی تشکیل شد. جمع سطرها و ستون ها به ترتیب نشان دهنده ستون های برد و باخت بود و اختلاف بین این دو، جواب نهایی را مشخص کرد و سپس با توجه به این که گزینه ای که بیشترین مقدار را به خود بگیرد بهترین گزینه معرفی می شد، رتبه بندی میان گزینه ها صورت گرفت.

$$F_{ki} = H_{ki} \times G_{ki} \quad \text{معادله (۱۳)}$$

یافته ها

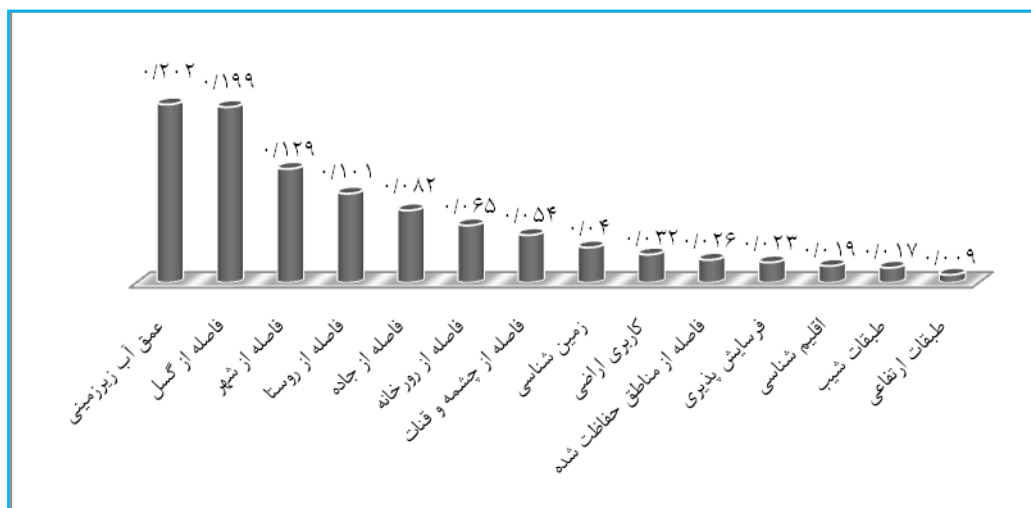
در مطالعه حاضر پس از به دست آوردن نقشه های محدودیت بر اساس جدول ۱، با توجه به جمعیت شهرستان خرم آباد در سال های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ که به ترتیب برابر با ۳۲۸۵۴۴ و ۳۴۸۲۱۶ نفر بود و همچنین تولید روزانه پسماندها که برابر با ۴۵۸ تن می باشد و با استفاده از معادلات ۱ تا ۳، حداقل مساحت جهت دفن بهداشتی پسماندهای شهری برابر با ۴۸ هکتار به دست آمد.

بر اساس نتایج حاصل از وزن دهی، معیارهای عمق آب زیرزمینی و طبقات ارتفاعی به ترتیب با وزن های ۰/۲۰۲ و ۰/۰۰۹ بیشترین و کمترین مقدار را به خود گرفتند (شکل ۲)، و نرخ سازگاری ماتریس مقایسه زوجی برابر با ۰/۰۸ و کم تر از ۰/۱ بود، بنابراین وزن دهی درست انجام شده بود.

پس از تشکیل لایه های استاندارد شده مطابق منطق فازی، نتایج حاصل از روش ترکیب خطی وزنی با اعمال نقشه های محدودیت

به‌ترتیب در معمولان، ویسیان و پاپی قرار گرفته‌اند و به‌ترتیب از گزینه ۱ تا ۵ دارای مساحت‌های ۸۷۶، ۵۹۵۹، ۶۹۴، ۵۰۳، ۲۹۳۱ هکتار می‌باشند. در واقع ۹۸/۲٪ از شهرستان خرم‌آباد نامناسب و ۱/۸۰٪ از آن مناسب شناسایی شدند. پس از تشکیل ماتریس تصمیم (جدول ۳) و طی مراحل که در قسمت روش‌ها گفته شد، بر اساس نتایج حاصل از اولویت‌بندی روش الکترونیکی در جدول ۴، گزینه ۳ واقع در چگنی، به عنوان گزینه مناسب‌تر شناسایی شد و سپس گزینه ۲ و ۴ با ارزش مساوی در رتبه بعدی و گزینه ۱ و ۵ نیز با امتیاز مساوی در آخرین رتبه قرار گرفتند.

به‌دست آمد که در شکل ۳ آورده شده است و نشان می‌دهد مناطق مناسب برای دفن بهداشتی پسماندهای شهری در قسمت‌های شمال غرب، غرب و جنوب شهرستان خرم‌آباد قرار گرفته‌اند. در نهایت جهت شناسایی مکان‌های مناسب‌تر برای دفن بهداشتی پسماندهای شهری، مناطق با ارزش بالاتر از ۱۷۰ و حداقل مساحت مورد نیاز برای دفن بهداشتی پسماندهای شهری برای دوره ۲۰ ساله انتخاب شدند که در نهایت باعث معرفی ۵ مکان گردید که در شکل ۴ آورده شده است. همانطور که مشخص است ۵ گزینه به‌عنوان مناطق مناسب جهت دفن بهداشتی پسماندها شناسایی شده است که گزینه‌های ۱ و ۲ در چگنی و بقیه



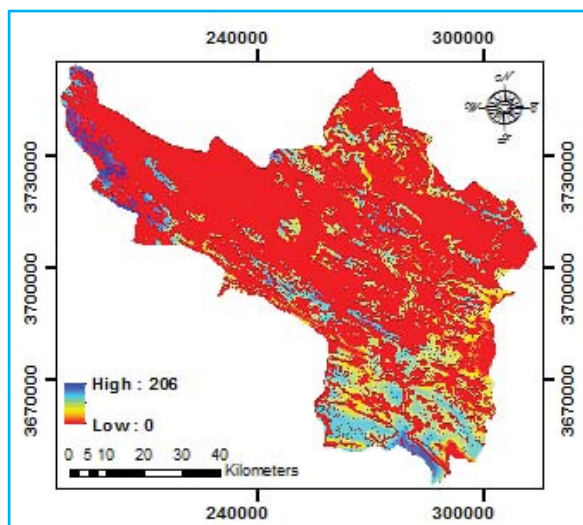
شکل ۲. نمودار مقایسه درجه اهمیت معیارهای مورد استفاده در مکان‌یابی محل دفن پسماندهای شهری

جدول ۳. ماتریس تصمیم در روش الکترونیکی جهت مکان‌یابی محل دفن پسماندهای شهری شهرستان خرم‌آباد

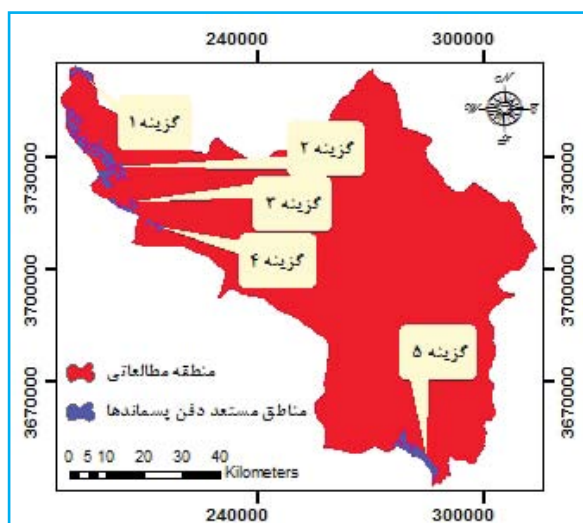
گزینه‌ها	عمق آب زیرزمینی	فاصله از گسل	فاصله از شهر	فاصله از روستا	فاصله از جاده	فاصله از رودخانه	فاصله از چشمه و قنات	زمین‌شناسی	کاربری اراضی	فاصله از مناطق حفاظت‌شده	فرسایش‌پذیری	اقلیم	طبقات شیب	طبقات ارتفاع
۱	۱۵۵	۲۵۵	۱۲	۲۵۵	۰	۲۵۵	۲۵۵	۴۶	۰	۲۵۵	۲۲	۱۳۹	۰	۰
۲	۲۵۵	۲۵۵	۲۵۵	۲۵۵	۰	۲۴۰	۲۵۵	۴۶	۰	۲۵۵	۶۰	۱۳۹	۰	۰
۳	۲۵۵	۲۵۵	۲۵۵	۰	۲۵۵	۲۴۰	۲۵۵	۰	۴۶	۲۵۵	۰	۱۳۹	۰	۲۰
۴	۲۰۷	۲۵۵	۲۵۵	۱۸۸	۰	۲۵۵	۲۵۵	۴۶	۱۷۰	۲۵۵	۰	۲۵۵	۲۵۵	۲۰۹
۵	۰	۹۴	۱۹۵	۲۵۵	۲۵۰	۲۴۰	۲۵۵	۱۷۰	۲۹	۲۵۵	۰	۶۰	۰	۲۰

جدول ۴. ماتریس کلی مؤثر روش الکترو

گزینه‌ها	برد (جمع سطر)	باخت (جمع ستون)	جواب نهایی (برد - باخت)
۱	۰	۲	-۲
۲	۲	۱	۱
۳	۲	۰	۲
۴	۲	۱	۱
۵	۰	۲	-۲



شکل ۳. نقشه نهایی مطلوبیت محل دفن پسماندهای شهری در شهرستان خرم‌آباد بر اساس روش ترکیب خطی وزنی با احتساب عوامل محدود کننده



شکل ۴. نقشه گزینه‌های مناسب دفن زباله دارای حداقل ارزش ۱۷۰ و حداقل مساحت ۴۸ هکتار برای دوره ۲۰ ساله

بحث

جهت مکان‌یابی دفن بهداشتی پسماندهای شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره، ابتدا باید معیارهای مناسب در این رابطه انتخاب و تهیه شود. در واقع انتخاب نوع پارامترهای مؤثر در انتخاب محل دفن بهداشتی مواد زائد جامد، تابعی از شرایط محدوده مطالعاتی است که این موضوع بر وزن‌دهی پارامترها تأثیر مستقیم دارد؛ به گونه‌ای که در وزن‌های اختصاص داده شده به پارامترها در مطالعات مختلف با شرایط محیطی مختلف، تفاوت‌های زیادی مشاهده می‌شود (۱۷)، انتخاب معیارهای مناسب و کافی برای به دست آوردن نتایج دقیق‌تر، نکته‌ای است که باید به آن توجه کرد. مسلم است هرچه تعداد پارامترها بیشتر باشد، نتیجه دقیق‌تری حاصل می‌شود، اما باید توجه داشت که افزایش بیش از حد معیارها و شاخص‌ها، وزن‌دهی معیارها را دچار مشکل می‌کند (۱۸).

در مطالعه حاضر، با توجه به نظر کارشناسی و مطالعه تحقیقات انجام شده در این زمینه و همچنین با توجه به اطلاعات موجود در رابطه با منطقه مطالعاتی، ۱۴ معیار (فاصله از جاده و رودخانه، فاصله از چشمه و قنات، فاصله از مناطق حفاظت‌شده و گسل‌ها، فاصله از شهرها و روستاها، کاربری ارضی، زمین‌شناسی، اقلیم، فرسایش‌پذیری، عمق آب‌های زیرزمینی، طبقات شیب و ارتفاعی) انتخاب و جمع‌آوری گردید. البته معیارهایی نظیر خطوط انتقال نیرو، مراکز صنعتی و معادن نیز مدنظر بود که متأسفانه اطلاعات آن‌ها در دسترس قرار نگرفتند.

نتایج وزن‌دهی در مطالعه حاضر نیز نشان داد که معیار عمق آب زیرزمینی و فاصله از گسل‌ها از اهمیت بیش‌تری برخوردار است و دلیل آن ممکن است این باشد که عمق آب‌های زیرزمینی در شهرستان خرم‌آباد کم است و از طرفی دارای گسل‌های فعال زاگرس می‌باشد که دفن بهداشتی پسماندهای شهری را دچار مشکل می‌کند، بنابراین توجه به این معیارها بیشتر مدنظر قرار گرفته است. ولی در مطالعه سنر و همکاران (۲۰۱۰) که به منظور مکان‌یابی دفن مواد زائد جامد در اطراف دریاچه سهیر انجام دادند، معیارهای کاربری

یک مزیت مهم می‌باشد و آن این است که توانایی تصمیم‌گیری در مسائلی مانند مطالعه حاضر را دارد؛ چراکه وابسته به ذهنیت تصمیم‌گیرندگان است؛ یعنی قابلیت آن در حل مسائلی که تحت تأثیر تصمیم‌گیری گروه‌های مختلف است، بالا می‌باشد (۲۰).

در تحقیقاتی مشابه مطالعه حاضر، تفاوت‌ها و شباهت‌هایی از نظر تعداد و اهمیت پارامترها و همچنین استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیارها وجود دارد.

در مطالعه معین‌الدینی و همکاران (۲۰۱۰) (۸) که جهت مکان‌یابی دفن بهداشتی مواد زائد شهر کرج صورت گرفت، پارامترهای بیشتری مدنظر قرار گرفتند و نمودار سلسله مراتبی آن برعکس مطالعه حاضر دارای زیرمعیار بود که بر اساس نتایج وزن‌دهی، زیرمعیار قابلیت دید از سکونت‌گاه‌ها دارای بیشترین امتیاز و زیرمعیار فاصله از خطوط انتقال برق کم‌ترین امتیاز را گرفت. در این مطالعه از مدل ترکیب خطی وزنی استفاده شد، ولی رتبه‌بندی نهایی بین گزینه‌های حاصل از مدل نام برده با مدل تاپسیس فازی سلسله مراتبی صورت گرفت، زیرا ساختار سلسله مراتبی مسئله دارای زیرمعیار است که در این صورت استفاده از روش تاپسیس کلاسیک و فازی غیر قابل استفاده است، به همین جهت با یک روش توسعه یافته تاپسیس به نام تاپسیس فازی سلسله مراتبی رتبه‌بندی صورت گرفت.

در مطالعه حاضر با قرار دادن هر کدام از لایه‌ها بر روی نقشه نهایی مشخص شد که در قسمت‌های غربی و جنوبی شهرستان خرم‌آباد، عمق آب زیرزمینی زیاد بوده و همچنین مناطق انتخابی در فاصله مناسب‌تری از گسل، شهر، روستا، جاده و رودخانه قرار دارند، در ضمن سایر معیارهای استفاده شده مانند فاصله از مناطق حفاظت شده و چشمه و قنات، اقلیم و طبقات ارتفاعی در شرایط نسبتاً مناسب قرار دارند، به همین جهت گزینه‌های مستعد و مناسب‌تری که از نقشه نهایی حاصل از روش ترکیب خطی وزنی انتخاب شد، در قسمت جنوب و غرب و شمال غرب منطقه مورد مطالعه واقع شده‌اند، البته این مناطق گزینه‌های مستعد جهت دفن بهداشتی پسماندهای شهری را با در نظر گرفتن معیارهای استفاده شده نشان می‌دهد که ممکن است با اضافه

اراضی با وزن ۰/۶۷ بیشترین و جهت و شیب به‌ترتیب با وزن‌های ۰/۰۵۱۰ و ۰/۱۶۸۰ کم‌ترین اهمیت را گرفتند و دلیل آن این‌طور ذکر شد که در آن منطقه جنگل و تالاب‌های مهمی وجود دارد و در دامنه تپه‌های آن منطقه، شیب زیادی وجود ندارد که جهت شیب محدودیت ایجاد کند (۳). در مطالعه متکان و همکاران (۲۰۰۸) که در شهر تبریز انجام شد، عمق آب زیرزمینی و فاصله از منابع آب سطحی به‌ترتیب با وزن‌های ۰/۲۴۹ و ۰/۱۷۶ بیشترین اهمیت را داشتند (۱۹) و در مطالعه پناهنده و همکاران (۲۰۱۰) در شهر سمنان، به ترتیب معیارهای فاصله از گسل و فاصله از اماکن مسکونی به‌ترتیب با وزن‌های ۰/۱۹۳ و ۰/۱۵۹، بیشترین اهمیت را داشتند (۲۰). از نتایج حاصل از وزن‌دهی در تحقیقاتی که انجام شده می‌توان نتیجه گرفت که انتخاب معیار و وزن‌دهی آن‌ها تابع شرایط محیطی و موقعیت منطقه مورد مطالعه بوده است. در واقع اگر چنین چیزی وجود نداشت، دیگر نیازی به شناخت منطقه مورد مطالعه نبود که در آن صورت نتایج حاصل از تحقیقات کاملاً اشتباه به‌دست می‌آمد.

در مطالعه حاضر از روش ترکیب خطی وزنی استفاده شد و لایه‌ها با استفاده از منطق فازی استاندارد شدند و نتایج حاصل از آن نشان داد که مناطق بیشتری در شمال غرب، غرب و جنوب جهت دفن بهداشتی پسماندهای شهری مناسب هستند. در نهایت با حذف مناطق با ارزش کم‌تر از ۱۷۰ و حداقل مساحت تعیین شده جهت دفن مواد زائد جامد شهری در دوره ۲۰ ساله در شهرستان خرم‌آباد که برابر ۴۸ هکتار به‌دست آمد، ۵ گزینه در قسمت شمال غرب، غرب و جنوب شهرستان معرفی شد که مستعد دفن پسماندهای شهری هستند. پس از آن بین گزینه‌های معرفی شده با روش الکترونیکی رتبه‌بندی صورت گرفت که در نهایت گزینه ۳ واقع در چگنی با مساحت ۶۹۴ هکتار در غرب شهرستان در رتبه اول قرار گرفت. در روش الکترونیکی به‌جای رتبه‌بندی گزینه‌ها از مفهوم جدیدی معروف به مفهوم غیر رتبه‌ای استفاده می‌شود، به این معنی که تمام گزینه‌ها با استفاده از مقایسات غیر رتبه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفته و بدان طریق گزینه‌های غیر مؤثر حذف می‌شوند و لزوماً رتبه‌بندی انجام نمی‌دهد. البته روش الکترونیکی

جهت مکان‌یابی دفن بهداشتی پسماندهای شهری استفاده شود و ضعف این روش‌ها که عدم رتبه‌بندی نهایی مناطق انتخابی است را پوشش دهد. این روش توانست با حذف گزینه‌های غیر موثر، انتخاب مکان‌های مناسب جهت دفن بهداشتی پسماندهای شهری را تسریع بخشد و به تصمیم‌گیران در اولویت‌بندی ۵ گزینه پیشنهادی در منطقه مطالعاتی کمک کند.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با استفاده از حمایت مالی دانشگاه کاشان به انجام رسیده است. بدین وسیله از مساعدت‌های معاونت محترم پژوهشی دانشگاه کمال تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

- Motlagh ZK, Sayadi MH. Siting MSW landfills using MCE methodology in GIS environment (Case study: Birjand plain, Iran). *Waste Management*. 2015;46:322-37.
- De Feo G, De Gisi S. Using MCDA and GIS for hazardous waste landfill siting considering land scarcity for waste disposal. *Waste management*. 2014;34(11):2225-38.
- Şener Ş, Şener E, Nas B, Karagüzel R. Combining AHP with GIS for landfill site selection: a case study in the Lake Beyşehir catchment area (Konya, Turkey). *Waste Management*. 2010;30(11):2037-46.
- Kontos TD, Komilis DP, Halvadakis CP. Siting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology. *Waste management*. 2005;25(8):818-32.
- Samsari Jahromi H, Hoseynzadeh Asl, H. Landfill in the city of Bandar Abbas location using Analytical Hierarchy Process (AHP). *Journal of humans and the environment*. 2013;91(21): 65-76. (Persian)
- Seyhani porshokoh R, Dehghani M, Ghaderi H. Site Selection of the landfill using GIS, (Case study: Zaran) Hamedan. Tenth National Conference of Environmental Health. 2009. (Persian)
- Shahabi H, Allahi M, Hosseyni S, Rahimi A. Assessment methods and analytic hierarchy weighted linear combination of locating urban waste landfill with emphasis on geomorphic. *Journal of geography environment planning*. 2009; 3: 115-135. (Persian)
- Moeinaddini M, Khorasani N, Danehkar A, Darvishsefat AA. Siting MSW landfill using weighted linear combination and analytical hierarchy process (AHP) methodology in GIS environment (case study: Karaj). *Waste Management*. 2010;30(5):912-20.
- Taghvaei M, Zarei M, Momeni R. Application of the Analytic Hierarchy Process (AHP) in locating Landfill in the city of Marvdasht. *Journal of Geography and Environmental Studies*. 2011;2 (4):19-29. (Persian)
- Monavari M. Environmental impact assessment model for urban landfill site, Organization and into recycle material. Tehran Municipality. 2002. (Persian)
- Hendrix WG, Buckley DJ. Use of a geographic information system for selection of sites for land application of sewage waste. *Journal of Soil and Water Conservation*. 1992;47(3):271-5.
- Asgharpour M. Multi Criteria decisions [Thirteenth Edition, Tehran Editor, Publication of Tehran University. 2014. (Persian)
- Habibi A, Izadyar S, Sarafrazi A. Fuzzy Multi-Criteria Decision [Tehran, Gill Katibeh publications. 2014. (Persian)
- Madadi A, Azadimobaraki M, Babai moghadam F. Suitable sites landfill modeling using AHP fuzzy logic, weighted overlap index and Boolean logic (Case Study: Ardebil). *Journal of Geography and Planning*. 2012;17 (47): 235-254. (Persian)
- Afzali A. Application of GIS and analytic hierarchy process of locating urban waste disposal site (Case Study: Najaf Abad). M.sc. College of Agriculture and Natural Resources. Isfahan University of Technology. 2008. (Persian)
- Saaty TL. Decision Making for leaders: The analytical hierarchy process for decisions in a complex work: Lifetime Learning Publications; 1981.
- Şener B, Süzen ML, Doyuran V. Landfill site selection by using geographic information systems. *Environmental geology*. 2006;49(3):376-88.
- Zarati L. Assess the tourism potential of the basin Ben is Ghamsar using Analytical Hierarchy Process (AHP), M.Sc., Faculty of Natural Resources and Desert studies, Yazd University. 2014. (Persian)
- Matekan A.A, Shakiba A, Purali S.H, Nazmfar H. Suitable areas site selection for waste disposal using GIS. *Environ. Sci. J.* 2008;6(2):121-132. (Persian)
- Panahandeh M.B, Arastoo B, Ghavidel A, Ghanbari F. Application of the Analytic Hierarchy Process (AHP) in locating Landfill in Semnan, *Journal of Health and Environment*. 2010; 2(4), 276-283. (Persian)