

Integrated ELECTRE-FAHP Approach in Land Suitability Assessment to Locate Landfill Sites using Spatial Information Systems in Ahvaz City

Javad Sadidi ^{1*}, Peyman Heydarian ², Sara Azizi Ghalati ³, Mohammad Baaghdeh ⁴,
Sepideh Abdolmaleki ⁵

¹ Department of Remote Sensing and Geographical Information Systems, Kharazmi University, Tehran, Iran

² MSc, Remote Sensing and Geographic Information Systems, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

³ Master of Science in Remote Sensing and Geographic Information Systems, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

⁴ Department of Natural Geography, Hakim Sabzevari University, Khorasan Razavi, Iran

⁵ Secretary of Geography, Education Department of Alborz Province, Alborz, Iran

Abstract

Landfilling is one of the important suffering issues for human being. Problems caused by landfilling have led some countries to gather urban waste in unprotected area. Because of the mentioned issue, landfilling is a significant discussion in environmental engineering. This research aimed at selecting suitable sites for garbage massing in Ahvaz urban area via integrated ELECTRE-AHP approach using GIS techniques in two main steps. At the first step, 23 effective criteria in landfilling site selection were collected from the in charge of organizations. The criteria were standardized and analyzed using Geographical Information Systems. After the standardization process, expertise opinion was applied and FAHP method was applied for criteria weighting process. Finally, each of the weighting criteria and 17 criteria were overlapping at this stage. The outcome of this method is 5 suitable sites for landfilling in the northern east and east region of Ahvaz. At the next step, 5 sites achieved from the previous step were ranked by ELECTRE method using the 6 remained criteria. The achievement of implementing this step is 3 options with the same worthiness for landfilling. The results show that the selected sites, compared to the current garbage mass place located on humid winds flows as well as high water level in the south and southeast region, have the better conditions in terms of health and sanitary problems. Also, integrated ELECTRE-AHP approach due to considering the relative nature of criteria values in weighting and ranking, has more efficiency compared to prior methods used to locate the current landfilling sites (Safireh and Brumi region).

Key words: Site Selection, Geographic Information Systems (GIS), FAHP, ELECTRE, Ahvaz.

روش ترکیبی ELECTRE-FAHP برای ارزیابی تناسب اراضی با رویکرد مکان‌یابی

دفن پسماند در شهر اهواز

جواد سدیدی^{*}: عضو هیات علمی، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

پیمان حیدریان: کارشناس ارشد، سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

سارا عزیزی قلاتی: کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

محمد باعقیده: عضو عیات علمی گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه حکیم سبزواری، خراسان رضوی، ایران

سپیده عبدالملکی: دبیر جغرافیا، اداره آموزش و پرورش استان البرز، البرز، ایران

وصول: ۱۳۹۳/۰۳/۱۱ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۲۳، صص ۹۹-۱۱۲

چکیده

مسئله دفن مواد زائد همواره از سال‌های دور گریبان‌گیر بشر بوده است. مسائل و مشکلات ناشی از دفن زباله‌ها سبب شده است تا در برخی از کشورهای جهان زباله‌دان‌های روباز جای خود را به محل دفن بهداشتی بدهند. به همین دلیل، موضوع دفن مواد زائد یکی از بحث‌های مهم در زمینه مهندسی محیط‌زیست است. در این راستا، پژوهش حاضر در پی یافتن محل مناسب دفن پسماندهای شهری اهواز، طی دو مرحله، با استفاده از تکنیک GIS و روش ترکیبی ELECTRE-FAHP است. در مرحله اول، داده‌های معیارهای (۲۳ معیار) مؤثر در انتخاب محل دفن پسماند از سازمان‌های مربوطه جمع‌آوری شد و با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی تجزیه و تحلیل و استانداردسازی شدند. سپس با ارائه نظر کارشناسی و به‌کارگیری روش FAHP هریک از معیارها وزن‌دهی و ۱۷ معیار در این مرحله همپوشانی شدند و حاصل آن ۵ مکان مناسب دفن بود که در شمال‌شرقی و شرق شهرستان اهواز واقع شده‌اند. در مرحله دوم ۵ گزینه به دست آمده با به‌کارگیری ۶ معیار باقی‌مانده در روش ELECTRE اولویت‌بندی و در نهایت ۳ گزینه با ارزش یکسان به‌عنوان بهترین مکان‌های دفن انتخاب شدند. نتایج نشان داد گزینه‌های انتخابی در مقایسه با مراکز دفن جدید (صغیره) و قدیم (برومی) که در جنوب و جنوب‌شرقی، در مسیر بادهای شرجی و مناطق با سطح ایستابی بالا قرار گرفته‌اند، در مکان بهتری واقع شده‌اند. همچنین، رویکرد ترکیبی FAHP و ELECTRE به دلیل لحاظ کردن ماهیت نادقیق پدیده‌ها در وزن‌دهی و رتبه‌بندی گزینه‌ها، کارایی بهتری نسبت به روش‌های پیشین انتخاب مراکز دفن جدید (صغیره) و قدیم (برومی) دارد.

واژه‌های کلیدی: مکان‌یابی، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP)

(ELECTRE)، اهواز

مقدمه

شرایط عدم اطمینان ارائه کرد. این نظریه قادر است بسیاری از مفاهیم، متغیرها و سیستم‌هایی را که نادقیق و مبهم هستند، صورت‌بندی ریاضی کند و زمینه را برای استدلال، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد (پوراحمد و همکاران، ۱۳۸۶: ۳۴). مهم‌ترین نقص منطق فوق، یکسان در نظر گرفتن وزن لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده، بدون توجه به اهمیت ضریب زیست‌محیطی آنهاست (سالاری و همکاران، ۱۳۹۱: ۹۷). فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چند شاخصه است که Saaty معرفی کرد. این روش هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه و شاخص تصمیم‌گیری روبه‌روست، مفید است، اما باید به این نکته توجه داشت که فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی سنتی، امکان انعکاس سبک تفکر انسانی را به‌طور کامل ندارد. به عبارت بهتر، استفاده از مجموعه‌های فازی، سازگاری بیشتری با توضیحات زبانی و بعضاً مبهم انسانی دارد؛ بنابراین، بهتر است با استفاده از مجموعه‌های فازی (به‌کارگیری اعداد فازی) به پیش‌بینی بلندمدت و تصمیم‌گیری در دنیای واقعی پرداخت (محمدی و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۰). با تلفیق منطق‌های Fuzzy و AHP علاوه بر در نظر گرفتن مزیت‌های هر دو روش، می‌توان معایب فوق را رفع کرد. در کنار این روش‌ها، شیوه‌های رتبه‌بندی یکی از رهیافت‌های مؤثر در حوزه تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌شمار می‌روند. هدف اصلی آن‌ها مقایسه زوجی گزینه‌ها به‌کمک روابط باینری، قطعی و یا فازی است، به‌طوری که بتوان گزینه‌ها را رتبه‌بندی کرد. در این رهیافت، خانواده روش‌های ELECTRE، TOPSIS، PROMETHEE و HFTOPSIS، FTOPSIS

گسترش بی‌رویه شهرها و در نتیجه افزایش بی‌رویه جمعیت شهری به‌ویژه در کشورهای درحال توسعه موجب افزایش بیش‌ازپیش مصرف و به تبع آن، افزایش تولید انواع پسماند در مناطق شهری شده است (متکان و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۲۲). در حال حاضر، دفع زباله در بسیاری از شهرها در شکل ساده آن، یعنی مدفون‌کردن در زیر حجمی از خاک انجام می‌شود. در بسیاری از مناطق شهری کشورهای در حال توسعه، مقرون به صرفه‌ترین سیستم دفع مواد زائد جامد، دفن بهداشتی است (حیدریان و همکاران، ۱۳۹۲). انتخاب مکان مناسب دفن بهداشتی زباله، یک تصمیم‌گیری است که به‌منظور شناسایی محل دفن در دسترس و بهینه، نیاز به فرآیند گسترده ارزیابی زمینی دارد (عزیزی‌قلاتی و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین، باید براساس الزامات و مقررات دولتی و طیف گسترده‌ای از عوامل ارضی و حقوقی به‌منظور کاهش تأثیرات منفی بر محیط‌زیست باشد و در عین حال هزینه‌های اقتصادی، زیست‌محیطی، بهداشتی و اجتماعی را به حداقل برساند (Effat et al, 2012: 125).

سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی برای این نوع از مطالعات اولیه به دلیل توانایی زیاد در مدیریت حجم بالای داده‌های فضایی از منابع گوناگون، ایده‌آل است (Nas et al, 2010: 492). به‌منظور یافتن بهترین مکان دفن پسماند، سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند همراه با منطق فازی و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (FAHP) استفاده شود و ابزار قدرتمندی برای حل مسائل و تصمیم‌گیری ارائه دهد (Kaya & Kahraman, 2010: 2518). منطق فازی را نخستین بار لطفی‌زاده از دانشگاه برکلی آمریکا، برای اقدام در

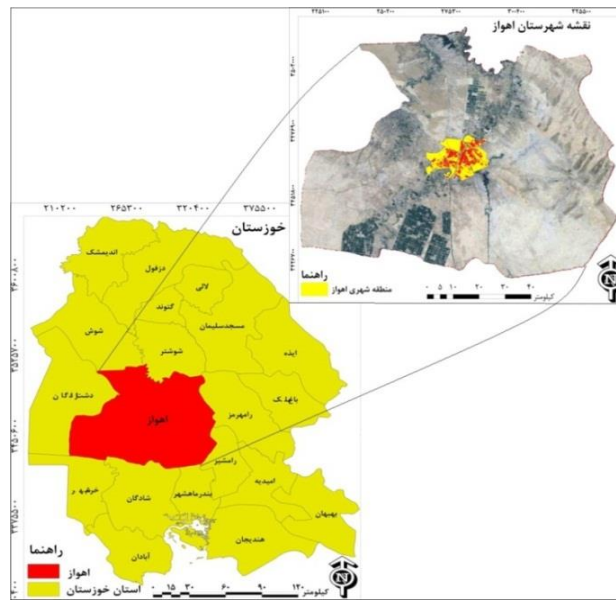
دفن پسماند استفاده کرده است (وحیدی، ۱۳۹۰). پژوهشگران دیگری نیز با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی، الگوریتم‌های فازی و به کمک ابزار نوین GIS اقدام به یافتن مکان مناسب برای دفن بهداشتی زباله در شهرهای مختلف ایران کرده‌اند که می‌توان به هادیانی و همکاران (۱۳۹۰)، پوراحمد و همکاران (۱۳۸۶) اشاره کرد. همچنین، مطالعاتی در این زمینه در خارج از کشور انجام شده (Aydi et al, 2013: 1375; Effat et al, 2012: 125). پژوهش Bain در سال ۲۰۱۱ در زمینه انتخاب مکان خشک بنادر در چین با استفاده از Fuzzy AHP و ELECTRE اشاره کرد. هدف پژوهش حاضر، با توجه به روش‌های مطالعات گذشته و نیز با در نظر گرفتن ماهیت پدیده‌های طبیعی مؤثر در امر مکان‌یابی محل دفن زباله (به‌ویژه عامل جهت باد و سطح ایستابی در شهرستان اهواز)، انتخاب محل مناسب دفن پسماندهای کلان‌شهر اهواز با استفاده از روش ترکیبی Fuzzy AHP و ELECTRE است.

منطقه مورد مطالعه

شهرستان اهواز با مساحت ۸۲۱۲ کیلومتر مربع، بین ۳۰ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۶ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی قرار دارد. این شهرستان مرکز سیاسی، اداری و تجاری استان خوزستان است. براساس آخرین تقسیمات کشوری، ۵ شهر به نام‌های اهواز، ملاثانی، شیبان، ویس و حمیدیه و ۳ بخش به نام‌های مرکزی، باوی و حمیدیه و ۱۲ دهستان و ۴۳۹ روستای دارای سکنه دارد. این شهرستان در دشت واقع شده است و در گروه اقلیم خشک قرار دارد.

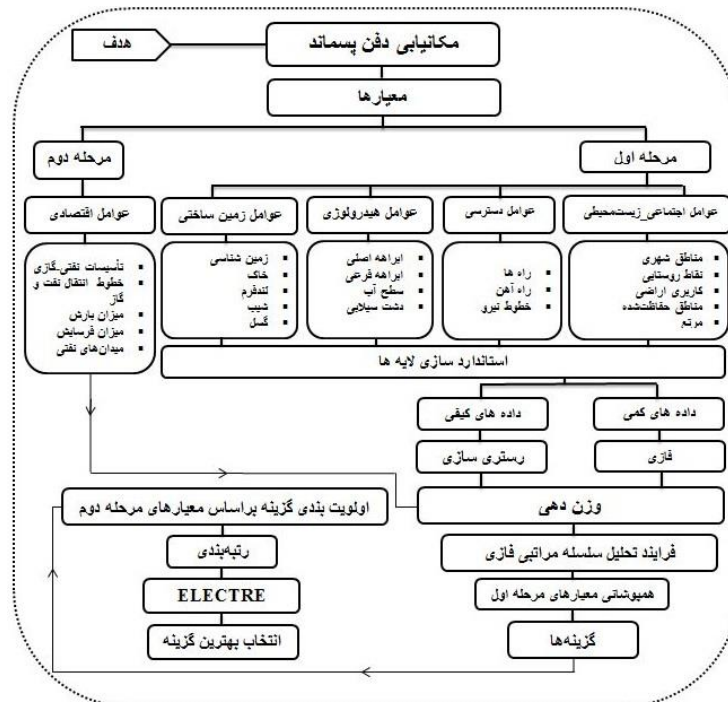
شناخته‌شده و کاربردی هستند (امیری و همکاران، ۱۳۹۱: ۴۹). در این میان، روش الکتراه از جمله روش‌های تصمیم‌گیری است که برنارد (Roy) در پاسخ به کاستی‌های موجود در روش‌های حل مسائل تصمیم‌گیری ارائه کرد (Roy, 1999). ایده نخستین این روش در باب مفاهیم هماهنگی، ناهماهنگی و برتری از کاربردهای جهان واقعی سرچشمه می‌گیرد. همچنین، از شاخص‌های هماهنگی و ناهماهنگی برای آنالیز روابط برتری در میان گزینه‌ها استفاده می‌کند (Wu & Chen, 2011: 12319). روش‌های الکتراه بسیاری از زمینه‌ها مانند انرژی، محیط‌زیست یا مدیریت آب، امور مالی (Li & Sun, 2010)، انتخاب پروژه، آنالیز تصمیم‌گیری (Montazer et al, 2009: 10837) و حمل و نقل کاربرد داشته است (Wu & Chen, 2011: 12319; Figueira et al, 2013: 317). انتخاب روش حل مسائل به خودی خود، یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره است. انتخاب روش ELECTRE به دو دلیل است: یکی توانایی در شرکت‌دادن ماهیت فازی تصمیم‌گیری (از طریق آستانه‌های برتری و بی‌تفاوتی) و دیگری نداشتن مقایسات زوجی زیاد و طاقت‌فرسای روش‌هایی مانند AHP. همچنین، انتخاب این روش بر مبنای کاربردهای موفقیت‌آمیزی مانند رتبه‌بندی ایستگاه‌های مترو پاریس برای بازسازی است (Roy et al, 1986).

مطالعات زیادی در زمینه مکان‌یابی محل دفن پسماند و استفاده از رویکرد ترکیبی Fuzzy AHP و روش ELECTRE صورت گرفته است، از آن جمله می‌توان به پژوهش وحیدی در سال ۱۳۹۰ اشاره کرد که با ترکیب دو روش تحلیل سلسله‌مراتبی و تئوری فازی برای مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره مکان‌یابی



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

متدولوژی هم‌پوشانی لایه‌ها با استفاده از فرآیند کلی اجرای پژوهش شامل دو مرحله است: مرحله اول شامل گردآوری اطلاعات، استانداردسازی داده‌ها، وزندهی به روش FAHP، اولویت‌بندی گزینه‌ها با استفاده از روش ELECTRE شامل دو مرحله دوم است (شکل ۲).



شکل ۲. فلوچارت مراحل اجرای مکان‌یابی دفن پسماند (منبع: نگارنده)

گردآوری اطلاعات

ابتدا شاخص‌ها، معیارها و ضوابط انتخاب مکان‌های مناسب برای دفن بهداشتی با بررسی استانداردهای مربوط به سازمان حفاظت محیط زیست، وزارت کشور و تجربیات جهانی، شناسایی و انتخاب شدند. مجموعه معیارها باید دارای آن‌دسته از خصوصیات باشند که به اندازه کافی معرف طبیعت چندمعیاری یک مسئله تصمیم‌گیری است (سعیدی و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۳۵).

شاخص‌های تعیین‌شده زیرمجموعه‌ای از پنج معیار اصلی شامل عوامل اجتماعی، عوامل دسترسی، عوامل هیدرولوژی، عوامل زمین‌ساختی و عوامل محیطی هستند (جدول ۱). داده‌های مورد نیاز برای انتخاب مکان دفن بهداشتی زباله‌های شهرستان اهواز براساس معیارهای منتخب، از اداره‌های مربوطه تهیه و سپس لایه‌های اطلاعاتی کلیه زیرمعیارهای مورد نظر برای مکان‌یابی در محیط GIS استخراج شد.

جدول ۱. معیارها، زیرمعیارها و گستره قابل قبول آن‌ها

استانداردسازی	محدوده	نوع داده‌ها	زیر معیارها	معیارها
(تابع عضویت فازی - رستری سازی)				
خطی (افزایشی - کاهش)	۳۰۰۰-۴۰۰۰ متر	کمی	مناطق شهری	عوامل
خطی (افزایشی)	۱۰۰۰-۱۵۰۰ متر	کمی	نقاط روستایی	اجتماعی
رستری سازی	کاربری با ارزش پایین	کیفی	کاربری اراضی	-
خطی (افزایشی)	۱۰۰۰-۱۵۰۰ متر	کمی	مناطق حفاظت‌شده	زیست محیطی
رستری سازی	مراعات فقیر	کیفی	مرتع	
خطی (افزایشی - کاهش)	۳۰۰-۱۰۰۰ متر	کمی	راه‌ها	عوامل
خطی (افزایشی)	۲۰۰-۵۰۰ متر	کمی	راه آهن	دسترسی
خطی (افزایشی)	۲۰۰-۴۰۰ متر	کمی	خطوط نیرو	
خطی (افزایشی)	۳۰۰-۶۰۰ متر	کمی	آبراهه‌های اصلی	عوامل
خطی (افزایشی)	۱۵۰-۳۰۰ متر	کمی	آبراهه‌های فرعی	هیدرولوژی
فازی کوچک (Small)	۸-۱۰ متر	کمی	سطح ایستایی	
خطی (افزایشی)	۱۵۰-۳۰۰ متر	کمی	دشت سیلابی	
رستری سازی	سازندهای سخت	کیفی	زمین‌شناسی	عوامل زمین
رستری سازی	بافت ریز (رس و مارن)	کیفی	خاک	ساختی
رستری سازی	مناطق کم‌ارتفاع و دشتی	کیفی	لندفرم	
فازی کوچک (Small)	۱۵-۲۰ درصد	کمی	شیب	
خطی (افزایشی)	۱۵۰-۳۰۰ متر	کمی	گسل	

استانداردسازی زیرمعیارها

اغلب بعد از اینکه معیارها و گزینه‌ها مشخص می‌شوند، تأثیرات معیارها و گزینه‌ها با کمک نظر کارشناسی یا روش‌های کمی ارزیابی می‌شود. با این حال، چنین ارزیابی تأثیر اولیه ممکن است گمراه‌کننده باشد؛ به‌ویژه زمانی که معیارها مقایسه‌ناپذیر باشند. معیارهای مقایسه‌ناپذیر، به مفروضات اضافی یا استانداردهای نیاز دارند. استانداردهای داده‌ها فرایندی است که در آن معیارها برای قیاس‌پذیری، تبدیل و دوباره مقیاس‌دهی می‌شوند. به دلیل عدم قطعیت در تصمیم‌گیری و بی‌دقتی داده‌ها روش معمول برای استانداردسازی معیارها بر مبنای تئوری مجموعه فازی است (عابدی و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۹؛ Donveska et al, 2012). عملیات فازی‌سازی، ورودی‌ها را گرفته و با کمک توابع عضویت مربوطه از جمله Linear, J shape, Sigmoidal، درجه‌ای مناسب به هر یک نسبت می‌دهد. متغیرهای ورودی هر یک باید در محدوده رقومی تعریف‌شده خود باشند (مثلاً فاصله از خیابان از صفر تا ۵۰۰) و خروجی‌ها، درجه عضویت فازی از مجموعه‌های تعیین‌کننده زبانی (بین صفر و یک) هستند (مهجوری، ۱۳۹۱).

وزن‌دهی به روش FAHP

پس از آنکه معیارهای ارزیابی به مقیاس‌های قابل قیاس و استاندارد تبدیل شدند، باید وزن و اهمیت نسبی هر یک از آنها در رابطه با هدف موردنظر تعیین کرد. در این مطالعه از روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی برای تعیین وزن نسبی هر معیار استفاده شد. در سال ۱۹۸۳ دو پژوهشگر هلندی به نام‌های Phedrik و Larhorn بر اساس فرآیند تحلیل

سلسله‌مراتبی روشی را مبتنی بر مدل فازی پیشنهاد کردند که به دلیل ماهیت پیچیده آن مورد استقبال جوامع علمی واقع نشد (ضرابی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۰۶). بعدها این تکنیک را Chang ساده کرد که در حقیقت مقایسات را با ارقام فازی مطرح می‌کرد. مراحل انجام آن بدین صورت است (عطائی، ۱۳۸۹؛ Mahmoodzadeh et al, 2007): ۱. رسم نمودار سلسله‌مراتبی، ۲. تعریف اعداد فازی به‌منظور انجام مقایسه‌های زوجی، ۳. تشکیل ماتریس مقایسه زوجی با به‌کارگیری اعداد فازی.

برای انجام مقایسه‌ها نیاز به تعریف اعداد فازی و مقیاس‌های فازی است. در جدول زیر یک نمونه از این جداول آورده شده است.

جدول ۲. اعداد فازی و مقیاس‌های فازی

عدد فازی	تعریف	مقیاس فازی مثلثی
۱	دقیقاً مساوی	(۱, ۱, ۱)
۲	اهمیت یکسان	(۳/۲, ۱, ۱/۲)
۳	اهمیت ضعیف	(۲, ۳/۲, ۱)
۴	اهمیت قوی	(۵/۲, ۲, ۳/۲)
۵	اهمیت خیلی قوی	(۳, ۵/۲, ۲)
۶	اهمیت مطلق	(۷/۲, ۳, ۵/۲)

همپوشانی لایه‌های نهایی

همپوشانی یکی از توابع مکانی است که می‌تواند لایه‌های داده‌های مکانی را که از منابع مجزا به‌دست آمده‌اند، به‌منظور کاربردهای مکان‌یابی با استفاده از مدل‌های ترکیبی با یکدیگر تلفیق کند. لایه جدید (خروجی) به‌صورت تابعی از دو یا چند لایه ورودی است. این عملیات در داده‌های برداری و دارای ساختار

- ۱- ایجاد ماتریس تصمیم‌گیری براساس گزینه‌ها و معیارها
- ۲- نرمال‌سازی برداری ماتریس تصمیم‌گیری
- ۳- ایجاد ماتریس موزون (ماتریس نرمال‌شده) * وزن هر یک از معیارها)
- ۴- ایجاد ماتریس هماهنگ و ماتریس هماهنگ مؤثر
- ۵- ایجاد ماتریس ناهماهنگ و ماتریس ناهماهنگ مؤثر
- ۶- ایجاد ماتریس نهایی یا ماتریس کلی مؤثر (ماتریس هماهنگ مؤثر * ماتریس ناهماهنگ مؤثر)
- ۷- انتخاب بهترین گزینه

نتایج و بحث

در این مطالعه داده‌ها با توجه به ماهیت کمی و کیفی آن‌ها به دو روش فازی‌سازی و رستری‌سازی استاندارد شدند. در میان داده‌های کمی، برای استانداردسازی بعضی از زیرمعیارها، به منظور لحاظ کردن امکان‌سنجی اقتصادی از توابع عضویت فازی افزایشی و کاهش‌ی استفاده شد و سپس وزن نسبی هر معیار و زیرمعیار در ارتباط با هدف موردنظر تعیین و ماتریس‌های زوجی از معیارها و زیرمعیارهای مرتبط ایجاد شدند. در مرحله بعد، معیارها و زیرمعیارها به صورت دو به دو با هم مقایسه شد و با توجه به نظر تصمیم‌گیرندگان به هر یک از آن‌ها اعداد فازی اختصاص یافت. پس از تشکیل ماتریس مقایسه زوجی و تکمیل آن، با به‌کارگیری روش FAHP، وزن هر یک از معیارها و زیرمعیارها مشخص شد. برای انجام این کار از برنامه نوشته‌شده در محیط نرم‌افزار Matlab استفاده شد که

توپولوژیک عموماً دارای خروجی با اجزای جدید مکانی است. مدل‌های ترکیبی بر اساس روش‌های اجرایی به چندین گروه تقسیم می‌شود. به طور مثال: عملگرهای بولین، عملگرهای حسابی، منطق فازی، روش‌های احتمالاتی، همپوشانی شاخص، الگوریتم ژنتیک و...، که موارد ذکرشده خصوصاً در داده‌های شبکه‌ای قابل استفاده هستند (مهجوری، ۱۳۹۱).

اولویت بندی با استفاده از روش ELECTRE

روش الکتراه که در اواخر دهه ۱۹۸۰ مطرح شد، یکی از بهترین فنون MADM است. اساس این مفهوم، روابط غیررتبه‌ای است؛ یعنی لزوماً به رتبه‌بندی گزینه‌ها نمی‌انجامد، بلکه ممکن است گزینه‌هایی را حذف کند (سوخکیان و همکاران، ۱۳۸۹: ۴۴). این روش شامل چندین نسخه (ELECTRE I, II, III, TRI, IV) است که تمام آن‌ها بر مبنای مفاهیم پایه‌ای یکسان، اما از نظر عملی قدری متفاوت هستند (Roy, 1999). در این روش شاخص‌های کمی و کیفی استفاده می‌شوند و با مقایسات زوجی میان گزینه‌ها، رتبه‌بندی آن‌ها به دست می‌آید. مسائل چندشاخصه به صورت قراردادی با یک مجموعه از گزینه‌ها، شاخص‌ها و مقادیر برتری بیان می‌شوند. در این مسائل باید مجموعه‌ای از گزینه‌ها $A = \{a_i | (i = 1, 2, \dots, m)\}$ ارزیابی شوند که ارزیابی مورد نظر با مجموعه‌ای از شاخص‌ها $g_j(a), j = 1, 2, \dots, n$ صورت می‌پذیرد (کزازی و همکاران، ۱۳۹۰: ۵۷). در این مطالعه به منظور اولویت‌بندی و انتخاب بهترین گزینه‌های محل دفن پسماند از روش الکتراه استفاده شده است که طی مراحل زیر انجام می‌شود (سوخکیان و همکاران، ۱۳۸۹: ۴۴):

در آن با واردکردن داده‌های جدول‌های مقایسه وزن هر معیار و زیرمعیار مشخص شد (جدول ۳، ۴ معیارها و زیرمعیارها که به صورت اعداد فازی بودند، و ۵).

جدول ۳. وزن نهایی معیارها

معیارها	عوامل اجتماعی - زیست محیطی	عوامل دسترسی	عوامل هیدرولوژیکی	عوامل زمین‌ساختی
وزن	۰/۳۷۵	۰/۲۳۲	۰/۲۵۲	۰/۱۴۱

جدول ۴. وزن نهایی زیرمعیارها، مرحله اول

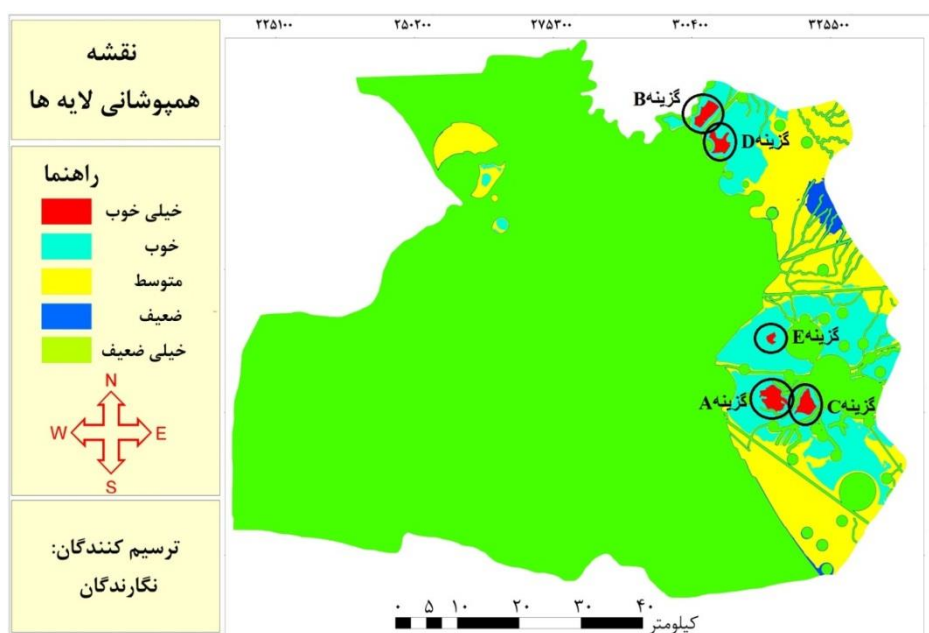
وزن	زیرمعیار	وزن	زیرمعیار
۰/۱۹۰	مناطق شهری	۰/۳۴۷	آبراهه‌های فرعی
۰/۳۶۷	نقاط روستایی	۰/۲۴۴	سطح آب
۰/۰۹۵	کاربری اراضی	۰/۱۹۲	دشت سیلابی
۰/۳۶۴	مناطق حفاظت شده	۰/۱۳۷	زمین شناسی
۰/۲۵۶	مرتع	۰/۰۸۱	خاک
۰/۱۸۴	راهها	۰/۵۹۸	لندفرم
۰/۱۲۶	راه آهن	۰/۳۰۵	شیب
۰/۰۷۰	خطوط نیرو	۰/۰۹۷	گسل
	آبراهه‌های اصلی	۰/۳۴۸	

جدول ۵. وزن نهایی زیرمعیارها، مرحله دوم

زیرمعیارها	فاصله از تأسیسات گازی - نفتی	فاصله از خطوط انتقال نفت و گاز	میزان بارش	فاصله از میدان‌های نفتی	مساحت گزینه	میزان فرسایش
وزن	۰/۲۹۶	۰/۲۰۷	۰/۰۷۱	۰/۱۵۴	۰/۱۸۰	۰/۰۹۰

ضرب شده و سپس با عملگرهای فازی با هم ترکیب و گزینه‌های پیشنهادی مشخص شدند. در نقشه حاصل مناطق با ارزش بالاتر، مناسب و مناطق با ارزش کمتر، نامناسب هستند (شکل ۵).

در مرحله بعد برای همپوشانی لایه‌های نهایی از روش فازی (Fuzzy Overlay) و توابع محاسبات رستری (Raster Calculator) استفاده شد؛ بنابراین، هر نقشه معیار در وزن به دست آمده از روش FAHP



شکل ۵. نقشه همپوشانی لایه‌ها

بعد از همپوشانی لایه‌های نهایی، ۵ مکان پیشنهادی برای دفن پسماند به دست آمدند که در قسمت شرق و شمال‌شرقی شهرستان اهواز واقع شده‌اند. در نهایت مکان‌های پیشنهادی براساس زیرمعیارهای مرحله دوم (عوامل اقتصادی) و با به‌کارگیری روش ELECTRE اولویت بندی شدند.

جدول ۶. اولویت‌بندی گزینه‌ها در ماتریس نهایی

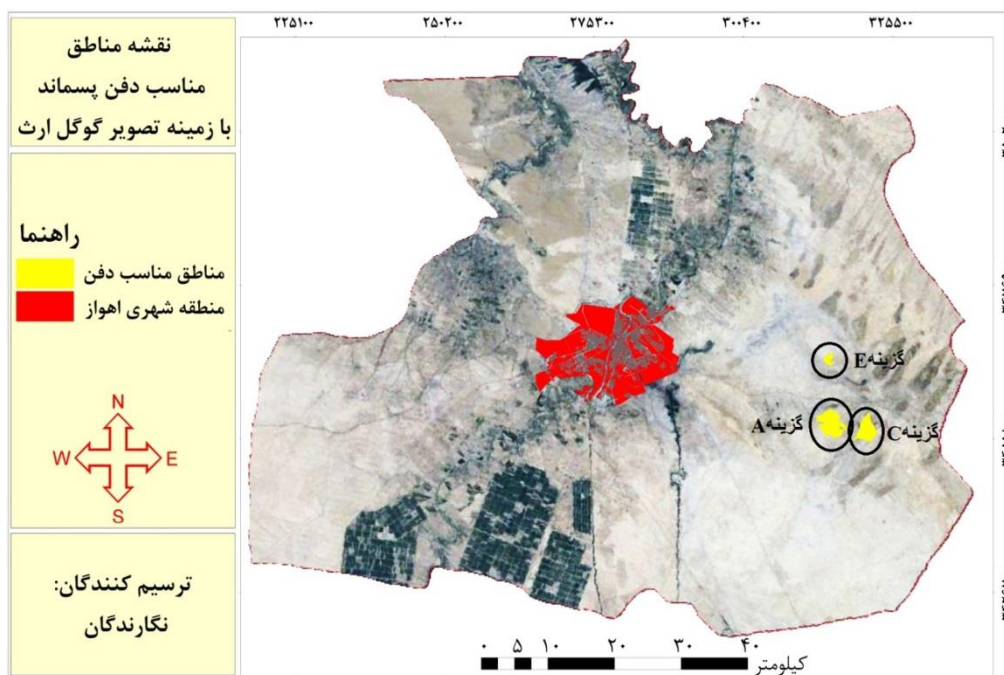
جواب نهایی (برد- باخت)	برد (حاصل جمع ستون‌ها)	برد (حاصل جمع سطرها)	گزینه E	گزینه D	گزینه C	گزینه B	گزینه A	
۱	۰	۱	۰	۱	۰	۰		گزینه A
۰	۰	۰	۰	۰	۰		۰	گزینه B
۱	۰	۱	۰	۱		۰	۰	گزینه C
-۳	۳	۰	۰		۰	۰	۰	گزینه D
۱	۰	۱		۱	۰	۰	۰	گزینه E

به ترتیب با کسب کمترین ارزش از روند اولویت‌بندی خارج شدند. با توجه به اینکه هر چه مساحت مکان انتخابی بیشتر باشد، زمان استفاده از آن بیشتر و به تبع مقرون به صرفه است، گزینه‌های نهایی (A، C و E)

با توجه به جدول (۶) مشاهده می‌شود که نتایج اولویت‌بندی روش ELECTRE نشان‌دهنده این است که گزینه A، C و E با کسب ارزش یکسان، بهترین مکان برای دفن پسماند هستند و گزینه D و B

و با عمق بیش از ۱۰ متر و در شیب مناسب؛ از نظر معیار اصلی عوامل زمین‌ساختی، در مکان‌های با سازندهای سخت و مناسب منطقه، در خاک‌های ریزدانه و در لندفرم‌های دشتی؛ از نظر معیار اصلی عوامل محیطی نیز در فاصله ۱۰۰۰-۵۰۰ متری مناطق حفاظت‌شده، فاصله ۳۰۰-۱۵۰ متری گسل و در مراتع بدون پوشش و با پوشش فقیر و از نظر معیار عوامل اقتصادی در فاصله مناسب از تأسیسات نفتی-گازی، خطوط انتقال گاز و نفت و میدان‌های نفتی، در مناطق با بارش و فرسایش کم واقع شده است (شکل ۶).

بر اساس مساحت رتبه‌بندی شدند و در نهایت گزینه A با بیشترین مساحت، بهترین مکان مشخص شد. مکان انتخابی از نظر معیار اصلی عوامل اجتماعی، در فاصله تقریبی ۲۰ تا ۳۰ کیلومتری از مناطق شهری (با لحاظ کردن هزینه انتقال)، در فاصله ۱ تا ۱/۵ کیلومتری روستاها و همچنین در کاربری فقیر؛ از نظر معیار اصلی عوامل دسترسی، در فاصله ۵۰۰-۱۰۰۰ متری از جاده‌ها، با فاصله ۳۰۰ متری از خطوط ریلی و در فاصله مناسب از خطوط انتقال نیرو؛ از نظر معیار اصلی عوامل هیدرولوژیکی، در فاصله ۶۰۰-۳۰۰ متری از رودخانه‌ها، در مناطق با سطح ایستابی مناسب



شکل ۶. نقشه مناطق مناسب دفن پسماند

یکی باد شمال غرب به سمت جنوب شرق که این باد در زمستان‌ها سرد و خشک و در تابستان‌ها گرم و خشک است و دیگری باد شرجی است که از سمت جنوب و یا جنوب شرق به سمت شمال می‌وزد. این باد مرطوب است و در تابستان‌ها هوای گرم و

مکان‌های انتخابی از نظر زیست‌محیطی و از دو جنبه، در مقایسه با محل جدید (صغیره) و قدیم (برومی) دفن پسماند شهرستان اهواز در مکان بهتری هستند؛ الف- قرارگیری در مسیر بادهای دائمی، به این صورت که دو نوع باد در این منطقه جریان دارد،

محل دفن پسماند) که عامل باد و عامل سطح ایستابی تعیین‌کننده آن‌ها هستند، مشترک‌اند، در نتیجه به‌کارگیری همزمان این دو عامل با شرایط ذکر شده باعث افزونگی داده شده است و بهتر است عامل شمول‌تر در نظر گرفته شود.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر از یک فرآیند ترکیبی (FAHP-ELECTRE) در حوزه مسائل مکان‌یابی دفن پسماند شهری استفاده کرده است. این روش از ترکیب اطلاعات مربوط به چندین معیار برای تشکیل یک شاخص ارزیابی استفاده می‌کند، و با فراهم کردن شرایط لازم برای در نظر گرفتن معیارهای مختلف، به تصمیم‌گیران در انتخاب بهترین مکان کمک می‌کند. نتایج نشان می‌دهد مطالعه حاضر به دلیل استفاده از روش فازی - مبنا و به‌کارگیری معیارهای کمی و کیفی و در سطح جزئی‌تر به این دلایل کارایی بهتری داشته است: ۱- هم روش FAHP برای وزن‌دهی به معیارها و زیر معیارها و هم روش ELECTRE برای رتبه‌بندی، به تصمیم‌گیرنده انتخاب شاخص‌های تصمیم‌گیری در یک مقیاس بازه‌ای به جای مقیاس باینری را امکان می‌دهد (Milani et al, 2006). ۲- روش ELECTRE توانایی به‌کارگیری معیارهای کیفی با مقیاس‌های وصفی یا ترتیبی در همان ماهیت اولیه و بدون تبدیل مقیاس را دارد (Hatami-Marbini & Tavana, 2011: 374)؛ انواری رستمی و همکاران، (۱۳۹۱). ۳- قرارگیری مکان‌های انتخابی در مناطق با استانداردهای زیست‌محیطی بالا. با استفاده از روش ترکیبی یادشده در فوق، به‌منظور تعیین مکان دفن زباله کلان‌شهر اهواز، ۳ مکان انتخاب شد که در شرق

خفقان‌آوری ایجاد می‌کند و در زمستان‌ها اکثراً مرطوب است. محل دفن‌های صفیره و برومی در قسمت جنوب و جنوب‌شرقی اهواز، در مسیر بادهای شرقی قرار گرفته‌اند که به سمت شمال می‌وزند. این نحوه مکان‌گزینی در مسیر بادهای دائمی باعث می‌شود که گازهای خارج‌شده از محل دفن و با طبع بوی نامطبوع وارد کلان‌شهر اهواز و روستاهای موجود در مسیر باد شود و آلودگی‌های منطقه را دو چندان کند. ب- قرارگیری در مناطق با سطح آب زیرزمینی بالا، به این صورت که بیشتر بخش‌های شهرستان اهواز به استثنای قسمت‌های شرقی و شمال‌شرقی دارای سطح ایستابی بالاست و به عبارت دیگر، نزدیک به سطح زمین است. در نتیجه مکان‌گزینی محل دفن پسماند در محل‌های با سطح ایستابی بالا باعث وارد شدن شیرابه‌های محل دفن به درون آب‌های زیرزمینی و آلودگی آن می‌شود؛ برای نمونه می‌توان به وضعیت فعلی روستای برومی اشاره کرد که آب‌های زیرزمینی آن به دلیل وارد شدن شیرابه‌های مرکز دفن قدیمی (برومی) دچار آلودگی شده است، چه بسا این معضل تا چندین سال آینده پایدار باشد.

در مطالعه حاضر، یکی از مهم‌ترین معیارهای مؤثر در مکان‌گزینی محل دفن، یعنی عامل باد، به دلیل در دسترس نبودن داده‌های مکانی لحاظ نشده است، اما با این حال خللی در صحت نتایج ایجاد نکرده است؛ زیرا بادهای اصلی منطقه بیشتر از سمت شمال‌غرب و جنوب و جنوب‌شرق می‌وزند و بخش‌های مذکور به دلیل بالا بودن از نظر سطح ایستابی، مناطق نامناسبی هستند و در نتیجه تأثیر منفی عامل باد را نیز پوشش می‌دهد. از طرف دیگر، مناطق منفی (نامناسب برای

فازی و GIS برای مکان‌یابی تجهیزات شهری، مطالعه موردی: محل دفن زباله شهر بابلسر، مجله محیط‌شناسی، شماره ۴۲، صفحه (۴۲-۳۱).

حیدریان، پیمان، رنگزن، کاظم، تقی‌زاده، ایوب، عزیزی قلاتی، سارا، (۱۳۹۲). مقایسه تکنیک‌های فازی- مینا و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی در مدیریت پسماندهای شهری، سومین کنفرانس بین‌المللی برنامه‌ریزی و مدیریت محیط زیست، دانشگاه تهران، مهر ماه.

سالاری، مرجان، معاضد، هادی، رادمنش، فریدون، (۱۳۹۱). مکان‌یابی محل دفن پسماند شهری با استفاده از مدل AHP_FUZZY در محیط GIS (مطالعه موردی: شهر شیراز)، فصلنامه طلوع بهداشت، شماره ۱، صفحه (۹۶-۱۰۹).

سعیدی، عباس، عباسی، عزیز، سرپاک، مسعود، (۱۳۸۸). مکان‌یابی محل مناسب دفن مواد زائد خطرناک با استفاده از تکنیک‌های GIS، اولویت‌بندی سایت‌ها و استفاده از تحلیل‌های سلسله‌مراتبی (AHP)، علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، شماره ۱، صفحه (۲۴۱-۲۳۱).

سوختکیان، محمدعلی، ولی‌پور، هاشم، فیاضی، لیدا، (۱۳۸۹). روش چندمعیاره (MCDM) برای انتخاب سهام در بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از متغیرهای مالی، مجله مهندسی مالی و مدیریت پرتفوی، شماره ۵، صفحه (۳۵-۵۳).

ضرابی، اصغر، وارثی، حمیدرضا، علی‌زاده، جابر، (۱۳۹۱). کاربرد تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی در ارزش‌گذاری و تحلیل فضایی شاخص‌های توسعه مطالعه موردی؛ استان اردبیل، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۱۲، صفحه (۹۷-۱۲۵).

عابدی، توحید، خیرخواه، مسعود، اوجاقی، مهدی، محمدی آشنانی، محمدحسین، اوجاقی، محمود، (۱۳۹۱).

کلان‌شهر اهواز واقع شده‌اند. گزینه‌های پیشنهادی در مقایسه با مراکز دفن جدید (صفیره) و قدیم (برومی) در مکان مناسب‌تری واقع شده‌اند؛ زیرا در مراکز یادشده در ارتباط با عوامل باد و سطح ایستابی منطقه، استانداردهای زیست‌محیطی در نظر گرفته نشده‌اند و باعث پایین‌آمدن کیفیت بهداشت و سلامت منطقه می‌شود. کلان‌شهر اهواز به دلیل قرارگرفتن در نواحی با شیب کم، سطح ایستابی بالا، عرض‌های پایین، دمای سالانه بالا، وجود مخازن و چاه‌های نفتی و دفع نادرست فاضلاب شهری از آلوده‌ترین شهرهای دنیاست؛ بنابراین، پیشنهاد می‌شود در انتخاب مکان دفن زباله، با به‌کارگیری روش‌ها و معیارهای جامع و تدقیق در فرآیند انتخاب از آلودگی بیشتر این کلان‌شهر جلوگیری و همچنین از روش ترکیبی (ELECTRE - FAHP) برای مکان‌یابی محل دفن زباله شهری سایر شهرها و تأسیسات گوناگون استفاده کرد.

منابع

امیری، مقصود، رحیمی مزرعه‌شاهی، محسن، تابلی، حمید، (۱۳۹۱). روشی جدید برای حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره، مجله مطالعات مدیریت صنعتی، سال نهم، شماره ۲۴، صفحه (۴۵-۶۵).

انواری رستمی، علی‌اصغر، حسینیان، شهامت، رضایی اصل، مرتضی، (۱۳۹۱). رتبه‌بندی مالی شرکت‌های بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه و مدل‌های ترکیبی، مجله تحقیقات مالی، شماره ۱، صفحه (۳۱-۵۴).

پوراحمد، احمد، حبیبی، کیومرث، محمد زهرایی، سجاد، نظری عدلی، سعید، (۱۳۸۶). استفاده از الگوریتم‌های

کاظم، دانشگاه شهید چمران، گروه سنجش از دور و GIS.

وحیدی، حسین، (۱۳۹۰). طرح مدیریت پسماند شهرک صنعتی چرمشهر و سالاریه با استفاده از روش FAHP، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست، گروه محیط زیست.

Aydi, A., M. Zaire, and H. Ben Shia. (2013). Minimization of environmental risk of landfill site using fuzzy logic, analytical hierarchy process, and weighted linear combination methodology in a geographic information system environment. *Environment Earth Science*, Vol 68: 1375-1389.

Donevska, K.R., P.V. Gorsevski., M. Jovanovski, and I. Pesevski. (2012). Regional non-hazardous landfill site selection by integrating fuzzy logic, AHP and geographic information systems. *Environment Earth Science*, Vol 67: 121-131.

Effat, H.A., M.N. Hegazy. (2012). Mapping potential landfill sites for North Sinai cities using spatial multi-criteria evaluation. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, Vol 15: 125-133.

Figueira, J.R., S. Greco., B. Roy, and R. Slowinski. (2013). An Overview of ELECTRE Methods and their Recent Extensions. *J. Multi-Crit. Decis. Anal*, Vol 20: 61-85.

Hatami-Marbini, A., M. Tavana. (2011). An extension of the ELECTRE I method for group decision-making under a fuzzy environment, *Omega*, Vol 39: 373-386.

Kaya, T., C. Kahraman. (2010). Multi-criteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: The case of Istanbul. *Energy*, Vol 35: 2517-2527.

Li, H., J. Sun. (2010). Business failure prediction using hybrid case-based reasoning (HCBR). *Computers & Operations Research*, Vol 37(1): 137-151.

کاربرد ارزیابی چندمعیاره مکانی (SMCE) در مکان‌یابی دفن پسماند شهری (مطالعه موردی: شهر تبریز)، محیط زیست، شماره ۵۱، صفحه (۳۶-۲۶).

عزیزی‌قلاتی، سارا، رنگرن، کاظم، تقی‌زاده، ایوب، حیدریان، پیمان، (۱۳۹۲). کاربرد روش فازی تاپسیس سلسله‌مراتبی (HFTOPSIS) در مدیریت مواد زائد جامد شهری، سومین کنفرانس بین‌المللی برنامه‌ریزی و مدیریت محیط زیست، دانشگاه تهران، مهر ماه.

عطائی، محمد، (۱۳۸۹). تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی، دانشگاه صنعتی شاهرود.

کزازی، ابوالفضل، امیری، مقصود، رهبر یعقوبی، فاطمه، (۱۳۹۰). ارزیابی و اولویت‌بندی استراتژی‌ها با استفاده از تکنیک الکتراه ۳ در محیط فازی (مطالعه موردی: شرکت تباد)، مجله مطالعات مدیریت صنعتی، سال هشتم، شماره ۲۰، صفحه (۷۰-۴۹).

متکان، علی اکبر، شکیبا، علیرضا، پورعلی، سیدحسین، نظم‌فر، حسین، (۱۳۸۷). مکان‌یابی مناطق مناسب جهت دفن پسماند با استفاده از GIS (ناحیه مورد مطالعه: شهر تبریز)، علوم محیطی، شماره ۲، صفحه (۱۳۲-۱۲۱).

محمدی، علی، حسین‌زاده، مهناز، باقرزاده آذر، محمد، (۱۳۹۰). ارائه مدل تلفیقی تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، تحلیل رابطه‌ای خاکستری و برنامه‌ریزی چندهدفه به‌منظور انتخاب شریک تجاری، فصلنامه علمی پژوهشی چشم‌انداز مدیریت صنعتی، شماره ۱، صفحه (۳۷-۱۷).

مهبجوری، رضا، (۱۳۹۱). سنجش توزیع مکانی سوانح آتش‌سوزی، تعیین بهترین محل احداث ایستگاه‌های آتش‌نشانی و مسیریابی بهینه با استفاده از سیستم‌های اطلاعات مکانی و منطق فازی در شهر اهواز، رنگرن

- Nas, B., T. Cay., F. Iscan, and A. Berktaş. (2010). Selection of MSW landfill site for Konya, Turkey using GIS and multi-criteria evaluation. *Environ Monit Assess*, Vol 160: 491-500.
- Roy, B. (1991). The Outranking Approach and the Foundation of ELECTRE Methods. *Theory and Decision*, Vol 31: 49-73.
- Roy, B., M. Présent, and D. Silhol. (1986). A Programming Method for Determining which Paris Metro Stations Should be Renovated. *European Journal of Operational Research*, Vol 24: 318-334.
- Wu, M. Ch., T. Y. Chen. (2011). The ELECTRE multi-criteria analysis approach based on Atanassov's intuitionistic fuzzy sets. *Expert Systems with Applications*, Vol 38: 12318-12327.
- Mahmoodzadeh, S., J. Shahrabi., M. Pariazar, and M.S. Zaeri. (2007). Project Selection by Using Fuzzy AHP and TOPSIS Technique. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Vol 1(3): 1-6.
- Milani, A.S., A. Shanian, and C. El-lahham. (2006). Using Different ELECTRE Methods in Strategic Planning in the Presence of Human Behavioral Resistance. *Journal of Applied Mathematics and Decision Sciences*: Vol 1-19.
- Montazer, Gh. A., H.Q. Saremi, and M. Ramezani. (2009). Design a new mixed expert decision aiding system using fuzzy ELECTRE III method for vendor selection. *Expert Systems with Applications*, Vol 36: 10837-10847.