

مکان‌یابی ایستگاه بازیافت پسماندهای جامد شهری در شهرستان کرج با استفاده از GIS به کمک فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و منطق فازی

رضا پهلوان^۱، محمود امید^{۲*}، اسداله اکرم^۳، علی اکبر نظری سامانی^۴

۱. دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه تهران
 ۲. استاد، گروه مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه تهران
 ۳. دانشیار، گروه مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه تهران
 ۴. دانشیار، گروه مهندسی احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشگاه تهران
- (تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۸/۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۱۰/۱۸)

چکیده

مدیریت پسماندهای جامد به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم توسعه، در سطح کلان مطرح است. یکی از جالب‌ترین گزینه‌ها در مدیریت مواد زاید، بازیافت است که دارای صرفه اقتصادی و فواید زیست‌محیطی قابل توجهی است. یکی از موارد بسیار مهم در اجرای صحیح عملیات بازیافت پسماند، یافتن بهترین مکان برای انجام عملیات است. هدف از این تحقیق ارائه چارچوبی جهت ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری دلفی و دلفی فازی و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) با سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، به‌منظور شناسایی مکان‌های مناسب جهت احداث ایستگاه بازیافت پسماند شهرستان کرج است. برای انجام این کار، معیارها و حریم استاندارد آنها با استفاده از روش دلفی تعیین گردید. در مرحله نخست ۱۳ معیار مؤثر در مکان‌یابی ایستگاه بازیافت و حریم مجاز آنها مشخص شد. در نهایت با به‌کارگیری GIS و AHP حریم‌های تعیین شده در منطقه مطالعاتی اعمال و سه منطقه با بیشترین امتیاز به عنوان مکان‌های بهینه ایستگاه بازیافت انتخاب شدند.

واژه‌های کلیدی: مکان‌یابی، بازیافت، سامانه اطلاعات جغرافیایی، منطق فازی، تحلیل سلسله مراتبی

مقدمه

مدیریت یکپارچه پسماندهای شهری مطرح می‌باشد. از طرفی مدیران جوامع شهری به بسترسازی و فرهنگ‌سازی کاهش پسماند و تفکیک از مبدأ تأکید دارند و از طرف دیگر بر روی بازیافت، پردازش و دفع و دفن اصولی و بهداشتی تکیه می‌کنند. بهترین مدیریت، تبدیل تهدیدهای این مواد به فرصت‌هایی نظیر ایجاد درآمد از آنها، در عین بهداشتی و دوستدار محیط‌زیست بودن این فعالیت‌هاست (Nasiri, 2008).

امروزه با پیشرفت علوم و تکنولوژی، تولید و مدیریت مواد زاید جامد نیز بسیار دگرگون شده است. یکی از جالب‌ترین گزینه‌ها در مدیریت مواد زاید جامد، بازیافت آن است که دارای صرفه اقتصادی و فواید زیست‌محیطی قابل توجهی است که متأسفانه در کشور ایران، کار منسجم و یکپارچه‌ای صورت نگرفته است (Omran et al., 2007). پسماندهای جامد و در آن میان زباله، شامل مقدار زیادی مواد لازم برای تغذیه گیاهی است که به طریق اقتصادی و بهداشتی قابل احیا بوده و می‌تواند برای تغذیه گیاهان مورد استفاده قرار گیرد. مواد غذایی اصلی گیاهان عبارت‌اند از: ازت، فسفر، پتاس و عناصر فرعی که برای

مدیریت پسماندهای جامد در کشورهای در حال توسعه علاوه بر نقش مؤثر آن در چرخه اقتصادی، به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم توسعه، در سطح کلان مطرح است. رشد روزافزون جمعیت شهری ایران، ایجاد مراکز جمعیتی جدید، عدم سیاست‌گذاری و ارزیابی عملکردها و فعالیت‌های گوناگون شهری بر اساس برنامه جامع و کلان ملی (آمایش سرزمین) و تداوم تخلیه انواع پسماندها و فاضلاب‌ها به محیط‌زیست، از جمله عوامل بحران‌زایی هستند که محیط‌زیست طبیعی و کیفیت بهداشت و سلامتی انسان، به‌ویژه شهرنشینان را در معرض خطرها و زیان‌های گوناگونی قرار داده‌اند (Abdoli, 2001). سالانه میلیون‌ها تن انواع پسماندهای جامد و مایع در مناطق شهری و روستایی تولید می‌گردد، که مدیریت صحیح برای دفع و بی‌خطر سازی آنها از مهم‌ترین دغدغه‌های جوامع امروزی می‌باشد. از اواسط قرن گذشته به‌آرامی شیوه‌های غیرتولنباری پسماندهای جامد شهری آغاز شده و اکنون

* نویسنده مسئول:omid@ut.ac.ir

زمین برای دفن و غیره، با یک هزینه بهینه از یک طرف و ایجاد ارزش افزوده و ایجاد درآمد برای مدیریت پسماند از طرف دیگر، می‌باشند. همچنین با توجه به اینکه تأسیسات مدیریت پسماندها خود از استفاده‌کنندگان انرژی هستند، تولید انرژی در محل باعث کاهش تلفات شبکه برق شده و به سامانه انرژی الکتریکی کمک زیادی می‌کند.

یکی از موارد بسیار مهم در اجرای صحیح عملیات بازیافت پسماند، یافتن بهترین مکان برای انجام عملیات است، که در صورت عدم مطالعه یا مطالعه غیردقیق در این زمینه، ضررهای جبران‌ناپذیری به طرح وارد خواهد گشت. استقرار ایستگاه بازیافت پسماند در مناطق شهری به دلیل اثرات مهمی که بر اکولوژی، بهداشت، مناظر شهری، ترافیک، ارزش املاک و ... دارد می‌تواند یک عامل اختلال در شهر باشد، لذا استقرار ایستگاه بازیافت پسماند در شهر باید با مطالعات دقیق و موشکافانه انجام شود تا از گسترش ابعاد ناسامانی‌ها و تهدیدها، به ویژه از جنبه زیست‌محیطی ممانعت گردد. بازیافت پسماندهای شهری مانند هر پروژه مهندسی دیگر به اطلاعات پایه و برنامه‌ریزی دقیق نیازمند است. انتخاب فاکتورهای متعدد ناشی از تعدد لایه‌های اطلاعاتی و ضرورت اخذ نتیجه صحیح، تصمیم‌گیران را به‌طور ناخودآگاه به سمت‌وسوی استفاده از سامانه‌ای سوق می‌دهد که علاوه بر دقت بالا از نظر سرعت و سهولت انجام عملیات نیز در حد بالایی قرار داشته باشد. استفاده از داده‌های ماهواره‌ها و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS^۱) در انجام عملیات مکان‌یابی از جمله روش‌های نوین و سریع جهت مکان‌یابی می‌باشد (Sener *et al.*, 2006). امروزه محققین زیادی از قابلیت‌های GIS برای مکان‌یابی استفاده می‌کنند، زیرا GIS قادر به تجزیه و تحلیل حجم عظیمی از لایه‌های اطلاعاتی می‌باشد (William & David, 1992). به علاوه، با توجه به این که عوامل زیادی در مکان‌یابی ایستگاه بازیافت پسماند نقش دارند، این موضوع به‌عنوان یک مسئله چند معیاره در نظر گرفته می‌شود (Sener *et al.*, 2006).

در کشورهای پیشرفته مدت‌های مدیدی است که از GIS در مکان‌یابی اراضی شهری استفاده می‌شود و تحقیقات زیادی نیز صورت گرفته است از جمله، سینر و همکاران پژوهشی با عنوان انتخاب مکان مناسب دفن پسماندها در ترکیه را با استفاده از GIS و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی

محصولات کشاورزی مهم بوده و در کود حاصل از زباله وجود دارند. بدین ترتیب استفاده از پسماندهای جامد در کود و کودسازی نقش بسیار مهمی در ارتقاء سطح بهداشت و مبارزه با بیماری‌ها ایفا می‌نماید. در کشور ایران درصد بالایی (۷۱٪) از پسماندهای شهری مربوط به ضایعات غذایی بوده (Nasiri, 2008)، که در واقع عدم استفاده از آن‌ها معادل نابودی مقدار زیادی از محصولات تولیدی در بخش کشاورزی می‌باشد. اهمیت مطالب ذکرشده زمانی دوچندان می‌گردد، که بدانیم بیش از ۸۵ درصد خاک‌های ایران جزء خاک‌های خشک و نیمه‌خشک محسوب شده و در بیش از ۶۰ درصد از اراضی زیرکشت میزان کربن‌آلی کمتر از یک درصد و در بخش قابل توجهی از آن کمتر از ۰٫۱ درصد است. برای جبران کمبود مواد آلی و افزایش توان تولید در این خاک‌ها نیاز مبرم به استفاده از کودهای آلی می‌باشد. تولید کودهای آلی در حال حاضر فقط ۴۰ درصد نیاز کشور را تأمین می‌کند. بنابراین استفاده از کلیه ضایعات و بقایای مواد آلی نظیر زباله‌های شهری برای تبدیل به کودهای آلی نه تنها یک نیاز بلکه یک ضرورت است (Frmhmdy, 2007). از طرف دیگر، امروزه تولید انرژی به‌عنوان یک گزینه برتر در مدیریت پسماندهای شهری مطرح است و هر ساله سهم تولید انرژی از پسماندها رشد قابل‌ملاحظه‌ای می‌یابد.

در ایالات‌متحده آمریکا و آمریکای شمالی سیاست اصلی بر بازیافت پسماندهای خشک ارزشمند، تولید کمپوست، دفن و تولید انرژی از آن استوار است. در جامعه اروپا و ژاپن سیاست اصلی بر بازیافت پسماندهای خشک ارزشمند، تولید کمپوست، زباله‌سوزی و تولید انرژی از آن استوار بوده و دفن پسماندهای قابل بازیافت (مواد و انرژی) ممنوع می‌باشد. در سایر کشورهای جهان حسب مورد، ترکیبات مختلفی از شیوه‌های مدیریت نظیر بازیافت، دفن و زباله‌سوزی استفاده می‌گردد. مراتب مدیریت پسماندهای شهری که موردقبول اغلب کشورها و مدیران شهری بوده و با شدت و ضعف در شهرهای زیادی پیاده می‌شود، به ترتیب اولویت شامل اجتناب از تولید پسماند، کاهش، استفاده مجدد، بازیافت، پردازش و دفن پسماند می‌باشد. مدیران شهری با پیاده‌سازی و اجرای موارد مورد اشاره به دنبال بهبود سامانه مدیریتی، کاهش سریع حجم زباله (با کاهش تولید پسماند، استفاده مجدد، بازیافت مواد و انرژی)، کاهش هزینه‌های پردازش و دفع زباله، از بین بردن خطر آلودگی آب‌های سطحی، کاهش بو، کم کردن میزان گازهای گلخانه‌ای، کاهش میزان آلاینده‌های هوا و خاک، از بین بردن زیستگاه جانوران موذی و کاهش نیاز به

زباله حلقه‌دره در حال احداث است که در صورت ادامه‌ی وضعیت فعلی، در آینده نزدیک مشکلات زیادی برای ساکنان این واحدها ایجاد خواهد شد (Monavari et al., 2007). هدف از این تحقیق ارائه چارچوبی جهت ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری دلفی و دلفی فازی و AHP با GIS، به‌منظور شناسایی مکان‌های مستعد جهت احداث ایستگاه بازیافت پسماند در شهرستان کرج است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شهرستان کرج می‌باشد. این شهرستان در شرق استان البرز قرار دارد و مرکز آن شهر کرج است. شهرستان کرج از شمال با استان مازندران، از غرب با شهرستان ساوجبلاغ، از جنوب به شهرستان شهریار و رباط‌کریم، و از شرق با تهران هم‌جوار است. کرج واقع در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۲ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۶ دقیقه، دارای آب‌وهوای معتدل و خشک است. وسعت شهرستان کرج حدود ۱۵۸۲ کیلومتر مربع می‌باشد و امروزه به‌دلیل داشتن خاک و اقلیم مناسب و قرار داشتن در نزدیکی پایتخت و مسیر راه‌های اصلی ارتباطی، دارای رقم بالای مهاجرت است. طبق آمار حدود ۸۳ درصد جمعیت کرج را مهاجران تشکیل می‌دهند. از عوامل ازدیاد جمعیت کرج توسعه صنعت، استقرار مؤسسات تحقیقاتی و بخش کشاورزی، سرریز جمعیت تهران و... را می‌توان نام برد. بر طبق سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۰ جمعیت شهرستان کرج ۲۰۲۴۷۶۵ می‌باشد که ۱۹۶۷۰۰۵ از آن در نقاط شهری و ۵۷۷۶۰ در نقاط روستایی زندگی می‌کنند. روزانه ۱۱۰۰ تن زباله در کرج تولید می‌شود، که بر اساس نتایج تفکیک ترکیبات تشکیل دهنده، بیشترین میزان مواد تشکیل‌دهنده مربوط به مواد آلی با میانگین ۷۸٫۴ درصد می‌باشد. پس از آن مواد مصنوعی (پلاستیک) با ۶٫۱ درصد، کاغذ، مقوا و کارتن با ۵٫۹ درصد، منسوجات با ۱٫۹ درصد، شیشه با ۱٫۶ درصد، فلزات با ۱٫۵ درصد، استخوان با ۰٫۸ درصد، چوب با ۰٫۵ درصد و سایر مواد با ۳٫۴ درصد، بقیه مواد متشکله را تشکیل می‌دهند (Khorasani et al., 1999).

معیارهای انتخاب محل مناسب ایستگاه بازیافت

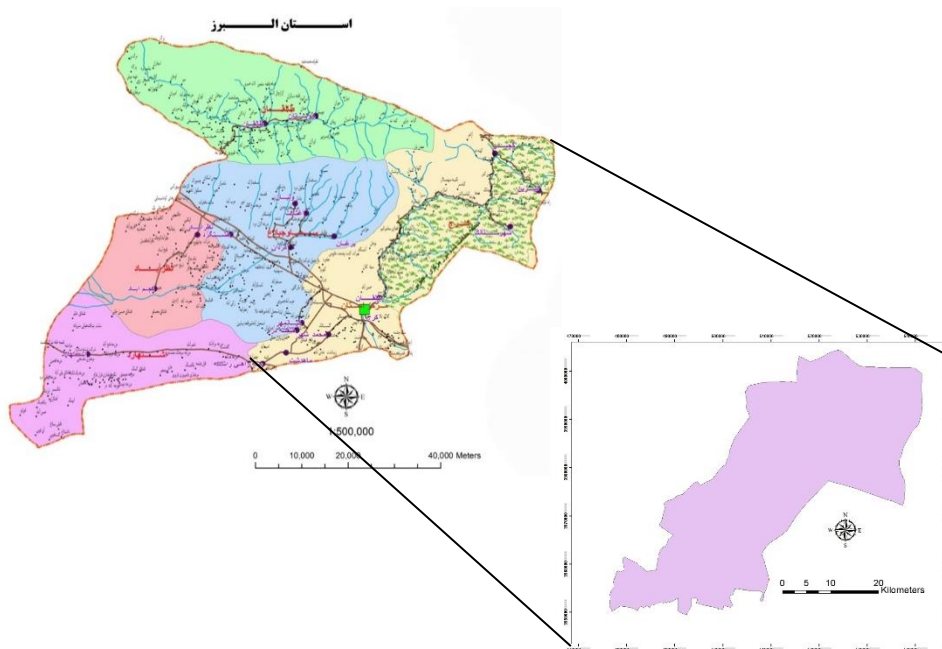
مهم‌ترین اهداف کلی که در انتخاب محل مناسب یک ایستگاه بازیافت باید مدنظر قرار گیرد عبارت‌اند از:

(AHP) انجام دادند (Sener et al., 2006). همچنین برخی از محققین برای مکان‌یابی محل دفن زباله و یا سایت تولید برق از انرژی خورشیدی، تئوری فازی چند معیاره را با GIS ترکیب کردن (Charabi and Gastli, 2011; Chang et al., 2008) در ایران نیز تحقیقات متنوعی در زمینه مکان‌یابی به‌خصوص دفن زباله انجام گرفته است از جمله قنبری و همکاران در پژوهشی کاربرد روش AHP در مکان‌یابی جایگاه دفن پسماند شهرستان سمنان را بررسی کردند (Ganbarei et al., 2010).

در حال حاضر این واقعیت که نظام مدیریت مواد زاید شهری ایران در شرایط به نسبت بحرانی و به‌دور از وضعیت مطلوب قرار دارد، بر کسی پوشیده نیست. مسئله مذکور هنگامی پیچیده و بغرنج می‌شود که آثار منفی و زیان‌بار آن در ارتباط با سایر نظام‌های موجود شهری و از جمله نظام زیست‌محیطی آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد. یکی از مهم‌ترین مراحل مطالعاتی به‌موازات طراحی سایت بازیافت، عوامل مکان‌یابی و یافتن محل مناسب احداث سایت بازیافت زباله است. مکان‌یابی یکی از عوامل مهم برنامه‌ریزی در امر توسعه منطقه‌ای است. توزیع منطقی و متوازن فعالیت‌های اقتصادی از بعد سیاسی و اجتماعی بسیار مهم است. استقرار صحیح واحدهای صنعتی، رشد اقتصادی را به دنبال داشته و توزیع بهتر آن‌ها، به کاهش اختلافات منطقه‌ای و تعدیل نابرابری‌های شهری و روستایی منجر شده و به‌نوعی تحقق عدالت اجتماعی را در سطح منطقه در پی خواهد داشت. مکان‌یابی طرح‌های صنعتی جزو اصول اساسی آمایش سرزمینی است که در سطح استان یا منطقه باید مورد مطالعه همه‌جانبه قرار گیرد. در کشور ایران مکان‌یابی محل دفن و بازیافت مواد زاید جامد غالباً در طرح‌های جامع شهری انجام گرفته، اما باید توجه کرد که دید نظام‌مند و محیطی موضوع کاملاً کمرنگ بوده و فقط با تکیه بر یک یا چند شاخص، محل مورد نظر مشخص می‌شود.

روزانه ۱۱۰۰ تن زباله در کرج تولید می‌شود که از حدود ۳۰ سال گذشته تاکنون این زباله‌ها در مرکز دفن حلقه دره دفن می‌گردد. با توجه به تحقیقات انجام‌شده ۷۸٫۴ درصد از زباله‌های تولیدی در کرج شامل مواد آلی می‌باشند که به سهولت می‌توان در جهت تولید کمپوست و بیوگاز از آن‌ها استفاده نمود. همچنین در سال‌های اخیر در پروژه احداث مسکن مهر حدود ۱۰ هزار واحد مسکن در نزدیکی مرکز دفن

- به حداقل رساندن احتمال خطر برای سلامتی و بهداشت انسان
- به حداقل رساندن اثرات احتمالی منفی به محیط زیست
- به حداقل رساندن هزینه‌ها



شکل ۱. نقشه موقعیت شهرستان کرج در استان البرز

سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)

در این مطالعه به منظور مکان‌یابی محل‌های مناسب بازیافت از GIS استفاده شده است. GIS یک سامانه رایانه‌ای برای مدیریت و تجزیه و تحلیل اطلاعات مکانی است، که قابلیت جمع‌آوری، ذخیره، تجزیه و تحلیل و نمایش اطلاعات جغرافیایی را دارد. فناوری GIS با جمع‌آوری و تلفیق پایگاه داده‌های معمولی، به وسیله تصویرسازی و استفاده از تحلیل‌های جغرافیایی، اطلاعات و رویدادها را واضح‌تر از نقشه‌های معمول نمایش داده و پیش‌بینی نتایج را از طریق تهیه نقشه‌هایی برای منظورهای خاص ممکن می‌سازد. استفاده از GIS روشی مناسب برای یافتن محل‌هایی با ویژگی‌های مورد نظر در مناطق وسیع مانند یک استان می‌باشد. با استفاده از این سامانه می‌توان نقشه‌های مختلف استانی شامل اطلاعات موضوعی و عوارض طبیعی و غیرطبیعی مهم را پس از تهیه به صورت نقشه‌های رقمی (یا دیجیتالی نمودن نقشه‌های غیررقومی)، با نرم‌افزار اطلاعات جغرافیایی مورد بررسی و همپوشانی قرار داده و محل‌های مناسب برای اهداف مورد نظر را در سطح منطقه پیدا نمود (Saeedi *et al.*, 2009)

به‌طور کلی برای انتخاب محل مناسب معمولاً از روش غربالی استفاده می‌شود که بر اساس آن مناطقی که مناسب است لازم را نداشته باشند از مجموعه مناطق مورد نظر حذف شده و از میان گزینه‌های باقیمانده شرایط و معیارهای فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی بررسی گردیده و سایت مناسب انتخاب می‌گردد. جهت مکان‌یابی در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌بایست عوامل مؤثر، معیارها و محدودیت‌ها به صورت لایه‌های نقشه تهیه شده و مورد پردازش و تجزیه و تحلیل قرار گیرند. معیارهای انتخاب مکان ایستگاه بازیافت و دفع پسماند در ضوابط سازمان محیط‌زیست کشور بسیار کلی بوده و فاقد فاکتورهای کمی و عددی است و بیشتر جنبه عمومی دارد. بنابراین برای اجرای پروژه حاضر ضروری بود که معیارهای دقیق‌تر و با جزئیات بیشتر انتخاب گردد، که در عین تطابق با ضوابط عمومی سازمان بر اساس توصیه‌های علمی و عملی تعریف شده بوده و در شهرستان کرج بتوان از این معیارها استفاده و محل مناسب را مکان‌یابی و طراحی و اجرا نمود. معمولاً هر چه معیارهای بیشتری در ارائه یک مدل دخیل باشند دقت مدل بالاتر خواهد بود و همچنین بر پیچیدگی مدل هم افزوده خواهد شد. بهترین مدل، مدلی است که با کمترین تعداد معیار، بهترین نتیجه را ارائه نماید (Ale Sheikh, 2002).

روش دلفی

روش دلفی فرآیندی ساختار یافته برای کسب دانش از متخصصان یک حوزه علمی است که تجربه و دانش موضوع مورد مطالعه را دارند (Skulmoski, 2007). هدف اغلب مطالعات دلفی کشف ایده‌های خلاقانه و قابل اعتماد یا تولید اطلاعات مناسب برای تصمیم‌گیری است (Sookchaiya, 2010). برای اجرای فرآیند دلفی گروهی متشکل از ۱۰ الی ۳۰ نفر می‌تواند یک پانل مناسب باشد. فرآیند دلفی تا دستیابی به اجماع ادامه می‌یابد و تشخیص زمان اجماع کاملاً به نظر محقق بستگی دارد؛ اما هرچه تعداد تکرارها بیشتر باشد اجماع قابل اتکاءتر و اعتبار نتایج بیشتر است (Fink, 1984). شناسایی معیارها که این تحقیق درصدد است با روش دلفی پاسخی برای آن بیابد، موضوعی است که دانش موجود برای حل آن ناکافی است و دستیابی به پاسخی درخور برای آن مستلزم تولید دانش است که روش دلفی این قابلیت را دارد.

روش دلفی فازی

بسیاری از مسائل و مشکلات موجود در تصمیم‌گیری از اطلاعات نادقیق و مبهم نشأت می‌گیرد؛ بنابراین بهتر است داده‌های مورد استفاده در تصمیم‌گیری به روش دلفی طیفی از مقادیر را شامل شوند (برخلاف دلفی کلاسیک که داده‌ها مقادیر قطعی هستند). بنابراین می‌توان با کاربرد تئوری فازی نقائصی مانند عدم دسترسی به اطلاعات دقیق، متأثر بودن اظهار نظرهای خبرگان و تصمیم‌گیرندگان از ذهنیات فردی و دشواری ارائه تمام دانش فرد در قالب تنها یک عدد را مرتفع نمود (Hsu et al., 2010).

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)

انسان در زندگی روزمره خود بارها به مسئله تصمیم‌گیری و انتخاب یک گزینه از بین گزینه‌های موجود روبرو می‌شود. این تصمیمات از مسائل شخصی و فردی تا مسائل بزرگ و کلان را شامل می‌گردد. در اکثر این تصمیم‌گیری‌ها، عموماً اهداف و عوامل متعددی مطرح بوده و فرد تصمیم‌گیرنده سعی در انتخاب بهترین و ایده‌آل‌ترین گزینه از میان گزینه‌های موجود (محدود یا نامحدود) دارد. در بسیاری از اوقات، افراد بدون آگاهی کامل از مفهوم تصمیم‌گیری چند معیاره و آشنایی با روش‌های موجود در این زمینه، به‌طور ناخودآگاه و طبیعی و با در نظر گرفتن غالب پارامترهای دخیل، اقدام به تصمیم‌گیری می‌نمایند. به هر

صورت هزینه بسیار سنگین خطا در برخی از این‌گونه تصمیم‌گیری‌ها، ضرورت استفاده از روش‌های جدید و دقیق موجود برای اتخاذ تصمیم‌های منطقی با در نظر گرفتن تمامی عوامل دخیل را نشان می‌دهد. تصمیم‌گیری در محیط‌های پیچیده و ناپایدار یکی از مسائل بسیار مهم در مدیریت نوین به شمار می‌رود. در این موارد تصمیم‌گیرنده با گزینه‌های متفاوت و معیارهای مختلف روبرو می‌باشد. در این‌گونه موارد، مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به‌عنوان یکی از ابزارهای کارا جهت اخذ تصمیم، مناسب به نظر می‌رسند (Fathollahzadeh & Mehdizadeh, 2013).

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چندمعیاره است که اولین بار توسط توماس ال. ساعتی ابداع گردید (Saaty, 1980). فرایند تحلیل سلسله مراتبی با به‌کارگیری معیارهای کیفی و کمی به‌طور هم‌زمان و نیز قابلیت بررسی ناسازگاری در قضاوت‌ها می‌تواند در بررسی موضوعاتی همچون برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، بهینه‌سازی ترکیب تولید محصولات در یک واحد صنعتی، بودجه‌بندی دستگاه‌های دولتی، برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، برنامه‌ریزی تخصیص منابع انرژی، اولویت‌بندی در صنعت برق، اولویت‌بندی پروژه‌های تحقیقات انرژی و محیط‌زیست و ... AHP کاربرد مطلوبی داشته باشد. همچنین این روش زمینه‌ای را برای تحلیل و تبدیل مسائل مشکل و پیچیده به سلسله مراتبی ساده‌تر فراهم می‌آورد که در چارچوب آن برنامه‌ریز بتواند ارزیابی گزینه‌ها را با کمک معیارها و زیرمعیارها به‌راحتی انجام دهد. اساس این روش تصمیم‌گیری بر مقایسات زوجی نهفته است. تصمیم‌گیرنده با فراهم آوردن درخت سلسله مراتبی تصمیم، فرایند را آغاز می‌کند. درخت سلسله‌مراتب تصمیم، عوامل مورد مقایسه و گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم را نشان می‌دهد. سپس یک سری مقایسات زوجی انجام می‌گیرد. این مقایسات وزن هر یک از فاکتورها را در راستای گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم، نشان می‌دهد.

روش اجرا

به دلیل فقدان اطلاعات در استانداردها و مراجع در مورد معیارهای مکان‌یابی ایستگاه بازیافت، همچنین مشخص نبودن

تحلیل محتوایی پاسخها به شناسایی ۲۱ معیار منتهی گردید. از ۲۱ معیار ارائه شده، معیارهایی که بیشتر از 20 کارشناس به آنها اشاره کرده بودند انتخاب و وارد مرحله اجرای روش دلفی فازی شدند. برای مشخص نمودن حریم و فواصلی که باید برای هر معیار رعایت شود، در پرسشنامه اول دلفی فازی از خبرگان خواسته شد که فواصل و حریم‌هایی که باید در مورد هر یک از معیارها رعایت گردد را در قالب اعداد فازی ذوذنقه‌ای بیان نمایند. پس از جمع آوری پرسشنامه‌های دور اول دلفی فازی، میانگین اعداد فازی ارائه شده توسط کارشناسان محاسبه گردید. این روش تا ۳ مرحله تکرار شد تا نتایج به اجماع رسید و کارشناسان در مرحله سوم تغییری در نظرات خود ندادند. خروجی اجرای دلفی کلاسیک و دلفی در مرحله بعد با توجه به نامشخص بودن مرز دقیق داده‌ها و نواحی در لایه‌های مورد نیاز برای مکان‌یابی سایت بازیافت و ماهیت غیرقطعی آن‌ها، لایه‌های اطلاعات رستری فازی به ابعاد ۴۰ در ۴۰ متر در محیط نرم‌افزار ArcGis از معیارهای مورد نظر تهیه گردید. شکل ۲ نقشه فازی برخی از معیارهای اعمال شده را نشان می‌دهند.

جدول ۱. معیارهای مکان‌یابی ایستگاه بازیافت و حریم آن‌ها (m)

معیارها	نقاط کنترل			
	d	c	b	a
مناطق مسکونی شهری	۱۸۰۰۰	۱۰۱۰۰	۸۱۶۷	۱۷۳۳
مناطق مسکونی روستایی	۱۸۰۰۰	۶۰۰۰	۵۰۰۰	۸۰۰
بزرگراه‌ها	۱۷۲۵	۸۰۰	۴۸۳	۱۸۱
جاده‌های اصلی	۱۷۲۵	۸۰۰	۳۰۰	۱۶۰
جاده‌های روستایی	۵۷۵	۱۰۰	۱۰۰	۲۴
راه آهن	۴۱۷	-	-	۱۵۵
خطوط انتقال نیرو	۴۴۰۰	۳۳۷	۳۳۷	۸۰
رودخانه‌ها و مسیل‌ها	۶۰۰	-	-	۲۱۳
گسل اصلی	۱۹۳	-	-	۹۷
گسل فرعی	۱۰۰	-	-	۵۶
صنایع و معادن	۵۰۰	-	-	۲۶۷
چاه، قنات و چشمه‌ها	۵۵۰	-	-	۲۶۵
اماکن توریستی	۱۹۰۰	-	-	۷۲۰
فرودگاه	۷۰۰۰	-	-	۲۰۰۰
مناطق سیل خیز با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله	۵۰	-	-	۲۰
مناطق حفاظت شده	۳۸۰۰	-	-	۱۸۶۶
شیب (درجه)	۲۴	۵	-	-

فرایند تحلیل سلسله مراتبی در این تحقیق با استفاده از نرم افزار Expert Choice با تشکیل ساختار سلسله مراتب آغاز و سپس برای محاسبه وزن نسبی مشخصه‌ها، از مقایسه زوجی با روش میانگین هندسی استفاده شد. بیشترین ارزش را دارا باشند، به عنوان مکان بهینه به

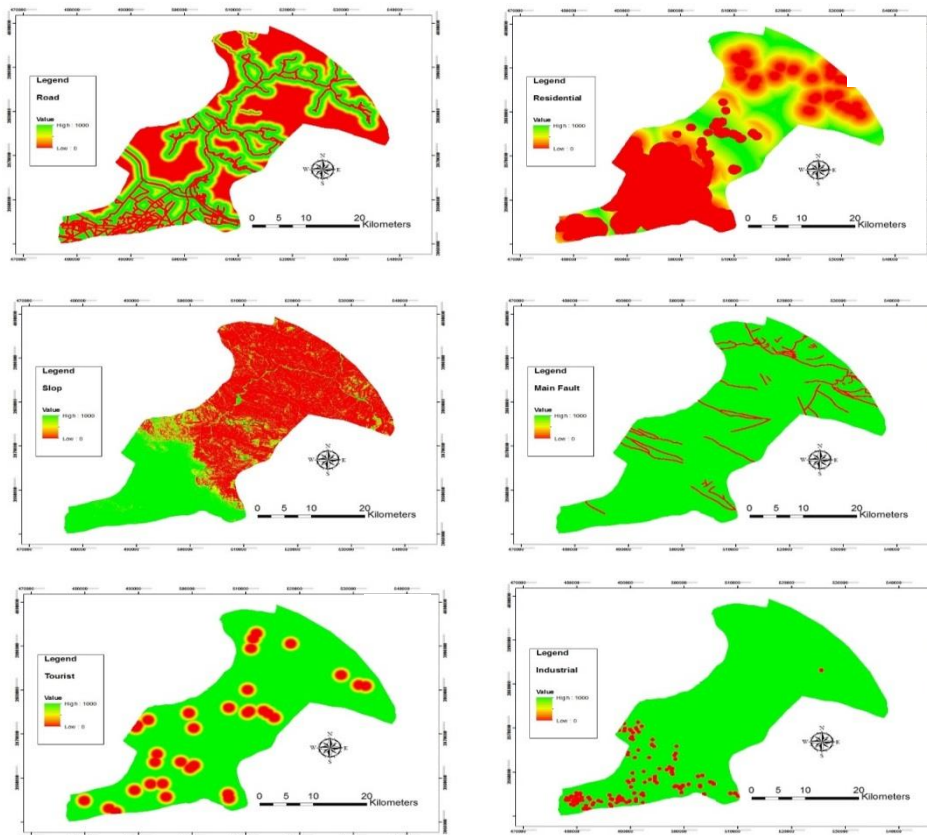
حریم و فواصلی که باید برای هر معیار رعایت شود، در این تحقیق به ترتیب از روش دلفی و دلفی فازی استفاده گردید. در مرحله بعد داده‌ها و اطلاعات برای شناسایی وضعیت جغرافیایی و محیطی محدوده مورد مطالعه از ادارات و سازمان‌های ذیربط و بازدید از مکان‌های فعلی بازیافت و دفع پسماندها در شهرستان کرج جمع‌آوری گردید. در فرایند مکان‌یابی اراضی مناسب برای ایستگاه بازیافت پسماند، متغیرهای مؤثر در مدل، مثل شبکه ارتباطی و حریم آن، زیرساخت‌ها و تجهیزات، تراکم و سرانه‌ها، تولید و ... شناسایی و بعد از آن فاکتورهای اطلاعاتی، مانند توپوگرافی، شیب، زمین‌شناسی، گسل، شبکه ارتباطی، سکونت گاه‌ها، آب‌های سطحی و ... تعریف و تبیین شد. تحقیق حاضر در قالب یک فرآیند ترکیبی به بررسی مکان‌های مناسب برای سایت بازیافت شهرستان کرج می‌پردازد. بدین‌صورت که ابتدا لایه‌های اطلاعاتی پراهمیت در احداث این مکان مانند فاصله از راه‌های اصلی، فاصله از گسل، تراکم جمعیت و ... در محیط ArcGIS و IDRISI آماده شده و سپس به‌دلیل ماهیت غیردقیق این عوامل و نامشخص بودن مرز دقیق نواحی، فازی سازی انجام شد. در گام بعدی وزن معیارهای انتخابی برمبنای روش AHP محاسبه گردید. در مرحله بعد لایه‌های اطلاعات رستری فازی به ابعاد ۴۰ در ۴۰ متر در محیط نرم افزار ArcGis از معیارهای مورد نظر تهیه گردید. لازم به ذکر است که در این تحقیق مناطق خارج از محدوده ۴۰ کیلومتر از مناطق مسکونی که فازی در جدول ۱ خلاصه شده است. انتقال پسماند از مناطق مسکونی به آنجا اقتصادی نبود (Moeinaddini et al., 2011). در ابتدای کار از نقشه حذف گردید و در نتیجه مساحت ۱۱۹۵ کیلومتر مربع از منطقه مورد بررسی قرار گرفت. سپس لایه‌های اطلاعاتی با در نظر گرفتن اوزان هر معیار توسط تابع Raster Calculator با یکدیگر تلفیق شدند. در نهایت سلول‌هایی که دارای بیشترین ارزش بودند به عنوان بهترین مکان برای احداث ایستگاه بازیافت در نظر گرفته شدند.

نتایج و بحث

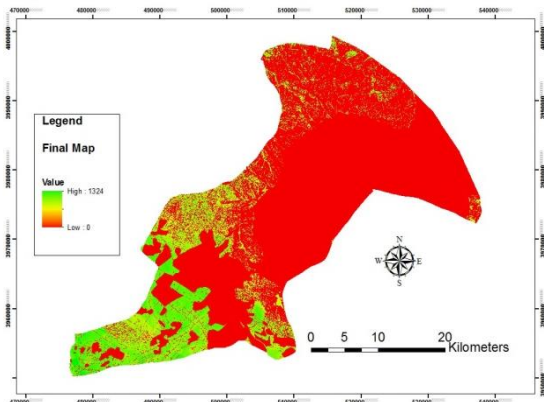
پس از مهیا نمودن شرایط برای شروع فرآیند، نظیر شناسایی و انتخاب کارشناسان، برقراری ارتباط و ...، پرسشنامه دلفی کلاسیک با پرسش‌های باز، برای آنها ارسال گردید. در این پرسشنامه پس از معرفی منطقه مطالعاتی، از خبرگان خواسته شد که معیارهای مؤثر در مکان‌یابی ایستگاه بازیافت در این منطقه را از نگاه خود ارائه نمایند. اعضای پانل شامل ۳۰ نفر از کارشناسان و دانشجویان رشته‌های مرتبط به موضوع بودند.

نتایج جدول ۲ و شکل ۶، مناطق ۷، ۴ و ۲ از نظر امتیاز کل، به ترتیب دارای بیشترین ارجعیت برای احداث ایستگاه بازیافت ساختار سلسله مراتبی در شکل ۳ نشان داده شده است. بیشترین محدودیت را در این مناطق به وجود آورده است. این سه منطقه در نزدیکی مرکز دفن زباله حلقه‌دره قرار دارند که از نظر انتقال مواد غیر قابل بازیافت به مرکز دفن مناسب می‌باشند.

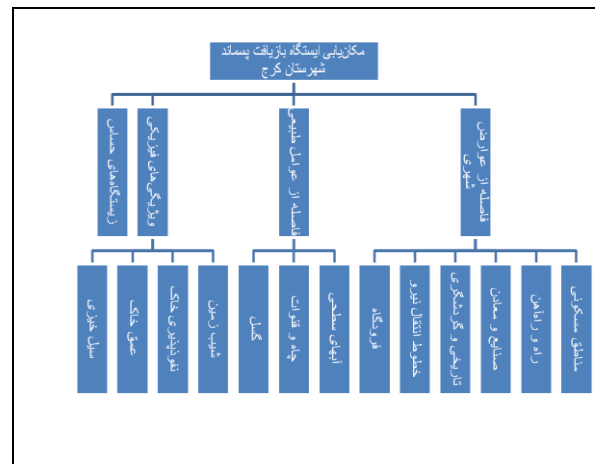
عنوان ایستگاه بازیافت در نظر گرفته می‌شوند. همانطور که در شکل ۴ مشخص است در ناحیه جنوب غربی شهرستان کرج مکان‌های بیشتری به رنگ سبز با ارزش بیشتر نشان داده شده اند، که در نهایت با جداسازی مناطق با ارزش بیشتر به ۷ منطقه بهینه برای ایستگاه بازیافت رسیدیم، که در شکل ۵ به رنگ آبی نشان داده شده و در جدول ۲ مشخصات این مناطق ذکر گردیده است. این مناطق با مجموع مساحت ۱۷۰ هکتار ۰،۱۴ درصد از کل منطقه مورد بررسی را شامل می‌گردند. بر طبق



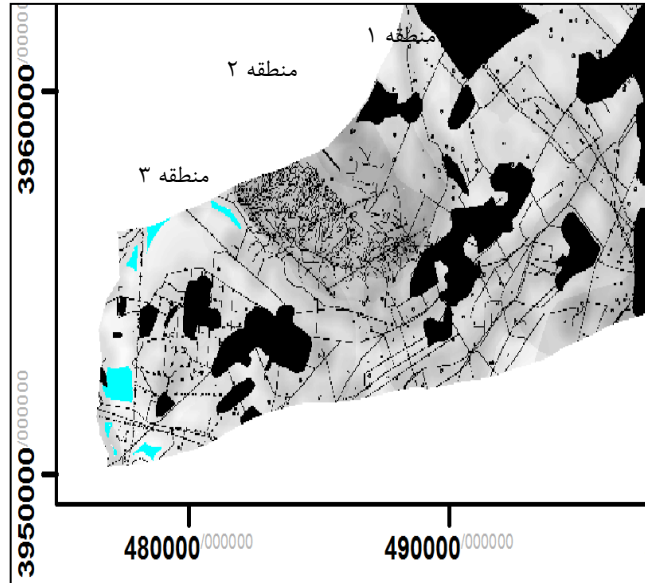
شکل ۲: نقشه فازی فاصله از معیارها در شهرستان کرج (الف) منطقه مسکونی، (ب) جاده دسترسی، (ج) گسل اصلی، (د) شیب، (و) مناطق صنعتی، (ی) مناطق توریستی



شکل ۴. نقشه نهایی شایستگی منطقه



شکل ۳. ساختار سلسله مراتبی AHP جهت مکان‌یابی ایستگاه بازیافت



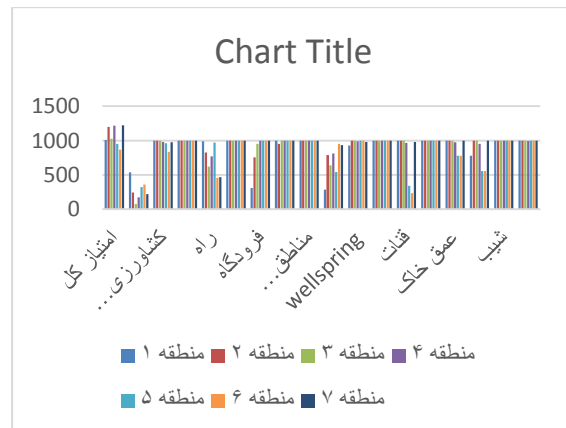
شکل ۵. نقشه ۷ گزینه پیشنهادی برای احداث ایستگاه بازیافت

جدول ۲. امتیازات گزینه‌های پیشنهادی برای احداث ایستگاه بازیافت

منطقه	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵	منطقه ۶	منطقه ۷
مساحت (متر مربع)	۲۰۹۶۰۰	۲۰۲۱۲۰	۱۵۸۴۰۰	۸۳۷۲۴۹	۷۳۰۲۴	۱۸۶۹۵	۱۹۹۸۷۴
امتیاز کل	۱۰۰۷	۱۱۹۷	۱۰۲۷	۱۲۱۶	۹۵۰	۸۶۶	۱۲۲۱
مناطق مسکونی	۵۳۹	۲۴۴	۷۹	۱۷۴	۳۲۴	۳۵۹	۲۲۱
کشاورزی و مراتع	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۹۸۰	۹۶۲	۸۳۳	۹۷۵
مناطق حفاظت شده	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
راه	۹۸۸	۸۲۷	۶۲۳	۷۶۹	۹۷۱	۴۵۶	۴۶۶
راه آهن	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
فرودگاه	۳۱۰	۷۵۸	۹۵۱	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
مناطق توریستی	۱۰۰۰	۹۵۱	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
مناطق صنعتی	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
خطوط انتقال نیرو	۲۸۴	۷۹۱	۶۴۱	۸۱۰	۵۴۲	۹۵۳	۹۳۳
چشمه	۹۲۹	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۹۸۹	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۹۸۰
چاه	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
قنات	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۹۶۷	۳۴۳	۲۳۳	۹۸۰
گسل	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
عمق خاک	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۹۷۶	۷۷۸	۷۷۸	۱۰۰۰
نفوذپذیری خاک	۷۷۹	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۹۵۳	۵۵۶	۵۵۶	۱۰۰۰
شیب	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
دشت سیلابی	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۹۹۳	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰

بحث و نتیجه‌گیری

به طور کلی با در نظر گرفتن نقش عوامل متعدد در امر مکان‌یابی ایستگاه‌های پسماند، سه مکان مناسب برای احداث ایستگاه بازیافت شهرستان کرج از نظر معیارهای مختلف به روش تحلیل سلسله مراتبی استخراج گردید. نتایج این پژوهش کمیابی زمین در محدوده مورد مطالعه برای ایستگاه بازیافت را نشان داد. با توجه به اینکه حجم بسیاری از پسماندهای شهرستان کرج دفن می‌گردد و بالطبع عملیات دفن به فضای بیشتری نسبت به بازیافت نیاز دارد، با توجه به رویکرد توسعه پایدار، شایسته است هر چه زودتر طرح جامع مدیریت پسماند



شکل ۶. امتیازات گزینه‌های پیشنهادی برای احداث ایستگاه بازیافت

محدوده بزرگ‌تری از شهر این تأسیسات را احداث کرد. به عنوان مثال با ایجاد بستر غیرقابل نفوذ در خاک به صورت مصنوعی، عامل نفوذ شیرابه در خاک را بی‌اثر کرد. در انتها این روش برای مکان‌یابی و تعیین ارجحیت بین گزینه‌ها، با هدف مکان‌یابی محل ایستگاه بازیافت در مناطق مشابه پیشنهاد می‌شود. همچنین می‌توان از رویکرد به‌کاررفته در این پژوهش، برای مکان‌یابی سایر تأسیسات مورد نظر نیز بهره برد.

شهرستان کرج، تهیه و اجرا شود تا در آینده سامانه مدیریت پسماند شهر کرج با مشکلات بیشتری در زمینه کمیابی زمین مواجه نشود.

به نظر می‌رسد که مسئولین شهرستان کرج باید با رایزنی، مناطق مناسبی را در شهرستان‌های همجوار برای ایستگاه‌های بازیافت مشخص کنند. همچنین باید تلاش شود با اعمال استانداردهای مناسب، از اثرات نامطلوب این سایت‌ها کاسته و محدودیت‌های موجود را کاهش داد تا بتوان در

REFERENCES

- Abdoli M. (2001). Management of municipal solid waste, *Research Center of Interior Ministry Urban Planning Tehran*. (In Farsi)
- Ale Sheikh A.A. (2002). Application of GIS in locating Flood Spreading Sites, *Journal of Geographical Research*. 551. (In Farsi)
- Anonymous. Statistical Center of Iran. available online at <http://www.amar.org.ir/>
- Chang N., Parvathinathan G. & Jeff B.B. (2008). Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fastgrowing urban region. *Journal of environmental management* 87, 139-153.
- Charabi Y. & Gastli A. (2011). PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multicriteria evaluation. *Renewable Energy* 36, 2554-2561.
- Fathollahzadeh S. & Mehdizadeh R. (2013). A review of the multi-criteria decision-making methods. In: *Proceedings of 3th national Congress modern management*. (In Farsi)
- Fink, A. (1984) Consensus methods: characteristics and guidelines for use. *American Journal of Public Health*, 74(9), 979- 983.
- Frmhmdy S.a., Omrani Gh. O. & Azrkmnd s. (2007). Feasibility study and implementation patterns of bio-compost units in the villages of the Esfahan province. In: *Proceedings of 3th national Congress on Waste Management*. 188-179. (In Farsi)
- Ganbarei F., Panahandeh M., Arastoo B. & Gavedel A. (2010). Use of Analytical Hierarchy Process Model (AHP) in Landfill Site Selection of Semnan Town. *Iran J Health & Environ*. 2(4). (In Farsi)
- Hsu Y. L., Lee Ch. H. & Kreng V.B. (2010). The application of Fuzzy Delphi Method and Fuzzy AHP in lubricant regenerative technology selection. *Expert Systems with Applications*. 37: 419-425.
- Khorasani N., Omrani Gh. A. & Farhadi A. (1999). Study of wastes disposal methods and their recycling possibility in the city of Karaj. *Iranian Journal of Natural Resources*.52 (In Farsi)
- Moeinaddini M., Khorasani N., Danehkar A. & Darvishsefat A.A. (2011). Siting MSW Landfill using Hierarchical Fuzzy TOPSIS methodology (case study: karaj). *Iranian Journal of Natural Resources*, 64 (2), 155-167. (In Farsi)
- Monavari M., Omrani Gh. A., Abedi Z. & Musapur D. (2007). Assess the economic value of recyclable household dry waste in the city of Karaj. In: *Proceedings of 3th national Congress Waste Management*.11-30. (In Farsi)
- Nasiri c. (2008). Feasibility of biogas plant in Saveh. In: *Proceedings of 4th national Congress on Waste Management*. 1-12. (In Farsi)
- Omrani G., Maleki A. & Sherafat Mola A. (2007). Quality and quantity evaluation of solid waste and recycling potential in sistan & Baluchestann province. *Environmental Science and Technology* 8, 11-17.
- Saaty T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York, USA.
- Saeedi M., Absy A. & Sarpak M. (2009). Locating the perfect place burial hazardous wastes using GIS and hierarchical analysis (AHP) techniques to prioritize sites. *Environmental Science and Technology*, 11. 241-231. (In Farsi)
- Sener B., Suzen M. L. & Doyuran V. (2006). Landfill site selection by using geographic information systems. *Environ Geol*. 49: 376-88.
- Sener S., Sener E., Nas B. & Karaguzel R. (2010). Combinig (AHP) with GIS for Landfill site selection: A case Study in the Lake Beysehir Catchment area. *Konya. Turkey Waste Management*.
- Skulmoski, G.J., Hartman F.T. & Krahn, J. (2007) The Delphi Method for Graduate Research. *Journal of Information Technology Education*, 6, 376-382.
- Sookchaiya, T., Monyakul V. & Thepa, S. (2010) Assessment of the thermal environment effects on human comfort and health for the development of novel air conditioning system in tropical regions. *Energy and Buildings*, 42, 1692-1702.
- William H. & David B. (1992). Use of GIS for Selection of Sites for land Application of Sewage Waste. *Journal of Soil and Water Conservation*. 47(3): 271-275.