مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۴۹، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷ (ص ۷۱-۶۱) DOI: 10.22059/ijbse.2017.238670.664971

به‌کارگیری روش‌های PSO و PROMETHEE در مکان‌یابی ایستگاه بازیافت پسماندهای جامد شهری در شهرستان کرج

رضا پهلوان[۱]، محمود امید[۲*]، اسداله اکرم[۳]، علی اکبر نظری[۴]

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک ماشینهای 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: ۱۳۹۶/۵/۹ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۷/۲۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۷/۳۰)

چکیده

یکی از مسائل عمده و بغرنج جوامع بشری که حاصل فعالیت و مصرف‌گرایی غیراصولی بشر می‌باشد، تولید انواع مواد زاید جامد در کیفیت‌ها و کمیت‌های مختلف است. یکی از جالب‌ترین گزینه‌ها در مدیریت مواد زاید، بازیافت است که دارای صرفه اقتصادی و فواید زیست‌محیطی است. یکی از موارد بسیار مهم در اجرای صحیح عملیات بازیافت، یافتن بهترین مکان برای انجام عملیات است. هدف از این تحقیق ارائه چارچوبی جهت ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و بهینه‌سازی هوشمند با سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، به‌منظور شناسایی مکان‌های مناسب جهت احداث ایستگاه بازیافت پسماند شهرستان کرج است. تحقیق حاضر در مرحله نخست منتج به شناسایی معیارهای موثر در مکان‌یابی ایستگاه بازیافت و تعیین حریم مجاز آن‌ها گردید. در مرحله بعد به‌وسیله روش PSO، پنج منطقه مناسب انتخاب شد که در نهایت با رتبه‌بندی به روش پرومته دو منطقه بهینه از میان پنج منطقه، برای احداث ایستگاه بازیافت در شهرستان کرج مشخص گردید.

واژه‌های کلیدی: مکان‌یابی، بازیافت، سامانه اطلاعات جغرافیایی، بهینه‌سازی، پرومته

مقدمه

سالانه میلیون‌ها تن انواع پسماندهای جامد و مایع در مناطق شهری و روستایی تولید می‌گردد، که مدیریت صحیح برای دفع و بی‌خطرسازی آن‌ها از مهم‌ترین دغدغه‌های جوامع امروزی می‌باشد. شاید در گذشته به‌دلیل نبودن فناوری مناسب، صنایع تبدیلی و صنعت بازیافت، از زباله‌ها به‌عنوان معضل یاد می‌شد، ولی امروزه در دسترس بودن فناوری‌های مناسب باعث جذابیت اقتصادی و درآمدزایی مدیریت پسماند جامد شهری برای شهرداری‌ها گردیده است (Ataei *et al*. 2009). از اواسط قرن گذشته به‌آرامی شیوه‌های غیرتلنباری پسماندهای جامد شهری آغاز شده و اکنون 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). پسماندهای جامد و در آن میان زباله، شامل مقدار زیادی مواد لازم برای تغذیه گیاهی است. مواد غذایی اصلی گیاهان عبارت‌اند از ازت، فسفر، پتاس و عناصر فرعی که برای محصولات کشاورزی مهم بوده و در کود حاصل از پسماند وجود دارند. بدین ترتیب استفاده از پسماندهای جامد در کودسازی نقش بسیار مهمی در ارتقاء سطح بهداشت و مبارزه با بیماری‌ها ایفا می‌نماید. بر اساس پژوهش محققین درصورتی‌که تولید کمپوست از پسماند جامد شهری به لحاظ جنبه‌های مالی دارای توجیه باشد، با لحاظ گزینه مکانی مناسب و با پیش‌بینی اقدامات فنی مناسب، تولید کمپوست نسبت به گزینه دفن به‌صورت معنی‌دار، دارای ارجحیت خواهد بود (Panahande *et al*, 2010).

شهرستان کرج 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

* نویسنده مسئول: omid@ut.ac.ir

و بخش کشاورزی و سرریز جمعیت تهران را می‌توان نام برد. بر طبق سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵ جمعیت شهرستان کرج ۱۹۷۳۴۷۰ می‌باشد که ۱۹۴۰۵۵۴ از آن در نقاط شهری و ۳۲۸۶۳ در نقاط روستایی زندگی می‌کنند. روزانه ۱۱۰۰ تن زباله در کرج تولید می‌شود که بر اساس نتایج تفکیک ترکیبات تشکیل‌دهنده، بیشترین میزان مواد تشکیل‌دهنده مربوط به مواد آلی با میانگین ۷۸,۴ درصد می‌باشد. پس‌ازآن 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). پسماندهای تولیدی شهرستان کرج از حدود ۳۰ سال گذشته تاکنون در مرکز دفن حلقه‌دره دفن می‌گردد. در حال حاظر مرکز دفن حلقه دره، با توجه به میزان بالای تولید پسماند در منطقه در حال پر شدن بوده و ضرورت اتخاذ تصمیمات فوری در این رابطه وجود دارد (Moeinaddini *et al*. 2011; Mahtabi Oghani *et al*. 2013). همچنین در سال‌های اخیر در پروژه احداث مسکن مهر حدود ۱۰ هزار واحد مسکن در نزدیکی مرکز دفن پسماند 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). بنابراین، نیاز به پژوهش‌های بیشتر در این زمینه در منطقه ضرورت می‌یابد ازاین‌رو اجرای طرح‌های مرتبط با مکان‌یابی جزء اولویت‌های پژوهشی سازمان مدیریت پسماند در کشورمان نیز می‌باشد.

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 به‌دلیل 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 نابسامانی‌ها و تهدیدها، به‌ویژه از جنبه زیست‌محیطی ممانعت گردد. مکان‌یابی بهینه و مناسب، زمانی امکان‌پذیر است، که محقق بتواند ارتباط علمی و منطقی مناسبی میان اطلاعات و داده‌های به‌دست‌آمده از کارشناسان مرتبط با موضوع مکان‌یابی با توجه به اولویت‌ها برقرار سازد. به سبب نقش و تأثیر شاخص‌ها و پارامترهای متنوع و زیاد در مکان‌یابی، امروزه با استفاده از GIS و یا به روش ترکیبی با کمک سایر مدل‌ها کوشش می‌گردد مکان‌یابی‌ها به طرز علمی‌تر و واقعی‌تری در محیط‌های شهری انجام پذیرد.

سامانه اطلاعات جغرافیایی یک سامانه مدیریتی بر مبنای داده‌های رقومی است که برای سازمان‌دهی داده‌ها از منابع گوناگون کاربرد گسترده‌ای یافته است. این روش برای مکان‌یابی بسیار مورد استفاده قرار گرفته است، زیرا ضمن پردازش و ذخیره و طراحی، بر مبنای معیارهایی که خواسته فردی است، کاربرد دارد و هزینه‌ها را به‌شدت کاهش می‌دهد (Mahtabi Oghani *et al*. 2013). باوجوداینکه GIS بیشتر در حمایت و پشتیبانی تصمیم‌گیری‌های برنامه‌ریزی و کاربری اراضی استفاده می‌شود، ولی به‌دلیل نبود امکانات و مدل‌های سلسله‌مراتبی، در حمایت و پشتیبانی تصمیم‌گیری چندگانه، کاربرد آن محدود است (Simao et al, 2009). توسعه عملیات GIS با استفاده از روش‌های آماری، بهینه‌سازی، منطق فازی، شبیه‌سازی و روش‌های دیگر باعث افزایش توانایی این سامانه در تجزیه‌وتحلیل اکتشافی، تصمیم‌گیری و پیش‌بینی شده است. GIS و روش‌های تجزیه‌وتحلیل چند معیاره (MCDM) دو ابزار مکمل هستند که هرکدام از آن‌ها دارای محدودیت در تصمیم‌گیری‌های مکانی هستند، ولی تلفیق آن‌ها چیره شدن بر محدودیت‌های هر یک از آن‌ها را امکان‌پذیر می‌کند (Chakhar and Mousseau, 2007) Sumathi *et al.*, (2007) در پژوهشی با استفاده از روش MCDM و تحلیل همپوشانی به کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی، به انتخاب یک محل دفن مواد زاید جامد جدید پرداختند. سامانه پیشنهادی در این پژوهش می‌تواند با اطلاعات جدید در مورد مکان‌یابی محل دفن مواد زاید جامد تطبیق داده شده و به‌روزرسانی شود. معیارهای مختلفی در فرآیند مکان‌یابی موردتوجه قرار گرفتند که عبارت‌اند از: زمین‌شناسی، منابع آب، کاربری زمین، مناطق حساس، کیفیت هوا و کیفیت آب زیرزمینی. وزن‌هایی که برای هر معیار تعیین شد، براساس اهمیت نسبی و دسته‌بندی آن‌ها بر طبق میزان اثرات بود. نتایج حاصل از استفاده این سامانه در مکان‌های مختلف، مؤثر بودن آن را در فرآیند مکان‌یابی نشان داد. (2010) Banias *et al.*, در جهت کاهش ضایعات زیست‌محیطی و اقتصادی مکان‌یابی نادرست ساختمان‌های صنعتی، از روش پرومته (PROMETHEE) برای بهینه‌یابی مکان این ساختمان‌ها استفاده کردند. بر طبق این تحقیق روش پرومته در مسائل مکان‌یابی، بسیار کارآمد است. Joerin *et al.*, (2001) از روش تحلیل چندمعیاره فرارتبه‌ای برای مکان‌یابی استفاده کردند. آن‌ها به علت محدودیت‌های محاسباتی، برای کاهش تعداد گزینه‌ها به ادغام گزینه‌ها برمبنای ویژگی‌های توپولوژیکی و

مکانی پرداختند. بر طبق مطالعات Shifa *et al.*, (2011) برای بهینه‌یابی تخصیص زمین، روش‌های سنتی مانند مدل برنامه‌ریزی چندهدفه و غیره، با مشکلات بسیاری روبرو می‌باشند. بر طبق نتایج این تحقیق، روش PSO به‌خوبی می‌تواند بر مشکلات مورداشاره در بهینه‌یابی در فضای چندبعدی غلبه کند.

وجود مسائل پیچیده علمی منجر می‌شود تا سراغ روش‌های بهینه‌سازی رفته و مسئله موردنظر را به‌وسیله آن‌ها حل کنیم. با توجه به زمان‌بر بودن و پیچیدگی روش‌های دقیق از روش‌های بهینه‌سازی هوشمند استفاده می‌شود. هدف از این تحقیق ارائه چارچوبی جهت ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و بهینه‌سازی هوشمند با سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، به‌منظور شناسایی مکان‌های مستعد جهت احداث ایستگاه بازیافت پسماند در شهرستان کرج است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

منطقه موردمطالعه در این پژوهش شهرستان کرج استان البرز است. این شهرستان در دامنه جنوبی رشته‌کوه البرز واقع در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۱ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۷ دقیقه دارای آب‌وهوای معتدل و خشک است. وسعت شهرستان کرج حدود ۱۵۸۲ کیلومترمربع می‌باشد.

شایان‌ذکر است با توجه به تحقیقات انجام‌شده در مورد مکان‌یابی محل دفن پسماندهای جامد در شهرهای بزرگ، باوجود یک یا چند ایستگاه انتقال می‌توان محل دفن را در ۳۰-۴۰ کیلومتری از مرکز تولید پسماند احداث نمود که ازلحاظ اقتصادی نیز باصرفه است (Shokrai, 2002; kuhi, 2006). درنهایت با توجه به مرور منابع و پیشینه مطالعات، شعاع ۴۰ کیلومتری از مرکز تولید پسماند جامد (شهر کرج) محدود به مرز شهرستان کرج به‌عنوان منطقه موردمطالعه انتخاب گردید. از کل مساحت شهرستان، منطقه موردمطالعه با مساحت برابر ۱۱۹۵ کیلومترمربع در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۸ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه واقع شده است.

جمع‌آوری داده

به دلیل فقدان اطلاعات در استانداردها و مراجع در مورد معیارهای مکان‌یابی ایستگاه بازیافت، همچنین مشخص نبودن حریم و فواصلی که باید برای هر معیار رعایت شود، در این تحقیق معیارهای مکان‌یابی ایستگاه بازیافت از روش دلفی به‌دست آمده و سپس حریم و فواصلی که باید برای هر معیار رعایت شود از روش دلفی فازی در قالب نقاط کنترل اعداد فازی ذوزنقه‌ای، مثلثی، یکنواخت افزایشی و یکنواخت کاهشی مشخص گردید و همچنین برای تعیین وزن معیارها از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد. اطلاعات مورد نیاز برای روش دلفی به وسیله ۳۰ عدد پرسشنامه و برای روش دلفی فازی و AHP به وسیله ۲۵ عدد پرسشنامه از طریق کارشناسان و دانشجویان رشته‌های مرتبط تهیه شد (Pahlavan *et al*. 2017). جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات برای شناسایی وضعیت جغرافیایی و محیطی محدوده موردمطالعه از ادارات و سازمان‌های ذی‌ربط، بازدید از مکان‌های فعلی دفن پسماندها در شهرستان کرج و مصاحبه با جوامع محلی و متخصصان انجام شد. لایه کاربری اراضی و پوشش زمین از مدیریت آبخیزداری استان البرز تهیه شد. همچنین با استفاده از داده‌های کسب‌شده از موقعیت مکان‌های تاریخی و گردشگری منطقه موردمطالعه از سازمان میراث فرهنگی و گردشگری شهرستان کرج نقشه پراکنش این مکان‌ها تهیه شد. در این پژوهش نقشه خاکشناسی که برای منطقه موردمطالعه استفاده شده، از سه نقشه در مقیاس‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ نقشه مطالعات اجمالی خاکشناسی کرج - آبیک، ۱:۲۵۰۰۰۰ نقشه قابلیت اراضی از شهر کرج تا سد امیرکبیر و نقشه‌های ۱:۲۰۰۰۰ تهیه‌شده توسط سازمان جهاد کشاورزی استان تهران از سد امیرکبیر تا انتهای شمالی محدوده موردمطالعه استفاده شد. که درنهایت دو لایه اطلاعاتی از این نقشه خاکشناسی تهیه شد که شامل نقشه نفوذپذیری و نقشه عمق خاک است. یکی از عوامل موثر در ساخت و ساز شهری، شیب ارضی می‌باشد. نقشه شیب زمین با استفاده از مدل رقومی ارتفاع زمین با ساختار رستری و اندازه تفکیک مکانی ده متر تهیه‌شده از سازمان نقشه‌برداری کشور، تهیه گردید.

روش پرومته

روش‌های گوناگونی برای بررسی مسائل MCDM ارائه شده است که اجرای هرکدام از آن‌ها در یک مسئله واحد، منجر به دستیابی به نتایج متفاوتی می‌شود (Asgharpour, 2009). در سال‌های اولیه گسترش مدل‌های تصمیم‌گیری، به انتخاب این روش‌ها توجه خاصی نمی‌شد، اما امروزه واضح است که یک انتخاب نادرست می‌تواند نتایجی مانند احتمال دستیابی به پاسخ غیر بهینه و صرف زمان و منابع مالی بیش‌ازاندازه را در برداشته باشد. در مطالعه حاضر جهت بهینه‌سازی از ترکیبی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM[1]) و بهینه‌سازی هوشمند

1. Multiple Criteria Decision Making

استفاده می‌گردد. بر طبق مطالعات انجام‌شده در میان روش‌های مختلف، روش پرومته (PROMETHEE[1]) و PSO برای این مطالعه مناسب تشخیص داده شده‌اند. روش پرومته یا روش ساختاریافته رتبه‌بندی ترجیحی برای غنی‌سازی ارزیابی‌ها یکی از روش‌های نو فرارتبه‌ای است که برای رتبه‌بندی مجموعه متناهی از گزینه‌ها در میان معیارهای بیشتر متناقض استفاده می‌شود(Pirdashti and Behzadian, 2009). روش پرومته برای اولین بار در سال ۱۹۸۲ توسط بارنز[2] معرفی شد. درواقع این مدل طراحی شده است تا مسائل چندمعیاره را حل کند. در تحلیل‌های مبتنی بر MCDM، هدف تعیین اولویت‌دارترین گزینه (یا مجموعه‌ای از گزینه‌ها) یا رتبه‌بندی گزینه‌ها است.

در این پژوهش روش پرومته به علت سهولت استفاده برای کاربر، امکان تفسیر پارامترها (دسته‌بندی شاخص‌ها و گزینه‌ها)، پایداری نتایج در مقایسه با اغلب روش‌های دیگر، امکان تحلیل حساسیت به‌صورت ساده و سریع، امکان استفاده از طرح گرافیکی مدل‌سازی و امکان در نظر گرفتن محدودیت‌های مختلف در بهینه‌سازی تصمیم، مورداستفاده قرار گرفت.

مدل‌های گوناگونی از روش پرومته برای بررسی مسائل تصمیم‌گیری ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به PROMETHEE I (برای رتبه‌بندی جزئی گزینه‌ها) و PROMETHEE II (برای رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها) اشاره کرد (Figueira *et al.*, 2005; Kaffash Charandabi *et al.* 2011).

محدودیت روش پرومته

باوجوداینکه روش پرومته در مسائل مکان‌یابی، بسیار کارآمد است (Banias *et al.*, 2010; Huang *et al.*, 2010). ولی به‌دلیل نیاز این روش به مقایسات زوجی تک تک گزینه‌ها، با افزایش تعداد گزینه‌ها انجام مقایسات زوجی نیازمند حافظه و قدرت پردازش بالا در کامپیوتر و صرف زمان بسیار زیادی می‌شود، که در برخی مواقع نیز به‌دلیل افزایش بسیار زیاد تعداد گزینه‌ها، حل مسئله ناممکن می‌شود (Marinoni, 2006).

یکی از راهکارهای مؤثر برای کاهش تعداد گزینه‌ها استفاده از فرآیندهای ترکیبی می‌باشد که کم‌تر موردتوجه محققین قرار گرفته است. در این تحقیق الگوریتم پیشنهادی برای ترکیب با روش پرومته الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات (PSO[3]) می‌باشد که اولین بار توسط ابرهارت و کندی[4] در سال ۱۹۹۵ بر اساس رفتار اجتماعی دسته‌های پرندگان و ماهی‌ها طراحی شد (Eberhart and Kennedy, 1995; Kennedy and Eberhart, 1995). PSO یکی از الگوریتم‌های هوش جمعی است که درزمینه بهینه‌سازی ایستا و پویا بسیار پرکاربرد است. این الگوریتم یک روش سراسری کمینه‌سازی است که با استفاده از آن می‌توان مسائلی را که جواب آن‌ها یک نقطه یا سطح در فضای n بعدی می‌باشد، بررسی نمود(Kennedy and Eberhart, 1995).

الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات (PSO)

در این الگوریتم ابتدا یک مجموعه جواب اولیه تولید می‌شود. به عبارت ساده‌تر، در ابتدا هر ذره به‌عنوان یک راه‌حل ممکن فرض می‌گردد. سپس برای یافتن جواب بهینه در فضای پاسخ‌های ممکن، با به هنگام کردن نسل‌ها، جستجوی پاسخ انجام می‌گیرد. هر ذره به‌صورت چندبعدی با دو مقدار موقعیت و سرعت تعریف می‌شود و در هر مرحله از حرکت ذره، با دو شاخص سرعت و موقعیت، بهترین پاسخ‌ها ازلحاظ شایستگی برای تمامی ذرات تعیین می‌شوند. به عبارت بهتر به بهینه به‌دست‌آمده در هر مرحله pbest و در پایان تمامی مراحل، gbest گفته می‌شود و تمامی ذرات برمبنای pbest و gbest به دست آمده، مکان خود را به‌روز می‌کنند تا راه‌حل بهینه سراسری حاصل شود (Kennedy and Eberhart, 1995). سه مرحله‌ی بهنگام سازی سرعت، بهنگام سازی موقعیت و محاسبه تابع هدف تا رسیدن به بیشینه تکرار ادامه می‌یابد (Shifa *et al.*, 2011).

همچنین برای ارزش‌دهی به هریک از معیارها و زیرمعیارها پس از تعیین، باید آن‌ها را بر اساس قاعده‌ای خاص وزن دهی و ترکیب کرد (Douglas, 1984). برخی از معیارهای این تحقیق کمی و برخی دیگر کیفی هستند. بنابراین، بایستی از روشی استفاده کرد تا بتواند این دو دسته معیار را بر اساس قاعده‌ای خاص باهم مقایسه، وزن‌دهی و ترکیب کند. پس از بررسی روش‌های مختلف وزن‌دهی، روش مقایسه دوتایی در قالب فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، به‌دلیل ساختار تئوری قوی، استفاده آسان و قابلیت زیاد آن به‌عنوان بهترین روش در وزن‌دهی در تحقیق حاضر انتخاب گردید. این روش شامل مقایسه دوتایی معیارها و زیرمعیارها برای ایجاد ماتریس نسبت است و وزن‌های نسبی را به‌عنوان خروجی ایجاد می‌کند(Malczewski, 1999). همچنین در کاربردهای عملی نشان داده شده است که روش مقایسه دوتایی از مؤثرترین روش‌ها در تصمیم‌گیری مکانی در تحقیقات با استفاده از ابزارها در محیط GIS است.

1. Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations
2. Barns
3. Particle Swarm Optimization
4. Eberhart and Kennedy

نتایج و بحث

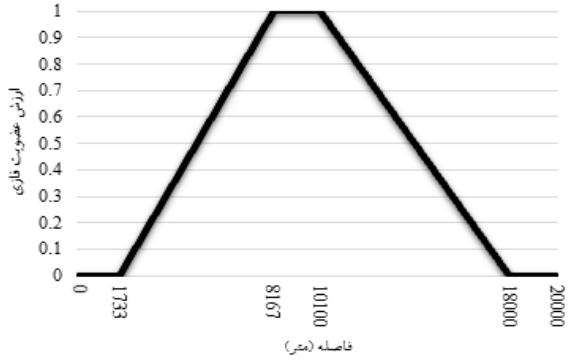
معیارهای موردبررسی، حریم آن‌ها و وزن‌های به‌دست‌آمده به روش AHP در جدول(۱) نشان داده شده است. این معیارها شامل، مناطق مسکونی، جاده دسترسی، راه‌آهن، خطوط انتقال نیرو، آب‌های سطحی، گسل، صنایع و معادن، کاربری اراضی، چاه، قنات و چشمه‌ها، اماکن توریستی، فرودگاه، مناطق سیل‌خیز، مناطق حفاظت‌شده، عمق و نفوذپذیری خاک و شیب می‌باشد.

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

معیارها	نقاط کنترل توابع فازی				وزن معیار
	a	b	c	d	
مناطق مسکونی شهری	۱۷۳۳	۸۱۶۷	۱۰۱۰۰	۱۸۰۰۰	۰/۰۶۵۷
مناطق مسکونی روستایی	۸۰۰	۵۰۰۰	۶۰۰۰	۱۸۰۰۰	۰/۰۶۵۷
بزرگراه‌ها	۱۸۱	۴۸۳	۸۰۰	۱۷۲۵	۰/۰۲۶۳
جاده‌های اصلی	۱۶۰	۳۰۰	۸۰۰	۱۷۲۵	۰/۰۲۶۳
جاده‌های روستایی	۲۴	۱۰۰	۱۰۰	۵۷۵	۰/۰۲۶۳
راه‌آهن	۱۵۵	–	–	۴۱۷	۰/۰۲۶۳
خطوط انتقال نیرو	۸۰	۳۳۷	۳۳۷	۴۴۰۰	۰/۰۱۹۷
آب‌های سطحی	۲۱۳	–	–	۶۰۰	۰/۰۹۴۸
گسل اصلی	۹۷	–	–	۱۹۳	۰/۰۸۵۲
گسل فرعی	۵۶	–	–	۱۰۰	۰/۰۸۵۲
صنایع و معادن	۲۶۷	–	–	۵۰۰	۰/۰۲۴۰
چاه، چشمه و قنوات	۲۶۵	–	–	۵۵۰	۰/۱۰۵۳
اماکن توریستی	۷۲۰	–	–	۱۹۰۰	۰/۰۴۹۱
فرودگاه	۲۰۰۰	–	–	۷۰۰۰	۰/۰۲۹۰
مناطق سیل‌خیز با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله	۲۰	–	–	۵۰	۰/۰۶۰۵
مناطق حفاظت‌شده	۱۸۶۶	–	–	۳۸۰۰	۰/۱۳۳۳
شیب (درجه)	–	–	۵	۲۴	۰/۰۴۵۱

بر اساس نتایج روش دلفی فازی، حریم معیارها در قالب نقاط کنترل اعداد فازی در جدول (۱) نشان داده شده است و همچنین نمودار مجموعه فازی معیار فاصله از مناطق مسکونی شهری به عنوان نمونه در شکل (۱) نشان داده شده است. طبیعی است که محل ایستگاه بازیافت همواره باید در خارج از شهر و دور از مرکز جمعیتی قرار گیرد، از سوی دیگر جریان مواد اولیه در صنایع بازیافت مواد با سایر صنایع متفاوت است. مواد اولیه این صنایع، برخلاف دیگر صنایع از درون شهرها تأمین می‌شود و کالای تولیدی آن‌ها نیز به شهرها عودت داده می‌شود، لذا نزدیکی به شهرها به‌منظور کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل، یکی از الزامات سودآوری صنایع بازیافت است.

بر اساس نتایج روش AHP، معیارهای فاصله از مناطق حفاظت‌شده، چاه، چشمه و قنوات و آب‌های سطحی به ترتیب دارای بیشترین وزن می‌باشند (جدول ۱). در تحقیقات سایر پژوهشگران برای مکان‌یابی محل دفن پسماند، معیارهای فاصله از مناطق مسکونی (Sener *et al*. 2010)، فاصله از گسل، مناطق مسکونی، جاده‌های دسترسی و آب‌های سطحی (Sadrmousavi *et al*. 2012)، دارای بیشترین وزن بودند.

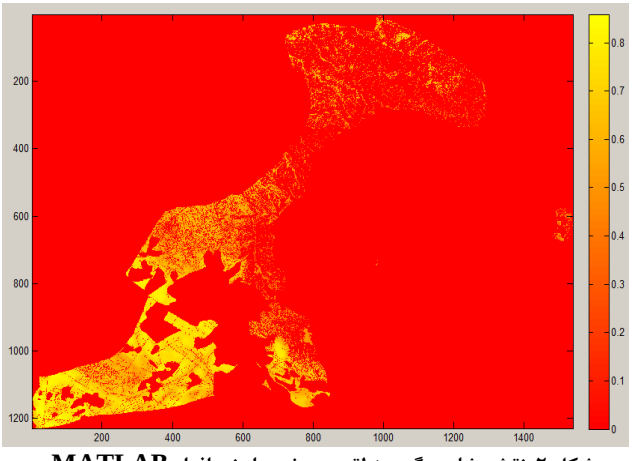


شکل ۱. تابع عضویت فازی فاصله مناسب از مناطق مسکونی شهری

برای شناسایی مکان بهینه برای احداث ایستگاه بازیافت، لایه‌های اطلاعات رستری فازی معیارهای موردنظر به ابعاد ۴۰ در ۴۰ متر در محیط نرم‌افزار ArcGIS با توجه به حریم معیارها (جدول۱) تهیه گردید.

مساحت ایستگاه بازیافت عمدتاً با توجه به جمعیت، نوع و میزان تولید پسماند، نوع وسایل مورداستفاده برای جمع‌آوری و انتقال مواد زاید، وزن متوسط، زمان ماندگاری و میزان پردازش مواد زاید محاسبه می‌گردد. در این پژوهش، با در نظر گرفتن حجم مواد زاید تولیدی در شهرستان کرج (۱۱۰۰ تن پسماند با ۷۸٫۴٪ مواد آلی) و در نظر گرفتن توده‌هایی به ارتفاع ۱٫۵ و عرض ۳ متر برای تولید کمپوست و همچنین با توجه به بررسی مساحت ایستگاه‌های موجود سطح کشور (Daian et al. 2009)، مساحت مناسب برای احداث ایستگاه بازیافت ۳۰ هکتار برآورد گردید.

در این مرحله از پژوهش، الگوریتم PSO برای منطقه موردمطالعه در محیط نرم‌افزار MATLAB، کد نویسی شد. برای نیل به این هدف، در ابتدا نقشه امتیاز معیارهای موردبررسی که بر اساس نقاط کنترل توابع فازی (جدول۱)، توسط نرم‌افزار ArcGis تهیه شده بود، به‌صورت فایل Ascii وارد نرم‌افزار MATLAB شده و با در نظر گرفتن وزن هر معیار (به‌دست‌آمده به‌وسیله روش AHP)، معیارها در نرم‌افزار متلب تلفیق شدند. در این مرحله امتیازات منطقه به‌صورت شکل (۲) استخراج شد.

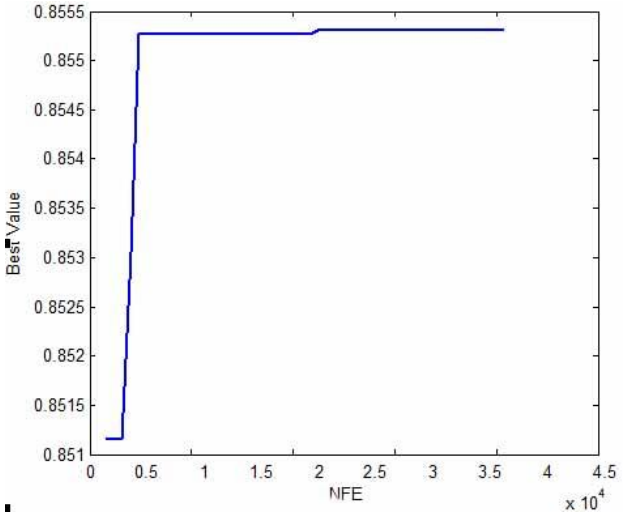


شکل ۲. نقشه شایستگی منطقه مستخرج از نرم‌افزار MATLAB

در این مرحله با توجه به محدود بودن فضای با قابلیت احداث ایستگاه بازیافت در منطقه غربی شهرستان و با توجه به نظر کارشناسان سازمان بازیافت شهرستان کرج، یافتن دو منطقه با مساحت ۱۶ هکتار (با توجه به اندازه سلول ۴۰×۴۰ متر نقشه‌ها) درنظر گرفته شد.

برای شناسایی دو مکان مجزای ۱۶ هکتاری بهینه جهت احداث ایستگاه بازیافت، الگوریتم PSO برای منطقه موردمطالعه در محیط نرم‌افزار MATLAB، کد نویسی شد. فضای جستجوی الگوریتم PSO یک ماتریس با ۱۲۳۰ سطر و ۱۵۳۸ ستون می‌باشد که به صورت فضای گسسته بوده و در شکل (۲) مشخص می‌باشد.

نتیجه پیاده‌سازی الگوریتم PSO با جمعیت اولیه ۴۰۰ و در ۱۰۰ تکرار در نمودار شکل (۳) نشان داده شده است که در تکرار ۵۴ (NFE یا حاصل‌ضرب تعداد تکرار در تعداد جمعیت اولیه برابر ۲۱۶۰۰)، الگوریتم به منطقه ۳ با مساحت ۱۶ هکتار با میانگین امتیاز ۰٫۸۵۵ برای احداث ایستگاه بازیافت رسیده است. منطقه اول در موقعیت عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۲ دقیقه و ۴۴ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۴۲ دقیقه و ۵۵ ثانیه و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۴ دقیقه و ۵۳ ثانیه تا ۵۰ درجه و ۴۵ دقیقه و ۷ ثانیه قرار دارد.



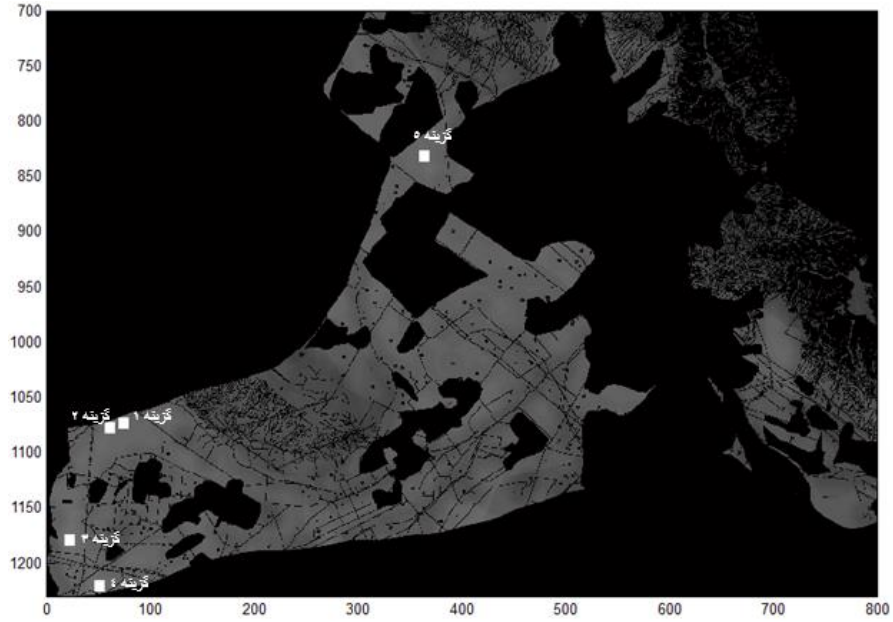
شکل ۳. نتیجه اولین اجرای الگوریتم PSO

پس از به‌دست آمدن اولین منطقه بهینه، این منطقه از داده‌های ورودی خارج شده و الگوریتم دوباره تکرار شد تا مجموعه‌ای از مناطق مطلوب تعیین شود.

در مراحل بعدی پیاده‌سازی الگوریتم PSO، به ترتیب منطقه‌ی ۴ با میانگین امتیاز ۰٫۸۵۲ در تکرار ۴۵ (در موقعیت عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقه و ۵۱ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۴۲ دقیقه و ۳ ثانیه و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۵ دقیقه و ۳۸ ثانیه تا ۵۰ درجه و ۴۵ دقیقه و ۵۲ ثانیه)، منطقه‌ی ۲ با میانگین امتیاز ۰٫۸۲۹ در تکرار ۴۶ (در موقعیت عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه و ۵۶ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه و ۷ ثانیه و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۵ دقیقه و ۵۳ ثانیه تا ۵۰ درجه و ۴۶ دقیقه و ۷ ثانیه)، منطقه‌ی ۱ با میانگین امتیاز ۰٫۸۱۷ در تکرار ۶۰ (در موقعیت عرض جغرافیایی ۳۵

درجه و ۴۵ دقیقه و ۱ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه و ۱۳ ثانیه و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۶ دقیقه و ۱۵ ثانیه تا ۵۰ درجه و ۴۶ دقیقه و ۲۹ ثانیه) و منطقه‌ی ۵ با میانگین امتیاز ۰,۸۱۵ در تکرار ۷۶(در موقعیت عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه و ۱۵ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه و ۲۶ ثانیه و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۳ دقیقه و ۵۴ ثانیه تا ۵۰ درجه و ۵۴ دقیقه و ۹ ثانیه)، به‌عنوان مناطق بهینه مشخص شدند.

درنهایت در این مرحله، ۵ منطقه ۱۶ هکتاری مطلوب برای بررسی‌های دقیق‌تر مشخص گردید. محل این نقاط در شکل (۴) به رنگ سفید نشان داده شده است.



شکل ۴. نقشه ۵ گزینه پیشنهادی برای احداث ایستگاه بازیافت به کمک روش PSO

بر طبق نتایج جدول (۲)، معیار منطقه مسکونی بیشترین محدودیت را در این مناطق به وجود آورده است. همچنین تمامی مناطق یافت شده ازنظر معیارهای فاصله از راه‌آهن، مناطق صنعتی، مناطق حفاظت‌شده، کاربری اراضی، چشمه، چاه، قنات، گسل و ویژگی‌های فیزیکی زمین هیچ‌گونه محدودیتی نداشته و دارای ارزش یک می‌باشند.

در تحقیقات Moeinaddini *et al.* (2011) در زمینه‌ی مکان‌یابی محل دفن مواد زاید جامد در شهرستان کرج با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی و تحلیل پوششی داده‌ها، منطقه جنوبی شهرستان کرج مناسب تشخیص داده شد که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد.

در مرحله بعد، روش پرومته برای ۵ ایستگاه پیشنهادی اجرا شد. بر اساس نتایج این روش، منطقه ۴ دارای بیشترین مقادیر مثبت و کمترین مقادیر منفی Phi می‌باشد. نتایج اجرای روش پرومته، مقادیر Phi+ ، Phi- و Phi و رتبه‌بندی به‌دست‌آمده برای گزینه‌ها در جدول (۳) و شکل (۵) نشان داده شده است. این نتایج حاکی از ترتیب اولویت احداث ایستگاه بازیافت در مناطق ۴، ۳، ۲، ۵ و ۱ می‌باشد.

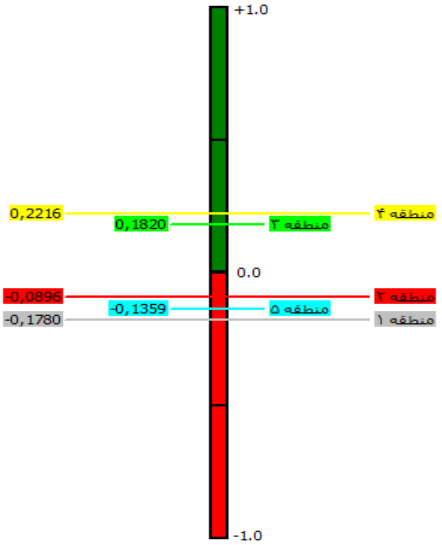
جدول ۲. امتیازات گزینه‌های پیشنهادی برای احداث ایستگاه بازیافت

منطقه	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵
مناطق مسکونی	۰/۰۰۰	۰/۰۷۷	۰/۱۷۱	۰/۲۰۲	۰/۰۰۰
خطوط انتقال نیرو	۰/۷۸۶	۰/۹۲۴	۰/۹۴۸	۰/۹۴۹	۰/۷۸۶
راه	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	۰/۹۸۸	۰/۰۵۵۶	۰/۹۹۸
فرودگاه	۰/۶۱۴	۰/۷۱۴	۱	۱	۰/۶۱۷
مناطق توریستی	۰/۷۴۶	۰/۸۲۶	۱	۱	۰/۷۲۹
آب‌های سطحی	۰/۹۹۷	۰/۹۶۷	۱	۱	۰/۹۹۹
امتیاز کل	۰/۸۱۷	۰/۸۲۹	۰/۸۵۵	۰/۸۵۲	۰/۸۱۵

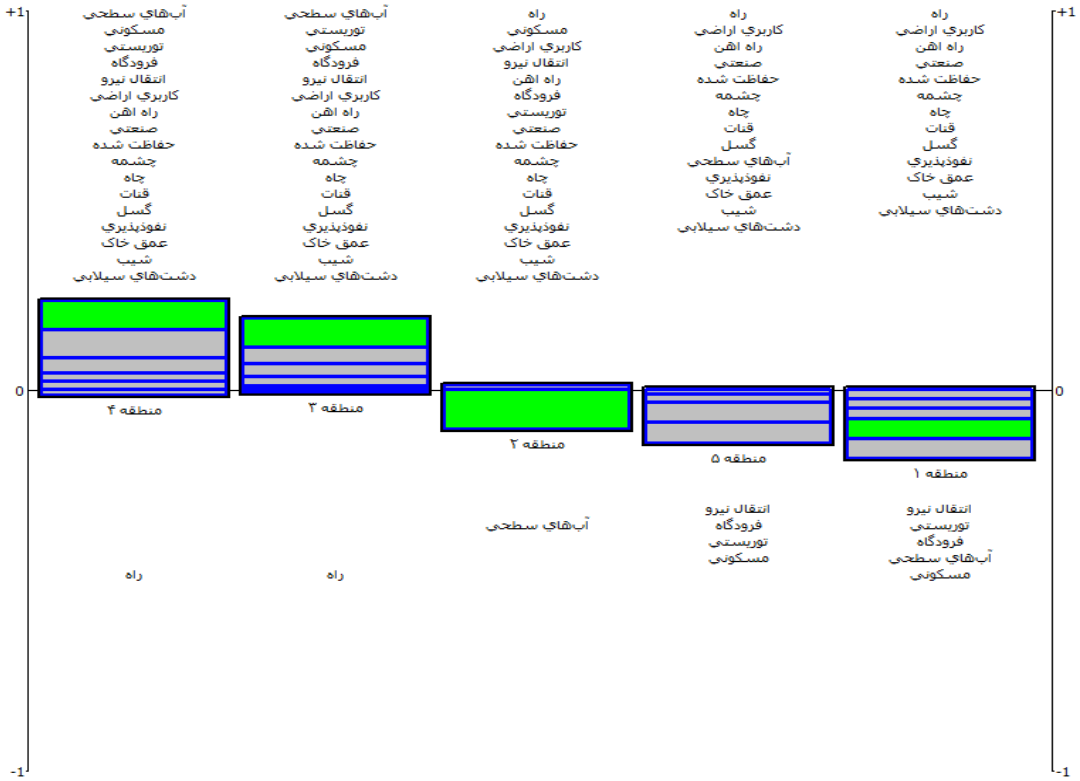
جدول ۳. نتایج اجرای روش پرومته برای مناطق پیشنهادی

اولویت	منطقه	Phi	Phi+	Phi-
۱	منطقه ۴	۰/۲۲۱۶	۰/۲۳۶۰	۰/۰۱۴۴
۲	منطقه ۳	۰/۱۸۲۰	۰/۲۱۶۲	۰/۰۳۴۳
۳	منطقه ۲	۰/۰۸۹۶	۰/۱۰۴۱	۰/۱۹۳۸
۴	منطقه ۵	۰/۱۳۵۹	۰/۰۶۷۸	۰/۲۰۳۷
۵	منطقه ۱	۰/۱۷۸۰	۰/۰۴۶۷	۰/۲۲۴۸

تحلیل رنگین‌کمانی یک نمای تفکیکی از رتبه‌بندی کامل است. همان‌گونه که در شکل (۶) نشان داده شده است، گزینه‌های موردبررسی به ترتیب رتبه (رتبه‌بندی کامل) از چپ به راست نشان داده شده‌اند. بر اساس نتایج تحلیل رنگین‌کمانی، معیار فاصله از راه‌های دسترسی بر رتبه منطقه ۴ و ۳، نسبت به سایر مناطق تاثیر منفی گذاشته است و بقیه معیارها بر روی رتبه‌ی این منطقه تاثیر مثبتی داشته‌اند. همچنین در مورد منطقه ۲ معیار فاصله از آب‌های سطحی، در منطقه ۵ معیارهای خطوط انتقال نیرو، مناطق توریستی، فرودگاه و مناطق مسکونی و همچنین در منطقه ۱ معیارهای خطوط انتقال نیرو، فرودگاه، مناطق توریستی، آب‌های سطحی و مناطق مسکونی بر روی رتبه‌ی این منطقه تاثیر منفی داشته‌اند.



شکل ۵. رتبه‌بندی کامل مناطق پیشنهادی



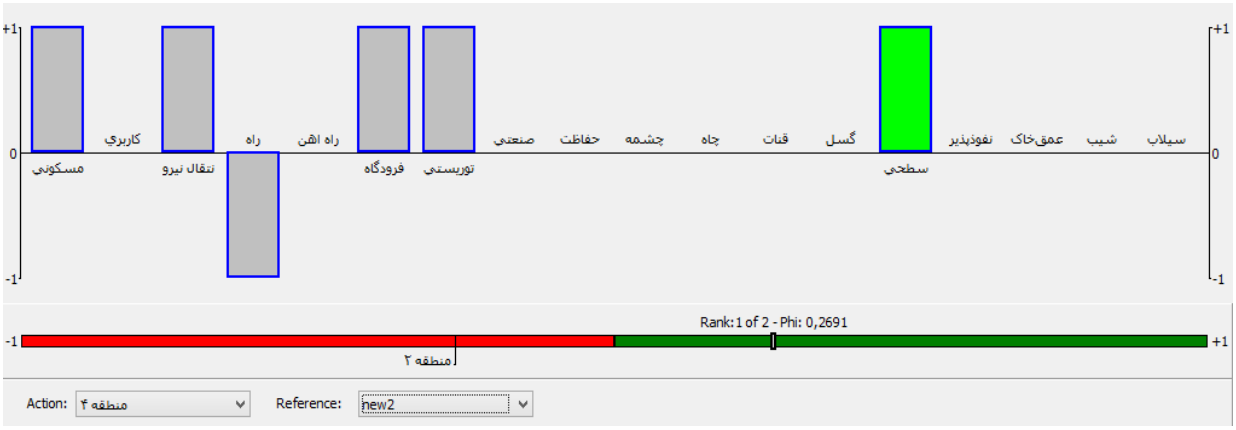
شکل ۶. تحلیل رنگین‌کمانی مناطق پیشنهادی

یکی از زیرمجموعه‌های نوین پرومته، تحلیل مشاور بانکی است که با کاربردی شبیه ترازو به مقایسه معیارها و وزن‌های خروجی در بین دو گزینه (دو منطقه) می‌پردازد؛ معیارها بر اساس بازه‌ای از (۱-) تا (۱+) مربوط به گزینه پایه آورده می‌شوند، تغییرات وزنی این معیارها با توجه به وزن و تابع برتری وارد شده در ماتریس اولیه می‌باشد. معیارهایی که به خط افقی یا صفر نزدیک هستند دارای اهمیت یکسان، نزدیکی به عدد مثبت نشان‌دهنده اهمیت گزینه پایه و درنهایت نزدیکی به عدد منفی نشان از اهمیت معیارهای مربوط به گزینه هدف (و موردسنجش) دارند.

ازنظر تحلیل مشاور بانکی منطقه ۴ که در رتبه اول قرار دارد نسبت به منطقه ۳ که دارای رتبه ۲ می‌باشد، در معیار فاصله از مناطق مسکونی و خطوط انتقال نیرو در وضعیت بهینه‌تری قرار گرفته است، درحالی‌که ازنظر فاصله از راه‌های دسترسی دارای وضعیت بدتری می‌باشد. این مناطق در سایر معیارها برتری مشخصی نسبت به یکدیگر ندارند (شکل ۷).

همچنین منطقه ۴ نسبت به منطقه ۲ که دارای رتبه ۳ می‌باشد، در معیار فاصله از مناطق مسکونی، خطوط انتقال نیرو، فرودگاه، مناطق توریستی و آب‌های سطحی در وضعیت بهینه‌تری قرار گرفته است، درحالی‌که ازنظر فاصله از راه‌های دسترسی دارای وضعیت بدتری می‌باشد. این مناطق در سایر معیارها اختلاف مشخصی نسبت به یکدیگر ندارند (شکل ۸).

شکل ۷. تحلیل مشاور بانکی برای مقایسه معیارهای منطقه ۴ نسبت به منطقه ۳



شکل ۸. تحلیل مشاور بانکی برای مقایسه معیارهای منطقه ۴ نسبت به منطقه ۲

بر اساس نتایج این پژوهش، مناطق ۴ و ۳ با مجموع مساحت ۳۲ هکتار، برای احداث ایستگاه بازیافت در شهرستان کرج پیشنهاد می‌گردد.

همچنین بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، مناطق بهینه برای احداث ایستگاه بازیافت در شهرستان کرج، در نزدیکی مرکز دفن فعلی پسماند (مرکز دفن حلقه‌دره) واقع شده‌اند. گرچه احداث ایستگاه‌های بازیافت باعث کاهش حجم مواد دفنی خواهد گشت، لیکن نیاز به دفن بهداشتی را منتفی نمی‌سازد. ازآنجایی‌که مجاورت ایستگاه‌های بازیافت با مراکز دفن، موجب کاهش هزینه‌های انتقال مواد دفنی ایستگاه‌های بازیافت می‌گردد، لذا قرار گرفتن مناطق انتخابی در نزدیکی مرکز دفن پسماند حلقه‌دره، ازنظر انتقال مواد غیرقابل بازیافت به مرکز

دفن، مناسب می‌باشند.

در تحقیقات Queiruga *et al.* (2008) در زمینه‌ی ارزیابی مکان کارخانه‌های بازیافت زباله‌های الکترونیکی، ۲۰ منطقه مناسب برای احداث کارخانه به وسیله روش پرومته رتبه‌بندی شدند. همچنین Kaffash Charandabi et al. (2011) در جانمایی ایستگاه‌های پایش آلودگی هوا به روش پرومته، ۵ نقطه را در شهر تهران انتخاب کردند که گزینه‌های پیشنهادی اولویت‌دار که در حوالی بزرگراه فتح، بزرگراه بسیج، میدان امام حسین، بزرگراه شهید عراقی و بزرگراه یادگار امام واقع شده بودند، به لحاظ کیفیت هوا، در نواحی خطرناک، خیلی غیربهداشتی و غیربهداشتی قرار گرفته بودند.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه درنهایت با در نظر گرفتن نقش عوامل متعدد در امر مکان‌یابی ایستگاه‌های بازیافت پسماند، دو مکان مناسب برای احداث ایستگاه بازیافت شهرستان کرج ازنظر معیارهای مختلف با تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و بهینه‌سازی هوشمند با سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، استخراج گردید.

این مطالعه به برنامه‌ریزان کمک می‌کند تا بر اساس داده‌های مکانی، تصمیم دقیق و مناسبی را اتخاذ کنند.

با توجه به مطالعه انجام‌شده و نقشه‌های به‌دست‌آمده، مکان‌های مناسب برای احداث ایستگاه بازیافت دارای خصوصیات ذیل می‌باشند:

فاصله آن‌ها از شهر بیشتر از ۷۵۰ متر و کمتر از ۳۲۰۰ متر است.

جهت حفظ و رعایت بهداشت عمومی از چاه‌ها و آب‌های سطحی دارای فاصله مناسبی می‌باشند.

دارای فاصله مناسبی از جاده‌ها، مناطق مسکونی، فرودگاه، گسل‌ها، خطوط انتقال نیرو و معدن می‌باشند و در مناطق حفاظت‌شده، قرار نمی‌گیرند.

ازلحاظ کاربری اراضی نیز دارای وضع مطلوبی جهت احداث ایستگاه بازیافت می‌باشند.

در نزدیکی مرکز دفن فعلی پسماند منطقه (مرکز دفن حلقه‌دره) واقع شده‌اند.

نتایج این پژوهش کمیابی زمین در محدوده موردمطالعه برای ایستگاه بازیافت را نشان داد. باتوجه 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 شهرستان کرج، تهیه و اجرا شود تا در آینده سامانه مدیریت پسماند شهر کرج با مشکلات بیشتری درزمینه کمیابی زمین مواجه نشود.

در انتها این روش برای مکان‌یابی و تعیین ارجحیت بین گزینه‌ها، باهدف مکان‌یابی محل ایستگاه بازیافت در مناطق مشابه پیشنهاد می‌شود. همچنین می‌توان از رویکرد به‌کاررفته در این پژوهش، برای مکان‌یابی سایر تأسیسات موردنظر نیز بهره برد.

REFERENCES

Asgharpour, M.J. (2009). *Multiple Criteria Decision Making*(7th ed.). Tehran University. (In Farsi)

Ataei, A., Shakibi, H., Shabanikia, A., Nazari, A. & Boghlan Dashti, B. (2009). Feasibility study and conceptual design of construction of biomass power plant with urban waste fuels. In: Proceedings of *1st Conference of Thermal power industry*. pp. 1-6. (In Farsi)

Banias, G., Achillas, C., Vlachokostas, C., Moussiopoulos, N. & Tarsenis, S. (2010). Assessing multiple criteria for the optimal location of a construction and demolition waste management facility. *Building and Environment*, 45, 2317-2326.

Chakhar, S. & Mousseau, V. (2007). An algebra for multicriteria spatial modelling. Computers, *Environment and Urban Systems*, 31, 572-596.

Daian, B., Khezri, S.M. & Tavakoli, B. (2009). Environmental inspection of Rasht Compost Plant. *Journal of Life Sciences*, 3(4), 39-49. (In Farsi)

Douglas, P. (1984). *The theory of Wages*, Macmillan, New York. 245-278.

Eberhart, R.C. & Kennedy, J. (1995). A new optimizer using particle swarm theory. In Proceedings *6th International Symposium Micromachine Human science*, Nagoya, Japan, pp. 39-43.

Figueira, J., Greco, S. & Ehrgott, M. (2005). Multiple Criteria Decision Analysis: State of the art surveys. Springer eBook. ISBN: 0-387-23081-5. 1045 p.

Huang, P., Tsai, J. & Lin, W. (2010). Using multiple-criteria decision making techniques for eco-environmental vulnerability assessment: a case study on the Chi-Jia-Wan Stream watershed, Taiwan. *Environment Monitoring Assess*, 168, 141-158.

Joerin, F., Thériault, M. & Musy, A. (2001). Using GIS and outranking multicriteria analysis for land-use suitability assessment. *International Journal of Geographical Information Science*, 15, 153-174.

Kaffash Charandabi, N., Alesheikh, A.A. & karimi, M. (2011). Using PROMETHEE method for optimum setting of air pollution monitoring stations. *In: Proceedings of Geomatics national Congress*. (In Farsi)

Kennedy, J. & Eberhart, R.C. (1995). Particle swarm optimization. In: Proceedings of *IEEE International Conference*, pp. 1942-1948.

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(2), 19-24. (In Farsi)

Kuhi, S. (2006). *location allocation of landfill site of Qarchak*. M.Sc. Thesis, University of Tehran. (In Farsi)

Mahtabi Oghani, M., Najafi, A. & Yunesi, H. (2013). Comparison of TOPSIS and AHP ability in site selection Municipal (Solid Wastes Disposal)Case study: Karaj landfill site selection. *Health and environment*, 6(3), 341-352. (In Farsi)

Malczewski, J. (1999). *GIS and Multi Criteria Decision Analysis*(1st ed.). John Wiley & Sons INC

Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in Planning*, 62(1), 3-65.

Marinoni, O. (2006). A discussion on the computational limitations of outranking methods for land-use suitability assessment. *International Journal of Geographical Information Science*, 20, 69-87.

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 *3rd national Congress Waste Management*, pp.11-30. (In Farsi)

Nasiri, C. (2008). Feasibility of biogas plant in Saveh. In: Proceedings of *4th national Congress on Waste Management*, pp. 1-12. (In Farsi)

Pahlavan, R., Omid, M., Akram, A. & Nazari Samani, A. (2017). Location allocation of recycling site of solid waste in the city of Karaj using GIS assisted Analytic Hierarchy Process (AHP) and Fuzzy Logic. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 48(1), 145-153. (In Farsi)

Panahande, M., Abedinzadeh, N. & Ravanbakhsh, M. (2010). Environmental Impact Assessment of Yazd Compost Plant. *Science and technology of the environment*, 12(3), 87-99. (In Farsi)

Pirdashti, M. & Behzadian, M. (2009). Selection of the Best Module Design for Ultrafiltration (UF) Membrane in Dairy Industry: An Application of AHP and PROMETHEE. *International Journal of Engineering*, 3, 126-142.

Queiruga, D., Walther, G., González-Benito, J. & Spengler, T. (2008). Evaluation of sites for the location of WEEE recycling plants in Spain. *Waste Management*, 28(1), 181-190.

Sadrmousavi, M., Mosakhani, K. & Abazarloo, S. (2012). Optimization of Urban Solid Waste Landfill, Using AHP Hierarchy Analysis Model (Case Study: Zanjan City). *Environmental Planning*, 6(21), 65-88. (In Farsi)

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*, 30, 2037-2046

Shifa, M., Jianhua, H., Feng, L., Yan, Y., (2011). Land-use spatial optimization based on PSO algorithm. *Geo-Spatial Information Science*, 14, 54-61.

Shokrai, A. (2002). Environmental studies to select the appropriate landfill for landfill in Sari, M.Sc. Thesis, University of Tehran. (In Farsi)

Simao, A., Densham, P.J. & Haklay, M.M. (2009). Web-based GIS for collaborative planning and public participation: an application to the strategic planning of wind farm sites. *Journal of Environmental Management*, 90, 2027–2040.

Sumathi, V.R., Natesan, U. & Sarkar, C. (2007). GIS-based approach for optimized siting of municipal solid waste landfill. *Waste Management*, 28, 2146-2160.