University of Tehran Press

Journal of Natural Environment

Online ISSN: 2423-7817

Homepage: https://jne.ut.ac.ir/

Site selection for waste transfer station in Karaj county, Alborz province

Marzieh Nayebi[1] | **Mazaher Moeinaddini**[2]✉

1. Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: marzieh.nayebi@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: moeinaddini@ut.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 23 August 2022

Received in revised form 1 November 2022

Accepted 16 November 2022

Published online 5 May 2023

Keywords:

Waste transfer station,

Karaj county,

Weighted linear combination,

TOPSIS method.

ABSTRACT

Population growth with the growth of urban communities has been increased consumer demand and waste production. Waste collection and transportation, as the most expensive element in the waste management system, is so important that a slight change in the cost of management process will reduce the related costs in the waste management system. Among these, transfer stations, as facilities that reduce the costs of collection and transportation, are particular importance. The aim of this study is to select a suitable site for the construction of a waste transfer station and then prioritize suitable options in Karaj. The innovation of this research is in the number of criteria and sub-criteria used for locating and prioritizing options. After setting the major criteria and sub-criteria related to the location of the waste transfer station in this city, their maps were prepared. A total of 3 criteria and 14 sub-criteria were used in this study, then the prepared maps were standardized to a range of [0, 1] and the weight of each criterion and sub-criterion was determined using the pairwise comparison method. The weighted linear combination method was used to prepare the suitability map. The results showed that the major criteria for choosing the transfer station were the boundaries and distances, followed by the physical criteria of land and land use. Then 10 options were selected as the final option and 2 criteria of future development plans and land price were also added to the research and the options were prioritized using the TOPSIS method and the most suitable option with an area of more than 4 hectares was selected in 4 regions. The approach used in this research can be used in other cities.

Cite this article: Nayebi, M., & Moeinaddini, M. (2023). Site selection for waste transfer station in Karaj county, Alborz province. *Journal of Natural Environment*, 76 (1), 29-41. DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2022.347566.2463

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2022.347566.2463

محیط زیست طبیعی
شاپای الکترونیکی: ۷۸۱۷-۲۴۲۳
Homepage: https://jne.ut.ac.ir/
انتشارات دانشگاه تهران

مکان‌یابی ایستگاه انتقال پسماند شهرکرج، استان البرز

مرضیه نایبی[۱] | مظاهر معین‌الدینی[۲]✉

۱. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: marzieh.nayebi@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: moeinaddini@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۵
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۲/۱۵

کلیدواژه‌ها:
ایستگاه انتقال پسماند،
شهرکرج،
روش ترکیب خطی وزنی،
روش تاپسیس.

چکیده

افزایش جمعیت به‌همراه رشد جوامع شهری، تقاضای مصرف را بالا برده و افزایش تولید پسماند را به‌دنبال داشته است. جمع‌آوری و حمل و نقل پسماند به‌عنوان عنصری که بیشترین هزینهٔ مربوط در سیستم مدیریت پسماند را به‌خود اختصاص داده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، به‌نحوی‌که تغییر اندکی در شیوهٔ مدیریت هزینه‌ها باعث کاهش هزینه‌های مربوط در سیستم مدیریت پسماند می‌شود. در این میان ایستگاه‌های انتقال به‌عنوان تأسیساتی که موجبات کاهش هزینه‌های بخش جمع‌آوری و حمل و نقل را فراهم می‌کند از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. هدف از انجام این تحقیق انتخاب مکان مناسب برای احداث ایستگاه انتقال پسماند و اولویت‌بندی گزینه‌های شایسته در شهر کرج است. نوآوری این تحقیق در تعداد معیارها و زیرمعیارهای بکار رفته برای مکان‌یابی و اولویت‌بندی گزینه‌ها است. بعد از تعیین معیارها و زیرمعیارهای مهم مربوط به مکان‌یابی ایستگاه انتقال پسماند در شهر کرج، نقشه‌های آن‌ها تهیه شد. تعداد ۳ معیار اصلی و ۱۴ زیر معیار در این مطالعه استفاده شد، سپس نقشه‌های تهیه شده در محدودهٔ صفر تا یک استاندارد گردید و با استفاده از روش مقایسه‌های زوجی وزن هریک از معیارها و زیر معیارها تعیین گردید. از روش ترکیب خطی وزنی برای تهیه نقشهٔ شایستگی استفاده شد. نتایج نشان داد که مهم‌ترین معیارها برای انتخاب ایستگاه انتقال، معیار حریم‌ها و فاصله‌ها بود و بعد از آن معیار فیزیکی سرزمین و کاربری اراضی قرار گرفتند. سپس ۱۰ گزینه به‌عنوان گزینهٔ نهایی انتخاب شدند و ۲ معیار طرح‌های توسعهٔ آتی و قیمت زمین نیز به تحقیق افزوده شد و اولویت‌بندی گزینه‌ها از روش تاپسیس صورت گرفت و شایسته‌ترین گزینه با مساحت بیش از ۴ هکتار در منطقهٔ چهار انتخاب شد. رویکرد استفاده شده در این تحقیق می‌تواند در سایر شهرها مورد استفاده قرارگیرد.

استناد: نایبی، مرضیه؛ و معین‌الدینی، مظاهر (۱۴۰۲). مکان‌یابی ایستگاه انتقال پسماند شهرکرج، استان البرز. *محیط زیست طبیعی*، ۷۶ (۱)، ۴۱-۲۹.

DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2022.347566.2463

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

مقدمه

جمع‌آوری پسماند شهری، یکی از عناصر مهم در سیستم مدیریت پسماند است. زیان‌های اقتصادی و بهداشتی ناشی از عدم کنترل پسماند جامد در مناطق شهری، افزایش روزافزون پسماندهای شهری به‌خصوص در شهرهای بزرگ و صرف هزینه‌های زیاد به‌منظور جمع‌آوری و دفع آن‌ها، لزوم برداشتن گام‌های مؤثر و اساسی را در زمینهٔ کنترل پسماندهای جامد روشن می‌سازد (li *et al*, 2013). جمع‌آوری و حمل و نقل پسماند یکی از مهمترین عملیات مدیریت پسماندهای جامد شهری است، در حال حاضر در ایران ۸۰ درصد کل هزینه‌های مدیریت پسماندهای شهری، مربوط به بخش جمع‌آوری است‌که درصد بالایی از این مقدار مربوط به حقوق کارگران و نیروی انسانی است (Majlesi *et al*., 2013). پسماندها معمولاً از محل جمع‌آوری تا محل دفع توسط ناوگان جمع‌آوری، حمل می‌شوند. هر چند گاهی اوقات فاصله تا محل دفع به حدی زیاد است که کارایی جمع‌آوری حمل پسماندها توسط ناوگان به‌صورت غیر قابل قبولی کاهش می‌یابد. در چنین مواردی می‌توان با احداث ایستگاه‌های انتقال، پسماندها را به ماشین‌های حمل بزرگتر انتقال داده و این ماشین‌ها نیز خود، پسماندها را به مکان‌های دفع در فواصل دوردست انتقال دهند. در چنین شرایطی، حمل پسماندها در مقیاس بالا با صرف هزینه‌ای مناسب انجام خواهد شد (Khorasani and Rafiee, 2006).

استفاده از ایستگاه انتقال و نصب تجهیزات پردازش می‌تواند به‌عنوان یک گزینهٔ انعطاف‌پذیر در مدیریت پسماند شهرهای بزرگ باشد، از سوی دیگر، استقرار ایستگاه انتقال در محدودهٔ شهر دارای تبعات منفی است که بایستی ملاحظات لازم در این زمینه در مکان‌یابی آن لحاظ شود (Ahangari, 2017). ترافیک، ایجاد صدا و انتشار ترکیبات دارای بوهای ناخوشایند، عوامل مزاحمی هستند که معمولاً در اطراف ایستگاه‌های انتقال وجود دارند. افزایش هزینه‌های اجتماعی و محیط زیستی و اقتصادی از جمله مشکلات دیگری است که می‌تواند به‌علت مکان‌یابی و طراحی نامناسب ایستگاه انتقال یا عملکرد نادرست وسایل ایجاد شود، همچنین حضور پرنده‌ها و جوندگان، پراکنده‌شدن پسماندها به خارج از ایستگاه و آلودگی هوا از جمله مشکلات دیگر مکان‌یابی و طراحی نادرست ایستگاه‌ها می‌باشد (Lin *et al*., 2020). با ارزیابی و مکان‌یابی صحیح، طراحی دقیق و مدیریت خوب عملیات، می‌توان اثرات پتانسیل منفی ایستگاه‌های انتقال را مدیریت کرد. بهبـود فرآینـد استفاده از ایستگاه انتقال در مراحل مکان‌یابی، طراحی و بهره‌برداری از آن و همچنین بیشینه کـردن تـأثیر و بـازدهی تجهیزات و کمینه کردن اثرات منفی آن‌ها امری ضروری محسوب می‌گردد (Shorabi *et al*., 2012).

تعیین معیارهای مناسب برای مکان‌یابی از اهمیت زیادی برخوردار است و در مطالعات مختلف معیارهای و زیرمعیارهای متنوعی با توجه به شرایطی از جمله موقعیت جغرافیایی شهر، وجود زیرساخت‌ها، حساسیت‌های محیط زیستی و .. در نظر گرفته شده است (Nilchiyan, 2002; Rafiee *et al*., 2013; Bosompem *et al*., 2016; Ağaçsapan and Cabuk, 2020; Shoaiee and Rahmani, 2020; Yadav *et al*., 2020). به‌عنوان نمونه، معیارهای شیب، جهت وزش باد، کاربری اراضی، فاصله از محل دفن، ویژگی‌های زیباشناختی در مطالعه (Nilchiyan, 2002) و معیارهایی مانند الگوی توسعه شهری، نوع خاک، زمین‌شناسی، شیب و فاصله تا مناطق مسکونی، مراکز تولید پسماند، رودخانه‌ها، گسل‌ها و بزرگراه‌ها در مطالعهٔ رفیعی و همکاران برای تعیین مکان استقرار ایستگاه انتقال استفاده شده است (Rafiee *et al*., 2013). در تحقیق پیش رو از ۳ معیار اصلی فیزیکی سرزمین، حریم‌ها و فاصله‌ها و کاربری اراضی و ۱۴ زیرمعیار برای تعیین محل‌های مناسب استقرار ایستگاه انتقال پسماند استفاده شده است.

در مطالعات مکان‌یابی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده می شود. Moghimi Kandlousy و همکاران (۲۰۱۸) از ۲۰ معیار نظیر کاربری اراضی، زمین‌شناسی، فاصله از جاده و فاصله از خطوط انتقال نیرو استفاده نمودند و جهت ترکیب معیارها از روش تاپسیس استفاده شد و پنج محدودهٔ مستعد محل دفن شناسایی شد (Moghimi Kandlousy *et al*., 2018). در بررسی Shoaiee و Rahmani (۲۰۲۰) نیز از چهار دسته معیار محدودیت‌های محیطی، مقبولیت اجتماعی، جنبه‌های محیط زیستی و دسترسی به امکانات برای اولویت‌بندی ایستگاه‌های جمع‌آوری پسماند شهر تهران با بکارگیری روش‌های سلسله مراتبی، مقایسه‌های زوجی بین معیارهای اصلی و اولویت‌بندی از طریق روش تاپسیس استفاده شد و ایستگاه انتقال یاران به‌عنوان گزینه برتر انتخاب شد (Shoaiee and Rahmani, 2020). Bosompem و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی خود در شهر کوماسی غنا از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره بکار گرفته شده در سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده نمودند و ۱۱ سایت بهینه جهت احداث

ایستگاه انتقال انتخاب گردید (Bosompem *et al*., 2016). Kharat و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیق خود در کشور هند جهت مکان‌یابی و اولویت‌بندی مکان‌های مناسب احداث لندفیل از مدلی تلفیقی برگرفته از سه روش تاپسیس، روش تحلیل سلسله‌مراتبی و فرآیند فازی استفاده نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که تلفیق سه رویکرد باعث کاهش احتمال خطاها و عدم اطمینان در فرآیند تصمیم‌گیری و رتبه‌بندی می‌شود (Kharat *et al*., 2016).

Ağaçsapan و Cabuk (۲۰۲۰) در مطالعهٔ خود در شهر اسکی شهیر ترکیه جهت تعیین مکان‌های مناسب بالقوه برای ایستگاه‌های انتقال پسماند از فناوری‌های سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تجزیه و تحلیل جامع مکانی و همپوشانی وزنی دامنهٔ وسیعی از لایه‌های مختلف داده استفاده کردند. نتایج نشان داد که ۱/۱ درصد از منطقهٔ مورد مطالعه برای ایجاد ایستگاه‌های انتقال پسماند مناسب است (Ağaçsapan and Cabuk, 2020). در تحقیقی دیگر در شهر ناشیک هند Yadav و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و تاپسیس هشت مکان بالقوهٔ احداث ایستگاه انتقال پسماند را با در نظر گرفتن معیارهای اقتصادی، محیط زیستی، فنی و اجتماعی امتیازدهی و اولویت‌بندی کردند و دو مکان به‌عنوان برترین گزینه انتخاب شدند (Yadav *et al*., 2020). در این تحقیق از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای مکان‌یابی محل‌های مناسب برای احداث ایستگاه انتقال پسماند در شهر کرج استفاده شده است. فرآیند انتخاب مکان برای ایستگاه‌های انتقال به چندین معیار بستگی دارد که به تجزیه و تحلیل مکانی پیچیده نیاز دارند. بنابراین فرآیند تصمیم‌گیری آگاهانه و حل مسأله بر ارزیابی چندمعیاره MCE[1] تکیه دارد که براساس سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS[2] است (Mobarghaee and Ghasempour, 2013). در زمینهٔ ادغام GIS و MCE از روش ترکیب خطی وزنی WLC استفاده شده است. در روش WLC[3]، هر معیار از نظر مناسب بودن در یک محدودهٔ عددی، استاندارد شده و سپس معیارها با استفاده از میانگین وزنی ترکیب می‌شوند. در این روش تصویر نهایی، یک نقشهٔ پیوسته است که می‌تواند به‌عنوان ابزاری مفید برای تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار گیرد، نقشهٔ حاصل از مکان‌یابی به روش WLC دارای قابلیت بالایی برای ارائهٔ گزینه‌های مناسب است (Eastman, 2009). برای اولویت‌بندی گزینه‌ها از روش تاپسیس (TOPSIS[4]) استفاده شده است. در تحقیق حاضر برای تعیین مناطق دارای شایستگی استقرار برای ایستگاه انتقال، بعد از تکمیل مرحلهٔ مطالعات کتابخانه‌ای و پژوهش‌های مرتبط با موضوع، معیارهای مهم در مکان‌یابی ایستگاه‌های انتقال پسماند با توجه به موقعیت شهر کرج، پارامترها، استانداردها و ضوابط تهیه گردید. برای اولویت‌بندی گزینه‌های شایسته نیز دو معیار طرح‌های توسعهٔ آتی و قیمت زمین به تحقیق افزوده شد و اولویت‌بندی با پنج معیار صورت گرفت. در این تحقیق تعداد زیادی معیار برای مکان‌یابی ایستگاه انتقال پسماند بکار گرفته شد و از معیار اقتصادی به‌عنوان یکی از معیارهای اصلی برای اولویت‌بندی گزینه‌های شایسته استفاده شد. شهرستان کرج به مرکزیت کرج بالاترین میزان رشد جمعیت را در سطح استان البرز و حتی کشور دارا است. افزایش سریع جمعیت و به موجب آن افزایش تولید پسماند، و روند گسترش شهرنشینی به سمت غرب، احداث ایستگاه انتقال پسماند در شهر کرج را به گزینه‌ای محتمل تبدیل می‌کند (Pahlavan *et al*., 2017; Vaeziheir, 2019). هدف از این مطالعه شناسایی مکان‌های مناسب برای احداث ایستگاه انتقال پسماند و اولویت‌بندی این مکان‌ها می‌باشد.

روش‌شناسی پژوهش

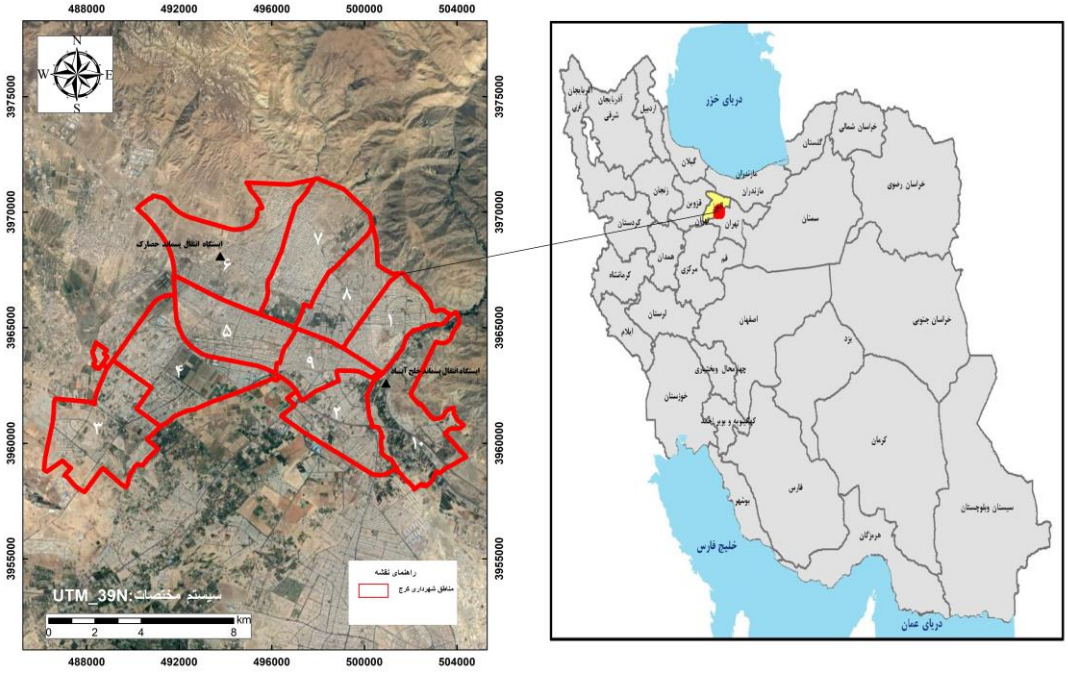
محدودهٔ مورد مطالعه: شهر کرج واقع در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۲ دقیقه و طول جغرافیایی۵۰ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۶ دقیقه واقع شده و دارای آب و هوای معتدل و خشک است (Pahlavan *et al*., 2017) که دارای ۱۰ منطقهٔ شهرداری است (شکل ۱). جمعیت آن بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵ کل کشور برابر با ۱۵۹۲۴۹۲ نفر بوده است و در میان کلان‌شهرهای ایران با رشد جمعیت سالانه ۳/۱۴ درصد بالاترین رشد جمعیت را دارد (Amar, 2022). طبق آمار اعلام

[1]Multi Criteria Evaluation

[2]Geographic Information System

[3]Weighted Linear Combination

[4]Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution



شکل ۱. موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه

شده از سوی شهرداری‌ها سرانهٔ تولید روزانهٔ پسماند هر نفر در کلان‌شهر کرج ۶۵۰ گرم است، دو ایستگاه انتقال پسماند در شهر وجود دارد، ایستگاه انتقال خلج‌آباد مناطق ۱، ۲، ۸، ۹ و ۱۰ شهرداری کرج و ایستگاه انتقال حصارک بالا مناطق ۷، ۶، ۵ را پوشش می‌دهد. پسماندهای مناطق ۳ و ۴ با مجموع ۱۵۰ تن در روز به‌صورت مستقیم به مرکز دفن حلقه‌دره منتقل می‌شود (Karaj Municipality, 2018).

روش پژوهش: جهت شناسایی و اولویت‌بندی محل‌های مناسب استقرار ایستگاه انتقال پسماند در شهر کرج پس از انتخاب معیارها و زیر معیارهای مورد نظر برای تهیهٔ نقشهٔ شایستگی از قابلیت روش ترکیب خطی وزنی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، منطق فازی و برای اولویت‌بندی مکان‌های نهایی از روش تاپسیس استفاده شد. شکل ۲ نگارهٔ انجام کار را نشان می‌دهد. مراحل این مطالعه به شرح زیر است:

- گام اول: شامل شناسایی مهم‌ترین معیارها و زیر معیارهای مهم در مکان‌یابی ایستگاه انتقال پسماند است که این معیارها و زیر معیارها در شکل ۱ ارائه شده است.
- گام دوم: تهیهٔ نقشهٔ معیارها است، که با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی به‌دست آمده در نرم‌افزار GIS استخراج گردید.
- گام سوم: ترکیب نقشه‌ها با استفاده از روش ترکیب خطی وزنی (WLC) است و در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام گرفته است.

مراحل روش ترکیب خطی وزنی:

۱. استاندارد کردن معیارها: به‌منظور بی‌مقیاس شدن نقشه‌ها جهت روی‌هم‌گذاری ازاستانداردسازی فازی استفاده می‌شود، یکی از مهم‌ترین پارامترها برای استانداردسازی فازی انتخاب نوع تابع فازی و استفاده از تعیین حد آستانه یا نقاط کنترل است، در این حالت بیشترین ارزش یعنی یک به حداکثر عضویت و کمترین ارزش یعنی صفر به حداقل عضویت در مجموعه تعلق می‌گیرد (Al Madrasi and Mohammadpour, 2014). در این تحقیق از توابع فازی خطی و User defined استفاده شد، نکته‌ای که بایستی در انتخاب تابع به آن توجه نمود، نوع کاهشی یا افزایشی بودن آن است. منظور از کاهشی، حداقل‌شونده یا نزولی بودن تابع، و منظور از افزایشی بودن، حداکثرشونده یا صعودی بودن تابع است (Al Madrasi and Mohammadpour, 2014).

۲. تعیین وزن معیارها و زیر معیارها: ساختار سلسله مراتب تصمیم گیری (AHP[5]) جهت وزن‌دهی به معیارها تهیه شد. پرسشنامه نظرسنجی متخصصان به روش مقایسه‌های زوجی در قالب فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی تنظیم و به کارشناسان ارسال شد. همچنین جهت جلوگیری از ورود برخی نظرات احتمالی غیر کارشناسی، نسبت توافق یا مقادیر سازگاری قضاوت‌ها (CR[6]) محاسبه گردید، در صورتی که این نسبت کم‌تر از ۰/۱ باشد به معنای پذیرش وزن‌ها است، لازم به ذکر است که جهت انجام کلیهٔ محاسبات شامل مقایسه‌های زوجی معیارها و زیر معیارها، محاسبهٔ وزن‌ها و نسبت توافق از نرم‌افزار Expert Choice نسخهٔ ۱۱ استفاده شد که محاسبات را به‌صورت خودکار انجام می‌دهد.

۳. تهیهٔ نقشه: در این مرحله، نقشه‌هایی که در محدودهٔ بین صفر تا یک استاندارد شده‌اند در وزن مربوطه ضرب می‌شوند.

۴. روی‌هم‌گذاری (جمع) نقشه‌های استاندارد وزن‌دار شده: در این مرحله نقشه‌های وزن‌دار شده به روش ترکیب خطی وزنی، با یکدیگر جمع می‌شوند، نقشهٔ خروجی بین صفرتا یک است.

- گام چهارم در این مرحله نقشهٔ نهایی شایستگی حاصل از روش ترکیب خطی وزنی که در محدودهٔ صفر تا یک قرار دارد، تولید شد. در تحقیق مورد نظر با توجه به نقشهٔ شایستگی به‌دست آمده و ارزش‌های آن سعی شد بالاترین مقدار که همان شایسته‌ترین گزینه‌ها هستند، انتخاب شوند، غربالگری بر روی گزینه‌ها انجام شد و گزینه‌هایی که مساحت پایینی دارند و یا در مناطقی قرار دارند که تراکم بافت مسکونی در آن محدوده زیاد است و یا از نظر کاربری جزء مناطق با اولویت پایین هستند به گونه‌ای که امکان استقرار ایستگاه انتقال پسماند وجود ندارد، حذف گردید و گزینه‌های شایسته مشخص شد. در نهایت ۱۰ گزینهٔ شایسته انتخاب شدند. در این مرحله برای اولویت‌بندی گزینه‌ها دو معیار طرح‌های توسعهٔ آتی و قیمت زمین به موضوع تحقیق افزوده شد، برای معیار طرح‌های توسعهٔ آتی به گزینه‌هایی که مساحت بیشتری داشتند، امتیاز بالاتری تعلق گرفت و برای معیار قیمت زمین نیز، قیمت در مناطقی که گزینه‌ها در آن قرار داشتند به‌دست آمد و امتیازبندی گردید. بدین‌صورت که به گزینه‌هایی که در محله‌های گران قرار دارند امتیاز پایین و به گزینه‌هایی که در محله‌های ارزان قرار دارند امتیاز بالا داده شده است .
- گام پنجم از روش تاپسیس گزینه‌های نهایی اولویت‌بندی شدند.

این روش شامل شش مرحله است که به‌ترتیب در این تحقیق انجام شده است (Moghimi Kandlousy *et al*., 2018):

- تشکیل ماتریس تصمیم و بی‌مقیاس‌سازی آن

رابطهٔ ۱
$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}}$$

- وزن‌دهی به ماتریس تصمیم نرمال شده

رابطهٔ ۲
$$V_{ij} = W_j \times r_{ij}$$

- محاسبهٔ گزینهٔ ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی برای هر یک از معیارها

$$A^+ = \{(max V_{ij} | j \in J^+), (min V_{ij} | j \in j^-)\} \quad , \quad i=1,2,\cdots m$$
$$A^- = \{(min V_{ij} | j \in J^+), (max V_{ij} | j \in j^-)\} \quad , \quad i=1,2,\cdots m$$

- تعیین میزان فاصله هر گزینه از ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی

رابطهٔ ۳
$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (V_{ij} - V_j^+)^2} \quad \text{i=1,2,}\cdots, m$$

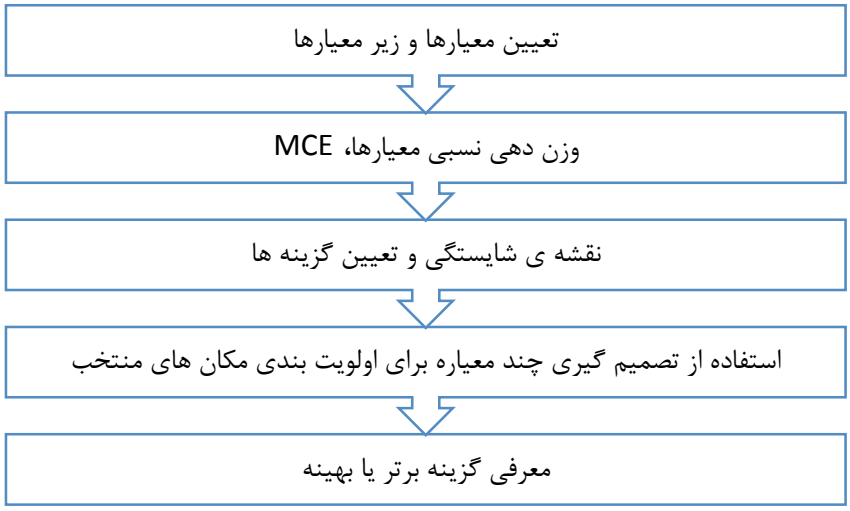
رابطهٔ ۴
$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad \text{i=1,2,}\cdots, m$$

- محاسبهٔ نزدیکی نسبی گزینه به راه‌حل ایده‌آل

رابطهٔ ۵
$$C_i^* = \frac{s_i^-}{s_i^- + s_i^+}$$

[5] Analytical Hierarchy process (AHP)

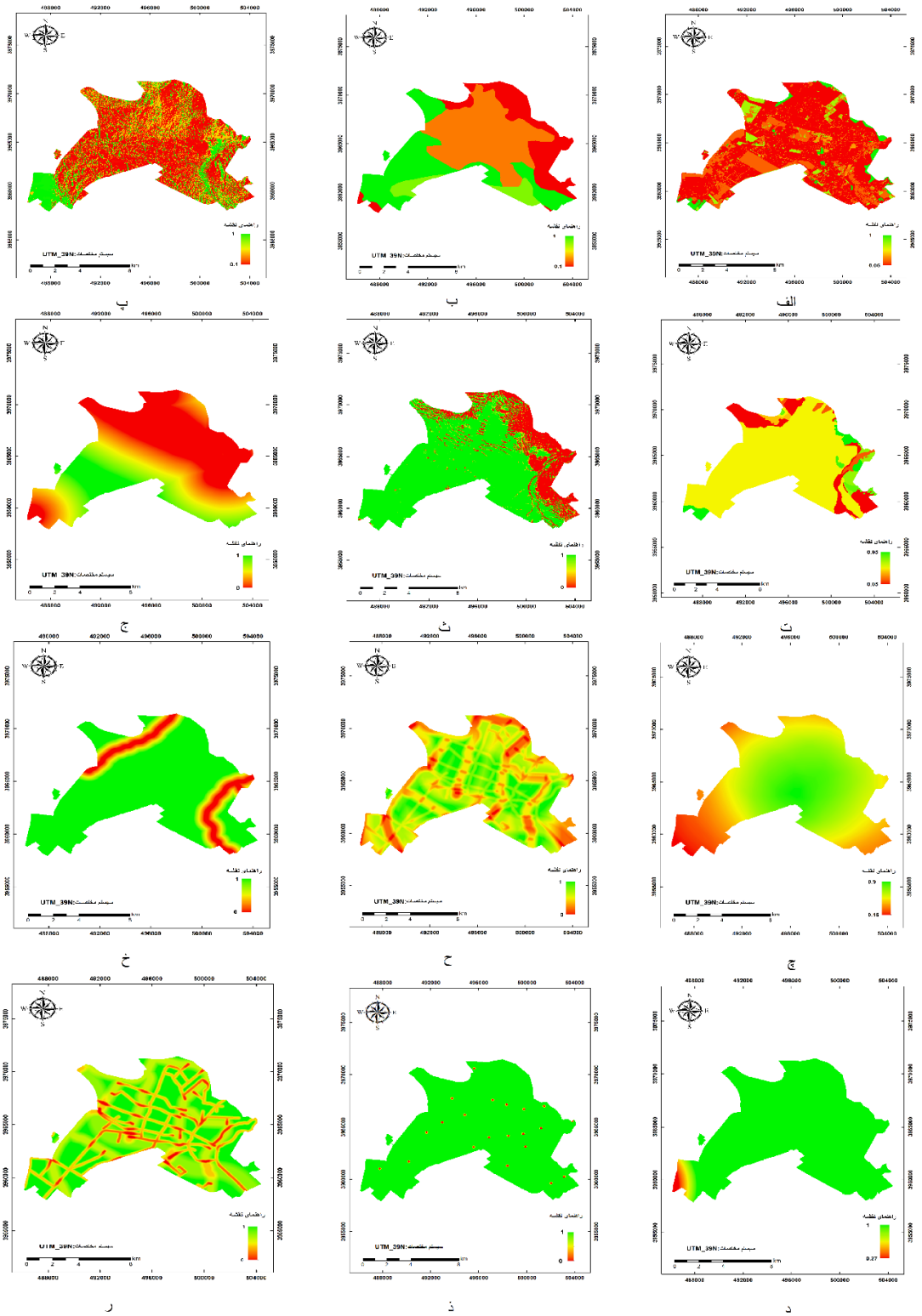
[6] Consistency ratio



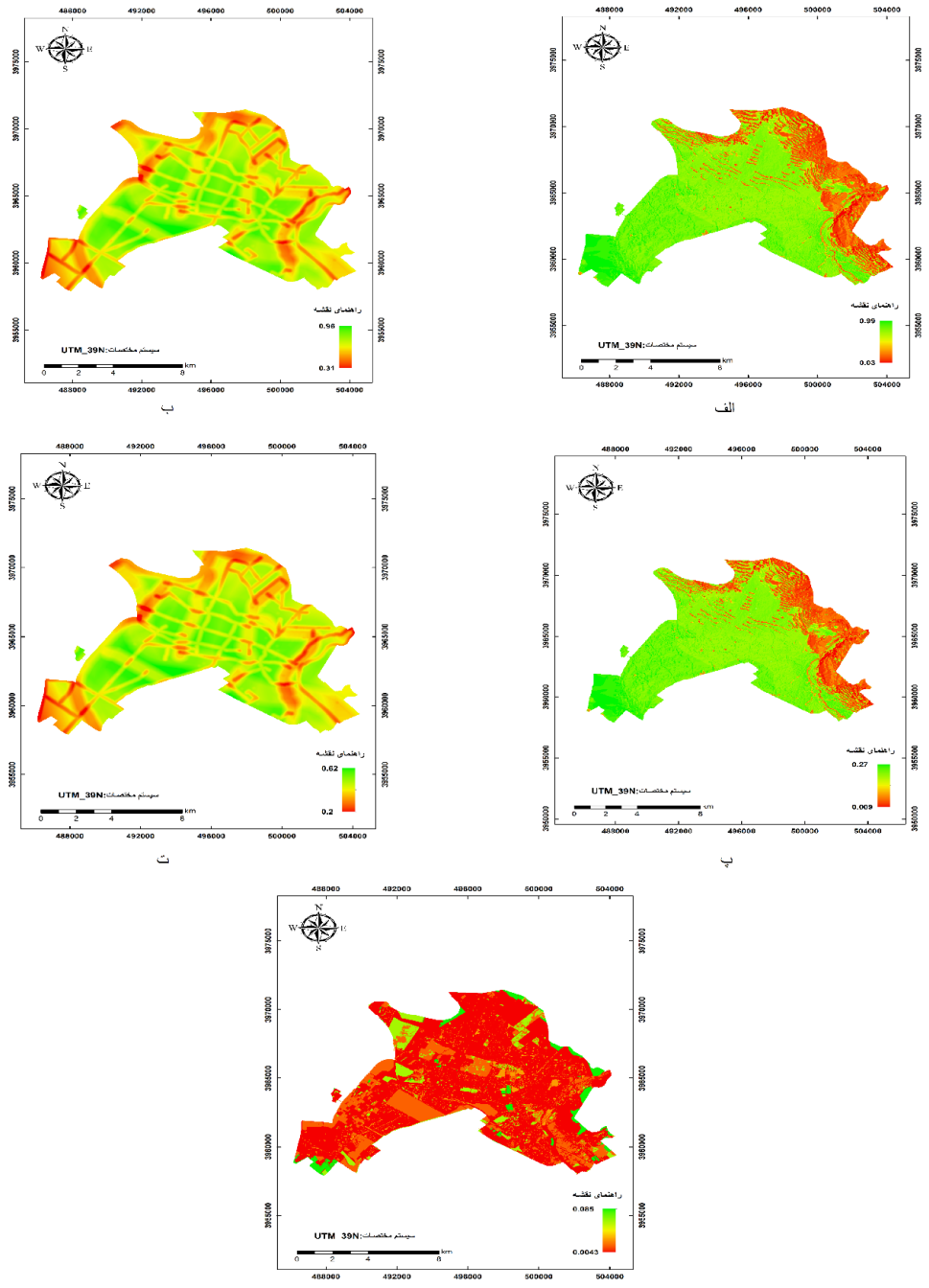
شکل ۲. نگارهٔ انجام کار

جدول ۱. معیارها و زیر معیارهای مورد بررسی به همراه نقاط کنترل، نام تابع فازی و نوع آن و وزن معیار و زیرمعیارها

ردیف	معیارهای اصلی	زیرمعیارها		نقاط کنترل				نام تابع فازی	نوع تابع فازی
				d	c	b	a		
۱	فیزیکی سرزمین (۰/۲۷۱)	خاک‌شناسی (۰/۰۹۶)		*	*	*	*	تعریف شده توسط کاربر	
		زمین‌شناسی (۰/۱۲۳)		*	*	*	*	تعریف شده توسط کاربر	
		جهت وزش باد غالب (۰/۱۸۷)		*	*	*	*	تعریف شده توسط کاربر	
		شیب (درجه) (۰/۵۹۴)		۹	۶	*	*	خطی	کاهشی
۲	فاصله‌ها و حریم‌ها (۰/۶۴۴)	فاصله از رودخانه (۰/۰۸۴)		*	*	۱۰۰۰	۱۵۰	خطی	افزایشی
		فاصله از گسل (۰/۰۸۹)		*	*	۵۰۰۰	۱۰۰۰	خطی	افزایشی
		دسترسی به مسیرهای اصلی (۰/۲۳۸)	فاصله از آزادراه‌ها	۵۰۰۰	۴۰۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	خطی	ذوزنقه
			فاصله از بزرگراه‌ها	۲۵۰۰	۱۰۰۰	۶۰۰	۲۰۰	خطی	ذوزنقه
			فاصله از معابر شریانی اصلی	۱۵۰۰	۸۰۰	۲۰۰	۵۰	خطی	ذوزنقه
		وضعیت ترافیکی مکان (۰/۱۹۸)	فاصله از آزادراه‌ها	*	*	۱۰۰۰	۵۰۰	خطی	افزایشی
			فاصله از بزرگراه ها	*	*	۶۰۰	۲۰۰	خطی	افزایشی
			فاصله از معابر شریانی اصلی	*	*	۲۰۰	۵۰	خطی	افزایشی
		فاصله از مراکز ثقل تولید پسماند (۰/۱۴۶)		۱۰۰۰۰	۵۰۰۰	*	*	خطی	کاهشی
		فاصله از لندفیل (۰/۱۳۶)		*	*	۶۰۰۰	۳۰۰۰	خطی	افزایشی
		فاصله از دانشگاه و موسسات آموزشی (۰/۰۲۴)		*	*	۱۵۰	۵۰	خطی	افزایشی
		فاصله از بیمارستان و کلینیک‌ها (۰/۰۲۴)		*	*	۱۵۰	۵۰	خطی	افزایشی
		فاصله از ایستگاه‌های آتش‌نشانی (۰/۰۲۴)		*	*	۱۵۰	۵۰	خطی	افزایشی
		فاصله از فرودگاه (۰/۰۳۶)		*	*	۵۰۰۰	۳۰۰۰	خطی	افزایشی
۳	کاربری اراضی (۰/۰۸۵)	کاربری اراضی		*	*	*	*	تعریف شده توسط کاربر	



شکل ۳. نقشه‌های استاندارد شده معیار و زیر معیارهای دخیل در مکان‌یابی ایستگاه انتقال پسماند، الف: کاربری اراضی، ب: خاک‌شناسی، پ: طبقات جهت، ت: زمین‌شناسی، ث: شیب، ج: فاصله از گسل، چ: فاصله از مراکز ثقل تولید پسماند، ح: دسترسی به مسیرهای اصلی حمل و نقل، خ: فاصله از رودخانه، د: فاصله از لندفیل، ذ: فاصله از ایستگاه‌های آتش‌نشانی و ر: وضعیت ترافیکی مکان

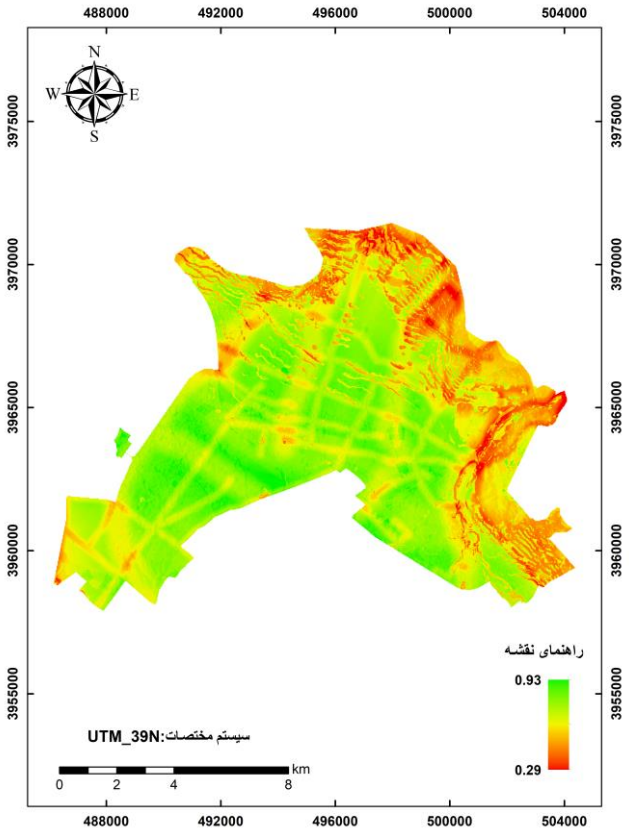


شکل ٤. نقشهٔ استاندارد و وزن‌دار شده معیارهای اصلی، الف: نقشهٔ استاندارد شده معیار فیزیکی سرزمین، ب: نقشهٔ استاندارد شده معیار فاصله‌ها و حریم‌ها، پ: نقشهٔ وزن‌دار شده معیار فیزیکی سرزمین، ت: نقشهٔ وزن‌دار شده معیار فاصله‌ها و حریم‌ها، ث: نقشهٔ وزن‌دار شده معیار کاربری اراضی

یافته‌های پژوهش

نتایج مکان‌یابی ایستگاه انتقال پسماند

نقشه‌های استاندارد شده معیارها و زیر معیارها: معیارها و زیر معیارهای تحقیق در بازهٔ صفر تا یک استانداردسازی شده است. استانداردسازی معیار کاربری اراضی و زیرمعیارهای خاک‌شناسی، طبقات جهت و زمین‌شناسی با استفاده از تابع User defined انجام شد. زیرمعیارهای شیب، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، دسترسی به مسیرهای اصلی حمل و نقل، فاصله از مراکز ثقل تولید پسماند، فاصله از ایستگاه‌های آتش‌نشانی، فاصله از دانشگاه‌ها و موسسات آموزشی، وضعیت ترافیکی مکان، فاصله



شکل ۵. نقشهٔ شایستگی نهایی

از لندفیل، فاصله از فرودگاه، فاصله از کلینیک و بیمارستان‌ها با استفاده از نقاط کنترل تعریف شده استانداردسازی شد. (جدول ۱ و شکل ۳).

ترکیب نقشه‌های استاندارد وزن‌دارشده: برای تهیهٔ نقشه استانداردشده معیار فیزیکی سرزمین و فاصله‌ها و حریم‌ها، نقشه‌های استاندارد زیر معیارهای مربوط به این معیارها در وزن‌های حاصل از روش مقایسه‌های زوجی ضرب (وزن معیارها و زیر معیارها درجدول ۱ ارائه شده است) و نقشهٔ معیارها تهیه شد. سپس نقشهٔ معیارهای اصلی نیز در وزن‌های مربوط ضرب شدند (شکل ۴). نقشه‌های معیارهای وزن‌دار شده به روش ترکیب خطی روی‌هم‌گذاری شد و نقشهٔ نهایی شایستگی تهیه شد که میزان شایستگی مکان‌های مناسب برای احداث ایستگاه انتقال پسماند برای شهر کرج در شکل ۵ ارائه شده است.

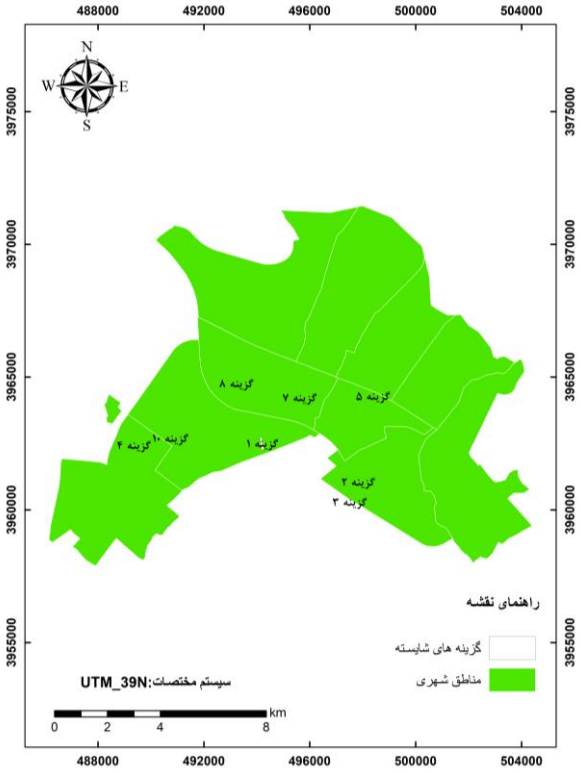
نتایج حاصل از اولویت‌بندی گزینه‌ها به روش تاپسیس: گزینه‌های شایسته که تعداد آن‌ها ده گزینه است اولویت‌بندی شدند، ماتریس تصمیم‌گیری تشکیل شد که اعداد آن برای سه معیار فیزیکی سرزمین، فاصله‌ها و حریم‌ها و کاربری اراضی از نقشه‌های استانداردشده به روش فازی در محدودهٔ صفر تا یک استخراج شد و برای دو معیار طرح‌های توسعه و قیمت اراضی امتیازدهی توسط کاربر صورت گرفت (جدول۲). وزن‌دهی معیارهای نهایی به روش مقایسه‌های زوجی صورت گرفت. در بین معیارهای مذکور، معیار فاصله‌ها و حریم‌ها بالاترین وزن را به‌خود اختصاص دادند و پس از آن به‌ترتیب معیارهای فیزیکی سرزمین، قیمت زمین، طرح‌های توسعهٔ آتی و کاربری اراضی قرار قرار گرفتند. براساس نتایج جدول ۳، از میان گزینه‌های تحقیق مورد نظر، گزینهٔ هشت (۰/۶۴) (منطقهٔ چهار شهرداری کرج) و پس از آن گزینهٔ نه و ده بیشترین اولویت را برای احداث ایستگاه انتقال پسماند را به خود اختصاص دادند. شکل ۶، نقشهٔ اولویت‌بندی گزینه‌های حاصل از روش تاپسیس را نشان می‌دهد.

جدول ۲. امتیاز هر گزینه برای معیارهای بکار رفته در روش تاپسیس جهت مکان‌یابی ایستگاه انتقال پسماند شهر کرج

گزینه‌ها	کاربری اراضی	فیزیکی سرزمین	فاصله‌ها و حریم‌ها	طرح‌های توسعهٔ آتی	قیمت زمین
۱	۱	۰/۹۴	۰/۸۲	۰/۰۲۳	۰/۴
۲	۰/۶	۰/۸۶	۰/۸۸	۰/۰۱۶	۰/۴
۳	۰/۶	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۰۲۵	۰/۴
۴	۱	۰/۸۲	۰/۸۵	۰/۰۲۳	۰/۵
۵	۰/۶	۰/۸۷	۰/۸۸	۰/۰۲۸	۰/۴
۶	۰/۲	۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۰۳۴	۰/۲
۷	۰/۶	۰/۹۲	۰/۸۶	۰/۰۶۴	۰/۶
۸	۰/۲	۰/۸۷	۰/۹۵	۱	۰/۲
۹	۱	۰/۹۱	۰/۸۲	۰/۰۷۲	۰/۸
۱۰	۱	۰/۸	۰/۹۳	۰/۰۱۷	۰/۸

جدول ۳ . میزان نزدیکی نسبی هر گزینه به راه‌حل ایده‌آل جهت اولویت‌بندی گزینه‌های مناسب مکان یابی ایستگاه انتقال پسماند در شهر کرج با استفاده از روش تاپسیس

گزینه‌ها	C_i^+	مساحت بر حسب متر مربع	رتبه‌بندی گزینه‌ها به روش تاپسیس
۱	۰/۲۲۲۴۴	۹۶۸	۶
۲	۰/۱۶۷۹۸	۶۷۶	۹
۳	۰/۱۶۹۳۱	۱۰۵۷	۸
۴	۰/۲۵۱۰۹	۹۹۱	۵
۵	۰/۱۷۰۱۷	۱۲۰۷	۷
۶	۰/۰۸۴۳۲	۱۴۶۵	۱۰
۷	۰/۲۷۴۹۹	۲۷۰۰	۴
۸	۰/۶۴۲۸۱	۴۲۳۷۳	۱
۹	۰/۳۷۳۲۴	۳۰۵۳	۲
۱۰	۰/۳۵۹۲۷	۷۱۳	۳



شکل ٦. نقشهٔ اولویت‌بندی نهایی گزینه‌ها از روش تاپسیس

بحث و نتیجه‌گیری

برای مکان‌یابی ایستگاه انتقال پسماند، پس از بررسی و مرور منابع، ۱۴ زیر معیار در سه گروه معیار اصلی شامل فیزیکی سرزمین، فاصله‌ها و حریم‌ها و کاربری اراضی انتخاب و جمع‌آوری شدند. در این مطالعه، از روش ارزیابی چندمعیاره و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. همچنین برای ترکیب نقشه‌ها از روش ترکیب خطی وزنی به‌عنوان روشی که از میانگین وزنی استفاده می‌کند و در محیط GIS پیاده‌سازی می‌شود، استفاده شد. در این روش هر معیار از نظر مناسب بودن در محدودهٔ صفر تا یک با استفاده از توابع خطی فازی استانداردسازی شد، از روش مقایسات زوجی در چارچوب فرآیند تحلیل سلسله مراتبی با تهیهٔ پرسشنامه و کمک از کارشناسان مربوطه برای وزن دهی معیار و زیر معیارهای مربوطه استفاده گردید، پس از ترکیب معیارها در وزن مربوط نقشهٔ نهایی شایستگی تهیه گردید. نتایج وزن‌دهی نشان داد که که در مرحلهٔ تهیهٔ نقشهٔ شایستگی معیار فاصله‌ها و حریم ها با وزن نسبی ۰/۶۴۴ بالاترین وزن را داشت و معیارهای فیزیکی سرزمین و کاربری اراضی با وزن‌های نسبی ۰/۲۷۱ و ۰/۰۸۵ در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. در رابطه با زیر معیارها، در زیر معیارهای مربوط به معیار فیزیکی سرزمین (شیب، خاک‌شناسی، زمین‌شناسی و جهت باد غالب) زیر معیار شیب بالاترین وزن را با عدد ۰/۵۹۴ به‌خود اختصاص داد و پس از آن زیر معیارهای جهت وزش باد غالب با ۰/۱۸۷، زمین‌شناسی با ۰/۱۲۳ و خاک‌شناسی با ۰/۰۹۶ در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. در رابطه با زیر معیارهای معیار فاصله‌ها و حریم‌ها نیز زیر معیار دسترسی به مسیرهای اصلی حمل و نقل با مقدار ۰/۲۳۸ بالاترین وزن را دارد و پس از آن وضعیت ترافیکی مکان ۰/۱۹۸ و فاصله از مراکز ثقل تولید پسماند ۰/۱۴۶ قرار دارد. در مطالعهٔ Rafiee و همکاران (۲۰۱۱) معیار فاصله از مناطق مسکونی (با وزن ۰/۲۲۶)، فاصله از رودخانه و فاصله از مراکز ثقل تولید پسماند بالاترین وزن را به‌خود اختصاص دادند. در این مطالعه مکان‌یابی با توجه به روند گسترش شهر لحاظ شد (Rafiee *et al*., 2011). در بررسی Bosompem و همکاران (۲۰۱۶) نیز، درمرحلهٔ وزن‌دهی معیارها، معیار فاصله از مناطق مسکونی با ۰/۲۹۵ و فاصله از مراکز ثقل تولید پسماند با ۰/۲۱ بالاترین وزن‌ها را به‌خود اختصاص دادند و معیار شیب و فاصله از رودخانه در رتبه‌های بعدی قرار داشتند، در این مطالعه به‌دلیل یکسان بودن بافت خاک در منطقهٔ مورد بررسی این معیار در نظر گرفته نشد. در شهر کرج بافت خاک یکسان نیست بنابراین این معیار در مطالعهٔ حاضر لحاظ شده و تحقیق با در نظر گرفتن معیار اقتصادی و قابلیت توسعهٔ طرح صورت گرفته است. در تحقیق دیگری که در کشور ترکیه جهت مکان‌یابی ایستگاه انتقال انجام شد، ویژگی‌های طبیعی محیط شامل توپوگرافی، زمین‌شناسی، فاصله از منابع آب سطحی، کاربری اراضی و خاک‌شناسی مورد بررسی قرار گرفت، معیار توپوگرافی و زمین‌شناسی کمترین وزن را به خود اختصاص داده است، همچنین معیارهای فاصله از منابع آب سطحی، کاربری اراضی و خاک‌شناسی دارای وزن یکسانی بودند (Ağaçsapan and Çabuk, 2020) . در مطالعه‌ای که در شهر ناشیک هند در رابطه با مکان‌یابی ایستگاه انتقال صورت گرفت از روش تاپسیس به‌دلیل اینکه با تعداد زیادی از معیارها و گزینه ها قابل انجام است و قابلیت رتبه‌بندی گزینه ها را دارد استفاده شده است (Yadav *et al*., 2020). پس از تهیهٔ نقشهٔ شایستگی شهر کرج، مناطق مرکزی و جنوب غرب بیشترین شایستگی و مناطق شمالی و شرقی کم‌ترین شایستگی را به‌خود اختصاص دادند. دو معیار قیمت و طرح‌های توسعهٔ آتی به تحقیق افزوده شد، با استفاده از روش تاپسیس گزینه‌های شایسته اولویت‌بندی شدند. گزینه‌های منتخب، در مناطق چهار، پنج، دو، نه وسه قرار دارند. با توجه به تحقیقی که در کشور غنا در سال ۲۰۱۶ انجام گرفت (Bosompem *et al*., 2016)؛ حداقل مساحت برای احداث ایستگاه انتقال، ۱/۶۲ هکتار تعیین گردیده است در بین گزینه‌های نهایی شایسته این تحقیق، تنها گزینZ یک با مساحت بیش از چهار هکتار دارای شایستگی لازم جهت احداث ایستگاه انتقال می‌باشد.

قدردانی

این مقاله با حمایت مالی شهرداری کرج انجام شده است که بدینوسیله تقدیر و تشکر می‌شود.

References

Ağaçsapan, B., Çabuk, S.N., 2020. Determination of suitable waste transfer station areas for sustainable territories: Eskisehir case. Sustainable Cities and Society 52, 101829.

Ahangari, F., 2017. The role of transfer stations in the collection and transportation of municipal waste. Journal of Science and Engineering Elites 2(5), 73-89. (In Persian)

Almodaresi, A., Mohammadopur, M., 2014. Locating suitable areas for waste burial using fuzzy logic and hierarchical analysis (Study area: Yazd city). The first national environment conference. Pp: 1-11. (In Persian)

Bosompem, C., Stemn, E. and Fei-Baffoe, B., 2016. Multi-criteria GIS-based siting of transfer station for municipal solid waste: The case of Kumasi Metropolitan Area, Ghana. Waste Management & Research 34(10), 1054-1063

Chen, S.J., Hwang, C.L., 1992. Fuzzy multiple attribute decision making methods. In Fuzzy multiple attribute decision making (pp. 289-486). Springer, Berlin, Heidelberg.

Eastman, J.R., 2009. Guide to GIS and Image Processing, IDRISI Tiga (manual version 16). edn. Clarke Lab: University of Clarke, Worcester, MA: Clarke Lab.

Karaj Municipality., 2018. Studies of Karaj city waste management master plan. 850 p. (In Persian)

Kharat, M.G., Kamble, S.J., Raut, R.D., Kamble, S.S. and Dhume, S.M., 2016. Modeling landfill site selection using an integrated fuzzy MCDM approach. Modeling Earth Systems and Environment, 2, 1-16.

Khorasani, N. Rafiee, R., 2006. Comparison of two methods of direct transfer and establishment of transfer stations in the urban solid waste management system. National Conference on Urban Planning and Management, Mashhad. Pp: 881-895 (In Persian)

Li, X., Li, G., Sun, G. and Shi, H., 2013. Research on layout optimization of urban circle solid waste transfer and disposal stations. Journal of Networks, 8(8), 1803-1809.

Lin, Z., Xie, Q., Feng, Y., Zhang, P. and Yao, P., 2020. Towards a robust facility location model for construction and demolition waste transfer stations under uncertain environment: The case of Chongqing. Waste Management 105, 73-83.

Majlesi, M., Zamani, A., Fayyaz pour, M., Shamsaei, V., Sharifi, H., 2013. Analysis of the cost of waste collection and transportation in the 1st area of Bandar Abbas city. Journal of health in the field. 1(1), 37-45 (In Persian)

Mobarghaee, N., Ghasempour, N., 2013. Application of Weighted Linear Combination (WLC) and Analysis Hierarchy (AHP) method in locating municipal waste landfill. The 2nd conference on Environmental Planning and Management (EPM).pp. 1-12. (In Persia)

Moghimi Kandlousy, A., Mohebbi Tafreshi, A., Mohebbi Tafreshi., 2018. Locating appropriate areas of municipal waste landfill using TOPSIS method (Case study: Langroud County). Iranian Journal of Research in Environmental Health 4(2), 112-128. (In Persian)

Nilchiyan, S., 2002. Site Selection of Transfer Station and Collection Centers of Municipal Solid Waste Management System by Using GIS. Unpublished M. Sc. Thesis, University of Tehran, 187 p. (In Persian)

Pahlavan, R., Omid, M., Akram, A., Nazari, A., 2017. Locating the urban solid waste recycling station in Karaj city using GIS with the help of Analytical Hierarchy Process (AHP) and fuzzy logic. Journal of Biosystem Engineering of Iran (Agricultural Sciences of Iran) 48(1), 145-153 (In Persian)

Rafiee, R., Khorasani, N., Mahiny, A.S., Darvishsefat, A.A., Danekar, A. and Hasan, S.E., 2011. Siting transfer stations for municipal solid waste using a spatial multi-criteria analysis. Environmental & Engineering Geoscience 17(2), 143-154.

Shoaiee, M., Rahmani, D., 2020. Evaluation of waste collection stations in Tehran using the combination of fuzzy hierarchical analysis and TOPSIS methods. 1st international conference on challenges and new solutions in Industrial Engineering and Management and Accounting. pp: 1-17 (In Persian)

Shorabi, R., Najafi, A., Hassani, M., Haddad, M., 2012. Investigating the location criteria of waste transfer stations in Mashhad city. The first national conference on urban services and environment. pp: 1-21. (In Persian)

Statistical Center of Iran., 2022. Available from https://www.amar.org.ir (In Persian)

Vaeziheir, A., 2019. Locating urban waste transfer stations with emphasis on environmental issues. The 6th National Congress of Civil Engineering, Architecture and Urban Development, Tehran. pp. 1-13. (In Persian)

Yadav, V., Kalbar, P.P., Karmakar, S. and Dikshit, A.K., 2020. A two-stage multi-attribute decision-making model for selecting appropriate locations of waste transfer stations in urban centers. Waste Management 114, 80-88.