مدیریت شهری
شماره ۳۲ پاییز و زمستان ۹۲
No.32 Automn & Winter
۱۵۳-۱۶۲
زمان دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۲/۳۰ زمان پذیرش نهایی: ۱۳۹۲/۲/۵

بهبود سیستم مدیریت پسماند شهر تهران با تأکید بر دفع نهایی

واحد دهقانی کاظمی* – دانشجو دکتری، رشته برنامه ریزی محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران، تهران، ایران.
حمیدرضا جعفری– دانشیار گروه برنامه ریزی محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران، تهران، ایران.
زینب یگانه کیا– دانشجو دکتری، رشته برنامه ریزی محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران، تهران، ایران.
اسماعیل صالحی–دانشیار گروه برنامه ریزی محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران، تهران، ایران.

چکیده

یکی از چالش انگیز ترین بخش‌های سیستم مدیریت پسماند بویژه در شهرهای بزرگ، انتخاب روش دفع نهایی پسماند است. هدف از انجام این پژوهش شناسایی روش بهینه دفع نهایی پسماند شهر تهران است. بدین منظور، تقدم و تأخر روش‌های دفع نهایی پیشنهادی پسماند شهر تهران، با ترکیب تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس فازی تعیین گردید. قیاس روش‌های دفن در زمین، تولید RDF، بازیافت مواد همراه با دفن بقایا در زمین، تولید کمپوست و سوزاندن بدون استحصال انرژی بعنوان گزینه‌های تصمیم‌گیری انتخاب و با بکارگیری ۴ گروه معیار اصلی شامل اثرات زیست محیطی، جنبه‌های اقتصادی، امور اجتماعی و ملاحظات تکنولوژیکی و ۱۴ زیر معیار با هم مقایسه و رتبه‌بندی شدند. مقادیر ضریب نزدیکی حاصل از اجرای تکنیک تاپسیس فازی نشان داد که گزینه بازیافت مواد و دفن بقایا در زمین با ضریب نزدیکی ۰/۲۳۷ روش بهینه دفع نهایی پسماند شهر تهران است. تولید کمپوست، تولیدRDF، دفن در زمین و سوزاندن بدون استحصال انرژی بترتیب با ضرایب نزدیکی ۰/۲۱۲، ۰/۲۰۷، ۰/۱۹۵ و ۰/۱۴۸ در رتبه‌های بعدی جای گرفتند.

واژگان کلیدی: سیستم مدیریت پسماند، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، دفع نهایی پسماند، Fuzzy TOPSIS

Improving Waste Management System of the City of Tehran – Emphasizing on Final Disposal

One of the most significant and challenging issues in solid waste management especially for big cities is choosing the proper disposal method. This article aims to address the proper disposal method for solid wastes of Tehran city. Two MCDM techniques, namely Analytical Hierarchy Process (AHP) and fuzzy TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) were combined in order to determine the priority of the alternative disposal methods. Four main criteria including environmental impacts, economical issues, social aspects, and technological demands with 14 sub criteria are used for evaluation of the alternatives. Candidate disposal methods for solid waste management in Tehran metropolis are entitled land filling, composting, Refuse-Derived Fuel (RDF) combustion, recycling with land filling, and incineration. The weights of criteria are calculated by AHP and alternatives are ranked using fuzzy TOPSIS. Linguistic terms and their corresponding triangular fuzzy numbers are applied in fuzzy TOPSIS. Results show that, with respect to the criteria, recycling of materials and land filling of residues is the best method of disposal. The others are ranked respectively as: Composting, RDF combustion, Land filling and finally incineration.

Keywords: Municipal Solid Waste Management; Analytical Hierarchy Process; Disposal methods; linguistic term; Fuzzy TOPSIS.

* نویسنده مسئول مکاتبات، شماره تماس: ۰۹۳۷۵۶۴۶۶۵۳؛ رایانامه: Vdehghani@ut.ac.ir

۱- مقدمه

افزایش جمعیت، توسعه شهرها و تغییرات شیوه زندگی و متعاقب آن تغییر در الگوی مصرف مسائل و مشکلاتی را برای جوامع امروزی ایجاد کرده است که از بارزترین آن می توان به تولید روزافزون پسماند اشاره کرد که علاوه بر ایجاد مشکل برای سلامت انسان‌ها و جانوران موجب از بین رفتن سرمایه‌های اکولوژیکی و اقتصادی جوامع نیز می‌شود (Sharholy et al. 2008).

مرور مطالعات متعدد در زمینه مدیریت پسماند حاکی از متأثر بودن آن از فاکتورهای بسیار متنوع اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی است که خود سرمنشاء پیچیدگی مسائل موجود در این راستا است و حل این‌گونه مسائل نیازمند کاربرد دانش بین رشته ای است. یکی از بخش هایی که اصلاح آن می تواند نقشی مهم در ارتقا سسیستم مدیریت پسماند داشته باشد انتخاب روش دفع نهایی پسماند است. انتخاب گزینه مناسب دفع پسماند یک مسئله چند معیاره و پیچیده است که باید از لحاظ محیط زیستی، اجتماعی، تکنولوژیکی و اقتصادی به آن توجه شود.

ایران از جمله کشورهای در حال رشد در منطقه خاورمیانه می باشد که در چند دهه اخیر تحولات شگرفی از جنبه‌های اقتصادی، فرهنگی، شهرنشینی، شیوه‌های زندگی و معاش و غیره را متحمل شده است. شرایط ویژه حاکم بر کشور و بالاخص شرایط حاکم بر شهر تهران (فقدان دانش و تکنولوژی قوی در ارتباط با مسئله پسماند بدلایل مختلف از جمله نوپا بودن مراکز علمی و تکنولوژیکی فعال در این زمینه، وجود آلودگی‌های زیست محیطی متعدد در شهر تهران بویژه آلودگی‌های هوا و آب و سیستم‌های مدیریت پسماند نوپا با هزینه‌های اقتصادی و زیست محیطی بالا) در کنار پیچیدگی‌هایی که بطور معمول در مطالعات سیستم‌های مدیریت پسماند وجود دارد مسئله تصمیم گیری برای انتخاب روش بهینه دفع نهایی پسماند در شهر تهران را بیش از پیش دشوار می‌سازد. حل این مشکل مستلزم طی یک فرآیند منسجم و علمی بمنظور اتخاذ تصمیمی درست و مبتنی بر اصول علمی است. چنین فرآیندی مستلزم ساختاردهی مسئله در یک قالب روشن است که از یک سو کلیه فاکتورها و معیارهای دخیل در تصمیم گیری را بنحو شایسته‌ای در بر بگیرد و از سوی دیگر امکان قضاوت‌های آگاهانه و به دور از سردرگم شدن در انبوه مسائل موجود را فراهم سازد. استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندهدفه[1] و چندمعیاره[2] یکی از راهکارهایی است که محققان برای غلبه بر این پیچیدگی‌ها بکار گرفته‌اند که امکان تجزیه و تحلیل درخور مسائل را در یک چارچوب منطقی فراهم می‌کند (Ming et al. 2007).

در نگاه نخست هریک از روش های دفع نهایی پسماند دارای معایب و مزایایی است و روش انتخابی برای دفع نهایی باید در شرایط محلی موجود دارای کمترین معایب و بیشترین مزایا باشد. لذا بمنظور نیل به این مهم، در این تحقیق از ترکیبی از روش‌های تصمیم-گیری چند معیاره بمنظور ایجاد یک فرآیند نظام‌مند تصمیم گیری و شمول کلیه پارامترهای دخیل استفاده شده است؛ بدین ترتیب که ابتدا با مرور منابع داخلی و خارجی و مصاحبه با کارشناسان و خبرگان امر معیارهای تصمیم‌گیری شناسایی شدند؛ از آنجا که تمامی معیارها به یک اندازه در اتخاذ تصمیم نهایی مهم و موثر نیستند فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین ارجحیت نسبی معیارها طی شد و پس از تعیین وزن معیارها، با تلفیق منطق فازی و تکنیک TOPSIS، روش نهایی دفع پسماند شهر تهران شناسایی گردید.

۲. ادبیات تحقیق

در سال ۲۰۱۰، «مهمت اکمک اغلو[3]» و همکاران با استفاده از روش Fuzzy TOPSIS و در نظر گرفتن معیارهایی از قبیل: نیازمندی‌های تکنولوژیکی، امکان‌پذیری از نظر اقتصادی، میزان آلاینده‌های تولیدی، نیروی انسانی مورد نیاز و امکان بازیابی مواد و انرژی در هریک از روش‌های دفع نهایی، اقدام به شناسایی گزینه برتر دفع پسماند برای شهر استانبول کشور ترکیه کردند. نتیجه این بررسی نشان داد که از میان روش های دفن در زمین، سوزاندن بدون استحصال انرژی، تولید RDF و تولید کمپوست، مناسب‌ترین گزینه

1. Multi Objective
2 . Multi Criteria
3 . Mehmet Ekmekçiog lu

دفع پسماند برای شهر استانبول تولید RDF است (Mehmet et al. 2010). بمنظور مدیریت پسماندهای غذایی در شهر تایپه تایوان در سال ۲۰۰۷، قیاس روش‌های سوزاندن، استفاده بعنوان خوراک احشام[1]، تولید کمپوست، تخمیر و دفن در زمین با لحاظ نمودن فاکتورهای محیط زیستی (سلامت انسان، مصرف منابع، اثرات اکولوژیک)، اقتصادی (هزینه‌ها، عواید، بازاریابی)، اجتماعی (پذیرش از سوی مردم، رفاه اجتماعی، عدالت) و تکنولوژیک (میزان زمین و میزان بلوغ تکنولوژیکی مورد نیاز) صورت پذیرفت و سوزاندن بعنوان روش بهینه انتخاب گردید (Ming et al. 2007).

در سال ۱۹۹۷ جوناس هوکانن[2] مناسب‌ترین روش دفع نهایی پسماند برای شهر اولو[3] در فنلاند را با بکارگیری روش ELECTRE III تعیین کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که مناسب‌ترین روش دفع نهایی پسماند در این شهر ترکیبی از لندفیل، کمپوست وRDF است (Hokkanen.1997). در تحقیق دیگری در سال ۱۹۹۵ در شهر اوسیما در کشور فنلاند و با روش ELECTRE II، روشهای دفن در زمین، سوزاندن، کمپوست–دفن[4]، تخمیر[5] و تولید کمپوست، با در نظر گرفتن معیارهایی مانند قابلیت اجرایی از نظر تکنولوژیکی، تحلیل‌های مرتبط با حمل و نقل، منافع ملی حاصل از هر روش، نیروی انسانی مورد نیاز، اثرات محیط زیستی کوتاه و بلند مدت، فاکتورهای بهداشت محیطی و هزینه‌های اجرای هر یک از روش‌ها با هم مقایسه شدند که در نهایت ترکیبی از RDF و لندفیل به عنوان روش برتر جهت دفع نهایی در سیستم مدیریت پسماند شناسایی شد (Hokkanen et al. 1995). در ایران نیز عبدلی و همکاران در سال ۲۰۱۰ با انجام مطالعه‌ای روی سناریوهای مختلف مدیریت پسماند شهر تهران به این نتیجه رسیدند که سناریو «تولید کمپوست و دفن بقایا در زمین» نسبت به سناریو دفن در زمین، اثرات کمتری بر سلامت انسان دارد اما گزینه دفن در زمین از نظر اقتصادی هزینه‌های کمتری دارد (Abduli et al. 2011). آنچه در ارتباط با تحقیق مذکور قابل توجه است این است که سناریو دفن در زمین از برخی جنبه‌ها و سناریو تولید کمپوست بعلاوه دفن در زمین از برخی جنبه های دیگر بعنوان سناریو مطلوب شناسایی شده‌اند که این وضعیت بدین معناست که تحقیق مذکور از نظر تعیین مناسب‌ترین روش برای دفع نهایی پسماند به یک نتیجه مشخص نرسیده است.

۳. نمونه مطالعاتی

شهر تهران از نظر جغرافیایی در ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی و در ۵۱ درجه و ۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۷ دقیقه طول شرقی واقع شده است. اقلیم آن گرم و خشک و متوسط دمای سالیانه در آن ۱۸ درجه سانتیگراد با میانگین دمای پایین ۷/۴– و میانگین بالا ۳۸/۷ درجه سانتیگراد است. در این شهر با مساحتی معادل۶۶۴ کیلومتر مربع و جمعیتی بالغ بر ۸ میلیون نفر، روزانه ۷۴۳۵ تن پسماند تولید می‌شود (Mahdavi et al. 2008). مطالعات در زمینه مدیریت مواد زائد جامد شهر تهران نشان می دهد، در مجموع، مواد زائد جامد شهر در چهار گروه شهری (۹۷٪)، بیمارستانی (۱٪)، صنعتی (۰٫۶٪) و ساختمانی (۰٫۵٪) طبقه بندی می شود که از این میان مواد زائد جامد شهری بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است. جدول شماره ۱ درصد وزنی مواد تشکیل دهنده مواد زائد جامد شهری را به تفکیک نشان می دهد.

جدول ۱. ترکیب مواد زائد جامد شهری تهران به تفکیک درصد وزنی

نوع پسماند	درصد وزنی
زباله تر	۶۷,۸
کیسه‌های پلاستیکی	۶,۲
کاغذ	۴,۴
کارتن و مقوا	۳,۷
پارچه	۳,۴
شیشه	۲,۴
پلاستیک‌های نرم	۲,۲
چوب	۱,۷
خاکروبه و نخاله	۱,۳

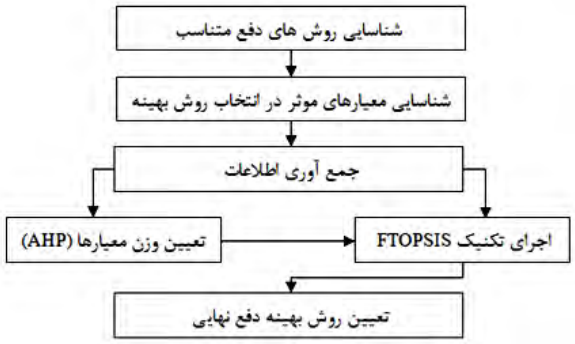
1. Hog Feeding
2. Joonas Hokkanen
3. Oulu
4. Ousimaa
5. Landfill and open composting
6. Fermentation

مواد زائد شهری تهران دربرگیرنده مقادیر زیادی مواد قابل بازیافت است که بخش اعظم آن یعنی چیزی حدود ۸۰٪ در مکان دفن آرادکوه در زمین دفن می‌گردد، ۸/۳ ٪ آن به کمپوست تبدیل می‌شود و حدود ۵٪ آن بازیافت می‌شود (Abduli et al. 2011; Mahdavi et al. 2008).

علی رغم وفور مواد قابل بازیافت در ترکیب زباله تهران، در حال حاضر بخش اعظم آن‌ها در زمین دفن می‌شود از دیگر سو بازیافت کامل این مواد نیز مستلزم بکارگیری تکنولوژی‌های بعضاً پیچیده است و نیازمند دانش و تجربه اپراتور نیز هست؛ همچنین با وجود درصد بالای مواد مستعد برای تبدیل شدن به کمپوست، تنها ۸/۵٪ آن به کمپوست تبدیل می‌شود از طرفی طرح تولید کمپوست در تهران با وجود هزینه های هنگفتی که در گذشته در بر داشته است کارایی لازم و مورد انتظار را نداشته است و در مواردی حتی به شکست انجامیده است (عبدلی. ۱۳۸۶)؛ روش دفن در زمین نیز که روش اصلی دفع پسماند در تهران است آثار زیانبار بسیاری بر محیط زیست و بهداشت و رفاه ساکنین منطقه برجای گذاشته است که تشکیل دریاچه وسیع شیرابه یکی از صدها پیامد نامطلوب آن است. هزینه‌های بالا و پر شدن ظرفیت مکان دفن از دیگر موارد قابل ذکر در این زمینه است. در همین زمینه بای و سوتانتو[1] معتقدند که دفن زباله در شهرهای بزرگ بدلایلی از قبیل کمبود زمین و قیمت بالای آن، همچنین محدودیت های بهداشتی و رفاهی راهکار مناسبی برای دفع نهایی پسماند نیست.

۴. روش تحقیق

در انتخاب روش دفع نهایی پسماند پارامترهای زیادی دخیل هستند که در هر مکان بسته به شرایط (ملی، منطقه ای و محلی) متفاوت خواهند بود. بنابراین لازم است که این انتخاب با مطالعات جامع، با در نظر گرفتن کلیه پارامترهای تاثیرگذار و با تأکید بر شرایط خاص محلی انجام گیرد. در این تحقیق ترکیب تکنیک های AHP و Fuzzy TOPSIS برای ساختار بخشی به مسئله و انتخاب روش بهینه دفع نهایی پسماند شهر تهران بکار گرفته شده است. نمایه شماره ۱ مراحل انجام تحقیق را نشان می دهد.



نمایه ۱. طرح شماتیک از مراحل اجرایی تحقیق؛ ماخذ: نگارندگان.

۱،۴. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی نخستین بار در سال۱۹۸۰توسط توماس ساعتی معرفی گردید. مفهوم بنیادین این روش مقایسات زوجی توسط خبرگان با بکارگیری مقیاس ارجحیت نه تایی ساعتی است. مزیت مقایسات زوجی این است که فرد تصمیم‌گیرنده فارغ از سایر گزینه ها تنها به اولویت‌بندی دو گزینه مورد مقایسه می‌پردازد(Basak et al. 2006). برای اجرای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی لازم است که ابتدا مسئله تصمیم بصورت سلسله مراتبی متشکل از هدف نهایی در بالاترین سطح، معیارها در سطح دوم و گزینه‌های تصمیم در پایین‌ترین سطح سلسله مراتب ساختاردهی گردد؛ در ادامه مقایسات زوجی معیارها با در نظر گرفتن هدف نهایی و همچنین مقایسات زوجی گزینه‌ها نسبت به تک تک معیارها انجام گرفته و گزینه برتر از میان گزینه‌های موجود شناسایی می‌گردد.

۲،۴. تکنیک تاپسیس و تاپسیس فازی

تکنیک TOPSIS که نخستین بار در سال ۱۹۸۱ توسط وانگ و یون (۱۹۸۱) معرفی شد نقاط اشتراک زیادی با AHP دارد. بنیان و دورن مایه اصلی TOPSIS محاسبه فاصله اقلیدسی گزینه‌های تصمیم‌گیری از راه‌حل های ایده‌آل مثبت[2] و ایده‌آل منفی است (wang. 1981;

1. Bai and Sutanto
2. Positive Ideal Solution (PIS)

Kannan et al. 2009). راه‌حل ایده‌آل مثبت راه‌حل یا گزینه ای است که از لحاظ معیارهای سود بیشینه و از نظر معیارهای هزینه وضعیت کمینه را دارد و راه‌حل ایده‌آل منفی[1] راه حلی است که از نظر معیارهای هزینه بیشینه و از لحاظ معیارهای سود کمینه است (Kannan et al. 2009). در تکنیک TOPSIS مقادیر قطعی[2] برای بیان ارجحیت نسبی گزینه‌ها در برآورده کردن معیارهای تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرد (Liou 1992; Lee.1995) و گزینه برتر گزینه‌ای است که کمترین فاصله را از PIS و بیشترین فاصله را از NIS داشته باشد؛ برآیند این دو فاصله در قالب ضریب نزدیکی بیان می‌شود که بر این اساس گزینه‌ای که مقدار عددی ضریب نزدیکی[3] بزرگتری داشته باشد بعنوان گزینه ارجح شناخته می‌شود (Kannan et al. 2009; Chu. 2009).

مسائل پیچیده و مبهم را می‌توان به کمک قضاوت‌های ذهنی و کیفی به نحو شایسته‌ای حل کرد بعنوان مثال استفاده از عبارات بد، خوب و خیلی‌خوب، بجای استفاده از اعداد ۱، ۲ و ۳ بمنظور بیان کیفیت یک محصول درک ملموس‌تری از واقعیت مدنظر تصمیم–گیرنده ارائه می‌دهد (Zadeh. 1965; Zadeh. 1975 a&b)؛ حال آنکه مفهوم موجود در ورای اعداد ۱، ۲ و ۳ برای هر شخص می‌تواند متفاوت باشد. در روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره که مبتنی بر مقایسه و نمره‌دهی (تعیین اهمیت پارامترها با تخصیص مقادیر عددی) هستند عموماً از اعداد قطعی برای بیان میزان ارجحیت پارامترها نسبت به هم استفاده می‌شود اما بدلیل شهودی بودن برخی مسائل و فقدان اطلاعات درمورد آن‌ها، عدم کفایت دانش و تجربه افراد نسبت به مسائل، تفاوت‌های موجود در طرز تفکر افراد و مواردی از این قبیل، اعداد قطعی نمی‌توانند دیدگاه و تلقیات تصمیم‌گیرندگان از مسائل را بخوبی منعکس کنند (Yoon. 1985; Chen et al. 2006)؛ کاربرد منطق فازی یک پیشنهاد مناسب برای حل این مسئله است. در حالت کلاسیک، ماتریس تصمیم TOPSIS با استفاده از قضاوت‌های کارشناسان و با بکارگیری اعداد قطعی تکمیل می‌شود اما در Fuzzy TOPSIS هر یک از مؤلفه‌های این ماتریس یک قضاوت کارشناسانه یا برآیندی از قضاوت‌های کارشناسان در قالب یک عبارت زبانی است که با بکارگیری اعداد فازی، فازی سازی می‌شود. در یک ماتریس فازی فرضی مانند ($\widetilde{A}$):

$$\widetilde{a}^{-1}_{ji}=(1/u_{ji},1/m_{ji},1/l_{ji})\ \ \widetilde{a}_{ij}=(l_{ij},m_{ij},u_{ij})_{\text{for}}\ i,j=1,2,\ldots,n\ \ i\neq j$$

می‌باشد. فاصله اقلیدسی دو عدد فازی مثلثی $\widetilde{a}$ و $\widetilde{b}$ از یکدیگر به روش ورتکس[4] طبق رابطه شماره ۱ محاسبه می‌شود.

رابطه شماره ۱

$$d(\widetilde{a},\widetilde{b})=\sqrt{\tfrac{1}{3}\left[(l_1-l_2)^2+(m_1-m_2)^2+(u_1-u_2)^2\right]}$$

که در این رابطه $\widetilde{a}=(l_1,m_1,u_1)$ مولفه ی ماتریس ($\widetilde{A}$) و $\widetilde{b}=(l_2,m_2,u_2)$ گزینه ایده آل مثبت و منفی است.

در نهایت ضریب نزدیکی هر یک از گزینه ها با بکارگیری رابطه شماره ۲ محاسبه می‌شود:

رابطه شماره ۲

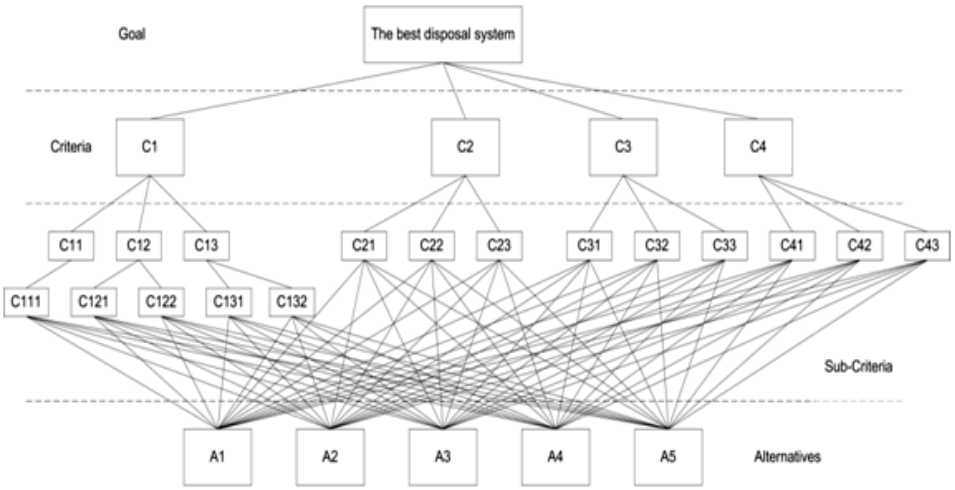
$$CC_j^*=\frac{D_j^-}{D_j^*+D_j^-}\ ,\ j=1,2,\ldots,m$$

۵. نتایج

در فاز نخست تحقیق براساس مصاحبه‌های حضوری با کارشناسان امر، مرور منابع و در نظر گرفتن شرایط محلی پنج روش دفع نهایی شامل دفن در زمین (A۱)، سوزاندن بدون استحصال انرژی (A۲)، بازیافت مواد و دفن بقایا در زمین (A۳)، تولید RDF (A۴) و تولید کمپوست (A۵) بعنوان گزینه‌های تصمیم‌گیری و بالغ بر چهارده معیار بعنوان معیارهای تصمیم‌گیری جهت انتخاب روش ارجح دفع نهایی پسماند شهر تهران انتخاب شدند. در ادامه سلسله مراتب تصمیم متشکل از پنج گزینه، چهار معیار اصلی و چهارده زیرمعیار بصورت نمایه شماره ۲ تشکیل شد.

چهار گروه اصلی معیارها عبارتند از: اثرات زیست‌محیطی (C۱)، رویه‌های اقتصادی (C۲)، جنبه‌های اجتماعی (C۳) و نیازهای تکنولوژیکی (C۴) که در ادامه تحقیق

1. Negative Ideal Solution (NIS)
2. Crisp Values
3. Closeness Coefficient
4. Vertex Method



نمایه ۲. سلسله مراتب تصمیم؛ ماخذ: یافته های تحقیق.

این چهار گروه بعنوان معیارهای اصلی نامیده می شوند. از آنجا که این چهار معیار حالت بسیار کلی دارند نمی‌توان گزینه‌ها را بر اساس این معیارها بطور دقیق مقایسه کرد زیرا در این حالت فرد ناگزیر به دسته‌بندی انبوهی از اطلاعات و دانش خود در قالب تنها یک عبارت زبانی می‌شود که موجبات سردرگمی کارشناس یا تصمیم‌گیرنده را فراهم می‌کند بدین منظور هریک از این معیارها به یکسری زیر معیارها تجزیه شدند بنحوی که بتوان گزینه‌های تصمیم را با دقت بیشتر و بصورت تفصیلی و جزئی[1] تر با هم مقایسه کرد.

معیار اصلی اثرات زیست محیطی به سه زیر معیار اثرات مستقیم (C۱۱)، غیرمستقیم (C۱۲) و جبرانی(C۱۳) تجزیه شد. اثرات مستقیم آلودگی‌های آب، هوا و خاک(C۱۱۱) را دربر می‌گیرد، اثرات غیرمستقیم شامل آلودگی ناشی از وسایل نقلیه (C۱۲۱) و آلودگی‌های چرخه حیات[2] (C۱۲۲) می‌باشد. اثرات جبرانی بازیافت مواد (C۱۳۱) و بازیافت انرژی (C۱۳۲) را شامل می‌شود.

معیار اصلی رویه‌های اقتصادی مشتمل بر سه زیر معیار هزینه‌های اولیه یا سرمایه‌گذاری (C۲۱)، هزینه‌های لازم جهت فعالیت (C۲۲) و هزینه‌های نگهداری و تعمیرات (C۲۳) است. معیار اصلی جنبه‌های اجتماعی سه زیر معیار پذیرش اجتماعی (C۳۱)، فرصت‌های شغلی (C۳۲) و سلامت و بهداشت نیروی کار (C۳۳) را دربر می‌گیرد. آخرین معیار اصلی یعنی نیازهای تکنولوژیکی سه زیر معیار دسترسی به تکنولوژی (C۴۱)، سازگاری با ترکیب پسماند (C۴۲) و نیاز به تجربه اپراتور (C۴۳) را شامل می‌شود.

لازم به ذکر است که معیارهای بسیار متنوعی برای اتخاذ تصمیمات مشابه در نقاط مختلف جهان بکار گرفته شده است اما از میان انبوه معیارهای موجود تنها معیارهایی برای این تحقیق انتخاب شدند که با شرایط محلی تناسب داشته باشند (سیدمحمدی، 1388؛ Hokkanen. 1995; Hokkanen. 1997; Mehmet et al. ۲۰۱۰). از آنجا که معیارهای تصمیم همگی از اهمیت یکسان برخوردار نیستند لذا لازم است که با استفاده از یک روش نظام‌مند مورد همسنجی قرار گرفته و اهمیت یا وزن نسبی آن‌ها تعیین شود بدین منظور از روش AHP استفاده شد. پس از تشکیل سلسله مراتب تصمیم، مقایسه زوجی جهت تعیین وزن معیارها انجام شد؛ نتایج این مرحله بصورت وزن معیارها در جدول شماره ۲ آورده شده است. لازم به ذکر است که میزان ضریب ناسازگاری در کلیه ماتریس‌های مقایسات زوجی کمتر از ۰/۱ بوده فلذا قضاوت‌ها سازگار می‌باشند.

1. Detailed
2. Life Cycle

جدول ۲. وزن معیارها

معیار اصلی	زیر معیار درجه ۱	زیر معیار درجه ۲	وزن نهایی
۰/۴۲۴ : اثرات زیست محیطی	۰/۵۴۰: اثرات مستقیم	۰/۲۴۰ : آلودگی آب، هوا و خاک	۰,۳۰۲
	۰/۱۶۳: اثرات غیرمستقیم	۰/۰۲۰ : آلودگی خودروها	۰,۰۰۸
		۰/۰۹۲ : آلودگی چرخه حیات	۰,۰۳۵
	۰/۲۹۷: اثرات جبرانی	۰/۰۲۰ :بازیافت مواد	۰,۰۱۴
		۰/۰۱۷ :بازیافت انرژی	۰,۰۱۲
۰/۲۲۷ : رویه های اقتصادی		۰ /۱۰۰ : هزینه های سرمایه گذاری	۰,۱۲۵
		۰/۰۵۲ : هزینه های اجرایی	۰,۰۶۵
		۰/۰۴۳: هزینه های تعمیر و نگهداری	۰,۰۵۴
۰/۲۲۷ : جنبه های اجتماعی		۰/۰۴۴ : پذیرش اجتماعی	۰,۰۰۵۴
		۰/۰۱۷ : تعداد شغل	۰,۰۲۱
		۰/۰۸۵ : سلامت انسان	۰,۱۰۶
۰/۱۲۲ : نیازهای تکنولوژیکی		۰/۱۰۸ : در دسترس بودن	۰,۰۷۲
		۰/۰۱۷ : سازگاری با زباله	۰,۱۱٤
		۰/۰۲۸ : نیاز به تجربه کارکنان	۰,۰۱۹

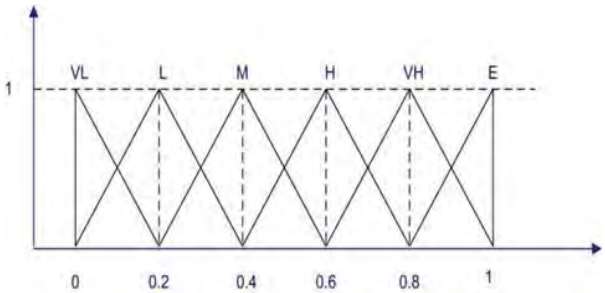
در فاز دوم تحقیق که مرحله اولویت‌بندی گزینه‌های دفع نهایی پسماند است، تکنیک TOPSIS با ماتریسی متشکل از پنج گزینه و چهارده معیار بکار گرفته شد. بمنظور تعیین میزان اولویت گزینه‌ها در برآورده نمودن معیارهای تصمیم، قضاوت‌های کارشناسی با حضور همزمان سه کارشناس در قالب عبارت‌های زبانی خیلی‌کم، کم، متوسط، زیاد، خیلی‌زیاد و عالی انجام شد. پس از اخذ نظرات کارشناسان و تکمیل ماتریس اولیه، عملیات فازی سازی با استفاده از مقادیر جدول شماره ۳ انجام شد. توابع عضویت اعداد فازی مندرج در جدول مذکور در نمایه شماره ۳ نشان داده شده است.

از آنجا که اعداد فازی مورد استفاده در بازه صفر و یک هستند بنابراین ماتریس فازی، نرمال نیز هست و نیازی به نرمال سازی مجدد نیست. در ادامه با اعمال وزن‌های معیارها ماتریس فازی نرمال، موزون گردید که در نمایه شماره ۴ نشان داده شده است.

پس از تشکیل ماتریس فازی نرمال و موزون، دو گزینه (۱,۱,۱)و (۰,۰,۰) به ترتیب بعنوان گزینه‌های ایده‌آل

جدول ۳. عبارت‌های زبانی و اعداد فازی معادل آن‌ها؛ ماخذ: نگارندگان.

عبارت های زبانی	عدد فازی معادل
خیلی کم (VL)	(۰/۰,۰,۲)
کم (L)	(۰/۰,۴/۰,۲)
متوسط (M)	(۰/۰,۶/۰,۴/۲)
زیاد (H)	(۰/۰,۸/۰,۶/۴)
زیاد (VH)	(۰,۱/۰,۸/۶)
عالی (E)	(۰,۱,۱/۸)



نمایه ۳. توابع عضویت اعداد فازی مورد استفاده؛ ماخذ: نگارندگان.

مثبت و منفی تعیین شدند و فاصله هریک از گزینه‌ها از این دو گزینه محاسبه و در جدول شماره ۴ وارد شد. در پایان برای اولویت بندی گزینه‌ها، ضرایب نزدیکی محاسبه و نرمال گردید، مقادیر ضریب نزدیکی در جدول شماره ۵ نشان داده شده است.

بدین ترتیب گزینه‌های پنج گانه براساس مقادیر ضریب نزدیکی اولویت‌بندی شدند. بدین ترتیب گزینه بازیافت مواد و دفن بقایا در زمین با ضریب نزدیکی ۰/۲۳۷ بعنوان اولویت نخست انتخاب گردید. تولید کمپوست، تولیدRDF، دفن در زمین و سوزاندن بدون استحصال انرژی بترتیب با ضرایب نزدیکی ۰/۲۱۲، ۰/۲۰۷، ۰/۱۹۵ و ۰/۱۴۸ در رتبه‌های بعد جای گرفتند.

۶. بحث

با اجرای روش بازیافت مواد و دفن بقایا در زمین (بعنوان روش انتخابی در این تحقیق) علاوه بر کاهش حجم پسماند که به نوبه خود کاهش هزینه‌های حمل و نقل، کاهش حجم روزانه دفن در زمین و کاهش اثرات زیست محیطی را در پی دارد، مقادیر بالای مواد با ارزش موجود در پسماند شهر تهران به چرخه مواد بازگردانده می‌شود. ارزان قیمت بودن مواد بازیابی شده زمینه فروش آسان آن‌ها را فراهم می‌کند که در کنار جبران بخشی از هزینه‌های سیستم مدیریت پسماند موجب ایجاد اشتغال هم در بهش اپراتوری و هم در بخش بازاریابی و فروش محصولات بازیافتی می‌شود. در نظر گرفتن اثرات نامطلوب محیط‌زیستی و اقتصادی- اجتماعی دفن در زمین، بعنوان روش فعلی دفع نهایی پسماند شهر تهران و توجه به منافع و مزایای حاصل از بازیافت مواد پیش از دفن در زمین، پیشنهاد می‌شود که مدیران شهری ضمن بازنگری در رویه فعلی دفع نهایی، تأکید و توجه بیشتری را به امر بازیافت معطوف دارند.

کاربرد تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP و TOPSIS در این تحقیق، ضمن نظام‌مند نمودن و ساختار بخشی به مسئله پیچیده و چند بعدی تحقیق، رهیافتی مناسب برای دستیابی به نتایجی منطقی و مستدل را فراهم نمودند همچنین نباید این نکته را از نظر دور داشت که تجزیه معیارها به چندین زیرمعیار اختیار و آزادی عمل بیشتری را به تصمیم‌گیرنده یا کارشناس می‌دهد که مسئله تصمیم را موشکافانه و با تفصیل بیشتر مورد بررسی قرار داده فلذا قضاوت‌های منطقی‌تری را انجام دهد. در این میان استفاده از منطق فازی و عبارت‌های زبانی در قضاوت‌های کارشناسان، سبب تسهیل اظهار نظر و قرابت بیشتر اظهار نظر آن‌ها به تفکرات واقعی‌شان می‌گردد. استفاده از یک فرآیند تصمیم‌گیری گروهی مانند تکنیک دلفی با تعداد کارشناسان بیشتر، استفاده از روش‌های ریاضی مانند مدلسازی، انجام آنالیزهای اقتصادی دقیق و ... ازجمله راهکارهای پیشنهادی جهت ارتقاء کیفی نتایج و فرآیند تصمیم گیری ارائه شده در این تحقیق هستند. اگرچه استفاده از داده‌های دقیق و کمی می‌تواند به نتایج دقیق‌تری منتهی گردد اما به دلیل ماهیت انعطاف‌پذیر و متکی بر نظرات کارشناسی این تکنیک‌ها، کاربرد آن‌ها در شرایطی که دستیابی به داده‌ها و اطلاعات لازم برای تصمیم‌گیری دشوار است (مانند آنچه که در ایران وجود دارد و معمولاً عدم دسترسی به داده و اطلاعات یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های تصمیم‌گیران و پژوهشگران

جدول ۵. مقادیر ضریب نزدیکی گزینه ها؛ ماخذ: نگارندگان.

گزینه ها	ضریب نزدیکی	ضریب نزدیکی نرمال
دفن در زمین	۰/۰۳۷	۰/۱۹۵
سوزاندن بدون استحصال انرژی	۰/۰۲۸	۰/۱۴۸
بازیافت مواد و دفن بقایا در زمین	۰/۰۴۵	۰/۲۳۷
RDF	۰/۰۴۰	۰/۲۰۷
تولید کمپوست	۰/۰۴۱	۰/۲۱۲

است) گامی بلند به سوی عملکرد آگاهانه‌تر در شرایط بغرنج و پیچیده‌ای مانند مدیریت پسماند است.

منابع و مأخذ

۱. سیدمحمدی دیزج، مختار (۱۳۸۸) ارزیابی کاربرد زباله‌سوز مرکزی برای دفع پسماندهای بیمارستانی شهر تهران، پایان‌نامه کاشناسی ارشد دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.

۲. عبدلی، محمدعلی (۱۳۸۶) بازیافت مواد زائد جامد شهری (کاهش تولید، استفاده مجدد، بازچرخش)، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

3. Abduli M. A. et al. .2011. Life cycle assessment (LCA) of solid waste management strategies in Tehran: landfill and composting plus landfill. Environmental Monitoring and Assessment.178: 487-498.

4. Bai R., Sutanto M. .2002. "the practice and challenges of solid waste management in Singapore. Waste Management. 22: 557-567.

5. Basak Sener et al. .2006. Landfill site selection by using geographic information system.Environ Geol. 49: 376-388.

6. Bellman R.E., L.A. Zadeh .1977. Local and fuzzy logics. In: Dunn JM, Epstein G (eds) Modern uses of multiple-valued logic. Boston, Kluwer.

7. Chang P.T., E. S. Lee. .1995. The estimation of normalized fuzzy weights. Computers and Mathematics with Applications. 5(29): 21-42.

8. Chen C.T. et al. .2006. A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. International Journal of Production Economics. 2(102): 289-301.

9. Chu T.C., Y.C. Lin. .2009. An interval arithmetic based fuzzy TOPSIS model. Expert Systems with Applications. 8(36): 10870-10876.

10. Harati S. A. N. et al. .2007. Landf ill gas extraction potential from conventional landfills -case study of Kahrizak landfills. Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium. Sardinia, Italy.

11. Hokkanen J., P. Salminen. .1997. Choosing a solid waste management system using multicriteria decision analysis. European Journal of Operational Research. 98: 19-36.

12. Hokkanen J. et al. .1995. The choice of a solid waste management system using the ELECTRE II decision-aid method. Waste Management and Research. 13: 175-193.

13. Hua Z. .2008. On the extent analysis method for fuzzy AHP and its applications. European Journal of Operational Research. 186: 735-747.

14. Hwang C.L. , K. Yoon. .1981. Multiple attribute decision making-methods and applications. Berlin, Heidelberg, Springer.

15. Kannan G. et al. .2009. A hybrid approach using ISM and fuzzy TOPSIS for the selection of reverse logistics provider. Resources, Conservation and Recycling. 1(54): 28-36.

16. Liou T.S., M.J.J. Wang. .1992. Fuzzy weighted average: An improved algorithm. Fuzzy Sets and Systems. 3(49): 307-315.

17. Mahdavi Damghani A. et al. .2008. Municipal solid waste manage-ment in Tehran: Current practices, opportunities and chal-

lenges. Waste Management. 28: 929-934.
18. Mehmet Ekmekçiog˘ lu et al. .2010. Fuzzy multicriteria disposal method and site selection for municipal solid waste. Waste Management. 30: 1729-1736.
19. Ming L. H. et al. .2007. A novel sustainable decision making model for municipal solid waste management. Waste Management. 27: 209-219.
20. Saaty, T. L. .1980. The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation. New York, McGraw-Hill.
21. Sharholy M. et al. .2008. Municipal solid waste management in Indian cities - A review. Waste Management. 28 2: 459-467.
22. Yoon K, C.L. Hwang .1985. Manufacturing plant location anaalysis by multiple decision making: part 1- single-plant strategy. International Journal of Production Research. 2(23): 345-359.
23. Zadeh L. A. .1965. Fuzzy sets. Information and Control. 3(8): 338-353.
24. Zadeh L. A. .1975(a). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-II. Information Sciences. 4(8): 301-357.
25. Zadeh, L. A. .1975(b). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-III. Information Sciences. 1(9): 43-80.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی