

## بهبود سیستم مدیریت پسماند شهر تهران با تأکید بر دفع نهایی

**واحد دهقانی کاظمی\*** - دانشجوی 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** - دانشجوی 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 چالش‌انگیزترین 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، تولید RDF، دفن در زمین و سوزاندن بدون استحصال انرژی بترتیب با ضرایب نزدیکی ۰/۲۱۲، ۰/۲۰۷ و 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.

## 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 انسان ها و جانوران موجب از بین رفتن سرمایه های اکولوژیکی و اقتصادی جوامع نیز می شود (Sharholly et al. 2008).

مرور مطالعات متعدد در زمینه مدیریت پسماند حاکی از متاثر بودن آن از فاکتورهای بسیار متنوع اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی است که خود سرمنشأ پیچیدگی مسائل موجود در این راستا است و حل این گونه مسائل نیازمند کاربرد دانش بین رشته ای است. یکی از بخش هایی که اصلاح آن می تواند نقشی مهم در ارتقا سیستم 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 جنبه های اقتصادی، فرهنگی، شهرنشینی، شیوه های 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 بدلیل مختلف از جمله نوپا بودن مراکز علمی و تکنولوژیکی فعال در این زمینه، وجود آلودگی های زیست محیطی متعدد در شهر تهران بویژه آلودگی های هوا و آب و سیستم های مدیریت پسماند نوپا با هزینه های اقتصادی و زیست محیطی بالا) در کنار پیچیدگی هایی که بطور معمول در مطالعات سیستم های مدیریت پسماند وجود دارد مسئله تصمیم گیری برای انتخاب روش بهینه دفع نهایی پسماند در شهر تهران را بیش از پیش دشوار می سازد. 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 شایسته ای در بر بگیرد و از سوی دیگر امکان قضاوت های آگاهانه و به دور از سردرگم شدن در انبوه مسائل موجود را فراهم سازد. استفاده از مدل های تصمیم گیری چندهدفه<sup>۱</sup> و چندمعیاره<sup>۲</sup> یکی از راهکارهایی است که محققان برای غلبه بر این پیچیدگی ها بکار گرفته اند که امکان تجزیه و تحلیل درخور مسائل را در یک چارچوب منطقی فراهم می کند (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 روش های تصمیم گیری چند معیاره بمنظور ایجاد یک فرآیند نظام مند 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 تصمیم گیری 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<sup>۳</sup>» و همکاران با استفاده از روش Fuzzy TOPSIS و در نظر گرفتن معیارهایی از قبیل: نیازمندی های تکنولوژیکی، امکان پذیری از نظر اقتصادی، میزان آلاینده های تولیدی، نیروی انسانی مورد نیاز و امکان بازیابی مواد و انرژی در هریک از روش های 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، مناسب ترین گزینه

1. Multi Objective  
2. Multi Criteria

3. Mehmet Ekmekçioğ lu

و سناریو تولید کمپوست بعلاوه دفن در زمین از برخی جنبه های دیگر بعنوان سناریو مطلوب شناسایی شده اند که این وضعیت بدین معناست که تحقیق مذکور از نظر تعیین مناسب ترین 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 معادل ۶۶۴ کیلومتر مربع و جمعیتی بالغ بر ۸ میلیون نفر، روزانه ۷۴۳۵ تن پسماند تولید می شود (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 (۶٪) و ساختمانی (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
کیسه های پلاستیکی	۶٫۲
کاغذ	۴٫۴
کارتن و مقوا	۲٫۷
پارچه	۳٫۴
شیشه	۲٫۴
پلاستیک های نرم	۲٫۲
چوب	۱٫۷
خاکروبه و نخاله	۱٫۳

دفع پسماند برای شهر استانبول تولید RDF است (Mehmet et al. 2010). بمنظور مدیریت پسماندهای غذایی در شهر تاییه تایوان در سال ۲۰۰۷، قیاس روش های سوزاندن، استفاده بعنوان خوراک احشام<sup>۱</sup>، تولید کمپوست، تخمیر و دفن در زمین با لحاظ نمودن فاکتورهای محیط زیستی (سلامت انسان، مصرف منابع، اثرات اکولوژیک)، اقتصادی (هزینه ها، عواید، بازاربایی)، 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).

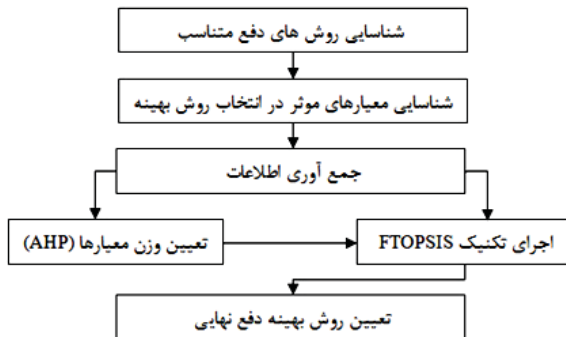
در سال ۱۹۹۷ جوناس هوکانن<sup>۲</sup> مناسب ترین روش دفع نهایی پسماند برای شهر اولو<sup>۳</sup> در فنلاند را با بکارگیری روش ELECTRE III تعیین کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که مناسب ترین روش دفع نهایی پسماند در این شهر ترکیبی از لندفیل، کمپوست و RDF است (Hokkanen.1997). در تحقیق دیگری در سال ۱۹۹۵ در شهر اوسیمما در کشور فنلاند و با روش ELECTRE II، روشهای دفن در زمین، سوزاندن، کمپوست-دفن<sup>۴</sup>، تخمیر<sup>۵</sup> و تولید کمپوست، با در نظر گرفتن معیارهایی مانند قابلیت اجرایی از نظر تکنولوژیکی، تحلیل های 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 هزینه های اجرای هر یک از روش ها 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 مطالعه ای 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 هزینه های کمتری دارد (Abduli et al. 2011). آنچه در ارتباط با تحقیق مذکور قابل توجه است این است که سناریو دفن در زمین از برخی جنبه ها

1. Hog Feeding  
2. Joonas Hokkanen

3. Oulu  
4. Ousimaa

5. Landfill and open composting  
6. Fermentation

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 سال ۱۹۸۰ توسط 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 تصمیم گیرنده فارغ از سایر گزینه ها تنها به اولویت بندی دو گزینه مورد مقایسه می پردازد (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 گزینه های تصمیم در پایین ترین سطح سلسله مراتب ساختاردهی گردد؛ در ادامه مقایسات زوجی معیارها با در نظر گرفتن هدف نهایی و همچنین مقایسات زوجی گزینه ها نسبت به تک تک معیارها انجام گرفته و گزینه برتر از میان گزینه های موجود شناسایی می گردد.

#### 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 گزینه های تصمیم گیری از راه حل های ایده آل مثبت<sup>۱</sup> و ایده آل منفی است (wang, 1981).

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 می گردد، ۸/۳٪ آن به کمپوست تبدیل می شود و حدود ۵٪ آن بازیافت می شود (Abduli et al. 2011; Mahdavi et al. 2008).

علی رغم وفور مواد قابل بازیافت در ترکیب زباله تهران، در حال حاضر بخش اعظم آن ها در زمین دفن می شود از دیگر سو بازیافت کامل این مواد نیز مستلزم بکارگیری تکنولوژی های 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 می شود 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. هزینه های بالا و پر شدن ظرفیت مکان دفن از دیگر موارد قابل ذکر در این زمینه است. در همین زمینه بای و سوتانتو<sup>۱</sup> 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

1. Bai and Sutanto

2. Positive Ideal Solution (PIS)

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  $(\tilde{A})$ :

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

می‌باشد. فاصله اقلیدسی دو عدد فازی مثلثی  $\tilde{a}$  و  $\tilde{b}$  از یکدیگر به روش ورتکس<sup>۴</sup> طبق رابطه شماره ۱ محاسبه می‌شود.

رابطه شماره ۱

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

که در این رابطه  $\tilde{a} = (l_1, m_1, u_1)$  مؤلفه‌ی ماتریس  $(\tilde{A})$  و  $\tilde{b} = (l_2, m_2, u_2)$

گزینه ایده آل مثبت و منفی است.

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

رابطه شماره ۲

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

## 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 تصمیم‌میشکل 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

(Kannan et al. 2009). راه‌حل ایده‌آل مثبت راه‌حل یا گزینه‌ای است که از لحاظ معیارهای سود بیشینه و از نظر معیارهای هزینه وضعیت کمینه را دارد و راه‌حل ایده‌آل منفی<sup>۱</sup> راه‌حلی است که از نظر معیارهای هزینه بیشینه و از لحاظ معیارهای سود کمینه است (Kannan et al. 2009). در تکنیک TOPSIS مقادیر قطعی<sup>۲</sup> 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<sup>۳</sup> 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 خیلی خوب، بجای استفاده از اعداد ۱، ۲ و ۳ بمنظور بیان کیفیت یک محصول درک ملموس‌تری از واقعیت مدنظر تصمیم‌گیرنده 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

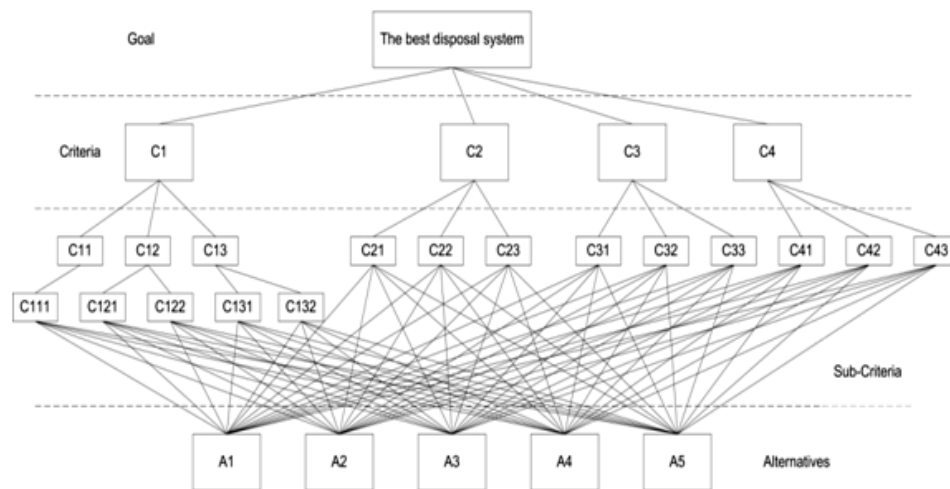
(Yoon. 1985; Chen et al. 2006)؛ کاربرد منطق فازی یک پیشنهاد مناسب برای حل این مسئله است. در حالت کلاسیک، ماتریس تصمیم TOPSIS با استفاده از قضاوت‌های کارشناسان و با بکارگیری اعداد قطعی

1. Negative Ideal Solution (NIS)

2. Crisp Values

3. Closeness Coefficient

4. Vertex Method



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

(C۳۲) و سلامت و بهداشت نیروی کار (C۳۳) را دربر می گیرد. 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 می شود.

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، Hokkanen. 1995; Hokkanen. 1997; 1388; Mehmet et al. 2010). از آنجا که معیارهای تصمیم همگی از اهمیت یکسان برخوردار نیستند لذا لازم است که با استفاده 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 ماتریس های مقایسات زوجی کمتر از ۰/۱ بوده فلذا قضاوت ها سازگار می باشند.

این چهار گروه بعنوان معیارهای اصلی نامیده می شوند. از آنجا که این چهار معیار حالت بسیار کلی دارند نمی توان گزینه ها را بر اساس این معیارها بطور دقیق مقایسه کرد زیرا در این حالت فرد ناگزیر به دسته بندی انبوهی از اطلاعات و دانش خود در قالب تنها یک عبارت زبانی می شود که موجبات سردرگمی کارشناس یا تصمیم گیرنده را فراهم می کند بدین منظور هریک از این معیارها به یکسری زیر معیارها تجزیه شدند بنحوی که بتوان گزینه های تصمیم را با دقت بیشتر و بصورت تفصیلی و جزئی<sup>۱</sup> 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 آلودگی های آب، هوا و خاک (C۱۱۱) را دربر می گیرد، اثرات غیرمستقیم شامل آلودگی ناشی از وسایل نقلیه (C۱۲۱) و آلودگی های چرخه حیات<sup>۲</sup> (C۱۲۲) می باشد. اثرات جبرانی باز یافت مواد (C۱۳۱) و باز یافت انرژی (C۱۳۲) را شامل می شود. معیار اصلی رویه های اقتصادی مشتمل بر سه زیر معیار هزینه های اولیه یا سرمایه گذاری (C۲۱)، هزینه های لازم جهت فعالیت (C۲۲) و هزینه های نگهداری و تعمیرات (C۲۳) است. معیار اصلی جنبه های اجتماعی سه زیر معیار پذیرش اجتماعی (C۳۱)، فرصت های شغلی

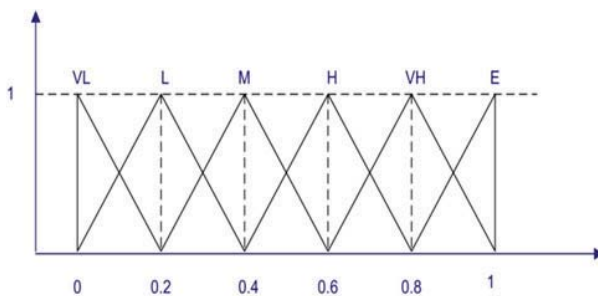
1. Detailed  
2. Life Cycle

جدول ۲. وزن معیارها

وزن نهایی	زیر معیار درجه ۲	زیر معیار درجه ۱	معیار اصلی
۰,۳۰۲	۰/۲۴۰: آلودگی آب، هوا و خاک	۰/۵۴۰: اثرات مستقیم	اثرات زیست محیطی: ۰/۴۲۴
۰,۰۰۸	۰/۰۲۰: آلودگی خودروها	۰/۱۶۳: اثرات غیرمستقیم	
۰,۰۳۵	۰/۰۹۲: آلودگی چرخه حیات		
۰,۰۱۴	۰/۰۲۰: بازیافت مواد	۰/۲۹۷: اثرات جبرانی	
۰,۰۱۲	۰/۰۱۷: بازیافت انرژی		
۰,۱۲۵	۰/۱۰۰: هزینه های سرمایه گذاری	۰/۲۲۷: رویه های اقتصادی	
۰,۰۶۵	۰/۰۵۲: هزینه های اجرایی		
۰,۰۵۴	۰/۰۴۳: هزینه های تعمیر و نگهداری		
۰,۰۰۵۴	۰/۰۴۴: پذیرش اجتماعی	۰/۲۲۷: جنبه های اجتماعی	
۰,۰۲۱	۰/۰۱۷: تعداد شغل		
۰,۱۰۶	۰/۰۸۵: سلامت انسان		
۰,۰۷۲	۰/۱۰۸: در دسترس بودن	۰/۱۲۲: نیازهای تکنولوژیکی	
۰,۱۱۴	۰/۰۱۷: سازگاری با زیاده		
۰,۰۱۹	۰/۰۲۸: نیاز به تجربه کارکنان		

جدول ۳. عبارت های زبانی و اعداد فازی معادل آن ها؛  
ماخذ: نگارندگان.

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



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

در فاز دوم تحقیق که مرحله اولویت بندی گزینه های دفع نهایی پسماند است، تکنیک TOPSIS با ماتریسی متشکل از پنج گزینه و چهارده معیار بکار گرفته شد. بمنظور تعیین میزان اولویت گزینه ها در برآورده نمودن معیارهای تصمیم، قضاوت های کارشناسی با حضور همزمان سه کارشناس در قالب عبارت های زبانی خیلی کم، کم، متوسط، زیاد، خیلی زیاد 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 وزن های 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) و (۰,۰) به ترتیب بعنوان گزینه های ایده آل

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 اولویت بندی شدند. بدین ترتیب گزینه بازیافت مواد و دفن بقایا در زمین با ضریب نزدیکی  $0/237$  بعنوان اولویت نخست انتخاب گردید. تولید کمپوست، تولید RDF، دفن در زمین و سوزاندن بدون استحصال انرژی بترتیب با ضرایب نزدیکی  $0/212$ ،  $0/207$ ،  $0/195$  و  $0/148$  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 ... از جمله راهکارهای پیشنهادی جهت ارتقاء کیفی نتایج و فرآیند تصمیم‌گیری 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 گزینه‌ها؛ ماخذ: نگارندگان.

گزینه‌ها	ضریب نزدیکی	ضریب نزدیکی نرمال
دفن در زمین	0/037	0/195
سوزاندن بدون استحصال انرژی	0/028	0/148
بازیافت مواد و دفن بقایا در زمین	0/045	0/237
RDF	0/040	0/207
تولید کمپوست	0/041	0/212



- 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. Landfill 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 management in Tehran: Current practices, opportunities and chal-

است) گامی بلند به سوی عملکرد آگاهانه‌تر در شرایط بفرنج 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-

- lenges. Waste Management. 28: 929-934.
18. Mehmet Ekmekçiođ 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. Sharholý 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.