

Comparative Evaluation of the Application of Incineration Technologies and Other Waste Disposal Methods in Iran Using the Analytical Hierarchy Process (AHP)

Ghayebzadeh M^{1,2}, Aslani H³, Taghipour H^{*3}

1. Department of Environmental Health Engineering, Health and Environment Research Center, School of Public Health, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran

2. Department of Environmental Health, Health Promotion Research Center, Zahedan University of Medical Sciences, Zahedan, Iran

3. Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran

* *Corresponding author.* Tel: +989141077230, Fax: +984133355952, E-mail: hteir@yahoo.com

Received: Dec 11, 2019 Accepted: Sep 9, 2020

ABSTRACT

Background & objectives: Increasing solid waste has made waste management an important challenge in developing countries. The purpose of this study is to comparative evaluation of the application of incineration technologies and other waste disposal methods in Iran using the Analytical Hierarchy Process (AHP) in 2019.

Methods: In this descriptive-applied research, after making a hierarchy, the first criteria and decision alternatives (1-Sanitary landfill Method 2-Source Reduction, Recycling+ Compost+ Landfill 3-Source Reduction, Recycling+Incineration Technologies+ Landfill) were selected. Then, the comparison and analysis were performed using Expert Choice 11 software and Analytical Hierarchy Process.

Results: The weights of three scenarios (1- Sanitary landfill Method 2-Source Reduction, Recycling+ Compost+ Landfill 3- Source Reduction, Recycling+ Incineration Technology+ Landfill) for waste management in Iran were determined, 0.26, 0.486 and 0.255, respectively. The Consistency Ratio (CR) was obtained less than 0.1 for all paired matrices of alternatives.

Conclusion: The second scenario with the weight of 0.486 was selected as the best method for solid waste management in Iran. Therefore, it is recommended to invest on and create the necessary infrastructure in the country in line with the above-mentioned priority. The third scenario, with a weight of 0.255, was selected as the last priority of waste management in the country. Therefore, it is recommended that supervisory and responsible organizations do not have a permit to construct and commission of incineration technologies for municipal waste management without conducting environmental, health and economic studies.

Keywords: Waste Management; Disposal Methods; Incineration Technology; AHP

ارزیابی مقایسه‌ای کاربرد فن‌آوری زباله‌سوز و سایر روش‌های دفع پسماند در ایران با استفاده از روش AHP

مهدی غایب زاده^۱، حسن اصلانی^۲، حسن تقی پور^۳*

۱. گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات سلامت و محیط زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران

۲. گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات ارتقای سلامت، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، زاهدان، ایران

۳. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران

* نویسنده مسئول. تلفن: ۰۹۱۴۱۰۷۷۲۳۰ فکس: ۰۴۱ ۳۳۵۵۹۵۲ ایمیل: hteir@yahoo.com

چکیده

زمینه و هدف: افزایش روز افزون پسماند جامد، مدیریت پسماند در کشورهای در حال توسعه را به یک چالش مهم تبدیل کرده است. هدف این تحقیق ارزیابی مقایسه‌ای کاربرد زباله‌سوز و سایر روش‌های دفع پسماند در ایران با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در سال ۱۳۹۷ بود.

روش کار: در این تحقیق که از نوع توصیفی-کاربردی بود، پس از تشکیل سلسله مراتب، ابتدا معیارها و گزینه‌های تصمیم (۱- روش دفن بهداشتی؛ ۲- کاهش از مبدأ، بازیافت+ کمپوست+ دفن بهداشتی؛ ۳- کاهش از مبدأ، بازیافت+ زباله‌سوز+ دفن بهداشتی) انتخاب شد. سپس با استفاده از نرم افزار Expert Choice-11 و روش تحلیل سلسله مراتبی مقایسه و آنالیز صورت گرفت.

یافته‌ها: ضریب اهمیت سه سناریو ۱- دفن بهداشتی؛ ۲- کاهش از مبدأ، بازیافت+ کمپوست+ دفن بهداشتی؛ ۳- کاهش از مبدأ، بازیافت+ زباله‌سوز+ دفن بهداشتی، برای مدیریت پسماند در ایران به ترتیب ۰/۲۶، ۰/۴۸۶ و ۰/۲۵۵ تعیین گردید و ضریب سازگاری تمامی ماتریس‌های زوجی گزینه‌ها کمتر از ۰/۱ بدست آمد.

نتیجه‌گیری: سناریوی دوم با وزن ۰/۴۸۶ به عنوان برترین روش برای مدیریت پسماند جامد در ایران انتخاب شد. لذا پیشنهاد می‌گردد سرمایه‌گذاری و ایجاد زیرساخت‌های لازم در کشور در راستای اولویت فوق‌الذکر انجام گیرد. سناریوی سوم، با وزن ۰/۲۵۵ به عنوان اولویت آخر مدیریت پسماند در کشور انتخاب شد. بنابراین توصیه می‌گردد سازمان‌های ناظر و مسئول بدون انجام مطالعات زیست محیطی، بهداشتی و اقتصادی مجوز نصب زباله‌سوز برای مدیریت پسماند‌های شهری را ندهند.

واژه‌های کلیدی: مدیریت پسماند، روش‌های دفع، فناوری زباله‌سوز، AHP

دریافت: ۱۳۹۸/۹/۲۰ پذیرش: ۱۳۹۹/۶/۱۹

مقدمه

فرهنگی و شرایط آب و هوایی در مناطق مختلف، کمیت و کیفیت آن متغیر است (۱). با گسترش روزافزون جمعیت، توسعه شهرها و صنایع، پیشرفت‌های فن‌آوری، تغییرات الگوی مصرف و غیره

پسماند به کلیه زائدات جامد، مایع (غیر از فاضلاب) و گاز (داخل کانتینرها)، ناشی از فعالیت‌های انسان گفته می‌شود که با توجه به وضعیت اقتصادی-اجتماعی،

تولید و تنوع پسماند افزایش یافته است (۲،۳)، که یک هشدار جدی برای جهان تلقی می‌گردد و نیاز به مدیریت مناسب دارند (۴،۵). در چند سال اخیر اکثر کشورهای در حال توسعه سعی در بهبود روش‌های مدیریت پسماند داشته‌اند. به دلیل وجود مشکلاتی نظیر افزایش جمعیت، عدم تجربه کافی مسئولین ذیربط، منابع مالی ناکافی و کمبود تجهیزات موجود و نبود اطلاعات کافی در مورد کمیت و کیفیت پسماندها سبب مدیریت نامناسب آنها شده است (۶،۷). امروزه در دنیا بسته به شرایط مختلف موجود روش‌ها و سناریوهای متعددی برای دفع پسماند مورد استفاده قرار می‌گیرند. هر یک از سناریوها برای داشتن قابلیت اجرا نیاز به شناسایی معیارهای تاثیرگذار خواهند داشت. انتخاب معیارها باعث می‌شود هر یک از سناریوها از نظر هزینه اقتصادی و هزینه اثربخشی باهم تفاوت داشته باشند (۸). انتخاب یک روش مناسب دفع پسماند برای مدیران با وجود معیارهای چندگانه و روابط بین آنها به یک مساله تصمیم‌گیری چندمعیاره ($MADM^1$) تبدیل شده است (۹،۸). برخی از روش‌های $MADM$ که به منظور مدیریت بهتر پسماندها به کار گرفته می‌شوند شامل $TOPSIS^2$ ، $ELECTRE^3$ ، MRS^4 ، MDS^5 ، $LINMAP^6$ ، روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP^7) و غیره می‌باشند (۱۰). در مطالعات انجام شده با ذینفعان مختلف، مشخص شده است که AHP یک تکنیک غالب به منظور انتخاب بهترین روش برای مدیریت پسماند بوده است که در ۶۵ درصد از مطالعات مشاهده شده است (۱۱). در زیر مطالعات متعددی در زمینه انتخاب روش مناسب مدیریت پسماند با استفاده از تکنیک‌های مختلف

$MADM$ ذکر شده است. مطالعه‌ای که باورصادیان و همکاران با رویکرد $TOPSIS$ انجام داده‌اند، نتایج تحقیق نشان داد از میان سه روش پرکاربرد دفن بهداشتی، کمپوست‌سازی و احتراق در دفع پسماندها، روش کمپوست‌سازی به عنوان بهترین روش برای استان اصفهان انتخاب گردید (۱۲). یک مطالعه موردی در بوسنی و هرزگوین توسط ووچیچاک^۸ (۵) و یک مطالعه مروری توسط سلطانی و همکاران (۱۱) و مطالعه مروری دیگری توسط مردانی انجام شد (۱۳) و نتایج مطالعات نشان داد که یکی از بهترین روش‌های تصمیم‌گیری به منظور انتخاب بهترین سناریوی مدیریت پسماند روش AHP می‌باشد. مطالعه دیگری در ترکیه توسط کوبان^۹ صورت گرفت (۸). در این مطالعه هشت سناریوی مدیریت پسماند شهری با کمک سه روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مورد ارزیابی قرار گرفتند و نتایج تحقیق نشان داد که روش دفن بهداشتی و بازیافت به عنوان بهترین گزینه مدیریت پسماند برای کشورهای در حال توسعه معرفی شدند (۸). با توجه به اینکه تاکنون در کشور به فرآیند دفع پسماند به شکل اصولی نگاه نشده است و عمدتاً پسماندها به طور سنتی و غیربهداشتی در حاشیه شهر انباشته شده‌اند، لذا مدیریت نامناسب پسماند باعث مشکلات عمده زیست محیطی، بهداشتی و اقتصادی شده است. اخیراً بحث استفاده از زباله‌سوز نیز به عنوان یک روش دفع در برخی از کلانشهرهای ایران از جمله شهر تبریز مطرح شده است و مطرح‌کنندگان، بدون انجام مطالعات امکان‌سنجی و همچنین بدون انجام مطالعات ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و بهداشتی، به عنوان یک روش کاربردی و قابل اجرا برای دفع پسماند در کشور تاکید می‌نمایند. از طرف دیگر استفاده از زباله‌سوز نگرانی‌های خاص بهداشتی و زیست‌محیطی به ویژه آلودگی هوا را می‌تواند به همراه خود داشته باشد.

¹ Multiple Attribute Decision Making

² The technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

³ Elimination et Choice Translating Reality

⁴ Marginal Rate of Substitution of Attributes

⁵ Multi-Dimensional Scaling

⁶ Linear Programming for Multidimensional Analysis of Preference

⁷ Analytic Hierarchy Process

⁸ Vučijak

⁹ Coban

بنابراین این مطالعه با هدف بررسی وضعیت موجود مدیریت پسماندهای شهری در کشور و مقایسه کاربرد زباله‌سوز با سایر روش‌های دفع پسماند با کمک روش AHP انجام شد تا بر اساس نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل AHP، مناسب‌ترین گزینه مدیریت پسماند برای ایران تعیین و پیشنهاد گردد. اطلاعات حاصل می‌تواند به عنوان اطلاعات پایه برای ارتقاء نحوه مدیریت پسماند جامد در کشور مورد استفاده قرار گیرد.

روش کار

این مطالعه از نوع توصیفی- کاربردی بوده و دارای دو مرحله اصلی بود. پس از تشکیل سلسله مراتب، در مرحله اول معیارهای ارزیابی با استفاده از مقایسات زوجی و با بکارگیری مقیاس ارجحیت ۹ تایی ساعتی تعیین وزن شد. در مرحله دوم مقایسات زوجی گزینه‌های تصمیم بر اساس معیارها صورت گرفت. برای مقایسه زوجی گزینه‌ها از اعداد (امتیاز ۱ تا ۹) استفاده شد. انجام هر دو مرحله با استفاده از روش تجزیه و تحلیل AHP صورت گرفت (۱۴). بررسی کلی از چارچوب تصمیم‌گیری در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. مرور کلی چارچوب تصمیم‌گیری

انتخاب معیارها

ابتدا ۲۲ معیار ارزیابی که برای انتخاب روش‌های مدیریت پسماند جامد موثر بودند، لیست گردید. در انتخاب معیارها تقریباً تمام عوامل موثر بر انتخاب روش‌های مدیریت پسماند جامد، از جمله فاکتورهای فنی، اقتصادی و زیست محیطی مد نظر قرار گرفت. انتخاب معیارهای ارزیابی به کمک تیم پژوهش و با مرور منابع و مطالعات انجام شده در این خصوص در داخل و خارج کشور صورت گرفت. برای اطمینان از انتخاب درست معیارها، جدول اعتبارسنجی طراحی و در اختیار تیم خبرگان منتخب (شامل ۱۲ نفر از اساتید دانشگاه با تخصص مهندسی بهداشت محیط، مسئولان و کارشناسان اجرایی متخصص در امر مدیریت پسماند) قرار داده شد. معیارها از نظر ضرورت، شفافیت، حساس بودن، قابلیت سنجش، مرتبط بودن و سادگی انجام، ارزش‌گذاری شدند. سپس نظرات تیم خبرگان جمع‌بندی شده و با استفاده از نرم افزار Excel امتیاز هر معیار محاسبه و معیارهای با اهمیت کمتر از ۷ حذف و در نهایت ۱۸ معیار برتر انتخاب گردید (جدول ۱).

در مرحله بعد وزن معیارها تعیین شد. تعیین وزن معیارها با استفاده از مقایسات زوجی و با بکارگیری مقیاس ارجحیت ۹ تایی ساعتی توسط تیم خبرگان انجام شد. مزیت مقایسات زوجی این بود که فارغ از سایر معیارها تنها به اولویت بندی ۲ معیار مورد مقایسه پرداخته شد و درجه اهمیت هر معیار، نسبت به دیگری مشخص گردید (۱۴). اگر $(C_j | j = 1, 2, \dots, n)$ مجموعه‌ای از معیارهای تصمیم باشد، نتیجه مقایسات زوجی در ماتریس $n \times n$ به نام ماتریس A نشان داده شده است (معادله ۱ و ۲) که در این ماتریس هر یک از مولفه‌های ماتریس A یعنی a_{ij} ، حاصل تقسیم معیار a_i بر وزن معیار a_j است. خارج قسمت این در قالب جدول ارجحیت ۹ تایی ساعتی ارائه شده است (۱۰) (همین روند برای گزینه‌ها نیز تکرار شد) (جدول ۲).

جدول ۱. معیارهای مؤثر بر مدیریت و دفع پسماند

ترجمه لاتین	فاکتور
Capital Costs	CC
Maintenance & Operation Costs	OMC
Indirect Costs	IC
Sustainable Development	SD
Required Land and Space	RLS
Availability of Technology Required	ATR
Collecting and Moving to the Place	CMP
Compatibility of the Technology with the Type of Waste Produced	CTTWP
Responsive to need	RN
Occupational Risks and Safety	ORS
The necessity and possibility of managing the residual material from the disposal process	NPM
Health and Environmental Risks Caused by the water and soil Pollution	HERWSP
Health and environmental Risks caused by air pollution	HERAP
Efficiency	E
Need Proficiency for Design and Implementation	NPDI
The Need for Skilled and Expert Exploiters For Operation and Maintenance	NSEE
The Need for Waste Separation	NWS
Recycling and Reuse of Materials and Energy	RRME

جدول ۲. مقادیر امتیازدهی و ترجیح‌ها برای مقایسات زوجی

مقادیر امتیاز	مقادیر امتیاز	درجه اهمیت در مقایسه دو به دو
۱	۱	ترجیح یکسان
۰/۳۳۳	۳	نسبتاً ارجح
۰/۲	۵	قویاً ارجح
۰/۱۴۳	۷	ترجیح بسیار قوی
۰/۱۱۱	۹	کاملاً ارجح
۰/۱۲۵، ۰/۱۶۶، ۰/۲۵، ۰/۵	۸ و ۶، ۴، ۲	ترجیحات بین فواصلی

$$\tilde{A} = (\tilde{a}_{ij}) = \begin{bmatrix} \tilde{a}_{11} & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & \tilde{a}_{22} & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & \tilde{a}_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$a_{ii} = 1, a_{ji} = 1/a_{ij}, a_{ij} \neq 0 \quad (2)$$

سناریوهای انتخاب شده به منظور مدیریت پسماند برای مطالعه حاضر به شرح زیر می‌باشد:

سناریو ۱- دفن بهداشتی (alt 1)

سناریو ۲- کاهش از مبدأ، بازیافت + کمپوست + دفن بهداشتی (alt 2)

سناریو ۳- کاهش از مبدأ، بازیافت + زباله‌سوز + دفن بهداشتی (alt 3)

گام بعد تعیین اولویت بود. سناریوهای منتخب مدیریت پسماند بر اساس معیارها و به صورت زوجی مقایسه شدند و درجه اهمیت هر سناریو نسبت به دیگری مشخص گردید. سپس سناریوها بر اساس ضریب اهمیت بدست آمده، اولویت بندی شدند. در این مرحله، از تلفیق ضرایب مزبور امتیاز نهایی هر یک از سناریوها تعیین گردید. برای این کار از اصل ترکیب سلسله مراتبی که منجر به بردار اولویت با در نظر گرفتن همه قضاوت‌ها در تمامی سطوح سلسله مراتب می‌شود، استفاده گردید (۱۶، ۱۷). رابطه (۵) نحوه امتیاز نهایی سناریوها را نشان می‌دهد.

$$V_H = \sum_{k=1}^n W_k (g_{ij}) \quad (5)$$

در این رابطه V_H : امتیاز نهایی سناریو j ، W_k : وزن هر معیار، g_{ij} : وزن سناریوها در ارتباط با معیارها می‌باشد.

بررسی سازگاری و ناسازگاری در قضاوت

کنترل درستی و صحت مقایسه‌های انجام شده توسط ضریب ناسازگاری سنجیده می‌شود. برای ارزیابی سازگاری قضاوت‌های زوجی، بردار سازگاری محاسبه شد و مقدار ویژه آن λ_{max} بدست آمد. λ_{max} بیشترین مقدار ویژه ماتریس مورد نظر است و n تعداد سطر یا ستون آن است. شاخص سازگاری (CI) طبق معادله (۶) تعیین گردید. سپس ضریب سازگاری (CR) طبق معادله (۷) بدست آمد که در آن شاخص سازگاری ناسازگاری ماتریس تصادفی است. این شاخص

در ادامه وزن‌های نسبی معیارها و گزینه‌ها (بردار وزن ماتریس‌ها W_1, W_2, \dots, W_i) محاسبه شدند. بعد از وزن‌دهی، وزن‌ها نرمالیزه شدند. برای نرمالیزه کردن وزن‌ها، ابتدا مقادیر هر یک از ستون‌های ماتریس مقایسه زوجی با هم جمع شده و مقدار هر عنصر در ماتریس به جمع ستون خودش تقسیم گردید (معادله ۳). سپس میانگین عنصر در هر سطر از ماتریس نرمالیزه شده را محاسبه نموده و در نتیجه آن بردار وزن معیارها ایجاد شد (معادله ۴).

(۱۵).

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}} \quad (3)$$

$$W_i = \frac{\sum_{i=1}^n r_{ij}}{n} \quad (4)$$

در این روابط m : تعداد ستون، n : تعداد سطر، a_{ij} : درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی و r_{ij} : درایه‌های ماتریس نرمالیزه به ازای گزینه i ام و شاخص j ام، و W_i : وزن گزینه i ام می‌باشد.

انتخاب گزینه‌های تصمیم‌گیری (سناریوهای مختلف مدیریت پسماند)

روش‌های مختلف مدیریت پسماند نظیر کاهش از مبدأ، تفکیک از مبدأ، بازیافت مواد، تولید کمپوست، سوزاندن و بازیافت انرژی، تفکیک در مقصد و فرآوری مواد قابل بازیافت و دفن بهداشتی زباله و یا ترکیبی از آنها توسط تیم پژوهش و کارشناسان خبره مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه سه معیار اصلی شامل ۱- منبع تولید پسماند، ۲- کمیت و کیفیت پسماند تولیدی و ۳- مزایا و معایب روش‌های مختلف مدیریت پسماند، جهت انتخاب سناریوهای مختلف مدیریت پسماند در کشور مد نظر قرار گرفت. با توجه به شرایط اقلیمی در ایران، امکانات، تجهیزات و فن‌آوری موجود در کشور و همچنین با در نظر گرفتن عوامل تاثیرگذار (سه معیار فوق‌الذکر) در انتخاب گزینه‌های تصمیم‌گیری، سه سناریو برای ایران (به استثنای شهرهای شمالی)، انتخاب و معرفی شد.

قضایات‌های انجام گرفته سازگار هستند در غیر این صورت لازم است که در قضایات‌ها تجدید نظر شود (۱۸).

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)} \quad (۶)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (۷)$$

جدول ۳. مقدار شاخص‌های ناسازگاری تصادفی (IR) برای ماتریس‌های با ابعاد مختلف

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
RI	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹

اساس معیارهای اثر گذار، دو به دو با هم مقایسه شدند. ماتریس مقایسات زوجی و ضریب ناسازگاری آنها در جدول ۵ ارائه شده است. به دلیل تعداد زیاد ماتریس‌ها چند نمونه از آنها برای نشان دادن نحوه امتیازدهی نمایش داده شده است. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق ضریب ناسازگاری تمامی ماتریس‌های مقایسات زوجی کمتر از ۰/۱ بدست آمد که نشان دهنده سازگاری و درستی تصمیمات گرفته شده در تمامی سطوح مدل است. معیارهای موثر در انتخاب روش مناسب جهت مدیریت پسماند، با هم مقایسه شدند. شکل ۲ ضریب اهمیت و اولویت‌بندی هر یک از معیارها در انتخاب بهترین روش مدیریت پسماند را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۲، ترتیب اهمیت هر معیار و وزن آن مشخص شده است. نتایج مقایسه زوجی معیارها نشان می‌دهد که معیار «خطرات بهداشتی و زیست محیطی ناشی از آلودگی آب و خاک» و «خطرات بهداشتی و زیست محیطی ناشی از آلودگی هوا» از نظر ضریب اهمیت، وزن بالایی را نسبت به بقیه معیارها به خود گرفته و به‌عنوان مهمترین معیارهای تاثیرگذار بر مدیریت دفع پسماندهای جامد انتخاب شده‌اند. از سوی دیگر معیار «هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری» از نظر

برای ماتریس‌هایی که اعداد آنها کاملاً تصادفی اختیار شده باشند محاسبه شده که مقادیر آن برای ماتریس‌های n بُعدی مطابق جدول ۳ است. به عبارت دیگر در هر ماتریس، حاصل تقسیم شاخص ناسازگاری بر شاخص ماتریس تصادفی هم بُعدش، معیار مناسبی برای قضایات در مورد ناسازگاری ماتریس است که آن را میزان ناسازگاری می‌نامند. اگر نرخ سازگاری کمتر از ۰/۱ باشد نشان‌دهنده این است که

یافته‌ها

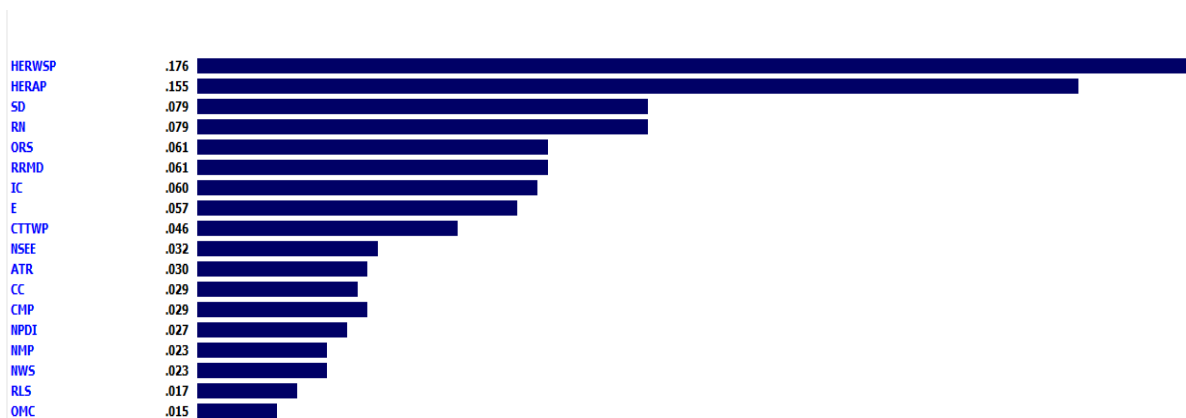
یکی از اولین و مهمترین مراحل ساخت یک تصمیم موثر برای انتخاب بهترین سناریوی مدیریت پسماند در کشور ارزیابی تجربیات فعلی است. نتایج حاصل از مطالعه ارزیابی مقایسه‌ای کاربرد زباله‌سوز و سایر روش‌های دفع پسماند در ایران با استفاده از نرم‌افزار Choice Expert-11 و با روش AHP آنالیز شد. در مدل AHP استفاده شده، برای انتخاب بهترین گزینه دفع نهایی، به انجام مقایسات زوجی گزینه‌ها نسبت به هر معیار و مقایسه وزن معیارها نسبت به هدف نهایی پرداخته شد. جدول ۴ نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها و مقایسه زوجی معیارها را نشان می‌دهد. با توجه به مقایسه زوجی معیارها و اعداد نمایش داده شده در جدول ۴، ارجحیت هر معیار نسبت به معیار دیگری نشان داده شده است. اعداد بزرگتر از ۱ نشان‌دهنده اهمیت معیار افقی نسبت به معیار عمودی است. اعداد کوچکتر از ۱ نشان‌دهنده اهمیت معیار عمودی نسبت به معیار افقی است. عدد ۱ نیز نشان‌دهنده ترجیح یکسان معیار افقی و معیار عمودی می‌باشد. ماتریس مقایسات زوجی برای سناریوهای مدیریت و دفع پسماند تشکیل شد و سناریوهای انتخاب شده برای مدیریت پسماند بر

اهمیت کمترین وزن را داشته و در بحث مدیریت و دفع پسماند به عنوان معیاری با اثرگذاری کمتر انتخاب شده است (شکل ۲). اولویت نهایی گزینه‌ها (سناریوهای انتخاب شده برای مدیریت پسماند) با توجه به تاثیر تمامی معیارها در شکل ۳ ارائه شده است. نتایج اولویت‌بندی گزینه‌ها نشان می‌دهد که سناریوی ۲ از نظر ضریب اهمیت بیشترین وزن (۰/۴۸۶) را داشته و به عنوان سناریوی برتر برای مدیریت و دفع پسماند در ایران انتخاب شده است. در حالی که سناریوی شماره ۳ (استفاده از روش زباله‌سوز) از نظر ضریب اهمیت کمترین وزن (۰/۲۵۵) را داشته و لذا به عنوان یک روش منتخب برای مدیریت پسماند در ایران پیشنهاد نمی‌گردد (شکل ۳). همچنین میزان ناسازگاری برای تمامی قضاوت‌ها برابر ۰/۱ بود که در حد قابل قبولی قرار دارد. برای درک بهتر میزان اهمیت هر گزینه نسبت به سایر گزینه‌ها از نظر معیارهای تاثیرگذار در رسیدن به هدف کلی، تحلیل حساسیت صورت گرفت. نمودار تحلیل حساسیت در شکل ۴ ارائه شده است. تحلیل حساسیت گویای این مطلب است که با توجه به وزن‌های فعلی، کدامیک از سناریوها در ارتباط با کدام معیار ضریب اهمیت بالایی داشته و نسبت به بقیه سناریوها در ارتباط با همین معیار ارجحیت بیشتری پیدا می‌کند. همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده

می‌شود، سناریوی دو در ارتباط با برخی معیارها از جمله توسعه پایدار، هزینه‌های سرمایه‌گذاری، سازگار بودن فناوری با نوع پسماند تولیدی، پاسخگو بودن به نیاز، خطرات شغلی و ایمنی، خطرات بهداشتی و زیست محیطی ناشی از آلودگی آب، خاک و هوا، ضرورت و امکان مدیریت مواد باقیمانده از فرایند دفع، راندمان و بازدهی، و نیاز به تخصص برای طراحی و اجرا، دارای وزن بالاتری بوده و در ارتباط با این معیارها ارجحیت بیشتری نسبت به بقیه سناریوها به خود اختصاص داده است. در بین این معیارهای اثرگذار، معیار «توسعه پایدار» ارجحترین معیار موثر در انتخاب سناریوی ۲ بوده است. سناریوی ۳ در ارتباط با معیارهای امکان بازیافت و استفاده مجدد از مواد و انرژی، ضرورت تفکیک زباله، نیاز به بهره‌بردار ماهر، هزینه‌های بهره‌برداری، هزینه‌های غیرمستقیم، نیاز به زمین و فضای مورد نیاز و جمع‌آوری و انتقال به محل دارای ارجحیت بالاتری نسبت به بقیه معیارها بوده است. در بین این معیارهای اثرگذار، معیار «امکان بازیافت و استفاده مجدد از مواد و انرژی» ارجح‌ترین معیار موثر در انتخاب سناریوی ۳ بوده است. در مورد سناریوی یک، تنها معیار تاثیرگذار و ارجح در انتخاب این سناریو به عنوان یک روش برتر و مناسب برای مدیریت پسماند «در دسترس بودن فناوری مورد نیاز» بود.

جدول ۵. مقایسات زوجی انجام شده و ضریب ناسازگاری

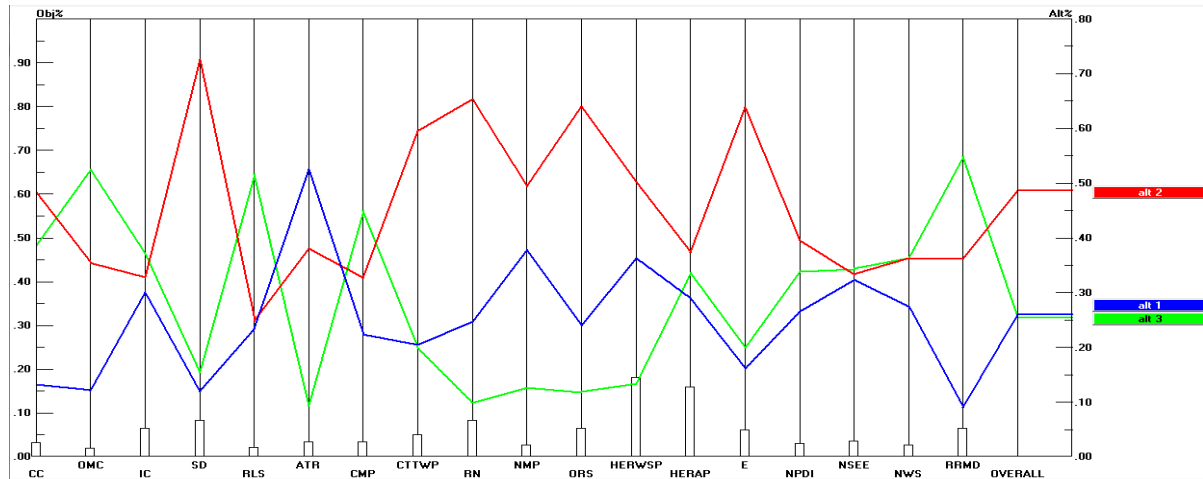
HERWSP (CR : 0.04)				HERAP (CR : 0.00)			
	alt 1	alt 2	alt 3		alt 1	alt 2	alt 3
alt 1	1	0.88	2.24	alt 1	1	0.76	0.88
alt 2	1.13	1	4.58	alt 2	1.31	1	1.09
alt 3	0.44	0.22	1	alt 3	1.13	0.92	1
IC (CR : 0.02)				CC (CR : 0.03)			
	alt 1	alt 2	alt 3		alt 1	alt 2	alt 3
alt 1	1	1.04	0.71	alt 1	1	0.23	0.41
alt 2	0.96	1	1	alt 2	4.35	1	1.04
alt 3	1.4	1	1	alt 3	2.44	0.96	1



شکل ۲. اولویت بندی معیارهای موثر بر مدیریت و دفع پسماندها با توجه به هدف تصمیم



شکل ۳. اولویت بندی سناریوها با توجه به هدف تصمیم (انتخاب بهترین روش مدیریت پسماند)



شکل ۴. اهمیت نسبی هر سناریو نسبت به سایر سناریوها از نظر معیارهای اثرگذار - (نمودار تحلیل حساسیت)

بحث

مطالعات انجام شده در مناطق مختلف کشور نشان می‌دهند که بخش عمده زباله‌های شهری تولیدی را مواد زیست تخریب پذیر و پس از آن مواد قابل بازیافت مثل کاغذ، پلاستیک، فلزات و غیره تشکیل می‌دهند (۷۰،۱۹،۲۰). این نتایج به نوعی تاییدکننده اولویت‌بندی انجام شده در این تحقیق می‌باشد. با توجه نتایج به دست آمده اولویت‌بندی سناریوهای

مورد بررسی در این مطالعه به صورت ۱- کاهش از مبدأ، بازیافت + کمپوست + دفن بهداشتی، ۲- دفن بهداشتی و ۳- کاهش از مبدأ، بازیافت + زباله‌سوز + دفن بهداشتی می‌باشد که همسو با یافته‌های برخی از مطالعات قبلی می‌باشد (۱۲،۲۱). در جدول ۶ مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج سایر مطالعات ارائه شده است.

جدول ۶. مقایسه نتایج مطالعه حاضر با سایر مطالعات دیگر

مطالعات داخلی	محل و سال تحقیق	روش‌های تصمیم گیری	بهترین روش مدیریت پسماند	رفرنس
مطالعه حاضر	۱۳۹۷	AHP	کاهش از مبدأ، بازیافت + کمپوست + دفن بهداشتی	-
عسگریان و همکاران	۱۳۹۵	AHP	روش تفکیک و دفن بهداشتی	(۲۲)
آقاجانی و همکاران	۱۳۹۵	TOPSIS	ترکیبی از روش‌های بازیافت و هضم بی‌هوازی و دفن بهداشتی به همراه تولید برق از زباله	(۲۳)
باورصادیان و همکاران	اصفهان (۱۳۹۴)	TOPSIS	کمپوست‌سازی	(۱۲)
قنبرزاده و همکاران	تهران (۱۳۹۲)	ANP GIS	MRF	(۲۴)
مطالعات خارجی				
کوبان و همکاران	ترکیه (۲۰۱۷)	TOPSIS PROMETHEE I PROMETHEE II	دفن بهداشتی + بازیافت	(۸)
آریکان و همکاران	ترکیه (۲۰۱۷)	TOPSIS FUZZY PROMETHEE	ذخیره سازی و سوزاندن	(۲۵)
لوئیس و همکاران	فیلیپین (۲۰۰۷)	MCDM	کمپوست کردن	(۲۱)

ساخت و ساز زباله‌سوزها مخالف شده است (۲۸). بنابراین بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه و همچنین مباحث فوق‌الذکر و وجود معایب و محدودیت‌های زباله‌سوز (از جمله نیاز به تخصص و دانش بالا در امر راه‌اندازی و بهره‌برداری زباله‌سوزها، وجود هزینه‌های سرمایه‌گذاری و غیره) و با عنایت به وجود زمین فراوان که در اطراف شهرها برای دفن بهداشتی زباله مناسب می‌باشند، سرمایه‌گذاری در جهت احداث کارخانه‌های زباله‌سوز، توصیه نمی‌شود (۲۵). سناریوی ۲ (کاهش از مبدأ، بازیافت + کمپوست + دفن بهداشتی) برای مدیریت پسماند در ایران مورد تاکید قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است شهرهای شمال ایران به‌ویژه استان‌های گیلان و مازندران به دلیل شرایط کاملاً متفاوت (اقلیمی، زمین، کیفیت پسماند و غیره) باید به طور جداگانه مورد بررسی و تصمیم‌گیری قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه سه سناریوی دفن بهداشتی، کاهش از مبدأ/ بازیافت + کمپوست + دفن بهداشتی و کاهش از مبدأ/ بازیافت + زباله‌سوز + دفن بهداشتی با استفاده از روش AHP جهت انتخاب بهترین روش مدیریت پسماند برای کشور ایران مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج به دست آمده سناریوی شماره ۲ (کاهش از مبدأ/ بازیافت + کمپوست) با ضریب اهمیت ۰/۴۸۶ به عنوان ارجح‌ترین گزینه برای مدیریت پسماند ایران انتخاب گردید. ضریب اهمیت سناریوهای شماره ۱ و ۳ به ترتیب برابر ۰/۲۶ و ۰/۲۵۵ به دست آمد که نشان می‌دهد از نظر متخصصین بهداشت محیط، محیط زیست و کارشناسان شهرداری‌ها استفاده از روش زباله‌سوز برای مدیریت پسماندهای ایران به عنوان آخرین اولویت می‌باشد. با توجه به تکنولوژی پیچیده،

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۶، می‌توان بیان کرد که انتخاب روش مناسب مدیریت پسماند برای شهرها و مناطق مختلف جهان بسته به شرایط اقلیمی منطقه، شرایط اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی، امکانات و تجهیزات، نوع و ترکیب پسماند، کمیت و کیفیت پسماند و فن‌آوری موجود در منطقه متفاوت است. نتایج مطالعات مختلف انجام شده در خصوص آنالیز کیفی پسماندهای تولیدی در ایران حاکی از آن است که تقریباً ۷۰-۶۰ درصد اجزای پسماندهای جامد را مواد آلی تشکیل می‌دهند (۷،۲۰) که با توجه به کیفیت پسماند تولیدی، بهره‌وری بازیافت، تولید کود از زباله به دلیل صرفه اقتصادی بالقوه آن دارای اهمیت زیادی است (۸). از طرف دیگر کمپوست کردن مواد آلی باعث کاهش انتشار گازهای آلاینده در مقایسه با روش دفن بهداشتی می‌گردد و در صورت رعایت تفکیک از مبدأ نیز باعث کاهش هزینه‌های حمل و نقل و دفن خواهد شد (۱۸). از دیگر مزیت‌های کمپوست کردن می‌توان به بهبود خصوصیات خاک (از جمله کاهش فرسایش خاک)، تامین و حفظ مواد مغذی خاک و افزایش استقرار و ماندگاری گیاه در خاک می‌باشد (۲۶). با توجه به اینکه کشور ایران در یک منطقه خشک و نیمه خشک واقع شده و خاک‌های زراعی آن معمولاً از کمبود مواد آلی رنج می‌برند، بنابراین مدیریت پسماند به روش احداث کارخانه کمپوست یک گزینه مناسب محسوب می‌شود.

لازم به توضیح است سوزاندن زباله باعث تولید تقریباً ۲۵ درصد خاکستر کف و ۵ درصد خاکستر بادی می‌شود (۲۷). بنابراین حدود یک‌سوم کل پسماند نیاز به دفن بهداشتی خواهند داشت و در حقیقت زباله‌سوز به عنوان یک گزینه دفع نهایی محسوب نمی‌گردد. همچنین در چند سال اخیر به دلیل نگرانی در مورد اثرات بالقوه زیست محیطی و بهداشتی ناشی از زباله‌سوزها، در برخی کشورها به شدت با

بومی نبودن فناوری، خطرات بالقوه زیست محیطی (آلودگی هوا)، هزینه سرمایه‌گذاری و نگهداری بسیار بالا و از همه مهمتر عدم وجود مطالعات امکان‌سنجی و ارزیابی‌های اولیه در حال حاضر استفاده از روش زباله‌سوز برای کشور (به غیر از شهرهای شمالی ایران) به هیچ وجه توصیه نمی‌شود.

محدودیت‌های مطالعه

- کمبود اطلاعات در خصوص انتخاب بهترین روش مدیریت پسماند در کشور با استفاده از روش‌های علمی مختلف برای تایید یافته‌های این مطالعه که ممکن است در افزایش اعتبار نتایج کمک کننده باشد.

پیشنهادات

دانش ما در مورد ارزیابی و انتخاب بهترین روش مدیریت پسماند در کشور، با استفاده از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری و سایر روش‌های علمی معتبر هنوز تا حد زیادی ناشناخته است و نیاز به تحقیقات بیشتر دارد. بنابراین پیشنهاد می‌گردد علاوه بر

تحقیقات بیشتر در این خصوص، موارد زیر برای ارتقاء نحوه مدیریت پسماند در کشور مد نظر قرار گیرد.
- سیاست‌های مدیریت پسماندهای شهری، بخصوص توجه به اصل کاهش از مبدأ و سرمایه‌گذاری بر روی بازیافت و کمپوست متمرکز گردد.
- اصلاح و توسعه قوانین و مقررات مدیریت پسماند کشور و همچنین چارچوب‌ها و دستورالعمل‌های جدید مدیریت منظم پسماند در کشور ایجاد گردد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از طرح تحقیقاتی با عنوان «کاربرد زباله‌سوز در مقایسه با سایر روش‌های دفع پسماند در ایران با استفاده از روش AHP» مصوب دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی تبریز در سال ۱۳۹۶ با کد رهگیری ۵۹۳۲۲ است که با حمایت مرکز تحقیقات سلامت و محیط زیست دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تبریز اجرا شده است.

References

- 1- Arena U, Mastellone ML, Perugini F. The environmental performance of alternative solid waste management options: a life cycle assessment study. *Chemical Engineering Journal*. 2003;96(1-3):207-22.
- 2- Laurent A, Clavreul J, Bernstad A, Bakas I, Niero M, Gentil E, et al. Review of LCA studies of solid waste management systems-Part II: Methodological guidance for a better practice. *Waste management*. 2014;34(3):589-606.
- 3- de Souza Melaré AV, González SM, Faceli K, Casadei V. Technologies and decision support systems to aid solid-waste management: a systematic review. *Waste management*. 2017;59:567-84.
- 4- Babalola MA. A multi-criteria decision analysis of waste treatment options for food and biodegradable waste management in Japan. *Environments*. 2015;2(4):471-88.
- 5- Vučijak B, Kurtagić SM, Silajdžić I. Multicriteria decision making in selecting best solid waste management scenario: a municipal case study from Bosnia and Herzegovina. *Journal of cleaner production*. 2016;130:166-74.
- 6- Hazra T, Goel S. Solid waste management in Kolkata, India: Practices and challenges. *Waste management*. 2009;29(1):470-78.
- 7- Hasanvand M, Nabizadeh NR, Heydari M. Municipal solid waste analysis in Iran. 2008.
- 8- Coban A, Ertis IF, Cavdaroglu NA. Municipal solid waste management via multi-criteria decision making methods: A case study in Istanbul, Turkey. *Journal of cleaner production*. 2018;180:159-67.
- 9- Opricovic S, Tzeng G-H. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European journal of operational research*. 2004;156(2):445-55.
- 10- Past V, Yaghmaeian K, Nabizadeh Nodehi R, Dehghani M, Momeni M, Naderi M. Selection of the best management method for construction and demolition waste disposal in Tehran with the view

of sustainable development based on Analytical Hierarchy Process (AHP). *Iranian Journal of Health and Environment*. 2017;10(2):259-70.

11- Soltani A, Hewage K, Reza B, Sadiq R. Multiple stakeholders in multi-criteria decision-making in the context of municipal solid waste management: a review. *Waste Management*. 2015;35:318-28.

12- Bavarsadian Ahmad, Sasan Ali, Alavi Seyed Ahmad, Reza. SA. Identification and Evaluation of Effective Criteria for Prioritizing Urban Solid Waste Management Methods with TOPSIS Approach in Isfahan Province. *First National Conference on Strategic Service Management*.; Najafabad Branch: Islamic Azad University, Najafabad Branch.; 2015.

13- Mardani A, Jusoh A, Nor K, Khalifah Z, Zakwan N, Valipour A. Multiple criteria decision-making techniques and their applications—a review of the literature from 2000 to 2014. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*. 2015;28(1):516-71.

14- Wang Y-M, Luo Y, Hua Z. On the extent analysis method for fuzzy AHP and its applications. *European journal of operational research*. 2008;186(2):735-47.

15- Pires A, Chang N-B, Martinho G. An AHP-based fuzzy interval TOPSIS assessment for sustainable expansion of the solid waste management system in Setúbal Peninsula, Portugal. *Resources, Conservation and Recycling*. 2011;56(1):7-21.

16- Bertolini M, Braglia M, Carmignani G. Application of the AHP methodology in making a proposal for a public work contract. *International Journal of Project Management*. 2006;24(5):422-30.

17- María J, Jiménez M, Joven JA, Pirla AR, Lanuza AT. A spreadsheet module for consistent consensus building in AHP-group decision making. *Group Decision and Negotiation*. 2005;14(2):89-108.

18- Hodge KL, Levis JW, DeCarolis JF, Barlaz MA. Systematic evaluation of industrial, commercial, and institutional food waste management strategies in the United States. *Environmental science & technology*. 2016;50(16):8444-52.

19- Ghayebzadeh M, Aslani H, Taghipour H, Mousavi S. Estimation of plastic waste inputs from land into the Caspian Sea: A significant unseen marine pollution. *Marine Pollution Bulletin*. 2020;151:110871.

20- Aslani H, Taghipour H, Amjad Z, Taghizadeh R, Dehghanzadeh R. Estimation of Appropriate Management Scenarios for Solid Waste Generated in Small Cities: A Case Study. *Journal of Health*. 2017;7(5):629-42.

21- Louis GE, Magpili LM, Pinto CA. Multi-criteria decision making and composting of waste in the municipality of Bacoor in the Philippines. *International Journal of Environmental Technology and Management*. 2007;7(3-4):351-68.

22- Asgarian Najafabadi SA, Ghassemzadeh HR. Prioritization of Waste Disposal Methods using Analytical Hierarchy Process. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2016;18(3):407-14.

23- Mir MA, Ghazvinei PT, Sulaiman N, Basri N, Saheri S, Mahmood N, et al. Application of TOPSIS and VIKOR improved versions in a multi criteria decision analysis to develop an optimized municipal solid waste management model. *Journal of environmental management*. 2016;166:109-15.

24- Ghanbarzadeh Lak Mehdi, Shariatmadari Nader, Sabour Mohammad Reza, Ghanatiyan-Najafabadi Reza, Mehdi. H. Developing a Technical, Environmental and Economical Evaluation Model Based on GIS and ANP to Assess Municipal Solid Waste Management Scenarios (Case Study: Tehran, Iran). *Environmental Sciences*. 2013;11(2):9-22.

25- Arıkan E, Şimşit-Kalender ZT, Vayvay Ö. Solid waste disposal methodology selection using multi-criteria decision making methods and an application in Turkey. *Journal of Cleaner Production*. 2017;142:403-12.

26- Olukanni D, Aremu D. Provisional evaluation of composting as priority option for sustainable waste management in South-West Nigeria. 2017.

27- Sharma R, Sharma M, Sharma R, Sharma V. The impact of incinerators on human health and environment. *Reviews on environmental health*. 2013;28(1):67-72.

28- Hu S-W, Shy CM. Health effects of waste incineration: a review of epidemiologic studies. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2001;51(7):1100-09.