Taghipour H & Seyed Mousavi SM. *Depiction of Health.* 2022; 13(4): 436- 452.
doi: 10.34172/doh.2022.47
https://doh.tbzmed.ac.ir

Investigating and Presenting the Optimal Alternative for Managing and Disposing Landfill Leachate in Iran Using the Analytical Hierarchy Process

Hassan Taghipour[1], **Seyedeh Maryam Seyed Mousavi**[2*]

[1] Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran

[2] Health and Environment Research Center, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran

ARTICLE INFO

Article Type:
Original Article

Article History:
Received: 25 Jul 2022
Accepted: 11 Oct 2022
ePublished: 14 Dec 2022

Keywords:
AHP,
Iran,
Landfill,
Management,
Disposal of Leachate

Abstract

Background. In most developing countries, concern about leachate pollution is serious. This study aimed to determine the best alternative for leachate management and disposal using the Analytic Hierarchy Process (AHP) method.

Methods. In this descriptive-applied research, the criteria and alternatives for leachate management and disposal were selected, including evaporation pond (natural with sunlight), recirculation/evaporation, and treatment (physical and chemical, biological/advanced). Then, three criteria and 11 sub-criteria were selected. The criteria and sub-criteria were weighted, using the Expert Choice 11 software and compared two by two to determine the relative importance of each. Then, each of the alternatives was compared and prioritized two by two in relation to the criteria and sub-criteria.

Results. The results of the study showed that the evaporation pond (natural with sunlight) was the most preferable alternative with an importance coefficient of 0.569. The alternative of recycling/evaporation and treatment (physical and chemical, biological/advanced) with an importance factor equal to 0.216 was placed in the next priority. The consistency ratio (CR) of all the paired matrices of the alternatives was equal and less than 0.1.

Conclusion. By considering the economic, technical, operating, health, and environmental criteria, the evaporation pond method (natural with sunlight) was chosen as the best method for managing and disposing landfill leachate in Iran. Therefore, it is recommended to consider the alternative of leachate management in landfills, especially considering the climatic conditions of the country (90% dry and semi-arid climate).

Taghipour H, Seyed Mousavi SM. Investigating and Presenting the Optimal Alternative for Managing and Disposing Landfill Leachate in Iran Using the Analytical Hierarchy Process. Depiction of Health.2022; 13(4): 436-452. doi: 10.34172/doh.2022.47. (Persian)

* Corresponding author; Seyedeh Maryam Seyed Mousavi, E-mail: mousavimaryam603@ymail.com

© 2022 This work is published by Depiction of Health as an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

Extended Abstract

Background

The generation of municipal solid waste (MSW) is directly related to the development of human activities in the world. Methods of recycling, composting, sanitary landfilling, and incineration are known to be used in integrated waste management, depending on the type of waste and location. Due to economic and feasibility considerations, sanitary landfilling is one of the most common methods for most countries, especially in developing countries. The production of leachate and its management is among the most important environmental concerns related to landfilling. Comprehensive evaluation to decide on the best management method and disposal of leachate is relatively difficult. In some studies, Analytic Hierarchy Process (AHP) method was used for this purpose. Given that one of the most common methods of urban waste disposal in Iran is landfilling, this study aimed to provide an optimal alternative for the management and disposal of leachate produced from landfill sites using the AHP method.

Methods

Using the AHP method, this descriptive applied study aimed to determine the best method for managing and disposing leachate produced from landfills in Iran in 2021. In this method, we selected the alternatives of evaporation pond (natural with sunlight), recirculation/evaporation and treatment (physical and chemical, biological/advanced) and three economic criteria (including two sub-criteria), technical and operational (including six sub-criteria), health and environment (including three sub-criteria). After determining the criteria and sub-criteria of each department and ensuring the correct selection, the criteria and sub-criteria of each department were carried out through designing a validation and scoring table by an expert team that included eight university professors with expertise in environmental health engineering and executive experts in the field of waste management. Then, calculation was done using the Excel software. Next, the questionnaire of paired comparisons of the criteria was compiled and provided to the expert team to weight the criteria using paired comparisons.

To prioritize different methods of management and disposal of production leachate from landfill sites, a questionnaire was prepared. In this questionnaire, different methods of management and disposal of leachate produced from landfill sites in three main criteria and 11 sub-criteria including I) evaporation pond, the natural evaporation with sunlight; II) recirculation/evaporation; and III) treatment (physical and chemical, biological/advanced) were compared. The data obtained from the analysis of the questionnaires filled by the expert team (pairwise comparison matrices) were imported into the Expert Choice 11 software to determine the weight of criteria and sub-criteria. To check consistency and inconsistency, Saati's judgment (1990) was used, which suggested the use of consistency index (CI) and consistency ratio (CR).

Results

We used the AHP to make an effective decision regarding the selection of the best alternative for leachate management and disposal. After creating a hierarchical structure, to calculate the relative weight of the criteria and sub-criteria using the AHP method, pairwise comparisons of each group were made, and the opinions of experts (including university professors and expert executive experts) were obtained through the questionnaire. The degree of inconsistency of the hierarchical matrix was equal to and less than 0.1, which was acceptable. So, there was no need to revise the judgments. The results of the Expert Choice 11 software showed that based on the summation of the opinions of the expert team, the relative weight of the health and environmental, technical and operational, and economic criteria was equal to 0.493, 0.311, and 0.196, respectively. Therefore, the health and environmental factors had the greatest impact in choosing the optimal method for managing and disposing the produced leachate from landfill sites. In the health and environmental criteria and its sub-criteria, water pollution had the greatest impact with a relative weight of 0.527. In terms of technical and operational factors, the sub-criterion of the locality of technology and required equipment with a relative weight of 0.308 had the greatest impact and the required manpower with a relative weight of 0.086 had the least impact. Regarding economic factors, the sub-

criterion of cost investment (equipment and construction) with a relative weight of 0.667 had the greatest impact. Then, we calculated and prioritized each of the alternatives. Considering the weight and effect of all criteria (economic, technical and operation, health and environmental) and the relevant sub-criteria, we witnessed that the evaporation pond alternative (natural with sunlight) with a relative weight of 0.569 had the highest final score while recycling/evaporation and treatment alternative (physical and chemical, biological/advanced) was in the next place with a score of 0.216. Sensitivity analysis was performed to determine the importance of each alternative compared to other alternatives in terms of effective criteria in achieving the overall goal of the study. The results of the sensitivity analysis showed that the evaporation pond process (natural with sunlight) had the most sensitivity to economic, technical and operational, as well as health and environmental criteria.

Conclusion

The results of the study showed that the evaporation pond option (natural with sunlight) was the most preferable alternative with an importance coefficient of 0.569. The alternatives of recycling/evaporation and treatment (physical and chemical, biological/advanced) with an importance coefficient equal to 0.216 was placed in the next priority. Among the influential criteria in choosing the best alternative, health and environmental criteria were the most important ones. Considering the climatic conditions of Iran, which is mostly considered dry and semi-arid, this method can be considered effective in leachate management and disposal.

حسن تقی‌پور و سیده مریم سید موسوی. *مجله تصویر سلامت*. ۱۴۰۱؛ ۱۳(٤): ۴۳۶- ۴۵۲.
doi: 10.34172/doh.2022.47
https://doh.tbzmed.ac.ir

بررسی و ارائه گزینه بهینه برای مدیریت و دفع شیرابه تولیدی از مراکز دفن در ایران با استفاده از روش AHP

حسن تقی‌پور[۱]، سیده مریم سید موسوی[۲*]
[۱] گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران
[۲] مرکز سلامت و محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

سابقه مقاله:
دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۳
پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۹
انتشار برخط: ۱۴۰۱/۰۹/۲۳

کلیدواژه‌ها:
AHP،
ایران،
مراکز دفن،
مدیریت و دفع شیرابه

چکیده

زمینه. در بیشتر کشورهای در حال توسعه، نگرانی در مورد آلودگی شیرابه جدی است. بنابراین این مطالعه با هدف تعیین بهترین روش مدیریت و دفع شیرابه با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) انجام گرفت.

روش کار. در این تحقیق توصیفی-کاربردی ابتدا معیارها و گزینه‌های مدیریت و دفع شیرابه شامل حوضچه تبخیر به روش طبیعی با نور آفتاب، بازچرخش/تبخیر و تصفیه به روش فیزیکی و شیمیایی، زیستی/ پیشرفته انتخاب شدند. سپس سه معیار و یازده زیر معیار انتخاب شدند. معیارها و زیر معیارها با استفاده از نرم افزار Expert Choice 11 وزن‌دهی شده و دو به دو باهم مقایسه و اهمیت هر یک از آنها مشخص گردید. سپس هر یک از گزینه‌ها در ارتباط با معیارها و زیر معیارها، دو به دو با هم مقایسه و اولویت‌بندی شدند.

یافته‌ها. نتایج مطالعه نشان داد که حوضچه تبخیر (طبیعی با نور آفتاب) با ضریب اهمیت ۰/۵۶۹ ارجحترین گزینه می‌باشد. بازچرخش/تبخیر و تصفیه (فیزیکی و شیمیایی، زیستی/ پیشرفته) با ضریب اهمیت برابر با ۰/۲۱۶ در اولویت بعدی قرار گرفت. ضریب سازگاری تمامی ماتریس‌های زوجی برابر و کمتر از ۰/۱ به دست آمد.

نتیجه‌گیری. با توجه به معیارهای اقتصادی، فنی و بهره برداری و بهداشتی و زیست محیطی، روش حوضچه تبخیر (طبیعی با نور آفتاب) به‌عنوان بهترین روش جهت مدیریت و دفع شیرابه تولیدی از مراکز دفن در ایران انتخاب شد. لذا توصیه می‌گردد به‌ویژه با توجه به شرایط اقلیمی کشور (۹۰ درصد اقلیم خشک و نیمه خشک) در انتخاب و طراحی گزینه مدیریت شیرابه در محل‌های دفن مد نظر قرار گیرد.

مقدمه

تولید پسماند جامد شهری ارتباط مستقیمی با توسعه فعالیت‌های انسانی در سطح جهان دارد، پیشرفت فناوری و رشد شهرنشینی منجر به افزایش مصرف محصولات توسط مردم شده و در نتیجه حجم پسماندهای دفعی به صورت سالانه افزایش می‌یابد. در سال ۲۰۱۹ گزارش شده است که بیش از یک میلیارد تن پسماند عادی در سراسر جهان تولید می‌شود و انتظار می‌رود این حجم تولیدی در طی سال‌های آینده افزایش یابد و در سال ۲۰۲۵ به حدود ۲/۲ میلیارد تن برسد. تولید مواد زائد جامد و مدیریت نادرست آن می‌تواند بر روی بهداشت عمومی و محیط زیست تاثیر نامطلوب بگذارد. خطرات زیست محیطی، بهداشتی، گسترش حشرات ناقل، انتشار آلاینده‌های سمی و آلودگی خاک و آب از انواع این اثرات نامطلوب می‌باشند.[۱] روش‌های بازیافت، تولید کمپوست، دفن بهداشتی و سوزاندن بسته به نوع پسماند و موقعیت جغرافیایی در مدیریت یکپارچه پسماند استفاده می‌شوند.[۲] دفن بهداشتی با توجه به ملاحظات اقتصادی و سادگی، از معمول‌ترین روش‌ها برای تمامی کشورها به ویژه کشورهای در حال توسعه است. با بررسی جهانی انجام شده در سال ۲۰۱۲ سهم محل دفن پسماند برای کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه به ترتیب ۷۰ و ۹۰ درصد تخمین زده شده است.[۳،۴] با وجود اینکه تعداد زیادی محل دفن پسماند تحت شرایط مختلف هواشناسی در سراسر جهان در حال استفاده است، تولید شیرابه و مدیریت آن به‌عنوان

* پدیدآور رابط: سیده مریم سید موسوی، آدرس ایمیل: mousavimaryam603@ymail.com

حقوق برای مؤلف(ان) محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد در تصویر سلامت تحت مجوز کریتیو کامنز CC-BY-NC (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) منتشر شده که طبق مفاد آن هرگونه استفاده غیر تجاری تنها در صورتی مجاز است که به اثر اصلی به نحو مقتضی استناد و ارجاع داده شده باشد.

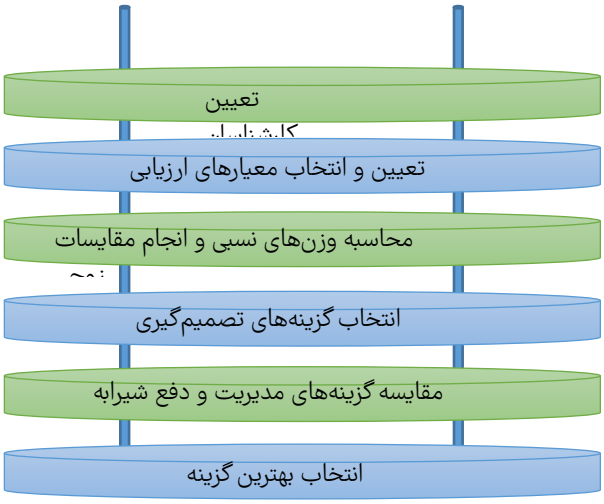
مهم‌ترین نگرانی مرتبط با محل دفن پسماند می‌باشد. شیرابه در اثر فرآیندهای مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در پسماند و تحت تاثیر فاکتورهای مختلفی از جمله بارندگی، تبخیر و تعرق، رواناب سطحی، نفوذ آب زیرزمینی، پوشش محل دفن، درجه فشردگی پسماند، پوشش گیاهی منطقه و نوع و میزان رطوبت پسماند تولید می‌شود. به‌طوری که معمولا تولید شیرابه در محل دفن پسماند حتی ۳۰-۵۰ سال پس از تعطیل شدن ادامه می‌یابد.[۵-۷] میزان تولید شیرابه در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه و مناطق متفاوت به دلیل کمیت و کیفیت مختلف پسماند متغیر است.[۸] برای به حداقل رساندن میزان شیرابه تولیدی در محل دفن از روش‌های مختلفی مانند آسترکشی و ایجاد لایه‌های ضد آب و لایه‌های پوششی برای کنترل ورود آب به محل دفن پسماند استفاده می‌شود.[۱] با این حال مقدار زیادی شیرابه در محل‌های دفن تولید می‌گردد، به‌عنوان نمونه تولید روزانه ۲۰۰۰ متر مکعب شیرابه در محل دفن شهر استانبول گزارش شده است.[۸] جهت مدیریت و دفع شیرابه معمولا روش‌های مختلفی مانند بازچرخش شیرابه Leachate (Recirculation) تصفیه (با روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی)، فرآیند تبخیر در محل دفن و فرآیندهای غشایی به کار گرفته شده است.[۹] بازچرخش شیرابه در برخی مناطق خاص با آب و هوای خشک که میزان شیرابه به طور معمول کم است به‌عنوان یک گزینه مدیریتی مقرون به صرفه پیشنهاد می‌شود. زیرا می‌تواند باعث افزایش تجزیه پسماند از طریق تنظیم رطوبت شود، با این حال از لحاظ پایداری طولانی مدت و تأثیرات زیست محیطی نیازمند تأیید می‌باشد.[۱۰] تصفیه شیرابه شامل حذف مواد آلی و نیتروژن آمونیاکی و سایر ترکیبات سمی به‌منظور تطابق با معیارهای تخلیه شیرابه به آب‌های پذیرنده است.[۱] نتایج مطالعات نشان می‌دهد که تصفیه بیولوژیکی هوازی (مانند لاگون‌ها، وتلندهای مصنوعی) و تصفیه فیزیکوشیمیایی (مانند عریان‌سازی با هوا (Air Stripping)، انعقاد، لخته-سازی) برای حذف مواد آلی مناسب هستند، اما فرآیندهای ذکر شده در تصفیه فلزات سنگین و آمونیاک محدودیت دارند. همچنین فرآیند جذب و اکسیداسیون پیشرفته (Advanced Oxidation Processes (AOP)) در تصفیه شیرابه‌های قدیمی حاوی فلزات سنگین و NH_3-N بسیار موثر هستند، در حالی که این فرآیندها به سیستم پیش تصفیه و تامین مواد شیمیایی نیاز دارند. فرآیندهای AOP می‌توانند COD (Chemical Oxygen Demand) را از شیرابه‌های با سن بالا به دلیل تخریب کامل آلاینده‌های آلی مقاوم به طور موثر حذف کنند. با این حال این فرآیندها برای شیرابه‌های با سن پایین با بار آلی زیاد، بی‌اثر می‌باشند.[۱۱] تصفیه بیولوژیکی به دلایل قابلیت اطمینان، سادگی و مقرون به صرفه بودن رایج‌ترین روش تصفیه می‌باشد، با این حال به دلیل تاثیر دمای هوا بر روند تصفیه به‌ویژه در طول فصل زمستان دارای محدودیت می‌باشد. روش تبخیر به‌ویژه در کشورهایی با شرایط آب و هوایی گرم با وجود امکان انجام تصفیه به روش طبیعی، به‌عنوان یک گزینه توجه زیادی را به خود جلب نکرده است. عواملی مختلفی مانند کند بودن نسبی روش تبخیر طبیعی و نیاز به زمین بیشتر احتمالا در این موضوع دخیل می‌باشند. با این حال این روش با تامین شرایط مناسب جهت انجام این فرآیند می‌تواند در بسیاری از کشورهایی با آب و هوای گرم به کار گرفته شود.[۱۲] انتخاب روش تصفیه به میزان هزینه سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری، نوع شیرابه و استانداردهای نظارتی بستگی دارد.[۱۱] لذا ارزیابی دقیق و جامع جهت تصمیم‌گیری درباره انتخاب بهترین روش، مدیریت و دفع شیرابه را نسبتا دشوار می‌سازد. از این رو می‌توان از روش تصمیم گیری چند معیاره ((MCDM) Multi Criteria Decision Making) برای کمک به فرآیند تصمیم‌گیری در این خصوص استفاده نمود. MCDM به دو دسته تصمیم‌گیری چند معیاره ((MADM) Multiple Attribute Decision Making) که شامل انتخاب از میان تعداد محدودی از گزینه‌ها است در حالی که تصمیم‌گیری چند هدفه ((MODM) Multiple Objective Decision Making) که جهت طراحی و برنامه‌ریزی برای به دست آوردن یک راه حل بهینه از مجموعه اهداف است تقسیم می‌شود.[۱۳،۱۴] روش تحلیل سلسله مراتبی ((AHP) Analytical Hierarchy Process) یکی از روش‌های MADM می‌باشد.[۱۳،۱۵،۱۶] این روش در برخی مطالعات جهت انتخاب مناسب‌ترین روش مدیریت و دفع شیرابه به‌کار گرفته شده است، به‌عنوان مثال در سال در کشور اردن ۲۰۱۰ مطالعه‌ای با بررسی کارآمدی مدل AHP برای تصمیم‌گیری جهت نحوه مدیریت شیرابه محل دفن نشان داده است که این مدل جهت انجام این کار مناسب بوده و گزینه تصفیه در محل دارای بالاترین رتبه و همچنین تخلیه شیرابه بدون عمل تصفیه و

تبخیر تناوبی به دلیل خطرات بالقوه سلامتی و زیست محیطی کمترین ارجحیت را داشته‌اند. با حذف معیارهای خطرات زیست محیطی و بهداشت عمومی، دفع شیرابه بدون عمل تصفیه به دلیل هزینه پایین و عدم نیاز به فناوری پیچیده ترجیح داده شده است.[17] در مطالعه ازدمیر (Özdemir) و همکاران در کشور ترکیه (۲۰۲۰) روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای (Analytic Network Process (ANP)) برای انتخاب بهترین فرآیند مدیریت و دفع شیرابه ناشی از پسماند جامد شهری مورد استفاده قرار گرفت و گزینه‌های مختلف بازچرخش مجدد شیرابه به محل دفن پسماند، تصفیه ترکیبی با فاضلاب شهری، تصفیه متوالی بی‌هوازی و هوازی و تصفیه پیشرفته بر پایه فرآیندهای غشایی مورد بررسی قرار گرفت. این مطالعه تصفیه ترکیبی با فاضلاب شهری را به‌عنوان گزینه برتر پیشنهاد نموده است.[18] ژانگ(Zhang) و همکاران در پژوهش خود به ارزیابی زیست محیطی و اقتصادی فناوری‌های تصفیه بیشتر شیرابه تغلیظ شده ناشی از فرآیند غشایی NF/RO با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی پرداختند، نتایج پژوهش نشان داد که فرآیند (Submerged Combustion (SCE) Evaporation) مقرون به صرفه‌ترین و بادوام‌ترین فرآیند برای سیستم تصفیه شیرابه تغلیظ شده است که مبتنی بر انتقال مستقیم حرارت با گاز داغ از جریان مایع عبوری می‌باشد و فرآیند (Mechanical Vapor (MVR) Recompression) برای تبخیر شیرابه خام مناسب‌تر است که مبتنی بر انتقال غیر مستقیم حرارت با گاز داغ از جریان مایع عبوری می‌باشد.[19]

در بیشتر کشورهای در حال توسعه، نگرانی در مورد آلودگی شیرابه به صورت جدی بوده و تعداد زیادی از تأسیسات مدیریت MSW و محل دفن پسماند مجهز به سیستم‌های جمع‌آوری و تصفیه شیرابه نیستند و همچنین این سایت‌ها معمولا به‌طور نامناسب و در نزدیکی محل سکونت انسان‌ها واقع شده و به واسطه نفوذ شیرابه از محل دفن پسماند، آب‌های زیرزمینی واقع در نزدیکی محل‌های دفن پسماند را در معرض آلودگی قرار می دهند.[5, 20] در کشور ایران نیز یکی از متداولترین روش‌های دفع پسماند شهری، دفن (بهداشتی، غیر بهداشتی و تلنبار) می‌باشد که مهمترین ایراد این روش تولید شیرابه است که حاوی مقادیر زیادی از ماده آلی تجزیه‌پذیر بیوژیکی و مقاوم به تجزیه بیولوژیکی (مانند آمونیاک و نیتروژن، فلزات سنگین) می‌باشد که در صورت نفوذ به لایه‌های زیرین خاک و آب‌های زیرزمینی می‌تواند خسارات بهداشتی و زیست‌محیطی جبران‌ناپذیری را به وجود آورد. لذا مدیریت و دفع صحیح شیرابه‌ها و به تبع آن انتخاب مناسب‌ترین گزینه مدیریت و دفع شیرابه یک ضرروت می‌باشد. لازم به توضیح می‌باشد که در انتخاب گزینه مناسب باید وضعیت اقتصادی، فنی و اجرایی، شرایط اقلیمی و کمیت و کیفیت شیرابه تولیدی مد نظر قرار گیرد. بنابراین این مطالعه با هدف ارائه گزینه بهینه برای مدیریت و دفع شیرابه تولیدی از مراکز دفن در ایران با استفاده از روش AHP انجام گرفت.

روش کار

این مطالعه به صورت توصیفی- کاربردی در سال ۱۴۰۰ با هدف انتخاب بهترین روش جهت مدیریت و دفع شیرابه تولیدی از مراکز دفن در ایران بر اساس روش AHP انجام گرفت. مراحل کلی چارچوب تصمیم‌گیری در روش AHP در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. مراتب کلی چارچوب تصمیم گیری

در این مطالعه ابتدا براساس مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی متون روش‌های مختلف مدیریت و دفع شیرابه توسط تیم پژوهش و کارشناسان خبره مورد بررسی قرار گرفت. همچنین با در نظرگرفتن عوامل موثر در انتخاب گزینه‌های تصمیم‌گیری از جمله کمیت و کیفیت شیرابه تولیدی، امکانات و تجهیزات، فناوری موجود، شرایط آب و هوایی در ایران، مزایا و معایب روش‌های مختلف تصفیه و

دفع شیرابه، سه گزینه حوضچه تبخیر (طبیعی با نور آفتاب)، بازچرخش/تبخیر و تصفیه (فیزیکی و شیمیایی، زیستی/ پیشرفته) انتخاب و معرفی شد.

سپس با بررسی منابع علمی و مطالعات انجام شده و همچنین با مشورت تیم پژوهش پارامترهای تأثیرگذار در انتخاب روش مدیریت و دفع شیرابه تولیدی از مراکز دفن شناسایی و در سه معیار اقتصادی، فنی و بهره‌برداری و بهداشتی و زیست محیطی طبقه‌بندی شدند. هر معیار به‌ترتیب شامل دو، شش و سه زیر معیار بودند. سپس برای اطمینان از انتخاب درست معیارها و زیر معیارهای هر بخش، جدول اعتبار سنجی طراحی و در اختیار تیم خبرگان منتخب (شامل ۸ نفر از اساتید دانشگاه با تخصص مهندسی بهداشت محیط و کارشناسان اجرایی متخصص در زمینه مدیریت پسماند) قرار داده شد تا این فاکتورها از نظر ضرورت، شفافیت، حساس بودن، قابلیت سنجش، مرتبط بودن و سادگی انجام، ارزش‌گذاری شوند و پس از آن نظرات تیم خبرگان را جمع بندی نموده و با استفاده از نرم افزار Excel امتیاز هر معیار محاسبه شد و با توجه به عدم وجود معیارهای کم اهمیت معیاری حذف نگردید و هر سه معیار و یازده زیر معیار منتخب اولیه تایید و نهایی شدند (جدول ۱).

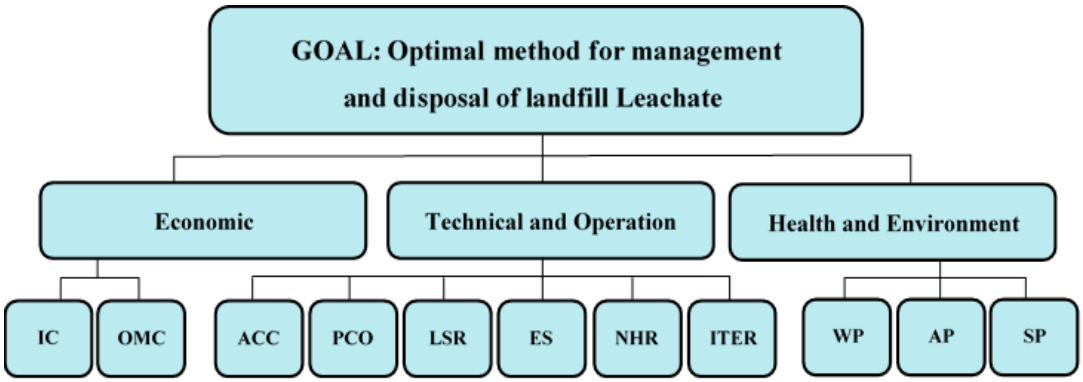
جدول ۱. معیارها و زیر معیارهای موثر بر انتخاب گزینه بهینه جهت تصفیه و دفع شیرابه تولیدی از مراکز دفن بر اساس روش AHP

معیار	زیر معیار	علامت اختصاری	ترجمه لاتین
اقتصادی	هزینه‌های سرمایه‌گذاری (تجهیزات و ساخت)	IC	Investment costs (equipment and construction)
	هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری	OMC	Operating and maintenance costs
فنی و بهره برداری	مناسب بودن با شرایط اقلیم	ACC	Adaptability to climatic conditions
	امکان احداث و بهره برداری	PCO	Possibility of construction and operation
	زمین و فضای مورد نیاز	LSR	Land and space required
	ایمنی کارکنان	ES	Employee safety
	نیروی انسانی مورد نیاز	NHR	needed human resources
	بومی بودن فناوری و تجهیزات مورد نیاز	ITER	Indigenous technology and equipment required
بهداشتی و زیست محیطی	آلودگی آب	WP	water pollution
	آلودگی هوا	AP	air pollution
	آلودگی خاک	SP	Soil pollution

پس از تعیین معیارها و زیر معیارهای هر بخش، پرسشنامه مقایسات زوجی معیارها تدوین و در اختیار تیم خبرگان قرارگرفت تا وزن‌دهی معیارها با استفاده از مقایسات زوجی انجام گردد.

سپس جهت اولویت‌بندی روش‌های مختلف مدیریت و دفع شیرابه تولیدی از مراکز دفن پرسشنامه‌ای تهیه شد. در این پرسش‌نامه روش‌های مختلف مدیریت و دفع شیرابه تولیدی از مراکز دفن (شامل حوضچه تبخیر (طبیعی با نور آفتاب)، بازچرخش/تبخیر و تصفیه (فیزیکی و شیمیایی، زیستی/ پیشرفته) در سه معیار اصلی و یازده زیر معیار با هم مقایسه شده و براساس امتیازات داده شده به هر روش، با استفاده از نرم افزار Expert Choice 11 اولویت‌بندی شدند.

نمایش گرافیکی از ساختار سلسله مراتبی در ارائه روش بهینه برای مدیریت و دفع شیرابه تولیدی از مراکز دفن در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. ساختار سلسله‌مراتبی فرایند تصمیم‌گیری

در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی تصمیم‌گیری از بالا به پایین از هدف تا معیارها و زیر معیارها وگزینه‌های نهایی، ماتریس مقایسات زوجی بر اساس قضاوت تصمیم گیرنده شکل می‌گیرد و عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوطه خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و با تلفیق وزن‌های نسبی، وزن نهایی آن‌ها محاسبه می‌گردد. ماتریس مقایسات زوجی در رابطه شماره ۱ نشان داده شده است.

$$A=\begin{bmatrix} 1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & 1 & \dots & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

رابطه شماره ۱

که در آن w_1 وزن عنصر ۱، w_2 وزن عنصر ۲ و w_n وزن عنصر n است. در جدول ۲ اهمیت نسبی دو عنصر را نشان می‌دهد که برای پرکردن ماتریس مقایسات زوجی از اعداد استفاده می‌شود تا اهمیت نسبی هر عنصر نسبت به عناصر دیگر در رابطه با آن خصوصیت مشخص شود که در قالب جدول ارجحیت ۹ تایی ساعتی رتبه بندی شده است (جدول ۲).[۱۳]

جدول ۲. مقادیر ترجیحات برای مقایسه زوجی برای انتخاب روش مناسب تصفیه و دفع شیرابه بر اساس تحلیل سلسله مراتبی

امتیاز	ارجحیت	توضیح
۱	اهمیت برابر	دو فعالیت به طور مساوی به هدف کمک می‌کنند.
۲	اهمیت ضعیف	-
۳	اهمیت متوسط	تجربه و قضاوت به میزان کم یک فعالیت را بر دیگری ترجیح می‌دهد.
۴	اهمیت بیشتر از متوسط	-
۵	اهمیت قوی	تجربه و قضاوت به شدت یک فعالیت را بر دیگری ترجیح می‌دهد.
۶	اهمیت بیشتر از قوی	-
۷	اهمیت بسیار بسیار قوی	یک فعالیت به شدت بر فعالیت دیگر ترجیح داده می شود؛ تسلط آن در عمل نشان داده شده است.
۸	اهمیت فوق‌العاده قوی	-
۹	اهمیت فوق‌العاده قوی (افراطی)	شواهدی که یک فعالیت را بر فعالیت دیگر ترجیح می‌دهد از بالاترین درجه تأیید ممکن است.

ماتریس مقایسه زوجی می‌تواند سازگار و یا ناسازگار باشد. در ماتریس سازگار با نرمالیزه کردن عناصر هر ستون وزن w_1 محاسبه می‌شود. اما در حالت ماتریس ناسازگار با استفاده از چهار روش عمده شامل روش حداقل مربعات، روش حداقل مربعات لگاریتمی، روش بردار ویژه و روش‌های تقریبی محاسبه وزن انجام می‌شود و وزن نهایی هر گزینه از مجموع حاصل ضرب اهمیت معیارها در وزن گزینه‌ها به دست می‌آید.[۲۱]

برای محاسبه وزن نسبی (اهمیت نسبی) عناصر در هر ماتریس مقایسه زوجی از روش بردار ویژه استفاده شده است که رابطه شماره ۲ وزن نسبی ماتریس A را نشان می‌دهد.[۲۲]

رابطه شماره ۲

$$AW = \lambda_{max} \times$$

λ_{max} بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس A

A ماتریس مقایسه زوجی معیارها،

W بردار ویژه (حاصل از تقریب میانگین هندسی)

داده‌های به دست آمده از تجزیه‌وتحلیل پرسشنامه‌های تکمیل شده توسط تیم خبرگان (ماتریس‌های مقایسه زوجی) جهت تعیین وزن معیارها و زیر معیارها و همچنین آنالیز تحلیل حساسیت جهت تعیین میزان اهمیت هر گزینه نسبت به سایر گزینه‌ها از نظر معیارها و زیر معیارهای تاثیرگذار در رسیدن به هدف کلی مطالعه به نرم افزار Expert Choice 11 وارد شد که این نرم افزار توانایی دریافت داده‌ها به صورت کمی و کیفی را دارا می‌باشد. صورت گرفت.

جهت بررسی سازگاری و ناسازگاری قضاوت انجام شده توسط AHP، آقای ساعتی (۱۹۹۰) استفاده از شاخص سازگاری (Consistency Index (CI)) و ضریب سازگاری (Consistency Ratio (CR)) را پیشنهاد کرده است که طبق رابطه‌های شماره ۳و ۴ تعیین می‌شود.

رابطه شماره ۳

$$CI = (\lambda_{\max} - n)/(n-1)$$

رابطه شماره ۴

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

RI شاخص ناسازگاری تصادفی ماتریس ساعتی را برای ابعاد مختلف ماتریس (n) نشان می‌دهد که در جدول ۳ تهیه شده است. اگر مقدار CR کمتر یا برابر۰/۱ باشد، مقایسه‌های انجام شده توسط تصمیم‌گیرنده قابل قبول در نظر گرفته می‌شود. مقادیر بزرگ‌تر CR نیاز به تجدید نظر در قضاوت‌های تصمیم‌گیرنده دارد.[۱۳،۲۳]

جدول ۳. شاخص ناسازگاری تصادفی ماتریس ساعتی را برای ابعاد مختلف ماتریس (n)

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
RI	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹	۱/۵۱	۱/۴۸	۱/۵۶	۱/۵۷	۱/۵۹

یافته‌ها

در این مطالعه جهت تصمیم‌گیری موثر در خصوص انتخاب گزینه برتر مدیریت و دفع شیرابه از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده گردید. میزان ناسازگاری ماتریس سلسله مراتبی برابر و کمتر از ۰/۱ تعیین گردید که قابل قبول بود و نیازی به تجدید نظر در قضاوت‌ها نبود. در جدول ۴ نتایج وزن نسبی محاسبه شده هر معیار و زیر معیارهای آن توسط نرم افزار Expert Choice 11 ارائه شده است. نتایج نشان داد که براساس جمع بندی نظرات تیم خبرگان، وزن نسبی معیار بهداشتی و زیست محیطی، فنی و بهره‌برداری و اقتصادی به ترتیب برابر با ۰/۴۹۳، ۰/۳۱۱ و ۰/۱۹۶ بدست آمد. بنابراین معیار بهداشتی و زیست محیطی بیشترین تاثیر را در انتخاب روش بهینه برای مدیریت و دفع شیرابه تولیدی از مراکز دفن داشته است. در معیار بهداشتی و زیست محیطی و زیر معیارهای آن، آلودگی آب با وزن نسبی ۰/۵۲۷ در مقایسه با آلودگی هوا بیش از سه برابر و در مقایسه با آلودگی خاک بیش از یک و نیم برابر بیشترین تأثیر را داشته است. وزن نسبی معیار فنی و بهره برداری ۰/۳۱۱ بوده و زیر معیار بومی بودن فناوری و تجهیزات مورد نیاز با وزن نسبی ۰/۳۰۸ بیشترین تاثیر و نیروی انسانی مورد نیاز با وزن نسبی ۰/۰۸۶ کمترین تأثیر را روی این معیار داشت. وزن نسبی معیار اقتصادی ۰/۱۹۶ بوده و زیر معیار هزینه‌های سرمایه‌گذاری (تجهیزات و ساخت) با وزن نسبی ۰/۶۶۷ بیشترین تأثیر را روی این معیار داشت.

جدول ۴. اولویت‌بندی معیارها و زیرمعیارها با توجه به هدف ارائه روش بهینه برای تصفیه و دفع شیرابه تولیدی از مراکز دفن

معیارها	ارزش وزنی	اولویت معیارها	نرخ سازگاری کلی*	زیر معیارها	ارزش وزنی	اولویت‌های زیر معیارهای مربوط به هر معیار	نرخ سازگاری زیر معیارها *
اقتصادی	۰/۱۹۶	۳	۰/۰۹	IC	۰/۶۶۷	۱	۰/۰۰
				OMC	۰/۳۳۳	۲	
				ACC	۰/۱۷۷	۳	
فنی و بهره برداری	۰/۳۱۱	۲	۰/۰۹	PCO	۰/۲۳۹	۲	۰/۱۰
				LSR	۰/۰۹۵	٤	
				ES	۰/۰۹۵	٤	
				NHR	۰/۰۸۶	۵	
بهداشتی و زیست محیطی	۰/٤۹۳	۱	۰/۰۶	ITER	۰/۳۰۸	۱	۰/۰۵
				WP	۰/۵۲۷	۱	
				AP	۰/۱٤۰	۳	
				SP	۰/۳۳۳	۲	

Consistency Ratio :CR

همان‌طور که در بخش روش کار ذکر گردید، سیستم‌های حوضچه تبخیر (طبیعی با نور آفتاب)، بازچرخش/تبخیر و تصفیه (فیزیکی و شیمیایی، زیستی/ پیشرفته) جهت مقایسه و اولویت‌بندی نهایی برای مدیریت و دفع شیرابه در کشور در نظر گرفته شد. اولویت‌بندی نهایی گزینه‌ها با توجه به تاثیر تمامی معیارها و زیر معیارها در جدول ۵ ارائه شده است. ماتریس مقایسات زوجی و ضریب سازگاری آن‌ها در جدول ۶ ارائه شده است. میزان ضریب سازگاری کلی برابر و کمتر از ۰/۱ بود که قابل قبول بود. به دلیل تعداد زیاد ماتریس‌ها چند نمونه از آن‌ها برای نشان دادن نحوه‌ی امتیاز دهی نشان داده شده است.

با در نظرگرفتن زیر معیارهایی که فقط برای معیار بهداشتی و زیست محیطی در نظر گرفته شده است حوضچه تبخیر (طبیعی با نور آفتاب) با وزن نسبی ۰/۵۲۷ بالاترین امتیاز را در این معیار به دست آورده و تصفیه (فیزیکی و شیمیایی، زیستی/ پیشرفته) و بازچرخش/تبخیر به ترتیب با امتیاز برابر با ۰/۲۶۸ و ۰/۲۰۵ در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند. همچنین حوضچه تبخیر (طبیعی با نور آفتاب) با امتیاز ۰/۶۳۶ مجددا بالاترین امتیاز را در معیار فنی و بهره‌برداری به دست آورده و بازچرخش/تبخیر، تصفیه (فیزیکی و شیمیایی، زیستی/ پیشرفته) به ترتیب با امتیازهای ۰/۲۰۵ و ۰/۱۵۹ در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. همان طور که در جدول ۵ مشاهده می‌گردد حوضچه تبخیر (طبیعی با نور آفتاب) با امتیاز ۰/۵۹۲ بالاترین امتیاز را در معیار اقتصادی به دست آورده و سپس بازچرخش/تبخیر، تصفیه (فیزیکی و شیمیایی، زیستی/ پیشرفته) به ترتیب با امتیازهای ۰/۲۶۱ و ۰/۱۴۷ در رتبه‌های بعدی بودند.

جدول ۵. اولویت‌بندی گزینه‌ها با توجه به معیارها جهت دستیابی به هدف مطالعه

معیارها	گزینه‌ها	ارزش وزنی	اولویت گزینه‌ها	نرخ سازگاری کلی*
اقتصادی	حوضچه تبخیر (طبیعی با نور آفتاب)	۰/۵۹۲	۱	۰/۰۹
	بازچرخش/تبخیر	۰/۲۶۱	۲	
	تصفیه (فیزیکی و شیمیایی، زیستی/ پیشرفته)	۰/۱٤۷	۳	
فنی و بهره برداری	حوضچه تبخیر (طبیعی با نور آفتاب)	۰/۶۳۶	۱	۰/۰۹
	بازچرخش/تبخیر	۰/۲۰۵	۲	
	تصفیه (فیزیکی و شیمیایی، زیستی/ پیشرفته)	۰/۱۵۹	۳	
بهداشتی و زیست محیطی	حوضچه تبخیر (طبیعی با نور آفتاب)	۰/۵۲۷	۱	۰/۰۶
	بازچرخش/تبخیر	۰/۲۰۵	۳	
	تصفیه (فیزیکی و شیمیایی، زیستی/ پیشرفته)	۰/۲۶۸	۲	

Consistency Ratio :CR

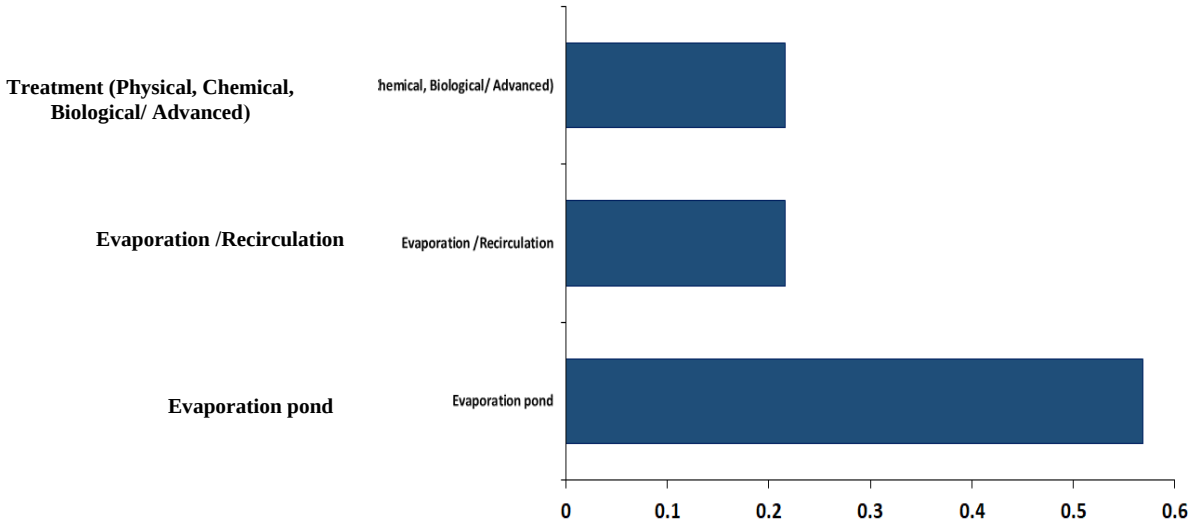
جدول ۶. مقایسات زوجی انجام شده و ضریب سازگاری

Technical and Operation (CR: 0.10)						
	ACC	PCO	LSR	ES	NHR	ITER
ACC	1	2.0	2/0	1.0	1.0	2.0
PCO		1	2.0	3.0	2.0	2.0
LSR			1	1.0	2.0	5.0
ES				1	1.0	3.0
NHR					1	5.0
ITER						1

Health and Environmental (CR: 0.05)			
	WP	AP	SP
WP	1	3.0	2.0
AP		1	3.0
SP			1

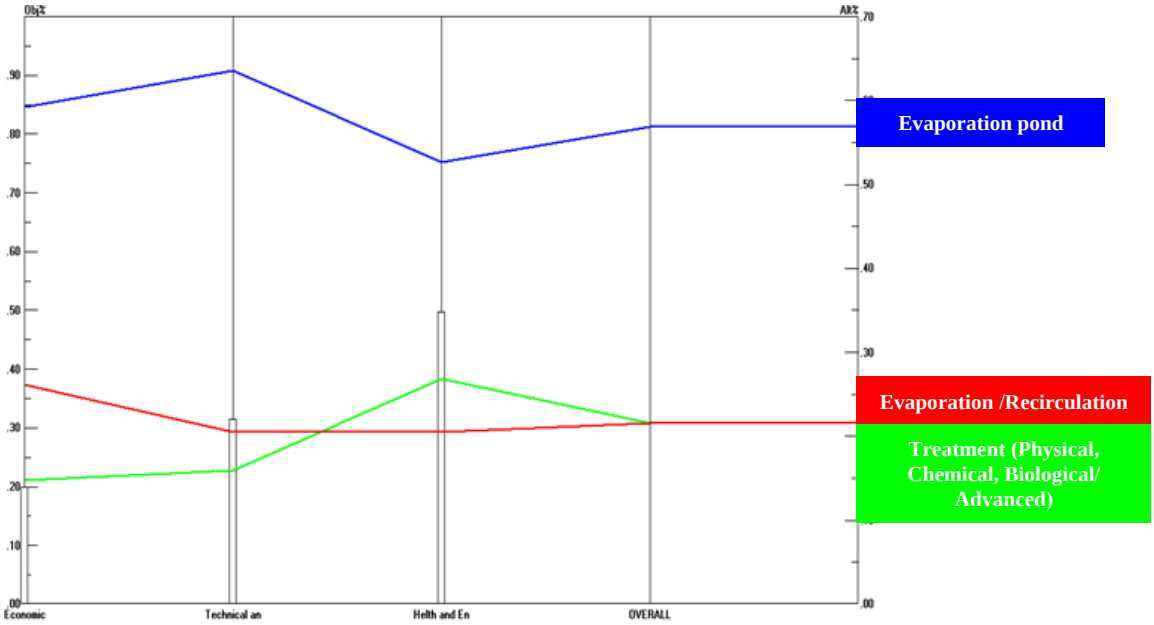
Economic (CR: 0.00)		
	IC	OMC
IC	1	2.0
OMC		1

نتیجه محاسبات نهایی و اولویت‌بندی هر یک از گزینه‌ها با لحاظ‌کردن وزن و اثر تمامی معیارها (اقتصادی، فنی و بهره برداری و بهداشتی و زیست محیطی) و زیر معیارهای مربوطه (جدول ۱) در نمودارهای شماره ۱ ارائه شده است. همانطورکه مشاهده می‌شود، گزینه حوضچه تبخیر (طبیعی با نور آفتاب) با ۰/۵۶۹ بیشترین امتیاز نهایی را در نهایت به خود اختصاص داده و گزینه بازچرخش/تبخیر و تصفیه (فیزیکی و شیمیایی، زیستی/ پیشرفته) با امتیاز ۰/۲۱۶ در رتبه بعدی و اولویت دوم قرار می‌گیرد.



نمودار ۱. اولویت‌بندی گزینه‌ها براساس تحیلی سلسله مراتبی با توجه به هدف تصمیم

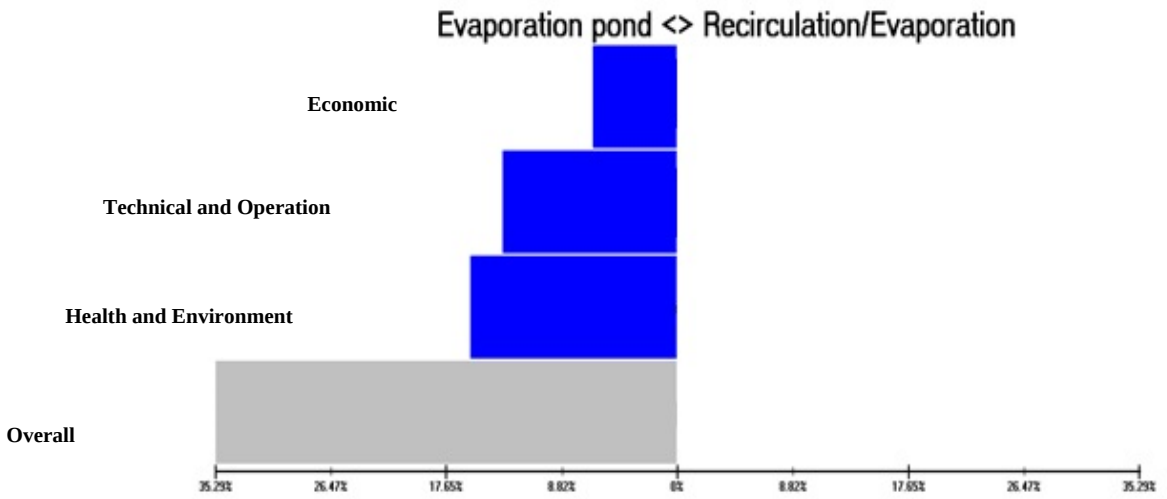
جهت تعیین میزان اهمیت هرگزینه نسبت به سایر گزینه‌ها از نظر معیارهای تاثیرگذار در رسیدن به هدف کلی مطالعه آنالیز تحلیل حساسیت صورت گرفت. نتایج تحلیل حساسیت براساس کارآیی سیستم و رتبه بندی گزینه‌های مختلف مدیریت و دفع شیرابه در ارتباط با معیارها در نمودار ۲ ارائه شده است. هدف از انجام تحلیل حساسیت این است که با توجه به ارزش‌های فعلی گزینه‌ها و معیارها، کدامیک از گزینه‌ها در ارتباط با کدام معیار ارزش وزنی بالایی داشته و نسبت به بقیه گزینه‌ها در ارتباط با همین معیار ارجحیت بیشتری پیدا می‌کند. همانطورکه مشاهده می‌شود، فرآیند حوضچه تبخیر (طبیعی با نور آفتاب) بیشترین حساسیت را نسبت به معیارهای اقتصادی، فنی و بهره برداری و بهداشتی و زیست محیطی دارد یا به عبارتی دیگر فرآیند حوضچه تبخیر (طبیعی با نور آفتاب) دارای وزن بالاتری بوده و در ارتباط با این معیارها ارجحیت بیشتری نسبت به بقیه گزینه‌ها به خود اختصاص داده است.



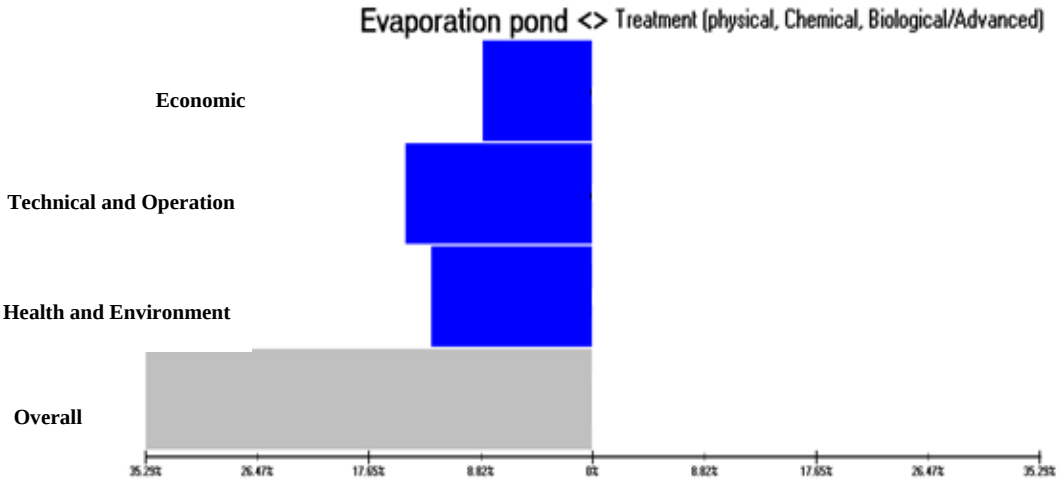
Economic **Technical and Operation** **Health and Environment** **Overall**

نمودار ۲. تحلیل حساسیت براساس کارآیی سیستم و رتبه بندی گزینه‌های مختلف تصفیه در ارتباط با معیارها

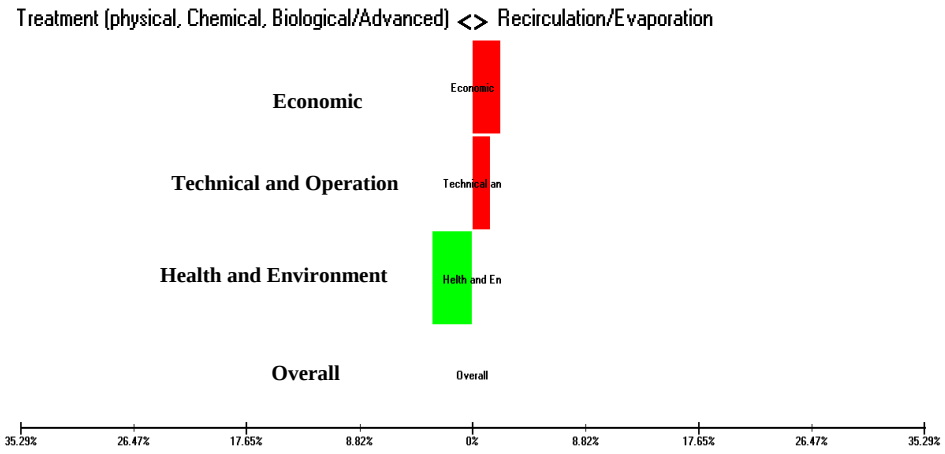
تحلیل حساسیت سر به سری گزینه‌های حوضچه تبخیر (طبیعی با نور آفتاب)، بازچرخش/تبخیر و تصفیه (فیزیکی و شیمیایی، زیستی/ پیشرفته) نسبت به هدف کلی در نمودارهای ۳ تا ۵ ارائه شده است. همانطورکه در نمودار ۳ مشاهده می‌شود و در مقایسه بین فرآیندهای حوضچه تبخیر (طبیعی با نور آفتاب) و بازچرخش/تبخیر، در فرآیند حوضچه تبخیر (طبیعی با نور آفتاب) هر سه معیار انتخابی با تخصیص بیشترین وزن‌ها به خود، مؤثرترین معیارها در انتخاب این فرآیند بوده‌اند. معیار بهداشتی و زیست محیطی با امتیاز حدود ۱۵ درصد بیشترین تاثیر را در مقایسه با سایر معیارها داشته است. نتایج نمودار ٤ در مقایسه بین فرآیندهای حوضچه تبخیر (طبیعی با نور آفتاب) و تصفیه (فیزیکی و شیمیایی، زیستی/ پیشرفته) نشان می‌دهد که در فرآیند حوضچه تبخیر (طبیعی با نور آفتاب) هر سه معیار انتخابی با تخصیص بیشترین وزن‌ها به خود، مؤثرترین معیارها در انتخاب این فرآیند بوده‌اند و معیار فنی و بهره‌برداری با امتیاز حدود ١٤ درصد بیشترین تاثیر را در مقایسه با سایر معیارها داشته است ولی مقایسه بین فرآیندهای تصفیه (فیزیکی و شیمیایی، زیستی/ پیشرفته) و بازچرخش/تبخیر که در نمودار ۵ ارائه شده است نشان می‌دهد که در تصفیه (فیزیکی و شیمیایی، زیستی/ پیشرفته) معیار بهداشتی و زیست محیطی بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است و به عنوان مؤثرترین معیار در انتخاب این فرآیند بوده است و در فرآیند بازچرخش/تبخیر از نظر اقتصادی و فنی و بهره برداری بیشترین وزن را به دست آورده است.



نمودار ۳. تحلیل حساسیت سر به سری گزینه‌های حوضچه تبخیر (طبیعی با نور آفتاب)، بازچرخش/تبخیر نسبت به هدف کلی



نمودار ۴. تحلیل حساسیت سر به سری گزینه‌های حوضچه تبخیر (طبیعی با نور آفتاب)، تصفیه (فیزیکی و شیمیایی، زیستی/ پیشرفته) نسبت به هدف کلی



نمودار ۵. تحلیل حساسیت سر به سری گزینه‌های تصفیه (فیزیکی و شیمیایی، زیستی/ پیشرفته)، بازچرخش/ تبخیر نسبت به هدف کلی

بحث

شیرابه ناشی از پسماند جامد شهری یک پساب مایع بسیار آلوده است و همچنین دارای ماهیت پیچیده است که قبل از تخلیه در محیط باید به درستی تصفیه شود. گزینه‌های مختلفی برای مدیریت و دفع شیرابه وجود دارد.[۱۸] مطالعات مختلفی در زمینه مدیریت و دفع شیرابه ناشی از مراکز دفن در پنج دهه گذشته انجام شده است. روش‌های مدیریت و دفع شیرابه را می‌توان به عنوان روش‌های مرسوم (حوضچه تبخیر، بازچرخش مجدد به محل‌های دفن پسماند، انتقال به تاسیسات تصفیه خانه فاضلاب) و روش‌های تصفیه (بیولوژیکی، فیزیکی - شیمیایی و شیمیایی) طبقه‌بندی کرد.[۹،۲۴] در این مطالعه هر دو روش مرسوم و تصفیه مد نظر قرار گرفته است که به نوعی تایید کننده انتخاب درست گزینه‌های مورد مطالعه در این تحقیق می‌باشد. در مطالعه حاضر در بین گزینه‌های مقایسه شده فرآیند حوضچه تبخیر (طبیعی با نور آفتاب) بیشترین امتیاز نهایی را با لحاظ‌کردن وزن و اثر تمامی معیارها و زیر معیارهای مختلف کسب نمود. فرآیند بازچرخش/تبخیر در اولویت دوم و فرآیند تصفیه (فیزیکی و شیمیایی، زیستی/ پیشرفته) در اولویت آخر قرار گرفتند. در مطالعه‌ای که در کشور ترکیه با استفاده از روش ANP برای انتخاب بهترین فرآیند مدیریت و دفع شیرابه ناشی از پسماند جامد شهری مورد استفاده قرار گرفته است، تصفیه ترکیبی با فاضلاب شهری را به عنوان گزینه برتر پیشنهاد نموده است.[۱۸] نتایج این مطالعه با نتایج مطالعه ما هم‌خوانی ندارد. در این خصوص لازم به توضیح می‌باشد که با وجود راحت و ارزان بودن این روش، افزودن شیرابه حاوی غلظت‌های بالای ((Dissolved Organic Matter (DOM به طور قابل توجهی بر اثربخشی فرآیندهای تصفیه پایین دست تأثیرگذار بوده و نیز ترکیبات آلی مقاوم در برابر تجزیه بیولوژیکی مورد تصفیه قرار نگرفته و از طرفی می‌توانند با فرآیند گندزدایی با پرتو UV اختلال ایجاد نمایند.[۲۴] علاوه بر موارد ذکر شده شیرابه نیازمند پیش تصفیه در محل خواهد بود تا استانداردهای تخلیه را برآورده کند که هزینه زیادی را متحمل می‌شود.[۲۵]

همچنین در انتخاب روش مناسب جهت مدیریت شیرابه شرایط اقلیمی منطقه، شرایط اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی، امکانات و تجهیزات، هزینه‌های سرمایه‌گذاری و نگهداری و بهره‌برداری نوع و ترکیب پسماند، کمیت و کیفیت شیرابه تولیدی و فنآوری موجود در منطقه بسیار موثر می‌باشند.[۹] به‌طوری که در مطالعه‌ای که با استفاده از روش AHP جهت انتخاب گزینه مناسب تصفیه شیرابه ناشی از مزارع میوه و تره بار با در نظرگرفتن اهمیت پارامتر مدت زمان تصفیه در ایران انجام شده است، روش‌های تصفیه بیولوژیکی جهت مواقعی که مدت زمان تصفیه اهمیت کمتری داشت و روش‌های شیمیایی به‌ویژه دو روش (ازن + GAC، ازن + H_2O_2) جهت مواقعی که مدت زمان تصفیه دارای اهمیت زیادی بود نسبت به سایر روش‌ها بهتر عمل نمودند. [۲۶] لذا با توجه شرایط اقلیمی ایران (گرم و خشک بودن، روزهای آفتابی فراوان و تبخیر سالانه بسیار بالا در بیشتر مناطق کشور)، شرایط اقتصادی، فنی و اجرایی، بهره برداری و وجود اراضی ارزان و در دسترس، آنالیز و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار Expert Choice 11 نشان داد که گزینه حوضچه تبخیر (طبیعی با نور آفتاب) از بالاترین اولویت برخوردار می‌باشد. از مهمترین مزیت‌های فرآیند تبخیر عدم نیاز به تامین انرژی اضافی، کاهش حجم شیرابه تا ۹۰ درصد، ساخت ساده حوضچه‌های تبخیر به دلیل نیاز به قطعات مکانیکی کمتر می‌باشد. همچنین سازگاری با مناطق خشک یا نیمه خشک (منطبق برای بیشتر مناطق اقلیمی ایران) برای مدیریت شیرابه استفاده می‌شود.[۲۷] با این حال در ایران چهار روش ۱) فیزیکوشیمیایی ۲) ترکیبی از روش‌های فیزیکی، فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی ۳) بیولوژیکی ۴) فیزیکی معمولاً برای مدیریت و دفع شیرابه ناشی از مراکز دفن پسماند استفاده می‌شود. البته به دلیل محدودیت‌های محیطی و وجود ترکیبات مقاوم در برابر تجزیه بیولوژیکی در شیرابه‌های قدیمی، اکثر روش‌های تصفیه بر روی فیزیکوشیمیایی متمرکز شده اند. با این حال، با توجه به تجارب و مشکلات موجود در سرمایه گذاری، نگهداری، بهره برداری و همچنین اقلیم خشک و نیمه خشک ایران و تولید شیرابه کم، به نظر می‌رسد ساخت و بهره‌برداری از تاسیسات تصفیه شیرابه نمی‌تواند گزینه مناسبی باشد.[۲۰]

براساس آنالیز حساسیت در این مطالعه، بیشترین حساسیت مربوط به معیار بهداشتی و زیست محیطی و سپس فنی و بهره برداری بوده است. بنابراین معیار بهداشتی و زیست محیطی نسبت به سایر معیارها تاثیر بیشتری در انتخاب فرآیند بهینه مدیریت و دفع شیرابه تولیدی از مراکز دفن داشته است. بنابراین عدم تصفیه

مناسب شیرابه تولید شده عمدتاً با خطرات زیست‌محیطی و انسانی مانند آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی، خاک، سلامت انسان مرتبط است که بر سایر معیارها ارجحیت دارد.[5] همچنین تحلیل حساسیت سر به سری گزینه‌ها نسبت به هدف کلی نشان می‌دهد که در تصفیه (فیزیکی و شیمیایی، زیستی/ پیشرفته) معیار بهداشتی و زیست محیطی مؤثرترین معیار در انتخاب این فرآیند است. زیرا هیچکدام از روش‌های فیزیکوشیمیایی و روش‌های بیولوژیکی به تنهایی برای حذف مواد آلی از شیرابه برای بدست آوردن کیفیت بالای پساب جهت تخلیه به محیط و آب‌های سطحی کافی نیستند.[8] همچنین در فرآیند بازچرخش/تبخیر معیارهای اقتصادی و فنی و بهره برداری موثرترین معیارها می‌باشند.[9] در نتیجه می‌توان گفت که در انتخاب روش بهینه برای مدیریت و دفع شیرابه تولیدی از مراکز دفن معیارهای بهداشتی و زیست محیطی، فنی و بهره برداری و اقتصادی از مهمترین عوامل تأثیر گذار هستند و در انتخاب بهترین گزینه مدیریت و دفع شیرابه پارامترهایی نظیر اثرات مخرب زیست محیطی و بهداشتی کمتر، تامین استانداردهای تخلیه، سادگی و سهولت بهره برداری سیستم، بومی‌بودن فناوری، توجه به کمیت و کیفیت شیرابه، تطابق با شرایط اقلیمی منطقه، دسترسی به امکانات و تجهیزات، هزینه‌های سرمایه گذاری و نگهداری و بهره‌برداری بایستی بیشتر مورد توجه قرار گیرند.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه گزینه‌های حوضچه تبخیر (طبیعی با نور آفتاب)، بازچرخش/تبخیر و تصفیه (فیزیکی و شیمیایی، زیستی/ پیشرفته) جهت انتخاب گزینه بهینه و برتر برای مدیریت و دفع شیرابه تولیدی از مراکز دفن در ایران با استفاده از روش AHP مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مطالعه نشان داد که گزینه حوضچه تبخیر (طبیعی با نور آفتاب) با ضریب اهمیت ۰/۵۶۹ ارجحترین گزینه می‌باشد. گزینه های بازچرخش/تبخیر و تصفیه (فیزیکی و شیمیایی، زیستی/ پیشرفته) با ضریب اهمیت برابر با ۰/۲۱۶ در اولویت بعدی قرار گرفتند. از بین معیارهای تأثیرگذار در انتخاب گزینه برتر، معیار بهداشتی و زیست محیطی بیشترین اهمیت را داشته است. با توجه به شرایط اقلیمی کشور ایران که بیشتر به عنوان سرزمین خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود. بنابراین این روش می‌تواند به طور موثر در مدیریت و دفع شیرابه مد نظر قرار گیرد.

پیامدهای علمی پژوهش

با مشخص شدن گزینه بهینه برای مدیریت و دفع شیرابه تولیدی از مراکز دفن در ایران با در نظرگرفتن معیارهای بهداشتی و زیست محیطی، فنی و بهره‌برداری و اقتصادی در پژوهش حاضر، نتایج این پژوهش به لحاظ کاربردی می‌تواند مورد استفاده سازمان شهرداری‌ها و دهداری‌های کشور قرار بگیرد تا با در نظرگرفتن شرایط اقلیمی کشور بتوانند گزینه بهینه جهت مدیریت و دفع شیرابه در مناطق مختلف کشور را انتخاب کنند.

قدردانی‌ها

از تمامی کسانی که در اجرای این پژوهش همکاری داشته‌اند اعم از تیم خبرگان که شامل اساتید دانشگاه علوم پزشکی تبریز با تخصص مهندسی بهداشت محیط و کارشناسان اجرایی متخصص در زمینه مدیریت پسماند تقدیر و تشکر می‌گردد.

مشارکت پدیدآوران

حسن تقی‌پور، سیده مریم سید موسوی هر دو محقق طراحی مطالعه، اجرا، تحلیل نتایج، تهیه دست نوشته را بر عهده داشته‌اند و نسخه نهایی را خوانده و تأیید کرده‌اند.

منابع مالی

منابع مالی ندارد.

ملاحظات اخلاقی

تمامی مراحل پژوهش حاضر با رعایت اصول و ملاحظات استاندارد اخلاقی از قبیل اختیار در قبول همکاری و مشارکت در پاسخگویی به سوالات پرسشنامه-ها، عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی انجام شده است. لازم به توضیح است که مقاله حاضر دارای کد اخلاق نمی‌باشد.

تعارض منافع

مؤلف اظهار می‌دارد که در این مطالعه تعارض منافعی از نظر تألیف و یا انتشار این مقاله وجود ندارد.

References

1. Costa AM, Alfaia RGdSM, Campos JC. Landfill leachate treatment in Brazil–An overview. *J Environ Manage*. 2019; 15(232): 110-116. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.11.006
2. Bagchi A. Design of landfills and integrated solid waste management: John Wiley & Sons; 2004.
3. Sabour MR, Amiri A. Comparative study of ANN and RSM for simultaneous optimization of multiple targets in Fenton treatment of landfill leachate. *Waste Manag*. 2017; 65: 54-62. doi: 10.1016/j.wasman.2017.03.048
4. Hoornweg D, Bhada-Tata P. What a waste: a global review of solid waste management. 2012.
5. Pasalari H, Farzadkia M, Gholami M, Emamjomeh MM. Management of landfill leachate in Iran: valorization, characteristics, and environmental approaches. *Environ Chem Lett*. 2019; 17(1): 335-48. doi: 10.1007/s10311-018-0804-x
6. Alslaibi TM, Abustan I, Mogheir YK, Afifi S. Quantification of leachate discharged to groundwater using the water balance method and the Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) model. *Waste Manag Res*. 2013; 31(1): 50-59. doi: 10.1177/0734242X12465462
7. Miao L, Yang G, Tao T, Peng Y. Recent advances in nitrogen removal from landfill leachate using biological treatments–A review. *J Environ Manage*. 2019; 235: 178-185. doi: 10.1016/j.jenvman.2019.01.057
8. Coban A, Demir G, Okten HE, Ozcan HK, Yaman C, Yildiz S. Advanced treatment of leachate by using aerobic/anoxic MBR system followed by a nanofiltration process. A case study in Istanbul komurcuoda leachate treatment plant. *Environment Protection Engineering*. 2012; 38(3): 57-64. doi:10.5277/EPE120306
9. Serdarevic A. Landfill Leachate management—Control and treatment. International Symposium on Innovative and Interdisciplinary Applications of Advanced Technologies; Springer: 2017. doi: 10.1007/978-3-319-71321-2_54
10. Xing W, Lu W, Zhao Y, Zhang X, Deng W, Christensen TH. Environmental impact assessment of leachate recirculation in landfill of municipal solid waste by comparing with evaporation and discharge (EASEWASTE). *Waste Manag*. 2013; 33(2):382-389. doi: 10.1016/j.wasman.2012.10.017
11. Siddiqi SA, Al-Mamun A, Baawain MS, Sana A. A critical review of the recently developed laboratory-scale municipal solid waste landfill leachate treatment technologies. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2022; 52: 102011. doi. 10.1016/j.seta.2022.102011
12. Benyoucef F, Makan A, El Ghmari A, Ouatmane A. Optimized evaporation technique for leachate treatment: small scale implementation. *J Environ Manage*. 2016; 170: 131-135. doi: 10.1016/j.jenvman.2015.12.004
13. Kursunoglu S, Ichlas ZT, Kaya M. Leaching method selection for Caldag lateritic nickel ore by the analytic hierarchy process (AHP). *Hydrometallurgy*. 2017; 171: 179-184. doi. 10.1016/j.hydromet.2017.05.013
14. Sorooshian S. Upgrading current multi-attribute decision-making with a 3-dimensional decision matrix for future-based decisions. *MethodsX*. 2021; 8: 101403. doi: 10.1016/j.mex.2021.101403
15. 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): 259-270. (Persian)
16. Moradi B, Barakat S. Hygienic performance evaluation and effect of training in order to confronting with the Covid-19 virus in the metal industries staff. *Iran Occupational Health Journal*. 2020; 17(1):66-80. (Persian)
17. Abu Qdais H. Selection of landfill leachate management strategy using decision support system. *The Journal of Solid Waste Technology and Management*. 2010; 36(4): 246-257. doi. 10.5276/JSWTM.2010.246
18. Özdemir A, Özkan A, Günkaya Z, Banar M. Decision-making for the selection of different leachate treatment/management methods: the ANP and PROMETHEE approaches. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2020; 27(16): 19798-19809. doi: 10.1007/s11356-020-08524-7

19. Zhang L, Lavagnolo MC, Bai H, Pivato A, Raga R, Yue D. Environmental and economic assessment of leachate concentrate treatment technologies using analytic hierarchy process. *Resour Conserv Recycl.* 2019; 141: 474-480. doi. 10.1016/j.resconrec.2018.11.007
20. Vahabian M, Hassanzadeh Y, Marofi S. Assessment of landfill leachate in semi-arid climate and its impact on the groundwater quality case study: Hamedan, Iran. *Environ Monit Assess.* 2019; 191(2):1-19. doi: 10.1007/s10661-019-7215-8
21. Mosavi Bafroei SH, Amrollahi M, Eslami H. Application of Analytic Hierarchy Process in Selecting the Most Appropriate Method for Wastewater Treatment in Meybod Villages in Yazd, 2018: A Descriptive Study. *Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences.* 2019; 18(8): 783-796. (Persian)
22. Hosnavi Atashgah M, Yasi M, Amiri Takaldani E. Decision Making Pattern in Identifying and Ranking Effective Criteria in Inter-Basin Water Transfer Projects Based on Network Analysis Process and Analytical Hierarchy Process. *Iran-Water Resources Research.* 2019; 15(4): 299-313. doi: 20.1001.1.17352347.1398.15.4.20.3. (Persian)
23. Ghayebzadeh M, Aslani H, Taghipour H. Comparative Evaluation of the Application of Incineration Technologies and Other Waste Disposal Methods in Iran Using the Analytical Hierarchy Process (AHP) .*Journal of Health.* 2021;12(2): 153-166. (Persian)
24. Teng C, Zhou K, Peng C, Chen W. Characterization and treatment of landfill leachate: A review. *Water Res.* 2021; 203: 117525. doi: 10.1016/j.watres.2021.117525
25. Wiszniowski J, Robert D, Surmacz-Gorska J, Miksch K, Weber J. Landfill leachate treatment methods: A review. *Environ Chem Lett.* 2006; 4(1): 51-61. doi:10.1007/s10311-005-0016-z
26. Nabavi E, Sabour M, Dezvareh GA. Selection of the best leachate treatment method for the waste of leek fields using Analytic Hierarchy Process (AHP). *Advances in Environmental Technology.* 2021; 7(3): 153-170. doi:10.22104/AET.2021.4967.1339. (Persian)
27. Keyikoglu R, Karatas O, Rezania H, Kobya M, Vatanpour V, Khataee A. A review on treatment of membrane concentrates generated from landfill leachate treatment processes. *Sep Purif Technol.* 2021; 259: 118182. doi.10.1016/j.seppur.2020.118182