2022, Vol.9, No.3, Pages 117 to 126
Journal of Water and Sustainable Development

سال نهم، شماره ۳، ۱۴۰۱، صفحات ۱۱۷ تا ۱۲۶
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Applied Article/ Case Study

نوع مقاله: پژوهش کاربردی/مطالعه موردی

Investigating the Appropriate Method of Sludge Dewatering Technology in Wastewater Treatment Plants Using Analytical Hierarchy Process (Case Study: Wastewater Treatment Plant in the South of Tehran)

F. Golbabaei Kootenaei[1*], N. Mehrdadi[2], T. Taghizade Firozjaee[3], A. Fahimi Bandpey[4], H. Valehi Reikande[5]

1,2- Postdoctoral Researcher and Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Environment, College of Engineering, University of Tehran, Iran. 3- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Iran. 4- MSc Graduate, Department of Chemical Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Iran. 5- PhD Student, Department of Environmental Engineering, Kish International Campus, University of Tehran, Iran.

*(Corresponding Author Email: fgolbabaei@ut.ac.ir)

Received: 14-05-2022 Revised: 10-08-2022

Accepted: 19-08-2022 Available Online: 21-12-2022

بررسی روش مناسب آبگیری لجن در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

(مطالعه موردی: تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب شهر تهران)

فرشاد گلبابائی کوتنائی[1*]، ناصر مهردادی[2]، طاهره تقی زاده فیروزجایی[3]، عطیه فهیمی بندپی[4]، هادی والهی ریکنده[5]

۱و۲- به ترتیب پژوهشگر پسادکتری و استاد، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، ایران. ۳- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران. ٤- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، گروه مهندسی شیمی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، ایران. ٥- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی محیط‌زیست، پردیس بین‌المللی کیش، دانشگاه تهران، ایران.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: fgolbabaei@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲٤ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۵/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۲۸ تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۹/۳۰

Abstract

In recent decades, the management and treatment of sewage and sludge dewatering process have become crucial due to their high nutrient content. However, choosing the right technology in this area is a big challenge due to the complexities and the existence of many uncertainties. In this article, an analytical hierarchy process is used as a decision-making tool to choose the appropriate dewatering method in the southern Tehran treatment plant, in which the criteria structure and the evaluation process are defined by describing several possible options for sludge dewatering to be compared and weighted. The results were analyzed and evaluated using Expert choice software. According to the results, the belt filter press is the best and most appropriate technology for sewage sludge dewatering among pressure and belt filter press, lagoon, centrifuge, and sludge drying beds. Finally, validation had been done based on the sensitivity analysis method, which shows the effect of changes in input parameters on the results and was carried out for technical, economic, environmental, and management criteria, and the sensitivity of the options to the change in the weight of the main criteria was determined and the results showed that the most sensitivity in the economic criteria refers to the lagoon process, in the technical criteria refers to the centrifuge process, in the environmental criteria refer to the centrifuge process, and in the management criteria refers to the belt filter press process. The results show that this method, due to its simplicity and adaptability to different situations and regions, can be considered at the national level for different decision-makers in the field of selecting processes in water and wastewater treatment.

Keywords: Dewatering, Treatment, Sewage, Sludge, Analytical Hierarchy Process.

چکیده

در چند دهه اخیر مدیریت، تصفیه و فرآیند آبگیری لجن فاضلاب به دلیل محتوای بالای مواد مغذی اهمیت زیادی پیدا نموده است. بااین‌حال، انتخاب فناوری مناسب در این زمینه به دلیل پیچیدگی‌ها و وجود عدم قطعیت‌های زیاد، یک چالش بزرگ است. در این مقاله از یک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به‌عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری برای انتخاب روش مناسب آبگیری در تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب شهر تهران استفاده می شود که در آن ساختار معیارها و فرآیند ارزیابی با توصیف چند گزینه ممکن برای آبگیری لجن تعریف شده است تا نسبت به یکدیگر مقایسه و وزن‌دهی شوند. نتایج با استفاده از نرم‌افزار Expert choice بررسی و ارزیابی شد. مطابق با نتایج، بهترین و مناسب‌ترین فناوری برای آبگیری لجن فاضلاب از بین فناوری‌های فیلترپرس فشاری و نواری، لاگون، سانتریفیوژ و بسترهای لجن خشک‌کن، فرآیند فیلتر پرس نواری برآورد شده است. در نهایت، صحت‌سنجی براساس روش تحلیل حساسیت که اثر تغییرات پارامترهای ورودی بر روی نتایج را نشان می‌دهد، برای معیارهای فنی اقتصادی، محیط‌زیستی و مدیریتی انجام گرفت و حساسیت گزینه‌ها نسبت به تغییر وزن معیارهای اصلی تعیین شد و نتایج نشان داد بیشترین حساسیت در معیار اقتصادی متوجه فرآیند لاگون، در معیار فنی متوجه فرآیند سانتریفیوژ، در معیار محیط‌زیستی متوجه فرآیند سانتریفیوژ و در معیار مدیریتی متوجه فرآیند فیلتر پرس نواری می‌شود. نتایج نشان داد، این روش به دلیل سادگی و قابلیت تطبیق آن با موقعیت‌ها و مناطق مختلف، در سطح ملی برای تصمیم‌گیرهای مختلف در زمینه انتخاب فرآیندها در تصفیه آب و فاضلاب می‌تواند در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: آبگیری، تصفیه، لجن، فاضلاب، تحلیل سلسله مراتبی.

How to cite this article: Golbabaei Kootenaei F., Mehrdadi N., Taghizade Firozjaee T., Fahimi Bandpey A. and Valehi Reikande H.. 2022. Investigating the Appropriate Method of Sludge Dewatering Technology in Wastewater Treatment Plants Using Analytical Hierarchy Process (Case Study: Wastewater Treatment Plant in the South of Tehran). Journal of Water and Sustainable Development, 9(3): 117-126. doi: http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v9i3.2205.1146

مقدمه

لجن فاضلاب مخلوط ناهمگن پیچیده‌ای از میکروارگانیسم‌ها، مواد آلی هضم نشده مانند کاغذ، باقیمانده‌های گیاهی یا مدفوعی، مواد معدنی و رطوبت می‌باشد که طی مراحل مختلف تصفیه فاضلاب تولید می‌شود (Tyagi و همکاران، ۲۰۱۳) .در اتحادیه اروپا، تولید لجن فاضلاب که در تصفیه اولیه، ثانویه و پیشرفته در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب تولید می‌شود، به طور متوسط روزانه ۹۰ گرم به ازای هر نفر است (Đurđević و همکاران، ۲۰۲۰). انتظار می‌رود در دهه آینده با گسترش تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، حجم و میزان فاضلاب تشکیل شده نیز به‌صورت پیوسته با افزایش جمعیت متصل به شبکه جمع‌آوری فاضلاب، ساخت تصفیه‌خانه‌های جدید و ارتقای تصفیه‌خانه‌های موجود به دلیل وضع قوانین محلی سخت‌گیرانه‌تر جهت پساب، افزایش یابد. یکی از موارد دارای اهمیت قبل از طراحی و اجرای هر تصفیه‌خانه فاضلاب و لجن، انتخاب بهترین فرآیند تصفیه است. به‌طور معمول، در برخی از کشورهای در حال توسعه، ارزیابی گزینه‌های تصفیه تنها براساس معیار اقتصادی صورت می‌گیرد (Đurđević و همکاران، ۲۰۲۰). در سال‌های گذشته، مطالعات و مدل‌های بهینه‌سازی زیادی برای یافتن بهترین گزینه تصفیه فاضلاب نمایان شده که بیشتر آن‌ها تنها هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری را مورد توجه قرار داده‌اند. اما، گزینه با حداقل هزینه، ممکن است بهترین گزینه نباشد. انتخاب بهترین فرآیند تصفیه، معمولا پیچیده بوده و عدم قطعیت‌های زیادی دارد. گزینه‌های فنی، اقتصادی، محیط‌زیستی و مدیریتی در انتخاب بهترین گزینه تأثیرگذار می‌باشد (Akhoondi و همکاران، ۲۰۱۸؛ Peniwati و همکاران، ۲۰۰۷).

راه‌های مختلفی برای ادغام ارزیابی عوامل و ابعاد مختلف و همچنین تعیین نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها وجود دارد. برای ادغام این ابعاد، کارایی و استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره ثابت شده و همواره مورد توجه بوده است. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یک روش چند معیاره که به خوبی تثبیت شده است، عوامل را در ساختارهای سلسله مراتبی سازماندهی می‌کند (Wind و Saaty، ۱۹۸۰). کاربردهای AHP[1] شامل بررسی چگونگی برداشت های ذهنی و نگاه ذینفعان برای مدیریت ریسک و مصرف نهایی آب بازیافتی (Goodwin و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین برای مناسب بودن استفاده از فاضلاب تصفیه شده شهری به‌عنوان آبیاری می‌باشد (Zolfaghary و همکاران، ۲۰۲۱). در مطالعه چهار گزینه تصفیه یک تصفیه‌خانه فاضلاب شهری، از نقطه‌نظر اقتصادی، فنی و معیارهای مدیریتی شامل: هزینه‌های سرمایه‌گذاری، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری، زمین مورد نیاز، حذف نیتروژن و فسفر، اثرات دفع لجن، پایداری بهره‌برداری تصفیه‌خانه، تکنولوژی مطلوب و مهارت‌های پرسنلی، با استفاده توامان از AHP و آنالیز وابستگی گری ارزیابی و مقایسه شده و بهینه‌ترین گزینه تصفیه انتخاب شده است (Zeng و همکاران، ۲۰۰۷). یک مطالعه اخیر رویکردی را پیشنهاد می‌کند که تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان و روش‌های چند معیاره مانند Fuzzy TOPSIS و AHP را برای بهینه‌سازی نگهداری سیستم‌ها ترکیب می‌کند (Carpitella و همکاران،۲۰۱۸). این روش، رویکری موثر و عملیاتی بوده که می‌تواند تصمیمات غیرساختاری و پیچیده را در نظر بگیرد (Karimi و همکاران، ۲۰۱۱). همچنین عملکرد بسیار خوبی در مسائل وزن‌دهی و رتبه‌بندی گزینه‌ها دارد (Goodwin و همکاران، ۲۰۱۹). این روش امکان انجام ارزیابی معیارهای کمی و کیفی را دارد و بر مبنای مقایسه زوجی بنا شده است، همچنین تصمیم‌گیری سلسله مراتبی اجازه ردیابی تصمیم‌گیری صحیح و تضمین کیفیت ارائه شده را توسط شاخص‌های سازگاری می‌دهد (Tscheikner-Gratl و همکاران، ۲۰۱۷؛ Haddad و همکاران، ۲۰۲۰)

انتخاب این روش بر اساس ویژگی‌های موضوع مورد بررسی و همچنین مزایا و معایب دیگر روش‌های تصمیم‌گیری بوده است. استفاده از AHP به‌جای دیگر روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به دلایل ذیل می‌باشد (Mahmoodzadeh و همکاران، ۲۰۰۷).

- در این روش، معیارهای کمی و کیفی در تصمیم‌گیری استفاده می‌شود و تنها مدل تصمیم‌گیری چند معیاره است که می‌تواند سازگاری قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان را اندازه‌گیری نماید.
- مقایسه زوجی در روش AHP به تصمیم‌گیرندگان اجازه می‌دهد وزن معیارها و یا رتبه گزینه‌ها را از ماتریس‌های مقایسه زوجی استخراج کنند و تعداد زیادی از معیارها می‌توانند در نظر گرفته شود.
- AHP به تصمیم‌گیرندگان کمك می‌کند که جنبه‌های بحرانی مساله را به داخل یك ساختار سلسله مراتبی وارد نموده و مطابق با مساله، ساختار سلسله مراتبی انعطاف‌پذیری بسازد (Shakeri و همکاران،۲۰۱۸).

همچنین برای تعیین میزان تأثیرگذاری وزن‌دهی معیارها بر اولویت‌بندی گزینه‌ها از آنالیز حساسیت استفاده شد. به‌طورکلی آنالیز حساسیت ساده‌ترین روش در تحلیل عدم قطعیت در تصمیم‌گیری می‌باشد و برای شناسایی پارامترهایی از مدل به‌کار می‌رود که بیشترین تأثیر را بر خروجی‌های پیش‌بینی شده دارند. در این روش، تأثیر ناشی از تغییر یک معیار در خروجی تعیین می شود و برای هر پارامتر، حساسیت‌های موضعی در نقاط مختلف واقع در بازه کلی تغییرات آن بررسی می‌شود (Ananda و همکاران،۲۰۰۷). تنوع تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و لجن، به‌خصوص از نظر ظرفیت و شرایط خاص محلی اجازه نمی‌دهد در انتخاب فرآیند تصفیه یك نتیجه و تصمیم کلی مطرح شود که در تمام موارد قابل اجرا و کاربردی باشد، اما امکان دارد از نظر اولویت در انتخاب فرآیند تصفیه، نکاتی ملاك عمل قرار گیرد و در بیشتر تصفیه‌خانه‌ها قابل

استفاده باشد. باتوجه‌به اینکه امروزه سیستم‌های تصفیه فاضلاب و لجن پساب با هر درجه از تصفیه را تولید می‌کنند، مساله اساسی در انتخاب فرآیندهای تصفیه، تصمیم‌گیری در مورد مناسبترین گزینه تصفیه بر مبنای مسائل اقتصادی و محیط‌زیستی به‌منظور هدایت صحیح سرمایه‌های ملی و جلوگیری از اتلاف منابع مالی است. امروزه باتوجه‌به توسعه سریع فعالیت‌های صنعتی، تصفیه پساب‌های تولیدی، نه تنها به‌عنوان یك راهکار اساسی در حفاظت کیفی منابع آب سطحی و زیرزمینی محسوب می‌شود، بلکه پساب تصفیه شده آن نیز به‌عنوان یك منبع آبی جهت بازچرخانی استفاده می‌شود، همچنین برای آبیاری فضای سبز و کشاورزی اهمیت بالایی دارد (Wondim و همکاران، ۲۰۱۸).

اگرچه لجن فاضلاب تنها ۱ تا ۲ درصد حجم فاضلاب تصفیه شده را تشکیل می دهد اما مدیریت آن بسیار پیچیده است و هزینه‌های تصفیه آن تقریبا ۲۰ تا ۶۰ درصد از کل هزینه‌های عملیاتی تصفیه‌خانه است. برای کاهش هزینه تصفیه لجن از روش‌های کاهش حجم لجن استفاده می‌شود که می‌تواند هزینه‌های حمل و نقل را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. کارآمدترین روش برای به حداقل رساندن حجم لجن، آبگیری است. این فرآیند منجر به کاهش رطوبت از ۷۵٪ به ۹۸٪ می‌شود که معادل افزایش محتوای جامد از ۲٪ به ۲۵٪ است. همچنین حجم لجن آبگیری شده که باید برای مرحله دیگر تصفیه منتقل شود ۱۲ برابر کمتر از حجم فرآوری نشده خواهد بود (Andreoli و همکاران، ۲۰۰۷).

هدف از این مطالعه، بررسی و انتخاب بهترین و مناسبترین فناوری برای آبگیری لجن فاضلاب برای تصفیه‌خانه جنوب شهر تهران می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه جهت تعیین بهترین و مناسب‌ترین فناوری برای آبگیری لجن فاضلاب، معیارهای اصلی فنی، اقتصادی، محیط‌زیستی و مدیریتی به همراه زیرمعیارهای مربوط به آن بر اساس روش AHP تعیین شد. با داشتن نتایج برداشت شده از پرسشنامه فراهم‌شده توسط کارشناسان و خبرگان حوزه تصفیه فاضلاب و لجن، وزن دهی معیارها در روش AHP و همچنین آنالیز حساسیت معیارها با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice برای تعیین بهترین گزینه برای آبگیری لجن انجام شد.

ماهیت پژوهش حاضر تحلیلی تطبیقی پیمایشی است. به‌این‌منظور باتوجه‌به اهداف مختلفی که از فرآیند تصفیه انتخابی انتظار می‌رود از جمله: پتانسیل بالا در مقابل نوسانات کمی و کیفی فاضلاب ورودی، تولید پساب با کیفیت مناسب جهت استفاده مجدد و دستیابی به استانداردهای محیط زیستی، تولید لجن مناسب، دارا بودن حداقل هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری و حداقل انرژی مصرفی، انتخاب فرآیند تصفیه بهینه باید با دخالت معیارهای مختلف، متناسب با وزن و اهمیت نسبی آن‌ها و با کمك گرفتن از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره انجام شود.

مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، انتخاب‌گر بودند و به‌منظور انتخاب مناسبترین گزینه از بین گزینه‌های موجود به‌کار می‌روند. در تصمیم‌گیری چند معیاره از چندین شاخص استفاده می شود و شامل مراحل شناسایی معیارها، وزن‌دهی، انتخاب گزینه برتر با استفاده از یك روش MADM و انتخاب گزینه نهایی است.

۱- شناسایی معیارها

انتخاب معیارها و شاخص‌های مناسب مهمترین اثر را بر رتبه‌بندی نهایی دارد. بنابراین انتخاب شاخص‌های مناسب برای تصمیم‌گیری، یکی از مهمترین مراحل تصمیم‌گیری چند معیاره است. در مراجع، معیارهای مختلفی برای انتخاب فرآیند بهینه تصفیه فاضلاب و لجن مورد توجه قرار گرفته است. از جمله این معیارها: هزینه‌های سرمایه‌گذاری، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری، میزان انرژی مصرفی، پرسنل تخصصی مورد نیاز، زمین مورد نیاز، کمیت و کیفیت فاضلاب و لجن ورودی، قابلیت شوك‌پذیری، درجه تصفیه مورد نیاز، شرایط اقلیمی و محلی، قابلیت اجرای فرآیند، اطمینان از عملکرد دائمی تصفیه‌خانه، کارایی، قابلیت استفاده مجدد از کیک لجن تولیدی و پساب تصفیه شده، استانداردهای محیطی، ایمنی و غیره قابل ذکر است. به‌منظور شناسایی فرآیندهای آبگیری لجن و بررسی عملکرد آن‌ها در شهر تهران، درکنار بازدید میدانی و بررسی کارایی سیستم‌ها، از پرسشنامه استفاده شد. معیارهای انتخاب بر اساس واقعیت‌های موجود در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری تهران مشخص می‌شود. در این مطالعه، معیارهای اصلی مقایسه روش‌های آبگیری لجن معرفی خواهد شد و ارزیابی معیارها، بر اساس تجربیات حاصل شده از طراحی، اجرا و بهره‌برداری فرآیندها در شهرهای مختلف ایران و جهان و استفاده از نظرات متخصصان و خبرگان این حوزه صورت می‌گیرد.

۲- تعیین وزن معیارها

باتوجه‌به تنوع پارامترهای تأثیرگذار، انتخاب فرآیند بهینه پیچیده و مشکل می‌باشد. وزن‌دهی یکی از مهمترین و مشکل‌ترین مراحل تصمیم‌گیری چند معیاره بوده که می‌تواند عدم قطعیت قابل توجهی در فرآیند تصمیم‌گیری ایجاد نماید (Hamed و همکاران،۲۰۱۲). روش‌های مختلفی برای برآورد وزن نسبی شاخص‌ها وجود دارد. در این تحقیق، از روش پرسشنامه‌ای که توانایی در نظر گرفتن ارجحیت‌های ذهنی تصمیم‌گیر را در محاسبه وزن شاخص‌ها دارد، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳- وزن‌دهی معیارها

در روش AHP از قضاوت‌های کارشناسی استفاده می‌شود و مقایسه‌های زوجی را برای اندازه‌گیری اینکه چگونه یک گزینه نسبت به سایر گزینه‌ها مطابق با معیارهای تعیین شده در اولویت می باشد، به‌کار می‌برند (Wind و Saaty، ۱۹۸۰). در این روش با استفاده از ساختار سلسله مراتبی معیارها، کاربران اجازه تصمیم‌گیری برای تعیین بهترین گزینه را خواهند داشت. برای محاسبه وزن معیارها، پس از تعیین ماتریس‌های مقایسه زوجی، با استفاده از مقیاس داوری که در جدول (۱) آورده شده است، می‌شود معیارها را براساس سطوح نه‌گانه تعریف شده مقایسه کرد (Saaty، ۲۰۰۸؛ Ishizaka و Labib، ۲۰۰۷). همچنین این روش، تصمیم‌گیری فردی و گروهی را در بر می‌گیرد (Koulinas و همکاران، ۲۰۱۹). به این ترتیب می‌توان از افراد مختلف در مورد مقایسه معیارها پرسش نموده و بعد به روش مناسب نتایج را جمع‌بندی نمود.

جدول ۱- مقدار عددی برتری‌ها برای مقایسه زوجی

عبارت زبانی برتری‌ها	مقدار عددی
برتری کامل	۹
برتری بین ۷ و ۹	۸
برتری خیلی زیاد	۷
برتری بین ۵ و ۷	۶
برتری زیاد	۵
برتری بین ۳ و ۵	۴
برتری کم	۳
برتری بین ۱ و ۳	۲
برتری برابر	۱

معیار اصلی برای پذیرفتن مقایسه زوجی این است که مقایسه‌ها باهم سازگار باشند، برای این منظور باید نرخ ناسازگاری محاسبه شود. نرخ ناسازگاری نشان می‌دهد، تا چه اندازه می‌توان به داده‌های گردآوری شده از دیدگاه هر کارشناس اعتماد کرد. شاخص ناسازگاری[۲] (I.I.) به‌صورت ذیل تعریف می‌شود:

$$I.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad (۱)$$

در این رابطه، λmax بزرگترین مقدار ویژه و n تعداد معیارها می‌باشد. برای هر ماتریس، حاصل تقسیم شاخص ناسازگاری (I.I.) بر شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی (I.R.R.) هم بعدش معیار مناسبی برای قضاوت در مورد ناسازگاری می‌باشد که آن را نرخ ناسازگاری (I.R.) می‌نامند.

$$I.R. = I.I. / I.R.R. \quad (۲)$$

نرخ ناسازگاری قابل‌قبول، باید کمتر از ۰/۱ باشد (Saaty، ۱۹۹۶). درصورتی‌که ماتریس ناسازگار باشد از تصمیم‌گیرنده خواسته می‌شود، پاسخ‌های خود را بازنگری کند (Lynn و همکاران، ۱۹۶۲). مقادیر شاخص ناسازگاری برای ماتریس‌هایی که اعداد آنها کاملاً تصادفی اختیار شده محاسبه شده که آن را شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی (I.I.R.) نام نهاده‌اند. مقادیر این شاخص برای ماتریس‌های n بعدی مطابق جدول (۲) می‌باشد.

در تصمیم‌گیری گروهی، درصورتی‌که ماتریس مقایسه زوجی سازگار باشد، جهت ترکیب نظرات مختلف کارشناسان در قضاوتی خاص، جواب‌ها با استفاده از میانگین هندسی بر اساس رابطه (۲) جمع می‌شوند (Shih و DeFilippi، ۱۹۷۰).

$$a_{ij}^{[c]} = (\prod_{k=1}^{m} a_{ij}^{[k]})^{1/m} \quad (۳)$$

در رابطه فوق m تعداد تصمیم‌گیرندگان، k شمارنده تصمیم‌گیرندگان، i و j به ترتیب بیانگر سطر و ستون ماتریس مقایسات زوجی، $a_{ij}^{[k]}$ نشان‌دهنده عنصر سطر iام و ستون jام ماتریس مقایسه زوجی تصمیم‌گیرنده kام و $a_{ij}^{[c]}$ عنصر سطر iام و ستون jام ماتریس مقایسه زوجی جمع شده می‌باشد.

جدول ۲- شاخص ناسازگاری ماتریس‌های تصادفی

N	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
I.I.R.	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۵

۴- نمونه موردی

برای تصفیه بخشی از فاضلاب جمع‌آوری‌شده شهر تهران، تصفیه‌خانه جنوب شامل ۸ واحد برای جمعیتی معادل ۴ میلیون و ۲۰۰ هزار نفر در نظر گرفته شده است. زمین تصفیه‌خانه جنوب تهران ۱۱۰ هکتار بوده و در جنوب غربی شهر ری قرار دارد. نوع فرایند تصفیه فاضلاب این تصفیه خانه لجن فعال بوده و شامل واحدهای تلمبه‌خانه ورودی یا واحد پمپاژ، واحد آشغال‌گیری، واحد دانه و چربی‌گیری، حوض ته‌نشینی اولیه، حوض‌های هوادهی، صافی‌های چکنده، ته‌نشینی ثانویه، کلرزنی، تصفیه لجن، تغلیظ‌کننده ثقلی لجن خام، هاضم‌های بی‌هوازی، واحد ذخیره و تثبیت لجن، واحد آبگیری از لجن، واحد تغلیظ مکانیکی لجن فعال مازاد، ذخیره لجن آبگیری شده، سیستم جمع‌آوری و ذخیره مصرف بیوگاز، تاسیسات تولید انرژی الکتریکی و تاسیسات تصفیه گازهای مزاحم است.

یافته‌ها و بحث

باتوجه‌به درجه تصفیه مورد نیاز (میزان آبگیری) و شرایط محلی، اقلیمی و اقتصادی و فنی و بار آلودگی ورودی (میزان جامدات) روش مناسب و بهینه آبگیری انتخاب می‌شود. شرایط اقلیمی برای فرآیند تصفیه محدودیت‌هایی را ایجاد می‌کند. علاوه‌برآن شرایط محیطی در توجیه و یا نفی فرآیند انتخابی تصفیه موثر است. بنابراین ابتدا شرایط خاص منطقه که در انتخاب و عملکرد روش تصفیه تأثیر می‌گذارد بررسی و سپس روش‌های مناسب آبگیری انتخاب و سرانجام روش بهینه پیشنهاد می‌شود. روش انتخابی باید از نظر اقتصادی و فنی بهترین گزینه باشد. شرایط خاص منطقه شامل درجه‌حرارت، تبخیر، تشعشع خورشید، میزان زمین و سطح آب زیرزمینی می‌باشد.

انتخاب روش بهینه آبگیری مناسب، ابتدا باید بر پایه درجه تصفیه مورد نیاز و حذف آلاینده‌های مورد نظر انجام پذیرد که این امر خود درخور بررسی شرایط محل، مشخصات کمی و کیفی لجن تولیدی، شرایط آب‌وهوایی و غیره می‌باشد. انتخاب روش تصفیه لجن، به میزان تصفیه مورد نیاز و اهداف تصفیه بستگی دارد. استانداردهای محیطی، ملاحظات مالی، تعداد و شرایط کارکنان مورد نیاز برای راهبری و نگهداری، امکان دسترسی به تجهیزات، نیاز به انرژی و شرایط کیک لجن خروجی از عوامل موثر در انتخاب فرآیند تصفیه و آبگیری هستند. انتخاب سیستم آبگیری، تصمیم ساده‌ای نبوده و به تجربیات میدانی دقیق و دانش فنی بالا در شناخت واحدهای مختلف عملیاتی و فرآیندی نیازمند است.

در تصفیه‌خانه‌ها، امکان انتخاب فرآیند تصفیه و آبگیری بهینه که بتواند اهداف گوناگون مانند حداقل‌سازی هزینه‌های سرمایه‌گذاری، بهره‌برداری و نگهداری و انرژی مصرفی، کیفیت لجن تولیدی و استفاده مجدد از آن را برآورده سازد، بسیار مشکل است. در این راستا طراحان سیستم‌های تصفیه فاضلاب و لجن یا با استفاده از سیستم‌های پایلوت که معمولا پرهزینه و وقت‌گیر می‌باشد، نسبت به انتخاب فرآیند تصفیه اقدام می‌نمایند و یا بر اساس مقایسه اقتصادی و کیفی و بدون لحاظ تأثیر معیارهای مختلف متناسب با وزن و اهمیت نسبی آن‌ها، تنها بر اساس قضاوت‌های کارشناسی فرآیند بهینه را انتخاب می‌کنند.

۱- گزینه‌های انتخاب فرآیند برتر آبگیری لجن

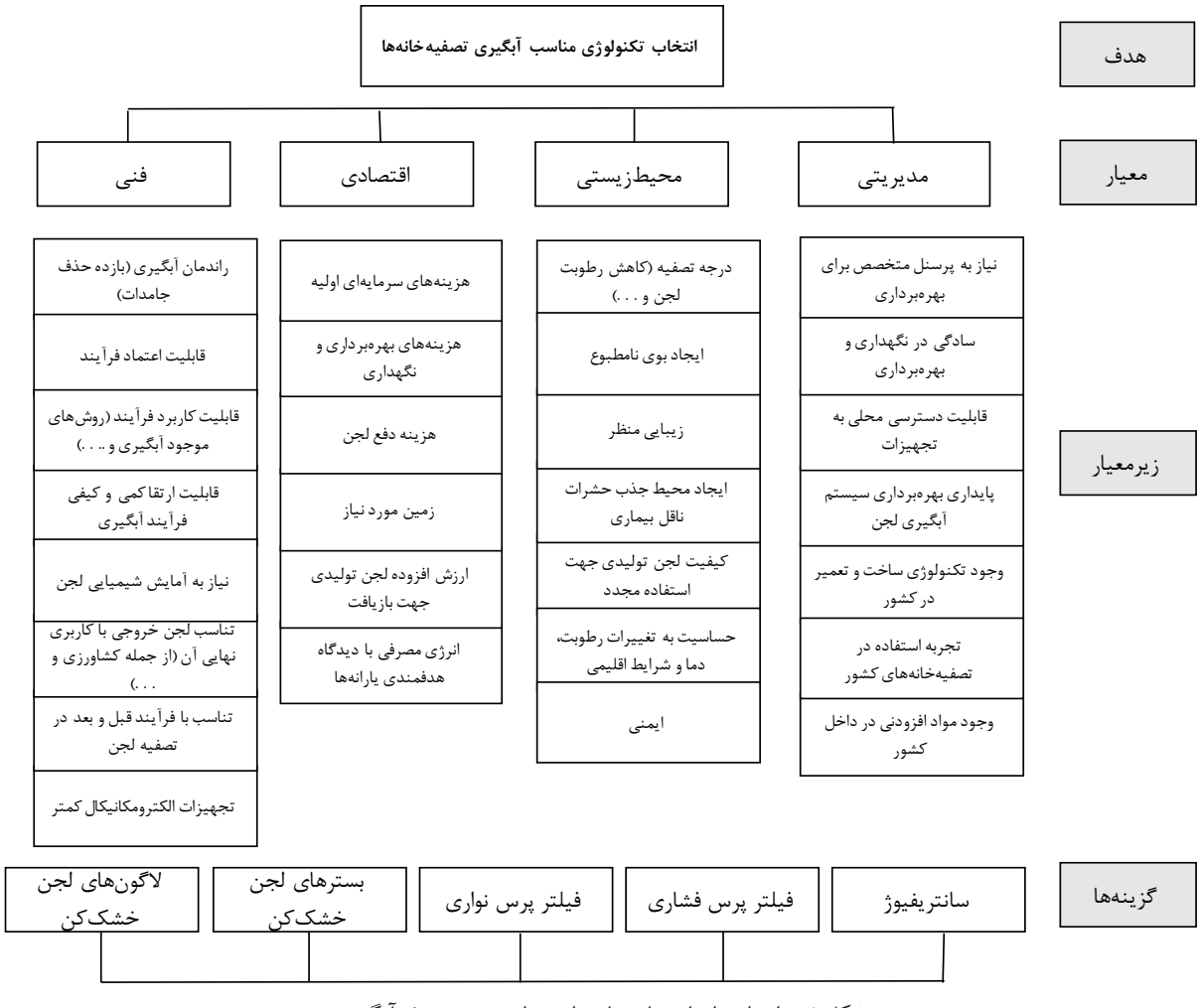
باتوجه‌به مطالعات صورت گرفته، فرآیندهای آبگیری مختلفی تاکنون مورد استفاده قرار گرفته است. در این مطالعه، پنج فرآیند آبگیری لجن فاضلاب که در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری ایران و جهان به بهره‌برداری رسیده، بررسی شد. این فرآیندها دربرگیرنده سانتریفیوژ، فیلتر پرس فشاری، فیلتر پرس نواری، بسترهای لجن خشک‌کن و لاگون‌های لجن خشک‌کن می‌باشد. هر کدام از این فرآیندها در تعدادی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب ایران اجرا شده و به بهره‌برداری رسیده است. باتوجه‌به تنوع پارامترهای تأثیرگذار در فرآیند آبگیری، انتخاب فرآیند بهینه پیچیده و مشکل می‌باشد. اولین گام در این زمینه، شناخت معیارهای انتخاب و بررسی است. در شکل (۱) مهمترین معیارها و زیرمعیارهای موثر در انتخاب فرآیند آبگیری لجن فاضلاب شهری، بر اساس تجربیات حاصل از بهره‌برداری از فرآیندهای مختلف در جهان و ایران مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته است (Azar و همکاران، ۲۰۱۰؛ Karimi و همکاران، ۲۰۱۱؛ Abbasi و همکاران، ۲۰۲۱؛ Mehrdadi و همکاران، ۲۰۱۲) و نظرات نویسندگان و کارشناسان ارائه شده است.

بعد از انتخاب فرآیندهای مختلف آبگیری لجن و همچنین انتخاب معیارهای مختلف موثر در تصمیم‌گیری، با کمك گرفتن از مراجع و همچنین نظر خبرگان تصفیه لجن، وزن‌دهی معیارها و زیرمعیارها با امتیازدهی متخصصین تصفیه فاضلاب و لجن، میانگین‌گیری هندسی از نظرات و نرمال‌سازی میانگین نظرات انجام شد. به‌ایان‌ترتیب، اهمیت نسبی معیارهای مختلف نسبت به فرآیندهای تصفیه مورد بررسی، تعیین شد. در نهایت انجام مقایسه‌های زوجی معیارها و محاسبه نرخ ناسازگاری، با استفاده از نرم‌افزار Export Choice که جهت تحلیل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره با استفاده از روش AHP طراحی شده، صورت گرفت. برای ایجاد ساختار سلسله مراتبی برای انتخاب بهترین فرآیند آبگیری لجن در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری تهران، هدف اصلی در سطح یک سلسله مراتبی، پنج گزینه تصفیه در سطح چهار و در سطوح دو و سه، معیارها و زیرمعیارهای انتخاب در نظر گرفته شد. این ساختار در شکل (۱) ارائه شده است.

در ابتدا وزن معیارهای اصلی تصمیم‌گیری شامل: معیارهای فنی، اقتصادی، محیط‌زیستی و مدیریتی با امتیازدهی متخصصین تصفیه فاضلاب و لجن و میانگین‌گیری از آن‌ها تعیین و ماتریس مربوط به آن تشکیل شد.

افرادی که در این نظرسنجی شرکت کرده‌اند و از نظرات آن‌ها استفاده شده است، دربرگیرنده اساتید دانشگاهی از دانشگاه‌هایی مانند دانشگاه تهران، دانشگاه صنعتی شریف، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، دانشگاه صنعتی بابل، دانشگاه جندی شاپور اهواز، دانشگاه صنعتی قم، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشگاه آزاد اسلامی و غیره می‌باشند. همچنین متخصصینی از شرکت آب و فاضلاب و شرکت مدیریت منابع و شرکت‌های تابعه در کنار نظرات متخصصین و صاحب‌نظرانی از شرکت‌های خصوصی و مراکز تحقیقاتی نیز در این نظرسنجی شرکت کردند. در مرحله بعد وزن نسبی شاخص‌های مربوط به هر معیار تعیین و ماتریس‌های مربوط به آن ایجاد شد. جهت ارزیابی گزینه‌های مربوط به

فرآیندهای آبگیری لجن، ماتریس مقایسه های زوجی مربوط به هر معیار و زیرمعیارها تشکیل شد. با استفاده از نرم‌افزار Export Choice وزن نسبی معیارهای اصلی نسبت به هدف اصلی و وزن نسبی شاخص‌های مربوط به هر معیار نسبت به آن معیار محاسبه شد. همچنین نرخ ناسازگاری کنترل شد و از قابل قبول بودن هر مقایسه زوجی اطمینان حاصل شد.

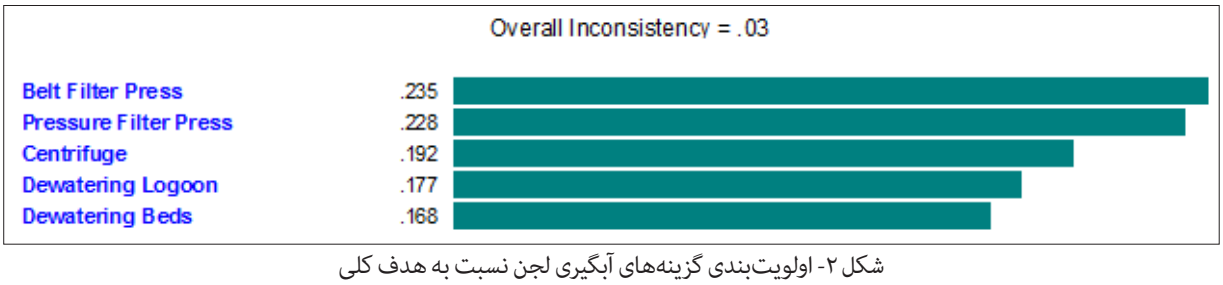


شکل ۱- ساختار سلسله مراتبی انتخاب مناسب‌ترین روش آبگیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده از نظر کارشناسان و خبرگان، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری، مهمترین زیرمعیار موثر در پارامترهای اقتصادی انتخاب فرآیندهای مختلف آبگیری لجن بوده و به‌این‌ترتیب راندمان آبگیری، تجربه استفاده در تصفیه‌خانه‌های کشور و درجه تصفیه به ترتیب مهمترین زیرمعیارهای موثر در معیارهای فنی، مدیریتی و محیط‌زیستی می‌باشند. اولویت‌بندی فرآیندهای مختلف آبگیری لجن نسبت به معیارهای اصلی فنی، اقتصادی، محیط‌زیستی و مدیریتی، باتوجه‌به خروجی‌های نرم‌افزار، فیلتر پرس نواری، لاگون، سانتریفیوژ و لاگون به ترتیب اولویت برتر در معیارهای فنی، اقتصادی، محیط‌زیستی و مدیریتی می‌باشند.
همچنین نتایج نمایانگر این است که معیار محیط‌زیستی موثرترین و معیار مدیریتی کم اثرترین معیار در اولویت‌بندی فرآیندهای آبگیری لجن می‌باشد. جدول (۳) به تعیین وزن و اهمیت نسبی معیارهای مقایسه فرآیندهای آبگیری لجن در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری تهران می‌پردازد.
اولویت‌بندی نهایی گزینه‌ها نسبت به هدف اصلی طرح در شکل (۲) ارائه شده است. براساس نتایج بررسی فرم‌های نظرخواهی از کارشناسان و خبرگان حوزه تصفیه و بازیافت فاضلاب و لجن و پس از جمع‌بندی مشخص شد، فرایند فیلترپرس نواری مناسبترین روش آبگیری لجن برای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری تهران می‌باشد و پس از آن فرآیندهای فیلترپرس فشاری، سانتریفیوژ، لاگون و بسترهای لجن خشک‌کن ماسه‌ای قرار می‌گیرند.

جدول ۳- تعیین وزن و اهمیت نسبی معیارهای مقایسه فرآیندهای آبگیری لجن در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری تهران

معیارها	وزن اهمیت	فیلتر پرس فشاری	فیلتر پرس نواری	سانتریفیوژ	بستر لجن‌خشک‌کن	لاگون
معیارهای فنی	۰/۳۱۳	۰/۱۸۱	۰/۲۷۱	۰/۱۳۳	۰/۲۰۱	۰/۲۱۳
راندمان آبگیری	۰/۳۲۵	۰/۲۲۳	۰/۴۰۲	۰/۲۳۱	۰/۰۹۰	۰/۰۵۵
قابلیت اعتماد فرآیند	۰/۰۷۷	۰/۲۷۱	۰/۳۹۰	۰/۰۷۲	۰/۱۰۱	۰/۱۶۷
قابلیت کاربرد فرآیند	۰/۱۱۱	۰/۲۷۰	۰/۴۲۵	۰/۱۶۹	۰/۰۶۸	۰/۰۶۸
قابلیت ارتقا کمی و کیفی فرآیند	۰/۰۴۷	۱۷۶/۰	۵۴۶/۰	۱۷۶/۰	۰۵۱/۰	۰۵۱/۰
نیاز به آمایش شیمیایی لجن	۰/۲۴۰	۰/۰۹۱	۰/۰۹۱	۰/۰۴۲	۰/۳۸۸	۰/۳۸۸
تناسب لجن خروجی با کاربری نهایی آن	۰/۰۳۰	۰/۱۴۳	۰/۱۴۳	۰/۱۴۳	۰/۲۸۶	۰/۲۸۶
تناسب با فرآیند قبل و بعد در تصفیه لجن	۰/۰۲۷	۰/۱۴۳	۰/۱۴۳	۰/۱۴۳	۰/۲۸۶	۰/۲۸۶
تجهیزات الکترومکانیکال کمتر	۰/۱۴۳	۰/۱۵۳	۰/۱۱۳	۰/۰۶۲	۰/۲۷۳	۰/۳۹۹
معیارهای اقتصادی	۰/۲۱۸	۰/۲۳۷	۰/۱۹۴	۰/۱۴۷	۰/۱۷۴	۰/۲۴۹
هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه	۰/۲۶۸	۰/۴۵۹	۰/۳۰۷	۰/۱۳۰	۰/۰۵۲	۰/۰۵۲
هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری	۰/۳۹۹	۰/۱۴۴	۰/۱۱۲	۰/۰۶۱	۰/۲۶۵	۰/۴۱۸
هزینه دفن لجن	۰/۰۳۹	۰/۲۵۰	۰/۲۵۰	۰/۲۵۰	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵
زمین مورد نیاز	۰/۱۵۰	۰/۲۵۱	۰/۲۵۱	۰/۴۰۸	۰/۰۳۷	۰/۰۵۳
ارزش افزوده لجن تولیدی جهت بازیافت	۰/۰۵۷	۰/۱۲۳	۰/۱۲۳	۰/۱۲۳	۰/۳۰۶	۰/۳۲۵
انرژی مصرفی با دیدگاه هدفمندسازی یارانه‌ها	۰/۰۸۸	۰/۱۱۷	۰/۱۷۱	۰/۰۷۴	۰/۲۵۵	۰/۳۸۳
معیارهای محیط‌زیستی	۰/۳۳۲	۰/۲۲۴	۰/۲۹۵	۰/۳۱۶	۰/۱۰۵	۰/۰۶۰
درجه تصفیه	۰/۳۵۵	۰/۲۲۸	۰/۳۳۳	۰/۳۴۲	۰/۰۵۶	۰/۰۴۱
ایجاد بو نامطبوع	۰/۲۴۱	۰/۲۶۴	۰/۳۰۶	۰/۳۴۴	۰/۰۴۹	۰/۰۳۷
زیبایی منظر	۰/۱۰۴	۰/۲۴۷	۰/۳۱۹	۰/۳۴۷	۰/۰۵۰	۰/۰۳۸
ایجاد محیط جذب حشرات ناقل بیماری	۰/۰۳۲	۰/۲۴۰	۰/۳۱۳	۰/۳۵۳	۰/۰۳۹	۰/۰۵۶
کیفیت لجن تولیدی جهت استفاده مجدد	۰/۱۵۵	۰/۱۴۵	۰/۱۴۵	۰/۱۴۵	۰/۳۸۴	۰/۱۸۱
حساسیت به تغییرات رطوبت و دما و ...	۰/۰۴۵	۰/۲۶۱	۰/۳۱۶	۰/۳۳۶	۰/۰۳۷	۰/۰۵۰
ایمنی	۰/۰۶۸	۰/۱۵۸	۰/۳۰۴	۰/۳۵۶	۰/۱۴۸	۰/۰۳۴
معیارهای مدیریتی	۰/۱۳۷	۰/۱۲۹	۰/۲۵۹	۰/۰۸۳	۰/۲۳۵	۰/۲۹۳
نیاز به پرسنل متخصص برای بهره‌برداری	۰/۱۰۶	۰/۱۱۷	۰/۱۷۱	۰/۰۷۲	۰/۲۴۱	۰/۳۹۸
سادگی در نگهداری و بهره‌برداری	۰/۲۴۹	۰/۱۳۷	۰/۱۳۷	۰/۰۷۹	۰/۲۴۴	۰/۴۰۳
قابلیت دسترسی محلی به تجهیزات	۰/۰۶۳	۰/۱۱۹	۰/۱۷۴	۰/۰۷۳	۰/۲۸۱	۰/۳۵۳
پایداری بهره‌برداری سیستم آبگیری لجن	۰/۰۴۱	۰/۱۵۸	۰/۱۵۸	۰/۰۸۹	۰/۲۸۹	۰/۲۸۹
وجود تکنولوژی ساخت و تعمیر در کشور	۰/۱۵۹	۰/۱۳۹	۰/۲۰۵	۰/۱۰۰	۰/۲۷۹	۰/۲۷۹
تجربه استفاده در تصفیه‌خانه‌های کشور	۰/۳۸۱	۰/۱۱۹	۰/۴۴۶	۰/۰۸۰	۰/۱۷۷	۰/۱۷۷



شکل ۲- اولویت‌بندی گزینه‌های آبگیری لجن نسبت به هدف کلی

۲- آنالیز حساسیت

وزن معیارها بیشترین اثر در رتبه‌بندی گزینه‌ها را دارند. تصمیم‌گیرنده باید درجه قابلیت اعتماد نتایج را برای تصمیم‌گیری نهایی بداند. به دلیل وجود عدم قطعیت در مراحل مختلف تصمیم‌گیری توسط چند شاخص، لازم است قبل از انتخاب گزینه نهایی، آنالیز حساسیت بر روی مساله صورت گیرد. بنابراین، انجام تحلیل حساسیت بعد از مشخص شدن رتبه‌بندی گزینه‌ها پیشنهاد می‌شود. در این تحلیل، محاسبات مجدد رتبه‌بندی گزینه‌ها با اصلاح وزن هر معیار انجام می گیرد. با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice یك تحلیل حساسیت کامل قابل انجام است. برای انجام این عمل، درحالی‌که وزن‌های دیگر معیارها ثابت باقیمانده، وزن یك معیار به‌صورت تدریجی افزایشی یا کاهشی تغییر می‌کند. بعد از انجام آنالیز حساسیت، ممکن است رتبه‌بندی گزینه‌ها تغییر کند (Mehrdadi و همکاران، ۲۰۱۲). آنالیز تمام تغییرات ممکن توسط نرم‌افزار Expert Choice که مدول آنالیز حساسیت قدرتمند و کاربر دوست دارند، قابل انجام است.

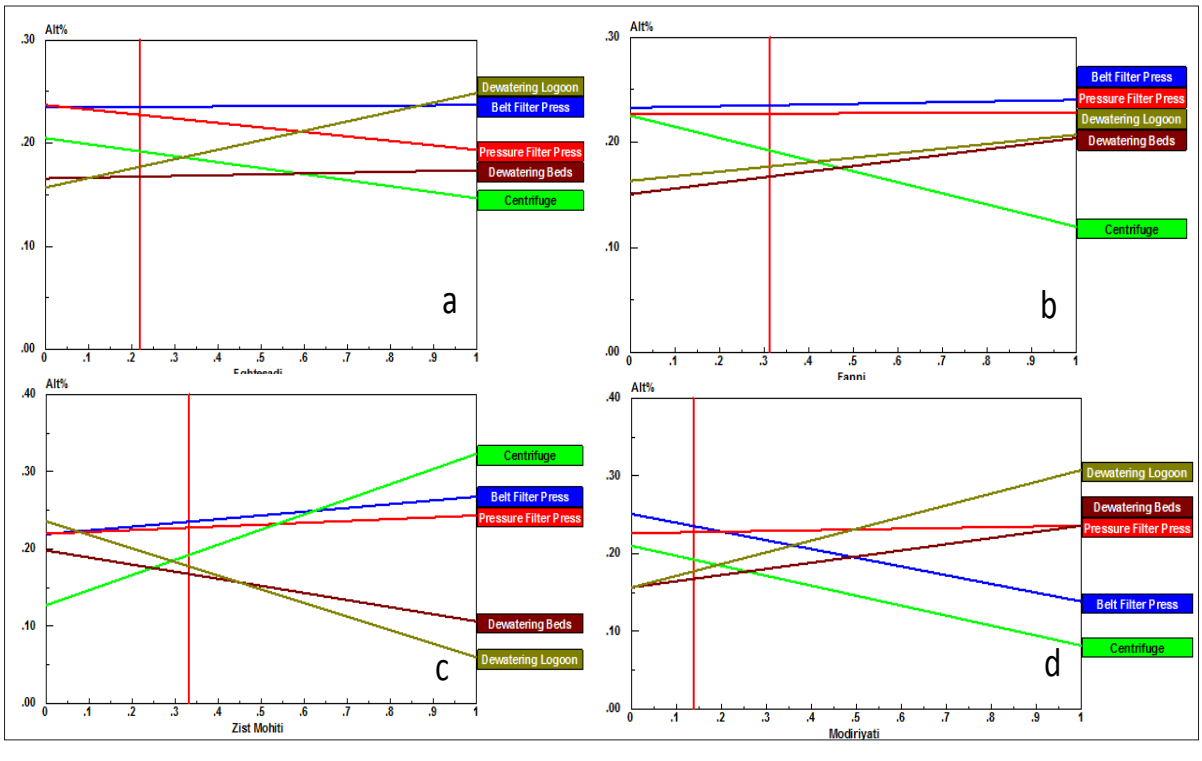
در تحلیل حساسیت‌های نشان داده شده در شکل (۳)، با تغییر درصد وزنی بین معیارهای اصلی، پایداری اولویت‌بندی گزینه‌ها بررسی شده است.

باتوجه‌به شکل (۳-a)، با تغییر درصد وزنی معیار اقتصادی از ۷/۲ تا ۸۵/۴ اولویت اول که فیلتر پرس نواری بوده ثابت باقیمانده اما با افزایش آن از ۸۵/۴ اولویت فیلتر پرس نواری و لاگون تغییر می‌یابد. به‌صورت کلی بیشترین حساسیت در معیار اقتصادی متوجه فرآیند لاگون می‌شود که با تغییر در میزان تأثیر معیار اقتصادی، موجب بیشترین تغییرات در اولویت‌بندی‌ها می‌شود.

باتوجه‌به شکل (۳-b)، با تغییر درصد وزنی معیار فنی، اولویت اول و دوم که فیلتر پرس نواری و فشاری هستند، ثابت باقیمانده اما با کاهش آن از مقدار ۴۲/۱ اولویت سانتریفیوژ با لاگون و لجن خشک‌کن‌های بستر ماسه‌ای تغییر می‌یابد. به‌صورت کلی بیشترین حساسیت در معیار فنی بر فرآیند سانتریفیوژ تأثیرگذار است که با تغییر در میزان تأثیر معیار فنی، موجب بیشترین تغییرات در اولویت‌بندی‌هامی‌شود.

باتوجه‌به شکل (۳-c)، با تغییر درصد وزنی معیار محیط‌زیستی از ۸/۸ تا ۶۳/۴ اولویت اول ثابت باقیمانده اما با کاهش آن از ۸/۸ اولویت اول به لاگون و با افزایش آن از ۶۳/۴ اولویت اول به سانتریفیوژ تغییر می‌یابد. به‌صورت کلی بیشترین حساسیت در معیار محیط‌زیستی بر فرآیند سانتریفیوژ تأثیرگذار است که با تغییر در میزان تأثیر معیار محیط‌زیستی، موجب بیشترین تغییرات در اولویت‌بندی‌هامی‌شود.

باتوجه‌به شکل (۳-d)، با تغییر درصد وزنی معیار مدیریتی از ۲۰/۸ تا ۵۰/۳ اولویت اول فیلتر پرس فشاری بوده اما با تغییر آن به بیشتر از ۵۰/۳ اولویت به لاگون تغییر کرده و در مقدار کمتر از ۲۰/۸ با فیلتر پرس نواری تعویض می‌شود. به‌صورت کلی بیشترین حساسیت در معیار مدیریتی بر فرآیند فیلتر پرس نواری تأثیرگذار است که با تغییر در میزان تأثیر معیار مدیریتی، موجب بیشترین تغییرات در اولویت‌بندی‌هامی‌شود.



شکل ۳- نمودار تحلیل حساسیت نسبت به معیار

نتیجه‌گیری

انتخاب نوع فرآیند آبگیری لجن برای تصفیه لجن فاضلاب شهری تهران اهمیت بالایی دارد. باتوجه‌به تنوع معیارهای تأثیرگذار (معیارهای کمی و کیفی)، استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره اجتناب‌ناپذیر می‌شود. در تصمیم‌گیری برای هر تصفیه‌خانه، وزن و اهمیت نسبی معیارها با اطلاعات ارائه شده در این تحقیق متفاوت خواهد بود و باید بر اساس واقعیت‌های هر تصفیه‌خانه ارزیابی صورت گیرد. در این مطالعه معیارهای اصلی فنی، اقتصادی، محیط‌زیستی و مدیریتی به همراه زیرمعیارهای مربوط به آن بر اساس روش AHP تعیین شد. با داشتن نتایج فراهم شده از پرسشنامه تهیه شده از کارشناسان و خبرگان حوزه تصفیه فاضلاب و لجن، وزن‌دهی معیار ها در روش AHP و همچنین آنالیز حساسیت معیارها با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice برای تعیین بهترین گزینه برای آبگیری لجن انجام شد. تحلیل حساسیت بر روی معیارهای اصلی انجام شد و ضریب حساسیت برای چهار معیار فنی، اقتصادی، اجتماعی-محیط‌زیستی و مدیریتی به‌دست آمد تا قابلیت اعتماد نتایج برای تصمیم‌گیری نهایی مشخص شود. نتایج نشان داد فرایند فیلترپرس نواری مناسبترین روش آبگیری لجن برای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری تهران می‌باشد و پس از آن فرآیندهای فیلترپرس فشاری، سانتریفیوژ، لاگون و بسترهای لجن خشک‌کن ماسه‌ای قرار می‌گیرند.

سپاسگزاری

مقاله حاضر با استفاده از نتایج طرح شماره ۹۰/۱۴۹۱۱/۵۰۱ و با حمایت شرکت آب و فاضلاب تهران و شرکت فاضلاب تهران، نوشته شده است. به‌این‌وسیله از مسئولان شرکت‌های نامبرده و تصفیه‌خانه جنوب شهر تهران جهت حمایت‌های مادی و معنوی، تشکر و قدردانی می‌شود.

پی‌نوشت

1-Analytical Hierarchy Process (AHP)

2-Inconsistency Index

منابع

Abbasi N., Ahmadi M. and Naseri M. 2021. Quality and cost analysis of a wastewater treatment plant using GPS-X and CapdetWorks simulation programs. Journal of Environmental Management, 284: 111993.

Akhoundi A. and Nazif S. 2018. Sustainability assessment of wastewater reuses alternatives using the evidential reasoning approach. J. Cleaner Prod, 195: 1350-1376.

Ananda J. 2007. Implementing participatory decision making in forest planning. Environmental management, 39(4): 534-544.

Andreoli C. V., Von Sperling M and Fernandes F. 2007. Sludge treatment and disposal. IWA publishing. VOLUME SIX. London. New Yaork.

Azar A. Jelogir A. G., Bidhendi G. N., Mehrdadi N., Zaredar N and Poshtegal. M. K.. 2010. Investigation of optimal method for hospital wastewater treatment. J. Food Agric. Environ, 8(2): 1199-1202.

Carpitella S., Certa A., Izquierdo J and La Fata C. M. 2018. A combined multi-criteria approach to support FMECA analyses: A real-world case. Reliability Engineering & System Safety. 169: 394-402.

Dabaghian M., Hashemi S. H., Ebadi T. and Maknoon R. 2008. The best available technology for small electroplating plants applying analytical hierarchy process. International Journal of Environmental Science & Technology, 5(4): 479-484.

Đurđević D., Trstenjak M. and Hulenić I. 2020. Sewage sludge thermal treatment technology selection by utilizing the analytical hierarchy process. Water, 12(5): 1255.

Goodwin D., Raffin M., Jeffrey P. and Smith H. M. 2019. Stakeholder evaluations of risk interventions for non-potable recycled water schemes: a case study. Science of the Total Environment, 674: 439-450.

Haddad M., Sanders D. and Tewkesbury G. 2020. Selecting a discrete multiple criteria decision making method for Boeing to rank four global market regions. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 134: 1-15.

Hamed H., Naser M., Mohammad T. J. and Hamidreza H. 2012. Performance simulation of H-TDS unit of FAJR industrial wastewater treatment plant using a combination of neural network and principal component analysis. Journal of Water Resource and Protection. 4(5): 311-317.

and feedback: The analytic network process. RWS publications Pittsburgh. Pittsburgh. PA: RWS Publications.1st ed. United States.

Saaty T. L. 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. International journal of services sciences, 1(1): 83-98.

Shakeri H., and Nazif S. 2018. "Development of an algorithm for risk-based management of wastewater reuse alternatives." Water Reuse Desalin, 8(1): 38-57.

Shih C. S. and DeFilippi J. A. 1970. System optimization of waste treatment plant process design. Journal of the Sanitary Engineering Division, 96(2): 409-421.

Tscheikner-Gratl F., Egger P., Rauch W. and Kleidorfer M. 2017. Comparison of multi-criteria decision support methods for integrated rehabilitation prioritization. Water, 9(2): 68.

Tyagi V. K. and Lo S.-L. 2013. Sludge: a waste or renewable source for energy and resources recovery? Renewable and Sustainable Energy Reviews, 25: 708-728.

Wind, Y. and Saaty T. L. 1980. Marketing applications of the analytic hierarchy process. Management science, 26(7): 641-658.

Wondim T. T. and Dzwairo B. 2018. A scenario-based multiple attribute decision-making approach for site selection of a wastewater treatment plant: Bahir Dar City (Ethiopia) case study. Water SA, 44(4): 782-794.

Zeng G., Jiang R., Huang G., Xu M. and Li J. 2007. Optimization of wastewater treatment alternative selection by hierarchy grey relational analysis. Journal of environmental management, 82(2): 250-259.

Zolfaghary P., Zakerinia M. and Kazemi H. 2021. A model for the use of urban treated wastewater in agriculture using multiple criteria decision making (MCDM) and geographic information system (GIS). Agricultural Water Management, 243: 106490.

Ishizaka, A. and Labib A. 2009. Analytic hierarchy process and expert choice: Benefits and limitations. Or Insight, 22(4): 201-220.

Karimi A., Mehrdadi N., Hashemian S., Bidhendi G. and Moghaddam R. T. 2011a. Using of the fuzzy TOPSIS and fuzzy AHP methods for wastewater treatment process selection. International journal of academic research, 3(1): 737-745.

Karimi A., Mehrdadi N., Hashemian S., Bidhendi G. and Moghaddam R. T. 2011b. Selection of wastewater treatment process based on the analytical hierarchy process and fuzzy analytical hierarchy process methods. International Journal of Environmental Science & Technology, 8(2): 267-280.

Koulinas G. K., Marhavilas P. K., Demesouka O. E., Vavatsikos A. P. and Koulouriotis D. E. 2019. Risk analysis and assessment in the worksites using the fuzzy-analytical hierarchy process and a quantitative technique–A case study for the Greek construction sector. Safety science, 112: 96-104.

Lynn W. R., Logan J. A. and Charnes A. 1962. Systems analysis for planning wastewater treatment plants. Journal (Water Pollution Control Federation), 34(6): 565-581.

Mahmoodzadeh S., Shahrabi J., Pariazar M. and Zaeri M. 2007. Project selection by using fuzzy AHP and TOPSIS technique. World Academy of Science, Engineering and Technology, 30(1): 333-338.

Mehrdadi N. and Hasanlou H. 2012. Reduction of excess sludge using different methods in SBR process for biological wastewater treatment (emphasizing on ultrasonic usage), 38(1): 49-60.

Peniwati K. 2007. Criteria for evaluating group decision-making methods. Mathematical and Computer Modelling, 46(7-8): 935-947.

Saaty T. L. 1996. Decision making with dependence