



Paper Type: Original Article



## Selecting the Best Wastewater Treatment Process in City of Farmahin Using Multiple Attribute Decision Making

Abbas Jahangiri\* 

<sup>1</sup> Research Expert, Markazi Province Water and Wastewater Company, Arak, Iran; jahangirieng@yahoo.com.

**Citation:**



Jahangiri, A. (2022). Selecting the best wastewater treatment process in city of Farmahin using multiple attribute decision making. *Journal of decisions and operations research*, 6 (Spec. Issue.), 1-11.

Received: 19/10/2021

Reviewed: 30/10/2021

Revised: 07/12/2021

Accepted: 17/12/2021

### Abstract

**Purpose:** Selection of the appropriate process is one of the most important issues prior to design and construct any wastewater treatment plant. Considering the importance of this issue, current study was carried out to selecting the best wastewater treatment process in city of Farmahin.

**Methodology:** In this descriptive study that conducted in 2021, three wastewater treatment processes named: Activated Sludge with nitrogen and phosphorus removal, Extended Aeration with nitrogen and phosphorus removal and Membrane Bioreactor were considered as problem alternatives. The required data was obtained by distributing a researcher-made questionnaire consisting of cost, technical, environmental and managerial criteria among 21 experts. The weight of each attribute was determined using the Entropy method and finally, decision matrix was processed by using one of the newest multiple attribute decision making methods called "Measurement Alternatives and Ranking according to CoMPromise Solution (MARCOS)". It should be noted that all calculations were performed using Excel 2016 software.

**Findings:** The results showed extended aeration with nitrogen and phosphorus removal with 0.758 utility function has taken first priority, activated sludge with removal of nitrogen and phosphorus with a 0.723 utility function has taken second priority and finally membrane bioreactor with 0.576 utility function has taken last priority. Therefore, the best wastewater treatment process in the city of Farmahin is extended aeration with nitrogen and phosphorus removal.

**Originality/Value:** In this paper, by using one of the newest multiple Attribute decision making methods called "MARCOS", the best wastewater treatment process for the city of Farmahin was selected. The results of this research are very useful for the Markazi Province Water and Wastewater Company.

**Keywords:** Multiple attribute decision making, Wastewater treatment process, Measurement Alternatives and Ranking according to CoMPromise Solution (MARCOS).

Corresponding Author: jahangirieng@yahoo.com

 <http://dx.doi.org/10.22105/dmor.2021.272429.1508>



Licensee. **Journal of Decisions and Operations Research**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



نوع مقاله: پژوهشی

6

## انتخاب بهترین فرآیند تصفیه‌ی فاضلاب در شهر فرمهین با استفاده از تصمیم‌گیری چند شاخصه

عباس جهانگیری\* ID

کارشناس تحقیقات، شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی، اراک، ایران.

### چکیده

**هدف:** یکی از مهم‌ترین موضوعات قبل از طراحی و احداث هر تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب، انتخاب فرآیند تصفیه‌ی مناسب می‌باشد. لذا با توجه به اهمیت کلیدی موضوع، این مطالعه با هدف انتخاب بهترین فرآیند تصفیه‌ی فاضلاب شهر فرمهین انجام شد.

**روش‌شناسی پژوهش:** در این تحقیق توصیفی که در سال ۱۴۰۰ صورت گرفته شد، سه فرآیند تصفیه‌ی فاضلاب به نام‌های: لجن فعال با حذف ازت و فسفر، هواده‌ی گسترده با حذف ازت و فسفر و ممبران بیوراکتور به عنوان گزینه‌های مساله در نظر گرفته شد. داده‌های مورد نیاز با توزیع پرسشنامه‌ای محقق ساخته متشکل از معیارهای هزینه‌ای، فنی، زیست محیطی و مدیریتی بین ۲۱ خبره به دست آمد. وزن هر شاخص با استفاده از روش آنتروپی مشخص گردید و در نهایت ماتریس تصمیم‌گیری با به کارگیری یکی از جدیدترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه به نام "اندازه‌گیری و رتبه‌بندی مطابق با راه حل سازشی (مارکوس)" مورد پردازش قرار گرفته شد. لازم به ذکر است تمامی محاسبات به کمک نرم‌افزار Excel 2016 صورت گرفته شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد هواده‌ی گسترده با حذف ازت و فسفر با کسب نمره‌ی سودمندی ۰/۷۵۸ اولویت اول، لجن فعال با حذف ازت و فسفر با کسب نمره‌ی سودمندی ۰/۷۲۳ اولویت دوم و در نهایت ممبران بیوراکتور با کسب نمره‌ی سودمندی ۰/۵۶۷ اولویت آخر را به خود اختصاص داده اند؛ لذا بهترین فرآیند تصفیه‌ی فاضلاب در شهر فرمهین هواده‌ی گسترده با حذف ازت و فسفر می‌باشد.

**اصالت/ارزش افزوده علمی:** در این مقاله با استفاده یکی از جدیدترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه به نام مارکوس بهترین فرآیند تصفیه‌ی فاضلاب برای شهر فرمهین انتخاب شد که نتایج این تحقیق برای شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی بسیار سودمند می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: اندازه‌گیری و رتبه‌بندی مطابق با راه حل سازشی (مارکوس)، تصمیم‌گیری چند شاخصه، فرآیند تصفیه‌ی فاضلاب.

### ۱- مقدمه

امروزه با توسعه‌ی روز افزون جوامع شهری و افزایش جمعیت شهرها و در نتیجه افزایش نیاز آبی، میزان تولید فاضلاب شهری رشد چشمگیری داشته است. از طرفی، افزایش آگاهی عمومی نسبت به مشکلات آلودگی آب، تصویب قوانین جدید و سختگیرانه‌ی زیست محیطی را در خصوص تخلیه‌ی پساب در پی داشته که این موضوع سبب افزایش سرعت ساخت و نصب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری شده است

\* نویسنده مسئول

jahangirieng@yahoo.com

<http://dx.doi.org/10.22105/dmor.2021.272429.1508>





(تورتاجادا<sup>۱</sup>، ۲۰۲۰). تأثیرات نامطلوب زیست محیطی ناشی از دفع نادرست فاضلاب شهری در حدی است که امروزه اجرای طرح‌های تصفیه‌ی فاضلاب امری ضروری و بنیادی تلقی می‌گردد؛ لذا مهم‌ترین هدف از تأسیس سیستم‌های تصفیه‌ی فاضلاب در مناطق شهری شامل حفظ سلامت و بهداشت جوامع، حفاظت از محیط زیست و جلوگیری از آلودگی منابع آب و استفاده‌ی مجدد از فاضلاب تصفیه شده در کشاورزی و صنعت می‌باشد (موسوی بفرولی و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۹).

یکی از مهم‌ترین موضوعات قبل از طراحی و ساخت هر تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب، انتخاب بهترین فرآیند تصفیه است (یحیا و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۲۰). در سال‌های گذشته مطالعات و مدل‌های بهینه‌سازی زیادی برای یافتن بهترین فرآیند تصفیه‌ی فاضلاب ارائه شده است که اکثر آن‌ها فقط به معیارهای هزینه‌ای و فنی توجه کرده‌اند در حالی که همواره بهترین گزینه‌ی تصفیه، ارزان‌ترین گزینه نیست، بلکه معیارهای فنی، زیست محیطی، هزینه‌ای، مدیریتی و غیره می‌بایست به طور جامع در نظر گرفته شود؛ لذا تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب فرآیند بهینه‌ی تصفیه‌ی فاضلاب شهری مسئله‌ای مهم، پیچیده و چند بعدی است (کارلوس و نورنا<sup>۴</sup>، ۲۰۲۱).

برای مقابله با این پیچیدگی و تسهیل نمودن تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب مناسب‌ترین فرآیند تصفیه‌ی فاضلاب، تصمیم‌گیری چند شاخصه (*MADM*) به عنوان یک روش موثر برای حمایت از تصمیم‌گیرندگان می‌تواند نقشی محوری در این رابطه ایفا نماید زیرا نه تنها یک روشی ساختاری و منطقی محسوب می‌شود، بلکه با در نظر گرفتن معیارهای مختلف، بهترین فرآیند ممکن را می‌تواند انتخاب نماید (آریو و مولینوس-سنانت<sup>۵</sup>، ۲۰۱۸).

گرچه بسیاری از شهرهای کشور در حال حاضر مجهز به شبکه‌ی جمع‌آوری و تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب می‌باشند؛ اما شهرهایی نیز وجود دارند که هنوز فاضلاب کشی نشده‌اند و این مهم در آینده‌ای نزدیک توسط شرکت‌های آب و فاضلاب می‌بایست اجرا شود. بدیهی است چنانچه انتخاب فرآیند تصفیه‌ی فاضلاب در ابتدای تأسیس تصفیه‌خانه‌ها به درستی و با دقت بالا صورت نگیرد هزینه‌ها و مشکلات زیادی برای شرکت‌های آب و فاضلاب و کارکنان تصفیه‌خانه‌ها، محیط زیست، شهروندان و غیره به وجود خواهد آورد که برخی از مهم‌ترین موارد عبارتند از افزایش هزینه‌های سرمایه‌ای، افزایش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات، افزایش هزینه‌های نیروی انسانی، افزایش برق مصرفی، بروز نارضیاتی شهروندان به علت بوهای نامطبوع، افزایش احتمال آلودگی آب، خاک و هوای شهر و غیره. بنابراین انجام چنین تحقیقی برای شهرهایی که قرار است در آینده‌ای نزدیک فاضلاب کشی شوند که به عنوان مثال می‌توان به شهر فرمیه، مرکز شهرستان فراهان در استان مرکزی اشاره نمود، دارای اهمیت زیادی می‌باشد؛ لذا هدف از این مقاله انتخاب بهترین فرآیند تصفیه‌ی فاضلاب برای شهر فرمیه با در نظرگیری معیارهای مختلف می‌باشد که روش و نتایج این تحقیق می‌تواند مورد توجه و استفاده سیاستگذاران و تصمیم‌گیران شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی و نیز سایر استان‌ها قرار گیرد.

این مقاله به گونه‌ای ساماندهی شده است که پس از مقدمات فوق، در بخش ۲ پیشینه‌ی پژوهش ارائه شده است و به تحقیقات داخلی و خارجی مشابه پرداخته شده است، در بخش ۳ روش پژوهش و مراحل انجام تحقیق اعم از نوع تحقیق، بُعد مکانی و زمانی تحقیق، نحوه جمع‌آوری داده‌ها، نحوه و روابط تحلیل داده‌ها، نرم افزار تحلیل داده‌ها و غیره بیان شده است، در بخش ۴ یافته‌های تحقیق ارائه شده است، در بخش ۵ بحث منطقی بر روی یافته‌ها ارائه شده است، در بخش ۶ نتیجه‌گیری کلی از تحقیق و پیشنهادهای کاربردی برای شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی و محققین آتی ارائه شده است و در انتها پس از تشکر و قدردانی از کسانی که در انجام تحقیق نویسنده را یاری نموده‌اند، منابع به کار گرفته شده ارائه شده است.

## ۲- پیشینه‌ی پژوهش

در سال‌های اخیر تحقیقات داخلی و خارجی مختلفی در رابطه با انتخاب بهترین فرآیند تصفیه‌ی فاضلاب با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره صورت گرفته شده است که در این قسمت به چند مورد از آن‌ها اشاره می‌شود.

<sup>1</sup> Tortajada

<sup>2</sup> Mosavi Bafroei et al.

<sup>3</sup> Yahya et al.

<sup>4</sup> Carlos and Noroña

<sup>5</sup> Arroyo and Molinos-Senante

فتایی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۳) تحقیقی با هدف ارزیابی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در حال بهره‌برداری شهرهای اردبیل، تبریز و ارومیه به جهت اولویت‌بندی و انتخاب مناسب‌ترین فرآیند تصفیه انجام دادند. آنان داده‌های مورد نیاز خود را با توزیع پرسشنامه‌ای محقق ساخته در میان ۳۰ نفر از مدیران و کارشناسان شرکت‌های آب و فاضلاب جمع‌آوری نمودند و با استفاده از روش AHP و در نظرگیری سه معیار فنی، اقتصادی و زیست محیطی، سه روش بیولاک، لجن فعال و لاگون هوادهی را اولویت‌بندی نمودند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که بیولاک مناسب‌ترین روش تصفیه‌ی فاضلاب می‌باشد و فرآیندهای لجن فعال و لاگون هوادهی به ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار دارند. در بین معیارها نیز معیار فنی به عنوان موثرترین معیار تعیین شد و معیارهای زیست محیطی و اقتصادی به ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار گرفته‌اند.

نایب و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۴) در تحقیقی با تقسیم‌بندی اقلیمی ایران به نواحی پنج‌گانه (کوهستانی، خزری، مدیترانه‌ای، نیمه بیابانی و بیابانی) و با نظرسنجی از کارشناسان خبره مقیم در هر اقلیم و استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی بر اساس معیارهای زیست محیطی، اقتصادی و فنی به انتخاب فرآیند بهینه‌ی تصفیه‌ی فاضلاب شهری از میان چهار روش لجن فعال، لاگون هوادهی، برکه تثبیت و صافی چکنده، در هر یک از اقلیم‌های کشور پرداختند. بر اساس نتایج تحقیق آنان، در سه اقلیم کوهستانی، خزری و مدیترانه‌ای کشور فرآیند لجن فعال و در اقلیم‌های نیمه بیابانی و بیابانی فرآیند برکه تثبیت به عنوان فرایندهای بهینه‌ی تصفیه‌ی فاضلاب شهری شناخته شدند. همچنین، بر اساس نتایج هر پنج اقلیم کشور، معیار زیست محیطی دارای بیشترین اهمیت بوده است و در پنج اقلیم دیگر به جز اقلیم بیابانی، پس از معیار زیست محیطی، معیارهای فنی و اقتصادی در اولویت‌های بعدی اهمیت قرار داشته‌اند.

حیدری و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۶) در تحقیقی با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی سعی در انتخاب بهترین روش تصفیه‌ی فاضلاب در روستای سلیمانی از توابع شهرستان فیروزه در استان خراسان رضوی با در نظرگیری ۳ معیار اقتصادی، کارایی فرآیند و فنی و ۱۵ زیر معیار نمودند. آنان فرآیندهای تصفیه‌ی فاضلاب شامل لجن فعال، دیسک‌های بیولوژیکی چرخان، هوادهی با بستر گسترده و وتلند زیرسطحی را اولویت‌بندی نمودند و در نهایت نتیجه‌گیری نمودند که برای مناطق روستایی معیارها و محدودیت‌های اقتصادی، بیشترین تأثیر را بر روی تصمیم‌گیری نهایی دارند و از میان گزینه‌های مورد بررسی، روش وتلند زیرسطحی مناسب‌ترین روش تصفیه‌ی فاضلاب برای منطقه می‌باشد.

حسین زاده کلخوران و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۷) در تحقیقی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، فرایندهای تصفیه فاضلاب شهرهای اردبیل، تبریز و ارومیه که شامل لاگون هوادهی، لجن فعال و بیولاک می‌شد را بر اساس معیارهای فنی، اقتصادی و محیط زیستی و زیرمعیارهای مربوطه مورد مطالعه و بررسی قرار دادند و نتیجه‌گیری نمودند که فرآیند بیولاک در اولویت اول و فرایندهای لجن فعال و لاگون هوادهی به ترتیب در اولویت‌های دوم و سوم قرار گرفته‌اند.

موسوی بفرئی و همکاران (۲۰۱۹) تحقیقی با هدف تعیین بهترین روش تصفیه‌ی فاضلاب برای مناطق روستایی شهرستان میبد یزد بر اساس فرآیند تحلیل سلسله مراتبی انجام دادند. آنان چهار روش تصفیه‌ی فاضلاب شامل: وتلند، برکه تثبیت، هوادهی گسترده بتنی و هوادهی گسترده پیش ساخته جهت تصفیه‌ی فاضلاب روستاهای شهرستان میبد یزد را تحت مطالعه قرار دادند و با توزیع پرسش‌نامه‌ای محقق ساخته در میان ۲۰ نفر از اساتید و کارشناسان متخصص، اطلاعات مورد نیاز خود را جمع‌آوری نمودند. در نهایت فرآیندها بر اساس معیارهای فنی، اقتصادی و زیست محیطی رتبه‌بندی شدند. نتایج تحقیق آنان نشان داده است که روش وتلند بهترین گزینه برای تصفیه‌ی فاضلاب روستایی بوده و برکه تثبیت، هوادهی گسترده پیش ساخته و هوادهی گسترده بتنی به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. هم‌چنین مهم‌ترین معیارها در انتخاب روش تصفیه‌ی فاضلاب به ترتیب معیار زیست محیطی، فنی و اقتصادی بوده است.

جعفری فشارکی و فروغی زاده<sup>۵</sup> (۲۰۲۰) در تحقیقی با هدف انتخاب فرآیند بهینه‌ی تصفیه‌ی فاضلاب برای یک مجتمع تحقیقاتی-صنعتی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فرایندهای سپتیک تانک، برکه‌ی تثبیت، لاگون هوادهی، لجن فعال، صافی چکنده و

<sup>1</sup> Fataei et al.

<sup>2</sup> Nayeb et al.

<sup>3</sup> Heidari et al.

<sup>4</sup> Hosseinzadeh Kalkhoran et al.

<sup>5</sup> Jafari Fesharaki and Forughizadeh



ممبران بیوراكتور را از نظر معيارهای فنی - اجرایی، اقتصادی و نیز محیط زیستی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که فرایندهای ممبران بیوراكتور، لجن فعال، صافی چکنده، سپتیک تانک، لاگون هوادهی و برکه‌ی تثبیت به ترتیب در رتبه‌های اول تا ششم قرار دارند.

## ۲-۲- پیشینه‌ی پژوهش‌های خارجی

مولینوس-سنانته و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۵) تحقیقی با هدف تعیین بهترین روش تصفیه‌ی فاضلاب برای جوامع کوچک انجام دادند. آنان ۷ روش تصفیه‌ی فاضلاب شامل: تالاب‌های مصنوعی، هوادهی گسترده، بیوراكتور غشایی، سیستم برکه، دیسک‌های بیولوژیکی چرخان، راکتور ناپیوسته متوالی و صافی چکنده با در نظرگیری معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی را با استفاده از روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) اولویت‌بندی نمودند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که فناوری‌های گسترده مثل تالاب‌های مصنوعی و سیستم‌های برکه‌ای بیشترین اولویت را از نظر کارشناسان تصفیه‌ی فاضلاب دارند.

کمبل و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۸) تحقیقی با هدف ارزیابی و انتخاب یک فناوری تصفیه‌ی فاضلاب شهری مناسب انجام دادند. آنان داده‌های مورد نیاز خود را با توزیع پرسشنامه‌ای محقق ساخته جمع‌آوری نمودند و شش روش تصفیه‌ی فاضلاب شامل: راکتور ناپیوسته متوالی، بیوراكتور غشایی، راکتور بیوفیلمی با بستر متحرک، لاگون هوادهی اختیاری، بیوتکنولوژی خاک و لجن فعال معمولی را با در نظرگیری ۱۲ معیار با به کارگیری روش‌های AHP و TOPSIS اولویت‌بندی نمودند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که بیوراكتور غشایی و راکتور ناپیوسته متوالی بالاترین اولویت را دارا می‌باشند.

علی و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۲۰) تحقیقی با هدف انتخاب مناسب‌ترین فرآیند تصفیه‌ی فاضلاب در کشور پاکستان انجام دادند. آنان ۵ فرآیند تصفیه‌ی فاضلاب شامل: لجن فعال، راکتور ناپیوسته متوالی، تالاب مصنوعی، لاگون‌های بی‌هوازی و فیلتراسیون غشایی را با در نظرگرفتن ۱۰ معیار هزینه، زمین مورد نیاز، زمان فرآیند، نیروی انسانی مورد نیاز، کارایی فرآیند، تأثیرات محیطی، مصرف انرژی، تولید لجن، ایمنی و الزامات شیمیایی را با استفاده از روش ویکور اولویت‌بندی نمودند. نتایج مطالعه آنان نشان داد که لجن فعال مناسب‌ترین فناوری برای تصفیه‌ی فاضلاب صنعتی در پاکستان می‌باشد که در رتبه اول قرار دارد و به دنبال آن فیلتراسیون غشایی و راکتور ناپیوسته متوالی در رده‌های دوم و سوم قرار دارند.

گیچامو و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۲۰) تحقیقی را با هدف انتخاب بهترین روش تصفیه‌ی طبیعی فاضلاب از جمله برکه تثبیت، تالاب مصنوعی، استفاده از گیاهان آبی، فیلتر خاکی و استفاده مجدد از فاضلاب برای آبیاری کشاورزی با در نظرگیری معیارهای مختلفی از جمله راندمان حذف آلاینده‌ها، زمین مورد نیاز، هزینه‌های سرمایه‌ای، هزینه‌های نگهداری، خطرات بهداشتی، خطرات هیدروژئولوژیکی، منافع اکولوژیکی و تأثیرات فصلی با استفاده از روش پرومته فازی انجام دادند و در نهایت نتیجه‌گیری نمودند که برکه تثبیت مناسب‌ترین روش می‌باشد.

گیچامو و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیق دیگری پنج فرآیند طبیعی تصفیه فاضلاب را با همان معیارهای قبلی اما با استفاده از روش ویکور مورد مطالعه قرار دادند. نتایج تحقیق آنان به طور مجدد نشان داد که برکه تثبیت مناسب‌ترین روش می‌باشد.

شارما و راول<sup>۵</sup> (۲۰۲۱) تحقیقی در کشور هند با هدف انتخاب مناسب‌ترین فناوری تصفیه‌ی فاضلاب برای شهرهای کوچک تا متوسطی که محدودیتی در تأمین زمین مورد نیاز نداشتند را انجام دادند. آنان از نظرات و قضاوت‌های کارشناسان برای تعیین وزن شاخص‌ها استفاده نمودند و به کمک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و با در نظرگیری معیارهای اقتصادی، فنی و زیست محیطی سه فرآیند تصفیه فاضلاب به نام‌های صافی چکنده، برکه تثبیت و لجن فعال را مورد بررسی قرار دادند نتایج تحقیق آنان نشان داد که برکه تثبیت بالاترین اولویت را دارا می‌باشد.

<sup>1</sup> Molinos-Senante et al.

<sup>2</sup> Kamble et al.

<sup>3</sup> Ali et al.

<sup>4</sup> Gichamo et al.

<sup>5</sup> Sharma and Rawal

مطالعات فوق نشان می‌دهد که تلاش زیادی از جانب محققین داخلی و خارجی جهت تعیین بهترین فرآیند تصفیه‌ی فاضلاب با در نظر گرفتن معیارهای مختلف صورت گرفته شده است اما تا کنون مطالعه‌ای در شهر فرمهین صورت گرفته نشده است؛ لذا انجام چنین تحقیقی ضرورت دارد.

### ۳- روش پژوهش

تحقیق حاضر از نظر هدف کاربردی و از نظر ماهیت جزو مطالعات موردی محسوب می‌شود که در بهار سال ۱۴۰۰ صورت گرفته شده است. قلمروی مکانی این تحقیق شهر فرمهین می‌باشد. این شهر مرکز شهرستان فراهان است که در ۵۰ کیلومتری شمال مرکز استان مرکزی یعنی شهر اراک و نیز در ۴۰ کیلومتری جنوب غربی شهرستان تفرش جای گرفته‌است که در سال ۱۳۸۹ از شهرستان تفرش جدا شده است و بر اساس آخرین سرشماری صورت گرفته شده (سال ۱۳۹۵) جمعیت این شهر ۵۷۵۶ نفر گزارش شده است.

داده‌های مورد نیاز با توزیع پرسشنامه‌ای محقق ساخته بین معاونان، مدیران و کارشناسان حوزه‌ی بهره‌برداری و توسعه فاضلاب شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی که جمعاً ۱۷ نفر را شامل می‌شدند و نیز ۴ نفر از اساتید دانشگاه‌های اراک، علوم پزشکی اراک، علوم پزشکی ساوه و اصفهان و میانگین گیری نظرات آنان به دست آمد. لازم به ذکر است افراد فوق بر اساس تجربه، دانش، شناخت و ارتباط نزدیکی که با شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی دارا بودند حسب نظر اعضای کمیته تحقیقات شرکت مذکور انتخاب شدند. پرسشنامه‌ی تحقیق شامل ۵۴ سوال بود که برای هر سوال امتیازهایی از ۱ تا ۵ در نظر گرفته شده بود. در این پرسشنامه حسب نظر اعضای کمیته‌ی تحقیقات شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی، ۳ روش تصفیه‌ی فاضلاب شامل: لجن فعال با حذف ازت و فسفر ( $A_1$ )، هوادهی گسترده با حذف ازت و فسفر ( $A_2$ ) و نهایتاً ممبران بیوراكتور ( $A_3$ ) به عنوان گزینه‌های پیشنهادی جهت اولویت‌بندی در نظر گرفته شدند.

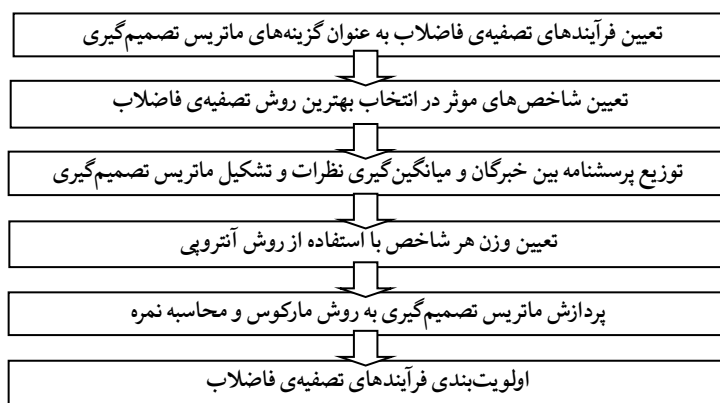
در این تحقیق به منظور اولویت‌بندی فرآیندهای تصفیه‌ی فاضلاب از تصمیم‌گیری چند شاخصه استفاده شد. به این منظور با مطالعه‌ی مقالات مشابه و کمک گرفتن از نظر اعضای کمیته تحقیقات شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی، معیارهای تحقیق مشخص شدند. این معیارها شامل ۵ معیار هزینه‌ای، ۵ معیار زیست محیطی، ۶ معیار فنی و ۲ معیار مدیریتی (جمعاً ۱۸ معیار) بود که جزئیات آن‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- جزئیات معیارهای تصمیم‌گیری که در نظر گرفته شده.

Table 1- Details of the decision criteria that have been considered.

میزان هزینه‌های سرمایه‌ای (هزینه اولیه ساخت)	معیارهای هزینه‌ای
میزان هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری	
میزان هزینه‌های دفع لجن	
میزان هزینه‌ی تامین زمین مورد نیاز	
میزان هزینه‌های انرژی مصرفی (برق و ...)	
میزان توانایی تامین استانداردهای زیست محیطی	معیارهای زیست محیطی
میزان توانایی تصفیه‌ی فاضلاب	
میزان ایجاد بو	
میزان تناسب با شرایط اقلیمی و محیطی منطقه	معیارهای فنی
میزان تامین ایمنی لازم برای کارکنان تصفیه‌خانه	
میزان مقاومت در برابر شوک‌های هیدرولیکی و آلی	
میزان قابلیت ارتقا و توسعه در آینده	
میزان سهولت اجرایی	
میزان نیاز به تجهیزات الکترومکانیکال	معیارهای مدیریتی
میزان قابلیت اطمینان	
میزان قابلیت اجرایی با امکانات موجود در کشور	
میزان نیاز به پرسنل متخصص	معیارهای مدیریتی
میزان سادگی نگهداری و بهره‌برداری	

به طور خلاصه گام‌های اجرایی تحقیق حاضر در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- چهارچوب کلی گام‌های اجرایی تحقیق.

Figure 1- General framework of research implementation steps.

وزن هر معیار نیز با استفاده از روش آنتروپی مطابق روابط (۱) تا (۴) تعیین گردید:

۱- محاسبه  $P_{ij}$  با استفاده از رابطه (۱):

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} ; \forall i \text{ و } j. \quad (1)$$

۲- محاسبه  $E_j$  با استفاده از رابطه (۲):

$$E_j = -K \sum_{i=1}^m [P_{ij} \times \ln P_{ij}] ; \forall j. \quad (2)$$

به طوری که  $K = \frac{1}{\ln m}$  می‌باشد.

۳- محاسبه  $d_j$  با استفاده از رابطه (۳):

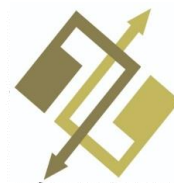
$$d_j = 1 - E_j. \quad (3)$$

۴- محاسبه اوزان ( $W_j$ ) با استفاده از رابطه (۴):

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}. \quad (4)$$

در روابط (۱) تا (۴)،  $m$  تعداد گزینه‌ها،  $n$  تعداد شاخص‌ها (معیارها)،  $W_j$  وزن شاخص  $j$  و  $x_{ij}$  امتیاز گزینه  $i$  از شاخص  $j$  (میانگین نمرات محاسبه شده بر اساس پرسشنامه‌های توزیع شده) می‌باشد (جهانگیری و جهانگیری<sup>۱</sup>، ۲۰۱۷).

پس از اینکه ماتریس تصمیم‌گیری تشکیل شد و وزن هر شاخص نیز تعیین گردید، لازم است تا به وسیله‌ی یکی از روش‌های موجود، ماتریس تصمیم‌گیری مورد پردازش قرار گیرد. لازم به ذکر است روش‌های زیادی به منظور پردازش ماتریس تصمیم‌گیری وجود دارد که یکی از جدیدترین آنها روش "اندازه‌گیری و رتبه‌بندی مطابق با راه حل سازشی (مارکوس<sup>۲</sup>)" می‌باشد که توسط استویچ و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۲۰) معرفی شده است و مزایای زیادی نسبت به روش‌های کلاسیک دارد؛ لذا در این تحقیق از این روش مطابق مراحل زیر استفاده شد:



<sup>1</sup> Jahangiri and Jahangiri

<sup>2</sup> Measurement Alternatives and Ranking according to COMpromise

Solution (MARCOS)

<sup>3</sup> Stević et al.

مرحله ۱- تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری اولیه‌ی گسترده. در این مرحله با اضافه نمودن راه حل ایده‌آل و راه حل ضد ایده‌آل ماتریس تصمیم‌گیری اولیه‌ی گسترده مطابق رابطه (۵) به دست می‌آید:

$$X = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} AAI \\ T_1 \\ T_2 \\ \dots \\ T_m \\ AI \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{aa1} & x_{aa2} & \dots & x_{aan} \\ x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \\ x_{ai1} & x_{ai2} & \dots & x_{ain} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (5)$$

راه حل ضد ایده‌آل (AAI) بدترین میزان و راه حل ایده‌آل (AI) بهترین میزان در میان گزینه‌ها می‌باشد. که با توجه به ماهیت شاخص‌ها مطابق زیر تعریف می‌شوند:

$$AAI = \underset{i}{\text{Min}} x_{ij} \quad \text{if } j \in B \quad \text{and} \quad \underset{i}{\text{Max}} x_{ij} \quad \text{if } j \in C. \quad (6)$$

$$AI = \underset{i}{\text{Max}} x_{ij} \quad \text{if } j \in B \quad \text{and} \quad \underset{i}{\text{Min}} x_{ij} \quad \text{if } j \in C. \quad (7)$$

که B شاخص‌های از جنس سود و C شاخص‌های از جنس هزینه می‌باشند.

مرحله ۲- نرمالسازی ماتریس تصمیم‌گیری اولیه گسترده که درایه‌های ماتریس  $N = [n_{ij}]_{m \times n}$  مطابق روابط (۸) و (۹) به دست می‌آیند:

$$n_{ij} = \frac{x_{ai}}{x_{ij}} \quad \text{if } j \in C. \quad (8)$$

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{ji}} \quad \text{if } j \in B. \quad (9)$$

که  $x_{ai}$  و  $x_{ij}$  مربوط به ماتریس X می‌شود.

مرحله ۳- تشکیل ماتریس نرمال وزنی  $V = [v_{ij}]_{m \times n}$  مطابق رابطه (۱۰):

$$v_{ij} = n_{ij} \times w_j. \quad (10)$$

مرحله ۴- محاسبه‌ی درجه سودمندی  $K_i$  برای هر فرآیند تصفی‌ی فاضلاب با استفاده از روابط (۱۱) و (۱۲):

$$K_i^- = \frac{S_i}{S_{AAI}}. \quad (11)$$

$$K_i^+ = \frac{S_i}{S_{AI}}. \quad (12)$$

که  $S_i$  مجموع ماتریس وزنی V می‌باشد که مطابق رابطه (۱۳) به دست می‌آید:

$$S_i = \sum_{j=1}^n v_{ij}. \quad (13)$$

مرحله ۵- محاسبه تابع سودمندی  $f(K_i)$  مطابق رابطه (۱۴):

$$f(K_i) = \frac{K_i^+ + K_i^-}{1 + \frac{1-f(K_i^+)}{f(K_i^+)} + \frac{1-f(K_i^-)}{f(K_i^-)}}. \quad (14)$$

که  $f(K_i^-)$  اشاره به تابع سودمندی ضد ایده‌آل و  $f(K_i^+)$  اشاره به تابع سودمندی ایده‌آل دارد که مطابق روابط (۱۵) و (۱۶) محاسبه می‌شوند:

$$f(K_i^-) = \frac{K_i^+}{K_i^+ + K_i^-}. \quad (15)$$

$$f(K_i^+) = \frac{K_i^-}{K_i^+ + K_i^-}. \quad (16)$$





بدیهی است هر گزینه‌ای که نمره سودمندی بیشتری کسب کند نشان از اولویت بالا در انتخاب روش تصفیه‌ی فاضلاب خواهد داشت (جهانگیری<sup>۱</sup>، ۲۰۲۰).

#### ۴- یافته‌های پژوهش

با جمع‌آوری پرسشنامه‌های تکمیل شده از جانب خبرگان و میانگین‌گیری نظرات آنان، ماتریس تصمیم‌گیری مطابق جدول ۲ تشکیل گردید.

جدول ۲- ماتریس تصمیم‌گیری مساله.  
Table 2- Problem decision matrix.

گزینه‌ها	معیارها								
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>
A <sub>1</sub>	4.182	3.727	4.000	3.545	3.909	4.455	4.273	2.273	3.667
A <sub>2</sub>	3.909	3.636	3.182	3.091	4.364	4.091	4.364	2.091	3.900
A <sub>3</sub>	4.727	4.636	4.000	2.727	4.545	4.182	4.273	2.182	3.500
گزینه‌ها	معیارها								
	C <sub>10</sub>	C <sub>11</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>13</sub>	C <sub>14</sub>	C <sub>15</sub>	C <sub>16</sub>	C <sub>17</sub>	C <sub>18</sub>
A <sub>1</sub>	3.600	3.455	3.909	3.200	4.091	4.182	3.182	4.000	3.273
A <sub>2</sub>	3.400	4.091	4.091	3.300	4.091	4.000	3.455	4.091	3.273
A <sub>3</sub>	3.600	3.364	3.273	2.800	4.545	3.909	2.455	4.727	1.909

با استفاده از روش آنتروپی مطابق روابط (۱) تا (۴) وزن‌های نسبی هر معیار مطابق جدول ۳ به دست آمد.

جدول ۳- وزن‌های نسبی معیارها.  
Table 3- Relative weights of criteria.

وزن‌ها	معیارها								
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>
W <sub>j</sub>	4.01%	7.95%	7.02%	7.33%	2.53%	0.84%	0.06%	0.74%	1.26%
وزن‌ها	معیارها								
	C <sub>10</sub>	C <sub>11</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>13</sub>	C <sub>14</sub>	C <sub>15</sub>	C <sub>16</sub>	C <sub>17</sub>	C <sub>18</sub>
W <sub>j</sub>	0.46%	4.96%	5.67%	3.15%	1.61%	0.50%	12.73%	3.60%	35.56%

پس از پردازش ماتریس تصمیم‌گیری با به کارگیری روش مارکوس با استفاده از روابط (۵) الی (۱۶) نمره سودمندی هر گزینه مطابق جدول ۴ به دست آمد.

جدول ۴- نمرات سودمندی فرآیندهای تصفیه‌ی فاضلاب  
Table 4- Utility scores of wastewater treatment processes.

گزینه	نوع فرآیند تصفیه‌ی فاضلاب	نمره سودمندی محاسبه شده
A <sub>1</sub>	لجن فعال با حذف ازت و فسفر	0.723
A <sub>2</sub>	هوادهی گسترده با حذف ازت و فسفر	0.758
A <sub>3</sub>	ممبران بیوراكتور	0.567

#### ۵- بحث

چنانچه در جدول ۳ مشخص است در این تحقیق مجموع وزن معیارهای مدیریتی بیشترین میزان را به خود اختصاص داده است و پس از آن به ترتیب معیارهای هزینه‌ای، فنی و در نهایت زیست محیطی، معیارهای با وزن بالا شناسایی شدند که از میان معیارهای مدیریتی زیر معیار "میزان سادگی نگهداری و بهره‌برداری" بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است. هدف از نگهداری و بهره‌برداری از تصفیه‌خانه‌های



فاضلاب، حفظ تاسیسات و تجهیزات تصفیه‌خانه‌ها به منظور میسر شدن بهره‌برداری مناسب می‌باشد که نتیجه‌ی آن، تولید پسابی مطابق با استانداردهای سازمان محیط زیست ایران خواهد بود. به طور کلی تعمیر، نگهداری و بهره‌برداری یکی از موضوعات مهم در صنعت آب و فاضلاب می‌باشد که با اعمال یک سیستم مناسب مدیریتی در بخش تعمیر، نگهداری و راهبری نه تنها می‌توان بازدهی سیستم‌های تصفیه‌ی آب و فاضلاب را افزایش داد، بلکه امکان بهینه‌سازی هزینه‌ها نیز فراهم می‌گردد و تمامی سیستم‌های تصفیه‌ی فاضلاب پس از ساخت و نصب، نیاز به تعمیر، نگهداری و راهبری دارند. این موضوع نقش به‌سزایی بر عملکرد سیستم‌های تصفیه‌ی فاضلاب دارد. در اثر اعمال سیستم مناسب نگهداری، از انجام تعمیر در سطح وسیع جلوگیری شده و در نتیجه از هزینه‌های قابل توجه تعمیرات کاسته می‌شود.

گرچه در تحقیق حاضر میزان وزن محاسبه شده برای معیار مدیریتی بیشترین مقدار است؛ اما در تحقیق حسین زاده کلخوران و همکاران (۲۰۱۷) و همچنین در تحقیق وی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۲۰) معیارهای فنی بیشترین امتیاز را به خود اختصاص داده است این در حالی است که در تحقیق باقری و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۷) و نیز آغاسی و مهرداد<sup>۳</sup> (۲۰۱۸) معیارهای زیست محیطی بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است. مشخص است که وزن محاسبه شده برای شاخص‌ها در هر تحقیق با تحقیق دیگر الزاماً مشابه به هم نمی‌باشد و از وزن‌های به دست آمده برای هر یک از معیارها و زیر معیارها مشخص است که جهت اجرای یک تصفیه‌خانه فاضلاب باید معیارهای با اولویت بیشتر مدنظر قرار گرفته شود و تصمیمات بر اساس آن اتخاذ گردد، اما این بدان معنا نیست که بتوان مستقیماً از نتایج این تحقیق برای موارد مشابه دیگر استفاده کرد، زیرا انتخاب مناسب‌ترین روش برای تصفیه‌ی فاضلاب هر منطقه به عوامل متعددی بستگی دارد و به این ترتیب در مناطق مختلف با توجه به شرایط ویژه‌ی هر منطقه، روش مناسب تصفیه‌ی فاضلاب می‌تواند متفاوت باشد. به عنوان مثال ممکن است زمین در یک شهر بسیار حائز اهمیت باشد، در نتیجه وزن زیادی را به خود اختصاص دهد و در یک شهر دیگر به دلیل نداشتن مشکل در مورد تهیه زمین، این گزینه وزن کمی داشته باشد. به هر حال ارزیابی‌ها باید بر اساس اطلاعات و واقعیت‌های هر منطقه صورت گیرد.

علاوه بر مطالب فوق، همانگونه که در بخش روش تحقیق به آن اشاره شده است، در تحقیق حاضر به منظور اولویت‌بندی گزینه‌ها از روش جدیدی به نام مارکوس استفاده شده است که ویژگی‌ها و مزایای این روش توسعه یافته عبارتند از: در نظر گرفتن یک راه حل ضد ایده‌آل و ایده‌آل در ابتدای امر و تشکیل یک ماتریس تصمیم‌گیری اولیه‌ی گسترده، تعیین دقیقتر درجه‌ی مطلوبیت در رابطه با هر دو راه حل، ارائه‌ی یک روش جدید برای تعیین توابع سودمندی و تجمع آنها، امکان در نظر گرفتن مجموعه‌ی بزرگی از معیارها و گزینه‌ها ضمن حفظ ثبات روش، انعطاف‌پذیری، سادگی، پایداری، قابلیت اطمینان و دقت بالاتر نسبت به دیگر روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه مخصوصاً تاپسیس، عدم حساسیت نسبت به تغییر مقیاس‌های اندازه‌گیری و غیره (استویج و همکاران، ۲۰۲۰). این در حالی است که در تحقیقات جعفری فشارکی و فروغی زاده (۲۰۲۰)، آغاسی و مهرداد (۲۰۱۸)، حسین زاده کلخوران و همکاران (۲۰۱۷)، حیدری و همکاران (۲۰۱۶)، موسوی بفرونی و همکاران (۲۰۱۹) و باقری و همکاران (۲۰۱۷) تنها از روش کلاسیک AHP، به منظور انتخاب بهترین روش تصفیه‌ی فاضلاب استفاده نموده‌اند.

مطابق جدول ۴ که نمرات سودمندی فرآیندهای تصفیه‌ی فاضلاب را نشان می‌دهد، مشخص است که نمره‌ی سودمندی تصفیه‌ی فاضلاب به روش هواده‌ی گسترده با حذف ازت و فسفر بیشترین میزان و پس از آن لجن فعال با حذف ازت و فسفر و در نهایت ممبران بیوراکتور به ترتیب گزینه‌های با بیشترین سودمندی می‌باشند که این مطلب حاکی از آن است که در شهر فرهین تصفیه‌ی فاضلاب به روش هواده‌ی گسترده با حذف ازت و فسفر در اولویت اول قرار دارد و پس از آن لجن فعال با حذف ازت و فسفر و در نهایت ممبران بیوراکتور به ترتیب اولویت‌های دوم و سوم را به خود اختصاص داده‌اند. در سال‌های اخیر توجه به حفاظت از محیط زیست به ویژه جمع‌آوری و تصفیه صحیح فاضلاب با نگرش جدید مورد توجه قرار گرفته و همزمان با حذف مواد آلی، حذف نیترژن و فسفر نیز از اهمیت بیشتری برخوردار گردیده است. با پیشرفت صنعت تصفیه‌ی فاضلاب در جهان، روش‌های قدیمی توسعه یافته و روش‌های جدیدی ابداع شده‌اند. در طراحی این سیستم‌ها تصفیه و حذف مواد آلی و پیرو آن کاهش بارآلودگی ارتقا یافته و علاوه بر آن حذف نیترات، حذف فسفات و در برخی از این روش‌ها حذف هر دو این پارامترها همزمان انجام می‌پذیرد.

<sup>1</sup> Wei et al.

<sup>2</sup> Bagheri et al.

<sup>3</sup> Aghasi and Mehrdadi



## ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بدیهی است با توجه به تاثیر معیارهای گوناگون در انتخاب بهترین فرآیند تصفیه‌ی فاضلاب، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق با توجه به محاسبات صورت گرفته شده بر روی ماتریس تصمیم‌گیری که بر اساس میانگین نظرات خبرگان صنعت آب و فاضلاب و اساتید دانشگاهی تشکیل شده است و مخصوصاً با توجه به نمرات سودمندی به دست آمده به روش مارکوس، به طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری نمود که در شهر فرمین تصفیه‌ی فاضلاب به روش هوادهی گسترده با حذف ازت و فسفر اولویت اول، لجن فعال با حذف ازت و فسفر اولویت دوم و در نهایت ممبران بیوراكتور اولویت آخر را دارا می‌باشند.

با توجه به آنکه زیر معیار میزان سادگی نگهداری و بهره‌برداری بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است پیشنهاد می‌شود اولاً دستورالعمل‌های بهره‌برداری از تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب یا بهره‌برداری از پکیج تصفیه‌ی فاضلاب که شامل کلیه‌ی روش‌ها، دستورالعمل‌ها و نکاتی است که به منظور تعمیر، نگهداری، اپراتوری، راهبری و بهره‌برداری از سیستم‌های تصفیه‌ی فاضلاب مورد استفاده قرار می‌گیرد به طور ویژه به کارکنان بخش تصفیه‌خانه آموزش داده شود، ثانیاً راهکارهایی به منظور ساده سازی امر نگهداری و بهره‌برداری در دستور کار شرکت‌های آب و فاضلاب قرار گیرد.

با توجه به اینکه در این مطالعه فرآیند تصفیه‌ی فاضلاب به روش هوادهی گسترده با حذف ازت و فسفر بیشترین نمره‌ی سودمندی را کسب نموده است و با توجه به آنکه در آینده‌ای نزدیک شهر فرمین می‌بایست مجهز به سیستم جمع‌آوری و تصفیه‌ی فاضلاب شود، لذا پیشنهاد می‌شود روش مذکور در اولویت مطالعات و بررسی‌های بعدی شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی قرار گیرد.

با توجه به اینکه تقریباً در تمامی تحقیقات انجام گرفته شده‌ی قبلی توسط محققین ایرانی، انتخاب بهترین روش تصفیه‌ی فاضلاب تنها با استفاده از روش AHP صورت گرفته شده است، پیشنهاد می‌شود محققین آتی از روش‌های جدیدتری همچون مارکوس، بهترین-بدترین و غیره استفاده نمایند.

علاوه بر این با توجه به اینکه بسیاری از شهرها و روستاهای کشور در حال حاضر فاقد شبکه‌ی جمع‌آوری و تصفیه‌خانه فاضلاب می‌باشند؛ پیشنهاد بعدی به محققین آتی آن است که تحقیقات خود را که مربوط به انتخاب بهترین فرآیند فاضلاب می‌شود، بیشتر بر روی مناطق فاقد فاضلاب معطوف نمایند.

در نهایت با توجه به اینکه در این تحقیق کاربرد تصمیم‌گیری چند معیاره در انتخاب بهترین روش تصفیه‌ی فاضلاب مورد مطالعه قرار گرفته شده است، پیشنهاد بعدی به محققین آتی آن است که از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به منظور انتخاب بهترین روش تصفیه‌ی آب نیز بهره‌گیرند.

## تشکر و قدردانی

به این وسیله از مدیر عامل محترم شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی و نیز اعضای محترم کمیته‌ی تحقیقات آن شرکت که مساعدت لازم را در راستای صدور مجوز انجام تحقیق مبذول نموده‌اند و همچنین از تمامی مسئولین و کارشناسان آب و فاضلاب و اساتید دانشگاه‌هایی که در تکمیل پرسشنامه‌ها مشارکت داشته‌اند تشکر و قدردانی می‌شود.

## منابع

- Aghasi, M., & Mehrdadi, N. (2018). Selection of the best wastewater treatment method in fish processing plants according to the AHP model (case study: Mirod fish processing planet). *Environmental sciences*, 16(3), 167-180. (In Persian). [https://envs.sbu.ac.ir/article\\_97962.html?lang=en](https://envs.sbu.ac.ir/article_97962.html?lang=en)
- Ali, Y., Pervez, H., & Khan, J. (2020). Selection of the most feasible wastewater treatment technology in Pakistan using Multi-Criteria Decision-Making (MCDM). *Water conservation science and engineering*, 5(3), 199-213. DOI: 10.1007/s41101-020-00094-6



- Arroyo, P., & Molinos-Senante, M. (2018). Selecting appropriate wastewater treatment technologies using a choosing-by-advantages approach. *Science of the total environment*, 625, 819-827. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.331>
- Bagheri, R., Sobhanardakani, S., & Lorestani, B. (2017). Selection of the best wastewater treatment alternative for HDPE unit of petrochemical research and technology Company-Arak center based on the analytical hierarchy process. *Iranian journal of health and environment*, 10(3), 293-304. (In Persian). <https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=578007>
- Carlos, N. B., & Noroña, M. I. (2021). Selection of a sustainable municipal wastewater treatment technology: a multi-criteria decision analysis approach using AHP and TOPSIS with fuzzy sets. *Proceedings of the 11th annual international conference on industrial engineering and operations management* (pp. 5236-2547). Singapore. <http://www.ieomsociety.org/singapore2021/papers/885.pdf>
- Fataei, E., Torabian, A., Hosseinzadeh Kalkhoran, M., Alighadri, M., & Hosseinzadeh, S. (2013). Selection of optimum municipal wastewater treatment process using AHP (case study: Ardebil, Tabriz, and Uremia). *Journal of health*, 4(3), 260-272. (In Persian). [http://healthjournal.arums.ac.ir/browse.php?a\\_code=A-10-26-14&slc\\_lang=en&sid=1](http://healthjournal.arums.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-26-14&slc_lang=en&sid=1)
- Gichamo, T., Gokcekus, H., Ozsahin, D. U., Gelete, G., & Uzun, B. (2020). Evaluation of different natural wastewater treatment alternatives by fuzzy PROMETHEE method. *Desalination and water treatment*, 177, 400-407.
- Gichamo, T., Gökçekuş, H., Uzun Ozsahin, D., Gelete, G., & Uzun, B. (2021). Ranking of natural wastewater treatment techniques by Multi-criteria Decision Making (MCDM) Methods. In Uzun Ozsahin, D., Gökçekuş, H., Uzun, B., LaMoreaux, J. (Eds.), *Application of multi-criteria decision analysis in environmental and civil engineering* (pp. 87-100). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-64765-0\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-64765-0_11)
- Heidari, B., Mehdi Nejad, M. H., Najafpour, A. A., Zafarzadeh, A., & Elahi, H. (2016). A study on application of analytic hierarchy process in selecting the most appropriate wastewater treatment for rural areas (case study Soleimani Village - Firoozeh). *Journal of research in environmental health*, 2(1), 29-37. (In Persian). DOI: 10.22038/jreh.2016.7088
- Hosseinzadeh Kalkhoran, M., Hosseinzadeh, Sh., & Fataei, E. (2017). Performing sensitivity analysis of municipal wastewater treatment process using AHP. *Journal of environmental science and technology*, 19(4), 283-294. (In Persian). DOI: 10.22034/jest.2017.10731
- Jafari Fesharaki, P., & Forughzadeh, M. (2020). Selecting the optimal wastewater treatment process in an industrial research complex using AHP method. *Journal of emergency management*, 9(1), 43-52. (In Persian). <https://www.magiran.com/paper/2179205?lang=en>
- Jahangiri, A. (2020). Trend analyzing of water Supply to the cities and villages of Iran and wastewater disposing from them during the years 2012 to 2018 using a hybrid multiple attribute decision making approach. *Journal of decisions and operations research*, 5(2), 233-248. (In Persian). DOI: 10.22105/dmor.2020.239925.1184
- Jahangiri, A., & Jahangiri, M. (2017). Simultaneous use of Multi Attribute Decision Making (MADM) and SERVQUAL methods in order to rating selected Iranian hospitals in terms of perceived quality of services from clients. *Journal of decisions and operations research*, 2(1), 90-106. (In Persian). DOI: 10.22105/dmor.2017.50652
- Kamble, S. J., Singh, A., & Kharat, M. G. (2017). A hybrid life cycle assessment based fuzzy multi-criteria decision making approach for evaluation and selection of an appropriate municipal wastewater treatment technology. *Euro-mediterranean journal for environmental integration*, 2(1). DOI: 10.1007/s41207-017-0019-8
- Molinos-Senante, M., Gómez, T., Caballero, R., Hernández-Sancho, F., & Sala-Garrido, R. (2015). Assessment of wastewater treatment alternatives for small communities: an analytical network process approach. *Science of the total environment*, 532, 676-687. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.059>
- Mosavi Bafroei, S. H., Amrollahi, M., & Eslami, H. (2019). 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*, 18(8), 783-796. (In Persian). <http://journal.rums.ac.ir/article-1-4546-fa.html>
- Nayeb, H., Torabian, A., & Mehrdadi, N. (2014). Selection of the optimal urban wastewater treatment process in various climates by using Analytical Hierarchy Process (AHP). *Journal of environmental studies*, 40(3), 787-799. (In Persian). DOI: 10.22059/jes.2014.52221
- Sharma, A., & Rawal, N. (2021). The selection of wastewater treatment units based on analytical hierarchical process. In Pathak, K. K., Bandara, J. M. S. J., Agrawal, R. (Eds.), *Recent trends in civil engineering* (pp. 1003-1019). Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-5195-6\\_73](https://doi.org/10.1007/978-981-15-5195-6_73)
- Stević, Ž., Pamučar, D., Puška, A., & Chatterjee, P. (2020). Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: measurement of alternatives and ranking according to COMpromise solution (MARCOS). *Computers & industrial engineering*, 140, 106231. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106231>
- Tortajada, C. (2020). Contributions of recycled wastewater to clean water and sanitation sustainable development goals. *NPJ clean water*, 3(1), 1-6.
- Wei, C., Wei, J., Kong, Q., Fan, D., Qiu, G., Feng, C., ... & Wei, C. (2020). Selection of optimum biological treatment for coking wastewater using analytic hierarchy process. *Science of the total environment*, 742, 140400. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140400>
- Yahya, M. N., Gökçekuş, H., Ozsahin, D., & Uzun, B. (2020). Evaluation of wastewater treatment technologies using TOPSIS. *Desalin water treat*, 177, 416-422.