University of Tehran Press

Journal of Environmental Studies
Vol. 49, No. 3, Autumn 2023

Journal Homepage: www.Jes.ut.ac.ir
Print ISSN: 1025-8620 Online ISSN 2345-6922

Appropriate Wastewater Treatment Plant Selection Using G-EDAS and G-COPRAS Incorporating G-AHP

Tahmineh Zhian[1], Seyed Arman Hashemi Monfared[2]✉, Mohsen Rashki[3], Gholamreza Azizyan[4]

1. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, Email: Tahmineh.zhian@pgs.usb.ac.ir
2. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, Email: hashemi@eng.usb.ac.ir
3. Department of Architecture Engineering, Faculty of Arts and Architecture, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, Email: mrashki@eng.usb.ac.ir
4. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, Email: g.azizyan@eng.usb.ac.ir

Article Info

Research Article:
Research Paper

Article history:
Received 11 June 2023
Received in revised from 11 September 2023
Accepted 23 September 2023
Publish online 27 September 2023

Keywords:
Decision making, Gray compromise methods, Gray hierarchical method, Gray environment.

ABSTRACT

Decision theory in the gray environment has found wide application in all areas of knowledge. The goal of gray decision-making is to build an advanced predictive model of a system based on data obtained from multiple sensors or independent experts. Multi-criteria optimization methods, trade-off solutions, gray TOPSIS, multi-branch gray decision-making, distance-from-mean evaluation methods, and comprehensive fitness evaluation methods are among the most important techniques in decision theory in a gray environment. One of the most important considerations when planning and implementing a wastewater treatment plant is selecting the best treatment process. This article first collected data by preparing a questionnaire and interviewing subject-matter experts, and then used the evaluation method based on distance from average (G-EDAS) and comprehensive suitability evaluation method (G-COPRAS) to select the best wastewater treatment system. Based on the three criteria “technical”, "economic," and “environmental-social” and their sub-criteria, the results indicate that, according to experts, the conventional activated sludge system was selected as the best wastewater treatment system in both processes. In addition, the gray hierarchy technique (G-AHP) was used to determine the most important sub-criteria. Based on this technology, resistance to hydraulic shocks has emerged as the most important sub-criterion.

Cite this article: Zhian, T., Hashemi Monfared, S. A., Rashki, M., Azizyan, Gh. R. (2023). Appropriate Wastewater Treatment Plant Selection Using G-EDAS and G-COPRAS Incorporating G-AHP.. Journal of Environmental Studies, 49 (3), 353- 372.
DOI: http//doi.org/10.22059/JES.2023.360163.1008418

© The Author(s). **Publisher:** University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/JES.2023.360163.1008418

Introduction

Deterministic methods and gray methods are two general modes in the field of decision-making. Decision-making in deterministic states is based on mathematical rules and conventions with the aim of simplifying complexity. For this purpose, many classical methods have been developed, most of which attempt to solve decision problems under multi-objective, multi-criteria, or multi-branch conditions. However definitive numbers cannot confirm the accuracy of the model and its results. For this reason, gray decision-making methods have attracted a lot of attention. In this research, two evaluation methods are employed for decision-making in a gray environment to select the best wastewater treatment system. The first method is the evaluation based on the distance from the mean (G-EDAS), and the second method is the comprehensive fit evaluation method (G-COPRAS). Additionally, four sub-criteria are considered: resistance to organic and hydraulic shocks, continuous operation, simplicity of operation, and the possibility of upgrading. Other factors include the ability to remove BOD, the cost of constructing and installing equipment, maintenance requirements, energy consumption, sludge disposal, odor development, achieving the required level of purification, worker safety, and sludge production. In addition, the gray hierarchical method (AHP) was used to classify the sub-criteria.

Materials and Methods

The decision theory in the gray environment, along with the G-EDAS and G-COPRAS gray methods were fully explained to select the best wastewater treatment system, and the G-AHP method was utilized to determine the most important sub-criteria.

Discussion of Results

In this article, we examined two gray decision-making methods, G-EDAS and G-COPRAS, for selecting a wastewater treatment system. These methods consider multiple criteria decisions to be made to obtain scientifically sound and sensible results. The results indicate that in both methods, the conventional activated sludge system was selected as the best sewage treatment plant system with 52.85 and 100%, respectively, and after that, the activated sludge system with extensive aeration ranked second with a very small difference. Also, the G-AHP gray hierarchical method was used to prioritize sub-criteria and determine the most important sub-criteria. Based on this method, the sub-criterion of resistance to hydraulic shocks, which is one of the technical criteria, was recognized as the most important sub-criterion.

Conclusion

Decision theory in the gray environment can be used as an effective management tool for managers, planners, and system designers in decision-making. The ever-increasing growth of the world's population and the significant progress of industry have led to a significant increase in the amount of wastewater. Pollution from all types of households, industrial and agricultural waste on the one hand and the increasing need for clean water on the other have made the construction of a wastewater treatment plant one of the most important environmental priorities. Protection, management and planning are one of the most important issues when selecting a wastewater treatment plant system. Given the high cost of constructing wastewater collection and treatment systems and the key role of these systems in providing services to city residents and protecting the environment, incorrect selection has a major impact on increasing costs and non-achievement of targets. In this article, we examined two gray decision methods, G-EDAS and G-COPRAS, for selecting a wastewater treatment system. The results show that the conventional activated sludge system was selected as the best wastewater treatment system in both processes. Furthermore, the gray hierarchical method was used to prioritize the sub-criteria. Based on this method, the sub-criterion of resistance to hydraulic shocks, which is one of the technical criteria, was recognized as the most important sub-criterion.

نشـــریه محیـــط شناســـی
دوره ۴۹، شمـــاره ۳، پاییز ۱۴۰۲
Journal Homepage: http://Jes.ut.ac.ir
۶۹۲۲- ۲۳۴۵ :شاپای الکترونیکی **۸۶۲۰- ۱۰۲۵:شاپای چاپی**
University of Tehran Press

انتخاب سیستم تصفیه فاضلاب مناسب با استفاده از G-EDAS و G-COPRAS و ادغام با روش G-AHP

تهمینه ژیان[۱]، سید آرمان هاشمی منفرد[۲]✉، محسن راشکی[۳]، غلامرضا عزیزیان[۴]

۱. گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، رایانامه: Tahmineh.zhian@pgs.usb.ac.ir
۲. گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، رایانامه: hashemi@eng.usb.ac.ir
۳. گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، رایانامه: mrashki@eng.usb.ac.ir
۴. گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، رایانامه: g.azizyan@eng.usb.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۵
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۵/۱۷

کلیدواژه‌ها:
تصمیم‌گیری، روش‌های سازشی خاکستری، روش سلسله مراتبی خاکستری، محیط خاکستری.

چکیده

نظریه تصمیم در محیط خاکستری کاربردهای گسترده‌ای در همه زمینه‌های دانش پیدا کرده است. هدف از تصمیم‌گیری خاکستری، ایجاد یک مدل پیش‌بینی پیشرفته از یک سیستم بر اساس داده‌های به‌دست آمده از حسگرهای متعدد یا کارشناسان مستقل است. روش‌های بهینه‌سازی چند معیاره و حل سازشی، تاپسیس خاکستری، تصمیم‌گیری چند شاخه خاکستری، روش ارزیابی براساس فاصله از میانگین و روش ارزیابی تناسب جامع از جمله مهمترین روش‌ها در نظریه تصمیم در محیط خاکستری هستند. یکی از مهمترین موضوعات، قبل از طراحی و اجرای هر تصفیه‌خانه فاضلاب، انتخاب بهترین فرآیند تصفیه است. در این مقاله ابتدا از طریق تهیه پرسشنامه و با نظرسنجی از کارشناسان متخصص، داده‌ها جمع‌آوری شد و سپس به منظور انتخاب بهترین سیستم تصفیه فاضلاب از روش ارزیابی براساس فاصله از میانگین داده (G-EDAS)[۱] و روش ارزیابی تناسب جامع[۲] (G-COPRAS) استفاده شده است. با توجه به سه معیار فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی- اجتماعی و زیرمعیارهای آن، نتایج نشان می‌دهد که در هر دو روش سیستم لجن فعال متعارف طبق نظر کارشناسان به عنوان بهترین سیستم تصفیه فاضلاب انتخاب شد. همچنین برای تعیین مهمترین زیرمعیار از تکنیک سلسله مراتبی خاکستری (G-AHP)[۳] استفاده شد که براساس آن مقاومت در برابر شوک‌های هیدرولیکی دارای بیشترین اهمیت بوده است.

استناد: ژیان، تهمینه.؛ هاشمی منفرد، سید آرمان.؛ راشکی، محسن.؛ عزیزیان، غلامرضا. (۱۴۰۲). انتخاب سیستم تصفیه فاضلاب مناسب با استفاده از G-EDAS و G-COPRAS و ادغام با روش G-AHP. نشریه محیط‌شناسی، ۴۹(۳)، ۳۵۳- ۳۷۲.

DOI: http//doi.org/10.22059/JES.2023.360163.1008418
DOR: 20.1001.1.10258620.1402.49.3.6.0

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: http//doi.org/10.22059/JES.2023.360163.1008418

1. Grey Evaluation based on Distance from Average Solution
2. Grey Complex Proportional Assessment
3. Grey Analytic Hierarchy Process

۱. مقدمه

کمبود آب بسیاری از مناطق جهان را تهدید می‌کند که در برخی موارد با تغییر اقلیم تشدید می‌شود (Golfam et al., 2021). احداث تصفیه‌خانه فاضلاب یک استراتژی مؤثر برای تامین آب در بخش‌های کشاورزی، صنعتی و شهری است و با هدف حفاظت محیط‌زیست، منابع آب، بهداشت فردی و اجتماعی صورت می‌گیرد (Monzavi, 2010). انتخاب فرآیند بهینه تصفیه فاضلاب شهری مساله‌ای مهم و چند بعدی است که به دلیل خسارات ناشی از گسیختگی طرح و نیز اتلاف هزینه‌های فراوان، علیرغم برآورده کردن استانداردها و الزامات زیست‌محیطی، نیازمند طی یک فرآیند سیستماتیک و کاملاً علمی در انتخاب فرآیند بهینه تصفیه می‌باشد، تا در نهایت کمترین اثرات زیست‌محیطی را به همراه قابلیت اجرا از لحاظ فنی و اقتصادی داشته باشد (Abrishami, 2013).

برای یافتن بهترین گزینه تصفیه فاضلاب، مدل‌های بهینه‌سازی زیادی ارایه شده است که عموما در همه آن‌ها فقط به هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداران توجه شده است. در انتخاب سیستم تصفیه فاضلاب، معیارهای فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی اهمیت فراوانی دارند که مقایسه این معیارها به همان صورت اولیه غیرممکن می‌باشد. زیرا، به علت پیچیدگی این معیارها، معمولا یک معیار در معیار دیگر تأثیر می‌گذارد. در نتیجه نیاز به مدلی می‌باشد که بتواند معیارهای مختلف را وزن‌دهی کرده و آن‌ها را مقایسه نماید. روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره چنین قابلیتی را دارند و در این خصوص می‌توانند مفید واقع شوند. در واقع نظریه سیستم‌های خاکستری ابزار مؤثری برای اصلاح مدل‌های قطعی می‌باشد. با توجه به نوع فاضلاب، ترجیحات ذی‌نفعان و مصرف‌کنندگان، انتخاب سیستم تصفیه باعث یک تصمیم‌گیری چند معیاره می‌شود.

۲. پیشینه پژوهش

تاکنون پژوهش‌های مختلفی در زمینه تصمیم‌گیری انجام شده است. در پژوهشی Chang و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی خاکستری برای پشتیبانی از تحلیل عدم قطعیت تاسیسات تصفیه فاضلاب ساحلی و خروجی اقیانوس توسعه دادند. تاسیسات تصفیه فاضلاب ساحلی و خروجی اقیانوس معمولا به عنوان دو زیرسیستم مجزا در استراتژی طراحی مرسوم برنامه‌ریزی می‌شوند. با این حال، تلاش‌های فنی در برنامه‌ریزی این زیرسیستم‌ها را می‌توان با در نظر گرفتن به حداقل رساندن هزینه‌های سیستم و به حداکثر رساندن نرخ بهره‌برداری از ظرفیت جذب محیطی ترکیب کرد. اما عدم قطعیت‌های سیستم باید در چارچوب مدل‌سازی بیشتر مورد توجه قرار گیرد. زیرا، تغییرات عوامل محیطی قابل توجه است. مطالعه موردی پروژه تصفیه و دفع فاضلاب Guishuic در تایوان به عنوان یک نمایش عددی استفاده شده است (Chang et al., 1995).

Zeng و همکاران (۲۰۰۵) یک رویکرد سیستماتیک نوآورانه، یعنی تجزیه و تحلیل رابطه خاکستری سلسله مراتبی بر اساس استفاده از فرآیند AHP[۴] و GRA[۵] برای انتخاب بهینه جایگزین‌های تصفیه فاضلاب از طریق یک مطالعه موردی واقعی مورد بررسی قرار دادند. چهار گزینه جایگزین تصفیه فاضلاب A2O، Triple Oxidation Ditch، Anaerobic Single Oxidation Ditch و Sequencing Batch Reactor در نظر گرفته شد. نتیجه نشان داد که Anaerobic Single Oxidation Ditch طرح بهینه است (Zeng et al., 2005). همچنین Singhirunnuson و همکاران (۲۰۰۹) در مقاله‌ای به رتبه‌بندی معیارهای تاثیرگذار در انتخاب بهترین روش تصفیه فاضلاب با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی و از طریق تهیه پرسشنامه پرداختند. این مقاله در یک رویکرد جامع، عوامل موثر در انتخاب بهترین فرآیندهای تصفیه فاضلاب در کشورهای در حال توسعه را نشان می‌دهد. چهار شاخص فنی، اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی و معیارهای قابلیت اطمینان، سادگی، کارایی، نیاز زمین، قیمت‌گذاری، پذیرش اجتماعی و پایداری مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد قابلیت اطمینان، مقرون به صرفه بودن و کارایی به ترتیب مهمترین معیارهای تاثیرگذار می‌باشند (Singhirunnuson et al., 2009).

در پژوهشی Pophali و همکاران (۲۰۰۹) به منظور به‌دست آوردن بهترین گزینه تصفیه فاضلاب در صنعت دباغی، تلفیقی از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و تجزیه و تحلیل رابطه خاکستری را به کار بردند. در این پژوهش اطلاعات مربوط به هفت صنعت دباغی و فرآیندهای

4. Analytic Hierarchy Process
5. Grey Relational Analysis

تصفیه آنها را بر اساس معیارهای فنی، اقتصادی و معیارهای مدیریتی ارزیابی و مقایسه نمودند و بهترین فرآیندهای تصفیه را در این شهر انتخاب و طبقه‌بندی کردند. همچنین این مطالعه نشان می‌دهد که AHP و GRA ابزار قدرتمندی هستند که می‌توانند برای اجرای فناوری تصفیه فاضلاب مناسب مورد استفاده قرار گیرند (Pophali et al., 2009). در پژوهشی مشابه در سال ۲۰۱۱ Bottero و همکاران به مطالعه انتخاب بهترین نوع تصفیه فاضلاب برای کارخانه‌های پنیرسازی توسط روش‌های AHP و ANP[۶] به بررسی فرآیندهای هضم بی هوازی، گیاه پالایی و کمپوست پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که گیاه پالایی بهترین روش برای تصفیه فاضلاب کارخانه‌های پنیر می‌باشد (Bottero et al., 2011).

Kalbar و همکاران (۲۰۱۲) بر روی فاضلاب شهری در هند و با روش تاپسیس دادند. در این مطالعه چهار روش تصفیه فاضلاب شامل لجن فعال، UASB[۷] ، RBC[۸] و وتلند مورد بررسی قرار گرفت. معیارهای بررسی شده در این پژوهش نیز معیارهای فنی، معیارهای اقتصادی، معیارهای زیست‌محیطی و معیارهای اجتماعی قرار داده شد و در نهایت نیز روش لجن فعال به عنوان بهترین روش تصفیه فاضلاب در هند انتخاب گردید (Kalbar et al., 2012). همچنین Jinxiang و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی به انتخاب بهینه‌ترین روش تصفیه فاضلاب شهری پرداختند. هدف این پژوهش انتخاب بهترین فرآیند تصفیه با بهره‌وری بالا و مصرف انرژی پایین در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری می‌باشد. در ساخت مدل از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، تجمع آنتروپی و تاپسیس استفاده کردند. روش‌های مورد بررسی آن‌ها A2O، AO و بیولاک می‌باشد. با توجه به مقادیر به دست آمده، فرآیند A2O با مقدار ۰/۵۱۷۶ به عنوان گزینه برتر انتخاب شد (Jinxiang et al., 2013).

Ouyang و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی به بررسی توسعه فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی با مقیاس چند بعدی در انتخاب جایگزین‌های تصفیه فاضلاب طبیعی در هند پرداختند. در این تحقیق ابتدا پنج فرآیند تصفیه طبیعی فاضلاب به عنوان گزینه‌های مورد بررسی انتخاب شدند. چهار شاخص اقتصادی، فنی، اجتماعی و زیست‌محیطی– مدیریتی در نظر گرفته شده و معیارهای متناسب با آن‌ها برگزیده شدند. نتایج نشان می‌دهد حوضچه برکه تثبیت بهینه‌ترین گزینه می‌باشد (Ouyang et al., 2015). نتایج پژوهش Dursun (۲۰۱۶) نشان می‌دهد که از بین چهار فرآیند لجن فعال، لاگون هوادهی، SBR[۹] و وتلند، فرآیند SBR به عنوان بهترین جایگزین و وتلند به دلایل هزینه‌های بالا، نیاز زمین زیاد و انعطاف‌پذیری کم در پایین ترین رتبه قرار گرفته است (Dursun, 2016).

Anaokar و همکاران (۲۰۱۸) در گزارشی به ارزیابی شاخص‌های موثر در تصفیه فاضلاب شهری با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره تاپسیس پرداختند. در این پژوهش اهمیت نسبی معیارها نسبت به هم، توسط تصمیم‌گیرندگان تعیین گردید. عملکرد شش ایستگاه تصفیه‌خانه فاضلاب شهری با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره برای رتبه‌بندی با شباهت به راه‌حل ایده‌آل، ارزیابی شده است. کارایی بر پایه ویژگی فاضلاب و عملکرد آن‌ها براساس معیارهای درجه حرارت، کل مواد جامد معلق، کل مواد جامد محلول، اکسیژن مصرف زیستی و شیمیایی، BOD[۱۰]، COD[۱۱] و pH بوده است (Anaokar et al., 2018). در پژوهشی Golfam و همکاران (۲۰۱۸) روشی را برای انتخاب بهترین جایگزین برای استفاده مجدد از پساب تصفیه شده بر اساس سیستم خاکستری ارایه دادند. معیارها با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP و سپس بهترین جایگزین برای استفاده مجدد از فاضلاب بر اساس ارزیابی بر اساس فاصله از میانگین انتخاب می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که استفاده مجدد از فاضلاب در بخش محیطزیست بالاترین اولویت در میان چندین کاربرد جایگزین را دارد (Golfam et al., 2018).

روش‌های قطعی و روش‌های خاکستری دو حالت کلی در زمینه تصمیم‌گیری هستند. تصمیم‌گیری در حالت‌های قطعی طبق قواعد و قراردادهای ریاضی و به دور از پیچیدگی انجام می‌شود و روش‌های کلاسیک متعددی نیز به این منظور شکل گرفته‌اند که اکثر آنان سعی در حل مسائل تصمیم‌گیری در شرایط چند هدفه، چند معیاره و یا چند شاخه دارند. اما در واقعیت اعداد قطعی نمی‌توانند در صحت مدل و نتایج حاصل از آن را تایید نمایند. در اکثر پژوهش‌های انجام شده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مثل روش تاپسیس برای رتبه‌بندی

6 . Analytic Network Process
7. Upflow Anaerobic Sludge
8 . Rotating Biological Contactor
9. Sequencing Batch Reactor
10. Biological Oxygen Demand
11. Chemical Oxygen Demand

گزینه‌ها استفاده شده است، در این روش‌ها، معیارها را براساس تاثیری که دارند به دو دسته معیارهای مثبت و منفی تقسیم می‌کنند. حال آن که در این بین خللی وجود دارد و ممکن است در مساله‌ای معیارهایی وجود داشته باشند که نه جنبه مثبت داشته باشند و نه جنبه منفی؛ یعنی باید مقدار آن‌ها حول یک عدد یا متغیر کلامی باشد. عموماً، اطلاعات مربوط به ترجیحات تصمیم‌گیرندگان در مورد معیارها چون براساس قضاوت کیفی بیان می‌شود در این دسته قرار می‌گیرد که به وسیله مقادیر عددی قابل بیان نیستند. به همین دلیل روش‌های تصمیم‌گیری خاکستری بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این تحقیق به منظور انتخاب بهترین سیستم تصفیه فاضلاب از روش ارزیابی براساس فاصله از میانگین (G-EDAS) و روش ارزیابی تناسب جامع(G-COPRAS) برای تصمیم گیری در محیط خاکستری براساس سه معیار اصلی فنی، اقتصادی و زیست محیطی- اجتماعی و چهارده زیرمعیار مقاومت در برابر ضربه‌های آلی و هیدرولیکی، کارکرد مداوم، کارکرد ساده، امکان ارتقا، حذف BOD، هزینه ساخت و نصب تجهیزات، نگهداری، مصرف انرژی، دفع لجن، تولید بو، رسیدن به درجه تصفیه مورد نیاز، ایمنی کارگران و تولید لجن استفاده شده است. همچنین از روش سلسله مراتبی خاکستری (G-AHP) برای رتبه‌بندی زیر معیارها استفاده شد.

۳. روش شناسی پژوهش

در این بخش ابتدا نظریه تصمیم در محیط خاکستری به صورت مختصر و سپس روش‌های خاکستری G-EDAS و G-COPRAS به منظور انتخاب بهترین سیستم تصفیه فاضلاب و روش G-AHP برای تعیین مهمترین زیر معیار به طور کامل توضیح داده شده است.

۳-۱. تئوری تصمیم در محیط خاکستری

نظریه سیستم‌های خاکستری رویکرد جدیدی در محیط عدم قطعیت است که تمرکز آن بر روی مساله‌هایی است که از نمونه‌های کوچک و اطلاعات ناقص استفاده می‌کنند (Ghadilaki et al., 2019). نظریه سیستم‌های خاکستری یکی از روش‌های پیشرو در تحلیل ریاضی سیستم‌های با اطلاعات غیرقطعی است. با توجه به میزان عدم قطعیت موجود در مطالعه سیستم‌ها می‌توان از رنگ‌ها برای نام‌گذاری و نمایش سیستم استفاده نمود. سیستم سیاه، بیانگر این است که داده‌های مربوطه، روابط درونی میان آن‌ها و ساختار آن کاملا ناشناخته است. به همین ترتیب سیستم سفید، سیستمی است که شناخت افراد نسبت به آن و نیز اطلاعات در مورد آن کامل است. از این دیدگاه و در یک طبقه‌بندی کلی می‌توان سیستم‌هایی که نه کاملا ناشناخته و نه کاملا شناخته شده هستند را سیستم خاکستری نامید (Liu et al., 2010). نظریه سیستم خاکستری در سال ۱۹۸۲ برای اولین بار توسط پروفسور جو لانگ دنگ مطرح شده است (Deng, 1989).

۳-۲. روش G-EDAS

تکنیک ارزیابی براساس فاصله از میانگین (Evaluation based on Distance from Average Solution) توسط کشاورز و همکاران در سال ۲۰۱۵ ارایه شد. این روش زمانی که معیارهای ناسازگار در یک مساله موجود باشد، بسیار کاربردی و مناسب است. برخلاف روش تاپسیس نیازی به محاسبه راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی ندارد و تنها یک میانگین برای هر معیار به دست خواهد آمد. ایده اساسی EDAS محاسبه دو فاصله به نام‌های فاصله مثبت از میانگین (PDA) و فاصله منفی از میانگین (NDA) است. ارزیابی گزینه‌ها بر مبنای بیشترین مقدار PDA و کمترین مقدار NDA است (Keshavarz et al., 2015). این تکنیک با اعداد خاکستری توسط استانوکیس و همکاران در سال ۲۰۱۷ ارایه شده است. مراحل روش G-EDAS به صورت زیر است (Stanujkic et al., 2017):

گام اول: تعریف گزینه‌ها، معیارها و تشکیل ماتریس تصمیم خاکستری

$$\otimes X = \begin{bmatrix} \otimes x_{11} & \otimes x_{12} & \cdots & \otimes x_{1n} \\ \otimes x_{21} & \otimes x_{22} & \cdots & \otimes x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \otimes x_{m1} & \otimes x_{m1} & \cdots & \otimes x_{mn} \end{bmatrix}$$

که در آن $x_{ij} \otimes$ سطح عملکرد گزینه i نسبت به معیار j را نشان می‌دهد.

گام دوم: محاسبه راه‌حل میانگین خاکستری بر طبق همه معیارها

$$\otimes x_j^* = \left(\left[\underline{x}_1^*.\overline{x}_1^*\right].\left[\underline{x}_2^*.\overline{x}_2^*\right].\cdots.\left[\underline{x}_n^*.\overline{x}_n^*\right]\right)$$

که در آن:

$$\underline{x}_j^* = \frac{\sum_{i=1}^{m} \underline{x}_{ij}}{m} \quad (۱)$$

$$\overline{x}_j^* = \frac{\sum_{i=1}^{m} \overline{x}_{ij}}{m} \quad (۲)$$

گام سوم: با توجه به نوع معیارها (افزایشی یا کاهشی) مقادیر فاصله خاکستری مثبت از میانگین $\otimes d_{ij}^+ = [\underline{d}_{ij}^+.\overline{d}_{ij}^+]$ و فاصله خاکستری از میانگین $\otimes d_{ij}^- = \left[\underline{d}_{ij}^-.\overline{d}_{ij}^-\right]$ محاسبه می‌شود. برای محاسبه حدود بالا $\otimes d_{ij}^+$ از روابط ۳ و حدود پایین از روابط ۴ استفاده می‌شود:

$$\underline{d}_{ij}^+ = \begin{cases} \dfrac{max\left(0.\left(\underline{x}_{ij} - \overline{x}_j^*\right)\right)}{0.5(\underline{x}_j^* + \overline{x}_j^*)} \\ \dfrac{max\left(0.\left(\underline{x}_j^* - \overline{x}_{ij}\right)\right)}{0.5(\underline{x}_j^* + \overline{x}_j^*)} \end{cases} \quad (۳)$$

$$\overline{d}_{ij}^+ = \begin{cases} \dfrac{max\left(0.\left(\overline{x}_{ij} - \underline{x}_j^*\right)\right)}{0.5(\underline{x}_j^* + \overline{x}_j^*)} \\ \dfrac{max\left(0.\left(\overline{x}_j^* - \underline{x}_{ij}\right)\right)}{0.5(\underline{x}_j^* + \overline{x}_j^*)} \end{cases} \quad (۴)$$

همچنین برای محسابه حدود بالا و پایین $\otimes d_{ij}^-$ از روابط ۵ و۶ استفاده می‌شود:

$$\underline{d}_{ij}^- = \begin{cases} \dfrac{max\left(0.\left(\underline{x}_j^* - \overline{x}_{ij}\right)\right)}{0.5(\underline{x}_j^* + \overline{x}_j^*)} \\ \dfrac{max\left(0.\left(\underline{x}_{ij} - \overline{x}_j^*\right)\right)}{0.5(\underline{x}_j^* + \overline{x}_j^*)} \end{cases} \quad (۵)$$

$$\overline{d}_{ij}^- = \begin{cases} \dfrac{max\left(0.\left(\overline{x}_j^* - \underline{x}_{ij}\right)\right)}{0.5(\underline{x}_j^* + \overline{x}_j^*)} \\ \dfrac{max\left(0.\left(\overline{x}_{ij} - \underline{x}_j^*\right)\right)}{0.5(\underline{x}_j^* + \overline{x}_j^*)} \end{cases} \quad (۶)$$

گام چهارم: تعیین وزن معیارها

جهت تعیین وزن معیارها، روش‌هایی مانند روش آنتروپی شانون، آنتروپی شانون خاکستری و غیره وجود دارد. در این مقاله جهت تعیین وزن معیارها از روش آنتروپی شانون خاکستری استفاده شده است و درجه اهمیت تمامی معیارها با این روش محاسبه شده است. مفهوم

آنتروپی توسط کلاو الوود شانون مطرح شد. آنتروپی مفهومی در تئوری اطلاعات است که به میزان اطلاعات دریافتی از هر پیام اشاره دارد. شانون در مفهوم آنتروپی به میزان عدم اطمینان موجود در پیام دریافتی اشاره دارد و آن را با یک تئوری احتمال بیان کرده است. آنتروپی شانون در تئوری اطلاعات، شاخصی است برای اندازه‌گیری عدم اطمینان که به وسیله یک توزیع احتمال بیان می‌شود. در اکثر مسایل تصمیم‌گیری چند معیاره دانستن وزن عناصر بسیار مهم است. تکنیک آنتروپی شانون یکی از روش‌هایی است که برای تعیین وزن عناصر مورد استفاده قرار می‌گیرد و در سال ۱۹۴۸ توسط شانون مطرح شد (Shannon, 1948). آنتروپی شانون در محیط عدم قطعیت توسط آندریکا و همکاران در سال ۲۰۱۰ توسعه داده شد (Andreica et al., 2010). برای تعیین وزن هر معیار نخست، ماتریس تصمیم را با توجه به معیارها و گزینه‌ها مشابه گام اول G-EDAS تشکیل می‌شود. پس از تشکیل ماتریس تصمیم، نرمال‌سازی حدود بالا و پایین با استفاده از روابط ۷ و ۸ انجام می‌شود:

$$\underline{n}_{ij} = \frac{\underline{x}_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} \overline{x}_{ij}} \quad (۷)$$

$$\overline{n}_{ij} = \frac{\overline{x}_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} \overline{x}_{ij}} \quad (۸)$$

پس از نرمال‌سازی، با استفاده از روابط ۹ و ۱۰ حدود بالا و پایین شاخصه‌ها محاسبه می‌شود:

$$\underline{E}_j = min\left\{-k\left[\sum_{i=1}^{m} \underline{n}_{ij} \times ln\underline{n}_{ij}\right].-k\left[\sum_{i=1}^{m} \overline{n}_{ij} \times ln\overline{n}_{ij}\right]\right\} \quad (۹)$$

$$\overline{E}_j = max\left\{-k\left[\sum_{i=1}^{m} \underline{n}_{ij} \times ln\underline{n}_{ij}\right].-k\left[\sum_{i=1}^{m} \overline{n}_{ij} \times ln\overline{n}_{ij}\right]\right\} \quad (۱۰)$$

که در آن $k = \frac{1}{\ln m}$ است. سپس با استفاده از رابطه ۱۱ و ۱۲ حد بالا و پایین مقدار انحراف محاسبه می‌شود:

$$\underline{d}_j = 1 - \overline{E}_j \quad (۱۱)$$

$$\overline{d}_j = 1 - \underline{E}_j \quad (۱۲)$$

و در نهایت حد بالا و پایین وزن هر شاخصه با استفاده از روابط ۱۳ و ۱۴ محاسبه خواهد شد:

$$\underline{W}_j = \frac{\underline{d}_j}{\sum_{j=1}^{n} \overline{d}_j} \quad (۱۳)$$

$$\overline{W}_j = \frac{\overline{d}_j}{\sum_{j=1}^{n} \underline{d}_j} \quad (۱۴)$$

گام پنجم: مجموع فاصله مثبت از میانگین PDA ($\otimes Q_i^+$) و مجموع فاصله منفی از میانگین NDA ($\otimes Q_i^-$) با استفاده از روابط ۱۵ و ۱۶ محاسبه می‌شود:

$$\otimes Q_i^+ = \left[\underline{Q_i^+}.\overline{Q_i^+}\right] = \left[\sum_{j=1}^{n} \underline{W_j}\ \underline{d_{ij}^+}.\sum_{j=1}^{n} \overline{W_j}\ \overline{d_{ij}^+}\right] \quad (۱۵)$$

$$\otimes Q_i^- = \left[\underline{Q_i^-}.\overline{Q_i^-}\right] = \left[\sum_{j=1}^{n} \underline{W_j}\ \underline{d_{ij}^-}.\sum_{j=1}^{n} \overline{W_j}\ \overline{d_{ij}^-}\right] \quad (۱۶)$$

گام ششم: نرمال‌سازی مقادیر $\otimes Q_i^+$ و $\otimes Q_i^-$ برای تمامی گزینه‌ها (روابط ۱۷ و ۱۸)

$$\otimes S_i^+ = \left[\underline{S_i^+}.\overline{S_i^+}\right] = \left[\frac{\underline{Q_i^+}}{max\ \overline{Q_k^+}}.\frac{\overline{Q_i^+}}{max\ \overline{Q_k^+}}\right] \quad (۱۷)$$

$$\otimes S_i^- = \left[\underline{S_i^-}.\overline{S_i^-}\right] = \left[1 - \frac{\overline{Q_i^-}}{max\ \overline{Q_k^+}}.1 - \frac{\underline{Q_i^-}}{max\ \overline{Q_k^+}}\right] \quad (۱۸)$$

که در آن $\underline{S_i^+}$ و $\overline{S_i^+}$ نشان‌دهنده حدود پایین و بالای مجموع فاصله مثبت از میانگین نرمال شده PDA و $\underline{S_i^-}$ و $\overline{S_i^-}$ نشان‌دهنده مجموع فاصله منفی از میانگین نرمال شده NDA است.

گام هفتم: محاسبه مقادیر S_i برای هر گزینه (رابطه ۱۹) و رتبه‌بندی گزینه‌ها (گزینه‌ای که دارای امتیاز S_i بیشتری باشد، بهتر است).

$$S_i = \frac{1}{2}(\underline{S_i^+} + \overline{S_i^+} + \overline{S_i^-} + \underline{S_i^-}) \quad (۱۹)$$

۳

۳-۳. روش G-COPRAS

روش ارزیابی تناسب جامع Complex Proportional Assessment برای اولین بار در سال ۱۹۹۴ توسط زاوادسکاس و همکاران معرفی شد (Zavadskas et al., 1994). روش COPRAS راه‌حل بهینه را به صورت نسبتی از راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی ارایه داده است، بنابراین می‌توان آن را در کنار روش تاپسیس قرار داد. اما مزیت این روش نسبت به تاپسیس در محاسبات زمانی اندک و ساده و شفاف بودن آن است. این روش می‌تواند هر دو معیار کمی و کیفی را در طول یک ارزیابی در نظر بگیرد و توانایی محاسبه هر دو معیارهای افزایشی و کاهشی را دارد که می‌تواند به طور جداگانه در فرایند ارزیابی مورد بررسی قرار گیرد. ویژگی مهم دیگری که روش COPRAS را از سایر روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در دسترس برتر می‌سازد، این است که با تخمین درجه مطلوبیت گزینه‌ها به صورت درصد، نشان می‌دهد چطور یک گزینه در مقایسه با دیگر گزینه‌ها بهتر یا بدتر در نظر گرفته می‌شود. این روش به طور مکرر و موفقیت‌آمیزی برای رتبه‌بندی مسایل مرتبط با دارایی، برنامه‌ریزی و پایداری به کار گرفته شده است. روش G-COPRAS با به کارگیری تئوری خاکستری و با استفاده از اعداد بازه‌ای توسط زاوادسکاس و همکاران در سال ۲۰۰۹ توسعه داده شد (Zavadskas et al., 2009). مراحل این الگوریتم به صورت زیر است:

گام اول: بعد از مشخص کردن معیارها و گزینه‌های مساله و نیز تعیین وزن‌هایی از معیارهای منتخب توسط خبرگان، ماتریس تصمیم خاکستری هر یک از خبرگان تشکیل می‌گردد سپس نظرات خبرگان به روش میانگین حسابی ادغام شده و ماتریس تصمیم خاکستری به صورت زیر ایجاد می‌شود:

$$\otimes X = \begin{bmatrix} [\underline{x}_{11}.\overline{x}_{11}] & [\underline{x}_{12}.\overline{x}_{12}] & \cdots & [\underline{x}_{1n}.\overline{x}_{1n}] \\ [\underline{x}_{21}.\overline{x}_{21}] & [\underline{x}_{22}.\overline{x}_{22}] & \cdots & [\underline{x}_{2n}.\overline{x}_{2n}] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ [\underline{x}_{m1}.\overline{x}_{m1}] & [\underline{x}_{m2}.\overline{x}_{m2}] & \cdots & [\underline{x}_{mn}.\overline{x}_{mn}] \end{bmatrix}$$

گام دوم: تعیین بردار وزن معیارها (تعیین وزن معیارها به صورت $W = \{w_1.w_2.\cdots.w_n\}$ است که $\sum_{j=1}^{n} W_j = 1$ و $W_j > 0$ باشد).

گام سوم: نرمال‌سازی مقادیر حد بالا و پایین ماتریس تصمیم خاکستری طبق روابط ۲۰ و ۲۱.

$$\underline{n}_{ij} = \frac{\underline{x}_{ij}}{\frac{1}{2}\left[\sum_{i=1}^{m} \underline{x}_{ij} + \sum_{i=1}^{m} \overline{x}_{ij}\right]} = \frac{2\underline{x}_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} \underline{x}_{ij} + \sum_{i=1}^{m} \overline{x}_{ij}} \quad (۲۰)$$

$$\overline{n}_{ij} = \frac{\overline{x}_{ij}}{\frac{1}{2}\left[\sum_{i=1}^{m} \underline{x}_{ij} + \sum_{i=1}^{m} \overline{x}_{ij}\right]} = \frac{2\overline{x}_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} \underline{x}_{ij} + \sum_{i=1}^{m} \overline{x}_{ij}} \quad (۲۱)$$

گام چهارم: محاسبه ماتریس تصمیم نرمال با توجه به وزن هر زیرمعیار طبق روابط ۲۲ و ۲۳.

$$\underline{v}_{ij} = \underline{n}_{ij} \cdot W_j \quad (۲۲)$$

$$\overline{v}_{ij} = \overline{n}_{ij} \cdot W_j \quad (۲۳)$$

گام پنجم: محاسبه مجموع معیارهای ماتریس تصمیم نرمال شده (اگر معیار افزایشی باشد، مقدار P_i برای هر گزینه از رابطه ۲۴ و اگر معیار کاهشی باشد، مقدار R_i برای هر گزینه از رابطه ۲۵ به دست می‌آید:

$$P_i = \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{k}\left(\underline{v}_{ij} + \overline{v}_{ij}\right) \quad (۲۴)$$

$$R_i = \frac{1}{2}\sum_{j=k+1}^{n}\left(\underline{v}_{ij} + \overline{v}_{ij}\right) \quad (۲۵)$$

گام ششم: محاسبه وزن نسبی هر گزینه: وزن نسبی هر گزینه مبتنی بر مشخصه‌های مثبت و منفی گزینه‌ها و اهمیت نسبی هر گزینه تعیین با استفاده از رابطه ۲۶ محاسبه می‌شود.

$$Q_i = P_i + \frac{\sum_{i=1}^{m} R_i}{R_i \times \sum_{i=1}^{m} \frac{1}{R_i}} \quad (۲۶)$$

گام هفتم: محاسبه درجه مطلوبیت هر گزینه: برای محاسبه درجه مطلوبیت هرگزینه ابتدا باید مقدار $L = maxQ_i$ محاسبه شود و سپس از رابطه ۲۷ برای محاسبه N_i استفاده شود.

$$N_i = \frac{Q_i}{L} \times 100 \quad (۲۷)$$

۴-۳. روش G-AHP

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (Analytic Hierarchy Process) برای مدل‌سازی فرآیند تصمیم‌گیری ذهنی چند شاخه در سیستم سلسله مراتبی پیشنهاد شده است (Fataei et al., 2012). در مدت زمان کوتاهی این روش به صورت گسترده‌ای در برنامه‌ریزی شرکت‌ها، انتخاب نمونه کارها، تجزیه و تحلیل هزینه- منفعت توسط سازمان‌های دولتی و مکان‌یابی و ... مورد استفاده قرار گرفت. فرآیند تحلیل سلسله

مراتبی خاکستری اساسا شبیه AHP است. در G-AHP اعداد خاکستری به جای اعداد قطعی استفاده می‌شوند (Çelikbilek, 2018). گام‌های محاسباتی G-AHP پس از شناسایی مساله (اهداف، معیارها و گزینه‌ها) و تشکیل ساختار سلسله مراتبی به صورت زیر است:

گام اول: مشابه دو روش قبل ماتریس مقایسات زوجی با اعداد خاکستری حاصل از نظرات تصمیم‌گیرندگان به صورت زیر شکل می‌گیرد:

$$\otimes X = \begin{bmatrix} \otimes x_{11} & \otimes x_{12} & \cdots & \otimes x_{1n} \\ \otimes x_{21} & \otimes x_{22} & \cdots & \otimes x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \otimes x_{m1} & \otimes x_{m1} & \cdots & \otimes x_{mn} \end{bmatrix}$$

گام دوم: ماتریس‌های مقایسات زوجی نظرات خبرگان با استفاده از رابطه ۲۸ ادغام می‌شود:

$$\otimes x_{ii} = \sqrt[k]{\prod_{i=1}^{k} \otimes x_{ii}^{k}} \quad (۲۸)$$

گام سوم: نرمال‌سازی ستون‌های ماتریس با استفاده از روابط ۲۹ و ۳۰

$$\underline{n}_{ij} = \left(\underline{x}_{ij} - min_j \underline{x}_{ij}\right)/\Delta_{min}^{max} \quad (۲۹)$$

$$\overline{n}_{ij} = \left(\overline{x}_{ij} - min_j \underline{x}_{ij}\right)/\Delta_{min}^{max} \quad (۳۰)$$

که در آن $\Delta_{min}^{max} = max\overline{x}_{ij} - min\underline{x}_{ij}$ است.

گام چهارم: محاسبه درجه اهمیت خاکستری از طریق میانگین سطری و رابطه $\frac{\sum_{j=1}^{n} \otimes n_{ij}}{n}$ به دست می‌آید.

گام پنجم: پس از تعیین درجه اهمیت زیرمعیارها، رتبه هر گزینه از رابطه $\sum_{j=1}^{n} w_j \otimes n_{ij}$ به دست می‌آید.

۵-۳. روش حل

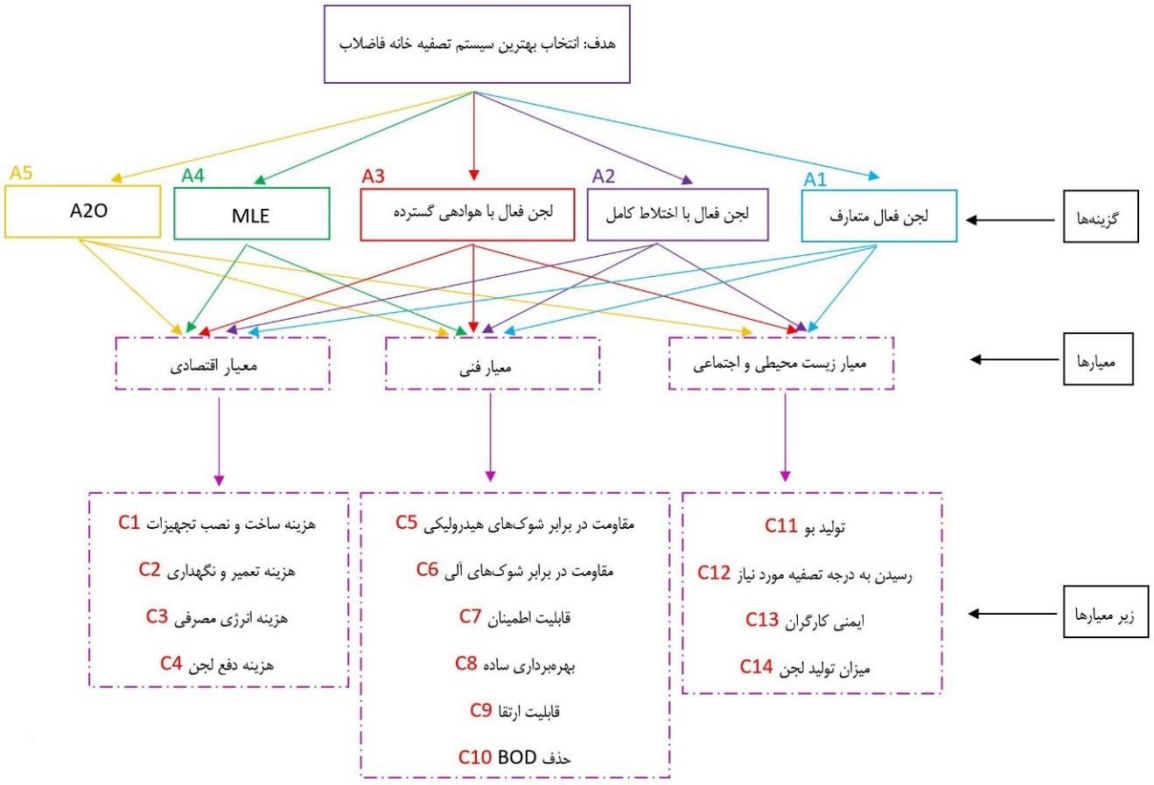
۱-۵-۳. تصفیه فاضلاب شهری

با توجه به آمار و اطلاعات، در حال حاضر متداول‌ترین روش‌های تصفیه فاضلاب شهری در کشور شامل چهار فرآیند لجن فعال، برکه تثبیت، لاگون هوادهی و فیلتر چکنده است. بر اساس آخرین آمار منتشر شده توسط شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، ایران در مجموع ۲۳۷ تصفیه‌خانه دارد که بیش از ۹۰ درصد آن‌ها از یکی از این چهار فرآیند بهره می‌برند. گزینه‌های مورد بررسی در این پژوهش، روش‌های مختلف لجن فعال برای تصفیه فاضلاب شهری می‌باشد. فرآیند لجن فعال در سال ۱۹۰۰ میلادی توسط دو نفر انگلیسی تکمیل گردید. این فرآیند شامل فعالیت میکروارگانیزم‌ها همراه ماده آلی در یک محیط غنی از اکسیژن (هوازی) است (Naeb et al., 2014).

۲-۵-۳. توضیح گزینه ها، معیارها و زیرمعیارها

تمامی گزینه‌ها، معیارها و زیرمعیارهای انتخاب سیستم تصفیه فاضلاب بر اساس واقعیات، سازگار با شرایط واقعی انتخاب شده‌اند. پنج سیستم تصفیه فاضلاب شامل لجن فعال متعارف، لجن فعال با اختلاط کامل، لجن فعال با هوادهی گسترده، MLE و A2O به عنوان گزینه در نظر گرفته شد. تعیین معیارهای اصلی مقایسه گزینه‌های تصفیه فاضلاب از اهمیت بالایی برخوردار است که انتخاب و ارزیابی آن‌ها، بر اساس تجربیات حاصل شده از طراحی، اجرا و بهره‌برداری این فرآیندها در شهرهای منتخب صورت گرفت. این معیارها در قالب سه معیار اصلی معرفی می‌گردند که عبارتند از: معیار فنی، معیار اقتصادی و معیار زیست‌محیطی- اجتماعی. همچنین به علت وسیع بودن ابعاد هر

یک از معیارهای تعریف شده، به منظور دستیابی به نتایج بهتر برای هریک از معیارها، زیرمعیارهایی تعریف شد. زیرمعیارهایی که در ارزیابی فنی فرآیندها مورد توجه قرار گرفتند عبارتنداز: مقاومت در برابر ضربه‌های آلی و هیدرولیکی، کارکرد مداوم، کارکرد ساده، امکان ارتقا، حذف BOD، هزینه ساخت و نصب تجهیزات، نگهداری، مصرف انرژی، دفع لجن، تولید بو، رسیدن به درجه تصفیه مورد نیاز، ایمنی کارگران و تولید لجن. شکل ۱، گزینه‌ها (سیستم تصفیه فاضلاب)، معیارها و زیر معیارها را نشان می‌دهد.



شکل ۱. گزینه‌ها، معیار و زیرمعیار

۳-۵-۳. جمع‌آوری داده

جهت جمع‌آوری داده‌ها (نظر کارشناسان) نخست باید پرسشنامه‌هایی مطابق با دستورالعمل هر روش طراحی شود که کارشناسان براساس آن بتوانند نظر خود را مطرح نمایند. این پرسشنامه‌ها بر پایه متغیرهای زبانی تهیه می‌شوند و سپس باید به اعداد خاکستری تبدیل شوند. تبدیل متغیرهای زبانی به اعداد خاکستری در روش G-EDAS و G-COPRAS با استفاده از جدول‌های شماره ۱، ۲ و۳ (Parkouhi et al., 2019; Sadeghi et al., 2013; Sahu et al., 2012) و تبدیل متغیرهای زبانی به اعداد خاکستری در روش G-AHP با استفاده از جدول‌های شماره ۴ استفاده شود.

جدول ۱. تبدیل متغیرهای زبانی به اعداد خاکستری (پرکوهی و قادیلاکی، ۲۰۱۹)

متغیر زبانی	اعداد خاکستری
خیلی ضعیف	(۰،۳)
ضعیف	(۱،۵)
متوسط	(۳،۷)
خوب	(۵،۹)
خیلی خوب	(۷،۱۰)

جدول ۲. تبدیل متغیرهای زبانی به اعداد خاکستری (صادقی و همکاران، ۲۰۱۳)

متغیر زبانی	اعداد خاکستری
خیلی ضعیف	(۱،۲)
ضعیف	(۲،۳)
متوسط رو به ضعیف	(۳،۴)
متوسط	(۴،۵)
متوسط رو به خوب	(۵،۶)
خوب	(۶،۷)
خیلی خوب	(۷،۸)

جدول ۳. تبدیل متغیرهای زبانی به اعداد خاکستری (ساهو و همکاران، ۲۰۱۲)

متغیر زبانی	اعداد خاکستری
خیلی ضعیف	(۰،۱)
ضعیف	(۱،۳)
متوسط رو به ضعیف	(۳،۴)
متوسط	(۴،۵)
متوسط رو به خوب	(۵،۶)
خوب	(۶،۹)
خیلی خوب	(۹،۱۰)

جدول ۴. تبدیل متغیرهای زبانی به اعداد خاکستری روش *G-AHP*

متغیر زبانی	اعداد خاکستری
اهمیت یکسان	(۱،۲)
کمی مهم	(۲،۴)
مهم	(۴،۶)
بسیار مهم	(۶،۸)
کاملا مهم	(۸،۹)

۴-۵-۳. تعیین حجم نمونه

تعیین حجم نمونه به روش‌ها و فرمول‌هایی اشاره دارد که برای محاسبه تعداد نمونه معرف جامعه آماری مورد استفاده قرار می‌گیرد. تعیین حجم نمونه و برآورد تعداد نمونه لازم که معرف ویژگی‌های یک جامعه آماری باشد از مباحث مهم روش تحقیق است. اگر نمونه به خوبی نتواند ویژگی‌های جامعه را دربرگیرد استفاده از بهترین روش آماری نیز فاقد وجهات لازم برای استناد می‌باشد. نظر به اهمیت تعیین اندازه نمونه و از سوی دیگر روش‌های مختلف تحلیل آماری، روش‌های متعددی از جمله فرمول کوهن، فرمول کوکران، جدول کرجسی- مورگان و ... برای محاسبه حجم نمونه معرفی شده است.

۱-۴-۵-۳. فرمول کوکران

فرمول کوکران پرکاربردترین شیوه در تعیین حجم نمونه است. فرمول کوکران به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$n = \frac{\frac{z^2 pq}{d^2}}{1 + \frac{1}{N}[\frac{z^2 pq}{d^2} - 1]}$$

در این فرمول N حجم جامعه، z سطح خطا، p احتمال اعتماد یا موفقیت، q احتمال عدم اعتماد یا عدم موفقیت، d نشان‌دهنده خطا می‌باشد.

۲-۴-۵-۳. جدول کرجسی – مورگان

اگر حجم جامعه معلوم باشد ساده‌ترین روش برای تعیین حجم نمونه رجوع به جدول کرجسی- مورگان است. زمانی که نه از واریانس جامعه و نه از احتمال موفقیت یا عدم موفقیت متغیر اطلاع دارید و نمی‌توان از فرمول‌های آماری برای برآورد حجم نمونه استفاده کرد از جدول کرجسی- مورگان استفاده می‌کنیم. در جدول کرجسی- مورگان، به ازای هر تعداد از جامعه موردنظر نمونه تخمینی نیز به صورت خودکار برآورد شده است. هیچ تفاوتی بین جدول کرجسی- مورگان و فرمول کوکران وجود ندارد. در واقع دو پژوهشگر به نام‌های کرجسی و مورگان اعداد مختلف را در فرمول کوکران در سطح خطای ۵ درصد قرار داده‌اند و حجم نمونه حاصل در یک جدول ارایه کرده‌اند. جدول ۵ بخشی از جدول مورگان را نشان می‌دهد. مقدار S در جدول مورگان نشان‌دهنده Sample است و مقدار N نشان‌دهنده تعداد افراد جامعه می‌باشد.

جدول ۵. قسمتی از جدول نمونه‌گیری کرجسی و مورگان

N	S	N	S	N	S	N	S	N	S
۱۰	۱۰	۲۵	۲۴	۴۰	۳۸	۵۵	۴۸	۷۰	۵۹
۱۵	۱۴	۳۰	۲۸	۴۵	۴۰	۶۰	۵۲	۷۵	۶۳
۲۰	۱۹	۳۵	۳۲	۵۰	۴۴	۶۵	۵۸	۸۰	۶۶

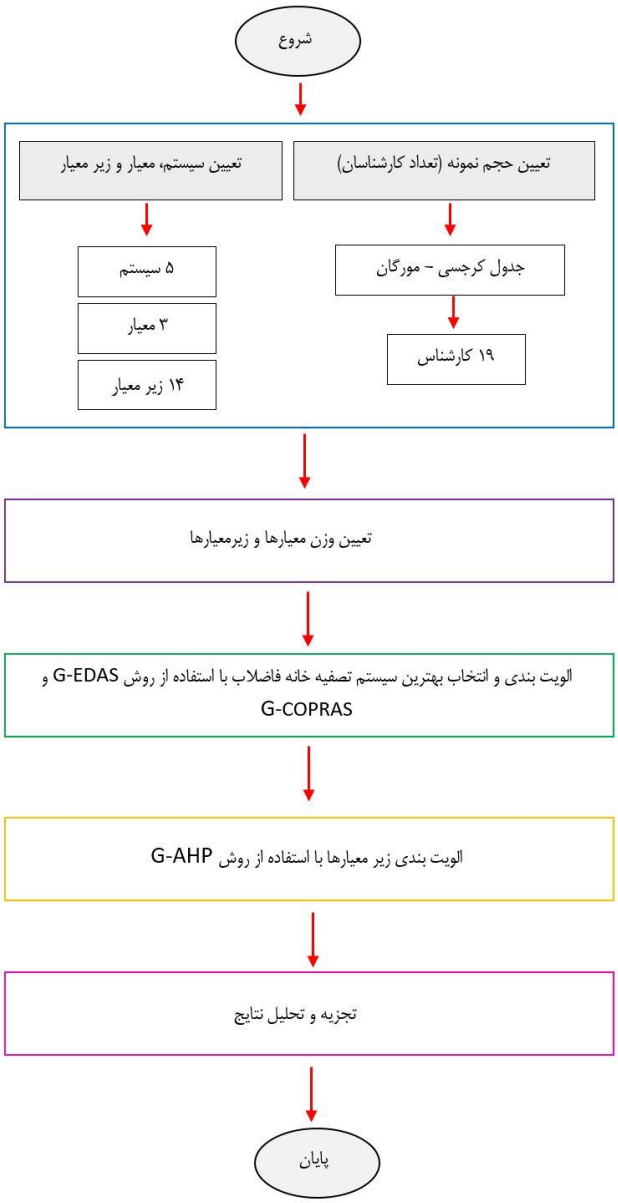
از آنجایی که در این تحقیق اطلاعات کافی از جامعه آماری کارشناسان در دسترس نبود با فرض تعداد کارشناسان ۲۰ نفر باشد، ۱۹ پرسشنامه تهیه شد و در اختیار کارشناسان قرار گرفت. همه کارشناسان از بین افراد آشنا به امور تصفیه‌خانه فاضلاب، اساتید دانشگاه و پژوهشگران انتخاب شدند. پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها و مرتب‌سازی آن‌ها، تصمیم‌گیری جهت انتخاب بهترین سیستم تصفیه فاضلاب با دو روش G-EDAS و G-COPRAS و الویت‌بندی زیرمعیارها با روش G-AHP انجام شد. شکل ۲ مراحل فرآیند روش تصمیم‌گیری را نشان می‌دهد.

۴. یافته‌های پژوهش

۱-۴. نتایج روش G-EDAS

ابتدا ماتریس تصمیم خاکستری براساس یکی از جدول‌های ۱، ۲ و۳ محاسبه می‌شود. جدول ۶ ماتریس تصمیم خاکستری محاسبه شده براساس نظر کارشناسان را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌کنید در هر سیستم برای هر زیر معیار یک حد بالا و یک حد پایین محاسبه شده است.

پس از تشکیل ماتریس تصمیم، وزن هر زیر معیار براساس روش آنتروپی شانون خاکستری محاسبه می‌شود. جدول ۷ وزن هر زیرمعیار را نشان می‌دهد.



شکل ۲. نمودار جریان روش

جدول ۶. ماتریس تصمیم‌گیری خاکستری

	A1	A2	A3	A4	A5
C1	۴/۷۹	۴/۴۷	۴/۰۵	۳/۳۷	۳/۴۲
	۸/۵۳	۸/۳۷	۷/۹۵	۷/۲۶	۷/۰۵
C2	۴/۸۹	۴/۲۶	۴/۲۶	۳/۲۶	۳/۴۲
	۸/۷۴	۸/۲۱	۸/۱۱	۷/۰۵	۶/۹۵
C3	۴/۰۵	۳/۱۰	۳/۶۳	۳/۷۴	۲/۵۸
	۸	۷/۱۱	۷/۶۳	۷/۶۸	۶/۳۷
C4	۱/۹۵	۳/۳۲	۳/۹۵	۳/۱۱	۳/۹۸
	۵/۸۴	۷/۳۲	۷/۹۵	۷/۱۱	۷/۸۹

ادامه جدول ۶. ماتریس تصمیم‌گیری خاکستری

	A1	A2	A3	A4	A5
C5	۴/۰۵	۴/۱۶	۴/۳۲	۳/۸۴	۳/۶۳
	۷/۸۴	۸	۸	۷/۶۳	۷/۲۱
C6	۳/۲۱	۳/۵۳	۴/۷۹	۵/۱۰	۴/۸۹
	۷/۱۶	۷/۳۲	۸/۵۳	۸/۶۸	۸/۳۷
C7	۵/۳۲	۳/۹۵	۴/۴۷	۳/۵۸	۳/۸۴
	۹	۷/۸۴	۸/۲۶	۷/۲۶	۷/۲۶
C8	۶/۱۵	۴/۰۵	۴/۰۵	۳/۱۶	۲/۴۷
	۹/۵۸	۸	۸/۰۵	۷	۶/۱۶
C9	۵	۵/۳۲	۳/۸۴	۴/۳۷	۳/۳۷
	۸/۸۹	۹/۰۵	۷/۷۹	۸/۲۱	۷/۱۶
C10	۵/۴۲	۵	۵/۲۱	۵/۴۲	۵/۵۳
	۸/۹۵	۸/۷۴	۸/۸۴	۹/۰۵	۹/۱۱
C11	۳/۹۵	۴/۴۷	۴/۲۶	۴/۴۷	۴/۸۹
	۷/۸۹	۸/۲۱	۸	۸/۳۲	۸/۴۷
C12	۴/۷۹	۴/۸۹	۴/۴۷	۴/۴۷	۶/۰۵
	۸/۵۸	۸/۷۴	۸/۳۷	۸/۱۶	۹/۴۲
C13	۴/۵۸	۴/۷۹	۴/۳۷	۴/۴۷	۵
	۸/۳۷	۸/۵۳	۸/۱۶	۸/۲۱	۸/۶۳
C14	۴/۲۶	۴/۲۶	۵	۳/۸۹	۴/۴۷
	۸/۰۵	۷/۹۵	۸/۶۸	۷/۵۳	۷/۹۵

جدول ۷. وزن زیر معیارها در روش G-EDAS

زیر معیار	W	زیر معیار	W
C1	۰/۰۰۰۴	C8	۰/۰۰۱
	۱۰/۹۸		۱۱/۴۶
C2	۰/۰۰۰۶	C9	۰/۰۰۰۶
	۱۰/۹۵		۱۰/۴۳
C3	۰/۰۰۰۵	C10	۰/۰۰۰۱
	۱۲/۵۷		۸/۴۵
C4	۰/۰۰۰۹	C11	۰/۰۰۰۵
	۱۳/۲۴		۱۰/۰۹
C5	۰/۰۰۰۱	C12	۰/۰۰۰۲
	۱۰/۷۶		۹/۲۳
C6	۰/۰۰۰۵	C13	۰/۰۰۰۳
	۱۰/۳۳		۹/۶۳
C7	۰/۰۰۰۵	C14	۰/۰۰۰۱
	۱۰/۳۵		۹/۹۲

پس از تعیین وزن هر زیر معیار، راه‌حل میانگین خاکستری، فاصله خاکستری مثبت و منفی هر گزینه از راه‌حل میانگین به دست می‌آید.

در گام بعد مجموع نرمال شده فاصله خاکستری مثبت و منفی از میانگین محاسبه می‌شود. جدول ۸ مجموع نرمال شده فاصله خاکستری مثبت و منفی از میانگین را نشان می‌دهد.

جدول ۸. مجموع نرمال شده فاصله خاکستری مثبت و منفی از میانگین در روش G-EDAS

سیستم	$\otimes Q_i^+$	$\otimes Q_i^-$	$\otimes S_i^+$	$\otimes S_i^-$
A1	(۰ ،۹۸/۹۴)	(۰ ،۸۷/۶۷)	(۰ ،۱)	(۰/۱۱ ،۱)
A2	(۰ ،۹۵/۶۱)	(۰ ،۹۲/۵۸)	(۰ ،۰/۹۶)	(۰/۰۶ ،۱)
A3	(۰ ،۹۸/۱۳)	(۰ ،۸۹/۷۷)	(۰ ،۰/۹۹)	(۰/۰۹ ،۱)
A4	(۰ ،۸۸/۱۳)	(۰ ،۹۸/۵۴)	(۰ ،۰/۸۹)	(۰/۰۰۴ ،۱)
A5	(۰ ،۸۵/۱۱)	(۰ ،۹۷/۳۶)	(۰ ،۰/۸۶)	(۰/۰۱ ،۱)

در گام آخر مقادیر S_i محاسبه شده و گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند. جدول ۹ مقادیر S_i و رتبه‌بندی هر گزینه را نشان می‌دهد.

جدول ۹. مقادیر Si برای هر گزینه در روش G-EDAS

سیستم	Si	رتبه
A1	۰/۵۳	۱
A2	۰/۵	۳
A3	۰/۵۲	۲
A4	۰/۴۷	۴
A5	۰/۴۶	۵

همان‌طور که نتایج جدول ۹ نشان می‌دهد. سیستم A1 که همان لجن فعال متعارف است با ۵۳ درصد به عنوان بهترین سیستم تصفیه فاضلاب انتخاب شده است. بعد از آن با اختلاف بسیار کمی سیستم لجن فعال با هوادهی گسترده در رتبه دوم و به ترتیب سیستم‌های لجن فعال با اختلاط کامل، MLE و A2O در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

۴-۲. نتایج روش G-COPRAS

پس از گردآوری نظرات کارشناسان و ادغام آن‌ها، ماتریس تصمیم خاکستری مطابق روش G-EDAS و جدول ۵ شکل گرفت. پس از تشکیل ماتریس تصمیم خاکستری، در گام دوم، نرمال‌سازی مقادیر ماتریس تصمیم خاکستری انجام می‌شود. بعد از تعیین وزن مربوط به هر زیر معیار، مقادیر ماتریس تصمیم خاکستری نرمال شده موزون را حساب می‌کنیم و سپس مجموع معیارهای ماتریس تصمیم نرمال شده با ملاحظه افزایشی و کاهشی بودن هر زیر معیار محاسبه می‌شود. در آخر مطلوبیت نسبی هر گزینه محاسبه و رتبه نهایی هر گزینه مشخص خواهد شد. جدول ۱۰ رتبه‌بندی نهایی هر سیستم را مشخص می‌کند.

جدول ۱۰. مقادیر Ni برای هر گزینه در روش G-COPRAS

سیستم	Qi	Ni	رتبه
A1	۰/۲۱	۱۰۰	۱
A2	۰/۲	۹۷/۴۶	۳
A3	۰/۲	۹۸/۳۵	۲
A4	۰/۱۹	۹۲/۹۵	۵
A5	۰/۱۹	۹۳/۰۴	۴

مطابق نتایج جدول ۱۰، سیستم A1 که همان لجن فعال متعارف است با امتیاز ۱۰۰ به عنوان بهترین سیستم تصفیه فاضلاب انتخاب شده است. بعد از آن سیستم لجن فعال با هوادهی گسترده در رتبه دوم و به ترتیب سیستم‌های لجن فعال با اختلاط کامل، MLE و A2O در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

۳-۴. نتایج G-AHP

پس از تشکیل مدل سلسله مراتبی براساس نظر کارشناسان و با توجه به جدول ۴، وزن هر معیار نسبت به هدف و وزن زیرمعیارها نسبت به معیار مربوط به خود محاسبه می‌شود. جدول ۱۱ وزن نهایی زیرمعیارها و رتبه‌بندی آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱۱. امتیاز نهایی زیرمعیارها و رتبه آن‌ها

معیار	معیار	نام معیار	امتیاز	رتبه کل
اقتصادی	C1	هزینه ساخت و نصب تجهیزات	۰/۲۷	۴
	C2	هزینه تعمیر و نگهداری	۰/۱۵	۶
	C3	هزینه انرژی مصرفی	۰/۰۵	۸
	C4	هزینه دفع لجن	۰/۰۲	۱۱
فنی	C5	مقاومت در برابر شوک‌های هیدرولیکی	۰/۶۹	۱
	C6	مقاومت در برابر شوک‌های آلی	۰/۳۹	۲
	C7	قابلیت اطمینان	۰/۲۹	۳
	C8	بهره‌برداری ساده	۰/۱۸	۵
	C9	قابلیت ارتقا	۰/۱۲	۷
	C10	حذف BOD	۰/۰۴	۹
زیست محیطی	C11	تولید بو	۰/۰۳	۱۰
	C12	رسیدن به درجه تصفیه مورد نیاز	۰/۰۲	۱۲
	C13	ایمنی کارگران	۰/۰۱	۱۳
	C14	میزان تولید لجن	۰/۰۰۳	۱۴

همان‌طور که نتایج جدول ۱۱ نشان می‌دهد زیرمعیار C5 (مقاومت در برابر شوک‌های هیدرولیکی) به عنوان مهمترین زیرمعیار شناخته شده است و پس از آن به ترتیب مقاومت در برابر شوک‌های آلی، قابلیت اطمینان، هزینه ساخت و نصب تجهیزات، بهره‌برداری ساده، هزینه تعمیر و نگهداری، قابلیت ارتقا، هزینه انرژی مصرفی، حذف BOD، تولید بو، هزینه دفع لجن، رسیدن به درجه تصفیه مورد نیاز، ایمنی کارگران و میزان تولید لجن در جایگاه بعدی قرار دارند.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با توجه به پیشرفت تکنولوژی و پیچیدگی سازمان‌ها و سیستم‌ها، مدیران مجبورند به سمت فرآیندها یا ابزارهایی بروند که کمترین ریسک و هزینه را در تصمیم‌گیری و تعیین کارایی بهینه سیستم‌ها و شناخت عیوب آن‌ها داشته باشند. نظریه تصمیم در محیط خاکستری می‌تواند به عنوان یک ابزار مدیریتی موثر برای مدیران، برنامه‌ریزان و طراحان سیستم در تصمیم‌گیری استفاده شود. رشد روز افزون جمعیت جهان و پیشرفت چشمگیر صنایع سبب افزایش چشمگیر حجم فاضلاب شده است. آلودگی‌های ناشی از انواع پساب‌های خانگی، صنعتی و کشاورزی از یک سو و نیاز روزافزون به آب سالم از سوی دیگر، راه‌اندازی تصفیه‌خانه فاضلاب را به یکی از مهمترین اولویت‌های زیست‌محیطی تبدیل کرده است. حفاظت، مدیریت و برنامه‌ریزی یکی از مهمترین مسایل در انتخاب سیستم تصفیه‌خانه فاضلاب است. با

توجه به هزینه بالای ساخت سیستم‌های جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب و نقش کلیدی این سیستم‌ها در ارایه خدمات به ساکنین شهر و حفاظت از محیط‌زیست، انتخاب نادرست آن تاثیر زیادی در افزایش هزینه‌ها و همچنین عدم دستیابی به اهداف دارد. در این مقاله به بررسی دو روش تصمیم‌گیری خاکستری G-EDAS و G-COPRAS برای انتخاب سیستم تصفیه فاضلاب با در نظر گرفتن معیارهای تصمیم‌گیری چندگانه پرداخته شده است که می‌توان از آن‌ها برای تصمیم‌گیری چند معیاره پیچیده برای به دست آوردن نتایج علمی و معقول استفاده کرد. نتایج نشان می‌دهد که در هر دو روش سیستم لجن فعال متعارف به ترتیب با ۵۳ و ۱۰۰ درصد به عنوان بهترین سیستم تصفیه‌خانه فاضلاب انتخاب شد و بعد از آن با اختلاف بسیار کمی سیستم لجن فعال با هوادهی گسترده در رتبه دوم قرار گرفت. همچنین از روش سلسله مراتبی خاکستری G-AHP برای الویت‌بندی زیرمعیارها و تعیین مهمترین زیر معیار استفاده شد. براساس این روش زیرمعیار مقاومت در برابر شوک‌های هیدرولیکی که جز معیارهای فنی است به عنوان مهمترین زیرمعیار شناخته شد. همچنین روش‌های پیشنهادی در این مقاله می‌توانند به عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری موثر برای مدیران، برنامه‌ریزان و طراحان سیستم در زمینه‌های مختلف، صنایع، تست‌های غیر مخرب، رباتیک، جغرافیا، اقتصاد، تعیین معیارهای موثر بر عملکرد سیستم و غیره مورد استفاده قرار گیرند. برتری روش‌های تصمیم‌گیری خاکستری نسبت به سایر روش‌ها این است که علاوه بر این که بین معیارهای منفی و مثبت تمایز قائل می‌شود، بین مطلوب‌ترین مقدار هم تمایز قائل می‌شود. در مطالعه‌ای کهGolfam و همکاران در سال ۲۰۱۸ انجام دادند، بهترین روش برای استفاده مجدد از پساب تصفیه شده براساس روش ارزیابی فاصله از میانگین و روش تحلیل سلسله مراتبی با هم مقایسه شدند. در این مقایسه استفاده مجدد از فاضلاب در بخش محیط‌زیست بالاترین اولویت در میان چندین کاربرد جایگزین به دست آورد و به عنوان بهترین گزینه شناخته شد (Golfam et al., 2018). در مطالعه‌ای که نایب و همکاران در سال ۲۰۱۴ انجام دادند، برای انتخاب فرآیند بهینه تصفیه فاضلاب شهری در اقلیم‌های مختلف کشور از روش AHP استفاده کردند. با توجه به نتایج تحلیل سلسله مراتبی، معیار زیست‌محیطی در همه اقلیم‌ها به منزله مهمترین معیار شناخته شدند که بالاترین وزن را در اقلیم خزری و پایین‌ترین وزن آن در اقلیم‌های نیمه بیابانی و بیابانی است. براساس نتایج در سه اقلیم کوهستانی، خزری و مدیترانه‌ای فرآیند لجن فعال به منزله مناسب‌ترین گزینه تصفیه معرفی شده است. همچنین در دو اقلیم نیمه بیابانی و بیابانی کشور فرآیند برکه تثبیت به منزله مناسب‌ترین گزینه تصفیه معرفی شده است (Naeb et al., 2014).

۶. تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از اساتید دانشگاه، کارشناسان مربوط با امور آب و فاضلاب و همه عزیزانی که ما را در انجام و ارتقای کیفی این پژوهش یاری دادند، اعلام کنند.

۷. منابع

Golfam, P., Ashofteh, PS., & Loáiciga, HA. (2021). Modeling adaptation policies to increase the synergies of the water-climate-agriculture nexus under climate change. *Environmental Development*, 37, 100612.

Monzavi, MT. (2010). *Municipal wastewater - wastewater collection*. Tehran University Press.

Abrishami, A. (2013). Investigation of the reuse of treated municipal wastewater in green space irrigation. Master dissertation, Shahid Beheshti University, Iran.

Chang, NB., & Wang, SF. (1995) A grey nonlinear programming approach for planning coastal wastewater treatment and disposal systems. *Water Science and Technology*, 32(2), 19-29.

Zeng, G., Jiang, R., Huang, G., Xu, M., & Li, j. (2007). Optimization of wastewater treatment alternative selection by hierarchy grey relational analysis. *Journal of Environmental Management*, 82(2), 250-259.

Singhirunnusorn, W., & Stenstrom, M. (2009). Appropriate wastewater treatment systems for developing countries: criteria and indictor assessment in Thailand. *Water Science and Technology*, 59(9), 1873-84.

Pophali, GR., Chelani, AB., & Dhodapkar, RS. (2011). Optimal selection of full scale tannery effluent treatment alternative using integrated AHP and GRA approach. *Expert Systems with Applications*, 38(9), 10889-10895.

Bottero, M., Comino, V., & Riggio, V. (2011). Application of the analytic hierarchy process and the analytic network process for the assessment of different wastewater treatment systems. *Environmental Modelling & Software*, 26(10), 1211-1224.

Kalbar, PP., Karmakar, S., & Asolekar, SR. (2012). Selection of an appropriate wastewater treatment technology: a scenario-based multiple-attribute decision-making approach. *Journal of Environmental Management*, 113(30), 158-169.

Jinxiang, F., Lingwei, X., Xingguan, M., & Jing, T. (2013). Application of Entropy Weight TOPSIS Method for Optimization of Wastewater Treatment Technology of Municipal Wastewater Treatment Plant. *Nature Environment and Pollution Technology*. 12(2), 285-287.

Ouyang, X., Guo, F., Shan, D., Yu, H., & Wang, J. (2015). Development of the integrated fuzzy analytical hierarchy process with multidimensional scaling in selection of natural wastewater treatment alternatives. *Ecological Engineering*, 74, 438-447.

Dursun, M. (2016). A fuzzy Approach for the Assessment of Wastewater Treatment Alternatives. *Engineering Letters*, 24(2), 231-236.

Anaokar, G., Khambete, A., & Christian, R. (2018). Evaluation of a Performance Index for Municipal Wastewater Treatment Plants using MCDM–TOPSIS. *International Journal of Technology*, 9(4), 715.

Golfam, P., Ashofteh, PS., & Loáiciga, HA. (2021). Integration of Gray System Theory with AHP Decision-Making for Wastewater Reuse Decision-Making. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 25(3).

Ghadikolaei, AS., Selokaei, DD., & Parkouhi, SV. (2019). *decision theory in gray environment*, Mazandaran University.

Liu, S., & Lin, Y. (2010). Grey Models for Decision Making. In: Grey Systems. *Understanding Complex Systems*, 68.

Deng, J. (1989). Introduction to Grey System Theory. *The Journal of Grey System*, 1, 1-24.

Keshavarz, M., Zavadskas, EK., Olfat, L., & Turskis, Z. (2015). Multi-Criteria Inventory Classification Using a New Method of Evaluation Based on Distance from Average Solution (EDAS). *Informatica*, 26(3), 435–451.

Stanujkic, D., Keshavarz, M., Turskis, Z., & Zavadskas, EK. (2017). An Extension of the EDAS Method Based on the Use of Interval Grey Numbers. *Studies in Informatics and Control*, 26(1), 5-12.

Shannon, CE. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*, 27, 379–423.

Andreica, ME., Ion, D., & Andreica, MI. (2010). A New Portfolio Selection Method Based on Interval Data. *Studies in Informatics and Control*, 19(3), 253-262.

Zavadskas, EK., Kaklauskas, A., & Šarka, V. (1994). The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects. *Technological and Economic Development of Economy*, 1(3), 131-139.

Zavadskas, EK., Kaklauskas, A., Turskis, Z., & Tamosaitiene, J. (2009). Multi-Attribute Decision-Making Model by Applying Grey Numbers. *Informatica*, 20(2), 305-320.

Fataei, E., Torabian, A., Kalkhuran, MH., Alighadri, M., & Hosseinzade, SH. (2012). Choosing the optimal urban wastewater treatment process using the AHP method (case study: Ardabiya, Tabriz and Urmia cities). *Health Journal*, 4(3), 260-272. (In Persian)

Celikbilek, Y. (2018). A grey analytic hierarchy process approach to project manager selection. *Journal of Organizational Change Management*, 31(3), 749-765.

Naeb, H., Torabian, A., & Mehrdadi, N. (2014). Selection of the optimal process of filtering urban wastewater in different climates of the country by AHP hierarchical analysis method. *Environmental Journal*, 40(3). (In Persian)

Parkouhi, SV., Ghadikolaei, AS., & Lajim, HF. (2019). Resilient supplier selection and segmentation in grey environment. *Journal of Cleaner Production*, 207, 1123-1137.

Sadeghi, M., Hajiagha, SHR., & Saberi, N. (2013). Application of Grey TOPSIS in Preference Ordering of Action Plans in Balanced Scorecard and Strategy Map. *Informatica*, 24(4), 619-635.

Sahu, NK., Datta, S., & Mahapatra, SS. (2012). Establishing green supplier appraisement platform using grey concepts. *Grey Systems Theory and Application*, 2(3), 24-25.