



کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵

1177P-NWWCE

انتخاب فرایند تصفیه هوازی فاضلاب با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی

احسان پاینده^۱، مسعود نصری^۲، علی نصری^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردستان

۲- هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردستان

۳- مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردستان

ali.nasri.eng66@gmail.com

خلاصه

روش تصمیم گیری چندمعیاره، به منظور دستیابی به نتایج علمی و قابل قبول استفاده می شود. در این مطالعه سعی بر آن شده تا با استفاده از تکنیک برای بهترین فرایند تصفیه هوازی فاضلاب مورد استفاده قرار گرفت. فرایند تصفیه هوازی غالباً شامل فرایندهای لجن فعال می باشد که با توجه به فرایندهای طراحی به شاخه های مختلفی از جمله لجن فعال متعارف، سیستم های تلفیقی، لاگون های هوادهی و سیستم های لجن فعال با تکنولوژی غشایی و بار بالا دسته بندی می شوند. بر این اساس معیارهای فنی، اقتصادی، اجتماعی، مدیریتی و محیط زیستی وزن دهی می شوند و نتایج مورد ارزیابی قرار گرفت. بر این اساس سه فرایند لجن فعال تلفیقی، لجن فعال متعارف و فرایند لجن فعال با تکنولوژی غشایی به ترتیب در اولویت قرار گرفتند. در نهایت، تحلیل ها نشان دادند که معیارهای اقتصادی، زیست محیطی، فنی و مدیریتی شامل بهره برداری و تعمیرات و نگهداری به عنوان معیارهای اصلی بدست آمد.

کلمات کلیدی: فرایند تحلیل سلسله مراتبی، فرایند هوازی تصفیه فاضلاب، لجن فعال.

۱. مقدمه

این در دهه های اخیر با توجه به اهمیت قوانین و مقررات محیط زیست، ارتقاء پساب تصفیه شده و بالابردن سطح کیفی و میکروبی تصفیه خانه ها در دستور کار مسئولان فرایند و محیط زیست قرار گرفت، این موضوع لزوم ساختن تصفیه خانه های فاضلاب جدید را نشان می دهد. یکی از مهم ترین موضوعات قبل از طراحی و اجرای هر تصفیه خانه فاضلاب، انتخاب بهترین فرایند تصفیه است. به طور معمول در برخی از کشورهای در حال توسعه، ارزیابی گزینه های تصفیه تنها بر اساس معیارهای اقتصادی صورت می گیرد. در سال های گذشته، مطالعات و مدل های بهینه سازی برای یافتن بهترین گزینه تصفیه فاضلاب ارائه شده که بیشتر آن ها تنها هزینه های سرمایه گذاری و بهره برداری را مورد توجه قرار داده اند [۱]؛ اما گزینه با حداقل هزینه، ممکن است بهترین گزینه نباشد [۲]. در این مطالعه، فاکتورها در قالب معیارهای فنی، اقتصادی، زیست محیطی و مدیریتی در نظر گرفته شد. ارتباط بین این معیارها پیچیده بوده و معمولاً یک معیار بر دیگر معیارها تأثیر می گذارد؛ بنابراین ساختن مدل و یافتن بهترین راه حل با استفاده از معیارهای مستقل، آسان نیست [۳].

تصمیم گیری چندمعیاره یکی از شاخه های شناخته شده تحقیق در عملیات است که مسائل تصمیم گیری را تحت تعدادی از معیارهای تصمیم بررسی می کند. در این تصمیم گیری ها به جای یک معیار سنجش بهینگی، از چندین معیار برای سنجش استفاده می شود. تصمیم گیری چندمعیاره خود به دو دسته کلی تصمیم گیری چند هدفه و تصمیم گیری چندشاخصه تقسیم می شود [۴]. هدف از مسائل تصمیم گیری چندهدفه، بهینه کردن همزمان چندین تابع هدف، تحت مجموعه ای از قیودات است. به طور کلی مدل های تصمیم گیری چندهدفه برای مسائل طراحی و بهینه سازی به کار می روند. اما



کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵

شرکت مهندسی آب و فاضلاب کتور

تصمیم‌گیری چندشاخصه، برای انتخاب بهترین گزینه و یا گزینه‌ها، از بین گزینه‌های موجود با توجه به چندین شاخص تصمیم به کار می‌رود. این مدل‌ها به منظور انتخاب گزینه برتر مورد استفاده قرار می‌گیرند [۵].

هدف از این تحقیق بررسی گزینه‌های مختلف در مقابل معیارهای مطرح شده در خصوص انتخاب فرایند تصفیه فاضلاب هوازی تصفیه فاضلاب شهری و انتخاب گزینه‌ها و معیارهای در راستای انتخاب فرایند بهینه تصفیه فاضلاب می‌باشد.

در خصوص سابقه‌ی تحقیق در این مقاله می‌توان به مواردی در این خصوص اشاره نمود: در مطالعه‌ای که به وسیله گانگمینگ و همکاران ارائه شد، به منظور انتخاب بهترین فرایند تصفیه، از روش‌های AHP، GRA به صورت توأمان استفاده شده است. در این مطالعه، چهار گزینه تصفیه یک تصفیه‌خانه فاضلاب شهری، از نقطه نظر اقتصادی، فنی و مدیریت سرمایه و بهره‌برداری، نگره داری ارزیابی و مقایسه گردید [۶]. لی و همکاران، مدل برنامه ریزی تصادفی چند مرحله‌ای با پارامترهای بازه ای را برای مدیریت منابع آب در کانادا تحت سناریوهای متفاوت به کار گرفتند. آن‌ها در مطالعه خود علاوه بر تخصیص آب بین مصارف مختلف به بررسی مبادله بین اهداف محیط‌زیستی و اقتصادی پرداختند [۷]. در مطالعه دباغیان و همکاران انتخاب بهترین روش تصفیه فاضلاب در صنعت آبکاری با استفاده از روش AHP بررسی شده است. در این مطالعه چهار فرایند تصفیه بر اساس معیارهای منتخب، ارزیابی و بهترین فرایند تصفیه انتخاب گردید [۸]. در مطالعه کریمی و همکاران انتخاب فرایندهای تصفیه فاضلاب بی‌هوازی در خصوص تصفیه فاضلاب‌های صنعتی شهرک‌های صنعتی صورت گرفت. این بررسی که با استفاده از روش AHP انجام گرفت ۵ فرایند بی‌هوازی را برترتیب اولویت مشخص نمود [۹].

۲. مواد و روش‌ها

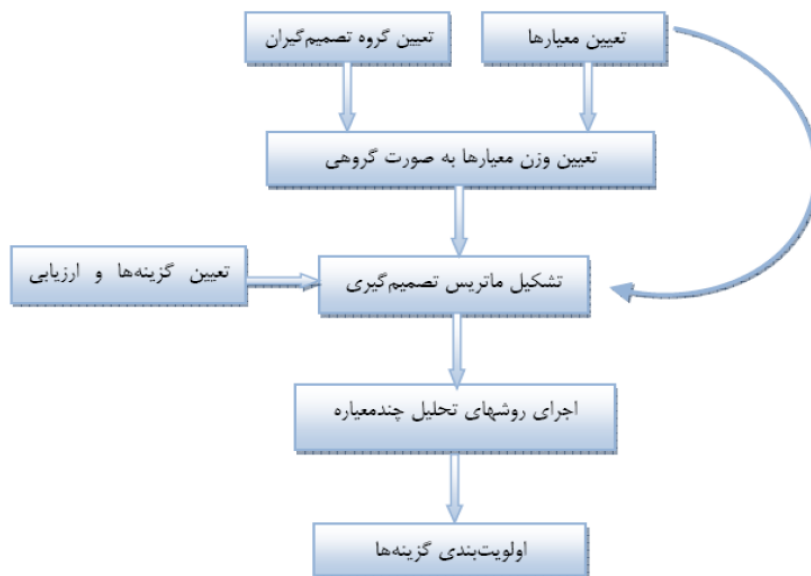
۱.۲. روش تصمیم‌گیری چندمعیاره

بسیاری از تصمیم‌ها دارای معیارهای گوناگون کمی و کیفی است که این معیارها در پاره‌ای از مواقع در تعارض با یکدیگر می‌باشند. این نوع تصمیم‌گیری‌ها را تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)^۱ می‌نامند. روش‌های مختلفی برای پشتیبانی از فرایند تصمیم‌گیری چند معیاره ارائه شده است که می‌توان آن‌ها را به دو دسته جبرانی و غیر جبرانی تفکیک کرد [۱۰]. این روش‌ها بر تعریف و ارزیابی ترجیحات تصمیم‌گیرنده از تعامل میان وی و نتایج بدست آمده از طریق مسیرهای مختلف، دلالت دارد. تعامل به این صورت است که مدل به مجموعه‌ای از ترجیحات یا روابط مبادله‌ای تصمیم‌گیرنده پاسخ می‌دهد. سپس این مجموعه از جواب‌ها ارزشیابی شده و مجموعه دیگری از جواب‌ها ارائه می‌گردد. بنابراین، روش در مسیر تعامل و تکرار پیش می‌رود تا زمانی که تصمیم‌گیرنده جوابی که رضایتش را جلب کند، پیدا کند. مسیرهای تعاملی برای مسائل تصمیم‌گیری که شامل گزینه‌های چندگانه می‌باشند، مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۱].

یکی از کاربردی‌ترین فنون تصمیم‌گیری چندمعیاره، فرایند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP)^۲ است که در سال ۱۹۷۰ میلادی توسط ساعتی ارائه گردید. این فن برای ارزیابی تصمیم‌گیری‌های چند معیاره پیچیده فردی و گروهی و انتخاب یک گزینه از بین چند گزینه و یا رتبه بندی آن‌ها بر اساس چند معیار و یا مجموعه‌ای از معیارها به کار می‌رود [۱۲]. در شکل شماره (۱) فرایند تحلیل چندمعیاره برای بررسی ارائه شده است.

1 Multi Criteria Decision Making

2 Analytical Hierarchy Process



شکل ۱- فرایند تصمیم گیری برای اولویت بندی گزینه ها در این مطالعه

۲.۲. فرایندهای تصفیه فاضلاب مورد بررسی

لجن فعال متعارف: این فرایند را در سال ۱۹۱۴ در انگلستان آردن و لاکات^۱ ابداع کردند و چون در این فرایند توده‌ای فعال از میکروارگانیسم‌ها تولید می‌شود، آن‌را فرایند لجن فعال می‌نامند [۱۳]. در این فرایند مواد آلی درون یک راکتور وارد می‌شوند، محیط هوازی در راکتور از طریق استفاده از هوادهی دیفیوژری یا مکانیکی ایجاد می‌شود و از طرفی این عمل مایع مخلوط را به صورت سوسپانسیون نگه می‌دارد. پس از یک دوره زمانی معین، مخلوط سلول‌های جدید و قدیمی وارد یک تانک ته‌نشینی می‌شوند. بخشی از سلول‌های ته‌نشینی شده به منظور حفظ غلظت مطلوب سلولی به راکتور برگشت داده می‌شوند و بخشی از آن دفع می‌گردد. غلظت توده سلولی که بایستی همواره در راکتور حفظ شود، بستگی به میزان راندمان مورد نیاز تصفیه و سایر ملاحظات دارد [۱۴].

لجن فعال تلفیقی MBBR: در فرایند لجن فعال تلفیقی (MBBR^۲) جریان فاضلاب ورودی شامل مخلوطی از فاضلاب خام و جریان برگشتی می‌باشد که از کف راکتور و از طریق یک سیستم زهکش وارد می‌گردد. ورود جریان از کف راکتور سبب شناور شدن و حرکت مدیا می‌گردد. مدیای مورد استفاده در این فرایند متنوع است و در بازارهای موجود انواع و اقسام مختلفی از مدیای شناور توسط کارخانه‌های داخلی و خارجی عرضه شده است. مدیای مورد استفاده ممکن است از گرانول‌های کربن فعال، سیلیس و پلیمری تشکیل شده باشند. مدیای شناور با قطر کوچک سطح ویژه بزرگی را برای رشد بیوفیلم ایجاد می‌کند. چنانچه قطر مدیا افزایش یابد چگالی آن‌ها کاهش می‌یابد (در صورتیکه بیوفیلم بر روی مدیا رشد کند) و در نتیجه سرعت ته‌نشینی آن‌ها کاهش می‌یابد. کاهش وزن مخصوص سبب تحرک بیشتر مدیا و در نتیجه برخورد بیشتر با مدیای دیگر می‌گردد. این عمل سبب جدا شدن و کنده شدن بیوفیلم از روی مدیا می‌گردد. بنابراین جرم بیومس در راکتورهای زیستی با حذف منظم بیوفیلم از روی مدیا کنترل می‌گردد [۱۵].

فرایند لجن فعال MBR: فرایند تصفیه فاضلاب MBR^۳ یک فرایند لجن فعال رشد معلق است که با یک سیستم ممبران (معمولاً از نوع ممبران های رشته ای تو خالی^۴ یا نوع لوله ای^۵ ادغام شده است. در این فرایند، سیستم ممبرانی نقش واحد ته‌نشینی (زالل سازی) در جداسازی

1 Arden and lacat
2 Moving Bed Biofilm Reactor
3 Membrane Bioreactor
4 Hollow Fiber
5 Tubular

جامدات معلق در سیستم لجن متعارف را برعهده دارد. در فرآیند تصفیه فاضلاب MBR معمولاً ممبران‌ها بصورت مستغرق در واحد هوادهی قرار داشته و صورت مستقیم با فاضلاب و مایع مخلوط^۱ در تماس می باشند. در این فرآیند با استفاده از پمپ مکش با صرف انرژی کمی، خلا بوجود می آید که استخراج پساب تصفیه شده از درون ممبران‌ها به بیرون را به دنبال دارد. علاوه بر این در این فرآیند تصفیه فاضلاب، مقداری هوا نیز از کف واحد هوادهی به این واحد وارد می شود تا سطح خارجی رشته های ممبرانی را تمیز نموده و جامدات پذیرش نشده توسط ممبران‌ها را از سطح ممبران‌ها کنارزده و جایجا نماید. لجن مازاد در این فرآیند نیز معمولاً بصورت مستقیم از واحد هوادهی به خارج پمپ می شود [۱۶].

۳. نتایج و بحث

استفاده از جداول مقایسات زوجی برای بررسی ارجحیت برای معیارها و گزینه‌ها ابزار کاربردی روش مذکور می باشد. جداول مذکور طیف مقایسه‌ای ۱ تا ۹ را استفاده می کند. این مقیاس مقایسه، تصمیم گیرنده را قادر می سازد تا دانش و تجربه را به طور شهودی (حسی) متحد ساخته و تعیین کند که یک عنصر تا چند برابر بر عنصر دیگر با لحاظ معیار غالب است. این مقیاس، از نوع اعداد صحیح است. با توجه به هدف مطالعه و بررسی های تخصصی در خصوص فرایندهای مختلف تصفیه فاضلاب، گزینه ها و معیارهای زیر در نظر گرفته شدند. فرایند لجن فعال متعارف، فرایند لجن فعال تلفیقی (MBBR)، فرایند لجن فعال (MBR)، معیارهای انتخاب شده عبارت است از: تعمیر و نگهداری، بار آلودگی، سازگاری با اقلیم خشک، هزینه تمام شده، بهره برداری، عوامل زیست محیطی. در ادامه نتایج حاصل از محاسبه وزنی گزینه ها نسبت به معیارها از نظر کارشناسی و مدل AHP بیان می گردد (جدول ۱).

جدول ۱- تخصیص وزن معیارها در مقابل گزینه ها

گزینه‌ها	وزن بار آلودگی	وزن تعمیر و نگهداری	وزن سازگاری با اقلیم خشک
فرایند لجن فعال متعارف	۰/۱۴۴۵۰	۰/۴۴۲۲۵	۰/۳۴۰۸۲
فرایند لجن فعال تلفیقی (MBBR)	۰/۳۰۷۰۹	۰/۳۸۲۶۶	۰/۳۱۷
فرایند لجن فعال (MBR)	۰/۵۴۸۴۱	۰/۱۷۵۰۹	۰/۳۴۲۱۸
گزینه‌ها	وزن اثرات زیست محیطی	وزن بهره برداری	وزن هزینه تمام شده
فرایند لجن فعال متعارف	۰/۱۶۳۴۹	۰/۴۱۳۲۰	۰/۲۳۹۷۴
فرایند لجن فعال تلفیقی (MBBR)	۰/۳۲۷۳۳	۰/۳۷۵۵۱	۰/۲۶۸۸۶
فرایند لجن فعال (MBR)	۰/۵۰۹۱۸	۰/۲۱۱۲۹	۰/۴۹۱۳۹

در خصوص وزن دهی گزینه ها برای معیار های مختلف مورد مطالعه در ادامه نتایج حاصل از محاسبه درصد وزنی معیارها نسبت به همدیگر از نظر کارشناسی و مدل AHP بیان می گردد، این نتیجه اهمیت معیارها را نسبت به هم نشان می دهند (جدول ۲).

جدول ۲- اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر

وزن	معیارها	وزن	معیارها
۰/۱۳۲۸۷	تعمیر و نگهداری	۰/۳۰۲۹۶	هزینه تمام شده
۰/۱۳۲۲۶	بار آلودگی	۰/۲۲۳۷۳	زیست محیطی
۰/۰۶۷۵۹	سازگاری با اقلیم خشک	۰/۱۴۰۵۹	بهره برداری

در انتهای این بخش از مقاله محاسبه وزن نهایی و اولویت هر یک از گزینه ها بیان می گردد. جدول شماره ۳ بیانگر اهمیت و اولویت گزینه‌های مختلف نسبت به یکدیگر است.



جدول ۳- اولویت گزینه های مختلف حاصل از مدل AHP

گزینه‌ها	وزن نهایی	اولویت
فرایند لجن فعال تلفیقی (MBBR)	۰/۴۲۴۸۱۲	۱
فرایند لجن فعال متعارف	۰/۴۰۷۰۷۰	۲
فرایند لجن فعال (MBR)	۰/۱۶۸۱۱۸	۳

۴. جمع بندی و پیشنهادات

در این مقاله به منظور مطالعه، فرایند تصفیه فاضلاب شهری ابتدا اهمیت مدیریت چند منظوره در این خصوص مطرح گردید و با جمع آوری اطلاعات از طریق مصاحبه از کارشناسان این علم با استفاده از تکنیک چند منظوره (AHP) و با توجه به معیارهای مذکور، گزینه های مختلف و اهمیت معیارهای مطرح شده نسبت به یکدیگر مقایسه گردید. همانطور که مشاهده می شود در این بررسی معیار هزینه تمام شده، عوامل زیست محیطی و بهره برداری در اولویت معیارها و فرایند لجن فعال تلفیقی به عنوان گزینه برتر انتخاب شد. شایان ذکر است که این بررسی با یک سری معیار انجام شد و می توان تعداد معیارها را تغییر داد و این بررسی را بصورت وسیع تری انجام داد.

۵. مراجع

- USEPA. (2002). *Development document for the proposed effluent limitation guidelines and standards*, EPA, Office of Water, EPA, 821-B-01-007.
- Tsagarakis, K. P., Mara, D. D., and Angelakis, A. N. (2003). Application of cost criteria for selection of municipal wastewater treatment systems. *Water Air Soil Pollut.*, 142 (1-4), 187- 210.
- Peniwati, K. (2007). *Criteria for evaluating group decision making methods*. *Math. Comput. Model*, 46(7-8) 935-947.
۴. میان آبادی، ح. و ع. افشار، (۱۳۸۷)، تصمیم گیری چندشاخصه در رتبه بندی طرح های تامین آب شهری، *مجله آب و فاضلاب*، ۶۶: ۴۵-۳۴.
۵. اصغر پور، م. ج.، (۱۳۸۱)، تصمیم گیری چندمعیاره، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران.
- Guangming, Z., Ru, J., Guohe, H., Min, X., and Jianbing, L., (2007). Optimization of wastewater treatment alternative selection by hierarchy grey relational analysis. *J. of Environmental Management*, 82, 250-259.
- Li, Y.P., G.H. Huang and S.L. Nie., (2006). An interval-parameter multi-stage stochastic programming model for water resources management under uncertainty. *Advances in Water Resources*. 29:776-789. 6.
- Dabaghian, M. R., Hashemi, S. H., Ebadi, T., and Maknoon, R. (2008). The best available technology for small electroplating plants applying analytical hierarchy process. *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 5 (4), 479-484.
۹. کریمی، ع.، مهرداد، ن.، هاشمیان، س. ج.، نبی بیدهندی، غ.، توکلی مقدم، ر.، (۱۳۸۹)، انتخاب فرایند بهینه تصفیه فاضلاب با استفاده از روش AHP، *مجله آب و فاضلاب*، شماره ۴.
۱۰. مومنی، م. و م. اسماعیلیان.، (۱۳۸۵)، کاربرد شبیه سازی در عدم اطمینان فرایند تصمیم گیری چندمعیاره (MCDM). *فصلنامه مدرس علوم*



کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



انسانی، ۴(۱۰). ۲۳۱-۲۵۱.

۱۱. الوانچی، م. و م. صبوچی، (۱۳۸۸)، کاربرد تصمیم‌گیری چندمعیاره تعاملی در برنامه ریزی زراعی مطالعه موردی: استان فارس، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، (۴۷) ۱۳. ۸۰۱-۷۸۷.

12. Romero, C. and T. Rehman., (2003). *Multiple criteria analysis for agricultural decisions*, second edition, Amsterdam: Elsevier Science B.V.

13. Metcalf & Eddy, Tchobanoglous. G, Burton. F, Stensel. H.D., (2003). *Wastewater Engineering* , McGraw Hill Higher Education.

۱۴. سبزعلی، ا.، خدادادی، ا.، غلامی، م.، (۱۳۸۴)، میکروبیولوژی فرایندهای تصفیه فاضلاب، تهران، انتشارات پیام خجسته.

۱۵. محمدی بقایی، د.، (۱۳۶۵)، بررسی کارایی لجن فعال با محیط ثابت جهت حذف فسفر از فاضلاب خانگی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد بهداشت محیط، دانشگاه تربیت مدرس.

16. Rittmann, B.E., McCarty, P.L., (2001). *Environmental biotechnology: Principles and application*, First Edition, McGraw-Hill, New York.