

## انتخاب فرآیند بهینه تصفیه فاضلاب شهری با استفاده از روش AHP (مطالعه موردی: شهرهای اردبیل، تبریز و ارومیه)

ابراهیم فتایی<sup>۱</sup>، علی ترابیان<sup>۲</sup>، مهناز حسین زاده کلخوران<sup>۳\*</sup>، مرتضی عالیقدری<sup>۴</sup>، شهناز حسین زاده<sup>۵</sup>

۱. استادیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل، ایران ۲. دانشیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، ایران ۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران ۴. استادیار گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اردبیل، ایران ۵. کارشناس ارشد ایمنولوژی پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اردبیل، ایران  
\*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۴۳۵۷۲۴۳۳ فکس: ۰۴۵۱۵۵۱۳۴۲۴ ایمیل: mahnaz931@yahoo.com

### چکیده

**زمینه و هدف:** یکی از مهم‌ترین موضوعات قبل از طراحی و احداث هر تصفیه‌خانه فاضلاب، انتخاب فرآیند تصفیه مناسب است. لذا با توجه به اهمیت کلیدی موضوع، این مطالعه با هدف ارزیابی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در حال بهره‌برداری شهرهای اردبیل، تبریز و ارومیه، و جهت اولویت بندی و انتخاب مناسب‌ترین فرآیند تصفیه انجام شد.

**روش کار:** این مطالعه یک مطالعه تحلیلی-توصیفی می‌باشد که در سال ۱۳۹۱ به مدت یک سال در ۳ تصفیه‌خانه فاضلاب اردبیل، تبریز و ارومیه انجام گرفت. ابزار جمع‌آوری داده‌ها پرسشنامه محقق ساخته بود. تعداد نمونه‌ها ۳۰ نفر بود که به روش سرشماری انتخاب گردیدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار Expert Choice صورت گرفت.

**یافته‌ها:** در این مطالعه، بیولاک با وزن ۰/۴۲۱ به عنوان گزینه مناسب مشخص شد و فرآیندهای لجن فعال و لاگون هوادگی به ترتیب با وزن‌های ۰/۳۵۶ و ۰/۲۲۳ در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند. در بین معیارها نیز معیار فنی با وزن ۰/۴۰۷ به عنوان مؤثرترین معیار در انتخاب فرآیند تصفیه تعیین شد و معیارهای زیست محیطی و اقتصادی به ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند.

**نتیجه گیری:** با توجه به اهمیت انتخاب فرآیند تصفیه فاضلاب شهری در هدایت صحیح سرمایه‌های مالی و نیز دستیابی به نتیجه مطلوب، لازم است که قبل از انتخاب فرآیند مناسب تصفیه، ارزیابی فرآیندها با ضوابط مهندسی و اقتصادی صورت گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** تحلیل سلسله مراتبی، تصفیه فاضلاب، انتخاب فرآیند بهینه

پذیرش: ۹۲/۳/۲۲

دریافت: ۹۱/۹/۱۵

### مقدمه

به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه شده است (۱)، (۲). یک مسئله مهم قبل از طراحی و اجرای هر تصفیه‌خانه فاضلاب، انتخاب بهترین فرآیند تصفیه است، به طوری که انتخاب اشتباه می‌تواند باعث افزایش هزینه‌ها و همچنین عدم دستیابی به نتیجه مورد نظر گردد (۳). انتخاب فرآیند بهینه تصفیه

در سال‌های اخیر، آگاهی عمومی در مورد مشکلات آلودگی آب افزایش یافته است، که این امر باعث تصویب قوانین سخت‌گیرانه محیط زیست در خصوص تخلیه پساب شده است. این موضوع باعث افزایش سرعت احداث تصفیه‌خانه‌های فاضلاب

و ۴- آنالیز حساسیت و انتخاب گزینه نهایی، می‌باشد. در مرحله شناسایی و ارزیابی، شناسایی تصمیم‌گیران، انتخاب معیارها و مشخص کردن گزینه‌ها انجام شده و ارزیابی گزینه‌ها در مقابل معیارها و زیرمعیارها توسط شرکت‌کنندگان صورت می‌گیرد. یکی از مهم‌ترین و مشکل‌ترین مراحل تصمیم‌گیری چند معیاره، مرحله وزن‌دهی شاخص‌ها است. روش‌های مختلفی برای برآورد وزن نسبی شاخص‌ها وجود دارد. برای انتخاب بهترین گزینه از بین یک مجموعه گزینه، روش‌های متعددی وجود دارد که در این مطالعه فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مورد استفاده قرار گرفت (۸). به دلیل وجود عدم قطعیت در مراحل مختلف تصمیم‌گیری چند معیاره، لازم است که قبل از انتخاب گزینه نهایی، آنالیز حساسیت بر روی مسئله مورد نظر صورت گیرد (۹).

روش تحلیل سلسله مراتبی، روش مفیدی برای کار با اهداف و معیارهای چندگانه در تصمیم‌گیری است (۱۰). هدف از این روش، شناسایی گزینه برتر و همچنین تعیین رتبه گزینه‌ها با لحاظ نمودن هم‌زمان کلیه معیارهای تصمیم‌گیری می‌باشد (۷). این روش قادر است که اهداف زیست محیطی و اجتماعی-فرهنگی را به میزان اهداف اقتصادی و فنی در انتخاب گزینه بهینه تصفیه فاضلاب در نظر بگیرد (۱). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است، زیرا این تکنیک امکان فرموله کردن مسئله به صورت سلسله مراتبی را فراهم می‌کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی در مسئله را دارا است. این فرآیند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیر معیارها را دارد. علاوه بر این، بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده، که قضاوت و محاسبات را تسهیل نموده و میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای

فاضلاب شهری مساله‌ای مهم و چند بعدی است که به دلیل خسارات ناشی از گسیختگی طرح و نیز اتلاف هزینه‌های آن، جدا از برآورده کردن استانداردها و الزامات زیست محیطی، نیازمند طی یک فرآیند سیستماتیک و کاملاً علمی در انتخاب فرآیند بهینه تصفیه می‌باشد، تا در نهایت کمترین اثرات زیست محیطی را به همراه قابلیت اجرا از لحاظ فنی و اقتصادی داشته باشد (۴). با توجه به اینکه اثرات زیست محیطی و مسائل فنی و اقتصادی با معیارها و ابعاد متفاوتی سنجیده می‌شوند، بنابراین مقایسه این معیارها به همان صورت اولیه غیر ممکن می‌باشد. در نتیجه مدل مناسب برای تصمیم‌گیری، مدلی است که بتواند معیارهای مختلف را وزن‌دهی کرده و سپس آنها را هم بعد نماید، تا از این طریق قابلیت مقایسه آنها فراهم گردد. مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره چنین قابلیت را داشته و در این خصوص مفید خواهند بود. این مدل‌ها در مسایل چند بعدی کاربرد داشته و با کمی کردن معیارهای کیفی، امکان مقایسه فرآیندهای مختلف تصفیه فاضلاب را فراهم می‌کنند (۳). تصمیم‌گیری چند معیاره با فراهم نمودن یک روش تحلیل سیستماتیک، مسائل فنی موجود را با اطلاعات اقتصادی ترکیب نموده و گزینه‌ها را رتبه‌بندی می‌نماید (۵).

تصمیم‌گیری چند معیاره، برای انتخاب بهترین گزینه از بین گزینه‌های موجود با توجه به چندین شاخص تصمیم به کار می‌رود (۶). فرآیند تصمیم‌گیری چند معیاره، اهداف، معیارها، گزینه‌ها، تبدیل مقیاس معیارها به واحدهای متناسب، تعیین وزن معیارها برای تعیین اهمیت نسبی آنها، انتخاب و کاربرد الگوریتم ریاضی برای رتبه‌بندی گزینه‌ها و انتخاب گزینه برتر را تعریف می‌کند (۷). فرآیند تصمیم‌گیری چند معیاره شامل چهار مرحله اساسی است: ۱- شناسایی و ارزیابی، ۲- وزن دهی، ۳- انتخاب گزینه برتر با استفاده از یک روش MADM<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> Multi Attribute Decision Making

روش‌های AHP و GRA به صورت توأمان استفاده کردند. در این مطالعه، چهار گزینه تصفیه فاضلاب شامل  $A^2/O$ ، نهر اکسیداسیون سه مرحله‌ای، نهر اکسیداسیون بی‌هوازی منفرد و SBR از نقطه نظر اقتصادی، فنی و معیارهای مدیریتی ارزیابی و مقایسه گردیده و نهر اکسیداسیون بی‌هوازی منفرد به عنوان بهترین گزینه تصفیه که دارای بیشترین مزایا بود انتخاب گردید (۱). کریمی و همکاران با استفاده از روش‌های AHP و TOPSIS فازی، فرآیندهای تصفیه بی‌هوازی موجود در شهرک‌های صنعتی ایران را مورد بررسی قرار داد. در این مطالعه پنج فرآیند تصفیه بی‌هوازی شامل UASB، UAFB، UABR، تماس بی‌هوازی، لاگون بی‌هوازی بر اساس معیارهای فنی، اقتصادی، زیست محیطی و مدیریتی و زیر معیارهای مربوط ارزیابی شده و فرآیند UAFB به عنوان بهترین فرآیند تصفیه انتخاب شد (۱۴). دباغیان و همکاران جهت انتخاب بهترین روش تصفیه فاضلاب در صنایع آبکاری از روش AHP بهره جست. در این مطالعه چهار فرآیند تصفیه شامل ترسیب شیمیایی، تعویض یونی، RO و نانو فیلتراسیون، بر اساس معیارهای فنی و کاربردی، اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی با یکدیگر مقایسه شده و فرآیند RO به عنوان مناسب‌ترین گزینه برای تصفیه فاضلاب صنایع آبکاری انتخاب شد (۱۵). احمدی و همکاران در سال ۱۳۸۳ مقایسه‌ای میان تکنولوژی‌های موجود برای تصفیه فاضلاب صنایع غذایی به وسیله روش APH انجام داد. در این تحقیق ابتدا گزینه‌های مختلف شناسایی و سپس از لحاظ اقتصادی با یکدیگر مقایسه شدند (۱۶).

در مطالعه حاضر، برای لحاظ نمودن کلیه عوامل موثر در انتخاب فرآیند تصفیه فاضلاب شهری، فاکتورها در قالب معیارهای فنی، اقتصادی و زیست محیطی در نظر گرفته شد. ارتباط بین این معیارها پیچیده بوده و معمولاً یک معیار بر دیگر معیارها تأثیر می‌گذارد. بنابراین باید از مدلی استفاده گردد که

ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چند معیاره است (۱۱). روش AHP شش گام زیر را شامل می‌گردد (۱):

۱- تعریف مسئله و بیان شفاف اهداف و نتایج مورد انتظار،

۲- تبدیل مسئله پیچیده به عناصر تصمیم‌گیری (بیان جزئیات معیارها و گزینه‌ها)،

۳- بکارگیری مقایسات زوجی بین عناصر تصمیم‌گیری به منظور ایجاد ماتریس‌های مقایسه،

۴- استفاده از روش بردار ویژه برای برآورد وزن‌های نسبی عناصر تصمیم‌گیری،

۵- محاسبه نرخ ناسازگاری ماتریس‌ها برای اطمینان از سازگاری قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان،

۶- جمع‌آوری عناصر تصمیم‌گیری وزن‌دهی شده، برای به‌دست آوردن رتبه بندی نهایی گزینه‌ها.

در طول سال‌های گذشته برای انتخاب بهترین گزینه تصفیه فاضلاب، مدل‌های بهینه سازی متعددی ارائه شده است، اما تعداد محدودی از آنها هدفی غیر از کاهش هزینه‌های سیستم را مد نظر قرار داده‌اند (۱). در یکی از این مطالعات که توسط کالبار و همکاران انجام شد، جهت انتخاب بهترین فرآیند تصفیه فاضلاب شهری در هند از روش TOPSIS استفاده شد. در این مطالعه چهار فرآیند تصفیه شامل لجن فعال، UASB، RBC و وت لند بر اساس معیارهای فنی، اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی ارزیابی شدند و لجن فعال به عنوان بهترین فرآیند انتخاب شد (۱۲). پوفالی و همکاران تلفیقی از روش‌های AHP و GRA را به منظور دستیابی به گزینه بهینه تصفیه فاضلاب صنعت دباغی مورد استفاده قرار دادند. در این مطالعه اطلاعات مربوط به هفت صنعت دباغی و فرآیندهای تصفیه آنها بر اساس عملکرد فنی، سود اقتصادی و معیارهای مدیریتی ارزیابی و مقایسه گردیده و بهترین فرآیند تصفیه انتخاب شده است (۱۳). گانگمینگ و همکاران جهت انتخاب بهترین فرآیند تصفیه فاضلاب شهری، از

قادر باشد ارتباط بین ملاحظات فنی و اقتصادی و اثرات زیست محیطی فرآیندها را به صورت یکجا مورد توجه قرار داده و با لحاظ نمودن هم‌زمان این معیارها، گزینه مناسب را انتخاب نماید. با توجه به کاربرد مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در مسایل چند بعدی، مدل AHP به منظور اولویت‌بندی فرآیندها و انتخاب بهترین فرآیند تصفیه فاضلاب در شهرهای اردبیل، تبریز و ارومیه مورد استفاده قرار گرفت.

### روش کار

این مطالعه از نوع تحلیلی-توصیفی بود که در سال ۱۳۹۱ به مدت یک سال برای ارزیابی فنی، اقتصادی و زیست محیطی فرآیندهای تصفیه فاضلاب شهرهای اردبیل، تبریز و ارومیه جهت معرفی مناسب‌ترین فرآیند انجام گرفت. جامعه آماری این مطالعه شامل واحدهای فنی و واحدهای بهره‌برداری شرکت‌های آب و فاضلاب اردبیل و مدیران و بهره‌برداران تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه بود. روش نمونه‌گیری، به صورت سرشماری انجام گرفت که در کل شامل ۳۰ نفر بود. در واقع بر اساس تحقیقات میدانی که توسط پرسشنامه انجام گرفت، در مجموع ۳۰ پرسشنامه توسط مدیران، بهره‌برداران و مسئولین فنی این تصفیه‌خانه‌ها تکمیل شد که از این میان ۲۶ پرسشنامه مورد بررسی قرار گرفت و ۴ پرسشنامه به علت داشتن برخی نواقص حذف گردید. ابزار جمع‌آوری داده‌ها شامل پرسشنامه محقق ساخته بود که با مطالعه مراجع و مصاحبه با متخصصین به دست آمد. پرسشنامه اول شامل ۴ ماتریس مقایسه زوجی بود، در ماتریس اول که یک ماتریس  $3 \times 3$  بود، میزان اهمیت ۳ معیار (فنی، اقتصادی و زیست محیطی) نسبت به هدف (انتخاب فرآیند بهینه تصفیه فاضلاب) ارزیابی می‌شد و در ماتریس دوم که یک ماتریس  $10 \times 10$  بود، میزان اهمیت زیرمعیارهای مربوط به معیار فنی نسبت به این معیار سنجیده می‌شد. در

ماتریس سوم که یک ماتریس  $5 \times 5$  بود، میزان اهمیت زیرمعیارهای مربوط به معیار اقتصادی نسبت به این معیار محاسبه می‌شد و در ماتریس چهارم که یک ماتریس  $4 \times 4$  بود، میزان اهمیت زیرمعیارهای مربوط به معیار زیست محیطی نسبت به این معیار سنجیده می‌شد. پرسشنامه دوم شامل ۲۲ ماتریس مقایسه زوجی بود. در ماتریس‌های اول، دوم و سوم میزان اهمیت گزینه‌ها نسبت به ۳ معیار ارزیابی می‌شد، و در ماتریس‌های ۴ تا ۱۳ میزان اهمیت گزینه‌ها نسبت به زیرمعیارهای مربوط به معیار فنی بررسی می‌شد. در ماتریس‌های ۱۵ تا ۱۸ میزان اهمیت گزینه‌ها نسبت به زیرمعیارهای مربوط به معیار اقتصادی ارزیابی شده و در ماتریس‌های ۱۹ تا ۲۲ میزان اهمیت گزینه‌ها نسبت به زیرمعیارهای مربوط به معیار زیست محیطی مورد ارزیابی قرار می‌گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice صورت گرفت.

### نمونه‌گیری

در این مطالعه، به منظور شناسایی فرآیندهای تصفیه فاضلاب در شهرهای اردبیل، تبریز و ارومیه، و بررسی وضعیت عملکرد آنها، ضمن بازدید میدانی و بررسی کارایی سیستم‌ها، از پرسشنامه و بررسی نتایج تحلیل‌ها استفاده شد. پس از انتخاب گزینه‌ها (فرآیندهای تصفیه در شهرهای مورد مطالعه) و گردآوری اطلاعات مربوط به آنها، معیارها و زیرمعیارهای موثر در انتخاب فرآیند از طریق مطالعه مراجع و مقالات مرتبط و مصاحبه با تعدادی از اساتید و متخصصان تعیین شد. در مرحله بعد این معیارها در قالب دو پرسشنامه که پرسشنامه اول به منظور وزن‌دهی معیارها و زیرمعیارهای مربوطه، و پرسشنامه دوم به منظور وزن‌دهی گزینه‌ها طراحی شده بود، توسط گروه خبرگان شامل کارشناسان، مشاوران و واحدهای بهره‌بردار تصفیه‌خانه‌های فاضلاب تکمیل گردید. در این مطالعه سه فرآیند تصفیه فاضلاب شهری که در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب

شهرهای اردبیل، تبریز و ارومیه در حال بهره‌برداری هستند، به عنوان گزینه‌های مسئله تصمیم‌گیری انتخاب شدند که عبارت بودند از: لاگون هوادهی، لجن فعال و بیولاک.

### معیارهای تصمیم‌گیری

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 زیست محیطی. همچنین به علت وسیع بودن ابعاد هر یک از معیارهای تعریف شده، به منظور دستیابی به نتایج بهتر برای هر یک از معیارها، زیرمعیارهایی تعریف شد. زیرمعیارهایی که در ارزیابی فنی فرآیندهای مورد مطالعه مورد توجه قرار گرفتند عبارتند از: کارایی فرآیند، مقاومت به شوک‌های هیدرولیکی، سازگاری و انعطاف‌پذیری در برابر شوک‌های آلی، عدم نیاز به تجهیزات الکترومکانیکی پیچیده، سادگی راهبری، سابقه و تجربه کاربرد فرآیند، قابلیت کاربرد فرآیند، قابلیت ارتقاء کمی و کیفی فرآیند، قابلیت اعتماد فرآیند و عدم وابستگی به تکنولوژی کشور

سازنده. در ارزیابی اقتصادی فرآیندهای مورد مطالعه زیرمعیارهای زیر مورد استفاده قرار گرفت: هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری، انرژی مصرفی، زمین موردنیاز، هزینه دفع لجن. در ارزیابی زیست محیطی فرآیندهای منتخب زیرمعیارهای زیر مورد توجه قرار گرفت: شرایط اقلیمی و محیطی منطقه، ایجاد بو، تامین ضوابط و استانداردهای زیست محیطی مربوط به تخلیه پساب، زیبایی منظر.

### نحوه امتیازدهی به پارامترها

در این مطالعه از دو پرسشنامه استفاده شد. پرسشنامه اول شامل ۴ ماتریس مقایسه زوجی بود. در ماتریس اول میزان اهمیت معیارها نسبت به هدف ارزیابی شده و در ماتریس دوم و سوم و چهارم میزان اهمیت زیرمعیارهای مربوط به هر یک از معیارها نسبت به معیار مربوطه سنجیده می‌شد. پرسشنامه دوم شامل ۲۲ ماتریس مقایسه زوجی بود. در این ماتریس‌ها میزان اهمیت گزینه‌ها نسبت به معیارها و زیرمعیارها مورد ارزیابی قرار گرفت. نحوه امتیازدهی به پارامترها در ماتریس‌های مقایسه زوجی به این صورت بود که در این ماتریس‌ها پارامترها به صورت دو به دو با یکدیگر مقایسه شده و طبق جدول ۱ امتیازدهی می‌شدند.

جدول ۱. مقیاس ترجیحات بین دو عنصر برای مقایسه‌های زوجی (۱)

وزن‌های ترجیحی / سطح اهمیت	تعریف	توضیحات
۱	ترجیح برابر	دو فعالیت مشارکت یکسانی نسبت به هدف دارند.
۳	ترجیح متوسط	تجربیات و قضاوت به‌طور ملایم یک فعالیت را به دیگر فعالیت‌ها ترجیح می‌دهد.
۵	ترجیح قوی	تجربیات و قضاوت به‌طور قوی یا ویژه، یک فعالیت را به دیگر فعالیت‌ها ترجیح می‌دهد.
۷	ترجیح خیلی قوی	یک فعالیت به‌طور خیلی قوی نسبت به دیگر فعالیت‌ها ترجیح داده می‌شود.
۹	ترجیح بی‌نهایت	ترجیح یک فعالیت نسبت به دیگر فعالیت‌ها در حداکثر درجه ممکن است.
۱/۶ و ۲/۵	مقادیر بینابینی	برای بیان ترجیحات بین مقادیر بالا است.
معکوس		معکوس هر یک برای بیان مقایسات معکوس استفاده می‌شود.

در ماتریس مقایسه زوجی (جدول ۲) اگر در مقایسه دو معیار  $i$  و  $j$  اهمیت معیار موجود در سطر  $(i)$  بیشتر از اهمیت معیار موجود در ستون  $(j)$  باشد،

میزان اهمیت با یک عدد صحیح و اگر اهمیت شاخص‌های موجود در ستون  $(j)$  بیشتر از شاخص‌های واقع در سطر  $(i)$  باشد، میزان اهمیت با عدد کسری

اعداد هر یک از مقایسات به یکی از دو صورت زیر تعیین می‌شود:  
اول: به صورت اعداد ۱ تا ۹ (اعداد صحیح)،  
دوم: به صورت معکوس اعداد مذکور (اعداد کسری).

نشان داده می‌شود (مقایسه هر معیار با خودش عدد ۱ یا اهمیت یکسان را می‌پذیرد). لازم به توضیح است که ماتریس مقایسه‌ای در AHP یک ماتریس معکوس است. یعنی اگر ترجیح معیار یک به دو، ۵ باشد، پس ترجیح معیار دو به یک، ۱/۵ است، و به عبارت دیگر

جدول ۲. ماتریس مقایسه زوجی

	$j_3$	$j_2$	$j_1$
$i_1$			۱
$i_2$		۱	
$i_3$	۱		

پس از تکمیل پرسشنامه‌ها توسط گروه خبرگان، وزن معیارها مشخص شد. در مرحله بعد سلسله مراتب مقایسه‌ها ساخته شده و این نتایج مورد استفاده قرار گرفت.

**تحلیل و مقایسه نتایج به روش تحلیل سلسله مراتبی**

پس از نمونه‌گیری و گردآوری اطلاعات از طریق پرسشنامه، نوبت به مقایسه و ارزیابی فرآیندهای تصفیه از طریق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی رسید. در این روش ابتدا سلسله مراتب مقایسه‌ها ساخته شد که در بالاترین بخش، هدف تصمیم‌گیری قرار داشت، که در این مطالعه انتخاب بهترین فرآیند تصفیه بود. بعد از آن معیارها و زیرمعیارها قرار گرفتند. در پایین‌ترین بخش گزینه‌ها قرار داشتند. ماتریس‌های تکمیل شده برای معیارهای اصلی و زیرمعیارها با استفاده از نرم افزار Expert Choice محاسبه شده و وزن مربوط به هر یک از معیارها و زیرمعیارها مشخص گردید. گزینه‌های مورد مطالعه به روش دو به دو با هم مقایسه شدند. در این مرحله گزینه‌ها با توجه به اطلاعات موجود در رابطه با قابلیت هر یک از آنها، به روش دو به دو با یکدیگر مقایسه می‌شدند. سپس ماتریس حاصل از مقایسه زوجی گزینه‌ها به صورت زیر نرمال گردید:

$W = [j = 1 \text{ to } n \sum n_{ij}/nx]$

در نهایت وزن نهایی هر گزینه محاسبه گردید. برای محاسبه وزن نهایی هر گزینه، باید وزن نسبی هر گزینه نسبت به هر معیار را در وزن نسبی آن معیار ضرب و تمام مقادیر را با هم جمع کرد. پس از تعیین ماتریس وزن نسبی گزینه‌ها، مقدار ویژه از رابطه زیر محاسبه گردید که در آن  $W$  ماتریس وزن نسبی و  $A$  ماتریس مربعی مقایسه زوجی و  $\lambda$  مقدار ویژه ماتریس  $A$  می‌باشد.

$AW = \lambda$

پس از محاسبه  $\lambda$  حداکثر مقدار ویژه ماتریس  $A$  ( $\lambda_{max}$ ) مشخص شد. با استفاده از  $\lambda_{max}$  شاخص ناسازگاری به صورت زیر تعیین گردید:

$I. I = \lambda_{max} - n / n - 1$

در نهایت با تقسیم مقدار  $I. I$  بر مقدار  $I. I. R$ ، میزان نرخ ناسازگاری محاسبه شد. در صورتی که شاخص ناسازگاری کمتر از ۱۰ درصد بود، محاسبات مورد تایید قرار می‌گرفت، در غیر این صورت تحلیل باید مجدداً صورت می‌گرفت. ( $I. I. R$ ) عبارت است از شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی، که از محاسبه مقادیر شاخص ناسازگاری برای ماتریس‌هایی که اعداد آنها کاملاً تصادفی اختیار شده، محاسبه می‌گردد). مقادیر این شاخص برای ماتریس‌های  $n$  بعدی مطابق جدول ۳ است. در این مرحله (بعد از حصول رتبه‌بندی گزینه‌ها) قبل از انتخاب گزینه نهایی، باید تحلیل حساسیت بر روی مسئله صورت

پس از تکمیل پرسشنامه‌ها توسط گروه خبرگان، وزن معیارها مشخص شد. در مرحله بعد سلسله مراتب مقایسه‌ها ساخته شده و این نتایج مورد استفاده قرار گرفت.

**تحلیل و مقایسه نتایج به روش تحلیل سلسله مراتبی**

پس از نمونه‌گیری و گردآوری اطلاعات از طریق پرسشنامه، نوبت به مقایسه و ارزیابی فرآیندهای تصفیه از طریق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی رسید. در این روش ابتدا سلسله مراتب مقایسه‌ها ساخته شد که در بالاترین بخش، هدف تصمیم‌گیری قرار داشت، که در این مطالعه انتخاب بهترین فرآیند تصفیه بود. بعد از آن معیارها و زیرمعیارها قرار گرفتند. در پایین‌ترین بخش گزینه‌ها قرار داشتند. ماتریس‌های تکمیل شده برای معیارهای اصلی و زیرمعیارها با استفاده از نرم افزار Expert Choice محاسبه شده و وزن مربوط به هر یک از معیارها و زیرمعیارها مشخص گردید. گزینه‌های مورد مطالعه به روش دو به دو با هم مقایسه شدند. در این مرحله گزینه‌ها با توجه به اطلاعات موجود در رابطه با قابلیت هر یک از آنها، به روش دو به دو با یکدیگر مقایسه می‌شدند. سپس ماتریس حاصل از مقایسه زوجی گزینه‌ها به صورت زیر نرمال گردید:

$$n_{ij} = [a_{ij} / j = 1 \text{ to } \dots n \sum n_{ij}] (j = 1, 2, \dots, n)$$

پس از محاسبه ماتریس نرمال، وزن نسبی هر کدام از گزینه‌ها به صورت زیر محاسبه شد:

دارد. برای انجام این عمل، در حالی که درصد وزنی دیگر معیارها ثابت باقی مانده، وزن یک معیار به صورت تدریجی، تغییر می‌یابد (۳).

می‌گرفت تا درجه اطمینان نتایج سنجیده شود. تحلیل حساسیت عبارت بود از محاسبه مجدد اولویت‌بندی گزینه‌ها با تغییر درصد وزنی هر معیار. در نرم افزار Expert Choice امکان انجام تحلیل حساسیت وجود

جدول ۳. شاخص نا سازگاری ماتریس‌های تصادفی (۱)

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

هدف کلی به‌دست آورده و به عنوان بهترین فرآیند مشخص شد.

**یافته‌ها**

همانطور که در نمودار ۱ مشاهده می‌شود، بیولاک بالاترین رتبه را نسبت به



نمودار ۱. اولویت بندی گزینه‌های تصفیه نسبت به هدف کلی

اقلیمی و محیطی منطقه و تامین استانداردهای زیست محیطی و ایجاد بو به ترتیب با اوزان ۰/۳۶۳، ۰/۲۹۵ و ۰/۲۱۲، بیشترین امتیاز را به‌دست آوردند. در بین زیرمعیارهای اقتصادی، هزینه‌های سرمایه‌گذاری و هزینه‌های بهره‌برداری و انرژی مصرفی به ترتیب با وزن‌های ۰/۳۴۸، ۰/۲۵۳ و ۰/۲۱۰، بیشترین اهمیت را داشتند (جدول ۴). وزن نسبی گزینه‌ها نسبت به معیارها در جدول ۵ ارائه شده است.

در بین معیارها، معیار فنی بیشترین امتیاز را به‌دست آورد و به عنوان موثرترین معیار در تصمیم‌گیری و انتخاب فرآیند مناسب تصفیه فاضلاب مشخص گردید. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق از میان شاخص‌های مربوط به معیار فنی، کارایی فرآیند و مقاومت در برابر شوک‌های آلی و انعطاف‌پذیری در برابر شوک‌های هیدرولیکی به‌ترتیب با اوزان ۰/۱۷۱، ۰/۱۲۳، ۰/۱۰۲، بیشترین اهمیت را به خود اختصاص دادند. در بین زیرمعیارهای زیست محیطی، شرایط

جدول ۴. وزن نرمال معیارها و زیرمعیارها

وزن نرمال	زیرمعیارها	وزن نرمال	معیارها
۰/۱۷۱	کارایی فرآیند (I <sub>۱</sub> )		
۰/۱۰۲	مقاومت به شوک‌های هیدرولیکی (I <sub>۲</sub> )		
۰/۱۲۳	سازگاری و انعطاف پذیری در برابر شوک‌های آلی (I <sub>۳</sub> )		
۰/۰۷۰	نیاز به تجهیزات الکترومکانیکی پیچیده (I <sub>۴</sub> )		
۰/۰۷۸	سادگی راهبری (I <sub>۵</sub> )	۰/۴۰۷	فنی (C <sub>۱</sub> )
۰/۰۸۳	سابقه و تجربه کاربرد فرآیند (I <sub>۶</sub> )		
۰/۱۰۰	قابلیت کاربرد فرآیند (I <sub>۷</sub> )		
۰/۰۸۹	قابلیت ارتقاء کمی و کیفی فرآیند (I <sub>۸</sub> )		
۰/۰۹۱	قابلیت اعتماد فرآیند (عملکرد مداوم) (I <sub>۹</sub> )		
۰/۰۹۶	عدم وابستگی به تکنولوژی کشور سازنده (I <sub>۱۰</sub> )		

ادامه جدول ۴.		
-/۳۴۸	هزینه های سرمایه گذاری (I <sub>۱۱</sub> )	
-/۲۵۳	هزینه های بهره برداری و نگهداری (I <sub>۱۲</sub> )	اقتصادی
-/۲۱۰	انرژی مصرفی (I <sub>۱۳</sub> )	(C <sub>۲</sub> ) ۰/۱۹۷
-/۰۹۵	زمین مورد نیاز (I <sub>۱۴</sub> )	
-/۰۹۴	هزینه دفع لجن (I <sub>۱۵</sub> )	
شرایط اقلیمی و محیطی منطقه (I <sub>۱۶</sub> )		
-/۳۶۳	ایجاد بو (I <sub>۱۷</sub> )	زیست محیطی
-/۲۱۲	تامین ضوابط و استانداردهای زیست محیطی مربوط به تخلیه پساب (I <sub>۱۸</sub> )	(C <sub>۳</sub> ) ۰/۳۹۶
-/۲۹۵		
-/۱۳۰	زیبایی منظر (I <sub>۱۹</sub> )	

جدول ۵. وزن نسبی گزینه‌ها نسبت به معیارها

معیارها	لاگون هوادهی	لجن فعال	بیولاک
معیار فنی (C <sub>۱</sub> )	۰/۲۵۰	۰/۳۸۰	۰/۳۷۰
کارایی فرآیند (I <sub>۱</sub> )	۰/۱۰۱	۰/۳۱۹	۰/۵۸۰
مقاومت به شوک‌های هیدرولیکی (I <sub>۲</sub> )	۰/۲۴۸	۰/۳۷۶	۰/۳۷۶
سازگاری و انعطاف پذیری در برابر شوک‌های آلی (I <sub>۳</sub> )	۰/۱۸۲	۰/۳۴۸	۰/۴۷۰
نیاز به تجهیزات الکترومکانیکی پیچیده (I <sub>۴</sub> )	۰/۴۱۲	۰/۳۴۰	۰/۲۴۸
سادگی راهبری (I <sub>۵</sub> )	۰/۶۴۰	۰/۲۴۳	۰/۱۱۸
سابقه و تجربه کاربرد فرآیند (I <sub>۶</sub> )	۰/۲۷۸	۰/۵۳۴	۰/۱۸۹
قابلیت کاربرد فرآیند (I <sub>۷</sub> )	۰/۱۱۳	۰/۵۰۸	۰/۳۸۰
قابلیت ارتقاء کمی و کیفی فرآیند (I <sub>۸</sub> )	۰/۱۳۲	۰/۴۸۶	۰/۳۸۲
قابلیت اعتماد فرآیند (عملکرد مداوم) (I <sub>۹</sub> )	۰/۱۰۷	۰/۳۷۶	۰/۵۱۷
عدم وابستگی به تکنولوژی کشور سازنده (I <sub>۱۰</sub> )	۰/۵۸۶	۰/۲۸۹	۰/۱۲۵
معیار اقتصادی (C <sub>۲</sub> )	۰/۴۱۱	۰/۳۲۸	۰/۲۶۱
هزینه های سرمایه گذاری (I <sub>۱۱</sub> )	۰/۴۸۷	۰/۳۰۴	۰/۲۰۹
هزینه های بهره برداری و نگهداری (I <sub>۱۲</sub> )	۰/۵۴۶	۰/۲۰۹	۰/۲۴۴
انرژی مصرفی (I <sub>۱۳</sub> )	۰/۲۰۳	۰/۵۲۹	۰/۲۶۸
زمین مورد نیاز (I <sub>۱۴</sub> )	۰/۱۴۴	۰/۳۲۹	۰/۵۲۷
هزینه دفع لجن (I <sub>۱۵</sub> )	۰/۴۷۸	۰/۲۸۹	۰/۲۳۳
معیار زیست محیطی (C <sub>۳</sub> )	۰/۰۸۸	۰/۳۴۲	۰/۵۶۹
شرایط اقلیمی و محیطی منطقه (I <sub>۱۶</sub> )	۰/۰۸۰	۰/۳۶۲	۰/۵۵۸
ایجاد بو (I <sub>۱۷</sub> )	۰/۱۱۰	۰/۳۵۶	۰/۵۳۴
تامین استانداردهای زیست محیطی مربوط به تخلیه پساب (I <sub>۱۸</sub> )	۰/۰۸۴	۰/۳۱۹	۰/۵۹۶
زیبایی منظر (I <sub>۱۹</sub> )	۰/۰۸۴	۰/۳۰۹	۰/۶۰۷

### بحث

فنی و زیست محیطی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار در انتخاب نوع تکنولوژی محسوب می‌گردند. به عبارت دیگر در انتخاب نوع فرآیند تصفیه، کارایی فرآیند، شوک‌پذیری فرآیند، تطابق فرآیند با شرایط اقلیمی و محیطی منطقه و تامین استانداردهای زیست محیطی، پارامترهایی هستند که

در این مطالعه، معیار فنی بیشترین امتیاز را به‌دست آورد، بنابراین معیار فنی در تصمیم‌گیری نسبت به معیار زیست محیطی تاثیر بیشتری دارد و معیار زیست محیطی هم تاثیر بیشتری نسبت به معیار اقتصادی دارد. پس مشخص می‌گردد که معیارهای



بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرند؛ زیرا این پارامترها اساس فرآیند تصفیه را تشکیل می‌دهند. در صورتی که فرآیند تصفیه از کارایی مناسبی برخوردار نباشد، کیفیت پساب خروجی برای تخلیه در محیط‌های پذیرنده نامناسب بوده و هدف اصلی تصفیه فاضلاب برآورده نخواهد شد، یا اگر فرآیند تصفیه قادر به تحمل شوک‌های آلی و هیدرولیکی نباشد، در این صورت جریان‌های ورودی باعث اختلال در فرآیند تصفیه شده و یا برای اجتناب از این مشکل مجبور به هدایت مستقیم فاضلاب ورودی به بخش تخلیه پساب خواهند شد که تبعات زیست محیطی زیادی را به همراه خواهد داشت. شرایط اقلیمی و محیطی منطقه نیز برای فرآیند تصفیه محدودیت‌هایی را ایجاد می‌کند و شرایط محیطی هر منطقه عامل اصلی در انتخاب یک روش بهینه می‌باشد. شرایط محیطی به گونه‌ای است که در صورت استفاده از برخی روش‌های تصفیه، علاوه بر ایجاد مشکلات بهره‌برداری و تحمیل هزینه‌های اضافی، راندمان سیستم نیز بسیار پایین خواهد بود. بنابراین لازم است تمامی جوانب محلی و عمومی هر منطقه مورد شناسایی قرار گیرد. لذا می‌توان گفت که مسائل فنی و زیست محیطی اهمیت بیشتری در انتخاب فرآیند تصفیه دارند و حتی اگر هزینه‌های زیربنایی مثل هزینه زمین و هزینه‌های سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای راه‌اندازی یک تصفیه‌خانه فاضلاب هم در دسترس باشد، عدم وجود تکنولوژی تصفیه کافی (معیار فنی) و مشکلات زیست محیطی می‌تواند منجر به نقص در فرآیند تصفیه شود.

همان‌طور که در نمودار ۱ مشاهده می‌شود در اولویت‌بندی گزینه‌های تصفیه نسبت به هدف کلی (انتخاب بهترین فرآیند تصفیه فاضلاب)، بیولاک رتبه اول را بدست آورده و لجن فعال و لاگون هوادهی به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. چون کارایی بیولاک در حذف BOD، COD، TSS بیشتر از لجن فعال و لاگون هوادهی بود. همچنین به دلیل

وجود ساختارهای بافلی در سیستم بیولاک، این سیستم از انعطاف‌پذیری خوبی جهت تطابق با تغییرات بار آلی برخوردار بوده و با استفاده از این ساختارها می‌توان فرآیند تصفیه را متناسب با تغییرات بار آلی ورودی تغییر داده و اصلاح نمود و این مزیت سیستم بیولاک نسبت به دو فرآیند دیگر است. جهت کنترل مشکلات هیدرولیکی ناشی از پیک‌های ورودی بار و کفاب در فرآیند بیولاک، سیستم «آشغالگیری استوانه‌ای دوار» و سیستم «Floating Overflow» در نظر گرفته شده بود که این سیستم‌ها باعث مقاومت بیولاک در برابر تغییرات دبی ورودی و شوک‌های هیدرولیکی وارده بر سیستم می‌شد. در واقع این سیستم قابلیت اعتماد بیشتری نسبت به دو فرآیند دیگر داشت. البته لجن فعال از نظر عدم نیاز به تجهیزات الکترومکانیکی پیچیده و سادگی راهبری نسبت به بیولاک برتری داشته و سابقه و تجربه لجن فعال بیشتر از فرآیند بیولاک می‌باشد (۱۷).

سیستم بیولاک در شرایط اقلیمی مختلف و دماهای مختلف قابلیت کاربرد دارد و حتی در مناطق سردسیر هم جوابگو بوده و دارای کارایی مناسبی می‌باشد. این سیستم دارای نوع خاصی از هوادهی (هوادهی زنجیری معلق با زنجیره‌های پاندولی نوسانگر) می‌باشد و به علت تولید هوا در زیر سطح فاضلاب، مشکل پاشیدگی و تراوش فاضلاب، تولید میست‌های فاضلابی و امکان یخ‌زدن سیستم وجود ندارد، که این عوامل قابلیت بهره‌برداری از سیستم بیولاک را در آب و هوای سرد میسر می‌سازد. البته نوع هوادهی در لجن فعال نیز از نوع هوادهی عمقی می‌باشد که مشکل یخ‌زدن را ندارد. اما نوع هوادهی در لاگون از نوع هوادهی سطحی می‌باشد که در زمستان به دلیل یخ بستن فاضلاب، عملاً از کار می‌افتد. از نظر تامین ضوابط و استانداردهای زیست محیطی مربوط به تخلیه پساب هم همان‌طور که ذکر شد پساب خروجی از سیستم بیولاک قابلیت لازم جهت تخلیه در رودخانه و استفاده در کشاورزی را

دارا می‌باشد. حتی در این فرآیند، به دلیل وجود سیستم کنترل تایمری یا PLC زنجیرها (ایجاد نواحی اکسیک- آنوکسیک) و ساختار حوضچه‌ای بخصوص سیستم، می‌توان فرآیند را به سمت حذف مواد مغذی (N,P) سوق داد و کیفیت پساب خروجی را بهبود بخشید. لجن سیستم بیولاک به علت هوادهی طولانی مدت بسیار کم بوده و نیازی به تثبیت ندارد. در واقع بالابودن سن لجن باعث عدم نیاز به هضم، کاهش لجن اضافی و افزایش پایداری فرآیند و از بین رفتن بو می‌شود. بنابراین تولید بو در این روش به حداقل ممکن می‌رسد. در حالی که در لاگون هوادهی، به دلیل زمان ماند ۵ روزه فاضلاب در لاگون ته‌نشینی، امکان رشد جلبک و تولید بوی نامطبوع وجود دارد. به علت نوع و طراحی مناسب سیستم، بیولاک از لحاظ منظر، متناسب و زیبا می‌باشد. در فرآیند بیولاک تولید لجن کمتر بوده و لجن نیازی به تثبیت ندارد و آبیگری لجن کافی است. در نتیجه بیولاک نسبت به لجن فعال هزینه دفع لجن کمتری دارد. همچنین وجود زلال‌ساز ثانویه مختلط در سیستم باعث کاهش هزینه‌های ساخت حوضچه ته‌نشینی می‌شود، بنابراین فرآیند بیولاک نسبت به لجن فعال به زمین کمتری نیاز دارد. وجود سیستم کنترل نواحی اکسیک- آنوکسیک در بیولاک سبب کاهش مقدار اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی در فرآیند شده و طی این امر نیتروژن به مقدار زیادی کاهش یافته و متعاقباً انرژی مصرفی هم کاهش می‌یابد. در واقع محدودیتی که بیولاک نسبت به دو فرآیند دیگر دارد، انحصاری بودن سیستم و وابستگی آن به تکنولوژی کشور سازنده و همچنین نیاز به تجهیزات الکترومکانیکی پیچیده و عدم تطابق اتوماسیون سیستم به واسطه وجود مشکل و ضعف در بهره‌برداری این فرآیند می‌باشد (۱۷).

در مطالعه‌ای که کریمی و همکاران انجام دادند فرآیندهای تصفیه بی‌هوازی موجود در شهرک‌های صنعتی ایران با استفاده از AHP و TOPSIS فازی با

هم مقایسه شدند. در این مطالعه پنج فرآیند تصفیه بی‌هوازی شامل UASB, UABR, UAFB, تماس بی‌هوازی، لاگون بی‌هوازی بر اساس معیارهای فنی، اقتصادی، زیست محیطی و مدیریتی و زیر معیارهای مربوط ارزیابی شدند. در این مطالعه نیز معیار فنی بیشترین وزن را به‌دست آورد و به عنوان موثرترین معیار شناخته شد و فرآیند UAFB به دلیل اینکه از نظر فنی (کارایی، قابلیت اعتماد، قابلیت ارتقاء کمی و کیفی) بر فرآیندهای دیگر برتری داشت، به عنوان بهترین فرآیند تصفیه انتخاب شد. تفاوت مطالعه کریمی با مطالعه حاضر در این است که کریمی به بررسی ۱۵ شهرک صنعتی در ایران پرداخته و فرآیندهای تصفیه فاضلاب را در شرایط اقلیمی مختلف کشور بررسی کرده است. در حالی که مطالعه حاضر فقط شامل منطقه سردسیر کشور می‌باشد (۱۴). در مطالعه‌ای که گانگینگ و همکاران انجام دادند، برای انتخاب بهترین فرآیند تصفیه فاضلاب شهری، از روش‌های AHP و GRA استفاده گردید. در این مطالعه، چهار گزینه تصفیه فاضلاب شامل  $A^2/O$ ، نهر اکسیداسیون سه مرحله‌ای، نهر اکسیداسیون بی‌هوازی منفرد و SBR از نقطه نظر اقتصادی، فنی و معیارهای مدیریتی ارزیابی و مقایسه گردید و به معیارهای زیست محیطی توجهی نشده بود. در این مطالعه معیار اقتصادی بیشترین وزن را به‌دست آورد و اهمیت آن دو برابر اهمیت معیار فنی بود. در این مطالعه نهر اکسیداسیون بی‌هوازی منفرد به‌عنوان بهینه‌ترین گزینه تصفیه که دارای بیشترین مزایا بود انتخاب گردید (۱). احمدی و همکاران مقایسه‌ای میان تکنولوژی‌های موجود برای تصفیه فاضلاب صنایع غذایی به‌وسیله روش APH انجام دادند. برای این منظور شش ترکیب تصفیه بی‌هوازی- هوازی که از نظر فنی قابلیت اجرا در کشور را داشتند، انتخاب شده و بر اساس نقشه‌های اجرایی آنها، متره و برآورد هزینه‌ها انجام گرفت. در این مطالعه مشخص شد که در همه شرایط، سیستم

روش لجن فعال معرفی شد. همچنین حساسیت هزینه‌ها نسبت به پارامترهایی نظیر قیمت زمین و انرژی، سرانه  $BOD_5$  تولیدی و استاندارد خروجی، مورد ارزیابی قرار گرفت (۱۸). در سال ۱۳۷۵، محمدیان به مقایسه همه جانبه فرآیندهای متداول تصفیه فاضلاب شهری پرداخته و با توجه به اقلیم‌های مختلف کشور، گزینه‌های مناسب را انتخاب نمود. در این مطالعه با انتخاب هفت گزینه تصفیه فاضلاب شهری سعی شد با وزن‌دهی به معیارهای مختلف مقایسه سیستم‌ها (اقتصاد، کارایی، قابلیت‌ها، نیازها و بهداشت محیط زیست)، ماتریس لئوپولد تشکیل و حل گردد. در پایان تحقیق روش لجن فعال برای اقلیم‌های مرطوب و خیلی مرطوب و سیستم‌های ترکیبی برکه‌ای (بی‌هوازی- اختیاری و تکمیلی) برای سایر اقلیم‌ها پیشنهاد شد. صافی‌های چکنده نیز در اولویت‌های میانی قرار داشتند (۱۹).

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق، ارزیابی فرآیندهای تصفیه بر اساس نتایج بررسی‌های صورت گرفته در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهرهای اردبیل، تبریز و ارومیه صورت گرفت. بنابراین در تصمیم‌گیری برای هر تصفیه‌خانه، وزن و اهمیت نسبی معیارها و زیرمعیارها با اطلاعاتی که در این مطالعه ارائه شده است متفاوت خواهد بود و ارزیابی‌ها باید بر اساس اطلاعات و واقعیت‌های هر شهر صورت گیرد. در این بررسی معیارهای فنی و زیست محیطی به عنوان موثرترین معیارها مشخص شدند و بیولاک به عنوان فرآیند مناسب تعیین شد.

### تشکر و قدردانی

این مطالعه در قالب پایان‌نامه دانشجویی در دانشگاه علوم و تحقیقات تهران انجام گرفت.

ترکیبی برکه بی‌هوازی و لجن فعال بیشترین هزینه، و سیستم‌های ترکیبی UASB با برکه‌های اختیاری و صافی چکنده به‌جز در گرم‌ترین مناطق کشور، کمترین هزینه را دارند. سیستم ترکیبی برکه بی‌هوازی و اختیاری به دلیل عملکرد ضعیف در تصفیه فاضلاب‌های غلیظ صنعتی، تنها در گرم‌ترین مناطق کشور قادر به تولید پساب با کیفیت مناسب است. سیستم‌های ترکیبی UASB با صافی چکنده و لجن فعال نیز در اولویت‌های میانی قرار دارند. در این مطالعه دو سیستم ترکیبی UASB با برکه‌های اختیاری و صافی چکنده به عنوان بهترین فرآیندهای تصفیه در اغلب شرایط ایران معرفی شدند (۱۶). دبایگان و همکاران جهت انتخاب بهترین روش تصفیه فاضلاب در صنایع آبکاری از مدل AHP بهره‌جستند. در این مطالعه چهار فرآیند تصفیه شامل ترسیب شیمیایی، تعویض یونی، RO و نانو فیلتراسیون، بر اساس معیارهای فنی و کاربردی، اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی، با یکدیگر مقایسه شدند. در این مطالعه معیار اقتصادی بیشترین وزن را به‌دست آورد. در بین شاخص‌های معیار اقتصادی، هزینه ساخت و نصب، وسعت زمین موردنیاز و هزینه راهبری بیشترین وزن را کسب نمودند و فرآیند RO به دلیل اینکه از نظر اقتصادی نسبت به سه فرآیند دیگر ارجحیت داشت، به عنوان مناسب‌ترین گزینه برای تصفیه فاضلاب صنایع آبکاری انتخاب شد (۱۵).

در سال ۱۳۷۶، شیرزاد به بررسی سه روش متداول تصفیه فاضلاب شهری در اقلیم‌های مختلف آب و هوایی کشور پرداخت و سه فرآیند لجن فعال، صافی چکنده و برکه تثبیت را از نظر فنی و اقتصادی مقایسه نمود. در این تحقیق با طراحی ابعاد و حجم‌های واحدهای تصفیه و متره برآورد هزینه‌های احداث و راهبری، برکه تثبیت و صافی چکنده در بیشتر اقلیم‌ها و جمعیت‌ها دارای جذابیت بسیار بالاتری نسبت به

## References

- 1- Guangming Z, Ru J, Guohe H, Min X, Jianbing L. Optimization of wastewater treatment alternative selection by hierarchy grey relational analysis. *Environmental Management*. 2007; 82: 250 -259.
- 2- Handfield R, Steven V, Walton RS, Steven AM. Applying environmental criteria to supplier assessment: A study in the application of the analytical hierarchy process. *operational Research*. 2002 ; 141(1): 70 -87.
- 3- Dabaghian M R, Hashemi H, Ebadi T. Technical,economical and environmental assessment of wastewater treatment systems in the electroplating industries using AHP. *Environmental Science Technology*. 2009 ; 11(3):107-115.
- 4- Saiedi M, Abesssi A, Sarpak M. Hazardous waste landfill sitting using GIS and prioritize sites using AHP. *Environmental Science Technology*. 2009;11(1):231-241.
- 5- Huang IB, Keisler J, Linko J. Multi- criteria decision analysis in environmental sciences :ten years of applications and trends. *Science of the total environment*. 2011; 409:3578-3594.
- 6- Mainabadi H, Afshar A. Multi-attribute decision- making to rank urban water supply schemes. *water and wastewater*. 2008; 66:34-45.
- 7- Karimi A, Mehrdadi N, Hashemian J, Nabi Bidhendi G R, Tavakkoli-Moghaddam R. Investigation of wastewater treatment plants of Iran's industrial estates and proposed a suitable model for optimum wastewater treatment process selection. Thesis for degree of Ph.D in Environmental Engineering. Tehran University, Faculty of Environment. 2010 :56-61.
- 8- Mirabi M, Mianabad H, Sharifi MB. Multi-attribute decision- making to select wastewater collection schemes (case study:Niyasar). 2011: 1-8.
- 9- Ishizaka A, Labib A. Review of the main developments in the analytic hierarchy process. *Expert systems with applications*. 2011. (38). 14336-14345.
- 10- Saaty TL. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Mathematical Psychology*. 1997;15(3):234-281.
- 11- Bamdad N, Mohammadzadeh-Basir H , Narvankuhi A , Emami S , Saiedi A. Site selection methodology for industries. *Rahshah and Associates Engineers*. 2007;94:54- 56.
- 12- Kalbar PP, Karmakar S, Asolekar SR. Selection of an appropriate wastewater treatment technology: A scenario-based multiple-attribute decision-making approach. *Environmental Management*. 2012;113 :158-169.
- 13- Pophali GR, Chelani AB, Dhodapkar RS. Optimal selection of full scale tannery effluent treatment alternative using integrated AHP and GRA approach. *Expert Systems With Applications*. 2011 ; 38:10889-10895.
- 14- Karimi A, Mehrdadi N, Hashemian J, Nabi Bidhendi G R, Tavakkoli-Moghaddam R. Using AHP for selecting the best wastewater treatment process. *water and wastewater*. 2010;4:2-12.
- 15- Dabaghian MR, Hashemi H, Ebadi T, Maknoon R. The best available technology for small electroplating plants applying analytical hierarchy process. *Environmental Science Technology*. 2008; 5(4) : 479 - 484.
- 16- Ahmadi M , Tajrishi M , Abrishamchi A. Technical and economic comparison of conventional wastewater treatment methods in the sugar industries in Iran. *water and wastewater*. 2005. 1. 54-61.
- 17- Panahi Osallo T, Esmat Saatlo M, Mostafazadegan AA, Esmat Saatlo J. Investigation of efficiency of Biolak(case study: Uremia Watewater treatment Plant). 2010. 1-6.
- 18- Shirzad S, Tajrishi M, Borghei M, Imandel K, Hosseininasab S. economical comparison of wastewater treatment methods in Iran. *Humans and Environmental*. 2000;1(1):3-12.
- 19- Mohammadian M, Shariat M, Nasserri S. Comparison of wastewater treatment processes and selecting the best process. Thesis for degree of M. Sc in Environmental Health Engineering. Tehran University, Faculty of Health. 2000. 1.

## Selection of Optimum Municipal Wastewater Treatment Process Using AHP (Case Study: Ardebil, Tabriz, and Uremia)

Fataei E<sup>1</sup>, Torabian A<sup>2</sup>, Hosseinzadeh Kalkhoran M<sup>3\*</sup>, Alighadri M<sup>4</sup>, Hosseinzadeh S<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor of Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering, Islamic Azad University Ardebil, Iran.

<sup>2</sup> Associate Professor of Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering, University of Tehran, Iran.

<sup>3</sup> M.Sc student of Environmental Engineering, Department of Environment and Energy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

<sup>4</sup> Assistant Professor of Environmental Health, Department of Environmental Health, Ardabil University of Medical Sciences, Ardebil, Iran.

<sup>5</sup> M.Sc Medical Immunology, Department of Medical, Ardebil University of Medical Sciences. Iran.

\* *Corresponding Author.* Tel: +989143572433 Fax: +984515513424 E- mail: [mahnaz931@yahoo.com](mailto:mahnaz931@yahoo.com)

Received: 5 Dec 2012

Accepted: 11 Jun 2013

### ABSTRACT

**Background & Objectives:** 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 assess wastewater treatment plants in operation in Ardebil, Tabriz, and Uremia in order to prioritize and select the most appropriate treatment process.

**Methods:** Current descriptive-analytical study was conducted in 3 wastewater treatment plants of Ardebil, Tabriz, and Uremia in 2012 for a period of one year. Data were collected through a researcher-designed questionnaire. 30 participants were selected using census method. Data were analyzed by "Expert Choice" software.

**Results:** Biolak process with a weight of 0.421 was selected as an optimal treatment process and Activated Sludge with a weight of 0.356 and Aerated Lagoon process with 0.223 held next priorities. Within the criteria, technical criterion with a weight of 0.407 was determined as the most effective criterion and environmental and economical criteria took next priorities.

**Conclusion:** Considering importance of the selection of municipal wastewater treatment process to allocate funding reasonably and to achieve desired results, it is necessary to evaluate processes based on economic and engineering criteria prior to choosing an appropriate process.

**Keywords:** Analytical Hierarchy Process; Wastewater Treatment; Optimal Process Selection