



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

## انتخاب مناسب‌ترین گزینه تصفیه فاضلاب واحد پلی اتیلن سنگین شرکت پژوهش و فناوری پتروشیمی مرکز اراک با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی

رضا باقری، سهیل سبحان اردکانی<sup>\*</sup>، بهاره لورستانی  
گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله:

زمینه و هدف: در کشورهایی مانند ایران که با بحران کمبود آب مواجه هستند، توجه به کمیت، کیفیت و بهره‌برداری پایدار این منابع از اهمیت بسزای برخوردار است. صنایع پتروشیمی از قابلیت تخلیه آلاینده‌ها به محیط و آلودگی منابع آب سطحی برخوردارند. لذا، این پژوهش با هدف انتخاب مناسب‌ترین گزینه تصفیه فاضلاب واحد پلی اتیلن سنگین (HDPE) شرکت پژوهش و فناوری پتروشیمی مرکز اراک با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به واسطه برخورداری از قابلیت‌هایی همچون تعمیم‌پذیری، لحاظ کردن پارامترهای مختلف، انتخاب چند بعدی و کمی کردن پارامترهای کیفی توسط افراد متخصص در سال ۱۳۹۵ انجام یافت.

روش بررسی: دو گزینه لجن فعال با هوادهی گسترده (EAAS) و راکتور ناپیوسته متوالی (SBR) براساس معیارهای محیط‌زیستی، فنی-کاربردی، اقتصادی و مدیریتی و زیرمعیارهای مربوطه، با نظر کارشناسان وزن‌دهی شد و پس از ارزیابی مقایسه‌های زوجی گزینه‌ها نسبت به هر معیار، نتایج توسط نرم‌افزار Expert Choice 11 برای انتخاب مناسب‌ترین روش تصفیه فاضلاب تحلیل شد.

یافته‌ها: نسبت سازگاری در همه اولویت‌بندی‌ها در بازه قابل قبول ۰ تا ۰/۱ قرار گرفته بود. از طرفی براساس نتایج تحلیل حساسیت، روش SBR بیشترین اولویت معیارهای اقتصادی و محیط‌زیستی و روش EAAS نیز بیشترین اولویت معیارهای مدیریتی و فنی-کاربردی را به خود اختصاص دادند.

نتیجه‌گیری: با استناد به نتایج حاصل، علیرغم این‌که روش EAAS از قابلیت نگهداری و راهبری ساده‌تر در مقایسه با روش SBR برخوردار بود، ولی روش SBR به‌واسطه تطابق بیشتر کیفیت پساب خروجی با استانداردهای محیط‌زیستی و نیاز به زمین کمتر برای استقرار سیستم تصفیه، به‌عنوان مناسب‌ترین گزینه برای تصفیه فاضلاب واحد HDPE انتخاب شد.

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۴/۱۰  
تاریخ ویرایش: ۹۶/۰۶/۲۸  
تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۷/۰۲  
تاریخ انتشار: ۹۶/۰۹/۲۱

واژگان کلیدی: تصمیم‌گیری چند معیاره، فاضلاب صنعتی، شرکت پژوهش و فناوری پتروشیمی، نرخ ناسازگاری

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:  
s\_sobhan@iauh.ac.ir

## مقدمه

آب مایه حیات و از مهمترین منابع طبیعی در جهان محسوب می‌شود. زندگی همه موجودات زنده و از طرفی رشد و پیشرفت جوامع در زمینه‌های صنعتی و کشاورزی به آب بستگی دارد (۱-۳). با توجه به جمعیت رو به افزایش جهان به‌خصوص در کشورهایی که با محدودیت منابع آب مواجه هستند، بررسی و کنترل کمیّت و کیفیت منابع آب، می‌تواند این جوامع را در رویارویی با بحرانی که در آینده‌ای نه‌چندان دور گریبان‌گیر بشر خواهد شد، یاری کند (۱). امروزه و با توجه به افزایش روند ورود انواع آلاینده‌ها به منابع آب پذیرنده ناشی از فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی، تجاری و شهری، برای جلوگیری از اثرات نامطلوب ورود پساب‌ها به محیط‌زیست، الزامات قانونی جدید تصفیه پساب و تعیین حد قابل قبول پارامترهای فیزیکی و شیمیایی فاضلاب تصفیه شده برای ورود به محیط وضع شده است (۴). این موضوع سبب افزایش روند طراحی و احداث تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با فرایندهای متفاوت تصفیه در اکثر کشورها شده است.

در چند دهه گذشته از مدل‌هایی مانند برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی پویا و برنامه‌ریزی غیرخطی برای انتخاب بین گزینه‌های تصفیه فاضلاب استفاده شده است (۵-۸). با این حال تعداد کمی از این مدل‌ها، به‌غیر از شاخص‌های اقتصادی، سایر شاخص‌ها از جمله به حداقل رساندن آلودگی محیط‌زیست، کاهش هزینه‌های تصفیه و حداکثر مزایای فرهنگی - اجتماعی را هم مدنظر داشته‌اند (۹).

امروزه روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه به‌ویژه فرایند تحلیل سلسله مراتبی (Analytical Hierarchy Process (AHP)) از اهمیتی ویژه در علم تصمیم‌گیری که در آن انتخاب و یا اولویت‌بندی یک راهکار از بین راهکارهای موجود مطرح است، از اهمیتی ویژه برخوردار است. فرایند AHP به ما امکان می‌دهد تا شاخص‌ها را به‌صورت زوجی با یکدیگر مقایسه کرده و امتیاز آنها را نسبت به یک شاخص بسنجیم تا در نهایت به یک امتیاز مجموع دست یابیم (۱۰)، (۱۱). این فرایند قادر است معیارهای محیط‌زیستی، اجتماعی - فرهنگی و غیره را با همان اهمیت معیار اقتصادی در نظر بگیرد

و از طرفی با ارزیابی گزینه‌های مختلف، تفاوت گزینه‌ها را به‌وسیله نمودار، اولویت‌بندی کند (۱۱).

روش‌های EAAS و SBR، نمونه‌هایی از روش‌های زیستی هوازی تصفیه فاضلاب هستند. روش EAAS گونه اصلاح شده‌ای از روش لجن فعال است که در آن پایداری و مقاومت سیستم نسبت به نوسانات کیفی و کمی فاضلاب ورودی افزایش یافته است. از طرفی در این روش با افزایش زمان ماند هیدرولیکی و هوادهی فاضلاب مقدار لجن تولیدی به حداقل رسانده می‌شود (۱۲، ۱۳).

تصفیه فاضلاب به روش SBR یک سیستم لجن فعال پر و خالی شونده برای تصفیه فاضلاب است که در آن برای حذف اجزای نامطلوب، فاضلاب به یک راکتور منقطع واحد منتقل می‌شود. متعادل‌سازی، هوادهی و زلال‌سازی همگی می‌تواند با به‌کارگیری یک واحد راکتور منقطع حاصل شوند. لازم به ذکر است که سیستم تصفیه فاضلاب SBR با سیستم لجن فعال متعارف اختلافی ندارد، جز آن‌که این سیستم به‌جای آنکه با فضا عمل کند، با زمان عمل می‌کند (۱۴، ۱۵).

Guangming و همکاران (۲۰۰۷) از فرایند تحلیل سلسله مراتبی به‌منظور انتخاب بهترین گزینه تصفیه فاضلاب استفاده کردند (۹). Anagnostopoulos و همکاران (۲۰۰۷) طی مطالعه خود نتیجه گرفتند که روش (Fuzzy Analytical Hierarchy Process) FAHP بهترین روش تصفیه فاضلاب است (۱۶). Tarkian و همکاران (۲۰۱۴) از روش AHP برای انتخاب بهترین روش تصفیه فاضلاب پژوهشگاه صنعت نفت تهران استفاده کردند (۱۱). Karimi و همکاران (۲۰۱۱) نیز با استفاده از فرایند AHP نسبت به انتخاب روش بهینه تصفیه فاضلاب شهرک‌های صنعتی اقدام کردند (۱۷). از طرفی Dabbaghian و همکاران (۲۰۰۹) در پژوهشی توسط فرایند AHP نسبت به ارزیابی فنی، اقتصادی و محیط‌زیستی روش‌های تصفیه فاضلاب صنایع آبکاری اقدام کردند (۱۸).

هرچند از نظر اولویت در انتخاب فرایند تصفیه، ممکن است نکاتی ملاک عمل قرار گیرد که در بیشتر تصفیه‌خانه‌ها قابل استفاده باشد، ولی انتخاب بهترین روش تصفیه فاضلاب، معمولاً

مدنظر روش‌های زیستی تصفیه فاضلاب یعنی روش‌های EAAS و SBR که در آنها نیاز به طراحی مجزای واحدهای هوادهی و ته‌نشینی وجود ندارد، توسط کارشناسان برای ادامه تحقیق انتخاب شدند.

سپس به منظور تعیین میزان اهمیت هر یک از معیارها و زیرمعیارها نسبت به عامل دیگر، با استناد به مقیاس ۹ گانه ترجیحات بین دو عنصر برای مقایسه‌های زوجی (جدول ۱)، پرسشنامه‌ای با هدف تعیین میزان اهمیت بین معیارها نسبت به هم، تعیین میزان اهمیت بین زیر معیارهای هر معیار نسبت به هم و تعیین میزان اهمیت هر یک از گزینه‌ها در زیرمعیارهای یک شاخص تهیه و در اختیار کارشناسان قرار گرفت و پس از آن ساختار سلسله مراتبی تشکیل شد. در گام بعد نسبت به تکمیل پرسشنامه‌ها و محاسبه میانگین هندسی امتیازات با هدف تعیین اهمیت معیارها و زیر معیارها با در نظر گرفتن وابستگی میان آنها اقدام شد (۲۴).

پس از آن، وزن نسبی و نرخ سازگاری (Inconsistency Ratio) ماتریس‌های تشکیل شده با استخراج مقادیر شاخص تصادفی از جدول ۲ برای مشخص کردن سازگاری و تعیین نرخ اعتماد به اولویت‌های حاصل از مقایسه‌ها توسط نرم‌افزار Expert Choice 11 محاسبه شد. در این راستا، نسبت سازگاری برابر یا کوچک‌تر از ۰/۱، سازگاری مقایسه‌ها را بیان می‌کند (۱۱).

جدول ۱- مقیاس ترجیحات بین دو عنصر برای مقایسه‌های زوجی

| مقدار عددی | درجه اهمیت در مقایسه دوه‌دو     |
|------------|---------------------------------|
| ۱          | ترجیح یکسان                     |
| ۲          | یکسان تا نسبتاً قابل ترجیح      |
| ۳          | نسبتاً قابل ترجیح               |
| ۴          | نسبتاً تا قویاً قابل ترجیح      |
| ۵          | قویاً قابل ترجیح                |
| ۶          | قویاً تا بسیار قویاً قابل ترجیح |
| ۷          | ترجیح بسیار قوی                 |
| ۸          | بسیار تا بی‌اندازه قابل ترجیح   |
| ۹          | بی‌اندازه قابل ترجیح            |

پیچیده بوده و برحسب مواردی از قبیل ظرفیت و شرایط خاص محلی با عدم قطعیت‌های زیادی مواجه است (۱۷).

با توجه به این که پساب صنایع پتروشیمی در زمره مهم‌ترین آلاینده‌های محیط‌زیست محسوب می‌شود، استفاده از روشی کارا و به لحاظ محیط‌زیستی، اقتصادی، مدیریتی و فنی - کاربردی مناسب برای تصفیه فاضلاب این صنعت از اهمیت بسزا برخوردار است. از این رو، این پژوهش با هدف استفاده از فرایند AHP برای انتخاب مناسب‌ترین گزینه تصفیه فاضلاب واحد HDPE شرکت پژوهش و فناوری پتروشیمی مرکز اراک به‌ویژه با اولویت قراردادن پارامترهای محیط‌زیستی و اقتصادی از بین روش‌های EAAS و SBR انجام یافت.

## مواد و روش‌ها

در این مطالعه با هدف انتخاب مناسب‌ترین گزینه تصفیه فاضلاب واحد HDPE شرکت پژوهش و فناوری پتروشیمی مرکز اراک با لحاظ کردن معیارهای فنی - کاربردی، اقتصادی، محیط‌زیستی و مدیریتی، از روش AHP، به‌عنوان روشی قابل انعطاف و کمی برای انتخاب گزینه‌ها براساس عملکرد نسبی آنها نسبت به یک یا چند معیار که قادر است اهداف محیط‌زیستی و اجتماعی - فرهنگی را نیز با همان اهمیت اهداف اقتصادی در انتخاب فرایند بهینه تصفیه فاضلاب در نظر بگیرد، طی چهار گام مدل‌سازی، قضاوت ترجیحی (مقایسه‌های زوجی)، محاسبات وزن‌های نسبی و ادغام وزن‌های نسبی استفاده شد (۲۲-۱۸). بدین منظور، ابتدا نوسانات دبی و شدت آلودگی پساب واحد HDPE با استفاده از نمونه‌برداری و آنالیز آزمایشگاهی مطابق الگوی مندرج در کتاب روش‌های استاندارد برای آزمایش آب و فاضلاب تعیین شد (۲۳). پس از بررسی نرمال بودن داده‌های حاصل از آنالیز پارامترهای مورد ارزیابی در نمونه پساب با استفاده از نسخه SPSS 20 و توسط آزمون آماری شاپیرو-ویک (Shapiro-Wilk)، این اطلاعات به انضمام نقشه‌های مربوط به شبکه جمع‌آوری پساب و فلودیگرام واحد HDPE در اختیار کارشناسان خیره تصفیه فاضلاب قرار گرفت. لذا با توجه به تولید نسبتاً کم پساب (۰/۰۲ تا ۰/۰۳ m<sup>3</sup>/h) در واحد

جدول ۲- شاخص ناسازگاری ماتریس‌های تصادفی

| ۱۰   | ۹    | ۸    | ۷    | ۶    | ۵    | ۴    | ۳    | ۲ | ۱ | n     |
|------|------|------|------|------|------|------|------|---|---|-------|
| ۱/۵۱ | ۱/۴۵ | ۱/۴۱ | ۱/۳۲ | ۱/۲۴ | ۱/۱۲ | ۰/۹۰ | ۰/۵۸ | ۰ | ۰ | I.I.R |

n: Matrixes dimension

I.I.R: Inconsistency Index of Random matrix

## یافته‌ها

مقادیر کمیته و بیشینه مربوط به پارامترهای فیزیکی شیمیایی شامل اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی ( $BOD_5$ )، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)، کل جامدات محلول (TDS)، کل جامدات معلق (TSS)، pH، روغن، هدایت الکتریکی (EC) و عنصر تیتانیوم و همچنین درجه حرارت و نوسانات دبی پساب واحد HDPE در جدول ۳ ارائه شده است. از طرفی، وزن نسبی هر یک از معیارها و زیرمعیارها و وزن نسبی هر معیار برای گزینه‌های مختلف تصفیه نیز به ترتیب در جداول ۴ و ۵ ارائه شده است.

در گام بعدی، نتایج حاصل از پرسشنامه برای مقایسه زوجی عناصر در سطح معیارها و زیرمعیارها و از طرفی تعیین ارجحیت هر کدام از گزینه‌ها در هر معیار یا زیرمعیار به نرم‌افزار Expert Choice وارد و ماتریس‌های مقایسات زوجی تشکیل شد. سپس برای محاسبه وزن هر یک از معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها، میانگین هندسی مقادیر موجود در هر سطر ماتریس محاسبه شد (۲۵). در نهایت نسبت به نرمال کردن، محاسبه وزن نسبی با روش بردار ویژه، محاسبه وزن‌های نهایی و حداکثر مقدار ویژه ( $\lambda_{max}$ ) برای هر ماتریس اقدام شد (۱۷).

جدول ۳- مقادیر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی نمونه پساب واحد HDPE

| پارامتر  | کمیته | بیشینه |
|--|-------|--------|
| اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی ( $BOD_5$ ) (mg/L) | ۴۰۰   | ۴۴۹    |
| اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) (mg/L)          | ۸۰۰   | ۸۸۵    |
| کل جامدات محلول (TDS) (mg/L)                   | ۹۰۰   | ۱۱۰۰   |
| کل جامدات معلق (TSS) (mg/L)                    | ۷۰۰   | ۸۲۰    |
| pH   | ۷/۶   | ۸/۴    |
| چربی و روغن (mg/L)                             | ۵۰    | ۱۰۰۰   |
| هدایت الکتریکی (EC) (ms/cm)                    | ۷۵۰   | ۹۵۰    |
| تیتانیوم (Ti) (mg/L)                           | ۸     | ۱۲     |
| دما ( $^{\circ}C$ )                            | ۲۸    | ۳۲     |
| دبی ( $m^3/h$ )                                | ۰/۰۲  | ۰/۰۳   |

جدول ۴- وزن معیارها و زیرمعیارهای منتخب برای گزینش بهترین روش تصفیه هوازی واحد HDPE

| معیار                 | زیر معیار                           |
|-----------------------|-------------------------------------|
| محیط‌زیستی (۰/۶۹۵)    | درجه تصفیه مورد نیاز (۰/۱۵۵)        |
|                       | توانایی مطابقت با استاندارد (۰/۲۸۹) |
|                       | ایجاد بو (۰/۰۷۱)                    |
|                       | ایمنی (۰/۳۰۹)                       |
|                       | زیبایی منظر (۰/۰۳۷)                 |
| اقتصادی (۰/۱۵۱)       | بهداشت کارکنان (۰/۱۳۹)              |
|                       | زمین مورد نیاز (۰/۶۷۵)              |
|                       | هزینه سرمایه‌ای (۰/۲۱۰)             |
|                       | هزینه تعمیر و نگهداری (۰/۰۷۲)       |
| مدیریتی (۰/۰۵۶)       | هزینه دفع زائدات جامد (۰/۰۴۳)       |
|                       | نیاز به مهارت‌های تخصصی (۰/۱۲۱)     |
|                       | سادگی نگهداری (۰/۰۸۴)               |
|                       | دسترسی به تجهیزات (۰/۰۸۲)           |
|                       | پایش آنلاین (۰/۱۳۰)                 |
| فنی - کاربردی (۰/۰۹۸) | قابلیت استفاده مجدد از پساب (۰/۳۰۱) |
|                       | عدم وابستگی خارجی (۰/۲۸۲)           |
|                       | ثبات فرایند (۰/۱۷۵)                 |
|                       | انعطاف‌پذیری سیستم (۰/۱۴۱)          |
|                       | سادگی راهبری (۰/۰۶۲)                |
|                       | قابلیت حذف ازت (۰/۳۱۴)              |
|                       | بلوغ فناوری (۰/۳۰۸)                 |

نتایج اولویت‌بندی فرایندهای مختلف تصفیه هوازی نسبت به معیارهای اصلی محیط‌زیستی، اقتصادی، مدیریتی و فنی - کاربردی و مقادیر مربوط به نسبت سازگاری آنها به ترتیب در زیربخش‌های a تا d نمودار ۱ ارائه شده است. براساس نتایج حاصل، نسبت سازگاری در همه اولویت‌بندی‌ها در بازه قابل قبول ۰ تا ۰/۱ قرار گرفته بود. همچنین نتایج وزن‌دهی معیارها نشان داد که معیارهای محیط‌زیستی و اقتصادی به ترتیب با وزن برابر با ۰/۶۹۵ و ۰/۱۵۱ در رتبه‌های اول و دوم قرار گرفته و معیارهای فنی - کاربردی و مدیریتی نیز در رتبه‌های سوم و چهارم قرار گرفتند. همچنین زیرمعیارهای ایمنی و توانایی مطابقت با استاندارد به ترتیب با وزن برابر با ۰/۳۰۹ و ۰/۲۸۹ اولویت‌های اول و دوم معیار محیط‌زیستی؛ زیرمعیارهای

نتایج اولویت‌بندی فرایندهای مختلف تصفیه هوازی نسبت به معیارهای اصلی محیط‌زیستی، اقتصادی، مدیریتی و فنی - کاربردی و مقادیر مربوط به نسبت سازگاری آنها به ترتیب در زیربخش‌های a تا d نمودار ۱ ارائه شده است. براساس نتایج حاصل، نسبت سازگاری در همه اولویت‌بندی‌ها در بازه قابل قبول ۰ تا ۰/۱ قرار گرفته بود. همچنین نتایج وزن‌دهی معیارها نشان داد که معیارهای محیط‌زیستی و اقتصادی به ترتیب با وزن برابر با ۰/۶۹۵ و ۰/۱۵۱ در رتبه‌های اول و دوم قرار گرفته و معیارهای فنی - کاربردی و مدیریتی نیز در رتبه‌های سوم و چهارم قرار گرفتند. همچنین زیرمعیارهای ایمنی و توانایی مطابقت با استاندارد به ترتیب با وزن برابر با ۰/۳۰۹ و ۰/۲۸۹ اولویت‌های اول و دوم معیار محیط‌زیستی؛ زیرمعیارهای

EAAS با وزن کلی ۰/۴۶۸ در اولویت بعدی برای تصفیه فاضلاب واحد HDPE قرار می‌گیرد.

برای تحلیل حساسیت معیارها نسبت به هدف کلی، وزن هر یک از معیارها در نرم‌افزار به صورت تدریجی افزایش یا کاهش داده شد. بدین صورت که در اولویت‌بندی گزینه‌ها نسبت به معیارهای محیط‌زیستی و اقتصادی، با تغییر درصد وزنی به ترتیب از ۶۹/۷ تا ۱۰۰ درصد و از ۱۲/۶ تا ۱۰۰ درصد، همچنان گزینه SBR انتخاب شد و در اولویت فرایندها تغییری مشاهده نشد. در صورتی که در اولویت‌بندی گزینه‌ها نسبت به معیارهای مدیریتی، با تغییر درصد وزنی از ۶/۵ تا ۷۵ درصد، اولویت‌بندی ثابت ماند و سپس با افزایش درصد وزنی به بالای ۷۵ درصد، اولویت فرایندها به گزینه EAAS تغییر یافت. از طرفی در اولویت‌بندی گزینه‌ها نسبت به معیار فنی - کاربردی نیز مانند معیار مدیریتی، با تغییر درصد وزنی از ۱۱/۳ تا ۴۳ درصد، اولویت‌بندی ثابت ماند و سپس با افزایش درصد وزنی به بالای ۴۳ درصد، اولویت فرایندها به گزینه EAAS تغییر یافت. نمودار تحلیل حساسیت نسبت هدف کلی در نمودار ۳ ارائه شده است.

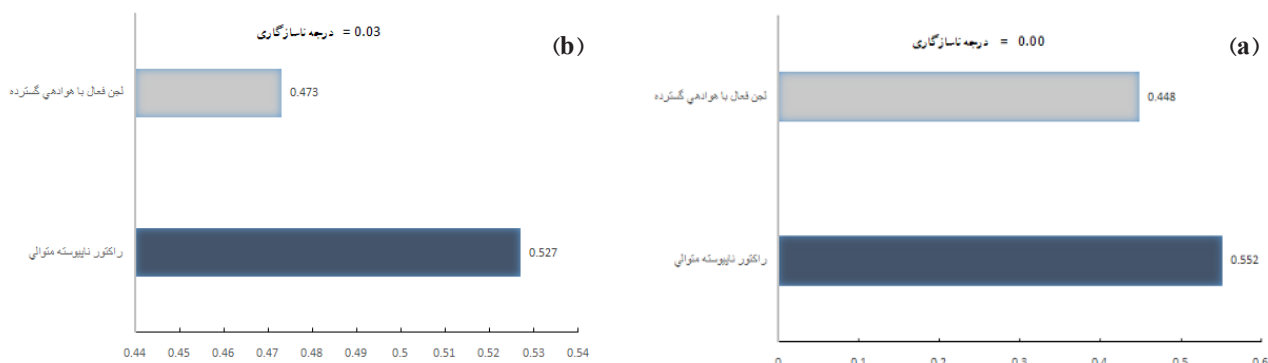
زمین مورد نیاز و هزینه سرمایه‌ای به ترتیب با وزن برابر با ۰/۶۷۵ و ۰/۲۱۰ اولویت‌های اول و دوم معیار اقتصادی؛ زیرمعیارهای قابلیت استفاده مجدد از پساب و عدم وابستگی خارجی به ترتیب با وزن برابر با ۰/۳۰۱ و ۰/۲۸۲ اولویت‌های اول و دوم معیار مدیریتی و در نهایت زیرمعیارهای قابلیت حذف ازت و بلوغ فناوری به ترتیب با وزن برابر با ۰/۳۱۴ و ۰/۳۰۸ اولویت‌های اول و دوم معیار فنی - کاربردی را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). از طرفی برای روش‌های SBR و EAAS وزن نهایی معیار محیط‌زیستی به ترتیب برابر با ۰/۵۵۲ و ۰/۴۴۸؛ وزن نهایی معیار اقتصادی به ترتیب برابر با ۰/۵۲۷ و ۰/۴۷۳؛ وزن نهایی معیار مدیریتی به ترتیب برابر با ۰/۴۸۷ و ۰/۵۱۳ و وزن نهایی معیار فنی - کاربردی به ترتیب برابر با ۰/۴۳۸ و ۰/۵۶۲ بود (جدول ۵). همچنین نتایج مربوط به اولویت‌بندی نهایی گزینه‌ها نسبت به هدف اصلی به همراه مقادیر مربوط به نسبت سازگاری آن در نمودار ۲ ارائه شده است. بر این اساس، نسبت سازگاری در این اولویت‌بندی نیز در بازه قابل قبول ۰ تا ۰/۱ قرار گرفته بود. مندرجات نمودار ۲ بیان‌گر آن است که روش SBR با وزن کلی ۰/۵۳۲ در اولویت اول و روش

جدول ۵- وزن نسبی گزینه‌های تصفیه هوای فاضلاب نسبت به معیارها و زیر معیارها

| EAAS  | SBR   | معیارها و زیر معیارها                 |
|-------|-------|---------------------------------------|
| ۰/۴۴۸ | ۰/۵۵۲ | معیار محیط‌زیستی                      |
| ۰/۴۱۳ | ۰/۵۸۷ | زیر معیار درجه تصفیه موردنیاز         |
| ۰/۳۶۵ | ۰/۶۳۵ | زیر معیار توانایی مطابقت با استاندارد |
| ۰/۵۵۰ | ۰/۴۵۰ | زیر معیار بو                          |
| ۰/۵۰۰ | ۰/۵۰۰ | زیر معیار ایمنی                       |
| ۰/۸۹۹ | ۰/۱۰۱ | زیر معیار زیبایی منظر                 |
| ۰/۳۸۸ | ۰/۶۱۲ | زیر معیار بهداشت کارکنان              |
| ۰/۴۷۳ | ۰/۵۲۷ | معیار اقتصادی                         |

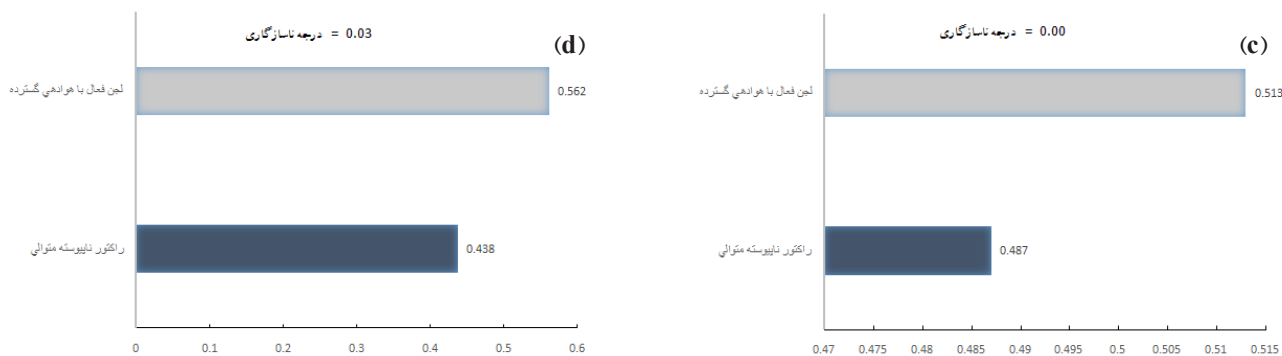
ادامه جدول ۵- وزن نسبی گزینه‌های تصفیه هوازی فاضلاب نسبت به معیارها و زیر معیارها

| EAAS  | SBR   | معیارها و زیر معیارها                 |
|-------|-------|---------------------------------------|
| ۰/۴۱۴ | ۰/۵۸۶ | زیر معیار زمین مورد نیاز              |
| ۰/۵۵۰ | ۰/۴۵۰ | زیر معیار هزینه سرمایه‌ای             |
| ۰/۵۸۶ | ۰/۴۱۴ | زیر معیار هزینه تعمیر و نگهداری       |
| ۰/۶۳۷ | ۰/۳۶۳ | زیر معیار هزینه دفع زائدات جامد       |
| ۰/۵۱۳ | ۰/۴۸۷ | <b>معیار مدیریتی</b>                  |
| ۰/۴۵۳ | ۰/۵۴۷ | زیر معیار نیاز به مهارت‌های تخصصی     |
| ۰/۶۰۲ | ۰/۳۹۸ | زیر معیار سادگی نگهداری               |
| ۰/۵۰۴ | ۰/۴۹۶ | زیر معیار دسترسی به تجهیزات           |
| ۰/۳۸۸ | ۰/۶۱۲ | زیر معیار پایش آنلاین                 |
| ۰/۴۸۸ | ۰/۵۱۲ | زیر معیار قابلیت استفاده مجدد از پساب |
| ۰/۶۲۰ | ۰/۳۸۰ | زیر معیار عدم وابستگی خارجی           |
| ۰/۵۶۲ | ۰/۴۳۸ | <b>معیار فنی و کاربردی</b>            |
| ۰/۶۹۱ | ۰/۳۰۹ | زیر معیار ثبات فرایند                 |
| ۰/۶۹۱ | ۰/۳۰۹ | زیر معیار انعطاف‌پذیری سیستم          |
| ۰/۶۸۰ | ۰/۳۲۰ | زیر معیار سادگی راهبری                |
| ۰/۴۶۲ | ۰/۵۳۸ | زیر معیار قابلیت حذف ازت              |
| ۰/۶۹۱ | ۰/۳۰۹ | زیر معیار بلوغ فناوری                 |

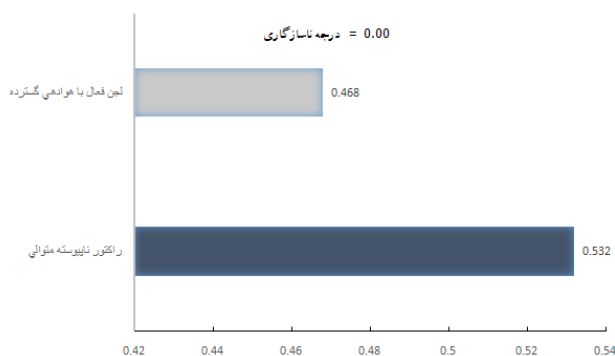


نمودار ۱- نمودار اولویت‌بندی گزینه‌های تصفیه فاضلاب نسبت به معیارهای

محیط‌زیستی (a)، اقتصادی (b)، مدیریتی (c) و فنی-کاربردی (d)



ادامه نمودار ۱- نمودار اولویت‌بندی گزینه‌های تصفیه فاضلاب نسبت به معیارهای محیط‌زیستی (a)، اقتصادی (b)، مدیریتی (c) و فنی-کاربردی (d)



نمودار ۲- نمودار اولویت‌بندی گزینه‌ها نسبت به هدف کلی



نمودار ۳- نمودار تحلیل حساسیت نسبت به هدف کلی

## بحث

کاربردی به ترتیب برابر با ۰/۴۱۶، ۰/۳۴۲، ۰/۳۸۹ و ۰/۳۲۳، در مقایسه با سایر روش‌ها از اولویت انتخاب برخوردار بود. از طرفی در مطالعه این پژوهشگران به دلیل حساسیت بالای منطقه ۲۲ تهران، معیار محیط‌زیستی با وزن ۰/۷۱۲ در رتبه اول معیارها طبقه‌بندی شد، که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد (۱۱). Karimi و همکاران (۲۰۱۱) نیز با لحاظ کردن معیارهای محیط‌زیستی، اقتصادی، مدیریتی و فنی فرایند راکتور بی‌هوازی بستر ثابت با جریان رو به بالا (UAFB) را در مقایسه با روش‌های راکتور بافل‌دار بی‌هوازی (ABR)، بستر لجن بی‌هوازی با جریان رو به بالا (UASB)، لاگون بی‌هوازی و فرایند تماس بی‌هوازی به‌عنوان مناسب‌ترین روش تصفیه فاضلاب شهرک‌های صنعتی معرفی کردند (۱۷). از طرفی Dabbaghian و همکاران (۲۰۰۹) نیز با در نظر گرفتن معیارهای فنی-کاربردی، اقتصادی، محیط‌زیستی و اجتماعی، روش اسمز معکوس با وزن کلی برابر با ۰/۳۰۵ را در مقایسه با روش‌های رسوب‌دهی شیمیایی، تعویض یونی و نانوفیلتراسیون به‌عنوان مناسب‌ترین گزینه تصفیه فاضلاب صنایع آبکاری معرفی کردند (۱۸).

## نتیجه‌گیری

انتخاب فناوری مناسب برای تصفیه فاضلاب صنایع پتروشیمی به‌علت وجود عوامل مداخله‌گر متنوع، مساله‌ای پیچیده و زمان‌بر است. در این پژوهش پارامترهای تاثیرگذار در تصمیم‌گیری برای انتخاب یکی از روش‌های SBR و EAAS به‌عنوان مناسب‌ترین گزینه تصفیه فاضلاب واحد پلی‌اتیلن سنگین (High Density Polyethylene (HDP)) شرکت پژوهش و فناوری پتروشیمی مرکز اراک با استفاده از نظرات متخصصان و کارشناسان توسط فرایند AHP با دقت بالا اولویت‌بندی و گزینه برتر انتخاب شد. بر این اساس، علی‌رغم این‌که روش EAAS از فناوری بالاتر و راهبری ساده‌تر در مقایسه با روش SBR برخوردار بود، ولی روش SBR به‌واسطه تطابق بیشتر کیفیت پساب خروجی با استانداردهای محیط‌زیستی و نیاز به زمین کمتر برای استقرار

با توجه به این‌که هزینه اجرا و بهره‌برداری از تصفیه‌خانه‌های متمرکز بسیار زیاد است، در این پژوهش در گام اول در خصوص ارزیابی یا پیش‌بینی دقیق از وضعیت کمی و کیفی فاضلاب‌های تولیدی وارد شده به حوضچه تبخیر از جمله پارامترهایی مانند دبی، چربی، pH، COD، BOD<sub>5</sub>، TDS، TSS و فلزات سنگین بررسی شد. در این راستا، با توجه به تنوع معیارهای اصلی تاثیرگذار از جمله معیارهای محیط‌زیستی، اقتصادی، مدیریتی و فنی - کاربردی و زیرمعیارهای آنها، از فنون تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده شد. از آنجا که در حال حاضر پساب واحد HDPE شرکت پژوهش و فناوری پتروشیمی مرکز اراک بدون رعایت معیارهای محیط‌زیستی و بهداشتی لازم، پس از وارد شدن به حوضچه تبخیر برای آبیاری بخشی از فضای سبز شرکت استفاده می‌شود، لذا، در این مطالعه به دلیل اهمیت و اولویت حفظ محیط‌زیست در شرکت و نیز با توجه به وجود الزامات قانونی در خصوص رعایت مسائل محیط‌زیستی از جمله لزوم مطابقت کیفیت پساب خروجی از تصفیه‌خانه با استاندارد، معیارهای محیط‌زیستی و زیرمعیارهای آن بیشترین امتیاز را توسط کارشناسان به خود اختصاص دادند. بر این اساس، فرایند SBR با دریافت بیشترین وزن نسبی معیارهای محیط‌زیستی (۰/۵۵۲) و همچنین اقتصادی (۰/۵۲۷) و با وزن کلی ۰/۵۳۲ در مقابل روش EAAS با وزن کلی ۰/۴۶۸، در اولویت قرار گرفت. در سایر پژوهش‌ها نیز از فرایند AHP به دلیل برخورداری از قابلیت‌هایی همچون تعمیم‌پذیری، لحاظ کردن پارامترهای مختلف، انتخاب چند بعدی و کمی کردن پارامترهای کیفی توسط افراد متخصص در مقایسه با سایر روش‌های تصمیم‌گیری، برای انتخاب مناسب‌ترین روش تصفیه فاضلاب واحدهای صنعتی استفاده شده است. در این رابطه، Tarkian و همکاران (۲۰۱۴) نسبت به مقایسه روش‌های MBR چرخان، MBR ثابت، SBR و EAAS برای تصفیه فاضلاب پژوهشگاه صنعت نفت تهران اقدام کرده و نتیجه گرفتند که روش MBR چرخان با وزن نسبی معیارهای محیط‌زیستی، اقتصادی، مدیریتی و فنی -

## تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد محیط زیست مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان با عنوان "بررسی روش‌های لجن فعال و راکتور ناپیوسته متوالی به منظور انتخاب مناسب‌ترین گزینه تصفیه فاضلاب صنایع پتروشیمی با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی" با کد ۱۷۱۵۰۵۰۸۹۴۲۰۱۲ است.

## منابع

1. Sobhanardakani S, Jamali M, Maanijou M. Evaluation of As, Zn, Cr and Mn concentrations in groundwater resources of Razan Plain and preparing the zoning map using GIS. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2014;16(2):25-38 (in Persian).
2. Sobhanardakani S, Razban SS, Maanijou M. Evaluation of concentration of some heavy metals in groundwater resources of Qahavand Plain-Hamedan. *Journal of Kermanshah University of Medical Sciences*. 2014;18(6):339-48 (in Persian).
3. Sobhanardakani S, Talebiani S, Maanijou M. Evaluation of As, Zn, Pb and Cu concentrations in groundwater resources of Toyserkan Plain and preparing the zoning map using GIS. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*. 2014;24(114):120-29 (in Persian).
4. Tchobanoglous G, Burton FL. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. 4th ed. New York: McGraw-Hill; 2003.
5. Lynn WR, Logan JA, Charnes A. Systems analysis for planning wastewater treatment plants. *Journal of Water Pollution Control Federation*. 1962;34(6):565-81.
6. Evenson DE, Orlob GT, Monser JR. Preliminary selection of waste treatment systems. *Journal of Water Pollution Control Federation*. 1969;41(11):1845-58.
7. Shih CS, DeFilippi JA. System optimization of waste treatment plant process design. *Journal of Environmental Engineering Division*. 1970;96:409-21.
8. Rossman LA. Synthesis of waste treatment systems

سیستم تصفیه، به‌عنوان مناسب‌ترین گزینه برای تصفیه فاضلاب واحد HDPE انتخاب شد. در این پژوهش به دلیل محدودیت‌های زمانی و همچنین منابع مالی، صرفاً روش‌های SBR و EAAS برای انتخاب مناسب‌ترین گزینه تصفیه فاضلاب واحد پلی‌اتیلن سنگین شرکت پژوهش و فناوری پتروشیمی مرکز اراک توسط فرایند AHP مورد ارزیابی قرار گرفتند. بنابراین، توصیه می‌شود در مطالعات آتی، توسط سایر فرایندهای تصمیم‌گیری، دیگر روش‌های رایج تصفیه فاضلاب نیز ارزیابی شوند.

- by implicit enumeration. *Journal of Water Pollution Control Federation*. 1980;52(1):148-60.
9. Guangming Z, Ru J, Huang G, Xu M, Li J. Optimization of wastewater treatment alternative selection by hierarchy grey relational analysis. *Journal of Environmental Management*. 2007;82(2):250-59.
10. Sharifzadegan MH, Fathi H. Environmental vulnerability strategies policies related to development projects in Albroz environmental areas. *Environmental Science*. 2006;3(2):1-20 (in Persian)
11. Tarkian F, Ghaderi S, Esfahani MM, Sharifi A, Mashhoon F. Selection of the best wastewater treatment alternative for RIPI based on analytical hierarchy process (AHP) and expert choice software. *Journal of Water and Wastewater*. 2014;25(2):114-21 (in Persian).
12. Pirsahab M, Khamutian R, Dargahi A. Efficiency of activated sludge process (extended aeration) in removal of linear alkyl benzene sulfonate (LAS) from municipal wastewater-case study: wastewater treatment of Paveh City. *Journal of Health*. 2013;4(3):249-59 (in Persian).
13. Pirsahab M, Mohamadi M. Evaluation of nitrogen and phosphorous simultaneous removal from hospital wastewater by intermittent cycle extended aeration system (ICEAS). *Toloo-e-Behdasht*. 2015;14(3):38-50 (in Persian).
14. Mohseni-bandpi A, Bazzari H. Biological treatment of milk factory wastewater by sequencing batch reactor. *Journal of Water and Wastewater*. 2001;12(3):28-32 (in Persian).

15. Monajemi P, Kazemi H. Treatability of petrochemical waste using a pilot scale SBR system. *Journal of Water and Wastewater*. 2005;16(1):48-53 (in Persian).
16. Anagnostopoulos KP, Gratiou M, Vavatsikos AP. Using the fuzzy analytic hierarchy Process for selecting wastewater facilities at prefecture level. *European Water*. 2007;19-20:15-24.
17. Karimi AAR, Mehrdadi N, Hashemian SJAD, Nabi Bidhendi GR, Tavakoli Moghadam R. Using AHP for selection the best wastewater treatment process. *Journal of Water and Wastewater*. 2011;21(4):2-12 (in Persian).
18. Dabbaghian MR, Hashemi SH, Ebadi T. Technical, economical and environmental evaluation of plating industrial wastewater treatment methods using AHP. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2009;11(3):107-15 (in Persian).
19. Tang SL, Ellis KV. Wastewater treatment optimization model for developing world. II: Model testing. *Journal of Environmental Engineering*. 1994;120(3):610-24.
20. Linkov I, Satterstrom FK, Steevens J, Ferguson E, Pleus RC. Multi-criteria decision analysis and environmental risk assessment for nanomaterials. *Journal of Nanoparticle Research*. 2007;9(4):543-54.
21. Peniwati K. Criteria for evaluating group decision-making methods. *Mathematical and Computer Modelling*. 2007;46(7-8):935-47.
22. Boroushaki S, Malczewski J. Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS. *Computers & Geosciences*. 2008;34(4):399-410.
23. Eaton AD, Franson MAH. *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater*. 21st ed. Washington DC: American Public Health Association; 2005.
24. Saaty RW. The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*. 1987;9(3-5):161-76.
25. Ghodsipour H. *Analytical Hierarchy Process (AHP)*. Tehran: Amirkabir University of Technology Publication; 2016 (in Persian).



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



## Selection of the best wastewater treatment alternative for HDPE unit of petrochemical research and technology company-Arak center based on the analytical hierarchy process

R Bagheri, S Sobhanardakani\*, B Lorestani

Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 1 July 2017  
**Revised:** 19 September 2017  
**Accepted:** 24 September 2017  
**Published:** 12 December 2017

### ABSTRACT

**Background and Objective:** In countries such as Iran that are facing with water scarcity and water crisis, paying attention to the quantity, quality and sustainable use of water resources is very significant. Petrochemical processes discharge pollutants into the environment, contaminating surface water resources. Therefore, treatment of the wastewater of these industries is necessary. Due to the capabilities of AHP process such as generalization, consideration of various parameters, multi-dimensional selection and quantifying the qualitative parameters by experts, the current study was carried out to select the best wastewater treatment alternative for HDPE plant of petrochemical research and technology company-Arak center based on AHP in 2016.

**Materials and Methods:** In this study, both sequencing batch reactors (SBR) and extended aeration activated sludge (EAAS) systems based on environmental, technical-functional, economic and management criteria's according to the expert's opinion were weighted. Then, the paired comparisons of the selected wastewater treatment systems for each criterion were developed. Finally, the results were analyzed to select the best wastewater treatment systems for HDPE unit of petrochemical industries using Expert Choice11 Software.

**Results:** The results showed that the SBR wastewater treatment system was the best method for the wastewater treatment of HDPE plant of petrochemical research and technology company-Arak center as compared with the ESSA system. Also, consistency ratio was ranged from 0 to 0.10 in all emphases. Based on the results of the sensitivity analysis, the SBR system had the highest priority of economic and environmental criteria. The ESSA system had the highest priority of technical-functional and management criteria.

**Conclusion:** Based on the results, although ESSA method requires more maintainance and management than the SBR method, due to increasing requirement for the compliance of the output effluent quality with permissible limits and the need for less land for the establishment of the treatment plant, the SBR method was selected to be the most suitable process for HDPE plant wastewater treatment.

**Key words:** Multi-criteria decision-making approach, Industrial wastewater, Petrochemical research and technology company, Inconsistency ratio

\*Corresponding Author:

s\_sobhan@iauh.ac.ir