Research Article

Journal of Hospital

https://jhosp.tums.ac.ir

Identification and Prioritization of Strategies for Removing Pharmaceutical Contaminants from Hospital Wastewater in Selected Hospitals of Markazi Province Using the Analytic Hierarchy Process (AHP)

Jahangiri. Abbas[1*]

1- Research Expert, Water and Wastewater Company of Markazi Province, Arak, Iran.

Received Date: 2025.2.23
Accepted Date: 2025.4.27

***Corresponding Author Email:** Jahangirieng@yahoo.com

Abstract

Background and purpose: Pharmaceutical pollutants in hospital wastewater pose significant environmental and public health risks. This study aimed to identify and prioritize effective strategies for removing these contaminants from the wastewater of selected hospitals in Markazi Province, Iran.

Methods: This descriptive-analytical study employed a multi-criteria decision-making (MCDM) approach. Initially, a comprehensive review of scientific literature, expert interviews, and consultation with professionals in environmental health and wastewater treatment was conducted. Relevant strategies and prioritization criteria were identified using MAXQDA 2022. Subsequently, the Analytic Hierarchy Process (AHP) method was applied using Expert Choice version 11 software to assign weights to criteria and rank the identified strategies.

Results: Five key treatment strategies were identified: (1) integrated biological, physical, and chemical treatment methods (hybrid systems), (2) advanced oxidation processes (AOPs), (3) aerobic and anaerobic biological reactors, (4) membrane filtration, and (5) activated carbon adsorption. The prioritization was based on five criteria: (1) pollutant removal efficiency (0.357), (2) environmental compatibility (0.241), (3) implementation and operational costs (0.198), (4) technology durability and sustainability (0.123), and (5) implementation complexity and feasibility (0.081). The final priority scores of the strategies were 0.312, 0.256, 0.211, 0.134, and 0.087, respectively.

Conclusion: The findings indicate that hybrid treatment systems combining biological, chemical, and physical processes offer the most effective strategy for eliminating pharmaceutical pollutants in hospital wastewater. These insights can guide healthcare policymakers and hospital administrators in selecting optimal wastewater treatment methods, contributing to environmental protection and water quality improvement.

Keywords: Pharmaceutical Contaminants, Hospital Wastewater, Wastewater Treatment, Analytic Hierarchy Process (AHP), Environmental Health

Copyright©2025 Scientific Association of Hospital Affairs, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

پژوهشی

فصلنامه بیمارستان

https://jhosp.tums.ac.ir

شناسایی و اولویت‌بندی استراتژی‌های حذف آلاینده‌های دارویی در فاضلاب بیمارستان‌های منتخب استان مرکزی با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

عباس جهانگیری[1*]

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

تاریخ دریافت:
۱۴۰۳/۱۲/۵

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۴/۲/۷

* نویسنده مسئول مقاله:
Jahangirieng@yahoo.com

چکیده:

زمینه و هدف: آلاینده‌های دارویی موجود در فاضلاب بیمارستانی یکی از مهم‌ترین تهدیدات زیست‌محیطی و بهداشتی محسوب می‌شوند. هدف این پژوهش، شناسایی و اولویت‌بندی استراتژی‌های حذف آلاینده‌های دارویی در فاضلاب بیمارستان‌های منتخب استان مرکزی بود.

مواد و روش‌ها: این پژوهش از نوع توصیفی-تحلیلی و مبتنی بر رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره است. ابتدا با مطالعه منابع علمی، مصاحبه با متخصصان و نظرخواهی از خبرگان حوزه بهداشت محیط و تصفیه فاضلاب، به کمک نرم‌افزار MAXQDA 2022 استراتژی‌ها و معیارهای مؤثر بر اولویت‌بندی آنان شناسایی شد. سپس، با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و نسخه ۱۱ نرم‌افزار Expert Choice، وزن معیارها و نیز امتیاز و رتبه‌ی هر استراتژی مشخص گردید.

نتایج: پنج استراتژی شامل: «ترکیب روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی»، «اکسیداسیون پیشرفته»، «راکتورهای بیولوژیکی هوازی و بی‌هوازی»، «فیلتراسیون غشایی»، «جذب سطحی با کربن فعال» و پنج معیار شامل: «کارایی حذف آلاینده‌ها»، «سازگاری زیست‌محیطی»، «هزینه‌های اجرایی و عملیاتی»، «دوام و پایداری فناوری» و «پیچیدگی و امکان‌پذیری اجرایی» شناسایی و تحلیل شد. وزن معیارها به ترتیب ۰/۳۵۷، ۰/۲۴۱، ۰/۱۹۸، ۰/۱۲۳، ۰/۰۸۱ و امتیاز نهایی استراتژی‌ها به ترتیب ۰/۳۱۲، ۰/۲۵۶، ۰/۲۱۱، ۰/۱۳۴، ۰/۰۸۷ محاسبه شد.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از سیستم‌های ترکیبی که شامل ترکیب روش‌های بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی است، بهترین استراتژی برای حذف آلاینده‌های دارویی در فاضلاب بیمارستان‌های منتخب در استان مرکزی محسوب می‌شود. این یافته‌ها می‌تواند به سیاست‌گذاران و مدیران بیمارستانی در انتخاب استراتژی‌های بهینه تصفیه فاضلاب کمک کند و در کاهش تأثیرات زیست‌محیطی آلاینده‌های دارویی و بهبود کیفیت منابع آبی مؤثر باشد.

کلیدواژه: آلاینده‌های دارویی، تصفیه فاضلاب، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، فاضلاب بیمارستانی، حذف آلاینده‌ها

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

مقدمه

در سال‌های اخیر، افزایش مصرف داروها در جوامع انسانی و تخلیه فاضلاب‌های بیمارستانی به محیط‌زیست، منجر به بروز نگرانی های جدی در مورد حضور آلاینده های دارویی در منابع آبی شده است. داروهای مصرف شده توسط بیماران یا به طور مستقیم از طریق ادرار و مدفوع دفع می شوند یا به دلیل تاریخ مصرف گذشته و استفاده نادرست به محیط زیست راه می‌یابند(۱). این ترکیبات که عمدتاً شامل آنتی‌بیوتیک‌ها، داروهای ضدالتهابی، هورمون ها، داروهای شیمی درمانی و ضدافسردگی ها هستند، حتی در غلظت های بسیار کم نیز می توانند تأثیرات مخربی بر اکوسیستم های آبی، سلامت انسان و سایر موجودات زنده داشته باشند(۲). آلاینده های دارویی به دلیل پایداری شیمیایی بالا و توانایی ایجاد مقاومت میکروبی، تهدیدی جدی برای محیط‌زیست محسوب می‌شوند(۳). حضور این ترکیبات حتی به مقدار بسیار کم در منابع آب سطحی و زیرزمینی باعث تغییر در رفتار زیستی آبزیان، اختلالات هورمونی و افزایش مقاومت آنتی‌بیوتیکی در میکروارگانیسم‌ها می‌شود(۴, ۵). این موضوع به‌ویژه در کشورهایی که سیستم های تصفیه فاضلاب بیمارستانی به طور خاص برای حذف آلاینده های دارویی طراحی نشده اند، از اهمیت بیشتری برخوردار است(۶).

در ایران بسیاری از بیمارستان‌ها فاضلاب خود را بدون تصفیه مؤثر به شبکه فاضلاب شهری تخلیه می کنند که می تواند منجر به آلودگی گسترده منابع آبی شود. در این میان استان مرکزی با وجود بیمارستان‌های متعدد و رشد روزافزون خدمات درمانی، با چالش آلاینده‌های دارویی در فاضلاب های بیمارستانی مواجه است. از آنجا که تصفیه‌خانه های فاضلاب شهری معمولاً توانایی حذف کامل این آلاینده‌ها را ندارند، لذا شناسایی و اولویت‌بندی استراتژی‌های حذف و کاهش آن‌ها در بیمارستان‌های استان مرکزی، امری ضروری است(۷). روش‌ها و استراتژی‌های متعددی برای حذف آلاینده‌های دارویی موجود در فاضلاب بیمارستانی پیشنهاد شده است که برخی از مهم‌ترین آنان عبارت‌اند از روش های فیزیکی (مانند فیلتراسیون غشایی، جذب سطحی با کربن فعال و اسمز معکوس(۸, ۹))، روش های شیمیایی (مانند اکسیداسیون پیشرفته، کلرزنی و استفاده از ازن(۱۰)) و روش‌های بیولوژیکی (مانند راکتورهای بیولوژیکی هوازی و بی هوازی، لجن فعال و فیلترهای زیستی(۱۱)) که هرکدام مزایا و معایب خاص خود را دارد. مطالعات متعددی در سطح ملی و بین‌المللی به بررسی اثربخشی روش‌های مختلف حذف آلاینده‌های دارویی از فاضلاب‌های بیمارستانی و صنعتی پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش‌ها نشان می‌دهد که فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته مانند ازون‌زنی، فتوفنتون خورشیدی، تخریب نوری با اشعه فرابنفش و فعال‌سازی مونوپرسولفات با اشعه فرابنفش از جمله روش‌های مؤثر در حذف طیف وسیعی از داروها از جمله دیکلوفناک، افلوکساسین و تتراسایکلین بوده‌اند که در برخی موارد راندمانی تا حدود ۹۹٪ داشته‌اند(۳, ۱۲-۱۴). ترکیب این روش‌ها با سایر فناوری‌ها نظیر اولتراسونیک، تابش اشعه فرابنفش، کاتالیست‌های خاص و کمپلکس‌سازی با سیکلودکسترین نیز موجب افزایش اثربخشی تصفیه شده و امکان بهینه‌سازی فرآیندهای موجود را فراهم کرده است(۱۲, ۱۳). از سوی دیگر، استفاده از روش های شیمیایی و الکتروشیمیایی مانند اکسیداسیون الکتروشیمیایی و هیپوکلریت سدیم نیز مورد توجه قرار گرفته و برای حذف داروهایی نظیر آتورواستاتین، متفورمین، سیکلوفسفامید و متادون راندمان‌هایی در حدود ۷۰ تا ۱۰۰ درصد گزارش شده است(۱۵-۱۷). همچنین،

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

برخی پژوهش‌ها بر این نکته تأکید دارند که روش‌های شیمیایی می‌توانند علاوه بر عملکرد مستقل، به‌عنوان پیش تصفیه مناسبی برای فرآیندهای بیولوژیکی مورد استفاده قرار گیرند و موجب افزایش بازده کلی سیستم شوند(۱۵). بر اساس مجموعه این یافته‌ها، می‌توان گفت که انتخاب استراتژی‌های مناسب و ترکیبی در تصفیه فاضلاب بیمارستانی، با در نظر گرفتن نوع آلاینده، شرایط فاضلاب و امکانات موجود، نقش مهمی در ارتقاء کارایی حذف آلاینده‌های دارویی ایفا می‌کند.

بررسی مطالعات گذشته نشان می‌دهد اولاً گرچه تحقیقات متعددی در زمینه آلاینده‌های دارویی و روش‌های کنترل آن‌ها انجام شده است، اما مطالعاتی که به‌طور خاص بر روی بیمارستان‌های استان مرکزی صورت پذیرد، بسیار محدود هستند؛ ثانیاً با توجه به آنکه هرکدام از استراتژی‌های حذف آلاینده‌های دارویی دارای مزایا و معایب خاص خود هستند و انتخاب مناسب‌ترین استراتژی نیازمند تحلیل دقیق معیارهای مختلفی همچون زیست‌محیطی، اقتصادی، فنی و غیره است، در مطالعات بسیار اندکی به اولویت‌بندی این استراتژی‌ها پرداخته شده است(۱۸, ۱۹). لذا پژوهش حاضر با هدف رفع این خلأ علمی، تلاش می‌کند تا مهم‌ترین استراتژی‌های حذف آلاینده‌های دارویی در بیمارستان‌های منتخب استان مرکزی را شناسایی و این استراتژی‌ها را با در نظر گرفتن معیارهای مختلف با استفاده از یک روش علمی اولویت‌بندی کند و راهکارهایی برای بهینه‌سازی مدیریت فاضلاب بیمارستانی ارائه دهد. بدیهی است نتایج این پژوهش می‌تواند برای سیاست‌گذاران، مدیران بیمارستان‌ها و مسئولان محیط‌زیست در جهت تصمیم‌گیری بهتر و کاهش اثرات مخرب آلاینده‌های دارویی مفید باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش از حیث هدف، کاربردی بوده و با رویکردی توصیفی-تحلیلی انجام شده است. از نظر ماهیت نیز در زمره‌ی تحقیقات ترکیبی (کمّی و کیفی) قرار می‌گیرد و در تابستان سال ۱۴۰۳ به اجرا درآمد. جامعه آماری تحقیق شامل ۱۶ بیمارستان دولتی و غیردولتی در استان مرکزی بود که از نظر حجم فاضلاب تولیدی و اهمیت زیست‌محیطی، در زمره‌ی مهم‌ترین مراکز درمانی منطقه محسوب می‌شدند.

در مرحله نخست، با بهره‌گیری از روش‌های کیفی، به شناسایی استراتژی‌های مؤثر در حذف آلاینده‌های دارویی از فاضلاب بیمارستانی و نیز معیارهای مهم در راستای اولویت‌بندی آن استراتژی‌ها پرداخته شد. به این منظور ابتدا مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی اسناد علمی شامل مقالات، گزارش‌های سازمانی و استانداردهای بین‌المللی در حوزه مدیریت فاضلاب بیمارستانی انجام شد. سپس به منظور تکمیل و تعمیق داده‌ها، از مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با ۱۵ نفر از خبرگان و متخصصان حوزه‌های محیط‌زیست، آب و فاضلاب و بهداشت محیط استفاده شد. راهنمای مصاحبه بر مبنای سؤالات باز طراحی گردید تا مشارکت‌کنندگان بتوانند آزادانه دیدگاه‌های خود را در خصوص استراتژی‌های حذف آلاینده‌های دارویی بیان کنند. مصاحبه‌ها به صورت حضوری یا تلفنی، هر کدام به مدت تقریبی ۳۰ تا ۴۵ دقیقه انجام شد. معیارهای انتخاب خبرگان شامل سابقه کاری مرتبط، تحصیلات تخصصی و تجربه عملی در حوزه مدیریت فاضلاب بیمارستانی بود.

در این پژوهش برای افزایش دقت و اطمینان از کیفیت داده‌ها چهار مؤلفه اعتبار[1]، قابلیت اعتماد[2]، قابلیت انتقال[3] و

[1] Credibility
[2] Dependability
[3] Transferability

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

تأییدپذیری[1] مورد توجه قرار گرفت. برای اعتبار، از راهبرد بازبینی مشارکت کنندگان استفاده شد؛ بدین صورت که نتایج اولیه تحلیل‌ها در اختیار برخی از مشارکت‌کنندگان قرار گرفت تا نظرات و بازخوردهای آنان دریافت شود و هم‌خوانی یافته‌ها با تجارب واقعی آن‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. همچنین با انتخاب مشارکت‌کنندگان متنوع از نظر ویژگی‌های جمعیت شناختی و موقعیت های شغلی، تلاش شد تا درک عمیق‌تری از پدیده مورد مطالعه حاصل شود. در راستای قابلیت اعتماد، تمامی مراحل انجام پژوهش شامل جمع آوری داده‌ها، کدگذاری و تحلیل به‌صورت دقیق مستندسازی شد تا روند پژوهش قابل پیگیری و بازبینی توسط سایر پژوهشگران باشد. همچنین از نظرات اساتید و همتایان برای بررسی و ارزیابی تحلیل‌ها بهره گرفته شد. برای قابلیت انتقال، با توصیف کامل بافت پژوهش، ویژگی‌های مشارکت‌کنندگان و شرایط فرهنگی و اجتماعی محل مطالعه، تلاش گردید تا زمینه انتقال پذیری یافته ها به موقعیت های مشابه برای خوانندگان فراهم شود. در نهایت، جهت تقویت تأییدپذیری، کلیه مراحل تحلیل، تصمیم گیری های پژوهشی و استدلال های تحلیلی در قالب یادداشت های میدانی و اسناد پژوهشی ثبت و نگهداری شد تا امکان بررسی و تأیید نتایج توسط سایر محققان وجود داشته باشد.

داده‌های کیفی حاصل از مراحل فوق با روش تحلیل محتوای کیفی و با استفاده از نرم‌افزار MAXQDA 2022 تحلیل شد. به این صورت با انجام مراحل فوق، استراتژی‌های مؤثر و نیز معیارهای مرتبط با اولویت‌بندی این استراتژی ها مشخص شد. در گام بعد لازم بود که وزن (اهمیت) نسبی هر معیار تعیین گردد؛ زیرا هر معیار در مقایسه با معیار دیگر، می تواند اهمیت بیشتر یا کمتری داشته باشد. لذا از روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)[2] و تکنیک بردار ویژه استفاده گردید. روش AHP یکی از معتبرترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که برای وزن‌دهی و اولویت‌بندی معیارها و گزینه ها کاربرد دارد و اولین بار توسط توماس ساعتی ارائه شده است. اساس این روش، مقایسات زوجی میان عناصر تصمیم (اعم از معیارها و گزینه ها) بر مبنای قضاوت‌های کارشناسی است(۱۸). برای به‌کارگیری AHP در گام اول ساختار سلسله مراتبی پژوهش شامل هدف، معیارها و استراتژی‌ها ترسیم شد. سپس برای تعیین وزن هر معیار، پرسشنامه‌ی مقایسات زوجی در اختیار خبرگان قرار گرفت و آن ها میزان اهمیت نسبی معیارها را به صورت زوجی با استفاده از مقیاس ۹ درجه‌ای ساعتی مشخص کردند و سپس میانگین آن نمرات محاسبه و به این ترتیب، ماتریس مقایسات زوجی معیارها جهت تعیین وزن آنان تشکیل شد. برای پردازش ماتریس و تعیین وزن معیارها، از نسخه ۱۱ نرم‌افزار Expert Choice کمک گرفته شد و به این صورت وزن هر معیار مشخص شد.

در مرحله بعد، برای اولویت‌بندی استراتژی‌های شناسایی‌شده، مشابه مرحله قبلی، پرسشنامه‌ی مقایسات زوجی در اختیار خبرگان قرار گرفت. با این تفاوت که در این مرحله، از آن ها خواسته شد تا میزان ارجحیت نسبی هر استراتژی از حیث هر معیار را به‌طور مجزا و با استفاده از مقیاس ۹ درجه‌ای ساعتی تعیین کنند. پس از آن، میانگین نمرات محاسبه و ماتریس های مقایسات زوجی استراتژی ها تشکیل گردید. برای پردازش این ماتریس‌ها، مجدد از نسخه ۱۱ نرم‌افزار Expert Choice بهره گرفته شد و امتیاز نهایی هر استراتژی محاسبه گردید. بر اساس امتیازات به‌دست‌آمده، استراتژی‌ها به ترتیب از بیشترین به کمترین نمره رتبه‌بندی شدند. به‌طور منطقی،

[1] Confirmability

[2] Analytic Hierarchy Process (AHP)

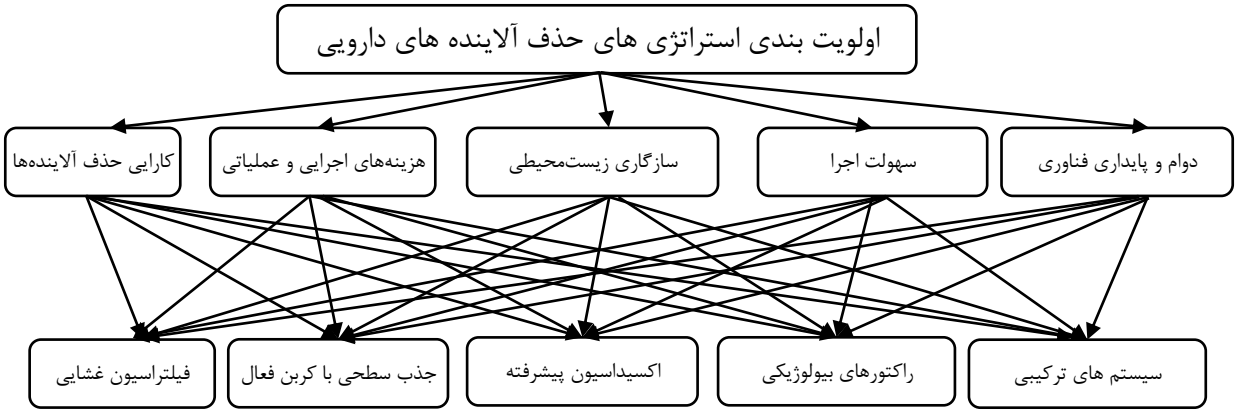
[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

استراتژی با بالاترین امتیاز، اولویت بیشتری در فرآیند تصمیم گیری دارد. در این پژوهش، برای بررسی اعتبار مقایسات زوجی، نرخ ناسازگاری[1] با استفاده از همان نرم‌افزار محاسبه گردید. مقایسات زمانی معتبر تلقی می‌شوند که مقدار آن کمتر از ۰/۱ باشد. در غیر این صورت، نیازمند بازبینی هستند.

یافته‌ها

در این پژوهش، داده‌های مورد نیاز توسط ۱۵ نفر از متخصصان حوزه آب و فاضلاب، محیط‌زیست و بهداشت محیط جمع آوری شد. توزیع جمعیت‌شناختی این افراد به شرح زیر است: ۴۰ درصد دارای مدرک دکتری و ۶۰ درصد دارای مدرک کارشناسی ارشد در رشته‌های مرتبط با مهندسی محیط‌زیست، بهداشت محیط و تصفیه فاضلاب بودند. ۶۰ درصد از خبرگان دارای بیش از ۱۰ سال سابقه کار در حوزه تصفیه فاضلاب و مدیریت آلاینده‌های زیست‌محیطی بودند. ۴۰ درصد از شرکت‌کنندگان از مدیران و کارشناسان تصفیه‌خانه‌های فاضلاب بیمارستانی، ۳۳ درصد از اساتید دانشگاه و ۲۷ درصد از متخصصان شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی بودند.

با انجام مصاحبه‌های نیمه ساختاریافته با خبرگان، در نهایت تعداد ۵ استراتژی شامل: فیلتراسیون غشایی (نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس)، جذب سطحی با کربن فعال، اکسیداسیون پیشرفته (پراکسید هیدروژن، اشعه فرابنفش و ازن‌زنی)، راکتورهای بیولوژیکی هوازی و بی‌هوازی و نیز ترکیب روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی (سیستم های هیبریدی) و ۵ معیار شامل: کارایی حذف آلاینده‌ها (میزان کاهش غلظت آلاینده‌های دارویی)، هزینه‌های اجرایی و عملیاتی (شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری، نگهداری و بهره‌برداری)، سازگاری زیست محیطی (حداقل تأثیرات منفی بر محیط زیست)، سهولت اجرایی (میزان دشواری پیاده سازی و نیاز به تخصص فنی بالا) و دوام و پایداری فناوری (کارایی روش در طول زمان و کاهش تولید پسماندهای ثانویه) شناسایی و انتخاب شد و بدین ترتیب ساختار سلسله مراتبی مسئله مطابق شکل ۱ ترسیم شد.



شکل ۱- ساختار سلسله مراتبی مسئله

[1] Consistency Ratio

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

با تحلیل مقادیر مقایسات زوجی معیارها توسط نسخه ۱۱ نرم‌افزار Expert choice، وزن هرکدام از آنان محاسبه شد که در جدول ۱، مقدار عددی هریک نشان داده شده است.

مشخص است که معیار کارایی حذف آلاینده‌ها مهم‌ترین معیار در انتخاب استراتژی‌های کنترلی بوده و پس از آن، سازگاری زیست‌محیطی و هزینه‌های اجرایی در رتبه‌های دوم و سوم قرار دارند. پس از تعیین وزن معیارها، مقایسات زوجی بین استراتژی‌ها (گزینه‌های تصمیم) انجام شد. در جدول ۲، نمره نهایی هر استراتژی و رتبه‌بندی آن‌ها ارائه شده است.

جدول ۱- وزن هر یک از معیارها

معیار	وزن نهایی	رتبه‌بندی
کارایی حذف آلاینده‌ها	۰/۳۵۷	۱
سازگاری زیست‌محیطی	۰/۲۴۱	۲
هزینه‌های اجرایی و عملیاتی	۰/۱۹۸	۳
دوام و پایداری فناوری	۰/۱۲۳	۴
پیچیدگی و امکان‌پذیری اجرایی	۰/۰۸۱	۵

جدول ۲- نمره نهایی و رتبه‌بندی استراتژی‌ها

استراتژی کنترل آلاینده‌های دارویی	وزن نهایی	رتبه‌بندی
ترکیب روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی	۰/۳۱۲	۱
اکسیداسیون پیشرفته (پراکسید هیدروژن، فرابنفش و ازن‌زنی)	۰/۲۵۶	۲
راکتورهای بیولوژیکی هوازی و بی‌هوازی	۰/۲۱۱	۳
فیلتراسیون غشایی (نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس)	۰/۱۳۴	۴
جذب سطحی با کربن فعال	۰/۰۸۷	۵

مطابق جدول ۲ «سیستم‌های ترکیبی» به‌عنوان کارآمدترین استراتژی کنترل آلاینده‌های دارویی انتخاب شد. «اکسیداسیون پیشرفته» در رتبه دوم قرار گرفته و پس از آن «راکتورهای بیولوژیکی» جایگاه سوم را دارد. میزان نرخ ناسازگاری ماتریس مقایسات زوجی کمتر از ۰/۱ محاسبه شد که قابل قبول می‌باشد.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

بحث

نتایج حاصل از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی نشان داد که معیار کارایی حذف آلاینده‌ها با وزن ۰/۳۵۷ مهم‌ترین عامل در انتخاب استراتژی‌های حذف آلاینده‌های دارویی است. این یافته منطقی به نظر می‌رسد، زیرا هدف اصلی از تصفیه فاضلاب بیمارستانی، حذف مؤثر آلاینده‌ها و کاهش تأثیرات مخرب آن‌ها بر محیط‌زیست و سلامت عمومی است. این نتیجه با مطالعات پیشین همخوانی دارد؛ برای مثال، خسروی پور و همکاران و رودریگز-سرین و همکاران در تحقیقات خود تأکید کردند که به منظور به حداقل رساندن تأثیرات مضر آلاینده‌های دارویی در فاضلاب بیمارستان‌ها، روش‌هایی با کارایی بالا باید به کار گرفته شود (۳, ۱۴).

معیار سازگاری زیست‌محیطی با وزن ۰/۲۴۱ در رتبه دوم قرار گرفت. این امر نشان‌دهنده‌ی اهمیت توجه به پیامدهای زیست‌محیطی استراتژی‌های تصفیه است. برخی روش‌ها ممکن است آلاینده‌های دارویی را حذف کنند اما خود باعث تولید پسماندهای ثانویه یا مواد مضر شوند که اثرات منفی بر محیط‌زیست دارند. برای مثال، استفاده از کربن فعال در جذب سطحی ممکن است نیازمند دفع مناسب مواد اشباع‌شده باشد تا از آلودگی بیشتر جلوگیری شود. معیار هزینه‌های اجرایی و عملیاتی با وزن ۰/۱۹۸ نیز نقش قابل توجهی در انتخاب استراتژی‌ها ایفا کرد. این نتیجه بیانگر آن است که تصمیم‌گیرندگان علاوه بر کارایی، به جنبه‌های اقتصادی نیز توجه دارند. هزینه‌های بالای برخی روش‌ها مانند فیلتراسیون غشایی، به‌ویژه در بیمارستان‌هایی که منابع مالی محدودی دارند ممکن است مانعی برای اجرای گسترده آن‌ها باشد.

معیارهای دوام و پایداری فناوری و پیچیدگی و امکان‌پذیری اجرایی به ترتیب با کسب وزن‌های ۰/۱۲۳ و ۰/۰۸۱ در رتبه‌های پایین‌تر قرار گرفتند. گرچه این معیارها اهمیت دارند، اما به نظر می‌رسد تصمیم‌گیرندگان بیشتر بر عملکرد کوتاه‌مدت و اقتصادی تمرکز داشته‌اند تا جنبه‌های بلندمدت یا پیچیدگی فنی.

مطابق نتایج حاصل از رتبه‌بندی استراتژی‌ها، سیستم‌های ترکیبی فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی با کسب نمره نهایی ۰/۳۱۲ به عنوان بهترین گزینه شناسایی شد. این سیستم‌ها با ترکیب مزایای چندین فناوری، توانسته‌اند کارایی بالایی در حذف آلاینده‌ها ارائه دهند. برای مثال، ترکیب اکسیداسیون پیشرفته با راکتورهای بیولوژیکی می‌تواند هم آلاینده‌های مقاوم را تخریب کند و هم مواد آلی ساده‌تر را توسط میکروارگانیسم‌ها تجزیه کند. این نتیجه با نتایج مطالعات نبوی و فهادی و نیز عبدالله زاده شرقی و همکاران که نشان دادند استفاده ترکیبی از روش‌های شیمیایی و بیولوژیکی اثربخشی بیشتری دارد، مطابقت دارد(۱۲, ۱۵). اکسیداسیون پیشرفته با نمره نهایی ۰/۲۵۶ در رتبه دوم قرار گرفت. این روش به دلیل توانایی بالا در تخریب ترکیبات مقاوم شیمیایی مانند آنتی‌بیوتیک‌ها و داروهای ضدالتهابی مورد توجه قرار گرفته است. گرچه هزینه‌های اجرایی آن نسبتاً بالا است، اما سازگاری زیست‌محیطی و کارایی حذف بالای آن باعث شده تا جایگاه ویژه‌ای در مدیریت فاضلاب بیمارستانی داشته باشد. نیکنام و همکاران و نیز خسروی پور و همکاران در مطالعات خود عنوان نموده‌اند که روش‌های اکسیداسیون پیشرفته در حذف داروهای مقاوم مؤثرند، اما هزینه‌های بالای عملیاتی باعث محدودیت در کاربرد آن‌ها می‌شود(۱۴, ۱۶).

راکتورهای بیولوژیکی هوازی و بی‌هوازی با نمره نهایی ۰/۲۱۱ رتبه سوم را کسب کردند. این روش‌ها به دلیل هزینه‌های پایین‌تر و سازگاری زیست‌محیطی مناسب، گزینه‌ای

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

جذاب هستند، اما محدودیت‌هایی مانند زمان طولانی‌تر فرآیند تصفیه و حساسیت به تغییرات شرایط محیطی ممکن است عملکرد آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهد.

در مقابل، فیلتراسیون غشایی و جذب سطحی با کربن فعال به ترتیب با کسب نمرات نهایی ۰/۱۳۴ و ۰/۰۸۷ در رتبه‌های چهارم و پنجم قرار گرفتند. گرچه فیلتراسیون غشایی توانایی بالایی در حذف برخی آلاینده‌ها دارد، اما هزینه‌های عملیاتی بالا و نیاز به نگهداری مداوم از جمله چالش‌های اصلی آن محسوب می‌شود. جذب سطحی نیز به دلیل محدودیت ظرفیت جذب کربن فعال و نیاز به جایگزینی مکرر، گزینه‌ای کم‌تر مطلوب بوده است. مطالعات خو و نیز نصراله زاده و همکاران نشان داد که جذب سطحی با کربن فعال اگرچه در حذف برخی آلاینده ها کارایی دارد، اما مشکلات مربوط به احیای کربن و تولید پسماند، استفاده از این روش را به شدت محدود می‌کند(۱۹, ۲۰).

پژوهش حاضر با برخی محدودیت‌ها همراه بود که مهم‌ترین آنان، محدودیت در دسترسی به داده‌های دقیق در مورد غلظت آلاینده های دارویی در فاضلاب بیمارستانی به دلیل عدم انجام پایش‌های مستمر، چالش در گردآوری نظرات خبرگان به دلیل مشغله کاری متخصصان و محدودیت زمانی، عدم امکان اجرای آزمایش‌های عملی و مقایسه میدانی روش‌های مختلف تصفیه و همچنین عدم بررسی جنبه‌های قانونی و سیاست‌گذاری در مدیریت آلاینده‌های دارویی بود که می‌تواند موضوع تحقیقات آینده باشد.

نتیجه‌گیری

با توجه به یافته‌های پژوهش و تحلیل‌های انجام‌شده، می‌توان نتیجه گرفت که اولاً انتخاب استراتژی‌های کنترل آلاینده‌های دارویی در فاضلاب بیمارستانی نیازمند ارزیابی دقیق و همه‌جانبه‌ی معیارهای مختلف از جمله کارایی حذف آلاینده‌ها، سازگاری زیست‌محیطی، هزینه‌های اجرایی و عملیاتی، دوام و پایداری فناوری، پیچیدگی و امکان‌پذیری اجرایی و غیره است. ثانیاً روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ابزاری کارآمد برای اولویت‌بندی این استراتژی‌ها بر اساس نظرات خبرگان و معیارهای چندگانه است. ثالثاً با در نظر گرفتن شرایط و امکانات موجود در بیمارستان‌های استان مرکزی، سیستم‌های ترکیبی فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی به عنوان کارآمدترین استراتژی برای کنترل آلاینده‌های دارویی شناسایی شد. این روش با بهره‌گیری از مزایای چندین فناوری، می‌تواند کارایی بالایی در حذف آلاینده‌ها ارائه دهد؛ لذا توسعه‌ی استفاده از این سیستم در بیمارستان‌ها توصیه می‌شود. اکسیداسیون پیشرفته نیز به عنوان یک روش مؤثر دیگر در رتبه دوم قرار گرفت که نشان‌دهنده اهمیت این روش در تخریب ترکیبات مقاوم شیمیایی است. همچنین، تدوین استانداردهای سخت‌گیرانه‌تر در سطح ملی و منطقه‌ای برای کنترل این نوع از آلاینده‌ها و تقویت نظام نظارتی بر اجرای آن‌ها، از اقدامات ضروری برای ارتقای کیفیت فاضلاب بیمارستانی به شمار می‌رود. سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین تصفیه به‌ویژه روش‌های اکسیداسیون پیشرفته و بیوراکتورهای غشایی می تواند به طور قابل توجهی کارایی حذف آلاینده‌های دارویی را افزایش دهد. اجرای برنامه‌های پایش و مانیتورینگ مستمر نیز نقش مهمی در کنترل انتشار این آلاینده‌ها و جلوگیری از ورود آن‌ها به منابع آب ایفا می‌کند. در کنار این اقدامات، ارتقای سطح آگاهی و توانمندی مدیران بیمارستانی و کارشناسان تصفیه فاضلاب درباره مخاطرات ناشی از آلاینده‌های دارویی و شیوه‌های مؤثر برای کاهش آن‌ها، از اولویت‌های مهم محسوب می‌شود. به طور کلی، نتایج این پژوهش می‌تواند به مدیران بیمارستان‌ها و

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

سیاست‌گذاران محیط‌زیستی کمک کند تا با انتخاب استراتژی‌های مناسب و با در نظر گرفتن معیارهای مختلف، گام مؤثری در کاهش اثرات مخرب آلاینده‌های دارویی در استان مرکزی و مناطق مشابه بردارند.

برای توسعه‌ی پژوهش‌های آینده در این حوزه، پیشنهاد می‌شود که مطالعات آزمایشگاهی و میدانی به‌منظور ارزیابی کارایی روش‌های مختلف تصفیه آلاینده‌های دارویی در بیمارستان‌های استان مرکزی انجام گیرد. همچنین، انجام مطالعات هزینه-فایده برای شناسایی گزینه‌های اقتصادی بهینه در زمینه تصفیه فاضلاب بیمارستانی می‌تواند راهگشا باشد. بررسی اثرات زیست‌محیطی و بهداشتی آلاینده‌های دارویی باقی‌مانده در منابع آبی و تحلیل تأثیر آن‌ها بر اکوسیستم‌های آبی و سلامت انسان نیز از جمله محورهای تحقیقاتی پیشنهادی است که می‌تواند به درک جامع‌تر ابعاد این مسئله و ارائه راهکارهای اثربخش‌تر کمک کند.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از مدیران و کارشناسان شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی که با ارائه اطلاعات و مشاوره‌های تخصصی در انجام این تحقیق همکاری نمودند، صمیمانه سپاسگزاری می‌شود. همچنین، از کارشناسان و مدیران تاسیسات بیمارستان‌های منتخب استان مرکزی که در فرآیند جمع‌آوری داده‌ها و تکمیل پرسشنامه‌ها مشارکت داشتند، قدردانی به عمل می‌آید. قدردانی ویژه‌ای نیز از اساتید و متخصصان حوزه بهداشت محیط و تصفیه فاضلاب که با ارائه نظرات ارزشمند خود به بهبود کیفیت این پژوهش کمک کردند، به‌عمل می‌آید.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

References

1. Mwenesongole E. Analysis of drugs in wastewater: Forensic science perspective. Forensic science review. 2023 Jul;35(2):79-105. PubMed PMID: 37531496. Epub 2023/08/02. eng.
2. Mackuľak T, Cverenkárová K, Vojs Staňová A, Fehér M, Tamáš M, Škulcová AB, et al. Hospital Wastewater-Source of Specific Micropollutants, Antibiotic-Resistant Microorganisms, Viruses, and Their Elimination. Antibiotics (Basel, Switzerland). 2021 Sep 4;10(9). PubMed PMID: 34572652. Pubmed Central PMCID: PMC8471966. Epub 2021/09/29. eng.
3. Rodríguez-Serin H, Gamez-Jara A, De La Cruz-Noriega M, Rojas-Flores S, Rodriguez-Yupanqui M, Gallozzo Cardenas M, et al. Literature Review: Evaluation of Drug Removal Techniques in Municipal and Hospital Wastewater. International journal of environmental research and public health. 2022 Oct 12;19(20). PubMed PMID: 36293682. Pubmed Central PMCID: PMC9602914. Epub 2022/10/28. eng.
4. Zhang H, Shen N, Li Y, Hu C, Yuan P. Source, transport, and toxicity of emerging contaminants in aquatic environments: A review on recent studies. Environmental Science and Pollution Research. 2023;30(58):121420-37.
5. Kumar M, Chen H, Sarsaiya S, Qin S, Liu H, Awasthi MK, et al. Current research trends on micro-and nano-plastics as an emerging threat to global environment: a review. Journal of Hazardous Materials. 2021;409:124967.
6. Jamialahmadi N, Rahimi S, Esmaeili A. Hospital wastewater in Iran: a systematic review and challenges for proper management during coronavirus disease (2019) pandemic. Journal of Applied Research in Water and Wastewater. 2021;8(1):59-65.
7. Mazlomi S, Mahvi AH, Mamghani negad M, Kamalzadeh M, Daryaei GA, Khodayari M. Quantitative and Qualitative Assessment of Arak city HospitalWastewater on Sewage Network and Treatment Plant of ArakCity,)from Point of Organic Pollutants and Heavy Metals). Journal of Environmental Health Engineering. 2014;1(2):84-92. [Article in persian].
8. Fang C, Ou T, Wang X, Rui M, Chu W. Effects of feed solution characteristics and membrane fouling on the removal of THMs by UF/NF/RO membranes. Chemosphere. 2020;260:127625.
9. Fujioka T, Takeuchi H, Tahara H, Murakami H, Boivin S. Effects of functional groups of polyfluoroalkyl substances on their removal by nanofiltration. Water Research X. 2024;24:100233.
10. Bharath G, Banat F, Haija MA. Photoelectrochemical advanced oxidation processes for simultaneous removal of antibiotics and heavy metal ions in wastewater using 2D-on-2D WS2@ CoFe2O4 heteronanostructures. Environmental Pollution. 2023;339:122753.
11. Kasra Kermanshahi R, Mobarak E. Applications of corrosion-causing bacteria in cleaning environmental pollutants (chemical compounds, pesticides, detergents, plastics). Journal of Microbial Biology. 2024;13(50):41-56. [Article in persian].
12. Nabavi SR, Fahadi M. A Review on Removal of Pharmaceuticals Contaminants from Wastewater Using Ozonation and Advanced Oxidation Processes. Journal of Water and Wastewater Science and Engineering. 2018;3(4):5-17. [Article in persian].
13. Keniche A, Anissa L, Oussama M. Removal of Drugs from Hospital Wastewater by Photodegradation. Medical Technologies Journal. 2020;4(1):523-4.
14. Khosravi Pour L, Mehrdadi N, Takdastan A, Nabi Bidhendi G. The Removal of Tetracycline Antibiotic by Advanced Oxidation Method of Sodium Monopersulfate Activated by Steel Industry Slag from Pharmaceutical Effluent. Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab (in persian). 2022;33(2):17-30. [Article in persian].
15. Abdollahzadeh Sharghi E, Yadegari F, Davarpanah L. Evaluation of the treatment of pharmaceutical industry wastewater using chemical and biological methods (case study: treatment of wastewater produced by production of Methadone and Capecitabine). Journal of Health. 2021;12(1):7-24.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]

16.Niknam E, Ghahraman Afshar M, Ghaseminejad H, Esamaeilpour M. Pharmaceutical Pollutants Removal by Using Electrochemical Oxidation Technique. Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab (in persian). 2022;33(4):71-81. [Article in persian].
17.Asrari E, Saemian A. Study of cyclophosphamide removal by using sodium hypochlorite: A case study on hospitals sewage. Journal of Applied Research in Water and Wastewater. 2024;11(2):132-7.
18.Zhang S, Liu J, Li C, Yu F, Jing L, Chen W. Evaluation of water resources utilization efficiency based on DEA and AHP under climate change. Water. 2023;15(4):718.
19.Xu J, Cao Z, Zhang Y, Yuan Z, Lou Z, Xu X, et al. A review of functionalized carbon nanotubes and graphene for heavy metal adsorption from water: Preparation, application, and mechanism. Chemosphere. 2018;195:351-64.
20.Nasrollahzadeh M, Sajjadi M, Iravani S, Varma RS. Carbon-based sustainable nanomaterials for water treatment: state-of-art and future perspectives. Chemosphere. 2021;263:128005.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-05]