Journal of Marine Medicine
Spring 2026, Volume 8, Issue 1
Pages: 9-18
10.30491/8.1.9

Decentralized Methods of Wastewater Management in Small Communities

Hamed Akbari [1], Mohammad Nobakht [2*], Kian Kianmehr [1]

[1] Health Research Center, Lifestyle Institute, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[2] Marine Medicine Research Center, Baqiyatallah University of medical science, Tehran, Iran

Received: 9 April 2025 **Accepted:** 24 February 2026

Abstract

Surface waters are among the most important components of the environment. Providing wastewater treatment services that are economically feasible while accounting for technical considerations in small communities remains a significant challenge in many parts of the world. The limitations and shortcomings of centralized wastewater treatment systems for small communities are well recognized. Centralized wastewater collection and treatment systems are costly to construct, operate, and maintain, particularly in areas with low population density and widely dispersed wastewater generation points. Furthermore, developing and underprivileged regions often face financial constraints in constructing centralized facilities, as well as a lack of technical expertise required for their effective management and operation. In this context, decentralized wastewater treatment approaches, which rely on on-site systems or small-scale networks serving limited areas, have attracted increasing attention as viable alternatives. These approaches offer greater managerial flexibility and allow for the application of a wide range of technologies, from simple to advanced. Decentralized systems not only represent a sustainable long-term solution for small communities, but also demonstrate advantages in terms of reliability and overall cost-effectiveness. This paper provides a review of various decentralized approaches to wastewater treatment and management, with particular emphasis on their applicability in small communities. Although numerous barriers and challenges exist in wastewater management for such communities, many of these issues can be addressed through appropriate planning and the implementation of relevant policies. A thorough understanding of local environmental and climatic conditions is essential for selecting suitable technologies and should be achieved through comprehensive site assessment. Moreover, direct and continuous management of decentralized wastewater treatment systems is necessary to ensure regular inspection and maintenance. Finally, management strategies should be specifically tailored to the social, cultural, environmental, and economic conditions of the target region.

Keywords: Decentralized wastewater management, islands, small communities, environment, wastewater treatment, Persian Gulf

[*]**Corresponding author: Mohammad Nobakht**, **Email**: marinemedicine@gmail.com
Address: Marine Medicine Research Center, Baqiyatallah University of medical science, Tehran, Iran.

مجله طب دریا
دوره ۸، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵
صفحات: ۱۸-۹
10.30491/8.1.9

روش‌های غیرمتمرکز تصفیه و مدیریت فاضلاب در اجتماعات کوچک

حامد اکبری [۱]، محمد نوبخت [*۲]، کیان کیانمهر [۱]

[۱] مرکز تحقیقات بهداشت و تغذیه، پژوهشکده سبک زندگی، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران
[۲] مرکز تحقیقات طب دریا، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله، تهران، ایران

دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۱/۲۰ **پذیرش مقاله:** ۱۴۰۴/۱۲/۰۵

چکیده

آب‌های سطحی از مهم‌ترین مؤلفه‌های محیط‌زیست به شمار می‌روند. فراهم‌سازی خدمات تصفیه فاضلاب با توجیه اقتصادی و با لحاظ ملاحظات فنی در اجتماعات کوچک، در بسیاری از نقاط جهان با چالش‌های جدی همراه است. محدودیت‌ها و نارسایی‌های سامانه‌های متمرکز تصفیه فاضلاب در این‌گونه اجتماعات تا حد زیادی شناخته شده‌اند. سامانه‌های جمع‌آوری و تصفیه متمرکز، به‌ویژه در مناطقی با تراکم جمعیتی پایین و پراکندگی منابع تولید فاضلاب، مستلزم هزینه‌های بالای ساخت، بهره‌برداری و نگهداری هستند. افزون بر این، مناطق در حال توسعه و کمتر برخوردار، غالباً با محدودیت‌های مالی برای احداث تأسیسات متمرکز و کمبود دانش فنی لازم برای مدیریت و بهره‌برداری مؤثر از آن‌ها مواجه‌اند. در این راستا، رویکردهای غیرمتمرکز تصفیه فاضلاب، که مبتنی بر به‌کارگیری سامانه‌های در محل یا شبکه‌های محدود در مقیاس نواحی کوچک هستند، به‌عنوان گزینه‌ای جایگزین مورد توجه فزاینده قرار گرفته‌اند. این رویکردها با فراهم‌سازی انعطاف‌پذیری مدیریتی، امکان استفاده از طیف متنوعی از فناوری‌های ساده تا پیشرفته را فراهم می‌کنند. سامانه‌های غیرمتمرکز نه‌تنها می‌توانند راه‌حلی پایدار و بلندمدت برای اجتماعات کوچک باشند، بلکه از منظر قابلیت اطمینان عملیاتی و هزینه‌های کلی نیز مزیت‌های قابل‌توجهی دارند. در این مقاله، مروری بر رویکردهای گوناگون غیرمتمرکز در تصفیه و مدیریت فاضلاب ارائه شده و تمرکز اصلی بر ارزیابی قابلیت کاربرد آن‌ها در اجتماعات کوچک است. با وجود چالش‌ها و موانع متعدد در مدیریت فاضلاب این اجتماعات، بسیاری از این مسائل از طریق برنامه‌ریزی مناسب و اجرای سیاست‌های هدفمند قابل رفع هستند. شناخت دقیق شرایط محیطی و اقلیمی، نقش اساسی در انتخاب فناوری مناسب ایفا می‌کند و این امر باید از طریق ارزیابی جامع محل انجام پذیرد. همچنین، مدیریت مستقیم و مستمر سامانه‌های غیرمتمرکز تصفیه فاضلاب ضروری است تا از بازرسی و نگهداری منظم آن‌ها اطمینان حاصل شود. در نهایت، راهبردهای مدیریتی باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که با شرایط اجتماعی، فرهنگی، زیست‌محیطی و اقتصادی منطقه مورد نظر همخوانی داشته باشند.

کلیدواژه‌ها: مدیریت غیرمتمرکز فاضلاب، اجتماعات کوچک، محیط زیست، تصفیه فاضلاب، خلیج فارس

*نویسنده مسئول: **محمد نوبخت**. پست الکترونیک: marinemedicine@gmail.com
آدرس: مرکز تحقیقات طب دریا، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله، تهران، ایران.

مقدمه

آب‌های سطحی از اساسی‌ترین مؤلفه‌های محیط‌زیست به شمار می‌روند و نقشی حیاتی در تداوم حیات انسان و سایر موجودات زنده ایفا می‌کنند. ازاین‌رو، نظام‌های حقوقی و مقرراتی مدیریت منابع آب در کشورهای مختلف، اهمیت ویژه‌ای برای صیانت از این منابع در برابر انواع آلاینده‌ها قائل هستند. چارچوب اصلی قوانین مرتبط با تخلیه فاضلاب به منابع آب، مبتنی بر ارزیابی تغییرات ایجادشده در غلظت و بار آلاینده‌ها در محیط‌های آبی است (۱). به‌طور کلی، فاضلاب به آبی اطلاق می‌شود که ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، زیستی یا پرتوزایی آن دچار تغییر شده است، به‌گونه‌ای که ممکن است شرایط و قابلیت‌های لازم برای استفاده مجدد در برخی کاربردها را از دست داده باشد (۲). برآوردهای انجام‌شده توسط سازمان جهانی بهداشت و شورای همکاری تأمین آب و بهداشت حاکی از آن است که حدود ۲۵ درصد از جمعیت شهری کشورهای در حال توسعه به خدمات بهداشتی مناسب دسترسی ندارند، در حالی که این میزان در میان جمعیت روستایی و ساکنان اجتماعات کوچک این کشورها تا حدود ۸۲ درصد افزایش می‌یابد. کمبود یا نبود خدمات بهداشتی کافی زمینه‌ساز بروز و گسترش بیماری‌های متعددی است. در این راستا، سازمان جهانی بهداشت گزارش می‌کند که سالانه حدود ۲/۱ میلیون نفر در اثر ابتلا به بیماری‌های اسهالی جان خود را از دست می‌دهند (۳). در مقایسه با مناطق شهری که در زمینه تصفیه فاضلاب به پیشرفت‌های قابل‌توجهی دست یافته‌اند، اجتماعات کوچک به دلیل برخی محدودیت‌های ساختاری و ذاتی، غالباً با محرومیت مواجه هستند. تأسیسات تصفیه فاضلاب به‌عنوان سرمایه‌گذاری‌های کلان، مستلزم هزینه‌های اولیه بالا و همچنین مخارج قابل توجه بهره‌برداری و نگهداری می‌باشند. محدودیت منابع مالی در سطح محلی، کمبود تخصص فنی و ناکافی بودن سازوکارهای تأمین مالی، از عوامل اصلی بهره‌برداری نامطلوب از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در کشورهای در حال توسعه محسوب می‌شوند (۴). علاوه بر این، روستاها یا سکونتگاه‌های کوچک و پراکنده با چگالی جمعیت پایین می‌توانند از سیستم‌های غیرمتمرکز ساده‌تر و مقرون به صرفه بهره‌مند شوند (۵).

بر اساس نتایج مطالعات آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده، سامانه‌های غیرمتمرکز مدیریت فاضلاب برای جوامعی با تراکم جمعیتی پایین و شرایط مکانی متنوع مناسب بوده و از نظر اقتصادی در مقایسه با سامانه‌های متمرکز مقرون‌به‌صرفه‌تر محسوب می‌شوند. این سامانه‌ها می‌توانند طیفی از گزینه‌ها را دربر گیرند؛ از به‌کارگیری سامانه‌های متعارف سپتیک تانک منفرد گرفته تا سیستم‌های پیشرفته کوچک‌مقیاس و یا فناوری‌های تصفیه طبیعی. با این حال، کارایی و موفقیت رویکرد غیرمتمرکز به‌طور قابل‌توجهی به تدوین و اجرای یک برنامه مدیریتی منسجم وابسته است که انجام بازرسی‌ها و عملیات نگهداری منظم سامانه‌ها را تضمین نماید (۵).

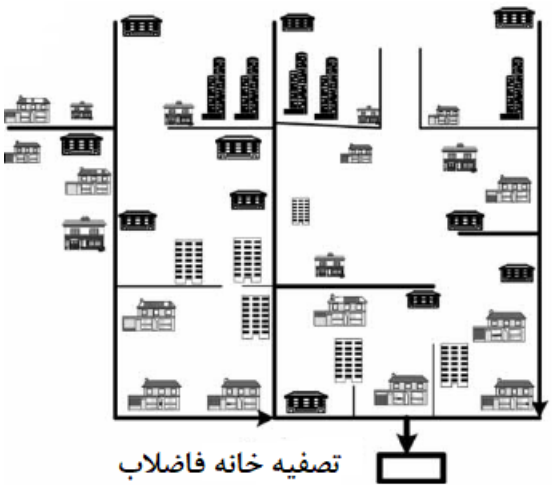
جمع‌آوری، تصفیه و دفع سه مؤلفه اصلی هر سامانه مدیریت فاضلاب را تشکیل می‌دهند؛ هرچند در مقایسه با فرآیندهای تصفیه و دفع، بخش جمع‌آوری از اهمیت فنی کمتری برخوردار است. با این حال، در سامانه‌های متمرکز، هزینه‌های مربوط به جمع‌آوری فاضلاب بیش از ۶۰ درصد از کل بودجه مدیریت فاضلاب را به خود اختصاص می‌دهد و این موضوع به‌ویژه در اجتماعات کوچک با تراکم جمعیتی پایین نمود بیشتری دارد. در مقابل، سامانه‌های غیرمتمرکز با به حداقل رساندن نیاز به شبکه‌های گسترده جمع‌آوری، تمرکز اصلی خود را بر فرآیندهای تصفیه و دفع فاضلاب معطوف می‌سازند (۶).

اگرچه توسعه پایدار مجموعه‌ای از شاخص‌های زیست‌محیطی، فنی و اجتماعی‌ـفرهنگی را در بر می‌گیرد، در اغلب کشورهای در حال توسعه، مؤلفه اقتصادی به‌عنوان مهم‌ترین عامل در فرآیند تصمیم‌گیری مطرح است. در همین راستا، مدیریت غیرمتمرکز فاضلاب به دلیل نیاز کمتر به منابع و برخورداری از سطح بالاتری از پایداری زیست‌محیطی، به‌تدریج مورد توجه بیشتری قرار گرفته است (۵). با توجه به محدودیت‌های فنی و مالی حاکم بر اغلب جوامع روستایی، حتی در صورت فراهم بودن منابع مالی لازم برای احداث سامانه‌های متمرکز، بهره‌برداری و نگهداری این سامانه‌ها معمولاً با دشواری‌ها و هزینه‌های قابل‌توجهی همراه است. ازاین‌رو، انجام مطالعات و پژوهش‌هایی مبتنی بر نیازها و شرایط بومی، به‌جای به‌کارگیری الگوهای برگرفته از سایر کشورها، امری ضروری تلقی می‌شود. در این راستا، مطالعه حاضر به مرور رویکردهای مختلف غیرمتمرکز در تصفیه و مدیریت فاضلاب پرداخته و بر قابلیت کاربرد و چالش‌های مرتبط با آن‌ها در اجتماعات کوچک و جزایر ایران تأکید می‌کند.

رویکردهای تصفیه فاضلاب

رویکردهای تصفیه فاضلاب از سیستم‌های متمرکز متعارف تا سیستم‌های کاملاً غیرمتمرکز در محل (On-Site) و سیستم‌های خوشه‌ای (نیمه متمرکز : فاضلاب بخشی از یک ناحیه بصورت متمرکز جمع آوری و تصفیه می‌شود.) متغیر است. سیستم‌های متمرکز که معمولاً متعلق به بخش عمومی و دولتی هستند، مقادیر زیادی فاضلاب را از کل جوامع بزرگ جمع‌آوری و تصفیه می‌کنند، بنابراین از لوله‌های بزرگ، حفاری‌های عمده و منهول‌ها برای دسترسی استفاده می‌کنند (۷). از سوی دیگر، سیستم‌های غیرمتمرکز (در محل)، فاضلاب خانه‌ها و ساختمان‌های جدا از هم را تصفیه می‌کنند (۸). در حالی که سیستم‌های غیرمتمرکز فاضلاب را در یک نقطه‌ی نزدیک به نقطه تولید، جمع‌آوری، تصفیه و استفاده مجدد یا دفع می‌کنند، سیستم‌های متمرکز معمولاً در فواصل دورتر از نقطه تولید، پساب را مجدداً استفاده یا دفع می‌کنند. برخلاف سیستم‌های درمحل، سیستم‌های خوشه‌ای نیازمند

لوله‌کشی هستند، اما طول لوله‌های مورد نیاز در آنها نسبت به سیستم‌های متمرکز متعارف کوتاه‌تر است. سیستم‌های خوشه‌ای در مناطقی که تراکم جمعیت بالاتر یا شرایط خاک نامناسب و توپوگرافی نامساعد دارند، ترجیح داده می‌شوند. به طور کلی، سیستم خوشه‌ای در مقایسه با سیستم های درمحل، می‌توانند به عنوان یک سیستم متمرکز در نظر گرفته شود، اما در مقایسه با سیستم های متمرکز شهری، تمرکز کمتری دارند. در واقع سیستم‌های خوشه‌ای، مسئول تصفیه فاضلاب یک ناحیه خاص هستند (۶) (شکل -۱).



شکل-۱. نمای کلی سیستم متمرکز مدیریت فاضلاب (۹)

سیستم متمرکز در برابر سیستم غیرمتمرکز تصفیه فاضلاب

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، سیستم‌های تصفیه فاضلاب متمرکز شامل فرآیندهای پیشرفته جمع‌آوری و تصفیه هستند که مقادیر زیادی از فاضلاب را جمع‌آوری، تصفیه و تخلیه می‌کنند. بنابراین، ساخت سیستم تصفیه متمرکز برای جوامع کوچک، مناطق روستایی یا حومه‌های شهری در کشورهای درحال توسعه، بار مالی سنگینی را بر دوش دولت می‌گذارد (۸،۱۰). سیستم‌های تصفیه فاضلاب غیرمتمرکز یا خوشه‌ای برای فعالیت در مقیاس کوچک طراحی شده‌اند. این سیستم‌ها نه تنها تاثیرات زیست‌محیطی و بهداشت عمومی را کاهش می‌دهند، بلکه بسته به نوع جامعه، گزینه‌های فنی و شرایط محلی، میزان استفاده مجدد از فاضلاب را افزایش می‌دهند. برخلاف سیستم‌های متمرکز، سیستم‌های غیرمتمرکز به ویژه برای جوامعی با طرح‌بندی نامناسب مانند مناطق روستایی با تراکم جمعیت پراکنده بسیار مناسب‌تر هستند (۱۱). سیستم‌های متمرکز به دلیل اینکه پنهان هستند، نیاز کمتری به مشارکت و آگاهی عمومی دارند. با این حال، برای جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب، سیستم‌های متمرکز نیازمند پمپ‌ها، لوله‌کشی و انرژی هستند که هزینه سیستم را افزایش می‌دهد (۱۲). امروزه، سیستم‌های غیرمتمرکز می‌توانند براساس شرایط محل طراحی شوند و مشکلات ناشی از شرایط بد زمین مانند سطح بالای آب زیرزمینی، خاک‌های غیرقابل نفوذ، بستر سنگی کم عمق و سنگ‌های دولومیت را حل کنند .علاوه بر این، سیستم‌های غیرمتمرکز امکان انعطاف‌پذیری در مدیریت را فراهم می‌کنند و ترکیب فرآیندهای مختلف برای رسیدن به اهداف تصفیه و پاسخ به نیازهای حفاظتی محیط زیست و بهداشت عمومی را امکان‌پذیر می‌سازند. با وجود اینکه سیستم‌های تصفیه غیرمتمرکز مناسب‌تر هستند، مشکلاتی نیز وجود دارد. به عنوان مثال، در صورت مدیریت نادرست تانک‌های سپتیک، احتمال سرریز فاضلاب به مناطق مجاور وجود دارد که پیامدهای زیان‌بار بهداشتی به دنبال دارد (۱۳). امروزه، توسعه‌ی پایدار به عنوان مسئله‌ای کلیدی در مدیریت فاضلاب مطرح است، اما سیستم‌هایی که برای مدیریت پایدار ارائه می‌شوند آن‌قدر گران هستند که کشورهای در حال توسعه قادر به پذیرش آنها نیستند (۵). به کارگیری سیستم‌های فاضلاب متمرکز برای جوامع کوچک و روستایی نه تنها از نظر ارائه خدمات بلکه از نظر بهره‌برداری و نگهداری نیز هزینه‌بر است. مهم‌تر از همه، در غیاب کمک‌های فنی و مالی لازم، اجرای سیستم‌های متمرکز امکان‌پذیر نخواهد بود (۱۴). این چالش‌ها نیازمند برنامه‌ریزی دقیق و انتخاب فناوری مناسب مبتنی بر شرایط محلی هستند.

سیستم‌های تصفیه فاضلاب متمرکز و غیرمتمرکز در طول سالیان گذشته بصورت همزمان وجود داشته‌اند. هرچند کمبود آب و منابع مالی لازم برای سیستم‌های متمرکز سبب شده است که این نوع سیستم‌ها هنوز در بسیاری از جوامع کوچک کشورهای در حال توسعه رایج باشند (۱۵). رایج‌ترین سیستم غیرمتمرکز، سیستم سپتیک تانک متداول است. اگرچه ده ها نوع سیستم مختلف تصفیه در محل وجود دارد که ممکن است متناسب با شرایط خاص محیطی باشند (۱۶)، اما هیچ یک از این فناوری‌ها مختص مناطق با محدودیت های اقتصادی و فنی بالا نیستند (۱۷). در واقع، هر فناوری مناسب و مقرون به صرفه می‌تواند در هر جایی به کار گرفته شود. به عنوان مثال، تالاب‌ها که برای کشورهای در حال توسعه مقرون به صرفه هستند، در کشورهای توسعه‌یافته نیز محبوبیت یافته‌اند (۱۷, ۱۸). سیستم‌های مکانیزه متعارف که پیچیده و گران قیمت هستند، انتظار نمی‌رود راه‌حلی پایدار برای جوامع کوچک باشند. در انتخاب فناوری‌های تصفیه، سیستم‌های مکانیزه و غیرمکانیزه باید با تمام مزایا و معایبشان به خوبی شناخته شوند. سیستم‌های مکانیزه به لحاظ نیازهای فضایی نسبت به سیستم‌های طبیعی کارآمدترند، اما از نظر اقتصادی، بار مالی بیشتری را بر دوش ذی نفعان می‌گذارد. این سیستم‌ها علیرغم تصفیه فاضلاب و تولید پساب بسیار با کیفیت، از نظر هزینه های اولیه و بهره برداری، جزو گزینه های پر هزینه محسوب می شوند و مناسب همه جا و تمام شرایط نیستند (۱۰, ۱۹). این موارد اهمیت انتخاب فناوری مناسب و تطبیق آن با شرایط محلی و اقتصادی را

برجسته می‌کند.

در ایالات متحده، حدود ۶۰ میلیون نفر از برخی اشکال سیستم‌های تصفیه فاضلاب درمحل استفاده می‌کنند که تقریباً ۲۰ میلیون نفر از آنها از سیستم رایج سپتیک تانک متعارف بهره‌مند هستند (۲۰). در استرالیا نیز وضعیت مشابه است، جایی که حدود ۱۲ درصد از جمعیت از سیستم‌های تانک سپتیک برای دفع فاضلاب استفاده می‌کنند. در کانادا نیز سیستم‌های غیرمتمرکز در چندین منطقه به کار گرفته شده‌اند (۲۱). حدود ۱۴ درصد جمعیت یونان ممکن است به دلیل موقعیت جغرافیایی در مناطق روستایی تحت پوشش سیستم‌های غیرمتمرکز قرار گیرند. ترکیه به دلیل هزینه بالای ساخت و بهره‌برداری، تلاش می‌کند از تصفیه متمرکز اجتناب کند؛ در حدود ۲۸ درصد از شهرداری‌های ترکیه توسط سیستم‌های سپتیک تحت پوشش قرار گرفته‌اند و در سایر نواحی، سیستم‌های خوشه‌ای و بسته نیز استفاده می‌شوند (۲۲, ۲۳). علاوه بر این، برخی کشورها از طریق برنامه‌های خاص، استفاده مجدد از فاضلاب را تشویق کرده‌اند. به عنوان مثال، قبرس برنامه یارانه‌ای برای خانوارهایی که سیستم‌های بازیافت و استفاده مجدد از آب خاکستری نصب می‌کنند، راه‌اندازی کرده است (۱۵). این آمار نشان‌دهنده پذیرش گسترده سیستم‌های غیرمتمرکز با توجه به شرایط محلی و اقتصادی در کشورهای مختلف است. فرآیند ارزیابی و انتخاب فناوری مناسب تصفیه فاضلاب باید هزینه چرخه عمر سیستم از جمله طراحی، ساخت، بهره‌برداری، نگهداری، تعمیر و جایگزینی را مدنظر قرار دهد. در طول عمر عملیاتی سیستم، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری به اندازه هزینه‌های ساخت اهمیت دارند. برآورد هزینه‌ها در سطح ملی برای سیستم‌های تصفیه فاضلاب دشوار است که عمدتاً به دلیل شرایط متغیر هر جامعه مانند چگالی جمعیت، هزینه زمین و نیازهای عملکرد محلی است. آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده برآورد هزینه‌ای برای رویکردهای متمرکز و غیرمتمرکز مدیریت فاضلاب برای یک جامعه روستایی فرضی ارائه داده است (۲۴). مطالعه نشان داد که سیستم‌های غیرمتمرکز (خوشه‌ای یا درمحل) به طور کلی از نظر هزینه برای مدیریت فاضلاب در مناطق روستایی مقرون به صرفه‌تر از سیستم‌های متمرکز هستند. این یافته‌ها به اهمیت لحاظ هزینه‌های کل سیستم در انتخاب فناوری تاکید می‌کنند و برتری سیستم‌های غیرمتمرکز در زمینه جوامع روستایی با پراکندگی جمعیت را نشان می‌دهند.

فرآیندهای رایج برای تصفیه و دفع در سیستم تصفیه فاضلاب غیرمتمرکز

تصفیه اولیه

چندین سیستم تصفیه فاضلاب محل نصب وجود دارد که در صورت طراحی، ساخت، بهره‌برداری و نگهداری صحیح می‌توانند خدمات و مزایای بهداشتی مناسبی ارائه دهند. سیستم ساده تانک سپتیک به عنوان رایج‌ترین روش تصفیه اولیه فاضلاب محل نصب شناخته می‌شود به دلیل مزایای قابل توجه آن. تانک‌های سپتیک بیشتر جامدات ته‌نشین شونده را حذف می‌کنند و به عنوان یک بیوراکتور بی‌هوازی عمل می‌کنند که هضم نسبی مواد آلی را تسهیل می‌کند. علت اصلی خرابی این سیستم‌ها، نامناسب بودن خاک و ویژگی‌های محل است (۲۵). تانک ایمهوف نیز یک روش تصفیه اولیه دیگر است که می‌تواند جریان‌های بیشتری نسبت به تانک سپتیک تحمل کند، اما کمتر رایج است(۱۰). هر دو سیستم کم‌هزینه و ساده برای بهره‌برداری و نگهداری هستند. با این حال، در صورت نگهداری نادرست لجن، ممکن است مشکلات بو ایجاد شود. سیستم‌های تصفیه فاضلاب محل نصب سنتی در حذف ترکیبات نیترات، فسفر و کاهش عوامل بیماری‌زا موثر نیستند و به همین دلیل باید به عنوان پیش‌تصفیه قبل از تصفیه و دفع نهایی استفاده شوند (۲۶).

تصفیه ثانویه

روش‌های متعددی برای تصفیه ثانویه در سیستم‌های تصفیه فاضلاب غیرمتمرکز وجود دارد که هر کدام دارای مزایا و معایب خاص خود هستند (جدول ۲). با توجه به اینکه شن رایج‌ترین و در دسترس‌ترین ماده برای فیلترها است، گاهی اصطلاح فیلتر مدیا به معنی فیلتر شنی استفاده می‌شود. به طور کلی، در مناطقی که خاک‌های عمیق و قابل نفوذ دارند، سیستم‌های تانک سپتیک همراه با جذب خاک قابل استفاده‌اند. اما در مناطقی که خاک کم‌عمق، بسیار کم‌نفوذ یا بسیار نفوذپذیر است، نیاز به سیستم‌های پیچیده‌تر محل نصب وجود دارد. برخی از روش‌های ثانویه رایج در سیستم‌های غیرمتمرکز شامل فیلترهای شنی، تالاب‌های مصنوعی، راکتورهای زیستی با غشاء، و سیستم‌های هوازی هستند که برای بهبود کیفیت پساب استفاده می‌شوند. انتخاب نوع تصفیه ثانویه به شرایط محلی مانند ویژگی‌های خاک، مقدار فاضلاب و نیازهای کیفیت پساب بستگی دارد.

روش های دفع

روش‌های دفع فاضلاب می‌توانند شامل روش‌های ساده مانند آبیاری گیاهان، تخلیه به آب‌های رودخانه، تالاب ها و دریاچه‌ها، چاه جذبی، تخلیه به دریا و استفاده مجدد باشند. همچنین، روش‌هایی وجود دارند که همزمان تصفیه و دفع را انجام می‌دهند مانند نفوذ زیرسطحی فاضلاب، کاربرد در زمین و تالاب‌های مصنوعی. این روش‌های مختلف تصفیه/دفع، تصفیه بیشتری را قبل از دفع نهایی فاضلاب فراهم می‌کنند. با توجه به شرایط مناسب سایت، جذب زیرسطحی خاک معمولاً بهترین روش دفع فاضلاب برای واحدهای مسکونی منفرد است به دلیل سادگی، پایداری و هزینه پایین آن. انواع مختلفی از سیستم‌های جذب زیرسطحی خاک وجود دارد. تراشه‌ها و بسترها، چاه‌های نفوذ، تپه‌ها و پرکردگی‌ها همگی حفاری‌های پوشیده شده پرشده با محیط متخلخل هستند که وسیله‌ای برای وارد کردن و توزیع فاضلاب در

سراسر سیستم فراهم می‌کنند (۱۰).

سیستم‌های ترانشه و بستر در سیستم‌های نفوذ زیرسطحی فاضلاب، به طور مؤثری در تقریباً همه اقلیم‌ها عمل می‌کنند، نیازی به برق برای بهره‌برداری ندارند و نسبت به سایر سیستم‌های مشابه هزینه کمتری دارند. ترانشه‌ها معمولاً شیارهای باریکی هستند که لوله‌های متخلخل در آن‌ها قرار می‌گیرند تا فاضلاب تصفیه‌شده را به خاک اطراف وارد کنند. سیستم بستر، در مقابل، وسعت بیشتری دارد و برای خاک‌هایی که زهکشی کندتری دارند، مناسب‌تر است. با این حال، سیستم‌های ترانشه و بستر برای خاک‌هایی با نفوذپذیری بسیار بالا مناسب نیستند، زیرا در چنین خاک‌هایی فاضلاب به سرعت از خاک عبور می‌کند و تصفیه کافی صورت نمی‌گیرد. بنابراین، این سیستم‌ها در خاک‌های با نفوذپذیری متوسط تا کم عملکرد بهتری دارند و در خاک‌های بسیار نفوذپذیر باید از روش‌های دیگری استفاده کرد. این سیستم‌ها نیاز به زمین نسبتاً زیاد (خصوصاً سیستم بستر) و نگهداری منظم دارند و در صورت عدم مراقبت ممکن است دچار گرفتگی یا سایر مشکلات شوند. انتخاب مناسب بر اساس نوع خاک، میزان نفوذپذیری و شرایط محیطی اهمیت فراوانی دارد (۳۵, ۳۶).

چاه‌های جذبی می‌توانند در مناطقی که سطح آب زیرزمینی بسیار پایین است و زمین کافی برای ساخت سایر سیستم‌ها وجود ندارد، مورد استفاده قرار گیرند. این نوع چاه‌ها شامل حفاری‌های پوشیده شده با محیط متخلخل هستند که به فاضلاب اجازه می‌دهند از طریق جداره‌های چاه به خاک اطراف نفوذ کنند و در نتیجه فاضلاب تصفیه شود (۳۷)

جدول-۲. فرآیندهای مختلف تصفیه ثانویه

نام فرآیند	توضیح	مزایا	معایب	منبع
لاگون هوازی (Aerobic Lagoons)	ضلاب در یک حوضچه نسبتاً بزرگ نگهداری می‌شود و هواده‌ها با تزریق هوا یا ایجاد تلاطم، اکسیژن مورد نیاز میکروارگانیسم‌ها را فراهم می‌کنند تا مواد آلی تجزیه و تثبیت شوند. این لاگون‌ها ترکیبی از فرآیندهای هوازی و در برخی نقاط بی‌هوازی دارند	هزینه راه اندازی و بهره برداری نسبتا ارزان بهره برداری ساده تر تولید پساب نسبتا باکیفیت	زمین مورد نیاز بزرگ احتمال بالای رشد جلبک و در نتیجه کدورت زیاد	(۲۷, ۲۸)
وتلند/تالاب مصنوعی (Constructed Wetlands)	فاضلاب از میان بسترهایی شامل شن، ماسه یا خاک و پوشش گیاهی منتخب عبور می‌کند؛ ریشه گیاهان، میکروارگانیسم‌های موجود در بستر و فرآیندهای ته‌نشینی و تثبیت، به حذف آلاینده‌هایی مانند مواد آلی، مواد معلق، نیتروژن و فسفر کمک می‌کنند. بهترین حالت، استفاده از یک سپتیک تانک در ابتدای ورود فاضلاب و بعد وتلندهای مصنوعی است.	نگهداری ساده مصرف انرژی کم سازگاری با محیطزیست پساب باکیفیت	زمین مورد نیاز نسبتا زیاد جذب حشرات جوندگان انتشار بو گرفتگی بستر در اثر رشد بیوفیلم	(۱۸, ۲۶, ۲۹)
صافی چکنده (Trickling Filters)	فاضلاب به‌صورت یکنواخت روی بستری از مواد دانه‌ای یا پلاستیکی پاشیده می‌شود. روی سطح این بستر، لایه‌ای از میکروارگانیسم‌ها به‌نام بیوفیلم تشکیل می‌شود که هنگام عبور فاضلاب، مواد آلی و برخی مواد مغذی را تجزیه و تثبیت می‌کند. جریان هوا به‌صورت طبیعی یا با تهویه کمکی در میان فضای خالی بستر حرکت کرده و اکسیژن لازم برای فعالیت میکروبی را فراهم می‌کند.	طراحی ساده مصرف انرژی کم عملکرد پایدار	انتشار بو حساسیت به گرفتگی بستر در اثر ریزش بیوفیلم جذب حشرات	(۳۰, ۳۱)
مدول های مختلف لجن فعال با رشد معلق (Suspended Growth Activated Sludge)	میکروارگانیسم‌ها به‌صورت معلق در یک حوض هوادهی قرار می‌گیرند و با دریافت اکسیژن، مواد آلی موجود در فاضلاب را تجزیه می‌کنند. در این فرایند، مخلوط فاضلاب و توده میکروبی (لجن فعال) پس از هوادهی وارد فاز ته‌نشینی می‌شود تا لجن از آب تصفیه‌شده جدا گردد. فاز ته نشینی می‌تواند در یک مخزن جدا یا در همان مخزن باشد (مانند SBR). مثال: لجن فعال متعارف (CAS)، لجن فعال هوادهی گسترده (EAAS)، راکتور ناپیوسته متوالی(SBR)	راندمان بالا در حذف مواد آلی و مواد مغذی(ازت و فسفر) قابلیت انعطاف در طراحی و کنترل کیفیت بسیار بالای پساب	مصرف انرژی بالا تولید لجن دفعی زیاد بهره برداری پیچیده تر	(۳۲, ۳۳)
مدول های مختلف لجن فعال با رشد چسبیده (Attached Growth Activated Sludge)	مشابه لجن فعال با رشد معلق است، اما دارای بسترهایی برای ایجاد سطح رشد برای میکروارگانیسم ها می‌باشد. بیوفیلم‌ها روی سطوح بستر تشکیل شده و با لجن معلق همزیستی می‌کنند تا مواد آلی را به طور مؤثر تجزیه کنند. مثال: بیورآکتور بستر متحرک (MBBR)، لجن فعال با فیلم ثابت (IFAS)، تماس دهنده بیولوژیکی دوار (RBC)	پایداری بیشتر نسبت به سیستم رشد معلق تولید پساب با کیفیت بسیار بالا راندمان بالا در نیتریفیکاسیون فضای مورد نیاز بسیار کمتر	مصرف انرژی بالا بهره برداری پیچیده تر احتمال گرفتگی و انسداد در اثر رشد بیوفیلم	(۳۲, ۳۴)

انتخاب تکنولوژی

انتخاب « مناسب‌ترین فناوری» کار آسانی نیست ولی می‌تواند ریسک مشکلات و شکست‌های آینده را کاهش دهد. دو نکته کلیدی در انتخاب فناوری تصفیه، قابلیت پرداخت و تناسب است (۱۷). قابلیت پرداخت مربوط به شرایط اقتصادی جامعه و تناسب مربوط به شرایط زیست‌محیطی و اجتماعی است. به این ترتیب، «فناوری مناسب‌ترین» فناوری است که از نظر اقتصادی قابل پرداخت، از نظر زیست‌محیطی پایدار و از نظر اجتماعی پذیرفتنی باشد. عوامل زیادی تحت جنبه اقتصادی قرار دارند و برای تصمیم‌گیری درباره قابلیت پرداخت یک سیستم به کار می‌روند. متولی باید قادر به تأمین مالی اجرای سیستم، بهره‌برداری و نگهداری از جمله بهبودهای سرمایه‌ای مورد نیاز در آینده و تعمیرات و جایگزینی‌های بلندمدت لازم باشد (۸،۱۶). بنابراین، چگالی جمعیت، موقعیت و کارایی فناوری نسبت به هزینه آن باید مورد توجه قرار گیرد. منطقی است که در مناطق پراکندگی جمعیت، سیستم‌های غیرمتمرکز راه‌حل‌های مقرون‌به‌صرفه‌ای ارائه دهند (۵). قابلیت پرداخت سیستم‌های متمرکز در این مناطق ممکن است به دلیل هزینه بالای خطوط فاضلاب مرکزی محل تردید باشد. از میان اجزای مختلف سیستم تصفیه فاضلاب متمرکز، جمع‌آوری که کم‌ترین اهمیت را از نظر تصفیه دارد، بیشترین هزینه را در بر می‌گیرد. باید ارزیابی هزینه–اثربخشی سیستم انتخاب‌شده انجام گیرد که شامل هزینه سرمایه‌ای برنامه‌ریزی و ساخت، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری و ارزش زمین مورد استفاده است.

برای پایداری زیست‌محیطی یک سیستم، باید کیفیت محیط زیست حفظ شود، منابع محافظت و آب و مواد مغذی بازیافت شوند (۳۸). این ارزیابی ظرفیت منبع پذیرنده را تعیین می‌کند. اجزای زیست‌محیطی شامل کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی، اکوسیستم‌های آبی و خشکی، کیفیت خاک، کیفیت هوا و مصرف انرژی باید بررسی شوند. شاخص‌هایی مانند نیاز بیوشیمیایی اکسیژن، میزان مواد مغذی، تغییرات در توزیع اکوسیستم‌ها، بهره‌وری و نفوذپذیری خاک، محدودیت‌های مجاز ترکیبات سمی و درصد انرژی تامین شده نیز باید ارزیابی شوند (۲۰،۲۸). نمونه‌گیری برای نیتروژن و فسفر معمولاً برای شناسایی ریسک‌های اوتریفیکاسیون انجام می‌شود (۳۹،۴۰). برای ارزیابی ریسک‌های بهداشتی، نمونه‌ها عمدتاً برای کلنی‌های فکال و به طور دقیق‌تر برای اشرشیا کلی آزمایش می‌شوند. مقادیر استاندارد برای پارامترهای مختلف، براساس محلی است که فاضلاب در آن تخلیه می‌شود. بدیهی است در نقاطی که ریسک بالایی دارند، نظیر رودخانه ها و چاه هایی که منبع تامین آب شرب هستند، یا پهنه‌های دریایی که فعالیت های تفریحی و صیادی انجام می‌گیرد، حداکثر توجه و دقت به استانداردها باید انجام شود. در ایران، استاندارد های سازمان حفاظت از محیط زیست برای تخلیه به دریا (۴۱) و تخلیه به چاه جذبی، آبهای سطحی و آبیاری–کشاورزی (۴۲)، بعنوان مبنا و معیار در نظر گرفته می‌شوند.

به طور کلی، نیروهای اصلی مؤثر در انتخاب فناوری تصفیه در یک محل مشخص، نیازهای عملکردی، شرایط سایت و ویژگی‌های فاضلاب (نوع منبع، میانگین دبی روزانه، جریان پیک و تغییرپذیری فصلی) هستند. در صورتی که سایت برای سیستم تصفیه غیرمتمرکز تانک سپتیک/ناحیه زهکشی متعارف مناسب نباشد، یکی از سیستم‌های مختلف غیرمتمرکز جایگزین می‌تواند مناسب باشد (۴۳). فناوری‌های هزینه‌بر حذف مواد مغذی می‌توانند فقط در مکان‌هایی که حساس به مواد مغذی هستند به کار گرفته شوند (۴۴). خلاصه‌ای از راندمان حذف فناوری‌های مختلف تصفیه فاضلاب غیرمتمرکز در جدول–۳ ارائه شده است. علاوه بر این، عوامل متعددی مربوط به خود فاضلاب نقش مهمی در تناسب یک محیط خاص با فناوری تصفیه خاص بازی می‌کنند. بنابراین، بررسی برخی پارامترهای فاضلاب به موازات ارزیابی سایت حیاتی است. منبع فاضلاب، میانگین جریان روزانه، جریان پیک، ویژگی‌ها و تغییرات فصلی در کیفیت و کمیت از جمله پارامترهایی هستند که باید ارزیابی شوند. این توضیحات کمک می‌کند تا انتخاب فناوری تصفیه به شکلی دقیق‌تر و بر اساس شرایط واقعی سایت و فاضلاب انجام شود تا از مشکلات احتمالی آینده جلوگیری شود (۴۳).

مدیریت سیستم‌های تصفیه فاضلاب غیرمتمرکز

به طور سنتی، بهره‌برداری و نگهداری سیستم‌های درمحل بر عهده مالکان و ساکنین منازل، تولید کنندگان فاضلاب در مراکز تجاری و... گذاشته شده بود که در بسیاری از موارد منجر به خرابی سیستم به دلیل نگهداری نادرست و اهمیت ندادن شد. از آنجا که سیستم‌های سپتیک محل نصب به عنوان راه‌حل‌های موقتی در انتظار تصفیه و جمع‌آوری متمرکز محسوب می‌شدند، بسیاری از سیستم‌های فعلی قادر به ارائه سطح تصفیه لازم برای حفاظت از سلامت عمومی و محیط پذیرنده نیستند. بنابراین، ضروری است که سیاست‌ها، برنامه‌ها، راهنماها و نهادهایی ایجاد شوند تا طراحی، ساخت و همچنین بهره‌برداری و نگهداری صحیح سیستم‌های تصفیه فاضلاب غیرمتمرکز تضمین شود (۴۵).

با افزایش سریع جمعیت و کاهش منابع آبی، فاضلاب به منبعی مهم تبدیل شده است. بر این اساس، نیاز فراوانی به مدیریت یکپارچه‌تر سیستم‌های تصفیه فاضلاب درمحل و خوشه‌ای وجود دارد. رویکرد مدیریت یکپارچه تضمین می‌کند که تمامی جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی، فنی و زیست‌محیطی مدیریت موثر لحاظ شوند. باید توجه داشت که نیازها و شرایط مدیریت فاضلاب از کشوری به کشور دیگر و حتی در داخل یک کشور متفاوت است. مدیریت مناسب یک سیستم به حفاظت از سلامت عمومی و منابع آب محلی، افزایش ارزش املاک و جلوگیری از تعمیرات پرهزینه کمک می‌کند (۴۶). چنین سیستم‌های مدیریتی باید به مشکلات

عمده مرتبط با روش‌های تصفیه فاضلاب، به ویژه در کشورهای در حال توسعه، بپردازند که از جمله این مشکلات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تأمین مالی
- مشارکت و آگاهی عمومی
- طراحی و فرآیند انتخاب نامناسب سیستم
- فقدان بازرسی، نظارت و ارزیابی برنامه‌ای کافی (۴۷).

تأمین بودجه کافی و تعیین اهداف واضح زیست‌محیطی و بهداشت عمومی برای توسعه، اجرا و حفظ برنامه‌های مدیریتی حیاتی است. علاوه بر این، داشتن دانش کامل از زمینه‌های سیاسی، اجتماعی و اقتصادی جامعه، ساختار نهادی و فناوری‌های موجود، از ملزومات بهره‌برداری موفق بلندمدت به شمار می‌رود. تصمیمات مدیریت فاضلاب اغلب به دلیل نگرش‌های منفی و دانش ناقص باعث به وجود آمدن بحث‌ها و نگرانی‌های عمومی می‌شوند. برنامه‌های افزایش آگاهی و مشارکت عمومی منجر به اتخاذ تصمیمات مقبول‌تر برای همه طرف‌های ذی‌نفع می‌شود (۱۲, ۴۸). وقتی ظرفیت جامعه برای مدیریت فناوری انتخاب شده در فرآیند تصمیم‌گیری لحاظ شده و فناوری مناسب انتخاب شود، احتمال شکست سیستم به حداقل می‌رسد. یک برنامه مدیریت مؤثر می‌تواند خطرات بالقوه بهداشت عمومی و محیط پذیرنده را در مراحل نصب، بهره‌برداری و نگهداری سیستم‌های تصفیه فاضلاب غیرمتمرکز کاهش دهد. در مرحله نصب، انتخاب محل مناسب و طراحی و ساخت صحیح اهمیت زیادی دارد. نظارت دوره‌ای و اعمال مقررات سختگیرانه در مرحله بهره‌برداری ضروری است. همچنین، در مرحله نگهداری، بازدیدهای منظم برای شناسایی سیستم‌های ناکارآمد حیاتی است. با توجه به هزینه زیاد سیستم‌های ناکارآمد برای جامعه، نگهداری صحیح سیستم‌های تصفیه غیرمتمرکز اهمیت فراوان دارد. همانند سیستم‌های متمرکز، سیستم‌های غیرمتمرکز نیز به بهره‌برداری و نگهداری مؤثر نیاز دارند که نباید دست کم گرفته شود (۱۴).

نظارت مستقیم بر سیستم‌های تصفیه فاضلاب غیرمتمرکز برای اطمینان از بازرسی و نگهداری منظم آن‌ها ضروری است. در حالی که استراتژی‌های مدیریتی سخت‌گیرانه برای مناطق با ریسک بالا مناسب است، برنامه‌های ساده آگاهی‌بخشی و آموزش مالکان خانه‌ها برای مناطق غیر حساس کافی هستند. ارزیابی یکپارچه ریسک باید به طور منظم انجام شود تا هر گونه مشکل جدید به‌طور مؤثر مدیریت و کاهش یابد. هماهنگی مدیریت متمرکز سیستم‌های تصفیه فاضلاب غیرمتمرکز با مدیریت یکپارچه حوضه آبریز و سایر نهادها، برنامه‌ریزی و توسعه کاربری زمین را بهبود می‌بخشد و از سلامت عمومی و منابع آب محافظت می‌کند. برای موفقیت، استراتژی مدیریتی نیازمند سازوکار اجرایی و منابع پشتیبان برای ایجاد تغییر است. انتخاب سازمان مدیریتی بیشتر بستگی به نیازها و ترجیحات محلی دارد (۴۹). توجه به نیازها، محدودیت‌ها و رفتارهای محلی برای تعریف مسائل، تعیین اولویت‌ها، انتخاب فناوری و سیاست‌ها و همچنین نظارت و ارزیابی تأثیرات بسیار حیاتی است.

نتیجه گیری و پیشنهادات

- بر اساس شرایط اجتماعی، فرهنگی، محیط‌زیستی و اقتصادی منطقه هدف، استراتژی‌های مدیریت باید خاص آن سایت طراحی شوند.
- «مناسب‌ترین فناوری» به فناوری‌ای گفته می‌شود که از نظر اقتصادی قابل پرداخت، از لحاظ زیست‌محیطی پایدار و از نظر اجتماعی پذیرفتنی باشد.
- جامعه باید توانایی تأمین مالی اجرای سیستم، بهره‌برداری و نگهداری آن، از جمله بهبودهای سرمایه‌ای آینده و تعمیرات بلندمدت را داشته باشد.
- درک شرایط منبع پذیرنده برای انتخاب فناوری بسیار حیاتی است و باید از طریق فرآیند ارزیابی جامع محل، مشخص شود.
- تدوین راهنمایی‌هایی برای انتخاب سیستم‌های تصفیه فاضلاب جوامع کوچک می‌تواند روند تصمیم‌گیری را تسهیل کند.
- مدیریت متمرکز سیستم‌های تصفیه فاضلاب غیرمتمرکز برای تضمین بازرسی و نگهداری منظم آن‌ها ضروری است.
- فراهم آوردن دسترسی افراد محلی به منابع، آموزش و اطلاعات لازم برای تأثیرگذاری بر مسائل زیست‌محیطی که آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد، گامی حیاتی در جهت مدیریت پایدار فاضلاب است. تقویت بستر دانش مشکلات و راهکارهای زیست‌محیطی در کشورهای در حال توسعه که منعکس‌کننده تفکر علمی و تجربیات تجربی کشور باشد، ضروری است.
- اگرچه موانع و چالش‌های متعددی در مدیریت فاضلاب در مناطق محروم وجود دارد، این مسائل با برنامه‌ریزی مناسب و اجرای سیاست‌ها قابل رفع هستند.
- این توصیه‌ها بر مبنای مطالعات متعدد در کشورهای در حال توسعه تدوین شده‌اند و زمینه‌ساز تدوین سیاست‌های محلی و منطقه‌ای مؤثر در مدیریت فاضلاب هستند.

تشکر و قدردانی: نویسندگان این مقاله، از معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج) و پژوهشکده سلامت بدلیل حمایت و همکاری همه جانبه، کمال تشکر و قدردانی را اعلام می نمایند.

این مقاله براساس اطلاعات بدست آمده از گزارش نهایی (پایان نامه) طرح جایگزین خدمت دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج) با کد اخلاق IR.BMSU.REC.1402.100 در سامانه

پژوهشیار نگارش شده است. نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، تحریف داده‌ها یا داده‌سازی، انتشار دوگانه را رعایت کرده‌اند. همچنین نویسندگان هیچگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تاثیر بگذارد را رد می‌کنند.

نقش نویسندگان: همه نویسندگان در نگارش اولیه مقاله یا بازنگری آن سهیم بودند و همه با تایید نهایی مقاله حاضر، مسئولیت دقت و صحت مطالب مندرج در آن را می پذیرند.

تضاد منافع: نویسندگان تصریح می کنند که هیچ گونه تضاد منافعی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

منابع

1. Preisner M, Neverova-Dziopak E, Kowalewski Z. An analytical review of different approaches to wastewater discharge standards with particular emphasis on nutrients. Environmental Management. 2020;66(4):694-708
2. Lasut MT, Jensen KR, Shivakoti G. Analysis of constraints and potentials for wastewater management in the coastal city of Manado, North Sulawesi, Indonesia. Journal of Environmental Management. 2008;88(4):1141-50
3. Fidler DP. From international sanitary conventions to global health security: the new International Health Regulations. Chinese Journal of International Law. 2005;4(2):325-92
4. Mara D. Domestic wastewater treatment in developing countries: Routledge; 2013.
5. Parkinson J, Tayler K. Decentralized wastewater management in peri-urban areas in low-income countries. Environment and Urbanization. 2003;15 (1):75-90
6. Wilderer PA, Schreff D. Decentralized and centralized wastewater management: a challenge for technology developers. Water Science and Technology. 2000;41(1):1-8
7. Fisher FM. The economics of water dispute resolution, project evaluation and management: An application to the Middle East. International Journal of Water Resources Development. 1995;11(4):377-90
8. Hophmayer-Tokich S. Wastewater Management Strategy: centralized v. decentralized technologies for small communities. Center for Clean Technology and Environmental Policy: Enschede, The Netherlands. 2006;27
9. Sharma AK, Tjandraatmadja G, Cook S, Gardner T. Decentralised systems–definition and drivers in the current context. Water Science and Technology. 2013;67(9):2091-101.
10. Massoud MA, Tarhini A, Nasr JA. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: applicability in developing countries. Journal of environmental management. 2009;90(1):652-9.
11. Solomon C, Kamalesh J, Lin L-S, editors. A Remote Monitoring Architecture Enabling Centralized Management of Decentralized Wastewater Systems. 2006 ASAE Annual Meeting; 2006: American Society of Agricultural and Biological Engineers.
12. Chirisa I, Bandauko E, Matamanda A, Mandisvika G. Decentralized domestic wastewater systems in developing countries: the case study of Harare (Zimbabwe). Applied Water Science. 2017; 7: 1069-78
13. Lens P, Zeeman G, Lettinga G. Decentralised sanitation and reuse: IWA publishing; 2001.
14. Tchobanoglous G, Ruppe L, Leverenz H, Darby J. Decentralized wastewater management: challenges and opportunities for the twenty-first century. Water Science and Technology: Water Supply. 2004;4 (1): 95-102
15. Bakir HA. Sustainable wastewater management for small communities in the Middle East and North Africa. Journal of environmental management. 2001;61(4):319-28
16. Ho G. Technology for sustainability: the role of onsite, small and community scale technology. Water Science and Technology. 2005;51(10):15-20
17. Grau P. Low cost wastewater treatment. Water Science and Technology. 1996;33(8):39-46
18. Solano M, Soriano P, Ciria M. Constructed wetlands as a sustainable solution for wastewater treatment in small villages. Biosystems engineering. 2004;87(1):109-18
19. Gavasci R, Chiavola A, Spizzirri M. Technical-economical analysis of selected decentralized technologies for municipal wastewater treatment in the city of Rome. Water Science and Technology. 2010;62(6):1371-8
20. Bradley BR, Daigger GT, Rubin R, Tchobanoglous G. Evaluation of onsite wastewater treatment technologies using sustainable development criteria. Clean Technologies and Environmental Policy. 2002;4(2):87-99.
21. Ahmed W, Neller R, Katouli M. Evidence of septic system failure determined by a bacterial biochemical fingerprinting method. Journal of Applied Microbiology. 2005;98(4):910-20
22. Tsagarakis K, Mara D, Angelakis A. Wastewater management in Greece: experience and lessons for developing countries. Water Science and Technology. 2001;44(6):163-72.
23. Engin GO, Demir I. Cost analysis of alternative methods for wastewater handling in small communities. Journal of environmental management. 2006;79(4):357-63.
24. Management USEPAOoW. Response to Congress on use of decentralized wastewater treatment systems: US Environmental Protection Agency, Office of Water; 1997.
25. Viraraghavan T. Septic tank efficiency. Journal of the Environmental Engineering Division. 1976;102(2):505-8.
26. Mbuligwe SE. Applicability of a septic tank/engineered wetland coupled system in the treatment and recycling of wastewater from a small

community. Environmental Management. 2005;35 (1):99-108.
27. Thirumurthi D. Design criteria for aerobic aerated lagoons. Journal of the Environmental Engineering Division. 1979;105(1):135-48.
28. Lamy D, De Carvalho-Maalouf P, Cottrell M, Lami R, Catala P, Oriol L, et al. Seasonal dynamics of aerobic anoxygenic phototrophs in a Mediterranean coastal lagoon. Aquatic microbial ecology. 2011;62(2):153-63.
29. Melián JH, Rodríguez AM, Araña J, Díaz OG, Henríquez JG. Hybrid constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in the Canary Islands. Ecological Engineering. 2010;36(7):891-9.
30. Nemerow NL, Agardy FJ, Sullivan PJ, Salvato JA. Environmental engineering: environmental health and safety for municipal infrastructure, land use and planning, and industry: John Wiley & Sons; 2009.
31. Naz I, Saroj DP, Mumtaz S, Ali N, Ahmed S. Assessment of biological trickling filter systems with various packing materials for improved wastewater treatment. Environmental Technology. 2015; 36 (4): 424-34.
32. Metcalf L, Eddy HP, Tchobanoglous G. Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse: McGraw-Hill New York; 1991.
33. Shokoohi R, Dargahi A, Karami A. A survey on efficiency of natural wastewater treatment systems and activated sludge for municipal wastewater treatment. 2020.
34. Czarnota J, Masłoń A. Evaluation of the effectiveness of a wastewater treatment plant with MBBR technology. Rocznik Ochrona Środowiska. 2019;21(2):906-25.
35. Pope PR. Wastewater treatment by rooted aquatic plants in sand and gravel trenches: US Environmental Protection Agency, Municipal Environmental Research Laboratory; 1981.
36. Kuo W-CJ, Smith R. Effluent treatment system design. Chemical Engineering Science. 1997;52(23): 4273-90.
37. Tyler EJ, Converse JC, Parker DE. Soil systems for community wastewater disposal--Treatment and absorption case histories. Utilization, Treatment, and Disposal of Waste on Land. 1986:147-58.
38. Brault J-M, Buchauer K, Gambrill M. Wastewater treatment and reuse: a guide to help small towns select appropriate options. 2022.
39. Schindler DW. Recent advances in the understanding and management of eutrophication. Limnology and oceanography. 2006;51(1part2):356-63.
40. Lapointe BE, Herren LW, Debortoli DD, Vogel MA. Evidence of sewage-driven eutrophication and harmful algal blooms in Florida's Indian River Lagoon. Harmful Algae. 2015;43:82-102.
41. Standard for discharge into Iranian seas (Persian Gulf, Sea of Oman, Caspian Sea). Iranian Environmental Protection Organization
Deputy of Marine Environment and Wetlands; 2010. p. 9.
42. Standard for wastewater discharge. Iranian Environmental Protection Organization.
43. McCray JE, Christopherson SH. On-site wastewater systems and interactions with the environment. Journal of Hydrologic Engineering. 2008;13(8):653-4.
44. Burde M, Rolf F, Grabowski F. Innovative low cost procedure for nutrient removal as an integrated element of a decentralised water management concept for rural areas. Water science and technology. 2001;44(1):105-12.
45. Sha C, Shen S, Zhang J, Zhou C, Lu X, Zhang H. A review of strategies and technologies for sustainable decentralized wastewater treatment. Water. 2024;16(20):3003.
46. Philip L, Ramprasad C, Krithika D. Sustainable wastewater management through decentralized systems: case studies. Water scarcity and ways to reduce the impact: management strategies and technologies for zero liquid discharge and future smart cities. 2019:15-45.
47. Capodaglio AG. Integrated, decentralized wastewater management for resource recovery in rural and peri-urban areas. Resources. 2017;6(2):22.
48. Naik KS, Stenstrom MK. A Feasibility Analysis Methodology for Decentralized Wastewater Systems–Energy-Efficiency and Cost. Water Environment Research. 2016;88(3):201-9.
49. Singh NK, Kazmi AA, Starkl M. A review on full-scale decentralized wastewater treatment systems: techno-economical approach. Water Science and Technology. 2015;71(4):468-78.