



19th Iranian Soil Science Congress
2-4 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذرماه ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



ضرورت به رسمیت شناختن مدیریت لجن فاضلاب بهداشتی/سپتاز در ایران بهنام رحمانی ایوریق*، نوراله میرغفاری، محمد نعمتی و ونوسفادرائی، اصغر جهانی بهنمیری

۱- دانشجوی دکتری محیط زیست- آلودگی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران؛ * rahmani.b@na.iut.ac

۲- استاد گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۳- استادیار گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۴- رئیس واحد محیط زیست و آبهای غیر متعارف معاونت آبفا- وزارت نیرو

چکیده

با وجود تمرکز سیاست‌های توسعه‌ای ایران بر ایجاد شبکه‌های متمرکز جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب، واقعیت آماری و میدانی نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از جمعیت شهری و تقریباً تمام جمعیت روستایی کشور همچنان به سیستم‌های غیرمتمرکز مدیریت فاضلاب بهداشتی در محل، مانند سپتیک‌تانک‌ها و چاه‌های جذبی، وابسته هستند. این وابستگی نه یک وضعیت موقت، بلکه یک واقعیت پایدار و رو به رشد است که توسط سازمان جهانی بهداشت (WHO) نیز پیش‌بینی شده و تخمین زده می‌شود تا سال ۲۰۳۰، نیمی از جمعیت جهان به این سیستم‌ها متکی خواهند بود. در ایران، عدم به رسمیت شناختن این بخش از زنجیره خدماتی بهداشتی، منجر به ایجاد خلأ قانونی، نهادی و اجرایی شده است. تبصره ۴ ماده ۲ قانون مدیریت پسماند، با ابهام در تعریف "لجن کم‌رطوبت"، نمونه بارز این عدم شفافیت است که مسئولیت‌های اجرایی را میان دستگاه‌های مختلف مبهم و ناکارآمد کرده است. این مطالعه با استناد به یافته‌های پژوهش میدانی در استان اردبیل و مرور منابع جهانی، لزوم به رسمیت شناختن و ساماندهی مدیریت فاضلاب بهداشتی در محل را به عنوان یک ضرورت ملی بیان می‌کند. این به رسمیت شناختن، تنها به منظور جلوگیری از آلودگی محیط زیست و حفظ سلامت عمومی نیست، بلکه فرصتی مغتنم برای پیاده‌سازی اصول اقتصاد چرخشی از طریق بازیافت منابع و ایجاد مشاغل پایدار است.

واژگان کلیدی: آلودگی محیط زیست، اردبیل، اقتصاد چرخشی، قانون‌گذاری و مدیریت فاضلاب بهداشتی در محل.

مقدمه

مدیریت بهینه فاضلاب بهداشتی، به‌ویژه بخش لجن فاضلاب بهداشتی (سپتاژ)، یکی از مهم‌ترین چالش‌های محیط‌زیستی و بهداشتی در جهان معاصر محسوب می‌شود (Strande et al., 2014). رشد سریع جمعیت شهری، توسعه نامتوازن زیرساخت‌ها و افزایش مصرف منابع آب، باعث شده است تا مسئله مدیریت پساب‌ها و لجن‌های ناشی از سیستم‌های غیرمتمرکز فاضلاب، از اهمیت روزافزونی برخوردار گردد. در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، زیرساخت‌های شبکه جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب تنها بخش کوچکی از جمعیت شهری را پوشش می‌دهد و بخش عمده‌ای از خانوارها از سیستم‌های غیرمتمرکز مانند سپتیک‌تانک‌ها و چاه‌های جذبی استفاده می‌کنند (Tilley et al., 2014). این سیستم‌ها، هرچند راه‌حلی عملی برای دفع فاضلاب بهداشتی به‌شمار می‌روند، اما به دلیل تولید لجن فاضلاب بهداشتی/سپتاژ (ترکیبی پیچیده از مواد آلی، مواد مغذی، عوامل بیماری‌زا و فلزات سنگین) در صورت عدم مدیریت بهداشتی و اصولی، تهدیدی جدی برای سلامت انسان و پایداری اکوسیستم‌های محیطی ایجاد می‌کنند (Dodane et al., 2012).

گزارش اخیر WHO (2024) نشان می‌دهد که ۴۴ درصد فاضلاب خانگی جهانی بدون تصفیه اصولی دفع می‌شود، که این رقم در کشورهای کم‌درآمد به بیش از ۷۰ درصد می‌رسد و منجر به مرگ سالانه بیش از ۱٫۵ میلیون نفر به دلیل بیماری‌های مرتبط با آب آلوده می‌گردد. همچنین، گزارش توسعه آب سازمان ملل (۲۰۲۴) تأکید می‌کند که تغییرات اقلیمی و کمبود آب، مدیریت فاضلاب را پیچیده‌تر کرده و نیاز به رویکردهای محلی و چرخشی را افزایش داده است. همچنین سازمان جهانی بهداشت تخمین زده است که بیش از ۲٫۷ میلیارد نفر در سراسر جهان (یعنی بیش از یک سوم جمعیت جهان) به سیستم‌های غیرمتمرکز فاضلاب وابسته هستند، و این رقم تا سال ۲۰۳۰ احتمالاً دو برابر خواهد شد (Samal et al., 2022). این آمار نشان می‌دهد که مدیریت سپتاژ نه یک مسئله محلی، بلکه یک دغدغه جهانی است و تحقق هدف ششم توسعه پایدار (SDG 6) که بر دسترسی همگانی به آب و بهداشت اصولی تأکید دارد، بدون توجه جدی به این بخش امکان‌پذیر نخواهد بود (Peal et al., 2014). از این منظر، مدیریت سپتاژ باید به‌عنوان بخشی جدایی‌ناپذیر از مدیریت جامع فاضلاب شهری و روستایی مورد توجه قرار گیرد.

در ایران نیز، با وجود پیشرفت‌های اخیر در احداث شبکه‌های جمع‌آوری و تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در شهرهای بزرگ توسط شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، همچنان بخش قابل توجهی از شهرهای کوچک و متوسط و تقریباً تمامی مناطق روستایی فاقد پوشش شبکه فاضلاب هستند (شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، ۱۳۹۹). و مدیریت فاضلاب بهداشتی به صورت در محل از طریق سپتیک‌تانک‌ها و چاه‌های جذبی انجام می‌پذیرد. علیرغم اهمیت زیاد مساله، در ایران مدیریت فاضلاب بهداشتی در محل، به عنوان یک راهکار موقتی تلقی شده و فاقد چارچوب قانونی و نهادی مشخص است.

در این مقاله با هدف بررسی ضرورت به رسمیت شناختن مدیریت فاضلاب بهداشتی در محل در ایران، بر اساس جستجوی منابع معتبر (مانند گزارش‌های WHO، بانک جهانی و مطالعات داخلی)، نتایج مطالعه موردی در استان اردبیل و تحلیل وضعیت موجود، به بحث در مورد مزایای بهداشتی، محیط‌زیستی و اقتصادی این رویکرد پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

۱- این مطالعه مروری-تحلیلی بر اساس جستجوی سیستماتیک در پایگاه‌های داده معتبر مانند PubMed، Google Scholar، ScienceDirect و SID و ISC (برای منابع داخلی) و نتایج مطالعه موردی نویسندگان در استان اردبیل تهیه شده است. کلمات کلیدی شامل "مدیریت فاضلاب بهداشتی در محل"، "لجن فاضلاب بهداشتی"، "سپتاژ"، "اقتصاد چرخشی"، "آلودگی آب و خاک"، "ایران"، "Fecal Sludge (FS)", "Fecal Sludge Management (FSM)", "On-site", "sanitation" و "Circular Economy" بودند.

۲. مطالعه میدانی در اردبیل: داده‌های این بخش از «رساله دکتری رحمانی ایوریک (۱۴۰۴)» استخراج شده است که شامل پایش کیفیت منابع آب، آنالیز نمونه‌های لجن فاضلاب بهداشتی، بازدید میدانی از نقاط تخلیه سپتاژ و مصاحبه

با کارشناسان محلی بود. همچنین در مطالعه اردبیل، برای به دست آوردن درصد مدیریت اصولی و غیر اصولی فاضلاب بهداشتی شهر اردبیل از چارچوب SFD که توسط WaterAid و World Bank توسعه یافته است استفاده شده است

بحث و بررسی

۱. وضعیت موجود مدیریت فاضلاب بهداشتی در محل در ایران

در ایران، حدود ۴۷ درصد خانوارهای شهری و ۹۷ درصد روستایی به سیستم‌های غیرمتمرکز وابسته هستند (شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، ۱۳۹۹). لجن فاضلاب بهداشتی/سپتاژ تولیدشده اغلب بدون تصفیه در محیط دفع می‌شود، که منجر به آلودگی منابع آب زیرزمینی (نیترات و کلیفرم مدفوعی) و خاک (فلزات سنگین) می‌گردد. یافته‌های نویسندگان نشان داد که در استان اردبیل حدود ۷۰٪ لجن فاضلاب بهداشتی/سپتاژ به صورت غیربهداشتی دفع می‌شود و باعث آلودگی رودخانه‌های استان شده است. این وضعیت شباهت زیادی به گزارش‌های کشورهای جنوب آسیا و آفریقا دارد. در مطالعه‌ای که در ۱۲ شهر جهان انجام شده گزارش کردند که تنها ۲۰٪ سپتاژ جمع‌آوری شده به مراکز تصفیه منتقل می‌شود و بقیه وارد محیط می‌گردد (Peal et al., 2014). در بنگلادش نشان دادند که حدود ۹۰٪ سپتاژ بدون هیچ‌گونه تصفیه به رودخانه‌ها ریخته می‌شود (Islam et al., 2016). در نیجریه نیز بیان کردند که تخلیه مستقیم سپتاژ به منابع آب زیرزمینی یکی از علل اصلی شیوع بیماری‌های وبا است (Oyebode et al., 2019). با وجود تفاوت‌های اقتصادی و اجتماعی، یک وجه مشترک میان کشورهای در حال توسعه وجود دارد: نادیده گرفتن لجن فاضلاب بهداشتی/سپتاژ در نظام مدیریت فاضلاب. در حالی که برنامه‌ریزی شهری عمدتاً بر شبکه‌های متمرکز فاضلاب متمرکز بوده است، مدیریت سپتاژ به حاشیه رانده شده و نهادی مشخص برای آن تعریف نشده است.

۲. فرصت‌های اقتصاد چرخشی و توسعه پایدار

تمرکز صرف بر جنبه‌های منفی و خطرات سپتاژ، دیدگاه را از فرصت‌های بزرگی که در این بخش نهفته است، منحرف می‌کند. در چارچوب اقتصاد چرخشی، سپتاژ نباید به عنوان یک پسماند، بلکه به عنوان یک منبع ارزشمند در نظر گرفته شود (Ghisellini et al., 2016). توان بالقوه بازبازی منابع از لجن فاضلاب بهداشتی/سپتاژ در مطالعات مختلف داخلی و بین‌المللی نشان داده شده است. مطالعه نویسندگان در شهر اردبیل نیز نشان داد که این ماده دارای غنای بالایی از مواد آلی و مواد مغذی (نیتروژن و فسفر) است که این ویژگی‌ها، پتانسیل بالایی برای بازیافت منابع از طریق فناوری‌های مختلف نظیر موارد زیر ایجاد می‌کند:

تولید کود آلی: با فرآیند کمپوست‌سازی، لجن فاضلاب بهداشتی/سپتاژ می‌تواند به کودی با کیفیت تبدیل شود که جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی است و به بهبود سلامت خاک کمک می‌کند (Krithika et al., 2017). در ایران و به ویژه در استان اردبیل، به دلیل ماهیت کشاورزی منطقه، این راهکار می‌تواند ارزش افزوده بالایی داشته باشد. تولید انرژی (بیوگاز): هضم بی‌هوازی لجن فاضلاب بهداشتی/سپتاژ می‌تواند منجر به تولید گاز زیستی (بیوگاز) شود که قابل استفاده برای تولید برق یا گرمایش است (Bai et al., 2018). با توجه به بحران انرژی در کشور، این رویکرد می‌تواند جذاب باشد.

تولید بیوجار: پیرولیز سپتاژ می‌تواند محصول نهایی به نام بیوجار را تولید کند که به عنوان اصلاح‌کننده خاک و جاذب آلاینده‌ها کاربرد دارد (Hannah et al., 2023).

بازچرخانی آب: پساب حاصل از تصفیه سپتاژ، در صورت رعایت استانداردها، می‌تواند برای آبیاری فضای سبز شهری یا کشاورزی استفاده شود.

این رویکرد نوین، علاوه بر کاهش آلودگی محیط زیست، می‌تواند جریان درآمدی ایجاد کند و با فروش کود تولیدی به بخش کشاورزی و پساب تصفیه‌شده به صنایع یا برای آبیاری فضای سبز، می‌تواند بخشی از هزینه‌های عملیاتی سیستم مدیریت لجن فاضلاب بهداشتی/سپتاژ را تأمین کند و آن را از حالت وابسته به بودجه دولتی خارج سازد (Gebauer, 2013). لذا این امر، پایداری مالی و اجرایی این بخش را تضمین می‌کند.

۳. خلأ قانونی و نهادی

یکی از مهم‌ترین موانع مدیریت اصولی سپتاژ، ابهام در تقسیم کار نهادی است. در ایران، مسئولیت‌ها میان شهرداری‌ها (نظارت بر حمل‌ونقل و دفع)، شرکت‌های آب و فاضلاب (تصفیه فاضلاب شهری) و سازمان حفاظت محیط زیست (نظارتی و استانداردها) تقسیم شده است. اما هیچ یک از این نهادها به طور رسمی و کامل مسئولیت مدیریت بخش تانکری فاضلاب بهداشتی را بر عهده ندارند. این ابهام در قوانین کلیدی کشور نیز منعکس شده است. تبصره ۴ ماده ۲ قانون مدیریت پسماند، لجن‌های خشک یا کم‌رطوبت (کمتر از ۷۰ درصد) را در زمره پسماندهای عادی قرار می‌دهد، اما معیار دقیق "کم‌رطوبت" را تعریف نکرده است. این ابهام، زمینه را برای تفسیرهای متفاوت و واگذاری مسئولیت به دیگران فراهم کرده است. از سوی دیگر، ماده ۱ قانون تشکیل شرکت‌های آب و فاضلاب، این شرکت‌ها را مسئول جمع‌آوری، انتقال و تصفیه فاضلاب شهرها می‌داند، اما آیا این مسئولیت شامل فاضلاب تانکری (سپتاژ) نیز می‌شود؟ پاسخ روشنی وجود ندارد.

این خلأ قانونی، منجر به ضعف در نظارت، فقدان تعرفه‌گذاری مبتنی بر هزینه و عدم وجود قراردادهای اجرایی با بخش خصوصی (تانکرداران) شده است. در نتیجه، فعالیت‌های تخلیه و حمل‌ونقل سپتاژ اغلب به صورت غیررسمی و غیرشفاف انجام می‌شود. تانکرداران بدون مجوز رسمی، بدون رعایت موازین بهداشتی و بدون نظارت، محتویات تانکرها را در نقاط تایید نشده تخلیه می‌کنند. این وضعیت نه تنها محیط زیست را آلوده می‌کند، بلکه سلامت کارگران این حوزه و جامعه را نیز به خطر می‌اندازد.

راهکارها و نتیجه‌گیری

با توجه به واقعیت رو به رشد وابستگی به سیستم‌های مدیریت فاضلاب بهداشتی در محل (غیرمتمرکز) و پیش‌بینی‌های جهانی، به رسمیت شناختن مدیریت فاضلاب بهداشتی در محل به عنوان یک بخش اساسی و دائمی از زیرساخت‌های شهری و روستایی ایران ضروری است. این به رسمیت شناختن باید در سه سطح انجام شود:

۱. سطح قانون‌گذاری:

تدوین یک چارچوب قانونی ملی شفاف که مسئولیت اصلی مدیریت سپتاژ را به یک نهاد مشخص (ترجیحاً شرکت‌های آب و فاضلاب با همکاری شهرداری‌ها) واگذار کند. این چارچوب باید استانداردهای فنی برای ساخت سپتیک‌تانک، نحوه تخلیه، حمل‌ونقل، تصفیه و بازیافت را به وضوح تعیین کند. تبصره ۳ ماده ۲۰ آیین‌نامه اجرایی قانون حفاظت از خاک می‌تواند نقطه شروع این فرآیند باشد، اما نیاز به تسریع و تعمیم آن در سطح ملی دارد.

۲. سطح نهادی و اجرایی: ایجاد ساختارهای یکپارچه در سطح استان‌ها پیشنهاد می‌شود "ستاد استانی مدیریت لجن فاضلاب بهداشتی" با مشارکت نمایندگان کلیدی (استاندار، آف‌ها، محیط زیست، بهداشت، کشاورزی و راه و شهرسازی) تشکیل شود تا آیین‌نامه‌های محلی را تدوین و نظارت بر اجرا را بر عهده گیرد. همچنین، ایجاد "شرکت مدیریت لجن فاضلاب بهداشتی در محل" به صورت دولتی-خصوصی می‌تواند بر جمع‌آوری، حمل‌ونقل، تصفیه و فروش محصولات نهایی نظارت کند.

۳. سطح فناوری و اقتصاد: ترویج فناوری‌های مناسب و مقرون‌به‌صرفه مانند برکه‌های تثبیت و کمپوست‌سازی که همزمان با تصفیه، امکان بازیافت منابع را فراهم می‌کنند. توسعه مدل‌های کسب‌وکار با رویکرد اقتصاد چرخشی که درآمد حاصل از فروش محصولات بازیافتی را به چرخه مدیریت سپتاژ بازگرداند، کلید پایداری این سیستم است.

مدل پیشنهادی می‌تواند مشابه تجربه هند باشد که در سال ۲۰۱۶ مدیریت سپتاژ را در چارچوب برنامه ملی «ماموریت شهرهای پاک» (Swachh Bharat Mission) به رسمیت شناخت و با حمایت بانک جهانی، بودجه مشخصی برای توسعه زیرساخت‌های بهداشتی و مدیریت آن اختصاص داد (World Bank., 2016).

نتیجه نهایی

نادیده گرفتن مدیریت لجن فاضلاب بهداشتی/سپتاژ، نه تنها یک اشتباه محیط‌زیستی و بهداشتی بزرگ است، بلکه فرصتی طلایی برای حرکت به سوی اقتصاد چرخشی و توسعه پایدار را از دست می‌دهد. به رسمیت شناختن این بخش و تدوین یک راهبرد جامع برای آن، گامی ضروری برای حفظ سلامت جامعه، حفاظت از منابع آب و خاک، و ایجاد ارزش اقتصادی از پسماندها است.

منابع

رحمانی ایوبی، ب. (۱۴۰۴). ارزیابی مدیریت سپتاژ و اثرات آن بر کیفیت منابع آب در استان اردبیل. رساله دکتری، دانشگاه صنعتی اصفهان.

شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور (۱۳۹۹). گزارش سالانه پوشش فاضلاب شهری. وزارت نیرو، تهران.

- Bai, X., et al. (2018). Anaerobic digestion of faecal sludge. *Renewable Energy*, 126, 623–632.
- Dodane, P.-H., Mbéguéré, M., Sow, O., & Strande, L. (2012). Capital and operating costs of full-scale fecal sludge management and wastewater treatment systems in Dakar, Senegal. *Environmental Science & Technology*, 46(7), 3705–3711. <https://doi.org/10.1021/es2045234>
- Gebauer, H. (2013). Business model innovation in the water sector. *Utilities Policy*, 24, 29–37.
- Ghisellini, Patrizia, Cialani, Catia, & Ulgiati, Sergio. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32. http://www.eai.in/ref/ae/wte/typ/clas/fecal_sludge.html.
- Hannah, R., et al. (2023). Biochar production from faecal sludge. *Journal of Cleaner Production*, 392, 136302.
- Oyebode, O., et al. (2019). Sanitation challenges in Nigeria: Septage collection and treatment. *African Journal of Environmental Science*, 13(7), 321–330.
- Islam, M. S., et al. (2016). Managing urban fecal sludge in Bangladesh. *JWSHD*, 6(4), 553–562.
- Krithika, D., et al. (2017). Composting of faecal sludge. *Waste Management*, 61, 158–166.
- Peal, A., et al. (2014). Fecal sludge management: a comparative analysis of 12 cities. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 4(4), 563–575.
- Samal, K., et al. (2022). Design of faecal sludge treatment plant (FSTP). *Energy Nexus*, 7, 100091.
- Strande, L., Ronteltap, M., & Brdjanovic, D. (2014). *Faecal Sludge Management: Systems Approach for Implementation and Operation*. IWA Publishing.
- Taylor, K. 2018. *Faecal sludge and septage treatment: A guide for low- and middle-income countries*. Rugby, United Kingdom: Practical Action Publishing. 370p. <https://doi.org/10.3362/9781780449869>.
- Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, H., & Zurbrugg, C. (2014). *Compendium of sanitation systems and technologies* (2nd ed.). Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). <https://www.eawag.ch/en/departmentsandec/projects/compendium/>
- World Bank. (2016, March 30). Government of India and World Bank sign US\$1.5 billion agreement to support India's universal sanitation initiative. World Bank.

Behnam Rahmani Ivriq

PhD Student, Department (College) of natural resources Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

Norollah Mirgaffari

Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

Mohammad Nemati Varnosafadarani

Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

Asghar Jahani Behnamiri

Head of the Environment and Unconventional Waters Unit, Deputy Minister of Water Resources and Energy, Ministry of Energy

Abstract

Despite the focus of Iran's development policies on establishing centralized wastewater collection and treatment networks, the statistical and field reality shows that a large part of the urban population and almost the entire rural population of the country still depend on decentralized on-site sanitary wastewater management systems, such as septic tanks and absorption wells. This dependence is not a temporary situation, but a sustainable and growing reality, as predicted by the World Health Organization (WHO), which estimates that by 2030, half of the world's population will rely on these systems. In Iran, the lack of recognition of this part of the sanitary service chain has led to the creation of a legal, institutional, and executive vacuum. Note 4, Article 2 of the Waste Management Law, with its ambiguity in the definition of "low-moisture sludge", is a clear example of this lack of transparency, which has made executive responsibilities between different agencies unclear and ineffective. Drawing on field research findings in Ardabil province and a review of global resources, this study argues for the need to recognize and regulate on-site sanitary wastewater management as a national imperative. This recognition is not only to prevent environmental pollution and protect public health, but also represents a valuable opportunity to implement the principles of a circular economy through resource recycling and sustainable job creation.

Keywords: Environmental pollution, circular economy, public health, legislation and on-site sanitary wastewater management