تصفیه پساب خاکستری؛ فناوری نوآورانه در مدیریت مصرف آب

فرخ آقایی[۱]، مجید ریاحی سامانی*[۲]، محمدمهدی امین[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر، خمینی شهر، اصفهان، ایران *f.aghaei1352@gmail.com*

۲. استادیار، گروه مهندسی عمران ، دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر، خمینی شهر، اصفهان، ایران
(*نویسنده مسئول)*riahysamani@iaukhsh.ac.ir*

۳. استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی اصفهان

چکیده

آب از حیاتی‌ترین مواد بر روی کره‌ی زمین می‌با شد. ۷۱ در صد از سطح کره‌ی زمین با آب پو شانده شده ا ست که از این میزان حدود ۳ درصد آن قابل ا ستفاده می‌باشد. ر شد روز افزون جمعیت، فعالیت صنعتی و کشاورزی از یک سو میزان مصرف آب را افزایش می‌دهد و از سوی دیگر باعث به وجود آمدن پساب‌های خانگی، صنعتی و کشاورزی می‌گردد که این پساب‌ها منجر به بروز م شکلات زیست محیطی فراوانی می شوند. به کارگیری مفاهیم و فن‌آوری‌های نوآورانه برای حل‌کردن این مهم بسیار حیاتی و ضروری می‌با شد. پساب‌های خانگی به دو دسته تقسیم می‌شوند: دسته اول جریان پساب ناشی از آشپزخانه، لباسشویی، حمام و دستشویی می‌باشد که در مجموع آنها را پساب خاکستری می‌نامند. د سته دوم جریان پساب نا شی از توالت‌ها ا ست که پساب سیاه نامیده می شود. طبق نمونه گیری‌های انجام شده، پ ساب خاک ستری حدود ۶۲ در صد از کل م صرف آب خانگی را ت شکیل می‌دهد. به علت آلودگی کمتر پ ساب خاکستری بخصوص از نظر میزان مواد معلق و میزان کلیفرم‌های آن نسبت به پساب سیاه، می‌توان نسبت به جمع آوری و تصفیه پساب خاک ستری در سطح خانگی اقدام نمود و از آن به عنوان یک منبع جهت م صارف خانگی که در تماس م ستقیم با ان سان نی ستند، مثل آبیاری و سیفون توالت و ... مجدداً ا ستفاده کرد. بازیابی و ا ستفاده مجدد از پ ساب خاک ستری یکی از مهم‌ترین راهکارها برای کاهش میزان مصرف آب شرب در منازل، صنایع و ساختمان‌های تجاری و اداری است. مزایای تصفیه پساب خاکستری شامل: کاهش تقاضای آب کاهش بارهای آلی و هیدرولیکی در سی ستم پ ساب شهری، کاهش هزینه‌های قبوض آب، پر کردن سفرهای زیرزمینی و کمک به چرخه سالم آب، حفاظت از اکوسیستم‌های آبزیان می‌باشد. برای تصفیه‌ی پساب خاکستری تاکنون سه روش تصفیه فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مورد برر سی قرار گرفته اند. در این مقاله روش‌های مختلف تصفیه پساب خاکستری مورد برر سی قرار می گیرد. در نهایت با توجه به مطالب بیان شده می‌توان دریافت که تصفیه‌ی پساب خاکستری، فناوری نوآورانه در مدیریت مصرف آب می‌باشد و استفاده مجدد از آن در مقاصد مختلف کاملا امکان پذیر بوده و در صورت استفاده از روش مناسب، می توان به کمک آن از بخش چشمگیری از هدررفت منابع آب آشامیدنی جلوگیری نمود.

کلمات کلیدی: آب، استفاده مجدد، پساب خاکستری، فناوری نوآورانه، مدیریت مصرف

مقدمه

شاید بتوان گفت آب پس از هوا حیاتی‌ترین ماده برای ادامه‌ی زندگی بشر است. ۷۱ درصد از سطح کره‌ی زمین با آب پوشانده شده است که از این میزان حدود ۳ درصد آن قابل استفاده می‌باشد. در نتیجه مسئله‌ی آب و کمبود آن مورد توجه قرار می‌گیرد. به علاوه امروزه با پیشرفت زندگی صنعتی مصرف آب رو به فزونی است. هم چنین فعالیت‌های صنعتی منجر به ایجاد پساب می‌شوند که مشکلات زیست محیطی فراوانی را به وجود می‌آورد. مشکلات جدی ناشی از پساب‌ها شامل آلودگی آب و خاک، کاهش منابع آب، آلودگی منابع و ... می‌باشد (مارشال و همکاران، ۲۰۰۷). حدود ۴۰ درصد از مردم جهان از نبود سرویس بهداشتی مناسب رنج می‌برند که این مسئله منجر به بروز بیماری‌هایی می‌شود. در نتیجه اهمیت تصفیه پساب هم در بازیابی آب مصرفی در صنایع و سایر مصارف و هم در رفع مشکلات و مخاطرات زیست‌محیطی می‌باشد.

به منظور تصفیه پساب، شناسایی نوع پساب و آلاینده ی موجود در آن ضروری می‌باشد (هو، ۲۰۰۲). پسابهای خانگی به دو دسته تقسیم میشوند :دسته اول جریان پساب ناشی از آشپزخانه، لباسشویی، حمام و دستشویی می‌باشد که در مجموع آنها را پساب خاکستری می‌نامند. دسته دوم جریان پساب ناشی از توالت‌ها است که پساب سیاه نامیده می‌شود. برای مثال ۴۷ درصد از مصارف آب مربوط به تولید پساب خاکستری در مالزی و ۶۸ درصد در انگلستان می شوند (فومکا، ۲۰۱۰) و (لی و همکاران، ۲۰۱۰).

میزان مواد آلی موجود در پساب خاکستری بسیار کمتر از پساب سیاه می باشد. میزان سی او دی در پساب سیاه 1.5 برابر بیشتر از پساب خاکستری می باشد (جفرسون و همکاران، ۲۰۰۴). به علت آلودگی کمتر پساب خاکستری بخصوص از نظر میزان مواد معلق و میزان کلیفرم‌های آن نسبت به پساب سیاه، می توان نسبت به جمع آوری و تصفیه پساب خاکستری در سطح خانگی اقدام نمود و از آن به عنوان یک منبع جهت مصارف خانگی که در تماس مستقیم با انسان نیستند، مثل آبیاری و سیفون توالت و ... مجدداً استفاده کرد (پیرسون، ۱۹۹۸).

مزایای تصفیه پساب خاکستری را می توان شامل موارد زیر دانست:

۱. کاهش تقاضای آب
۲. کاهش بارهای آلی و هیدرولیکی در سیستم پساب شهری
۳. کاهش هزینه‌های قبوض آب
۴. پر کردن سفرهای زیرزمینی و کمک به چرخه سالم آب
۵. حفاظت از اکوسیستم‌های آبزیان

مطالعه جیمنز در استرالیا نشان میدهد که استفاده مجدد از پساب خاکستری، به کاهش حجم پساب وارد شده به تصفیه خانه‌ها و صرفه جویی در مصرف انرژی منجر شده و به تبع آن، باعث کاهش تقاضای آب آشامیدنی شده است (۲۰۰۸).

مطالعات هزینه و سود انجام شده در رابطه با استفاده مجدد از پساب خاکستری برای مدرسه ای در مادهیا پرادش هندوستان توسط گودفری و همکاران نشان می دهد که مجموع سود داخلی و خارجی استفاده از سیستم تصفیه پساب خاکستری به مراتب بیشتر از کل هزینه داخلی و خارجی می باشد (۲۰۰۳).

در استرالیا، استفاده مجدد از پساب خاکستری تقاضای آب شیرین، فشار درتصفیه خانه‌های پساب و مصرف انرژی را کاهش داده است. با توجه به افزایش جریان ورودی از پساب خاکستری، هزینه قبض آب و پساب بهبود یافته است. در لبنان، پساب خاکستری یک منبع ارزشمند برای رشد گیاهان است؛ زیرا مواد مغذی موجود در پساب خاکستری تصفیه شده برای رشد گیاه ضروری است که در صورت عدم استفاده، این منبع ارزشمند هدر شده است. با استفاده خانگی از پساب خاکستری تصفیه شده در مکزیک، مشکل جلبک سبز آبی در حوضچه‌های پساب و مخازن آب کاهش یافته است. همچنین در برخی روستاها و مدارس در نامبیا و مصر پساب خاکستری بازیابی شده، در مزارع موز استفاده شده است (مدونگوی و ساکورینگوا، ۲۰۰۷).

برای تصفیه‌ی پساب خاکستری تاکنون سه روش فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مورد برر سی قرار گرفته اند. با توجه به خواص پساب خاکستری، استفاده از یک روش به تنهایی برای تطبیق با استانداردهای محیط زیستی موجود کافی نیست. جهت دست‌یابی به بالاترین راندمان، عموما در ابتدا از یک مرحله تصفیه ی فیزیکی به عنوان پیش تصفیه استفاده می شود. در مرحله پیش تصفیه بیشتر رسوبات موجود، جامدات معلق و سایر موادی که به راحتی از محیط جدا می‌شوند، به کمک فیلتر یا غشاء از پساب جدا می‌شوند. پس از

انجام مرحله‌ی پیش تصفیه، با استفاده از مراحل مکمل، فرآیند تصفیه تکمیل می شود. از دهه‌ی ۸۵ میلادی به بعد، با پیشرفت روز افزون تجهیزات کنترلی و فرآیندی، به دلیل ارزان بودن شرایط عملیاتی، سازگار بودن با محیط زیست و راندمان بالا، توجه بیشتری بر روش‌های بیولوژیکی معطوف شده است. در این مقاله روش‌های مختلف تصفیه پساب خاکستری مورد بررسی قرار می‌گیرد. در واقع این پژوهش مروری بر روش‌های تصفیه پساب خاکستری می‌باشد و سه روش تصفیه فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی را مورد بررسی قرار می‌دهد.

مواد و روش‌ها

تصفیه فیزیکی

در این روش از نیروهای فیزیکی برای جدا سازی مواد از جریان پساب استفاده می شود. به دلیل سادگی این فرآیند، روش‌های فیزیکی اولین روش مورد استفاده در تصفیه پساب‌ها می‌باشند. هزینه به نسبت دیگر روش‌ها، کمتر است و همواره سعی شده در انتخاب فرآیندهای تصفیه از حداکثر توان این روش استفاده ششود. با این حال روششهای فیزیکی به تنهایی توانایی تصفیه‌ی مناسب پساب خاکستری و تطبیق کیفیت آن با استانداردهای موجود را ندارند و از آنها بیشتر به عنوان یک مرحله‌ی پیش تصفیه برای تصفیه‌ی نهایی استفاده می شود. آشغال گیری، دانه‌گیری، ته نشینی، شناور سازی، چربیگیر و فیلترا سیون همگی نمونه‌هایی از روش‌های فیزیکی درتصفیه پساب می‌باشند(فرانسیس و همکاران، ۲۰۰۷)

اوده الجیوسی در سال ۲۰۰۳ دریافت که استفاده مجدد از پساب خاکستری در اردن که ۵۰ در صد پساب را تشکیل داده است وکیفیت آن با دیگر پساب‌ها بطور قابل ملاحظه ای متفاوت است، می تواند نتایج خوبی داشته باشد. وی یک فیلترا سیون ساده و یک سیستم شیمیایی گندزدایی را مورد استفاده قرار داد. این روش تصفیه کلیفرم‌ها را جدا می کند اما کدورت و آلاینده‌های آلی همچنان بجا می مانند. سیستم‌های پیشرفته فیلترا سیون ترکیبات تشکیل دهنده ی پساب خاکستری را کاهش می دهد، اما به استانداردهای بازیافت آب نمی‌رساند. رقیق سازی پساب‌ها بمنظور متعادل سازی آن فرصت‌های بیشتری برای بیشینه کردن بازیابی پساب خاکستری به ما می‌دهد.

در سال ۲۰۰۴ در تحقیقی که ایتایمایا و همکاران انجام دادند، از یک فیلتر شیبدار خاکی برای تصفیه پساب خاکستری سینک آشپزخانه، که دارای بار آلودگی بالایی است استفاده شد. اجزای اصلی خاک در این فیلتر را اکسید آلومینیوم و سیلیکای هیدراته تشکیل می دهد و سیستم تصفیه ی خاکی مورد استفاده در این تحقیق، تا حدودی توانایی از بین بردن آلودگی‌های آلی و ترکیبات فسفری را دارا می باشد. در این روش، سیستم فیلتراسیون خاکی مورد استفاده در آن، برای مدت ۳ سال بدون نیاز به هیچ گونه اقدامات نگهداری و تعمیرات خاص، به کار خود ادامه داده است. این سیستم توانایی کاهش ۶۷ درصدی بی او دی و ۷۸ درصدی جامدات معلق را دارا است که این میزان برای تطبیق کیفیت پساب خاکستری تصفیه شده با استانداردهای موجود کافی نیست (پیدو و همکاران، ۲۰۰۷) و (لی و همکاران، ۲۰۰۹).

رامون و همکاران در سال ۲۰۰۴ توانایی تصفیه ی پساب خاکستری ضعیف حمام را توسط غشاء نانو فیلتراسیون با سه غشاء اولترا فیلتراسیون دیگر مقایسه نمودند. نمونه‌ها از دوش‌های عمومی مراکز ورزشی جمع آوی شدند که نوع شدت تی اس اس: ۲۹/۸ mg/l و سی او دی: ۱۷۰/۳ mg/l می باشد. با استفاده از روش اولترافیلتراسیون در این تحقیق، استانداردهای رایج مربوط به جامدات معلق و سی او دی رعایت می شود (۴۵ تا ۷۰ در صد کاهش سی او دی و کاهش ۹۲ تا ۹۷ در صدی در میزان کل جامدات معلق). با این وجود در کلیه مراحل آزمایش، همواره مقدار بی او دی، بالاتر از استانداردهای موجود برآورد شد. با توجه به یافته‌های رامون، به هنگام استفاده از نانو فیلتراسیون نیز، میزان جداسازی ترکیبات آلی محلول بالای ۹۰ درصد و ذرات یونی بالای ۵۰ درصد به میزان مطلوبی گزارش شد.

آساید و همکاران در سال ۲۰۱۴ از روشی جدید برای تصفیه ی فیزیکی پساب خاکستری استفاده کردند. سیستم مورد استفاده در این روش، فیلتر شنی فشرده ی کشویی نام دارد. این سیستم شامل یک طرح جدید است که در آن فیلتر شنی به چندین لایه با ضخامت حدودا ۱۰ سانتی متری تقسیم می شود. هر یک از این لایه‌ها، روی یک ورقه ی کشو مانند به صورت عمودی قرار گرفته و فاصله ای ۱۰ سانتی متری بین هر کشو در نظر گرفته می شود. هدف این روش جلوگیری از مشکلات طرح‌های پیشین فیلترهای شنی، مانند گرفتگی، ایجاد بوی نامطبوع و نیاز به فضای عملیاتی زیاد گزارش شده است. در این آزمایش، بین سالهای ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳، ۹واحد

فیلتر شنی فشرده ی کشویی مختلف در مناطق مختلف کشور اردن عملیاتی شد. میزان حذف بی او دی بین و سی او دی این سیستم بین ۷۸ تا ۹۶ درصد و میزان حذف جامدات معلق کل آن بین۶۹ تا ۹۸ درصد گزارش شد. برآوردهای اقتصادی انجام شده بر واحد فیلتر شنی فشرده ی کشویی مورد استفاده در این آزمایش نشان داد که این سیستم روشی مناسب و کارامد است و حداقل نیازهای تعمیرات و نگهداری برای ادامه ی شرایط عملیاتی آن در نظر گرفته می‌شود .

به صورت کلی رو شهای متنوعی برای تصفیه ی پساب خاکستری ابداع شده ا ست اما به سختی می توان به یک روش فیزیکی به تنهایی به عنوان گزینه ی اصلی تصفیه پساب خاکستری برای تصفیه و استفاده مجدد از آن تکیه نمود. همانطور که پیشتر نیز ذکر شد، از روشهای فیزیکی بیشتر به عنوان مرحله ی تصفیه ی ابتدایی و فراهم نمودن شرایط برای تصفیه ی نهایی استفاده می شود.

تصفیه شیمیایی

روش‌های ت صفیه شیمیایی عموما توانایی بی شتری ن سبت به روش‌های فیزیکی در فرآیندهای ت صفیه دارند اما تاکنون رو شهای منحصرا شیمیایی متعددی برای تصفیه ی پساب خاکستری گزارش نشده ا ست و بیشتر از تلفیق رو شهای فیزیکی و شیمیایی با هم استفاده می شود. دراین روش، فرآیند جداسازی یا تبدیل مواد آلاینده، به کمک افزودن مواد شیمیایی و در نتیجه واکنش‌های شیمیایی آن مواد صورت می گیرد. پیچیدگی در این فرآیندها به مراتب بیش از روش‌های فیزیکی می با شد، که سبب د شواری ن سبی در بهره برداری از روش‌های شیمیایی می گردد. از این رو تا حد امکان سعی می شود که کمتر از رو شهای شیمیایی در سیستم تصفیه استفاده شود. همچنین هزینه خرید و نگهداری مواد شیمیایی مورد نیاز در برخی موارد بزرگترین مانع در کاربرد فرآیندهای شیمیایی ا ست. روش‌هایی که تاکنون در آزمایشات از آنها استفاده شده است عبارتاند از : لخته سازی و انعقاد، اکسیداسیون فوتوکاتالیستی، کربن فعال گرانولی و فرآیندهای تبادل یونی (مندل و همکاران،۲۰۱۱).

پیدو و همکاران در سال ۲۰۰۷ از یک سیستم لخته سازی برای تصفیه ی پساب خاکستری حمام یک مجتمع دانشجویی استفاده کردند. لخته کننده ی مورد استفاده در این فرآیند سولفات آهن و سولفات آلومینیوم گزارش شده است. در این روش بعد از تنظیم pH ، سیستم به مدت ۱۵ دقیقه و با سرعت ۳۰ دور در دقیقه در معرض ماده لخته کننده قرار گرفته و سپس ۱۵ دقیقه نیز برای مرحله ی ته نشینی در نظر گرفته می شود. کدورت پساب خاکستری بعد از اتمام این مرحله، به هنگام استفاده از سولفات آلومینیوم و آهن به ترتیب از ۴۶/۶ به ۴/۲۸ و ۵/۲ در مقیاس NTU کاهش پیدا کرد .به همین ترتیب بی او دی نیز از ۲۰۵ میلی گرم در لیتر به ۲۳ و ۳۰ میلی گرم در لیتر و همچین سی او دی پساب خاکستری مورد تصفیه از ۷۹۱ ، به ۲۸۷ و ۲۸۸ میلی گرم در لیتر کاهش پیدا کرد.

گیون و همکاران در سال ۲۰۰۸ اثرات مواد آلی و ذرات را بر گندزدایی کلر در پساب خاکستری با اندازه گیری خنثی سازی کلیفرم‌ها آزمایش کردند. کارآیی گندزدایی تا حدود زیادی به اندازه ی ذرات ب ستگی دا شت. ذرات بزرگتر کلیفرم‌ها را از خنثی شدن حفظ می کند و کارایی گند زدایی با افزایش اندازه ذرات پایین می آید. مخلوط کردن برای خارج نمودن ذرات همراه کلیفرم‌ها به همراه گندزدایی کلر آ شکار کرد که حدود ۹۱ درصد کل کلیفرم‌ها در کلر زنی پساب خاکستری با ذرات ترکیب شدند. غلظت مواد آلی پساب خاکستری میزان کلر مورد نیاز را تحت تاثیر قرار می دهد. پیشنهاد گردید که سیستم‌های تصفیه ی پساب خاکستری قبل از گندزدایی جداسازی ذرات معلق جامد را برای اطمینان از حذف ذرات همراه با کلیفرم‌ها انجام دهند. کایلو و همکاران در سال ۲۰۱۰ پتانسیل مراحل تصفیه پساب خاکستری را با فیلتراسیون بستر شنی، جذب سطحی کربن فعال دانه‌ای و ضدعفونی با کلر ارزیابی کردند .نمونه‌ها از پسابهای خانگی بودند. بستر شنی جداسازی مطلوبی از TSS % و کدورت انجام داد که COD ۳۰ درصد کاهش یافت.

کاریوکی و همکاران در سال ۲۰۱۱ ، سیستمی متشکل از چند بشکه برای انجام مراحل مختلف فیلترا سیون، انعقاد، ته نشینی و گند زدایی در کشور کنیا ابداع نمودند. می توان از این روش به عنوان یک فرآیند فیزیکی شیمیایی نام برد. بنا بر گزار شات مطرح شده در این تحقیق، پساب خاکستری تصفیه شده در این روش از نظر pH و میزان رسانایی الکتریکی مطابق استانداردهای سازمان بهداشت جهانی برای آبیاری کشاورزی برآورد شده است. انجام مرحله ی گند زدایی به کمک ضد عفونی کننده ی سدیم هیپوکلریت ، این روش در مبارزه با سالمونلا و کلیفرمهای موجود در پساب خاکستری مخلوط جمع آوری شده از مناطق مسکونی نیز عملکرد قابل قبولی داشته است. میزان حذف بی او دی در این تحقیق بین ۸۵ تا ۸۹ درصد و حذف سی او دی حدود ۶۴ درصد گزارش شده است. در آزمایشات کاریوکی علی رغم نکات مثبت، توانایی اندکی در حذف نیتروژن مشاهده شده است.

تصفیه بیولوژیکی

به آن دسته از روش‌هایی که درآنها از فرآیندهای بیولوژیکی برای تصفیه استفاده می شود، روش‌های بیولوژیکی گفته می شود. در این روش‌ها میکروارگانیسمها نقش اصلی را درفرآیند تصفیه برعهده دارند چراکه آنها با استفاده از مکانیزم‌های درونی خود، مواد آلی موجود در پساب را جذب کرده و از آن برای تولید سلول جدید و کسب انرژی استفاده می کنند. از آنجاکه سهم عمده ای از آلاینده‌های پساب‌ها را مواد آلی تشکیل می دهند، استفاده از روش‌های بیولوژیکی امروزه بطور گستردهای برای تصفیه پساب‌ها متداول شده است. به دلیل هزینه ی فرآیندی پایین، توانایی بالای تصفیه و کاهش بار آلودگی آلی، عدم نیاز به تجهیزات و مواد اولیه پیچیده و دور از دسترس، سبز و دوستدار محیط زیست بودن، به روشهای بیولوژیکی توجه ویژهای شده است. عموما در تصفیه ی پساب خاکستری، از روشهای فیزیکی و شیمیایی به عنوان مرحله ی پیش فرآوری استفاده شده و تصفیه ی نهایی به کمک یکی از روشهای متنوع بیولوژیکی انجام می شود. مهمترین روشهای تصفیه ی بیولوژیکی عبارت اند از : تماس دهنده‌های چرخان بیولوژیکی، راکتور ناپیوسته ی ترتیبی، بستر لجن بیهوازی، حوضچه ی تصفیه و بیوراکتور غشائی (دیپیکا مندل و همکاران، ۲۰۱۱).

یک تماس دهنده ی چرخان بیولوژیکی از چند صفحه ی موازی نزدیک به هم تشکیل شده است به گونه ای که این صفحات به یک شفت چرخان بالای سطح پساب مورد تصفیه متصل بوده و همواره بخشی از این دیسکها درون پساب قرار گرفته و بخشی دیگر در محیط آزاد بالای آن قرار می گیرند. در سال ۲۰۱۱ ، پاتان و همکاران از همین سیستم برای تصفیه ی پساب خاکستری تولیدی در آشپزخانه و حمام یک خوابگاه دانشجویی در کشور پاکستان استفاده نمودند. بی او دی و سی او دی پساب ورودی به ترتیب بین ۳۶ تا ۷۷ و ۷۹ تا ۱۹۵ میلی گرم در لیتر اندازه گیری شد. واحد تماس دهنده ی چرخان بیولوژیکی مورد استفاده در این آزمایش، در زمان ماند هیدرولیکی‌های مختلف و با سرعت ۱/۷ دور بر دقیق راه اندازی شد .در زمان ماند هیدرولیکی ۱/۵ ساعت، مقدار حذف بی او دی و سی او دی به ترتیب ۵۳ و ۶۰ درصد گزارش شد. با در نظر گرفتن استانداردهای محیط زیستی کشورهای مختلف، بی او دی نهایی بدست آمده در این روش، مطابق استانداردهای آمریکا و اندکی بیشتر از استانداردهای چین و ژاپن برآورد شد.

در بیوراکتورهای غشائی از ترکیب تجزیه ی زیستی و فیلتراسیون غشائی برای تصفیه ی جریان پساب ورودی استفاده می شود. با توجه به نتایج آزمایشات انجام شده، روش بیوراکتور غشایی به عنوان یکی از قدرتمندترین تکنیکهای موجود برای تصفیه ی پساب‌های گوناگون برآورد شده است. لیو و همکاران در سال ۲۰۰۵ به بررسی راندمان تصفیه پساب خاکستری حمام به کمک بیوراکتور غشایی پرداختند. از آنجایی که پساب خاکستری حمام در مقادیر بالا تولید می شود و بار آلودگی پایینی نیز دارد، همواره به عنوان یکی از منابع مناسب مورد توجه قرار گرفته است. محققین این آزمایش، یک واحد پایلوت بیوراکتور غشایی با ظرفیت ۱۰ متر مکعب در روز و با بار آلی بین ۰/۸۵ تا ۰/۵ کیلوگرم سی او دی بر واحد متر مکعب به ازای هر روز، ایجاد نمودند. فرآیند ذکر شده به مدت ۲۰۰ روز و بدون تخلیه ی لجن و شستشوی شیمیایی حفرات غشاء ادامه پیدا کرد. پس از تکمیل فرآیند، مقدار سی او دی پساب تصفیه شده از حدود ۱۳۰ تا ۳۲۲ میلی گرم در لیتر، به کمتر از ۴۰ میلی گرم در لیتر، آمونیوم نیتروژن به کمتر از ۰/۵ میلی گرم در لیتر، بی او دی از حدود ۹۹ تا ۲۲۱ میلی گرم در لیتر به کمتر از ۵ میلی گرم در لیتر و غلظت سورفکتانتهای آنیونی آن نیز به کمتر از ۰/۲ میلی گرم در لیتر کاهش پیدا کرد. کیفیت پساب تصفیه شده پس از تکمیل فرآیند، مطابق با استانداردهای محیط زیستی چین برای استفاده مجدد از پساب خاکستری گزارش شده است. جداسازی غشائی موجود در این روش، بر میزان حذف سی او دی تاثیر گذاشته اما نقشی در حذف سورفکتانتهای آنیونی ندارد. مواد غیر آلی نیز در بیوراکتور تجمع پیدا کردند. دلیل اصلی گرفتگی غشاء در این روش، چسبندگی لجن، تشکیل لایه ی ژل مانند بر سطح خارجی غشاء و رشد میکروبی بر سطح داخلی آن در ذکر شده است.

در فرآیند بستر لجن بی هوازی بالارونده، پساب مورد نظر از بخش انتهایی وارد راکتور می شود. پس از ورود پساب، جریان مورد نظر از بستر لجنی که از ذرات یا گرانولهای بیولوژیکی تشکیل شده عبور کرده و با تماس مواد آلاینده با گرانولها عمل تصفیه انجام می شود. لینا ابوگامنی و همکاران در سال ۲۰۱۰ سری سیستم‌های هوازی و بی هوازی را

برای آبیاری آزمایش کردند. منبع آب از یک خوابگاه ۱۵۰ دانش آموزه دانشگاهی در اردن گرفته شد. حذف سی او دی توسط واحدهای بی هوازی در تابستان و زمستان ۴۵ درصد و ۳۹ درصد و نیز واحدهای هوازی در تابستان و زمستان ۵۳ درصد و ۶۴ درصد به ترتیب بود. غلظت لجن در رآکتور بی هوازی ۸ mg VSL و در رآکتور هوازی ۱۶۸ mg VSL می باشند. پایداری لجن در رآکتورهای هوازی و بی هوازی به ترتیب ۸۰ درصد و ۹۰ درصد بر پایه ی سی او دی بود .کیفیت خروجی هوازی بجز پاتوژنها، موافق با

استانداردهای آبیاری برای آب تصفیه شده بود.

استفاده از حوضچه‌های تصفیه اخیرا مورد توجه گسترده ای قرار گرفته است. علت این امر، سادگی فرآیند، سازگاری فراوان با محیط زیست و هزینه پایین عملیاتی این روش ا ست. در روش حو ضچه ی ت صفیه ، از فرآیندهای اکولوژیکی موجود در اکو سیستم برکه‌های طبیعی ا ستفاده می شود. در این سیستم عمل ت صفیه به کمک انواع خاکها، گیاهان و میکروارگانیسمهای موجود در برکه‌های طبیعی انجام می گیرد. بر ا ساس گزارش آژانس محافظت از محیط زیست آمریکا، این سیستم ت صفیه توانایی حذف بی او دی، جامدات معلق، فلزات مختلف (کادمیوم، کروم، آهن، سرب، منیزیوم، سلنیوم)و ترکیبات آلی آلوده کننده را به خوبی دارا می با شد. در سال ۲۰۱۵ ، واروچک و همکاران، یک تالاب یا حو ضچه ی ت صفیه ی کوچک ایجاد نموده و به برر سی توانایی آن در ت صفیه ی پ ساب خاک ستری پرداختند. زمان ماند هیدرولیکی مورد استفاده در این آزمایش، مقدار اندک ۴ دقیقه در نظر گرفته شده و غلظت پارامترهای آلوده کننده ی پساب ورودی، از جمله بی او دی، سی او دی، جامدات معلق، و کدورت به ترتیب ۳۰۹، ۱۱۰۳، ۱۵۳ میلی گرم در لیتر و ۱۳۲ NTU اندازه گیری شد. پس از انجام آزمایشات، میزان حذف بی او دی ۸۱/۴۲ درصد، سی او دی ۸۴/۵۷ درصد ، جامدات معلق ۵۴/۷۰ درصد و کدورت ۴۵/۰۱ در صد گزارش شد. با توجه به مطالب بیان شده می توان دریافت که فرآیند حو ضچه ی ت صفیه یکی از قدرتمندترین فرآیندهای تصفیه است که علاوه بر سازگاری کامل با محیط زیست و سادگی فرآیند، هزینه عملیاتی پایینی نیز دارد.

راکتور ناپیو سته ی ترتیبی حالت خا صی از فرآیند لجن فعال ا ست با این تفاوت که کلیه ی مراحل ت صفیه در یک محفظه یا تانک صورت می گیرد. در این سیستم پ ساب به صورت ناپیو سته ت صفیه شده و هر سیکل ناپیو سته مراحل مختلف ت صفیه را پشت سر میگذارد. در فرآیند راکتور ناپیوسته ی ترتیبی بر خلاف فرآیند لجن فعال، به جای کنترل محلی، کنترل زمانی صورت می گیرد. فاز ا صلی پرکردن، واکنش، ته نشینی، تخلیه و سکون، مراحل ا صلی سیستم راکتور ناپیو سته ی ترتیبی را تشکیل می دهند. هزینه پایین فرآیند، پیچیدگی کم، انعطاف پذیری خوب دربرابر شرایط عملیاتی از مهمترین مزایای این روش به شمار می رود. مین و همکاران در سال ۲۰۱۲ تحقیقی دو مرحله ای انجام دادند. در این روش از یک واحد راکتور ناپیوسته ی ترتیبی با حجم راکتور ۲۳ و حجم کاری ۱۸ لیتر استفاده شده است تا بتوان زمان دوره ی عملیاتی بهینه را برای حذف مواد آلی بدست آورد. نسبت تبادل حجمی به مقدار ۳۰ بوده و بنابراین و حجم پ ساب خاک ستری ت صفیه شده ۵/۴ لیتر در نظر گرفته شد. در فاز اول واکنش، واحد راکتور ناپیو سته ی ترتیبی در زمانهای دوره ی ۵، ۶، ۷ و ۸ عملیاتی شد تاشرایط حذف بهینه ی بی او دی بدست آمده و بتوان علاوه بر توجه به انرژی مصرفی، فضای مورد استفاده را نیز به حداقل ر ساند. پس از انجام آزمایشات مرحله ی اول، در زمان دوره ی ۷ ساعت مقدار حذف بی او دی بهینه شده و ۹۴/۶۹ درصد گزارش شد. تمرکز فاز دوم آزمایشات، بر بدست آوردن شرایط عملیاتی مناسب، در زمان دوره ی ۷ ساعت معطوف شد. در این مرحله از ۴ نسبت پرکردن : واکنش مختلف ا ستفاده شد. در زمان دوره ی ۷ ساعت و زمان پرکردن ۱۰۵ دقیقه در نظر گرفته شده و زمان واکنش با نسبتهای مختلف ۱:۱، ۲و ۱:۱، ۴و ۱:۱، ۶و ۱:۱، ۸و ۱:۱ نسبت به زمان پر کردن تغییر پیدا کرد. راندمان حذف بهینه ی بی او دی (۹۴/۵۷ در صد)در نسبت دوم، یعنی ۲و ۱:۱ مشاهده شد. بطور کلی در آزمایشاتی که به کمک راکتور ناپیو سته ی ترتیبی برای تصفیه ی پساب خاکستری تاکنون انجام شده است، محدوده ی حذف بی او دی و سی او دی بین ۸۰ تا ۹۸ درصد مشاهده شده است.

در جدول ۱ نمونه ای از تکنولوژی‌های مورد ا ستفاده برای ت صفیه ی پ ساب خاک ستری که از ت صفیه فیزیکی، ت صفیه شیمیایی و تصفیه بیولوژیکی استفاده نموده اند، آورده شده است (پیدو و همکاران، ۲۰۰۷).

بحث و نتیجه گیری

در مناطق مختلف، پروژه‌های متعددی برای ا ستفاده مجدد از پ ساب خاک ستری اجرایی شده ا ست که در هریک از آنها، با توجه به خواص پساب تولیدی و شرایط حاکم، از تلفیق یک یا چند مرحله‌ی فیزیکی یا شیمیایی با روشهای بیولوژیکی استفاده شده است. عموما در تصفیه‌ی پساب خاکستری، از روشهای فیزیکی و شیمیایی به عنوان مرحله ی پیش فرآوری استفاده شده و تصفیه ی نهایی به کمک یکی از روش‌های متنوع بیولوژیکی انجام می شود. هریک از روش‌های فیزیکی و شیمیایی به تنهایی توانایی تصفیه ی پساب خاکستری و تطبیق کیفیت پساب تصفیه شده با ا ستانداردهای موجود برای ا ستفاده مجدد را ندارند. از طرف دیگر برخی محدودیت‌ها مانند هزینه بر بودن، م شکلات زیست محیطی و فرآیند تهیه ی تجهیزات و عدم توانایی ت صفیه ی کافی باعث شده ا ست از امکان ا ستفاده از این

روشها به تنهایی میسر نباشد. در واقع علت استفاده از توصیفه بیولوژیکی ، توانایی بالا، پاک و ارزان بودن روشهای تصفیه ی بیولوژیکی است که باعث شده از مراحل بیولوژیکی به عنوان مرحله‌ی تصفیه‌ی نهایی استفاده گردد. در نهایت با توجه به مطالب بیان شده می‌توان دریافت که تصفیه‌ی پساب خاکستری، فناوری نوآورانه در مدیریت مصرف آب می‌باشد و استفاده مجدد از آن در مقاصد مختلف کاملا امکان پذیر بوده و در صورت استفاده از روش مناسب، می توان به کمک آن از بخش چشمگیری از هدررفت منابع آب آشامیدنی جلوگیری نمود..

جدول ۱. مطالعات انجام شده با روش‌های فیزیکی و شیمیایی (پیدو و همکاران، ۲۰۰۷)

کشور	مصرف	سیستم	زمان ماند هیدرولیکی m3/(m2 d)	سی او دی mg/l		کدورت NTU		تعداد کل کلیفرمها Cfu/100ml	
				ورودی	خروج	ورودی	خروجی	ورودی	خروجی
ژاپن	خانگی	فیلتر خاکی	۰/۰۸۶	–	–	–	–	–	–
آمریکا	مقیاس پایلوت	فیلتر زمینی+ واحد ضد عفونی	۲	–	–	۱۷	۹	۲*۱۰^۶	۳۴
عمان	مسجد	فیلتراسیون+ کربن فعال+ واحد ضد عفونی	۱/۳m^3/d	۵۱	۳۵	۱۳	۶	<۲۰۰	۰
کانادا	آپارتمان	غربالگری+ ته نشینی+ فیلتراسیون+ ازون زنی	۱m^3/d	–	–	۸۲	۲۶	۸۸۷۰	۸
تایوان	مقیاس پایلوت	لخته سازی+ الکتریکی+ واحد ضدعفونی	۲۰		۵۵	۲۲	۴۳	۵۱۰۰	۰
انگلستان	مقیاس پنج	اکسیداسیون	>۳۰	۱۳۹	۱۲-۱۳۹	–	–	۱۰^۶	–
انگلستان	سالن‌های دانشجویی	بیوراکتور+ فیلتر شنی+ گرانول کربن فعال+ واحد ضدعفونی	۲۶۳ m^3/year	۲۰۱	۶۲	۲۱۲	۵	۷*۱۰^۵	۳

منابع

- A. Pathan, R. B. U. X. Mahar, and K. Ansari. 2011. “Preliminary Study of Greywater Treatment through Rotating Biological Contactor,” *MEHRAN Univ. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 30, no. 3, pp. 531–538.
- A. Wurochekke, N. A. Harun, R. M. Saphira, R. Mohamed, and A. H. B. M. Kassim. 2014. “Constructed Wetland of Lepironia Articulata for Household Greywater Treatment,” *APCBEE Procedia*, vol. 10, pp. 103–109.
- Assayed, J. Chenoweth, and S. Pedley. 2014. “Drawer compacted sand filter: a new and innovative method for on-site grey water treatment,” *Environ. Technol.*, vol. 35, no. 17–20, pp. 2435–46.
- Al-Jayyousi, O.R. 2003. *Greywater reuse: towards sustainable water management.* Desalination, 156(1–3): p. 181-192.
- F. Li, K. Wichmann, and R. Otterpohl. 2009. “Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses,” *Sci. Total Environ.*, vol. 407, no. 11, pp. 3439–3449.
- F. W. Kariuki, K. Kotut, and V. G. Ngángá. 2011. “The Potential of a Low Cost Technology for The Greywater Treatment,” *Open Environ. Eng. J.*, vol. 4, pp. 32–39.
- FOMCA, 2010. MALAYSIANS waste a lot of water - Wat-er waste. Malaysia.
- Francis W. Kariuki, Kiplagat Kotut and Victor G. Nganga. 2011. “potential low cost technology”- source from The Open Environmental Engineering Journal, 4, 32-39.
- J. S. Main and B. C. Ingavale. 2012. “Sequencing Batch Reactor for Greywater,” *Int. J. Multidiscip. Manag. Stud.*, vol. 2, no. 2, pp. 88–107.
- Jefferson, B., Palmer, A., Jeffrey, P., Stuetz, R., Judd, S.2004. “Greywater characterization and its impact on the selection and operation of urban reuse”,school of water siences, cranfield university, Bedfordshire, uk,Vol 50,No 2,pp 157-164.
- Jimenez B, A.T. 2008. *An international survey of current practice, issues and needs.* UK: IWA Publishing.
- Liu, S., Butler, D., Memon, F.A., Makropoulos, C., Avery, L., Jefferson, B. 2010. Impacts of residence time during storage on potential of water saving for grey water recycling system. Water Research 44(1), 267-277.
- M. Pidou, F. A. Memon, T. Stephenson, B. Jefferson, and P. Jeffrey. 2007. “Greywater recycling: A review of

treatment options and applications," *Eng. Sustain.*, vol. 160, pp. 119–131.
- Madungwe, E. and S. Sakuringwa2007. *Greywater reuse: A strategy for water demand management in Harare?* Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 32(15–18): p. 1231-1236.
- Mandal,D, Dhone,S and Shankar Dubey.2011."Water conservation due to grey water treatment and reuse in urban" - Resources, Conservation and Recycling 55, pp 356–361.
- Odeh R.Al-Jayyousi. 2003. "Grey water reuse: towards sustainable water management" Desalination I56 pp 181l-192.
- Pearson, P. 1998. "Harvesing rainwater for landscape use", Arizona department of water resources, 85701,(520)770-3816.
- R. Liu, X. Huang, L. Chen, X. Wen, and Y. Qian. 2005. "Operational performance of a submerged membrane bioreactor for reclamation of bath wastewater," *Process Biochem.*, vol. 40, no. 1, pp. 125–130.
- Ramon.G and Green.M. 2004. "Low strength gray water characterization and treatment by direct membrane filtration" - Desalination 170, pp 241-250.