

Sand Filtration Performance as a Nature-based Approach for Water Treatment

A.R.Radkhah^{1*}, S.Eagderi², H.Poorbagher², E.Sadeghinejad Masouleh³

1, 2- Ph.D. Graduate and Associate Professor, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. 3- Research Expert, Inland Water Aquaculture Research Institute, National Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Bandar Anzali, Iran.

Corresponding Author Email: alirezaradkhah@ut.ac.ir

Received 15-06-2024

Revised 28-08-2024

Accepted 14-09-2024

Available Online 01-06-2025

Abstract

Today, healthy drinking water has become an important problem in many countries around the world. Therefore, the United Nations considers attention to this issue a necessity for achieving the Sustainable Development Goals. Although, currently, various physical, chemical, and biological methods are used to purify water in many parts of the world, however, the use of easy, cheap, and efficient methods has a special priority in developing countries. Today, one of the most efficient and cheapest methods to achieve high-quality water is to promote the use of slow sand filters (SSF), which have been developed in a way inspired by nature. The present study was conducted with the aim of investigating the different aspects of using this method and its efficiency in water purification. The literature review showed that designing simple, low-cost, and effective sand filtration systems, especially in rural areas without access to advanced water purification equipment, is a key challenge. Given this information, sand filtration can be used as a nature-based approach for water purification in various countries, especially developing and less developed countries.

Keywords: Sand Filters, Water Treatment, Bacteria, Viruses, Developing Countries.

کارایی فیلتراسیون شنی به عنوان یک رویکرد مبتنی بر طبیعت برای تصفیه آب

علیرضا رادخواه^{۱*}، سهیل ایگدری^۲، هادی پورباقر^۲، اسماعیل صادقی نژادماسوله^۳

۱ و ۲- به ترتیب دانش آموخته دکتری و دانشیار، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. ۳- مربی پژوهشی، پژوهشکده آبی پروری آب های داخلی، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرانزلی، ایران.

E-Mail: alirezaradkhah@ut.ac.ir

تاریخ دریافت ۱۴۰۳/۰۳/۲۶

تاریخ بازنگری ۱۴۰۳/۰۶/۰۷

تاریخ پذیرش ۱۴۰۳/۰۶/۲۴

تاریخ انتشار ۱۴۰۴/۰۳/۱۱

چکیده

امروزه تامین آب آشامیدنی سالم به یک معضل مهم در بسیاری از کشورهای جهان تبدیل شده است. از این رو، سازمان ملل توجه به این مسئله را امری ضروری در جهت رسیدن به اهداف توسعه پایدار می داند. اگرچه، در حال حاضر، از روش های مختلف فیزیکی، شیمیایی و زیستی به منظور تصفیه آب در بسیاری از نقاط جهان استفاده می شود، اما با این حال، بهره گیری از روش های آسان، ارزان و کارآمد اولویت ویژه ای در کشورهای در حال توسعه دارد. امروزه، یکی از کارآمدترین و ارزان ترین روش ها برای دستیابی به آب باکیفیت، ترویج استفاده از فیلترهای شنی کُند (SSF) است که به نوعی با الهام گیری از طبیعت توسعه یافته اند. پژوهش حاضر با هدف بررسی ابعاد مختلف استفاده از این روش و میزان کارایی آن در تصفیه آب انجام شده است. مرور منابع علمی مختلف نشان می دهد طراحی سیستم های فیلتراسیون شنی ساده، کم هزینه و مؤثر، به ویژه در مناطق روستایی فاقد دسترسی به تجهیزات پیشرفته تصفیه آب، یک چالش کلیدی است. با توجه به این اطلاعات، فیلتراسیون شنی می تواند به عنوان یک رویکرد مبتنی بر طبیعت برای تصفیه آب در کشورهای مختلف به ویژه کشورهای در حال توسعه و کم تر توسعه یافته مورد استفاده قرار گیرد.

واژه های کلیدی: فیلترهای شنی، تصفیه آب، باکتری ها، ویروس ها، کشورهای در حال توسعه.

آلاینده‌های ناشی از پساب قرار دارند. این مسئله به طور ویژه در کشورهای در حال توسعه که پساب آن‌ها اغلب قبل از تخلیه در محیط به‌درستی تصفیه نمی‌شود، اهمیت ویژه‌ای دارند (رادخواه و ایگدری، ۱۴۰۲). با توجه به این موضوع، استفاده از رویکردهای آسان و ارزان قیمت از قبیل فیلتراسیون شنی (SSF) برای تصفیه آب در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران، امری مهم و ضروری تلقی می‌شود. از این‌رو، پژوهش حاضر با هدف بررسی نقش فیلتراسیون شنی و کارایی آن به عنوان یک رویکرد مبتنی بر طبیعت در فرآیند تصفیه آب به اجرا درآمد.

الزامات فیلترشنی کند

به طور کلی، می‌توان بین فیلتر شنی سریع و کند در تصفیه آب تمایز قائل شد. در فیلترهای شنی کند (SSF) قطر موثر اندازه ذرات $0/15$ تا $0/35$ میلی‌متر و ضریب یکنواختی $1/5$ تا 3 می‌باشد، درحالی که اندازه موثر ذرات برای به دام انداختن در فیلترهای سریع بیشتر از $0/55$ میلی‌متر و ضریب یکنواختی کمتر از $1/5$ است (Arndt و Wagner، ۲۰۰۴). نرخ فیلتراسیون آب در فیلترهای سریع بین 4 تا 21 متر در ساعت و در فیلترهای کند از $0/1$ تا $0/4$ متر در ساعت متغیر می‌باشد (Maiyo و همکاران، ۲۰۲۳). تفاوت بین این دو روش تنها در میزان فیلتراسیون نیست، بلکه مهم‌تر از همه در فناوری تصفیه آب می‌باشد.

بسیاری از کشورهای در حال توسعه با مشکلات جدی در زمینه دسترسی به آب سالم و سیستم‌های کارآمد تصفیه آب روبه‌رو هستند. عوامل اصلی این مشکلات شامل کمبود بودجه، استفاده از فناوری‌های منسوخ، زیرساخت‌های ناکافی و در برخی موارد، مدیریت نادرست منابع آبی است (Radkhah و Eagderi، ۲۰۲۰؛ Radkhah و همکاران، ۲۰۲۰). در تعداد زیادی از این کشورها، تنها بخش کوچکی از مردم (کمتر از نیمی از جمعیت) می‌توانند از آب آشامیدنی سالم استفاده کنند. در برخی مناطق، به‌ویژه در آفریقا و بخش‌هایی از آسیا، افراد ناگزیر از مصرف آب‌های آلوده به عوامل بیماری‌زا و مواد سمی هستند که نتیجه آن، گسترش بیماری‌های خطرناکی مانند وبا و اسهال خونی می‌باشد (WHO، ۲۰۲۳). با این حال، استفاده از روش‌های ساده مانند فیلترهای شنی یا کلرزنی می‌تواند به‌طور قابل توجهی از گسترش بیماری‌های ناشی از آب آلوده جلوگیری نماید.

تاکنون فیلترهای شنی در ابعاد گوناگون و با استفاده از مواد مختلف در نقاط مختلف جهان به‌ویژه کشورهای کمتر توسعه

امروزه با توجه به افزایش جمعیت و تغییرات اقلیمی، تامین آب آشامیدنی سالم به یک چالش بزرگ جهانی تبدیل شده است. علاوه‌براین، توسعه سریع صنعت و آلاینده‌های نوظهور، خطر آلودگی آب توسط مواد مضر برای سلامت انسان را افزایش می‌دهد. بر طبق آمار سازمان جهانی بهداشت^۱ (WHO)، در سال ۲۰۲۴، تقریباً ۳۰ درصد از جمعیت جهان هنوز به منبع آب آشامیدنی سالم دسترسی ندارند، در حالی که حدود ۱۵۸ میلیون نفر در جهان آب آشامیدنی را مستقیماً از منابع آب سطحی جمع‌آوری می‌کنند (WHO، ۲۰۲۳). دسترسی به آب آشامیدنی سالم، یک مسئله کلیدی در جوامع روستایی کشورهای در حال توسعه می‌باشد (رادخواه و همکاران، ۱۴۰۰ الف، رادخواه و صادقی نژاد ماسوله، ۱۴۰۰)، به طوری که سازمان یونسف (UNICEF) گزارش می‌دهد که ۸۰ درصد از مردم جهان، بدون دسترسی به منابع آب آشامیدنی سالم در مناطق روستایی زندگی می‌کنند (Maiyo و همکاران، ۲۰۲۳).

فیلتراسیون شنی کند^۲ (SSF) از گذشته به عنوان یکی از مهم‌ترین روش‌های تصفیه آب برای آشامیدن و ریشه‌کن کردن مشکلات مرتبط با بهداشت آب مطرح بوده است (رادخواه و همکاران، ۱۴۰۰ ب). این فیلترها که به نوعی با الهام‌گیری از طبیعت توسعه یافته‌اند، به دلیل کارایی و هزینه پایینی که دارند، هنوز به عنوان یک رویکرد موثر برای تامین آب آشامیدنی سالم در کشورهای در حال توسعه مورد توجه قرار می‌گیرند. فیلتراسیون شنی (SSF) توسط آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده^۳ (USEPA) و سازمان جهانی بهداشت (WHO) به عنوان روشی ارزان و قابل اعتماد برای تامین آب آشامیدنی سالم شناخته شده است. از این‌رو، این روش همچنان در مناطق روستایی و حتی در برخی از شهرهای بزرگ جهان برای تامین آب آشامیدنی باکیفیت مورد استفاده قرار می‌گیرد (Abdiyev و همکاران، ۲۰۲۳). از ویژگی‌های شاخص روش SSF می‌توان به ساختار ساده، مصرف پایین انرژی، نرخ پایین فیلتراسیون، عدم نیاز به پیش‌تصفیه شیمیایی آب و امکان تمیز کردن ایه‌های فیلتر به طرز آسان اشاره کرد. با این حال، تنها حدود نیم میلیون نفر در کشورهای در حال توسعه در حال حاضر از فیلتر شنی کند (SSF) برای تامین آب باکیفیت استفاده می‌کنند (Abdiyev و همکاران، ۲۰۲۳).

امروزه آب‌های سطحی و زیرزمینی به طور فزاینده تحت تأثیر

یافته و در حال توسعه ساخته شده‌اند. در شکل (۱-الف) نمونه‌ای از فیلتر شنی کُند در مقیاس کوچک در کشور کنیا (یکی از کشورهای کمتر توسعه یافته) نشان داده شده است که در ساخت آن از پلاستیک استفاده شده است. در مقابل، انواع دیگری از فیلترهای شنی کُند در مقیاس بزرگ (شکل ۱-ب) همراه با یک محفظه فیلتری عظیم نیز وجود دارند که در کشورهای کمتر توسعه یافته جهان از جمله مناطق آفریقایی مانند رواندا (دارای مرز مشترک با کشورهای تانزانیا، کنگو، بوروندی و اوگاندا) مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند.

فیلتراسیون شنی کُند (SSF) به روش‌های بیولوژیکی تصفیه آب اشاره دارد، اگرچه فیلتر کردن همچنین به جداسازی مکانیکی و شیمیایی ذرات پراکنده نیز مرتبط می‌باشد (Islam و همکاران، ۲۰۲۱). فیلتراسیون سریع یک روش کاملاً مکانیکی برای تصفیه آب است. فیلترهای شنی سریع، ذرات معلق و نسبتاً بزرگ را حذف می‌کنند.

فیلترهای شنی سریع می‌توانند با نیروی جاذبه یا فشار عمل کنند. فیلتر شنی کُند (SSF) شیوه‌ای موثر برای حذف آلودگی‌های میکروبی و باکتری‌ها می‌باشد (Trikannad و همکاران، ۲۰۲۳). در این سیستم، ذرات معلق عمدتاً در قسمت بالایی لایه شنی که تحت عنوان "لایه نگهدارنده" یا "schmutzdecke" شناخته می‌شود، به دام می‌افتند (Haig و همکاران، ۲۰۱۱). میکروارگانیسم‌های هوازی غیر بیماری‌زا که روی سطح فیلتر شنی رسوب می‌کنند، می‌توانند مواد آلی را که با آب ورودی وارد فیلتر می‌شوند، متابولیزه کنند. این میکروارگانیسم‌ها قادر به حذف باکتری‌ها و ویروس‌های موجود در آب می‌باشند (Nyberg، ۲۰۱۱).

فیلترهای شنی مزایای بسیاری نسبت به سایر روش‌های تصفیه آب نشان می‌دهند. این روش‌ها نیازی به معرف‌های شیمیایی و متخصصان واجد شرایط ندارند؛ کار با آن‌ها آسان است و نیاز کمی به تعمیر و نگهداری و نیروی انسانی دارند. از طرف دیگر، فیلترهای شنی نیاز به سرمایه و هزینه زیادی برای راه‌اندازی ندارند (Haig و همکاران، ۲۰۱۱).

با توجه به موارد ذکر شده، فیلتراسیون شنی کاربرد گسترده‌ای در مناطق روستایی برای تامین آب آشامیدنی باکیفیت پیدا کرده است. با این حال، محدودیت‌هایی نیز در این مسیر وجود دارد، به عنوان مثال، فیلتراسیون شنی برای تصفیه آب با کدورت بیشتر از ۵ NTU توصیه نمی‌شود (NTU واحد کدورت نفلومتری می‌باشد)، زیرا کدورت بالا می‌تواند منجر به گرفتگی فیلتر و در نتیجه کاهش عمر آن شود (Ebrahimi و همکاران، ۲۰۱۴). برای کاربرد موفقیت‌آمیز فیلتراسیون شنی، به‌غیر از کدورت باید محتوای کلروفیل در آب نیز کمتر از ۰/۰۵ میکروگرم در لیتر باشد (Logsdon و همکاران، ۲۰۰۲؛ Abdiyev و همکاران، ۲۰۲۳). آهن و منگنز نباید به ترتیب از ۰/۳ و ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر تجاوز کنند. علاوه‌براین، مقدار فلزات سنگین محلول، آفت‌کش‌ها و رنگ‌ها باید حداقل باشد (Abdiyev و همکاران، ۲۰۲۳).

در حال حاضر برای تهیه آب آشامیدنی در بسیاری از موارد از روش‌های شیمیایی تصفیه استفاده می‌شود. با این حال، استفاده از روش‌های شیمیایی در تصفیه‌خانه‌ها می‌تواند مشکلاتی را در ارتباط با کمبود متخصصان واجد شرایط و هزینه بالای تجهیزات و معرف‌های شیمیایی مورد استفاده برای تصفیه آب ایجاد کند. این حقایق منجر به این نتیجه می‌شود



ب- فیلتر شنی کُند در مقیاس بزرگ واقع در رواندا در شرق آفریقا



الف- فیلتر شنی کُند در مقیاس کوچک، ساخته شده از پلاستیک واقع در کنیا

شکل ۱- نمونه‌هایی از فیلترهای شنی کُند (SSWM، ۲۰۲۲)

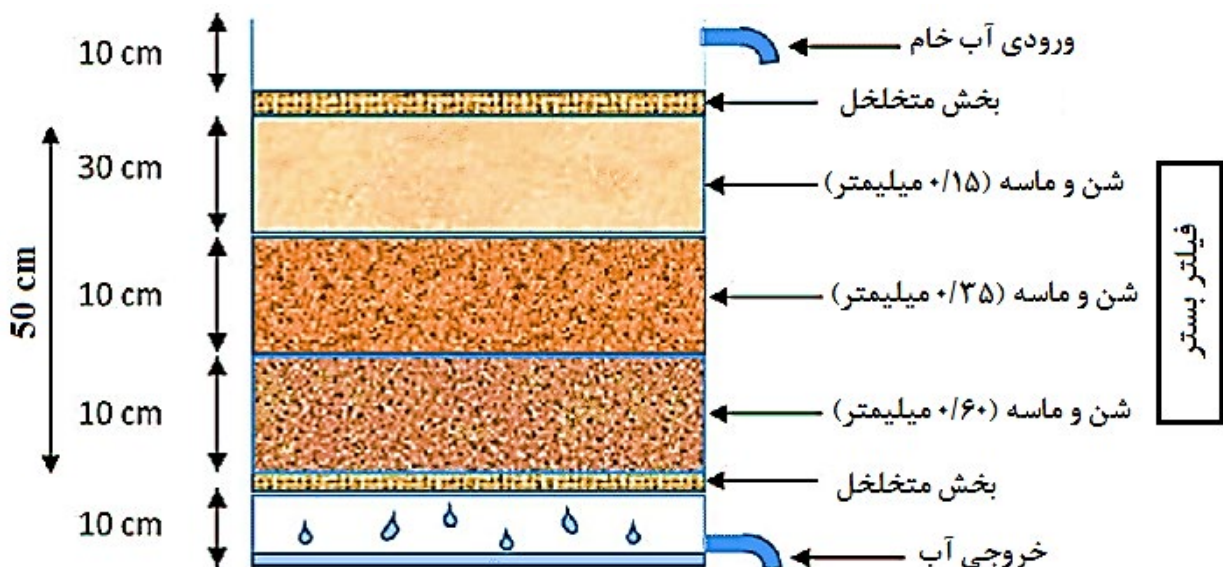
که استفاده از روش‌های غیرشیمیایی اغلب برای تصفیه آب در کشورهای در حال توسعه به ویژه مناطق روستایی مناسب‌تر هستند (Maiyo و همکاران، ۲۰۲۳).

طرح کلی از فیلتر شنی کند (SSF)

فیلترهای شنی سنتی معمولاً مخازنی تا ۶ متر عرض، تا ۶۰ متر طول و متشکل از چهار لایه هستند (شکل ۲). در این فیلترها، فرآیند زهکشی که شامل خروج آب می‌باشد، در کف مخزن صورت می‌گیرد. سیستم زهکشی شامل هدایت آب اضافی به یک سیستم جمع‌آوری است. یک سیستم زهکشی می‌تواند فاضلاب و سایر روان‌آب‌های اضافی را از طریق روش‌هایی مانند لوله‌کشی از محل مورد نظر خارج نماید. در فیلترهای شنی سنتی معمولاً از لوله‌های توخالی یا دال‌های بتنی دارای شکاف به عنوان زهکش استفاده می‌شود. یک لایه نگهدارنده (با ضخامت تقریبی ۰/۵ متر) از سنگریزه یا سنگ خرد شده بر روی سطح زهکشی قرار می‌گیرد. اندازه ذرات لایه پشتیبان می‌تواند از ۲ تا ۳۰ میلی‌متر متغیر باشد. در بالای لایه نگهدارنده، یک لایه فیلتر شنی (با ضخامت ۱۲۵۰-۴۵۰ میلی‌متر) با سطح توسعه یافته و تخلخل بالا قرار دارد. اندازه ذرات شنی می‌تواند از ۰/۲ تا ۲ میلی‌متر متغیر باشد (Abdiyev و همکاران، ۲۰۲۳).

به طور کلی، تحقیقات نشان داده است که لایه شنی با ضخامت ۰/۳ متر برای حذف مناسب کدورت و باکتری‌های گلی‌فرم و لایه شنی با ضخامت ۰/۶ متر برای حذف قابل توجه ویروس

از ترکیب آب کافی است (Poynter و Slade، ۱۹۷۷). تغییر ضخامت لایه شنی بر میزان حذف باکتری‌ها و ویروس‌ها تأثیر می‌گذارد. به عنوان مثال، کاهش ضخامت لایه شنی از ۰/۶ به ۰/۳ متر منجر به کاهش ۰/۰۴ درصدی حذف ویروس فلج اطفال (از ۹۹/۹۸ درصد به ۹۹/۹۵ درصد) شد، درحالی‌که با کاهش ضخامت لایه شنی از ۰/۹۷ به ۰/۴۸ متر، حذف گلی‌فرم به میزان ۲ درصد (از ۹۷ درصد به ۹۵ درصد) تقلیل یافت. بسته به شرایط اقلیمی، مخزن فیلتر را می‌توان در فضای باز یا داخل منازل قرار داد. در طول دوره سرد زمستان، توصیه می‌شود که فرآیند فیلتراسیون در داخل خانه انجام شود، به خصوص در دمای زیر صفر که ممکن است فیلتر اصلاً عمل نکند. با گذشت زمان، با ضخیم شدن بیوفیلم، فیلترهای شنی به تدریج کارایی خود را از دست می‌دهند و سرعت جریان از طریق فیلتر کاهش می‌یابد. در این شرایط، نیاز به بازسازی فیلتر امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. به عنوان یک قاعده کلی، طول مدت فیلتراسیون شنی کند (SSF) از ۳۰ تا ۶۰ روز می‌باشد، اما گاهی اوقات می‌تواند به بیش از ۱۰۰ روز نیز برسد (Lubarsky و همکاران، ۲۰۲۲). این مدت زمان بستگی به جریان آب در فیلتراسیون و بار آلاینده‌ها دارد. آبی که حاوی گونه‌های جلبکی باشد، می‌تواند منجر به مسدود شدن فیلترهای شنی در دوره‌های زمانی کوتاه شود. این مسئله می‌تواند یک مشکل خاص در کشورهای در حال توسعه باشد چراکه آب‌های سطحی حاوی مواد مغذی هستند (Logsdon و همکاران، ۲۰۰۲).



شکل ۲- طرح شماتیکی از یک فیلتر شنی کند (Sosthene) (SSF) و Gahi، ۲۰۱۸)

Grützmaier و همکاران (۲۰۰۲)، با کاهش سرعت تجزیه بیولوژیکی باکتری‌ها در دمای پایین همراه است. در نهایت، دست‌اندرکاران این پژوهش به این نتیجه دست یافتند که در دماهای متوسط، فیلتراسیون شنی می‌تواند به عنوان یک روش موثر برای حذف میکروسیستین‌ها از ترکیب آب آشامیدنی مورد استفاده قرار گیرد.

در مطالعه‌ای که توسط Rooklidge و همکاران (۲۰۰۵) انجام گرفت، کارایی حذف برخی از مواد ضد میکروبی محلول در آب مانند سولفامتازین، تری متوپریم و لینکومایسین با استفاده از روش فیلتراسیون شنی بررسی شد. در این پژوهش، از ماسه بازالت به عنوان ماده مناسب در فرآیند فیلتراسیون استفاده شد. بر طبق نتایج، فیلتراسیون شنی اثربخشی قابل توجهی در حذف مواد ضد میکروبی از آب نشان داد، به طوری که در پایان دوره مطالعه (۱۴ روز)، حذف تری متوپریم بیش از ۹۹ درصد، حذف لینکومایسین کمتر از ۲۵ درصد و حذف سولفامتازین کمتر از ۴ درصد از آب آلوده تعیین شد.

Arndt و Wagner (۲۰۰۴) از فیلتراسیون شنی برای حذف انگل *Triactinomyxon actinospores* (Tams) از آب آلوده استفاده کردند. لازم به ذکر است که این گونه انگلی به عنوان یکی از عوامل شایع بیماری در ماهی قزل آلا (*Myxobolus cerebralis*) شناخته می‌شود.

در این مطالعه، ذرات شن با قطر ۰/۱۸۰ میلی‌متر به عنوان ماده فیلتر استفاده شد و عمق لایه فیلتر ۱۷/۸ سانتی‌متر تعیین شد. در نهایت، ماهیان آکواریومی به عنوان گونه هدف مورد هجوم انگل *T. actinospores* قرار گرفتند. در این پژوهش، انگل‌های جدا شده از فیلترهای شنی به سیستم‌های پرورش ماهی انتقال داده شدند و پس از ۶۰ روز، علائم بالینی ماهیان در بین تیمارهای شاهد و تیمارهای مرتبط با فیلترهای شنی بررسی شد. به طور کلی، نتایج نشان داد عفونت ماهیان در تیمار فیلتر شده با شن و ماسه در مقایسه با تیمار شاهد، به میزان ۸۷ درصد کاهش یافته است. بر اساس این یافته‌ها، Arndt و Wagner (۲۰۰۴) به این نتیجه رسیدند که فیلترهای شنی می‌توانند برای حذف انگل *T. actinospores* از سیستم‌های آب استفاده شوند. در جدول (۱)، کارایی حذف فیلترهای شنی در حذف تک یاخته‌ها، باکتری‌ها، ویروس‌ها و آلاینده‌های آلی نشان داده شده است.

فیلترهای شنی گند (SSF) می‌توانند برای حذف یون‌ها در فرآیند تصفیه آب استفاده شوند. با این حال، ناخالصی‌های شیمیایی در آب وجود دارند که امکان حذف موثر آن‌ها به تنهایی توسط فیلتراسیون شنی امکان‌پذیر نیست. این موارد شامل یون‌های سولفات (SO_4^{2-})، نیترات (NO_3^-)، کلسیم (Ca^{2+})، سدیم (Na^+) و منیزیم (Mg^{2+}) و همچنین سختی آب (تحت تاثیر CaCO_3) می‌باشند (Verma و همکاران، ۲۰۱۷). بر اساس مطالعه Peterson و همکاران (۱۹۹۷)، تصفیه بیولوژیکی بیشتر یون‌های آمونیوم (NH_4^+) را به یون‌های نیترات (NO_3^-) تبدیل می‌کند. علاوه بر این، ذرات کلونیدی پایدار نیز به واسطه فیلتراسیون شنی حذف می‌شوند.

Nitzsche و همکاران (۲۰۱۵) از فیلتراسیون شنی جهت حذف آرسنیک (As)، آهن (Fe) و منگنز (Mn) از ترکیب آب‌های زیرزمینی در مناطق روستایی واقع در کشور ویتنام استفاده کردند. برای این منظور، مواد لازم شامل شن و ماسه از رسوبات موجود در سواحل رودخانه سُرخ جمع‌آوری شدند. بر اساس تجزیه و تحلیل ترکیب جوامع میکروبی، پژوهشگران به این نتیجه رسیدند که فرآیند اکسیداسیون آهن (II) در فیلتراسیون شنی صورت گرفت. علاوه بر این، باکتری‌های اکسید کننده منگنز نقش مهمی در اکسیداسیون منگنز (II) و رسوب اکسید منگنز (III/IV) در یک لایه جداگانه از فیلتر شنی ایفا کردند. تشکیل اکسیدهای منگنز (III/IV) باعث اکسیداسیون غیرزیستی آرسنیک (III) و تثبیت آرسنیک (V) با جذب بر روی اکسیدهای آهن (III) شد. این امر منجر به کاهش قابل توجه غلظت آرسنیک، آهن و منگنز در آب‌های زیرزمینی فیلتر شده شد.

در پژوهش Grützmaier و همکاران (۲۰۰۲)، امکان حذف هپاتوکسین‌های سیانوباکتری (میکروسیستین‌ها) از ترکیب آب استخراج شده از دریاچه‌های برلین با استفاده از روش فیلتراسیون شنی بررسی شد. در این آزمایش که در رابطه با میکروسیستین‌های محلول انجام گرفت، میزان بالایی از حذف میکروسیستین (۹۵ درصد) مشاهده شد. با این حال، با کاهش دما به ۴ درجه سانتی‌گراد، میزان حذف میکروسیستین به ۶۰ درصد کاهش یافت که به گفته

جدول ۱- حذف تک یاخته‌ها، باکتری‌ها، ویروس‌ها و آلاینده‌های آلی با استفاده از فیلترهای شنی (Maiyo و همکاران، ۲۰۲۳)

گروه	عامل	محیط فیلتر (عمق بستر)	کارایی حذف
تک یاخته‌ها	Cryptosporidium parvum	شن ۰/۲۸ میلی‌متر (۱/۵ متر)	$4/7 \log_{10}$
		شن ۰/۳ میلی‌متر	$\log_{10} < 5$
		شن ۰/۲۷ میلی‌متر (۰/۹ متر)	بیشتر از ۹۹/۹۹ درصد
		شن ۰/۳-۰/۲ میلی‌متر (۱/۰۵ متر)	میانگین ۴۸ درصد
	Giardia cysts	شن ۰/۱۶ میلی‌متر	$\log_{10} > 3$
	Phytoplankton	شن ۰/۲۹-۰/۶۹ میلی‌متر (۰/۴۸ تا ۰/۹۷ متر)	بیشتر از ۹۸ درصد
	Schistome Cercariae	شن ۰/۱۸-۲/۸۳ میلی‌متر (۰/۹ متر)	حداکثر تا ۹۷ درصد
باکتری‌ها	E. coli	شن ۰/۱-۰/۴ میلی‌متر (۰/۶ تا ۱/۲ متر)	۸۸-۱۰۰ درصد
		شن ۰/۶ متر	بیشتر از ۹۹/۳ درصد
		شن کمتر از ۱ میلی‌متر (۰/۴۵ متر)	میانگین ۹۴ درصد
		شن ۰/۱۹-۰/۲۲ میلی‌متر (۰/۴۵ متر)	۹۶/۳-۹۷/۹ درصد
	Fecal Coliform	شن ۰/۱۸-۰/۳ میلی‌متر	۹۹/۴ درصد
		شن ۰/۵۵ متر	بیشتر از ۹۵ درصد
		شن ۰/۵۵ متر	۷۱-۹۹ درصد
		شن ۰/۳۳-۲/۳ میلی‌متر (۰/۴۵ متر)	۹۷/۸ درصد
	Fecal Streptococci	شن ۰/۲۹-۰/۶۲ میلی‌متر (۰/۴۷ تا ۰/۹۷ متر)	۹۸/۴۵-۹۹/۸۴ درصد
		شن ۰/۳ میلی‌متر (۰/۵ متر)	۹۹ درصد
		شن ۰/۳ میلی‌متر (۰/۵ متر)	۰-۹۵ درصد
		شن ۰/۳ میلی‌متر (۰/۵ متر)	۹۹ درصد
ویروس‌ها	ویروس‌های روده‌ای (به عنوان مثال، ویروس فلج اطفال)	شن ۰/۲۷ میلی‌متر (۰/۹ متر)	بیشتر از ۹۹/۸۳ درصد
		شن ۰/۳۰-۰/۲۰ میلی‌متر (۱/۰۵ متر)	میانگین ۹۳ درصد
		شن ۰/۲۷ میلی‌متر (۱/۸ متر)	$\log_{10} > 1/8$
		شن ۰/۶ متر	میانگین ۹۹ درصد
	Bacteriophage (MS-2)	شن ۰/۳ میلی‌متر	$2/1 \log_{10}$
		شن (۴ فوت)	۹۹ درصد
		شن ۰/۲۷ میلی‌متر (۱/۸ متر)	$\log_{10} 2/5-4/01$
		شن ۰/۱۵-۰/۴ میلی‌متر (۰/۴۵ متر)	$\log_{10} 1-2$
		شن	$2 \log_{10}$
		شن؛ آهن صفر ظرفیت ۵/۵۴ کیلوگرم	$2 \log_{10}$
		شن؛ ۰/۲۶ کیلوگرم پشم فولاد	$\log_{10} > 5$
		۲۲۴ گرم شن؛ آهن ۱۰ درصد	$\log_{10} > 5$
		۲۲۴ گرم شن	$1 \log_{10}$

۹۹/۹ درصد	شن (۴ فوت)	Rotavirus surrogate	آلاینده‌های آلی
۵/۲ log _{۱۰}	۲۲۴ گرم شن؛ آهن ۱۰ درصد		
۱/۱ log _{۱۰}	۲۲۴ گرم شن		
۰/۰۵۳ log _{۱۰}	شن ۰/۲۷ میلی‌متر (۰/۵۲ متر)	مواد آلی طبیعی	
۵۴ درصد	شن ۰/۳ میلی‌متر (۰/۵ متر)	اکسیژن مورد نیاز شیمیایی	
۶۵/۸ درصد	شن ۰/۳ میلی‌متر (۰/۲ متر)	کل کربن آلی	
۹۰ درصد	شن ۰/۳ میلی‌متر (۰/۲ متر)	محصولات دارویی	
۹۰/۳ درصد	شن ۰/۴ میلی‌متر (۰/۱ متر)		

نتیجه‌گیری و چشم‌انداز آینده

روش‌های قابل اعتماد و ارزان قیمتی با کارکرد آسان برای تصفیه آب باشند.

از طرف دیگر، با استفاده از این روش‌ها وابستگی فرآیند تصفیه به مواد شیمیایی وارداتی کاهش می‌یابد. از آنجایی که راه‌اندازی و بازسازی فیلترهای شنی توسط نیروی کار غیرماهر نیز امکان‌پذیر می‌باشد، قابلیت استفاده از این فناوری در مناطق مختلف فراهم است. با این حال، انجام تحقیقات بیشتر در رابطه با فیلتراسیون شنی به منظور کاهش بار آلاینده‌های میکروبی به طور ویژه در کشورهای در حال توسعه و کمتر توسعه یافته اهمیت ویژه‌ای دارد.

پژوهش حاضر نشان داد که فیلترهای شنی با حذف باکتری‌ها، ویروس‌ها و مواد شیمیایی برای تولید آب آشامیدنی سالم در جهت رسیدن به اهداف توسعه پایدار بسیار کارآمد هستند. از این رو، استفاده از این روش‌ها از بسیاری جهات می‌تواند به منظور دستیابی به آب آشامیدنی باکیفیت در کشورهای در حال توسعه و کمتر توسعه یافته مناسب باشد.

مطالعات مختلف نشان داده است که اگر چنانچه فیلترهای شنی با استفاده از مواد مناسب و کسب دانش کافی از آلاینده‌های محیط زیستی به درستی طراحی شوند، می‌توانند

منابع

- رادخواه، علیرضا، ایگدری، سهیل، و صادقی‌نژاد ماسوله، اسماعیل. (۱۴۰۰ الف). تجمع فلزات سنگین در ماهیان: تهدیدی جدی برای امنیت غذایی و سلامت جامعه. مجله طب دریا، ۳(۴)، ۲۳۶-۲۴۵. doi: [10.30491/3.4.236](https://doi.org/10.30491/3.4.236)
- رادخواه، علیرضا، ایگدری، سهیل، و صادقی‌نژاد ماسوله، اسماعیل. (۱۴۰۰ ب). مروری بر فیلتراسیون غشایی و بررسی کارایی آن در بهبود کیفیت آب در سیستم‌های آبی‌پروری مدار بسته (RAS). نشریه آب و توسعه پایدار، ۸(۳)، ۸۸-۸۱. doi: [10.22067/jwsd.v8i3.2105.1050](https://doi.org/10.22067/jwsd.v8i3.2105.1050)
- رادخواه، علیرضا، و صادقی‌نژاد ماسوله، اسماعیل. (۱۴۰۰). بررسی تأثیر عوامل فیزیکوشیمیایی آب بر زیست‌فراهمی، میزان سمیت و سطح اثرگذاری نانو ذرات فلزی در اکوسیستم‌های آبی. نشریه آب و توسعه پایدار، ۸(۳)، ۹۰-۷۱. doi: [10.22067/jwsd.v8i2.1019](https://doi.org/10.22067/jwsd.v8i2.1019)
- رادخواه، علیرضا، و ایگدری، سهیل. (۱۴۰۲). کاربرد نانوذرات نقره (Ag-NPs) در میکروبی‌زدایی آب در سیستم‌های پرورش آبزیان و اثرات ناشی از رهائش آن در محیط. نشریه آب و توسعه پایدار، ۱۰(۲)، ۱۲۶-۱۰۹. doi: [10.22067/jwsd.v10i2.2301-1209](https://doi.org/10.22067/jwsd.v10i2.2301-1209)

پی‌نوشت‌ها

1. World Health Organization
2. Slow Sand Filter
3. United States Environmental Protection Agency

- Abdiyev, K., Azat, S., Kuldeyev, E., Ybyraiymkul, D., Kabdrakhmanova, S., Berndtsson, R., Khalkhabai, B., Kabdrakhmanova, A., & Sultakhan, S. (2023). Review of Slow Sand Filtration for Raw Water Treatment with Potential Application in Less-Developed Countries. *Water*, 15(11), 2007. doi: [10.3390/w15112007](https://doi.org/10.3390/w15112007)
- Arndt, R., & Wagner, E. (2004). Rapid and slow sand filtration Techniques and Their Efficacy at Filtering Triactinomyxons of *Myxobolus cerebralis* from Contaminated Water. *North American Journal of Aquaculture*, 66, 261-270. doi: [10.1577/A04-004.1](https://doi.org/10.1577/A04-004.1)
- Ebrahimi, A., Jafari, N., & Abdollahnejad, A. (2014). Application of Iranian natural zeolite and blast furnace slag as slow sand filters media for water softening. *International Journal of Environmental Health Engineering*, 3, 1-26. doi: [10.4103/2277-9183.139742](https://doi.org/10.4103/2277-9183.139742)
- Grützmacher, G., Böttcher, G., Chorus, I., & Bartel, H. (2002). Removal of microcystins by slow sand filtration. *Environmental Toxicology*, 17, 386-394. doi: [10.1002/tox.10062](https://doi.org/10.1002/tox.10062)
- Haig, S.J., Collins, G., Davies, R.L., Dorea, C.C., & Quince, C. (2011). Biological aspects of slow sand filtration: Past, present and future. *Water Science & Technology*, 11, 468-472. doi: [10.2166/ws.2011.076](https://doi.org/10.2166/ws.2011.076)
- Islam, M.M., Shahid Iqbal, M., D'Souza, N., & Atikul Islam, M.D. (2021). A review on present and future microbial surface water quality worldwide. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 16(13), 100523. doi: [10.1016/j.enmm.2021.100523](https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100523)
- Logsdon, G.S., Kohne, R., Abel, S., & LaBonde, S. (2002). Slow sand filtration for small water systems. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 1(5), 339-348. doi: [10.1139/s02-025](https://doi.org/10.1139/s02-025)
- Lubarsky, H., Fava, N.D.M.N., Souza Freitas, B.L., Terin, U.C., Oliveira, M., Lamon, A.W., Pichel, N., Byrne, J.A., Sabogal-Paz, L.P., & Fernandez-Ibañez, P. (2022). Biological Layer in Household Slow Sand Filters: Characterization and Evaluation of the Impact on Systems Efficiency. *Water*, 14, 1078. doi: [10.3390/w14071078](https://doi.org/10.3390/w14071078)
- Maiyo, J.K., Dasika, S., & Jafvert, C.T. (2023). Slow Sand Filters for the 21st Century: A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(2), 1019. doi: [10.3390/ijerph20021019](https://doi.org/10.3390/ijerph20021019)
- Nitzsche, K.S., Weigold, P., Losekann-Behrens, T., Kappler, A., & Behren, S. (2015). Microbial community composition of a household sand filter used for arsenic, iron, and manganese removal from groundwater in Vietnam. *Chemosphere*, 138, 47-59. doi: [10.1016/j.chemosphere.2015.05.032](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.05.032)
- Nyberg, E. (2011). Ecological Disinfestation: Physical and Biological Characterization of Filtration Substrates for Removing Zoospores of *Phytophthora Nicotianae* from Water. Master's Thesis, Clemson University, Clemson, SC, USA.
- Peterson, H., Broley, T., Sketchell, J., & Corkal, D. (1997). Biological treatment of ground water. *WaterSaskatchewan Research Council*, 97, 1-24.
- Poynter, S.F.B., & Slade, J.S. (1977). The removal of viruses by slow sand filtration. *Progress in Water Technology*, 9, 75-88.
- Radkhah, A.R., & Eagderi, S. (2020). Investigation on the global distribution of invasive fish species, convict cichlid *Amatitlania nigrofasciata* (Perciformes, Cichlidae) over the past years with emphasis on Iranian inland waters. *Transylvanian Review of Systematical and Ecological Research*, 22(3), 45-56. doi: [10.2478/trser-2020-0017](https://doi.org/10.2478/trser-2020-0017)
- Radkhah, A.R., Eagderi, S., & Shams, Y. (2020). The Fish Fauna of the Zarineh River (Urmia Lake Basin) Downstream Sector-Conservation and Management. *Transylvanian Review of Systematical and Ecological Research*, 22(1), 69-80. doi: [10.2478/trser-2020-0005](https://doi.org/10.2478/trser-2020-0005)
- Rooklidge, S.J., Miner, J.R., Kassim, T.A., & Nelson, P.O. (2005). Antimicrobial contaminant removal by multistage slow sand filtration. *Journal of American Water Works Association*, 97, 92-100. doi: [10.1002/j.1551-8833.2005.tb07543.x](https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2005.tb07543.x)
- Sosthene, K.M., & Gahi, N. (2018). Low Cost Filtration of Domestic Wastewater for Irrigation Purpose. *World Journal of Engineering and Technology*, 6, 585-602. doi: [10.4236/wjet.2018.63036](https://doi.org/10.4236/wjet.2018.63036)
- SSWM. (2022). Sustainable Sanitation and Water Management (SSWM), <https://sswm.info> accessed on: 23 August 2022.
- Trikanad, S.A., van Halem, D., Willem Foppen, J., & van der Hoek, J.P. (2023). The contribution of deeper layers in slow sand filters to pathogens removal. *Water Research*, 237, 119994. doi: [10.1016/j.watres.2023.119994](https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.119994)
- Verma S., Daverey A., & Sharma A. (2017). Slow Sand Filtration for Water and Wastewater Treatment – a Review. *Environmental Technology Reviews*, 6(1), 47-58. doi: [10.1080/21622515.2016.1278278](https://doi.org/10.1080/21622515.2016.1278278)
- WHO. (2023). World Health Organization (WHO). Drinking-water, <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>. accessed on: 18 May 2023.