

مقاله علمی-پژوهشی

مقایسه کارایی تصفیه آب فیلترهای شنی عمودی و افقی در سیستم آبیاری قطره‌ای

حسین گلشنی^۱، فرهاد میرزایی^۲، مرتضی خوش‌سیمای چنار^{۳*}، سعید خدمتی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۳

چکیده

به دلیل کمبود منابع آب باکیفیت بالا در بسیاری موارد چاره‌ای به‌جز استفاده از آب‌های با کیفیت کم و یا نامتعارف وجود ندارد. روش فیلتراسیون یک روش کارآمد و مؤثر در حذف آلاینده‌ها است. به همین منظور و برای مقایسه میزان تصفیه آب در فیلتر عمودی و افقی دو مدل فیزیکی از فیلتر عمودی و افقی در آزمایشگاه گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران ساخته شد. برای این کار، سه لایه جاذب شامل شن، زئولیت و پوسته برنج استفاده شد. میزان تصفیه برای سه محلول آلوده به نیترات، شوری (EC بالا) و کل مواد جامد معلق (TSS) هر محلول در دو غلظت مختلف اندازه‌گیری شد. برای هر غلظت از آلودگی دو نمونه تصفیه‌شده در دو زمان ۵ و ۱۰ دقیقه گرفته شد تا روند تصفیه در طول زمان هم مشخص شود. برای مقایسه میزان تصفیه فیلتر عمودی و افقی و مشاهده معنی‌دار بودن تفاوت میزان‌های تصفیه از آزمون t در نرم‌افزار SPSS استفاده شد. نتایج نشان داد که میزان تصفیه نیترات با غلظت‌های ۳۶/۷۲ و ۵۹/۰۸ میلی‌گرم بر لیتر و در زمان‌های ۵ و ۱۰ دقیقه به ترتیب، در فیلتر عمودی ۶/۹۹ و ۹/۲۵ و ۷/۷۲، ۷/۱۳ درصد و در فیلتر افقی ۳/۱۸، ۸/۲۱ و ۸/۳۶، ۵/۷۰ درصد به دست آمد. برای EC میزان تصفیه در دو هدایت الکتریکی ۶/۳۱ و ۱۱/۰۲ دسی‌زیمنس بر متر و در دو زمان ۵ و ۱۰ دقیقه برای فیلتر عمودی ۵/۳۹، ۲/۵۴ و ۵/۲۶، ۲/۱۸ درصد و فیلتر افقی ۴/۱۲، ۱/۹۰ و ۲/۹۹، ۱/۵۴ درصد اندازه‌گیری شد. میزان تصفیه مواد معلق جامد برای دو محلول حاوی مواد معلق جامد با غلظت ۰/۷۵ و ۱/۵ گرم بر لیتر و در دو زمان ۵ و ۱۰ دقیقه بررسی شده و میزان تصفیه فیلتر عمودی ۴۸/۹۳، ۴۲/۸۷ و ۷۳/۲۰، ۸۰/۲۵ درصد و میزان تصفیه فیلتر افقی ۲۹/۶۶، ۳۸/۴۰ و ۶۱/۳۱، ۶۷/۰۵ درصد به دست آمد. در نهایت نتایج به‌دست‌آمده نشان داد؛ تفاوت معنی‌داری در تصفیه نیترات، EC و TSS بین فیلتر عمودی و افقی وجود ندارد.

واژه‌های کلیدی: کارایی تصفیه، کل مواد جامد معلق، نیترات، هدایت الکتریکی

مقدمه

کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در جهان بوده و حدود ۷۰ درصد کل مصرف آب به آبیاری اراضی اختصاص دارد (UNESCO, 2020). پایداری بسیاری از مناطق آبیاری واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل دسترسی محدود به منابع آبی تهدید می‌شود. مدیریت آب یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های قرن حاضر است؛

به طوری که جهان با کاهش آب شیرین در نتیجه افزایش جمعیت مواجه است (Abdelkhalik et al., 2019). ایران نیز مانند بسیاری از کشورهای دیگر با بحران جدی آب مواجه بوده و عوامل مختلفی از جمله رشد جمعیت، پدیده‌های طبیعی همچون خشک‌سالی و تغییر الگوهای اقلیمی و سوء مدیریت منابع آبی، وضعیت موجود را وخیم‌تر کرده است (Nouri et al., 2019). علاوه بر کمبود آب، نگرانی‌های جدی در مورد کیفیت آب آبیاری نیز وجود دارد. بسیاری از مناطق، تحت تأثیر افزایش شوری و نیترات منابع آب زیرزمینی ناشی از بهره‌برداری بیش‌ازحد از لایه‌های آبدار قرار دارند (Quemada et al., 2016a, b). بنابراین، منابع آب نامتعارف در بسیاری از نقاط جهان در حال تبدیل شدن به منابع آب ضروری هستند. این مناطق به شدت نیاز به طراحی استراتژی‌های مدیریت آب دارند که شامل منابع آب نامتعارف باشد تا با این واقعیت مواجه شوند که آبیاری سنتی با آب معمولی نمی‌تواند نیازهای فعلی و آتی کشاورزی آبی را برآورده کند (Kaner et al., 2017).

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
 - ۲- دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
 - ۳- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
 - ۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
- *- نویسنده مسئول: (Email: khoshsima.mortaza@ut.ac.ir)

می‌کند و فرآیند تصفیه بهتر می‌شود؛ اگرچه اندازه کوچک‌تر نیاز بیشتری به شست‌وشوی مکرر دارد (Adriati et al., 2020). در مطالعه‌ای، عبور محلول‌هایی با غلظت‌های مختلف کروم از ستون شن باعث حذف ۱۰۰-۸۹ درصد این عنصر توسط شن شد (Baig et al., 2001). در مطالعه‌ای دیگر حذف چهار فلز سنگین سرب، کروم، مس و نیکل از محلول آبی با استفاده از شن معمولی بررسی شده و نتایج نشان داد که بیشترین جذب توسط شن به ترتیب مربوط به سرب، کروم، مس و نیکل بود (Awan et al., 2003).

هرچند شن جاذب ارزان‌قیمت و در دسترس به شمار می‌رود، اما حذف آلاینده‌های محلول مانند نیترات و فلزات سنگین را به دلیل واکنش‌پذیری سطحی اندک محدود می‌کند. در واقع شن قدرت جذب سطحی خیلی کمی دارد اما در ترکیب با مواد جاذب دیگر توانایی جذب آب افزایش می‌یابد (Lizhu & Chen, 2013; Irimia et al., 2013). در مجموع در ساخت فیلتر مهم‌ترین قسمت، انتخاب جاذب است. یکی از موادی که به منظور افزایش کارایی حذف آلاینده‌ها به فیلترهای شنی اضافه می‌شود؛ زئولیت است. زئولیت نوعی آلومینیوم کریستالی حاوی سیلیکات است که با تخصیص اتم‌های اکسیژن در چارچوب ساختار چهارضلعی آلومینیومی و سیلیکات ساخته شده و در نتیجه یک ساختار چارچوبی باز از واحدهای سه‌بعدی - چهاربعدی ایجاد می‌کند (Maharana & Sen, 2021). یکی از خواص مهم زئولیت‌ها پدیده تبادل یونی است که بدون تغییر ساختاری میسر می‌شود، زیرا اسکلت ساختاری زئولیت‌ها شامل کانال‌ها و حفره‌هایی است که کاتیون‌ها و مولکول‌های آب در آن‌ها جای می‌گیرند و تحرک این کاتیون‌های هیچ‌گونه تغییری را در شبکه ساختاری به وجود نمی‌آورد. با توجه به فراوانی این کانی در ایران، قیمت بسیار پایین و بازدهی مناسب در حذف عناصر سنگین، استفاده از این جاذب برای تصفیه آب مفید به نظر می‌رسد (سلیمانی و همکاران، ۱۳۸۷). به طوری که بر اساس نتایج اصفهانی و شامحمدی حیدری (۱۳۹۰) زئولیت موجود در ایران (سمنان) نسبت به جاذب‌های مختلف از جمله زئولیت‌های ترکیه و شیلی از ظرفیت بهتری در حذف منگنز از محیط آبی دارد. استفاده از زئولیت در فیلترهای شنی آبیاری قطره‌ای به دلیل پتانسیل آن در بهبود کارایی تصفیه آب مورد مطالعه قرار گرفته است و تحقیقات نشان داده است که افزودن زئولیت به فیلترهای شنی می‌تواند برای تصفیه آب در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای امیدوارکننده باشد. مطالعه‌ای که در دانشگاه فدرال لاوراس در برزیل انجام شد؛ نشان داد که مخلوط زئولیت و شن به نسبت ۱:۳ حجمی باعث کاهش و حذف ۹۵ درصدی غلظت آهن دو ظرفیتی در آب آبیاری می‌شود (Lima et al., 2021). ماهارانا و سن نشان دادند از زئولیت مغناطیسی می‌توان برای حذف فلزات سنگین از جمله مس و سرب و کروم، آنتی‌بیوتیک‌ها و رنگ‌هایی مانند متیلن‌بلو از آب استفاده کرد (Maharana & Sen, 2021). در مطالعه دیگری گزارش شده است

آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی می‌تواند قرار گرفتن کشاورز در معرض آب نامتعارف و خطرات مربوط به سلامتی را کاهش دهد. بنابراین، آبیاری قطره‌ای به یک سیستم آبیاری توصیه شده برای کاربرد آب نامتعارف تبدیل شده است (Hu et al., 2022). از طرفی سیستم آبیاری قطره‌ای یک فناوری برای پشتیبانی از کشاورزان در سازگاری با تغییرات آب و هوایی، کاهش تنش آبی و استفاده بسیار کارآمد از آب شناخته می‌شود. برای کشاورز، منجر به راندمان بالا می‌شود، اما هزینه‌های اولیه بالای این سیستم مشکلات عمده‌ای برای پذیرش آن است (Pujol et al., 2023). یک سیستم آبیاری قطره‌ای نیاز به سیستم هیدرولیکی متشکل از یک واحد پمپاژ و فیلتراسیون برای تصفیه ذرات موجود در آب دارد تا ذرات معلق موجود در آب‌های نامتعارف قطره‌چکان‌ها را مسدود نکند. مطالعات نشان داده‌اند که آب‌های نامتعارف حاوی ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰۰ میکرومتر هستند (Ravina et al., 1995)؛ که احتمال مسدود شدن قطره‌چکان‌ها را افزایش می‌دهند (Burt & Styles, 2007). گرفتگی قطره‌چکان‌ها باعث توزیع نامناسب آب در طول لوله فرعی شده و در نتیجه باعث کاهش یکنواختی کاربرد آب شده و همچنین تولید محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کیفیت آب مهم‌ترین فاکتوری است که یکنواختی توزیع را تحت تأثیر قرار می‌دهد و بنابراین نیاز است که آب آبیاری قبل از رسیدن به قطره‌چکان‌ها تصفیه شود (Fitriani et al., 2020).

فیلترهای شنی از مخازن پر از شن و ماسه با دانه‌بندی‌های مشخص و با ضخامت معینی از لایه‌های شن و ماسه تشکیل می‌شوند که تحت فشار کار می‌کنند و در سامانه‌های تصفیه آب آبیاری قطره‌ای (سامانه کنترل مرکزی) بعد از سیلیکون و قبل از فیلتر توری یا دیسکی قرار می‌گیرند (غفاری و همکاران، ۱۳۹۴). در مقایسه با فیلترهای توری و دیسکی، فیلترهای شنی دارای راندمان حذف بیشتری برای کل جامدات معلق (TSS) هستند که می‌تواند به ۳۳ تا ۸۵ درصد برسد؛ بنابراین فیلترهای شنی مهم‌ترین ابزار برای جلوگیری از گرفتگی قطره‌چکان هستند (Puig-Bargues et al., 2010; Elbana et al., 2012). فرآیند حذف ذرات معلق در فیلترهای شنی شامل رسوب^۱، انقطاع^۲، پخشیدگی^۳ و اثرات دینامیکی هستند. در آب‌های نامتعارف که برای کشاورزی استفاده می‌شوند، ۸۶ درصد ذرات معلق قطری بیشتر از ۱۴ میکرومتر دارند و عمدتاً با ته‌نشینی و جلوگیری از حرکت آن‌ها حذف می‌شوند (Puig-Bargues et al., 2005). کارایی حذف فیلترهای شنی به ویژگی‌های شن مانند ساختار، شکل و اندازه شن ارتباط دارد (Wakeman, 2007). شن ریز مورد استفاده در فیلترهای شنی، ذرات با اندازه کوچک‌تر را جذب

¹ Sedimentation

² Interception

³ Diffusion

مواد و روش‌ها

در این مطالعه یک مدل فیزیکی در آزمایشگاه زهکشی گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج در سال ۱۳۹۷ ساخته شد. مدل فیزیکی دارای دو قسمت مخزن تهیه محلول ورودی و فیلترهای ساخته‌شده بودند. مخزن تهیه محلول ورودی در ارتفاع مشخص قرار گرفته و شامل یک بشکه پلاستیکی، شیر خروجی و شلنگ برای انتقال آب از مخزن به فیلتر بود. قسمت فیلتر شامل، دو فیلتر ساخته‌شده که یکی به صورت افقی و دیگری به صورت عمودی است. اختلاف ارتفاع سطح آب و خروجی فیلتر، مواد مورد استفاده در ساخت بدنه، محتویات فیلتر، طول و جنس اتصالات در دو فیلتر یکسان در نظر گرفته شد؛ به گونه‌ای که تنها تفاوت عمودی و افقی بودن هر کدام است. هر دو فیلتر دارای ارتفاع ۱۰۰ و قطر ۳۲ سانتی‌متر و سطح مقطع ۶۸۷/۷۸ سانتی‌متر مربع بودند. همچنین میزان دبی جریان عبوری از فیلتر ۱۵ لیتر بر دقیقه اندازه‌گیری شد؛ به طوری که با توجه به سطح مقطع و دبی جریان، دبی در واحد سطح فیلتر ۰/۲۰ لیتر بر دقیقه بر سانتی‌متر مربع بود.

در مدل فیزیکی ساخته‌شده، قسمت فیلتر شامل هشت لایه بود. به ترتیب لایه اول شامل ۱۰ سانتی‌متر شن با قطر ۱ سانتی‌متر و بزرگ‌تر که نقش تصفیه‌کننده‌گی ندارد و صرفاً جهت پخش یکنواخت‌تر آب به ناحیه فیلتری استفاده می‌شود، لایه دوم شامل ۱۵ سانتی‌متر شن با قطر حدودی ۰/۰۸۹ سانتی‌متر که اولین لایه‌ای است که نقش تصفیه‌کننده‌گی دارد و بیشتر در تصفیه مواد معلق نقش دارد، لایه سوم شامل ۱۵ سانتی‌متر زئولیت با قطر ۰/۴-۰/۳ سانتی‌متر که دومین لایه تصفیه‌کننده بوده و در تصفیه نیترات و کاهش شوری آب نقش دارد، لایه چهارم شامل ۵ سانتی‌متر پوسته برنج (تهیه‌شده از شالیزارهای حومه شهرستان ساری، استان مازندران) که سومین لایه تصفیه‌کننده است و در حذف نیترات و مواد معلق نقش دارد، لایه پنجم شامل ۵ سانتی‌متر شن با قطر ۰/۰۸۹ سانتی‌متر که آخرین لایه مؤثر در تصفیه است و بیشتر به منظور جذب مواد جداشده از پوسته برنج استفاده می‌شود، لایه ششم شامل ۵ سانتی‌متر شن با قطر ۰/۳ سانتی‌متر که برای جلوگیری از خروج شن ریز بالایی استفاده می‌شود، لایه هفتم شامل ۵ سانتی‌متر شن با قطر ۰/۶ سانتی‌متر که نقشی در تصفیه آب نداشته و تسهیل کننده خروج آب است و لایه هشتم شامل ۲۰ سانتی‌متر شن با قطر ۱ سانتی‌متر و بزرگ‌تر که مانند لایه قبلی تسهیل کننده خروج آب است؛ بودند. شکل (۱) طرح و جزئیات مواد استفاده‌شده در مدل فیزیکی ساخته‌شده این مطالعه را نشان می‌دهد.

شن مورد نیاز برای این پژوهش از شرکت تأمین ماسه ریخته‌گری فیروزکوه (به‌عنوان منبع تهیه دانه‌بندی شن برای تصفیه آب در ایران) تهیه و به آزمایشگاه منتقل شد. در جدول (۱) مشخصات شن

که با کاهش اندازه ذرات و افزایش میزان کاربرد زئولیت، جذب نیترات توسط خاک به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Taheri-Sodejani et al., 2015). در مطالعات دیگری نیز به نقش زئولیت اضافه‌شده به فیلترهای شنی در کاهش نیترات، کل ذرات معلق، سدیم فاضلاب و عدم افت فشار اشاره شده است؛ اما تأثیری بر هدایت الکتریکی نداشته است (شیروانی ایچی و همکاران، ۱۴۰۰ الف، ب). گیب و همکاران در سال ۲۰۱۷ برای حل مشکل آب‌های زیرزمینی شور پتاسیم‌دار از دو جذب مختلف در دو مرحله استفاده کردند؛ به این معنی که ابتدا برای حذف کلر در محلول از جاذب $MgAl-CO_3 LDH$ و سپس برای حذف سدیم از زئولیت استفاده کردند. زئولیت استفاده‌شده از نوع کلینوپتیلولیت و غنی از کلسیم و پتاسیم بود. نتایج نشان داد زمانی که ابتدا از کلر از محلول حذف و سپس به‌وسیله زئولیت اصلاح‌شده با اسید، تصفیه‌شده و غلظت سدیم تا ۸۷ درصد کاهش می‌یابد (Gibb et al., 2017).

محصولات جانبی کشاورزی نیز به دلیل دارا بودن گروه‌های عامل از قبیل هیدروکسید، کربوکسیل و فنل و همچنین میل ترکیبی قوی آن‌ها با فلزات سنگین، از بین جاذب‌های مختلف برای حذف فلزات سنگین مناسب‌ترند (Sen, 2023). موادی از قبیل ترکیبات آلی مانند پوسته برنج (Afroze & Sen, 2018; Ogunlalu et al., 2021؛ اخوان و همکاران، ۱۳۹۶)، برگ درخت *Laurus nobilis* (Singha & Das, 2013)، گاه برنج (Gumus & Gumus, 2020)، باقی‌مانده پوسته بادام‌زمینی (Ahmad et al., 2014؛ Tasar et al., 2014)، پوست درخت اکالیپتوس (Afroze et al., 2016) و ضایعات میوه و برگ‌های درختان مختلف (Al-Qahtari, 2016؛ Gupta & Ben-Ali et al., 2016؛ Gogate, 2016؛ Nakkeeran et al., 2016؛ Asim et al., 2020؛ Ziadi et al., 2018؛ 2017) به‌عنوان جاذب‌های مؤثر در حذف انواع آلاینده‌ها استفاده‌شده‌اند.

در مطالعات ایران و جهان به تأثیر زمان مجاورت آب با مواد جاذب، میزان جذب جاذب‌های مختلف در مواجهه با آلودگی‌های متفاوت، جاذب‌های طبیعی و مصنوعی، تأثیر غلظت مواد آلاینده در میزان جذب، تأثیر گذشت زمان بر میزان جذب، تأثیر لایه‌ای و مخلوط بودن جاذب‌ها بر تصفیه آب، تأثیر ضخامت لایه بر میزان جذب و افت هیدرولیکی حاصل از آن، بهترین جاذب‌های طبیعی و مصنوعی برای یک آلودگی خاص پرداخته‌شده است. در مطالعه حاضر نیز علاوه بر آزمایش در برخی موارد که در مرور منابع صورت گرفته اشاره شد، به تأثیر عمودی و افقی قرار گرفتن فیلتر بر میزان تصفیه پرداخته شد. این مورد در مطالعات قبلی بررسی نشده بود و تحقیق حاضر که روی این موضوع انجام شد، به شفاف شدن عوامل مؤثر بر تصفیه آب کمک قابل توجهی خواهد کرد.

استفاده شد. چگالی ظاهری و حقیقی ژئولیت به کاررفته در فیلترهای ساخته شده به ترتیب ۱/۲ و ۱/۶۵ گرم بر سانتی متر و اندازه ذرات آن ۱۱۹۰-۶۰۰ میکرون بود. همچنین تجزیه عنصری ژئولیت استفاده شده در این مطالعه در جدول (۲) ارائه شده است.

به کاررفته در مدل فیزیکی ارائه شده است. ژئولیت مورد استفاده در این مطالعه از معادن ژئولیت سمنان تهیه و به آزمایشگاه منتقل شده و پس از شست و شوی کامل با آب مقطر به منظور حذف گردوغبار و خشک شدن در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد در آون به مدت ۲۴ ساعت؛ در مدل فیزیکی ساخته شده،



شکل ۱- طرح و جزئیات مواد استفاده شده در مدل فیزیکی ساخته شده در مطالعه

جدول ۱- دانه بندی، چگالی ظاهری و حقیقی شن استفاده شده در فیلترهای به کاررفته در مطالعه

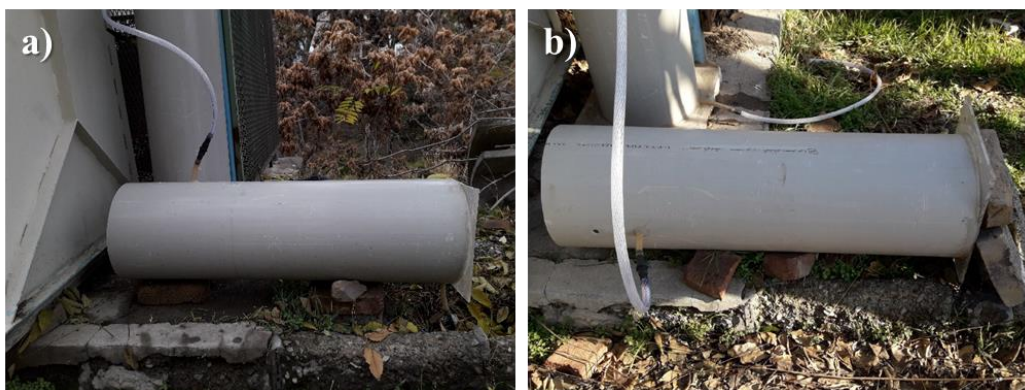
جاذب	قطر شن cm	جرم مخصوص حقیقی g cm ³	جرم مخصوص ظاهری
شن	۰/۰۸۹	۲/۴	۱/۴۵
	۰/۳	۲/۲۷	۱/۶۶
	۰/۶	۲/۵۴	۱/۶
	۱	۲/۵۸	۱/۳۵

جدول ۲- تجزیه عنصری ژئولیت استفاده شده در فیلترهای به کاررفته در مطالعه

عنصر	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	LoI ^۱
درصد وزنی	۶۶/۵	۱۱/۸۱	۲/۰۱	۱/۳۰	۳/۱۱	۰/۷۲	۱۲/۰۵

^۱ درصد کلی آب و مواد فرار (Loss of Ignition)

داده می‌شود محلول از فیلترهای موجود عبور کند. پس از ۵ و ۱۰ دقیقه از آب خروجی فیلترهای عمودی و افقی نمونه‌برداری انجام شد. یعنی در هر فیلتر برای هر نوع آلودگی با غلظت مشخص دو نمونه تصفیه‌شده برداشت و برای مقایسه میزان تصفیه در دو نوع فیلتر از آن‌ها استفاده شد. نمونه‌های برداشت‌شده برای اندازه‌گیری غلظت نیترات، مواد معلق و شوری به آزمایشگاه انتقال داده شدند. همچنین به منظور بررسی تأثیر زمان تماس آب آلوده با مواد جاذب، با تغییر ساختار فیلتر افقی از حالت a به b ارائه‌شده در شکل (۲)، زمان خروج آب را ۴ دقیقه به تعویق انداخته شد و سپس به اقدام به نمونه‌برداری نمونه آب به منظور بررسی درصد تصفیه پرداخته شد. شکل ۲a حالت عادی فیلتر افقی و ۲b فیلتر افقی با زمان تماس افزایش یافته را نشان می‌دهد.



شکل ۲- تغییر حالت فیلتر افقی و بررسی تأثیر افزایش زمان مجاورت بر درصد تصفیه نیترات و نمک با دو غلظت ورودی مختلف

واریانس داده‌ها بررسی شود. برای بررسی توزیع داده‌ها از آزمون کلموگوروف - اسمیرنوف^۲ و برای بررسی شرط سوم از آزمون لوین^۳ استفاده شد (Townend, 2013). برای انجام این آزمون‌ها از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

نتایج و بحث

تأثیر فیلترهای عمودی و افقی بر میزان تصفیه

شکل (۳) میزان تصفیه محلول به ترتیب آلوده به نیترات در دو غلظت ۳۶/۷۲ و ۵۹/۰۸ میلی‌گرم بر لیتر (شکل ۳a)، نمک (شوری) با دو هدایت الکتریکی ۶/۳۱ و ۱۱/۰۲ دسی‌زیمنس بر متر (شکل ۳b) و کل مواد جامد معلق در دو غلظت ۷۵۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر (شکل ۳c) عبوری از دو فیلتر عمودی و افقی و در دو زمان ۵ و ۱۰ دقیقه را نشان می‌دهد. در مورد نیترات با توجه به نتایج، میزان تصفیه

به منظور بررسی و مقایسه میزان تصفیه نیترات موجود در محلول، کاهش شوری محلول و تصفیه مواد معلق موجود در محلول توسط دو فیلتر افقی و عمودی ساخته‌شده، به ترتیب از دو محلول با غلظت ۳۶/۷۲ و ۵۹/۰۸ میلی‌گرم بر لیتر نیترات پتاسیم، دو محلول با هدایت الکتریکی ۶/۳۱ و ۱۱/۰۲ دسی‌زیمنس بر متر نمک طعام (NaCl) و دو محلول ۰/۷۵ و ۱/۵ گرم بر لیتر رس استفاده شد. برای انجام آزمایش، با توجه به فیلترهای موجود مقدار محلول ۱۰۰ لیتر با غلظت مشخص در نظر گرفته شد. برای ایجاد یکنواختی، مواد موردنظر در ۲۰ لیتری نیمه‌پر آب ریخته و تکان داده و در مخزن اصلی ریخته شد و به حجم ۱۰۰ لیتر رسانده شد. بعد از آماده شدن محلول، نمونه‌برداری از مخزن محلول ورودی انجام شد. خروجی مخزن به ورودی فیلتر موردنظر وصل و شیر خروجی مخزن باز شده و اجازه

برای اندازه‌گیری نیترات موجود در نمونه‌های برداشت‌شده از دستگاه اسپکتروفتومتر^۱ (Kurniawati et al., 2017)، برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی محلول از EC متر استفاده شد. برای اندازه‌گیری مواد جامد معلق موجود از روش آون و ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم استفاده شد؛ به این صورت که ظروف شیشه‌ای حاوی نمونه برداشته‌شده با وزن مشخص به صورت در باز داخل آون با دمای ۱۰۴ درجه قرار داده‌شده و ۳ الی ۴ روز آب تمام ظرف کاملاً تبخیر شده و سپس وزن ظرف اندازه‌گیری شد. تفاضل وزن ظروف شیشه‌ای قبل و بعد از تبخیر برابر است با مقدار مواد معلق باقی‌مانده در آب پس از فیلتر. سپس از تقسیم مقدار رسوب به مقدار آب غلظت کل مواد جامد معلق به دست آمد. در آخر برای بررسی معنی‌داری تفاوت در میزان تصفیه آلاینده‌های مختلف توسط فیلترهای عمودی و افقی از آزمون t استفاده شد. برای استفاده از آزمون t ابتدا باید سه شرط، کمی بودن داده‌ها، توزیع نرمال و عدم وجود تفاوت معنی‌دار در

² Kolmogorov-Smirnov test

³ Levene's test

¹ Spectrophotometer

استفاده شده باشد (Amin, 2009). یزدانبخش و همکاران ثابت شدن ظرفیت جذب و یا دستیابی به نقطه تعادل برای جاذبها را ناشی از پر شدن مکانهای فعال روی سطح جاذب و یا کامل شدن ظرفیت جاذب دانستند (Yazdanbakhsh et al., 2011). به منظور مقایسه آماری و بررسی تفاوت میزان تصفیه دو فیلتر عمودی و افقی از آزمون t استفاده شد. برای استفاده از آزمون t ابتدا باید سه شرط بررسی شود. داده‌ها کمی هستند و لذا شرط اول برقرار است، اما برای مشاهده صادق بودن شرط دوم اینکه داده‌ها از توزیع نرمال پیروی می‌کنند و شرط سوم اینکه واریانس داده‌ها با هم تفاوت معنی‌داری نداشته باشد، مراحل زیر انجام شد. ابتدا از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. آزمون کلموگروف - اسمیرنوف، نرمال بودن توزیع داده‌ها را نشان می‌دهد. اگر داده‌ها دارای توزیع نرمال باشند، امکان استفاده از آزمون پارامتریک وجود دارد و در غیر این صورت باید از آزمون ناپارامتریک استفاده شود. همان‌گونه که در جدول (۳) ارائه شده است؛ مشاهده می‌گردد آزمون کلموگروف - اسمیرنوف برای میزان تصفیه نیترا ت معنادار نیست ($p = 0.775$) و بنابراین میزان تصفیه نیترا ت دارای توزیع نرمال بوده و می‌توان از تحلیل‌های پارامتریک برای آن استفاده کرد.

بعد از مشخص شدن نرمال بودن داده‌ها برای نشان دادن برابری واریانس داده‌ها از آزمون لوین استفاده شد. آزمون لوین آزمونی برای تشخیص برابری و عدم برابری واریانس‌ها است. با توجه به نتایج آزمون لوین ارائه شده در جدول (۴)؛ مشخص است که سطح معناداری ($Sig.$) بالاتر از 0.05 است. یعنی فرض برابری واریانس‌های دو گروه رد و فرض اینکه واریانس‌های دو گروه با هم برابر هستند؛ پذیرفته می‌شود.

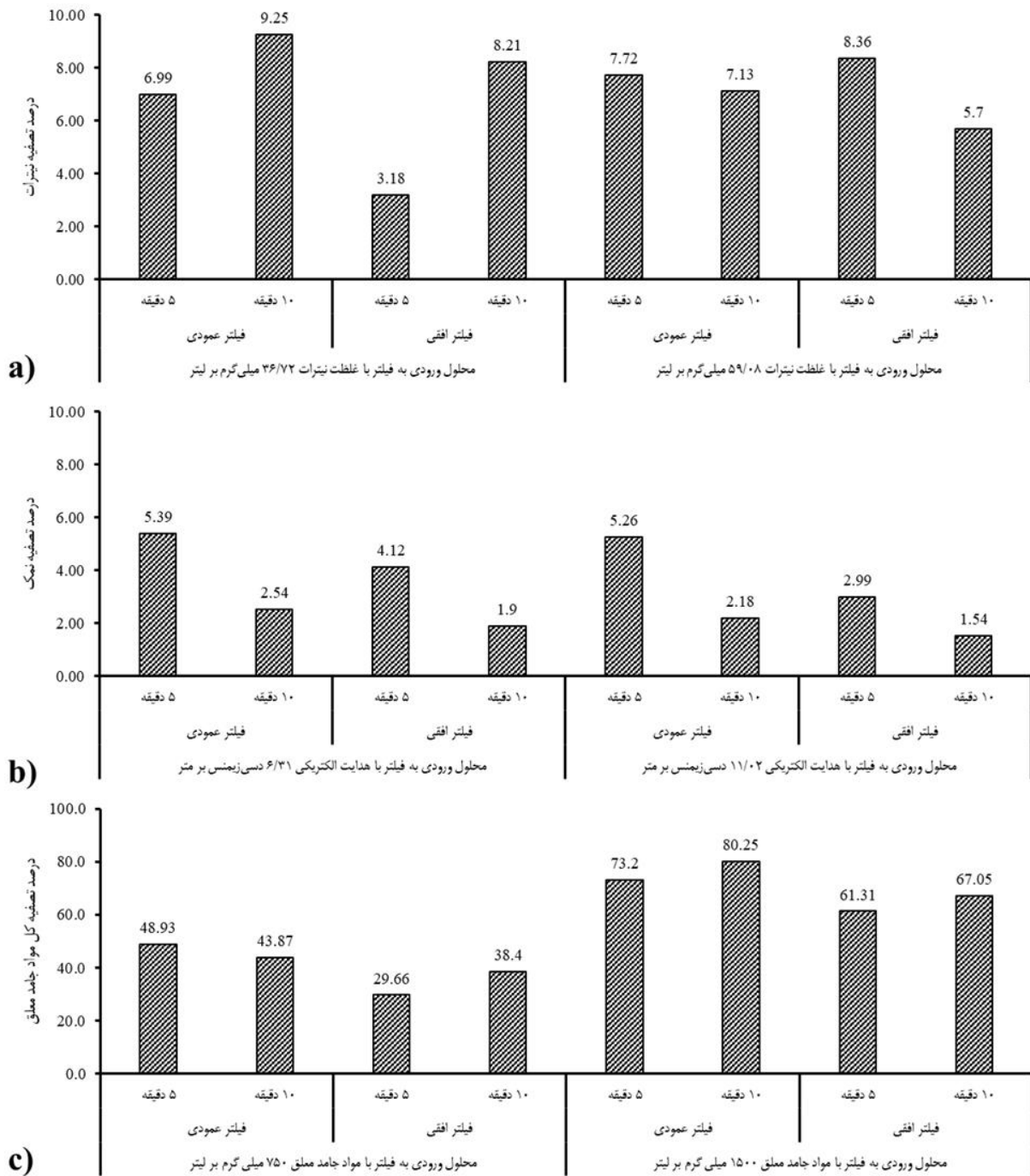
حال که شروط استفاده از آزمون t مستقل برقرار است. لذا از این آزمون استفاده می‌شود. نتایج آزمون t در جدول (۵) ارائه شده است. با توجه به اطلاعات مندرج در جدول (۵)، می‌توان دریافت که بر اساس مقدار ستون Sig که بیشتر از 0.05 است ($Sig = 0.329$)؛ بین دو فیلتر عمودی و افقی برای تصفیه نیترا ت تفاوت معنی‌دار وجود ندارد.

در فیلتر عمودی در غلظت $36/72$ میلی‌گرم بر لیتر بعد از ۵ و ۱۰ دقیقه به ترتیب $6/99$ و $9/25$ درصد به دست آمد. برای فیلتر افقی نیز در این غلظت بعد از ۵ و ۱۰ دقیقه میزان تصفیه نیترا ت به ترتیب $3/18$ و $8/21$ درصد اندازه‌گیری شد. در مورد غلظت $36/72$ میلی‌گرم بر لیتر نیترا ت، در هر دو فیلتر، مشخص است که با افزایش زمان میزان تصفیه نیترا ت افزایش می‌یابد و برتری میزان تصفیه در هر دو خروجی مربوط به فیلتر عمودی است. میزان تصفیه در فیلتر عمودی در غلظت $59/08$ میلی‌گرم بر لیتر بعد از ۵ و ۱۰ دقیقه به ترتیب $7/72$ و $7/13$ درصد به دست آمد. اما برای فیلتر افقی در این غلظت بعد از ۵ و ۱۰ دقیقه میزان تصفیه نیترا ت به ترتیب $8/36$ و $5/70$ درصد اندازه‌گیری شد. در مورد غلظت $59/08$ میلی‌گرم بر لیتر نیترا ت، در هر دو فیلتر، مشخص است که با افزایش زمان میزان تصفیه نیترا ت کاهش می‌یابد و خروجی فیلتر افقی در زمان ۵ دقیقه، میزان نیترا ت خروجی کمتری از فیلتر عمودی داشته است؛ به عبارت دیگر میزان تصفیه نیترا ت در فیلتر افقی بعد از ۵ دقیقه بیشتر از فیلتر عمودی بوده است (شکل ۳a). اما با گذشت ۱۰ دقیقه و نمونه‌برداری دوباره از خروجی آب هر دو فیلتر مشخص است که میزان تصفیه در فیلتر عمودی بیشتر بوده و در فیلتر عمودی با گذشت زمان، میزان تصفیه کاهش کمتری پیدا کرده است و این فیلتر از این نظر پایدارتر بوده است.

در مجموع برخلاف غلظت رقیق‌تر، با گذشت زمان از میزان تصفیه نیترا ت کاسته شده است که می‌توان به ظرفیت تصفیه‌کنندگی جاذب‌های استفاده شده در هر دو فیلتر نسبت داد. به این صورت که با افزایش غلظت محلول ورودی به فیلتر، ظرفیت جذب جاذب‌ها زودتر پر شده و کاهش می‌یابد. زمان تماس پارامتر مهمی برای استفاده مناسب از یک جاذب در زمینه‌های کاربردی بوده و بیانگر سرعت جذب در بین پارامترهای مناسب است (Ozer & Ozer, 2003; Sari & Tuzen, 2009). راندمان حذف و ظرفیت جذب با زمان تماس رابطه مستقیم دارد (شکریان و همکاران، ۱۳۹۹). در زمان ۵ دقیقه ابتدایی منحنی هر دو فیلتر شیب تندی داشته و ظرفیت جذب به سرعت افزایش یافته است. این حالت ممکن است به دلیل وجود مکان‌های فعال زیاد و اشباع نشده در سطوح خارجی جاذب‌های

جدول ۳- نتایج آزمون کلموگروف - اسمیرنوف برای بررسی نرمال بودن میزان تصفیه اندازه‌گیری شده آلاینده‌های مختلف در فیلترهای عمودی و افقی

پارامتر اندازه‌گیری شده	میانگین	انحراف استاندارد	Z کلموگروف - اسمیرنوف	P
نیترا ت	۷/۰۶	۱/۸۹	۰/۶۶۱	۰/۷۷۵
هدایت الکتریکی	۳/۲۴	۱/۵۰	۰/۵۴۰	۰/۹۳۲
کل مواد جامد معلق	۵۵/۳۳	۱/۷۸	۰/۳۹۶	۰/۹۹۸



شکل ۳- درصد تصفیه نیترات (a)، نمک (b) و کل مواد جامد معلق (c) عبوری از دو فیلتر عمودی و افقی در دو غلظت و دو زمان مختلف

جدول ۴- نتایج آزمون لوین برای بررسی برابری واریانس میزان تصفیه اندازه‌گیری شده آلاینده‌های مختلف در فیلترهای عمودی و افقی

Sig	F	پارامتر اندازه‌گیری شده
۰/۰۹۳	۳/۹۹۰	نیترات
۰/۰۶۸	۴/۹۳۳	هدایت الکتریکی
۰/۹۷۶	۰/۰۰۱	کل مواد جامد معلق

جدول ۵- نتایج آزمون t برای بررسی معنی‌داری میزان تصفیه اندازه‌گیری شده آلاینده‌های مختلف در فیلترهای عمودی و افقی

پارامتر اندازه‌گیری شده	df	t	Sig. (2-tailed)
نیترات	۶	۱/۰۶۱	۰/۳۲۹
هدایت الکتریکی	۶	۱/۱۶۱	۰/۲۹۰
کل مواد جامد معلق	۶	۰/۹۸۵	۰/۳۶۳

آمد. برای فیلتر افقی نیز در این غلظت بعد از ۵ و ۱۰ دقیقه میزان تصفیه TSS به ترتیب ۲۹/۶۶ و ۳۸/۴۰ درصد اندازه‌گیری شد. در مورد غلظت ۷۵۰ میلی‌گرم بر لیتر TSS، در فیلتر افقی برعکس فیلتر عمودی، مشخص است که با افزایش زمان میزان تصفیه افزایش می‌یابد؛ اما این افزایش به حدی نیست که به میزان تصفیه فیلتر عمودی برسد و در هر دو زمان اندازه‌گیری ۵ و ۱۰ دقیقه درصد تصفیه فیلتر افقی کمتر از فیلتر عمودی است. میزان تصفیه در فیلتر عمودی با دو برابر شدن میزان TSS در غلظت ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بعد از ۵ و ۱۰ دقیقه به ترتیب ۷۳/۲۰ و ۸۰/۲۵ درصد به دست آمد. اما برای فیلتر افقی در این غلظت بعد از ۵ و ۱۰ دقیقه درصد تصفیه TSS به ترتیب ۶۱/۳۱ و ۶۷/۰۵ درصد اندازه‌گیری شد. در مورد غلظت ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر TSS، در هر دو فیلتر، مشخص است که با افزایش زمان میزان تصفیه TSS افزایش می‌یابد. بیشترین میزان تصفیه TSS در غلظت ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و بعد از ۱۰ دقیقه جریان از فیلتر عمودی مشاهده شد. همان‌طور که در منابع مختلف نیز به آن اشاره شده است؛ بیشتر تأثیر فیلترهای شنی در حذف مواد جامد معلق است (رجا و همکاران، ۱۴۰۰). در این مطالعه نیز مشاهده شد که بیشترین درصد تصفیه مربوط به آلاینده TSS است. برای TSS هرچقدر شن ریزتر و با ضخامت بیشتر در فیلترهای شنی استفاده شود، میزان تصفیه بیشتری نیز خواهد داشت. بررسی نتایج سایر پژوهشگران نیز نشان داده است می‌توان با افزایش ضخامت فیلتر شنی و استفاده از شن ریزتر، سرعت و میزان تصفیه را افزایش داد (رجا و همکاران، ۱۴۰۰؛ Chen et al., 2016؛ Wang et al., 2019؛ Adriati et al., 2020). میزان تصفیه و حذف کل مواد جامد معلق بیشتر از درصد تصفیه نیترات و شوری بوده و این نشان‌دهنده این است که فیلترهای شنی به میزان زیادی به حذف این مواد کمک می‌کند و برای حذف نیترات و شوری باید ضخامت لایه ژئولیت و پوسته برنج که در تصفیه و جذب این آلاینده‌ها مؤثر هستند؛ افزایش یابد و ضخامت بهینه این دو جاذب بر اساس آزمایشات مختلف محاسبه شود.

تأثیر غلظت آلاینده بر میزان جذب فیلترهای عمودی و افقی

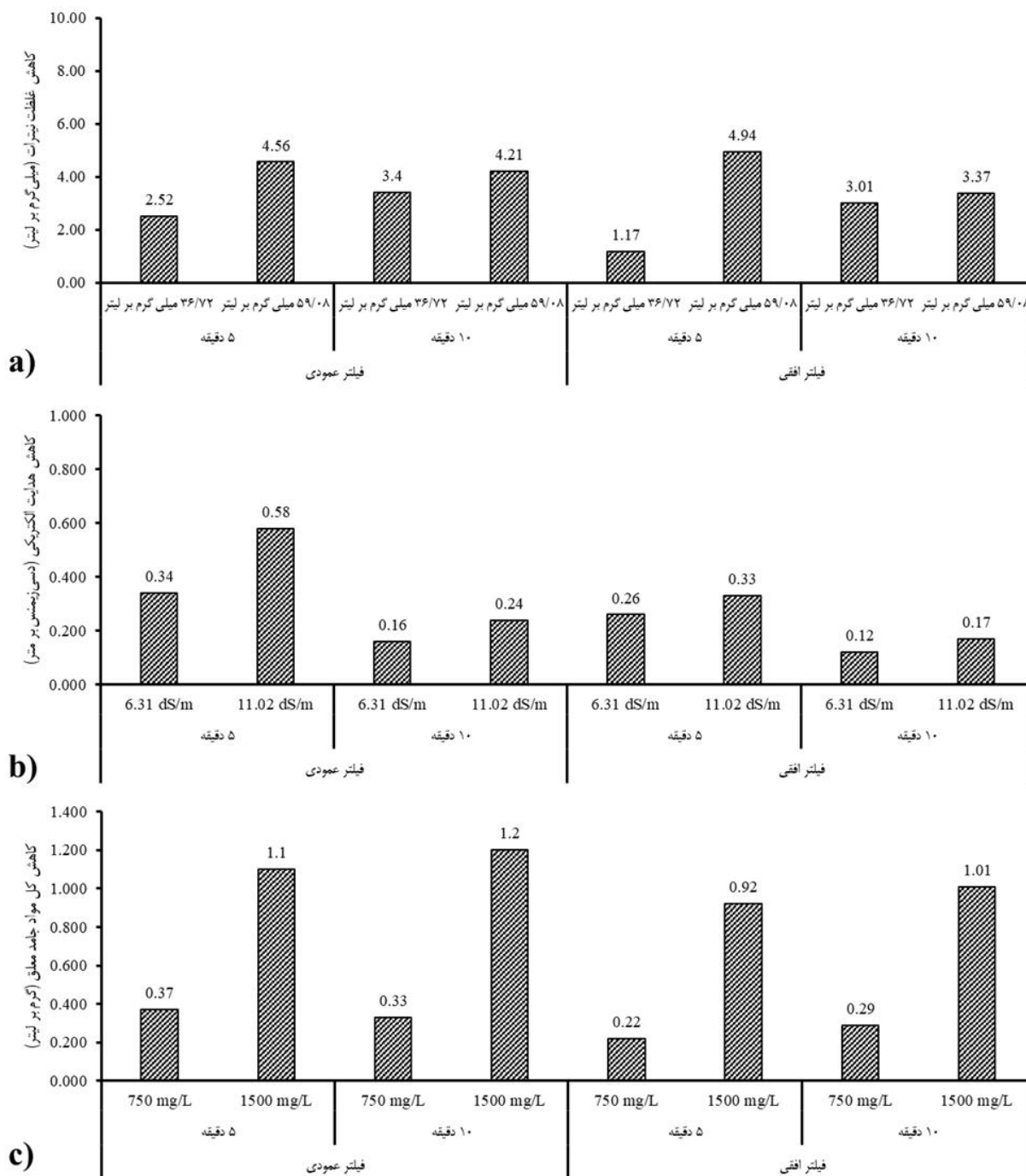
شکل (۴) میزان کاهش غلظت محلول به ترتیب آلوده به نیترات در دو غلظت ۳۶/۷۲ و ۵۹/۰۸ میلی‌گرم بر لیتر (شکل ۴a)، نمک (شوری) با دو EC ۶/۳۱ و ۱۱/۰۲ دسی‌زیمنس بر متر (شکل ۴b) و

در مورد تصفیه نمک با استفاده از فیلترهای عمودی و افقی با توجه به نتایج ارائه‌شده در شکل (۳b)، میزان تصفیه در فیلتر عمودی هدایت الکتریکی (EC) ۶/۳۱ دسی‌زیمنس بر متر بعد از ۵ و ۱۰ دقیقه به ترتیب ۵/۳۹ و ۲/۵۴ درصد به دست آمد. برای فیلتر افقی نیز در این EC بعد از ۵ و ۱۰ دقیقه میزان تصفیه نمک به ترتیب ۴/۱۲ و ۱/۹۰ درصد اندازه‌گیری شد. در مورد EC برابر با ۶/۳۱ دسی‌زیمنس بر متر، در هر دو فیلتر، مشخص است که با افزایش زمان میزان تصفیه افزایش می‌یابد. میزان تصفیه در فیلتر عمودی در EC برابر با ۱۱/۰۲ دسی‌زیمنس بر متر بعد از ۵ و ۱۰ دقیقه به ترتیب ۵/۲۶ و ۲/۱۸ درصد به دست آمد. اما برای فیلتر افقی در این EC بعد از ۵ و ۱۰ دقیقه درصد تصفیه به ترتیب ۲/۹۹ و ۱/۵۴ درصد اندازه‌گیری شد. در مورد ECهای ۶/۳۱ و ۱۱/۰۲ دسی‌زیمنس بر متر، در هر دو فیلتر، مشخص است که با افزایش زمان درصد تصفیه کاهش می‌یابد که مطابق آزمایشات و مطالعه محمدی ساردو و یزدان‌پناه (۱۳۹۹) است. برتری میزان تصفیه در هر دو خروجی مربوط به فیلتر عمودی است (شکل ۳b). همچنین با توجه به نتایج ارائه‌شده در دو جدول (۳) و (۴) شروط استفاده از آزمون t برای هدایت الکتریکی برقرار بوده (توزیع نرمال داده‌ها و برابری واریانس‌ها) و می‌توان از آزمون t برای مقایسه تفاوت میزان تصفیه نمک استفاده کرد. نتایج آزمون t که در جدول (۵) ارائه شده است (Sig = 0.290)؛ نشان می‌دهد که تفاوت معنی‌داری بین دو فیلتر عمودی و افقی برای تصفیه نمک وجود ندارد. با توجه به اینکه میزان تصفیه EC مقدار ناچیزی به دست آمده است که شيروانی ایچی و همکاران (۱۴۰۰ الف) و کریستن و همکاران نیز به این نتیجه دست یافتند (Christen et al., 2010)؛ را می‌توان به ضخامت کم لایه پوسته برنج استفاده‌شده در این مطالعه (۵ سانتی‌متر) نسبت داد؛ چراکه با توجه به مطالعات محمدی ساردو و یزدان‌پناه (۱۳۹۳) و شاهنظری و جعفری تلوکلایی (۱۳۹۷) جاذب‌های آلی بیشترین تأثیر بر کاهش EC آب دارند؛ به‌گونه‌ای که بیشترین میزان جذب و کاهش EC مربوط به خاکاره و پوسته پسته گزارش شده است. می‌توان با افزایش لایه مربوط به جاذب آلی در فیلترهای شنی از ظرفیت تصفیه‌کنندگی موجود در این ماده‌های آلی استفاده کرد که نیازمند بررسی بیشتر است.

در مورد کل مواد جامد معلق (TSS) با توجه به نتایج ارائه‌شده در شکل (۳c)، میزان تصفیه در فیلتر عمودی در غلظت ۷۵۰ میلی‌گرم بر لیتر بعد از ۵ و ۱۰ دقیقه به ترتیب ۴۸/۹۳ و ۴۳/۸۷ درصد به دست

بر میزان جذب این مواد توسط فیلترهای عمودی و افقی را نشان می‌دهد.

کل مواد جامد معلق در دو غلظت ۷۵۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر (شکل ۴c) عبوری از دو فیلتر عمودی و افقی و در دو زمان ۵ و ۱۰ دقیقه را نشان می‌دهد. به عبارتی دیگر، شکل (۴) تأثیر غلظت آلاینده



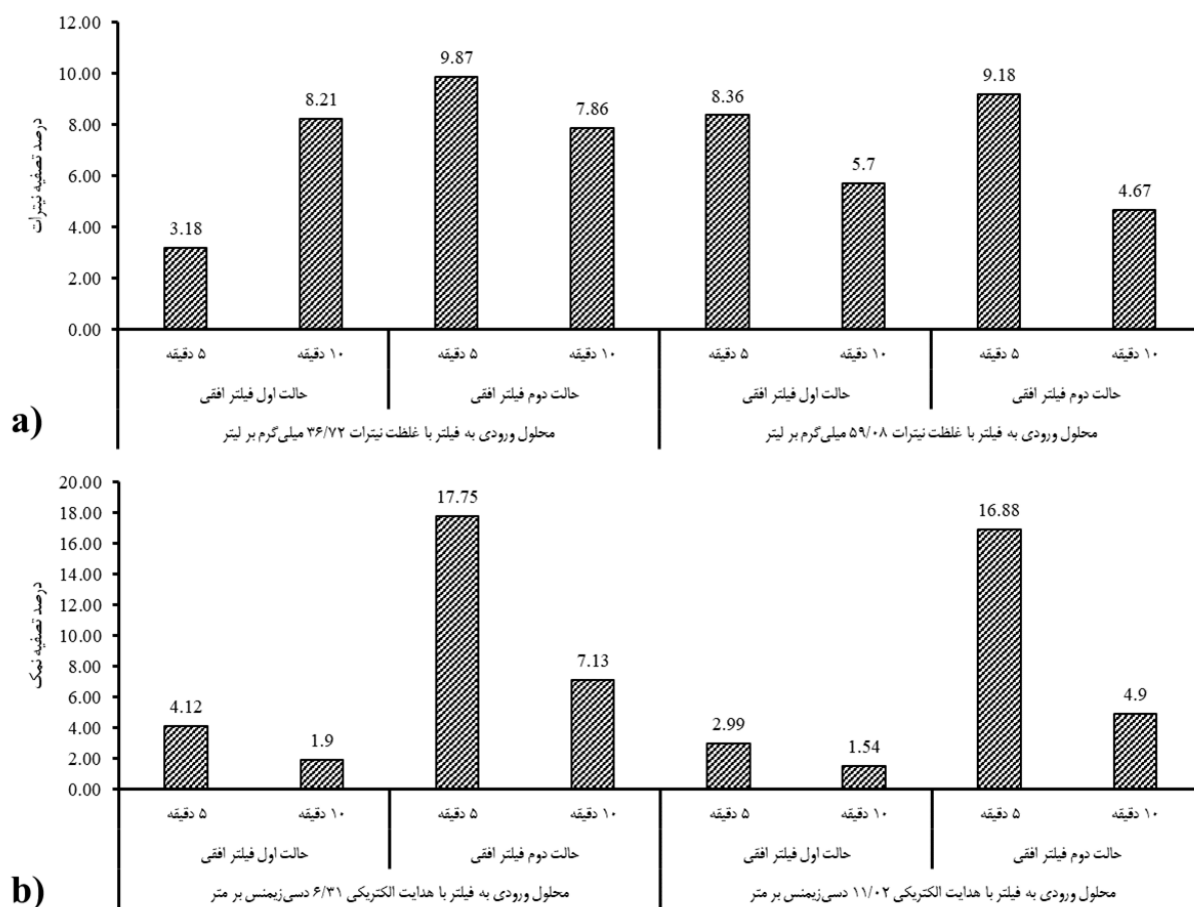
شکل ۴- تأثیر غلظت آلاینده‌های نیترات (a)، نمک (b) و کل مواد جامد معلق (c) بر میزان جذب فیلترهای عمودی و افقی

عمودی و افقی کاهش پیدا می‌کند؛ اما در این قسمت به بررسی تأثیر میزان غلظت اولیه بر میزان جذب پرداخته شده است. با توجه

در مورد نیترات، با توجه به نتایج ارائه شده در شکل (۳a) مشاهده می‌شود که با افزایش زمان، درصد تصفیه آلاینده‌ها در هر دو فیلتر

لیتر نیترات). برای فیلتر افقی با افزایش غلظت میزان جذب نیترات برای زمان ۵ و ۱۰ دقیقه میزان جذب به ترتیب از ۱/۱۷ به ۴/۹۴ میلی گرم و از ۳/۰۱ به ۳/۳۷ میلی گرم افزایش پیدا می کند (شکل ۴a). همان طور که در شکل (۴b و ۴c) مشخص است؛ برای هدایت الکتریکی و TSS نیز همان روند که در مورد نیترات توضیح داده شد؛ مشاهده شد. با افزایش غلظت میزان جذب این آلاینده ها توسط فیلترهای عمودی و افقی نیز افزایش می یابد. به عبارت دیگر میزان غلظت اولیه آلاینده و میزان جذب رابطه مستقیمی باهم دارند.

ارائه شده در شکل (۴a) مشخص است که با افزایش میزان غلظت نیترات ورودی به فیلتر، میزان جذب این آلاینده در هر دو فیلتر عمودی و افقی و در هر دو زمان ۵ و ۱۰ دقیقه افزایش می یابد. در فیلتر عمودی و نمونه پس از ۵ دقیقه با افزایش غلظت نیترات ورودی به فیلتر از ۳۶/۷۲ به ۵۹/۰۸ میلی گرم بر لیتر به ترتیب میزان جذب از ۲/۵۲ به ۴/۵۶ میلی گرم بر لیتر افزایش می یابد. برای زمان ۱۰ دقیقه نیز همین روند ادامه دارد و با افزایش غلظت ورودی میزان جذب آلاینده توسط فیلتر افزایش می یابد (۳/۴ به ۴/۲۱ میلی گرم بر



شکل ۵- تأثیر افزایش زمان مجاورت محلول آلوده بر میزان تصفیه نیترات (a) و شوری (b) در فیلتر افقی در دو حالت مختلف

درصد افزایش می یابد. اما برای زمان ۱۰ دقیقه، این تغییر ساختار، تأثیری بر افزایش میزان تصفیه نداشته است و حتی باعث کاهش میزان تصفیه نسبت به حالت اولیه داشته است. همچنین با تحلیل نمونه EC خروجی پس از ۵ و ۱۰ دقیقه از فیلتر افقی در دو حالت ۲a و ۲b با دو هدایت الکتریکی ۶/۳۱ و ۱۱/۰۲ دسی زیمنس بر متر (شکل ۵b)، مشاهده می شود که درصد تصفیه این آلاینده به ترتیب ۴/۳۱، ۳/۷۵، ۵/۶۴ و ۳/۱۸ برابر (به صورت متوسط ۴/۲۲ برابر) افزایش می یابد. وجود رابطه مستقیم زمان تماس و میزان جذب

تأثیر افزایش زمان تماس محلول با جاذب بر میزان تصفیه آلاینده در فیلتر افقی

شکل (۵) تأثیر افزایش زمان تماس محلول با جاذب بر میزان تصفیه آلاینده در فیلتر افقی را نشان می دهد. با تحلیل نمونه نیترات خروجی پس از ۵ دقیقه از فیلتر افقی در دو حالت ۲a و ۲b و غلظت های ۳۶/۷۲ و ۵۹/۰۸ میلی گرم بر لیتر (شکل ۵a)، مشاهده می شود که درصد تصفیه این آلاینده به ترتیب ۳/۱ برابر و حدود ۱۰

شاهنظری، ع. و جعفری تلوکلایی، م. ۱۳۹۷. ارزیابی امکان تصفیه زه‌آب کشاورزی با استفاده از فیلترهای زیستی در محدوده شبکه آبیاری و زهکشی سپیدرود. پژوهش آب در کشاورزی، ۱۲(۱): ۳۱-۴۱.

شکریان، ف.، سلیمانی، ک.، نعمت‌زاده، ق. و بی‌پروا، پ. ۱۳۹۹. بررسی مقایسه‌ای جاذب‌های زیستی در کاهش شوری آب. علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۲۲(۴): ۵۵-۶۶.

شیروانی ایچی، ح.، طباطبائی، س. ح.، قبادی‌نیا، م. و نومهند، ن. ۱۴۰۰. کاربرد شن - ژئولیت - ژئوتکستایل به‌منظور کاهش نیترا فاضلاب و مقایسه کیفی آن با استانداردها. پژوهش‌های حفاظت آب‌و‌خاک، ۲۶(۲): ۲۳-۴۲.

شیروانی ایچی، ح.، قبادی‌نیا، م.، نورمهند، ن. و طباطبائی، س. ح. ۱۴۰۰ الف. بررسی نقش فیلترهای ترکیبی شن - ژئوتکستایل - ژئولیت بر برخی ویژگی‌های پساب. آب‌و‌خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۳۵(۵): ۶۸۷-۶۷۳.

غفاری، م.، سلطانی، ج.، اکبری، م. و رحیمی‌خوب، ع. ۱۳۹۴. ارزیابی فنی بهره‌برداری فیلترهای دیسکی تجهیزات فیلتراسیون در سیستم‌های آبیاری میکرو. مدیریت آب و آبیاری، ۱۵(۱): ۹-۱.

محمدی ساردو، ا. و یزدان‌پناه، ن. ۱۳۹۳. حذف برخی یون‌ها از فاضلاب با استفاده از جاذب‌های آلی و معدنی. ژئوشیمی، ۳(۱): ۴۲۵-۴۱۹.

Abdelkhalik, A., Pascual-Seva, N., Nájera, I., Giner, A., Baixauli, C. and Pascual, B. 2019. Yield response of seedless watermelon to different drip irrigation strategies under Mediterranean conditions. *Agricultural Water Management*. 212: 99-110.

Abdiyev, K., Azat, S., Kuldeyev, E., Ybyraimkul, D., Kabdrakhmanova, S., Berndtsson, R., Khalkhabai, B., Kabdrakhmanova, A. and Sultakhan, S., 2023. Review of Slow Sand Filtration for Raw Water Treatment with Potential Application in Less-Developed Countries. *Water*. 15(11): p.2007.

Adriati, Y., Pallu, M.S., Selintung, M. and Bakri, B., 2020. Relevance between filtration rate and filter media thickness in downflow filter systems. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 419 (1): p. 012130. IOP Publishing.

Afroz, S. and Sen, T.K., 2018. A review on heavy metal ions and dye adsorption from water by agricultural solid waste adsorbents. *Water, Air, & Soil Pollution*. 229: pp.1-50.

Afroz, S., Sen, T.K. and Ang, H.M., 2016. Adsorption removal of zinc (II) from aqueous phase by raw and

تصفیه توسط محققین متعددی نیز اشاره شده است (شکریان و همکاران، ۱۳۹۹؛ شیروانی ایچی و همکاران، ۱۴۰۰ الف؛ Abdiyev et al., 2023; Maiyo et al., 2023).

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر با ساخت یک مدل فیزیکی، به تأثیر عمودی و افقی قرار گرفتن فیلتر بر میزان تصفیه پرداخته شد و به‌صورت کلی در تصفیه نیترا، EC و TSS، تفاوت معنی‌داری بین فیلتر عمودی و افقی وجود نداشت. مواردی که می‌توانست در میزان تصفیه نیترا، EC و TSS تفاوت ایجاد کند، مانند سرعت عبور محلول از فیلتر و پیکره فیلتر که در فرآیند تصفیه شرکت دارند؛ بین فیلتر عمودی و افقی تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای وجود نداشت. همچنین غلظت نیترا، EC و TSS بر میزان تصفیه اثرگذار بوده و با افزایش غلظت این آلاینده‌ها بر میزان جذب افزوده می‌شود. روند تصفیه بسته به غلظت نیترا تغییر کرد. در غلظت دقیق نیترا روند تصفیه صعودی بوده ولی در تصفیه محلول نیترا غلیظ روند تصفیه نزولی است. این نکته با ظرفیت جذب یک جاذب خاص برای یک آلاینده خاص توجیه‌پذیر است. زمان مجاورت مواد آلاینده بر میزان جذب اثرگذار است. با افزایش حدود ۴ دقیقه‌ای زمان مجاورت آب با مواد داخل فیلتر برای نیترا و EC به ترتیب با افزایش جذب ۱/۳ و ۴/۲ برابر حالت معمولی مشاهده شد. برای مواد جامد معلق در هر دو غلظت هر چه از شروع تصفیه می‌گذرد بر میزان تصفیه افزوده می‌شود و مواد جذب‌شده خود بر ظرفیت فیلتراسیون فیلتر می‌افزایند.

منابع

اخوان، ک.، شاه‌نظری، ع. و یارقلی، ب. ۱۳۹۶. ارزیابی قابلیت فیلترهای زیستی برای تصفیه زه‌آب کشاورزی مطالعه موردی: شبکه آبیاری و زهکشی مغان (یادداشت تحقیقاتی). تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، ۱۸(۶۹): ۱۴۴-۱۳۵.

اصفهان، ع. و شامحمدی حیدری، ز. ۱۳۹۰. حذف منگنز از محیط آبی با ژئولیت طبیعی و سدیمی شده. محیط‌شناسی، ۳۷(۵۸): ۹۷-۱۰۴.

رجا، ا.، میرزایی شیرکوهی، ف. و شهریاری، ا. ۱۴۰۰. بررسی ضخامت فیلتر شنی بر تصفیه آب در آبیاری قطره‌ای. مدیریت آب و آبیاری، ۱۱(۱): ۸۶-۷۳.

سلیمانی، م.، انصاری، آ.، حاج‌عباسی، م. ع. و عابدی، ج. ۱۳۸۷. بررسی حذف نیترا و آمونیم از آب‌های زیرزمینی با استفاده از فیلترهای کانساری. آب و فاضلاب، ۶۷(۱): ۲۶-۱۸.

- wastewater treatment using the land filter technique. *Journal of environmental management*. 91(8): 1665-1673.
- Elbana, M., de Cartagena, F.R. and Puig-Bargués, J., 2012. Effectiveness of sand media filters for removing turbidity and recovering dissolved oxygen from a reclaimed effluent used for micro-irrigation. *Agricultural Water Management*. 111: 27-33.
- Fitriani, N., Kusuma, M.N., Wirjodirdjo, B., Hadi, W., Hermana, J., Kurniawan, S.B., Abdullah, S.R.S. and Mohamed, R.M.S.R., 2020. Performance of geotextile-based slow sand filter media in removing total coli for drinking water treatment using system dynamics modelling. *Heliyon*. 6(9). e04967.
- Gibb, N.P., Dynes, J.J. and Chang, W., 2017. Synergistic desalination of potash brine-impacted groundwater using a dual adsorbent. *Science of the Total Environment*. 593: 99-108.
- Gümüş, D. and Gümüş, F., 2020. Modeling heavy metal removal by retention on *Laurus nobilis* leaves biomass: linear and nonlinear isotherms and design. *International Journal of Phytoremediation*. 22(7): 755-763.
- Gupta, H. and Gogate, P.R., 2016. Intensified removal of copper from waste water using activated watermelon based biosorbent in the presence of ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*. 30: 113-122.
- Hu, Y., Wu, W., Liu, H., Huang, Y., Bi, X., Liao, R. and Yin, S., 2022. Dimensional Analysis Model of Head Loss for Sand Media Filters in a Drip Irrigation System Using Reclaimed Water. *Water*. 14(6): p.961.
- Irimia, O.T., Tomozei, C., Panainte, M., Mosnegutu, E.F. and Barsan, N., 2013. Efficiency of filters with different filtering materials: comparative study in water treatment. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 12(1).
- Ji, X., Zhao, C., Lv, Y., Yang, J. and Li, B., 2022. Influence of Particle Size of River Sand on the Decontamination Process in the Slow Sand Filter Treatment of Micro-Polluted Water. *Water*. 14(1): p.100.
- Kaner, A., Tripler, E., Hadas, E. and Ben-Gal, A., 2017. Feasibility of desalination as an alternative to irrigation with water high in salts. *Desalination*, 416, 122-128.
- Kurniawati, P., Gusrianti, R., Dwisiwi, B.B., Purbaningtias, T.E. and Wiyantoko, B., 2017, December. Verification of spectrophotometric method for nitrate analysis in water samples. In *AIP Conference Proceedings*. 1911 (1): AIP Publishing.
- Limaa, L.A., Silvab, Y.F. and Limac, P.L.T., 2021. Iron base modified *Eucalyptus sheathiana* bark: Kinetics, mechanism and equilibrium study. *Process Safety and Environmental Protection*. 102: 336-352.
- Ahmad, A., Ghazi, Z.A., Saeed, M., Ilyas, M., Ahmad, R., Khattak, A.M. and Iqbal, A., 2017. A comparative study of the removal of Cr (VI) from synthetic solution using natural biosorbents. *New Journal of Chemistry*. 41(19): pp.10799-10807.
- Al-Qahtani, K.M., 2016. Water purification using different waste fruit cortexes for the removal of heavy metals. *Journal of taibah university for science*. 10(5): pp.700-708.
- Amin, N.K., 2009. Removal of direct blue-106 dye from aqueous solution using new activated carbons developed from pomegranate peel: adsorption equilibrium and kinetics. *Journal of hazardous materials*. 165(1-3): pp.52-62.
- Asim, N., Amin, M.H., Samsudin, N.A., Badiei, M., Razali, H., Akhtaruzzaman, M., Amin, N. and Sopian, K., 2020. Development of effective and sustainable adsorbent biomaterial from an agricultural waste material: Cu (II) removal. *Materials Chemistry and Physics*. 249: p.123128.
- Awan, M.A., Qazi, I.A. and Khalid, I., 2003. Removal of heavy metals through adsorption using sand. *Journal of Environmental Sciences*. 15(3): 413-416.
- Baig, M.A., Mehmood, B. and Matin, A., 2003. Removal of chromium from industrial effluents by sand filtration. *Electron. J. Environ. Agric. Food Chem*. 2(3): pp.374-379.
- Ben-Ali, S., Jaouali, I., Souissi-Najar, S. and Ouederni, A., 2017. Characterization and adsorption capacity of raw pomegranate peel biosorbent for copper removal. *Journal of cleaner production*. 142: 3809-3821.
- Beryani, A., Flanagan, K., Viklander, M. and Blecken, G.T., 2023. Performance of a Gross Pollutant Trap-Biofilter and Sand Filter Treatment Train for the Removal of Organic Micropollutants from Highway Stormwater (Field Study). Available at SSRN 4427892.
- Burt, C. and Styles, S.W., 2007. *Drip and Micro Irrigation Design and Management: For Trees, Vines, and Field Crops: Practice Plus Theory*. Irrigation Training and Res.
- Chen, L., Zhang, J. and Zheng, X., 2016. Coupling technique for deep removal of manganese and iron from potable water. *Environmental Engineering Science*. 33(4): 261-269.
- Christen, E.W., Quayle, W.C., Marcoux, M.A., Arienzo, M. and Jayawardane, N.S., 2010. *Winery*

- Barragán, J., De Cartagena, F.R. and Lamm, F.R., 2010. Effect of flushing frequency on emitter clogging in microirrigation with effluents. *Agricultural Water Management*. 97(6): 883-891.
- Quemada, M., Delgado, A., Mateos, L. and Villalobos, F. J., 2016a. Nitrogen fertilization I: The nitrogen balance. In *Principles of agronomy for sustainable agriculture* (pp. 341-368). Springer, Cham.
- Quemada, M., Delgado, A., Mateos, L., & Villalobos, F. J., 2016b. Nitrogen fertilization II: Fertilizer requirements. In *Principles of agronomy for sustainable agriculture* (pp. 369-380). Springer, Cham.
- Ravina, I., Paz, E., Sagi, G., Schischa, A., Marcu, A., Yechiely, Z., Sofu, Z. and Lev, Y., 1995, April. Performance evaluation of filters and emitters with secondary effluent. In *Microirrigation for a Changing World*. Proc. 5th Int. Microirrigation Congress (pp. 244-249).
- Saghaian Nejad, S., Abedi-Koupai, J., Mostafazadeh-Fard, S. and Behfarnia, K., 2018, December. Treatment of urban storm water using adsorbent porous concrete. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management*. 171(6): 328-334. Thomas Telford Ltd.
- Sari, A. and Tuzen, M., 2009. Kinetic and equilibrium studies of biosorption of Pb (II) and Cd (II) from aqueous solution by macrofungus (*Amanita rubescens*) biomass. *Journal of hazardous materials*. 164(2-3): 1004-1011.
- Sen, T.K., 2023. Agricultural Solid Wastes Based Adsorbent Materials in the Remediation of Heavy Metal Ions from Water and Wastewater by Adsorption: A Review. *Molecules*. 28(14): p.5575.
- Singh, V., Kaur, A. and Gupta, N.C., 2020. Comparative analysis of the filtration potential of light greywater through various media. *Malaysian Journal of Science*. 159-172.
- Singha, B. and Das, S.K., 2013. Adsorptive removal of Cu (II) from aqueous solution and industrial effluent using natural/agricultural wastes. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 107: 97-106.
- Taheri-Sodejani, H., Ghobadina, M., Tabatabaei, S.H. and Kazemian, H., 2015. Using natural zeolite for contamination reduction of agricultural soil irrigated with treated urban wastewater. *Desalination and Water Treatment*. 54(10): 2723-2730.
- Taşar, Ş., Kaya, F. and Özer, A., 2014. Biosorption of lead (II) ions from aqueous solution by peanut shells: Equilibrium, thermodynamic and kinetic studies. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2(2): 1018-1026.
- removal efficiency in irrigation water by a zeolite added to sand media filters. *Desalination and Water Treatment*. 220: 241-245.
- Lzhu, M. and Chen, Y., 2019, October. Study on water purification ability and permeability of different filter materials in LID-type ditch. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 356(1): 012018). IOP Publishing.
- Maharana, M. and Sen, S., 2021. Magnetic zeolite: A green reusable adsorbent in wastewater treatment. *Materials Today: Proceedings*. 47: 1490-1495.
- Maiyo, J.K., Dasika, S. and Jafvert, C.T., 2023. Slow Sand Filters for the 21st Century: A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 20(2): p.1019.
- Maiyo, J.K., Dasika, S. and Jafvert, C.T., 2023. Slow Sand Filters for the 21st Century: A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 20(2): p.1019.
- Nakkeeran, E., Saranya, N., Giri Nandagopal, M.S., Santhiagu, A. and Selvaraju, N., 2016. Hexavalent chromium removal from aqueous solutions by a novel powder prepared from *Colocasia esculenta* leaves. *International journal of phytoremediation*. 18(8): 812-821.
- Ngabura, M., Hussain, S.A., Ghani, W.A.W., Jami, M.S. and Tan, Y.P., 2018. Utilization of renewable durian peels for biosorption of zinc from wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 6(2): 2528-2539.
- Nouri, H., Stokvis, B., Galindo, A., Blatchford, M. and Hoekstra, A. Y., 2019. Water scarcity alleviation through water footprint reduction in agriculture: the effect of soil mulching and drip irrigation. *Science of the total environment*. 653: 241-252.
- Ogunlalu, O., Oyekunle, I.P., Iwuozor, K.O., Aderibigbe, A.D. and Emenike, E.C., 2021. Trends in the mitigation of heavy metal ions from aqueous solutions using unmodified and chemically-modified agricultural waste adsorbents. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*. 4: p.100188.
- Özer, A. and Özer, D., 2003. Comparative study of the biosorption of Pb (II), Ni (II) and Cr (VI) ions onto *S. cerevisiae*: determination of biosorption heats. *Journal of hazardous materials*. 100(1-3): 219-229.
- Puig Bargaúes, J., Arbat Pujolràs, G., Barragán Fernández, J. and Ramírez de Cartagena Bisbe, F., 2005. Effluent particle removal by microirrigation system filters. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 3(2): 182-191.
- Puig-Bargues, J., Arbat, G., Elbana, M., Duran-Ros, M.,

- 2019, November. Research on the technique of multistage functional filtration to repair black and odorous water. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 384, No. 1, p. 012059). IOP Publishing.
- Yazdanbakhsh, M., Tavakkoli, H. and Hosseini, S.M., 2011. Characterization and evaluation catalytic efficiency of LaO. 5CaO. 5NiO₃ nanopowders in removal of reactive blue 5 from aqueous solution. Desalination. 281: 388-395.
- Zaidi, N.M., Lim, L.B.L. and Usman, A., 2018. Enhancing adsorption of Pb (II) from aqueous solution by NaOH and EDTA modified *Artocarpus odoratissimus* leaves. Journal of environmental chemical engineerin. 6(6): 7172-7184.
- Townend, J., 2013. Practical statistics for environmental and biological scientists. John Wiley & Sons.
- Tuyen, N.T.K., Nhan, D.N.T., Nhat, T.T., An, N.T. and Long, N.Q., 2017, September. Removal of copper (II) ion from aqueous solution using zeolite Y synthesized from rice husk ash: Equilibrium and kinetic study. In AIP Conference Proceedings (Vol. 1878, No. 1). AIP Publishing.
- UNESCO, U. W., 2020. United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change, Paris, UNESCO.
- Wakeman, R., 2007. Filter media: Testing for liquid filtration. Filtration & Separation. 44(3): 32-34.
- Wang, J., Dong, Z., Qiu, Q., Zhou, H. and Deng, K.,

Comparison of Water Purification Efficiency of Vertical and Horizontal Sand Filters in Drip Irrigation System

H. Golshani¹, F. Mirzaei², M. Khoshsimaie Chenar^{3*}, S. Khedmati⁴

Received: Jul.03, 2023

Accepted: Jan.03, 2023

Abstract

Due to the lack of high-quality water resources, in many cases there is no other choice but to use low-quality or unconventional water. The filtration method is an efficient and effective method for removing pollutants. For this purpose and to compare the amount of water purification in vertical and horizontal filters, two physical models of vertical and horizontal filters were made in the laboratory of the Department of Irrigation and Development Engineering, University of Tehran. For this purpose, three absorbent layers including sand, zeolite and rice husk were used. The purification rate was measured for three solutions contaminated with nitrate, salinity (high EC) and total suspended solids (TSS) of each solution at two different concentrations. For each concentration of contamination, two purified samples were taken at two times of 5 and 10 minutes to determine the purification process over time. t-test was used in SPSS software to compare the filtration rate of vertical and horizontal filter and to observe the significance of the difference in filtration rates. The results showed that the amount of nitrate purification with concentrations of 36.72 and 59.08 mg/liter and at times of 5 and 10 minutes, respectively, in the vertical filter was 6.99, 9.25 and 7.72, 7.13% and in the horizontal filter was 3.18, 8.21 and 8.36, 5.70%. For EC, the filtration rate in two electrical conductivities is 31.6 and 11.02 dS/m and in two times of 5 and 10 minutes for vertical filter 5.39, 2.54 and 5.26, 2.18% and horizontal filter 12.4, 1.90 and 2.99, 1.54% were measured. The filtration rate of suspended solids for two solutions containing suspended solids with concentrations of 0.75 and 1.5 g/l and at two times of 5 and 10 minutes were checked and the filtration rate of the vertical filter was 48.93, 43.87 and 73.20, 80.25% and the horizontal filter purification rate was 29.66, 38.40 and 61.31, 67.05%. Finally, the obtained results showed; There is no significant difference in nitrate, EC and TSS purification between vertical and horizontal filters.

Keywords: Electrical Conductivity, Nitrate, Total Suspended Solids, Treatment Efficiency

1- M. Sc. Student, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture, Collage of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
2- Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture, Collage of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
3- PhD Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture, Collage of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
4- M. Sc., Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture, Collage of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
(Corresponding Author Email: Khoshsima.mortaza@ut.ac.ir)