



مدیریت آب و آبیاری (نشریه علمی)

دوره ۱۱ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۰

صفحه‌های ۷۳-۸۶

DOI: 10.22059/jwim.2021.313555.842

مقاله پژوهشی:

بررسی ضخامت فیلتر شنی بر تصفیه آب در آبیاری قطره‌ای

امید رجا^۱، فرهاد میرزایی^{۲*}، اسماعیل شهریاری^۳

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲. دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۱/۱۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۸/۲۶

چکیده

استفاده از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در کشاورزی با مزایای متعددی همراه است. انسداد فیلترها و قطره‌چکان‌ها و در نتیجه کاهش یکنواختی پخش آب مسئله‌ای است که طرح و ساخت مناسب فیلتر می‌تواند یکی از این راهکارهای حل مناسب آن مسئله باشد. در این مطالعه از یک مدل فیزیکی شامل یک مخزن فیلتر به ارتفاع یک متر و قطر ۶۰ سانتی‌متر جهت جای‌گذاری شن و ماسه با دانه‌بندی مختلف و ضخامت لایه متفاوت به همراه یک پمپ با توان ۰/۵ اسب بخار به منظور تأمین فشار، دو عدد فشارسنج برای تعیین افت بار هیدرولیکی در فیلتر شنی، آب خام با کیفیت مشخص استفاده شد. از ۹ تیمار دانه‌بندی و لایه‌بندی و دو تیمار کیفیت آب حاوی مقادیر مواد معلق در آن استفاده شد. دانه‌بندی این تیمارها به ترتیب ۱/۷۷، ۰/۸۹ و ۰/۴۵ میلی‌متر بود. نتایج نشان داد تغییرات افت بار در بازه دانه‌بندی ۱/۷۷-۰/۸۹ کم‌تر از بازه ۰/۸۹-۰/۴۵ است و با ریزتر شدن اندازه ذرات شن افت بار افزایش یافت. نتایج نشان داد تغییرات درصد تصفیه در بازه دانه‌بندی ۱/۷۷-۰/۸۹ کم‌تر از بازه ۰/۸۹-۰/۴۵ می‌باشد و با افزایش ارتفاع لایه وسط درصد تصفیه فیلترها افزایش یافت. اما تغییرات درصد تصفیه به‌ازای تغییر ارتفاع از ۱۲ تا ۱۷ سانتی‌متر بیش‌تر از تغییرات درصد تصفیه از ۱۷ تا ۲۲ سانتی‌متر بود. ذرات رس، بقایای گیاهی، حشرات جزو مواد معلق در آب هستند که بایستی برای آبیاری قطره‌ای توسط فیلترها تصفیه شوند. از محدودیت کاربرد نتایج پژوهش، این است که برای ذرات بزرگ‌تر از رس و بقایای گیاهی صادق است.

کلیدواژه‌ها: آبیاری قطره‌ای، تصفیه آب، ضخامت، لایه شن فیلتر.

Investigation of Sand Filter Thickness on Water Treatment in Drip Irrigation

Omid Raja¹, Farhad Mirzaei^{2*}, Esmail Shahriyari³

1. Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

2. Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

3. Former M.Sc. Student, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

Received: November 16, 2020

Accepted: April 06, 2021

Abstract

The use of drip irrigation systems in agriculture is associated with several problems. Clogging of filters and drippers and, thus reducing the uniformity of water distribution needs to be addressed. Proper design and construction of the filter can be one of these suitable solutions to the problem. In this study, a physical model including a filter tank with a height of one meter and a diameter of 60 cm for placing sand with different sand size and thickness of different layers along with a pump, a power of 0.5 horse power to provide pressure, two pressure gauges were used to determine the hydraulic load losses in the sand filter and, raw water of specified quality. 9 treatments of granulation and layering and, two treatments of water quality in containing the amount of suspended solids were used. Aggregation of these treatments was 1.77, 0.89 and 0.45 mm, respectively. The results showed that the load loss changes in the granulation range of 0.89 - 1.77 mm is less than the range of 0.45 - 0.89 mm. the load loss increased with the smaller particle size of sand. The results showed that the percentage change of filtration in the granulation range of 1.77 - 0.89 is less than the range of 0.45 - 0.89 mm and with increasing the height of the middle layer, the percentage of filtration of filters increased. The results showed that the percentage change of filtration in the granulation range of 0.89 - 1.77 mm is less than the range of 0.45 - 0.89 mm. The percentage of filtration increased with increasing the height of the middle layer. But, the changes in the percentage of filtration for changing the height from 12 to 17 cm were more than the changes in the percentage of filtration from 17 to 22 cm. Clay particles, plant debris, insects are water-soluble substances that must be refined by filters for drip irrigation. One limitation of the application of the research results is that it is true for particles larger than clay particles and plant debris.

Keywords: Drip irrigation, Sand filter, Thickness, Water treatment.

مقدمه

آبیاری قطره‌ای یکی از روش‌های دارای راندمان بالای مصرف آب در بین روش‌های آبیاری است. مسأله گرفتگی قطره‌چکان‌ها در آبیاری قطره‌ای در کنار مزایای متعدد آن از مهم‌تره‌ترین مشکلات این روش است. گرفتگی قطره‌چکان‌ها باعث توزیع نامتناسب آب در طول لوله فرعی شده و در نتیجه باعث کاهش یکنواختی کاربرد آب و همچنین تولید محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Clark, 1992; Capra and Scicolone, 2004). انسداد قطره‌چکان‌ها ارتباط نزدیکی با کیفیت آب آبیاری و ساختار مسیر قطره‌چکان‌ها دارد و به‌همین دلیل عوامل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مختلفی می‌توانند گرفتگی سامانه های آبیاری قطره‌ای را تشدید نمایند (Oron et al., 1996). نتایج مطالعه ارزیابی یکنواختی توزیع سامانه آبیاری قطره‌ای با قطره‌چکان و کیفیت آب متفاوت نشان داد کیفیت آب مهم‌تره‌ترین فاکتوری است که یکنواختی توزیع را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین نیاز است که آب آبیاری قبل از رسیدن به قطره‌چکان‌ها تصفیه شود (Sardo, 1991; Fitriani et al., 2020).

صافی‌های 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 مرکز) بعد از سیکلون و قبل از فیلتر توری یا دیسکی قرار می‌گیرند (Ghaffari et al., 2015). در انتخاب صافی شنی بده جریان، کیفیت آب ورودی، نوع و قطر سوراخ قطره‌چکان لازم است مدنظر قرار گیرد. زیرا سطح تصفیه برای کدورت‌ها، نوع تجهیزات و گسیلنده‌ها مختلف سامانه‌های آبیاری موضعی و قطر روزنه‌های خروجی آن‌ها در بده‌های مختلف، متفاوت می‌باشد. در میان فیلترهای رایج در آبیاری قطره‌ای، فیلترهای شنی

بیش‌ترین کاربرد را دارند به‌ویژه زمانی که از پساب به‌عنوان آب آبیاری استفاده گردد. این فیلترها همیشه زمانی که جلبک یا سایر آلاینده‌های آلی وجود دارند، توصیه می‌شوند (Ravina et al., 1997; Dai et al., 1999). شن ریز مورد استفاده در فیلترهای شنی، ذرات با اندازه کوچک‌تر را جذب می‌کند و فرایند تصفیه بهتر می‌شود اگرچه اندازه کوچک‌تر نیاز بیش‌تری به شست‌وشوی مکرر دارد (Adriati et al., 2020). مواد معلق گرفته‌شده توسط فیلتر مقدار جریان عبوری از فیلتر را کاهش می‌دهد که در نهایت باید فیلتر شنی به‌وسیله شست‌وشوی معکوس تمیز شود که بخش مهمی از عملیات و عملکرد فیلتر شنی است. این شست‌وشوی معکوس با زمان و یا با افت بار در فیلتر کنترل می‌شود. با این‌حال، اگر فیلترهای شنی به‌طور مداوم و به‌صورت کافی شسته نشوند در فیلترهای شنی منافذ بزرگ و به‌هم پیوسته‌ای می‌تواند تشکیل شود که عملکرد فیلتر را کاهش می‌دهد (Nakayama et al., 2007). در ارتباط با کیفیت آب مورد استفاده در روش‌های آبیاری قطره‌ای نتایج نشان داده است که استفاده از آب‌هایی با محتوای مواد جامد معلق بیش از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشکلات عدیده‌ای را برای سامانه آبیاری تحت فشار ایجاد می‌نماید (Nakayama, 1982). علاوه بر این طبق توصیه مراجع، آبی که غلظت جامدات معلق در آن کم‌تر از ۵۰ میلی‌گرم در لیتر باشد برای استفاده در اکثر سامانه‌های آبیاری تحت فشار مناسب است (Benetti, 2008).

هرچند شن جاذب ارزان قیمت و در دسترس به‌شمار می‌رود، اما حذف آلاینده‌های محلول مانند فلزات سنگین را به‌دلیل 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 (Benjamin and Sletten, 2002; Irimia et al., 2002).

آرسنیک، ۵۴ درصد فلوراید، ۹۶ درصد کدورت، ۳۷ درصد نترات، و ۴۱ درصد کل کربن آلی است (Mahlangu et al., 2011). در مطالعه‌ای، محلول‌های با غلظت‌های مختلف کروم را از ستون شن عبور دادند. آن‌ها دریافتند توانایی حذف این عنصر توسط شن ۸۹ تا ۱۰۰ درصد است که این توانایی را به تمایل زیاد یون‌های کروم برای جذب به ذرات شن مرتبط دانستند (Baig et al., 2001). در مطالعه دیگر حذف چهار فلز سنگین سرب، کروم، مس، نیکل را از محلول آبی با استفاده از شن معمولی در ۲۰ منطقه بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که بیش‌ترین جذب فلزات سنگین توسط شن به ترتیب سرب، کروم، مس و روی بود (Awan et al., 2003). نتایج مطالعه روی حذف روی و مس توسط ژئولیت پوشیده‌شده با اکسید منگنز (MOCZ) نشان داد که MOCZ جاذب مؤثری برای حذف مس و روی است (Han et al., 2006). هم‌چنین، کارایی شن پوشیده‌شده با اکسید منگنز و شن بدون پوشش را در حذف برخی آلاینده‌های رواناب موردبررسی قرار دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند که فیلترهای شنی پوشش داده‌شده کارایی بیشتری نسبت به فیلترهای شنی بدون پوشش دارند (Ahammed and Meera, 2010).

در انتخاب فیلترهای شنی از طرف سازنده‌ها و تولیدکننده‌ها، اندازه فیلترهای شنی فقط متناسب با دبی ورودی و به صورت نمودارها و جدول‌هایی ارائه می‌شود و به کیفیت آب و اندازه دانه‌بندی شن و ضخامت آن برای حالت‌ها و وضعیت‌های مختلف توجهی نمی‌شود. لذا این مطالعه بر آن است تا با انتخاب دانه‌بندی و ضخامت‌های مختلف برای لایه‌های شن و ماسه که پشت سرهم و در جهت عمود بر جهت جریان آب از بالا تا پایین قرار می‌گیرند، بهترین ترکیب را از نظر دانه‌بندی و ضخامت لایه‌ها برای تصفیه مواد جامد و معلق در آب را به دست آورد.

(Lzhu and Chen, 2019; 2013). نتایج نشان داده است سامانه uv گزینه‌ای قابل رقابت با کلرزی به منظور گندزدایی و بازیابی حجم عظیم پساب در مصارف مختلف به‌ویژه آبیاری زمین‌های کشاورزی پایین‌دست و استفاده از فیلتراسیون شنی تحت فشار جهت اصلاح دانه‌بندی بستر فیلتر برای کاهش مواد جامد معلق (TSS) و ارتقای کیفیت پساب خروجی مورد استفاده قرار گیرد (Asano et al., 2007). هم‌چنین بررسی‌ها نشان داده است فیلتر شنی تک‌لایه ثقلی با محیط شن سیلیسی می‌تواند به طور موفقیت‌آمیزی برای حذف غلظت‌های پایین مس مورد استفاده قرار گیرد (Daneshi et al., 2010). برای غلظت‌های بالای مس، یا به‌طور کلی برای حذف روی در غلظت‌های مختلف کارایی مطلوبی حاصل نشد، اما احتمالاً در این شرایط می‌توان با استفاده از سری فیلترهای شنی دارای عمق بیش‌تر استفاده نمود. در مطالعه دیگر فیلتراسیون با استفاده از شن را به دلیل ارزان‌بودن، فراوانی و قابلیت دسترسی به شن و نیز امکان کاربرد این روش در مقیاس‌های کوچک و بزرگ توصیه نمودند (Foroughi et al., 2012).

روش فیلتراسیون روشی کارآمد و مؤثر در حذف عناصر در بین روش‌های مختلف برای تصفیه آب‌های نامتعارف توصیه نمودند (Abedi koupai et al., 2013). در ساختن فیلتر مهم‌ترین قسمت انتخاب جاذب است. در این مطالعه از تراشه‌های لاستیکی به عنوان جاذب استفاده شد. نتایج نشان داد که حذف عناصر به عوامل مختلفی چون زمان تماس جاذب با محلول و مقدار ماده جاذب به‌کاربرده‌شده (ضخامت فیلتر) بستگی دارد. با افزایش زمان تماس، میزان جذب افزایش یافته و سبب کاهش بیش‌تر غلظت عناصر موجود در زه‌آب خروجی شد. هم‌چنین، با افزایش ضخامت فیلتر نیز بر مقدار جذب افزوده شد. نتایج استفاده از ژئولیت در فیلتر شنی نشان داد این ماده قادر به حذف بالای ۸۰ درصد کلسیم، ۸۹ درصد منیزیم، ۹۹ درصد آهن، ۵۶ درصد

مواد و روش‌ها

در این مطالعه یک مدل فیزیکی ساخته شد. مدل فیزیکی شامل یک مخزن استوانه‌ای فلزی به ارتفاع یک متر و قطر ۶۰ سانتی‌متر جهت جای‌گذاری دانه‌های شن و ماسه می‌باشد. از درپوش فلزی، لوله ورودی و خروجی آب به قطر یک اینچ، لوله فلزی متخلخل به همراه توری پیچیده شده در اطراف آن در داخل و در کف مخزن استفاده شده است. برای تکمیل مدل فیزیکی از یک شیر قطع و وصل جریان برای کنترل جریان در قسمت ورودی مخزن شن، یک عدد پمپ با توان ۰/۵ اسب بخار به منظور تأمین فشار استفاده شد. از دو عدد فشارسنج یکی قبل از ورودی به مخزن فیلتر شنی و دیگری بعد از مخزن فیلتر شن استفاده شد تا بتوان افت بار هیدرولیکی در ستون فیلتر شنی را اندازه‌گیری کرد. از دو مخزن آب هرکدام به حجم ۱۵۰ لیتر، یکی برای تهیه آب خام با کیفیت مشخص (قبل از فیلتر شن) و دیگری جهت جمع‌آوری آب تصفیه‌شده از فیلتر شن (بعد از فیلتر شن) در نظر گرفته شد. از یک لوله فرعی انشعاب گرفته از پمپ به داخل مخزن آب برای ایجاد تلاطم و مخلوط کردن مواد معلق موجود در آب خام (برای یکنواختی بهتر مواد معلق در مخزن ورودی آب) استفاده شد. مجموعه مدل فیزیکی در شکل (۱) نشان داده شده است.

دانه‌بندی و لایه‌بندی فیلتر

شن موردنیاز برای این پژوهش از شرکت تأمین ماسه ریخته‌گری فیروزکوه (به‌عنوان منبع تهیه دانه‌بندی شن برای تصفیه آب در ایران) تهیه و به آزمایشگاه منابع آب واقع در ضلع جنوبی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران منتقل شد. در جدول (۱) مشخصات شن به‌کاررفته در مدل فیزیکی ارائه شده است. این مطالعه شامل نه تیمار دانه‌بندی و لایه‌بندی بود. فیلتر شن به‌کاربرده شده در هر تیمار شامل هفت لایه شن با دانه‌بندی و ارتفاع مختلف بود، که پس از الک و تعیین دانه‌بندی شن درون فیلتر شن ریخته شد (شکل ۱). سه تیمار اول دارای دانه‌بندی لایه وسط یکسان ۰/۱۲ تا ۰/۲۴ سانتی‌متر ولی ارتفاع لایه وسط در هرکدام از تیمارها متفاوت بود، سه تیمار دوم دارای دانه‌بندی لایه وسط یکسان ۰/۰۶ تا ۰/۱۲ سانتی‌متر با ارتفاع لایه وسط متفاوت و سه تیمار آخر نیز دارای دانه‌بندی لایه وسط یکسان ۰/۰۳ تا ۰/۰۶ سانتی‌متر با ارتفاع لایه وسط متفاوت است. سه تیمار اول به ترتیب دارای (ضخامت) لایه وسط ۱۲، ۱۷ و ۲۲ سانتی‌متر است. سه تیمار دوم و سه تیمار آخر نیز مشابه سه تیمار اول به ترتیب دارای ارتفاع لایه وسط ۱۲، ۱۷ و ۲۲ سانتی‌متر است.

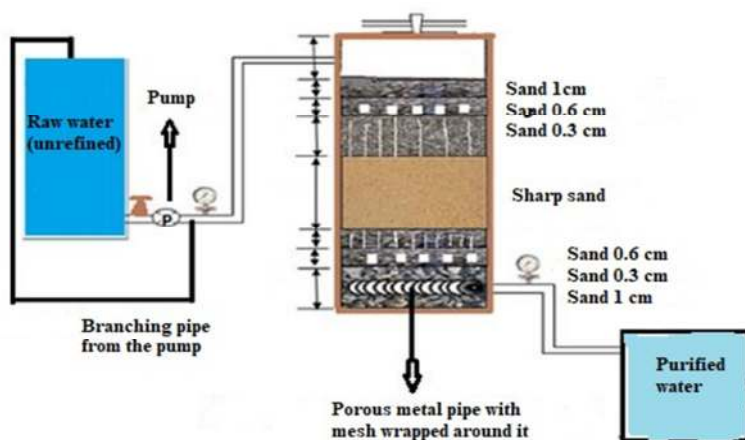


Figure 1. Schematic of laboratory model of sand filter

لیتر آب از مخزن ۱۵۰ لیتری به داخل فیلتر شن پمپ شد، دو ظرف نمونه یکی از مخزن ورودی (آب خام دارای مواد معلق) و دیگری از مخزن خروجی که مخزن آب تصفیه شده نمونه‌گیری شد. به همین ترتیب وقتی ۱۲۰ لیتر آب پمپ شد دو نمونه دیگر گرفته شد که در کل در هر آزمایش چهار نمونه آب جهت تعیین کدورت و TSS به آزمایشگاه فرستاده شد.

نمونه‌ها در دمای آون تحت ۱۰۴ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد تا آب نمونه‌ها بخار شود. تبخیر شدن نمونه‌ها حدود ۴۸ ساعت طول کشید. پس از تبخیر شدن آب درون ظرف‌ها، آنچه درون ظرف‌ها باقی می‌ماند مقدار کل مواد معلق جامد است. ظرف‌های حاوی رسوبات خشک‌شده، با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم، وزن شد. سپس ظرف‌ها شسته و دوباره به مدت ۱۵ دقیقه درون آون قرار داده شد تا ظرف‌ها کاملاً خشک شوند. سپس، ظرف‌ها دوباره وزن شدند و وزن ظرف خالی محاسبه و در نهایت با تفاضل وزن ظرف‌ها مقدار رسوبات (مواد معلق جامد یا TSS) برآورد شد. چون در همه تیمارها میزان رس اضافه شده به مخزن ورودی آب تقریباً یکسان و به میزان ۱۵۰ (با خطای ۵ گرم) گرم در ۱۵۰ لیتر آب بود لذا TSSهای به دست آمده از تیمار ورودی حدود یک گرم بود. اما این مقدار برای مخزن خروجی که آب تصفیه شده را جمع‌آوری می‌کرد متفاوت بود. علت این تفاوت هم به این خاطر است که تیمارهای مختلف فیلتر شن طراحی شده، مقدار متفاوتی از رس را جذب می‌کنند (هر تیمار مقدار خاصی رس جذب می‌کند) و بنابراین تصفیه‌های متفاوتی صورت می‌گیرد، در نتیجه به همین دلیل مقدار TSSهای خروجی از فیلتر متفاوت است.

از دستگاه اسپکتروفتومتر^۱ برای بررسی رابطه بین کل مواد جامد معلق و درصد عبور نور استفاده شد. با استفاده از این دستگاه درصد عبور نور از هر نمونه به صورت

Table 1. Characteristics of sand used in the physical model

Granulation	Bulk density (gr/cm ³)	Specific density (gr/cm ³)
Sand 1cm	2.58	1.35
Sand 0.6 cm	2.54	1.60
Sand 0.3 cm	2.27	1.66
Sand 1.18-2.36 mm	2.50	1.46
Sand 0.6-1.18 mm	2.40	1.45
Sand 0.3-0.6 mm	2.50	1.48

کیفیت آب

جهت سنجش میزان عملکرد دانه‌بندی مختلف و لایه‌بندی متفاوت فیلتر شن، مواد دانه‌ریز رس در مخزن آب خام ریخته و به اندازه کافی جهت یکنواختی پخش ذرات به هم زده شد. در این آزمایش از دو تکرار تیمار کیفیت آب استفاد شد. علت استفاده از ذرات رس در این پژوهش معلق ماندن ذرات رس در زمان بیشتر بود.

روش انجام آزمایش

پس از تهیه دانه‌بندی شن در لایه‌های مختلف و به ضخامت مشخص مطابق تیمارهای ۱ تا ۹ به صورت دستی و لایه به لایه به داخل مخزن شن ریخته شد و سپس درب مخزن گذاشته و محکم بسته شد. سپس، به وسیله ترازو مقدار ۱۵۰ گرم رس وزن شده و به مخزن ورودی آب اضافه شد و به مدت ۱۵ دقیقه به هم زده شد تا به صورت یکنواخت اختلاط انجام صورت گیرد. بعد از آن پمپ روشن شده و عمل فیلتراسیون انجام گرفت. در حین آزمایش دبی خروجی فیلتر اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری دبی، مخزن آب ورودی مدرج شده و با استفاده از حجم آب پمپ شده در زمان دبی به دست می‌آمد. از مخزن آب خام (ورودی) و مخزن آب تصفیه شده (خروجی) به طور هم‌زمان نمونه‌های آب در ظرف‌های یک لیتری تهیه و درب آن‌ها محکم شد و در اسرع وقت به آزمایشگاه جهت تعیین کدورت و مواد جامد معلق منتقل شد. نمونه‌ها با پرشدن ۶۰ و ۱۲۰ لیتر آب از مخزن ۱۵۰ لیتری اندازه‌گیری شدند. به طوری که وقتی ۶۰

در حال تغییر بود. علت افزایش افت، افزایش ضخامت (ارتفاع) لایه‌ها در سه تیمار اول به دلیل دانه‌بندی یکسان لایه وسط بود. در سه تیمار دوم و سوم نیز افزایش ضخامت لایه‌ها علت افزایش افت بار بود. بنابراین علت افزایش افت بین سه تیمار اول، دوم و سوم دانه‌بندی لایه وسط بود. دبی سامانه نیز به علت افزایش افت فیلتر شنی، به تدریج کاهش یافت. نتایج مطالعات نیز نشان داد هر چقدر ضخامت لایه شن افزایش پیدا کند، میزان افت بار نیز افزایش پیدا خواهد کرد (Xiangsheng *et al.*, 2010; Singh *et al.*, 2018).

درصد عبور نور از نمونه آب ورودی و خروجی

داده‌های اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه کیفیت آب مربوط به درصد عبور و جذب نور از تیمارهای ورودی و خروجی از فیلتر بود که هدف از این آزمایش برقراری رابطه‌ای بین درصد عبور نور با کدورت آب و همچنین پیدا کردن رابطه‌ای بین درصد عبور نور و کل مواد معلق جامد در آب بود. کم‌ترین درصد عبور نور از نمونه‌ها در تیمار اول بود. چون در این تیمار ارتفاع لایه وسط کم و دانه‌بندی آن درشت‌تر از بقیه تیمارها بود و آب کم‌تر تصفیه شد. این در حالی است که تیمار نهم چون دارای لایه وسط با ضخامت بیشتر و دانه‌بندی ریزتری بود، تصفیه بیش‌تری انجام داد. به‌طور کلی، هرچه درصد عبور نور از آب بیشتر باشد فیلتر شنی تصفیه بهتری انجام داده است. به‌طور نمونه درصد عبور و جذب نور از نمونه آب ورودی و خروجی تیمار اول در جدول (۳) ارائه شده است.

جداگانه به دست آمد. دستگاه روی طول موج مشخص (۴۵۰، ۵۵۰، ۷۵۰ نانومتر هرکدام به صورت جداگانه) تنظیم شد (با آب مقطر) و درصد عبور نور تعیین شد (Gore, 2000). همچنین، اندازه‌گیری برای هر طول موج جداگانه شد. برای تعیین درصد عبور نور نمونه‌ها در هرکدام از طول موج‌ها قرائت شد. در این مطالعه در زمان‌های مختلف فشار ورودی و خروجی توسط فشارسنج با دقت ۰/۰۱ بار برای تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شد. فشارسنج‌های به‌کاربرده شده، فشارسنج ۴ بار بود.

نتایج و بحث

در این مطالعه تیمارهای مختلفی مورد آزمایش و سنجش قرار گرفتند که با وجود تنوع در نوع و ماهیت آن‌ها همگی هدف واحدی را دنبال می‌کردند. لذا برای بررسی بهتر نتایج و تفکیک خروجی‌های هر بخش سعی می‌شود یک سامانه‌ی و طبقه‌بندی با اختصاص عناوین مناسب به نتایج قسمت‌های مشابه انجام پذیرد. خروجی‌ها شامل پارامترهای هیدرولیکی (فشار و دبی)، درصد عبور و جذب نور، مواد جامد معلق و کدورت نمونه‌ها ورودی و خروجی از فیلترها است.

پارامترهای هیدرولیکی (دبی و فشار)

فشار ورودی و خروجی با استفاده از فشارسنج‌های ۴ بار (دقت ۰/۰۱ بار) اندازه‌گیری شد. نتایج در جدول (۲) ارائه شده است. نتایج نشان داد افت بار از تیمار اول تا تیمار نهم

Table 2. Hydraulic parameters measured in different treatments of sand filter

Treatments	Time to reach a volume of 60 liters (S)	Inlet pressure (bar)	Outlet pressure (bar)	Hydraulic head loss (bar)	Output discharge (L/mi)
1	140	0.30	0.20	0.10	25.7
2	150	0.30	0.19	0.11	24.0
3	152	0.33	0.20	0.13	23.7
4	146	0.32	0.20	0.12	24.6
5	152	0.35	0.22	0.13	23.7
6	157	0.34	0.20	0.14	22.9
7	156	0.37	0.20	0.17	23.1
8	160	0.38	0.20	0.18	22.5
9	164	0.39	0.20	0.19	21.9

Table 3. Percentage of light transmission and absorption from the input and output water samples of the first treatment

First treatment	Samples	450 nm	550 nm	750 nm
Inlet flow 1	Percentage of light transmission	33.0	36.4	36.2
	Absorption	0.48	0.44	0.44
Inlet flow 2	Percentage of light transmission	35.9	37.8	37.7
	Absorption	0.45	0.42	0.42
Outlet flow 1	Percentage of light transmission	46.7	50.6	52.3
	Absorption	0.33	0.29	0.28
Outlet flow 2	Percentage of light transmission	49.2	51.4	52.5
	Absorption	0.31	0.29	0.28

نانومتر وجود ندارد. اما می‌توان گفت به‌طور جزئی در طول موج ۷۵۰ نانومتر بین درصد عبور نور و کل مواد معلق جامد همبستگی بیشتری داشته و خطای کم‌تری وجود دارد. نتایج این مطالعه نشان داد که یک معادله درجه دوم بین درصد عبور نور و کل مواد معلق جامد مطابق رابطه (۱) وجود دارد که این معادله از شکل (۲) که نشان از همبستگی بیشتری بین داده‌ها می‌باشد به‌عنوان معادله اصلی معرفی می‌شود (رابطه ۱).

$$Y = 49.853 X^2 - 116.71X + 102.02 \quad (1)$$

به‌طورکلی، با افزایش مواد جامد معلق، درصد عبور نور ذرات به‌صورت غیرخطی کاهش یافت. نتایج مطالعه نیز با این مطالعه مطابقت دارد (Mallongi et al., 2017;) (Adriati et al., 2020).

رابطه بین درصد عبور نور و کدورت

رابطه بین درصد عبور نور و کدورت در سه طول موج ۴۵۰، ۵۵۰ و ۷۵۰ نانومتر در شکل (۳) ارائه شده است. رابطه بین درصد عبور نور و کدورت آب یک رابطه غیرخطی درجه دوم به‌دست آمد. همان‌طورکه مشاهده می‌شود در طول موج ۵۵۰ نانومتر بین کدورت و درصد عبور نور همبستگی بیشتری داشته و خطای کم‌تری وجود دارد. نتایج این مطالعه نشان داد که یک معادله درجه دوم بین کدورت و درصد عبور نور آب وجود دارد، به‌طوری‌که معادله‌ای که همبستگی بیشتری بین داده‌ها است به‌عنوان معادله اصلی معرفی می‌شود

اندازه‌گیری کل مواد جامد معلق (TSS)، کدورت و درصد تصفیه

هدف از اندازه‌گیری این پارامترها به‌دست‌آوردن درصد تصفیه فیلترها و همچنین مقایسه تیمارهای لایه‌بندی و دانه‌بندی بود. داده‌های TSS، کدورت و همچنین درصد تصفیه فیلترها برای تیمارهای ۱ تا ۹ به‌دست آمد. برای نمونه کل مواد معلق جامد، کدورت و درصد تصفیه تیمار نهم در جدول (۴) ارائه شده است. به‌طورکلی، نتایج نشان داد با ریزتر شدن شن لایه‌ها و با افزایش ضخامت لایه مقدار تصفیه بیشتر شده است. همان‌طورکه در جدول نشان داده شده، در تیمار اول به دلیل درشت‌دانه‌بودن لایه وسط و همچنین ضخامت کم‌تر لایه وسط، مقدار تصفیه کم‌تر و تیمار نهم به‌دلیل دارابودن لایه وسط با دانه‌بندی ریزتر و ضخامت لایه وسط بیشتر دارای درصد تصفیه بیشتری نسبت به سایر تیمارها بوده است. نتایج سایر پژوهش‌گران نیز نشان داده است با افزایش ضخامت لایه ماسه و شن در فیلتر شنی، میزان تصفیه افزایش پیدا می‌کند (Goel and Chauhan, 2019).

رابطه بین درصد عبور نور و کل مواد جامد معلق و درصد عبور نور - کدورت

رابطه بین درصد عبور نور و کل مواد جامد معلق

رابطه بین درصد عبور نور و کل مواد معلق جامد در سه طول موج ۴۵۰، ۵۵۰ و ۷۵۰ نانومتر در شکل (۲) ارائه شده است. تفاوت معنی‌داری بین درصد عبور نور و کل مواد معلق جامد در طول موج‌های ۴۵۰، ۵۵۰ و ۷۵۰

دارد. به طوری که، معادله‌ای که همبستگی بیشتری بین داده‌ها داشته باشد به عنوان معادله اصلی معرفی می‌شود. بنابراین با افزایش مقدار کل مواد معلق جامد (رس) در آب، کدورت آب با ضریب ۲۴۲/۶ افزایش می‌یابد. این ضریب فقط برای مواد معلق جامد رس است و برای سایر موادی که باعث گرفتگی فطره‌چکان‌ها می‌شود ضرایب متفاوتی به دست می‌آید. نتایج مطالعات نشان داده است که بین مواد جامد معلق و کدورت همبستگی بالایی برقرار است (Siriwardene *et al.*, 2007; Kumar *et al.*, 2012; Maciel and Sabogal-Paz, 2018).

(رابطه ۲). سایر پژوهش‌گران نیز بیان کردند که با افزایش کدورت میزان درصد عبور نور کاهش می‌یابد (Mallongi *et al.*, 2017; Singh *et al.*, 2018; Maciel and Sabogal-Paz, 2018).

$$Y = 0.0645 X^2 - 9.3261X + 484.19 \quad (۲)$$

رابطه بین کدورت و کل مواد جامد معلق

رابطه بین کدورت و کل مواد جامد معلق در شکل (۴) ارائه شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که یک معادله خطی بین کدورت و درصد کل مواد جامد معلق وجود

Table 4. Total suspended solids, turbidity and treatment percentage of the eighth treatment

The eighth experiment	Turbidity	TSS (gr)	Purification percentage	Average percentage of purification
Inlet flow 1	227	0.92	88.0	
Outlet flow 1	29	0.11		87.9
Inlet flow 2	199	0.78	87.8	
Outlet flow 2	26	0.09		

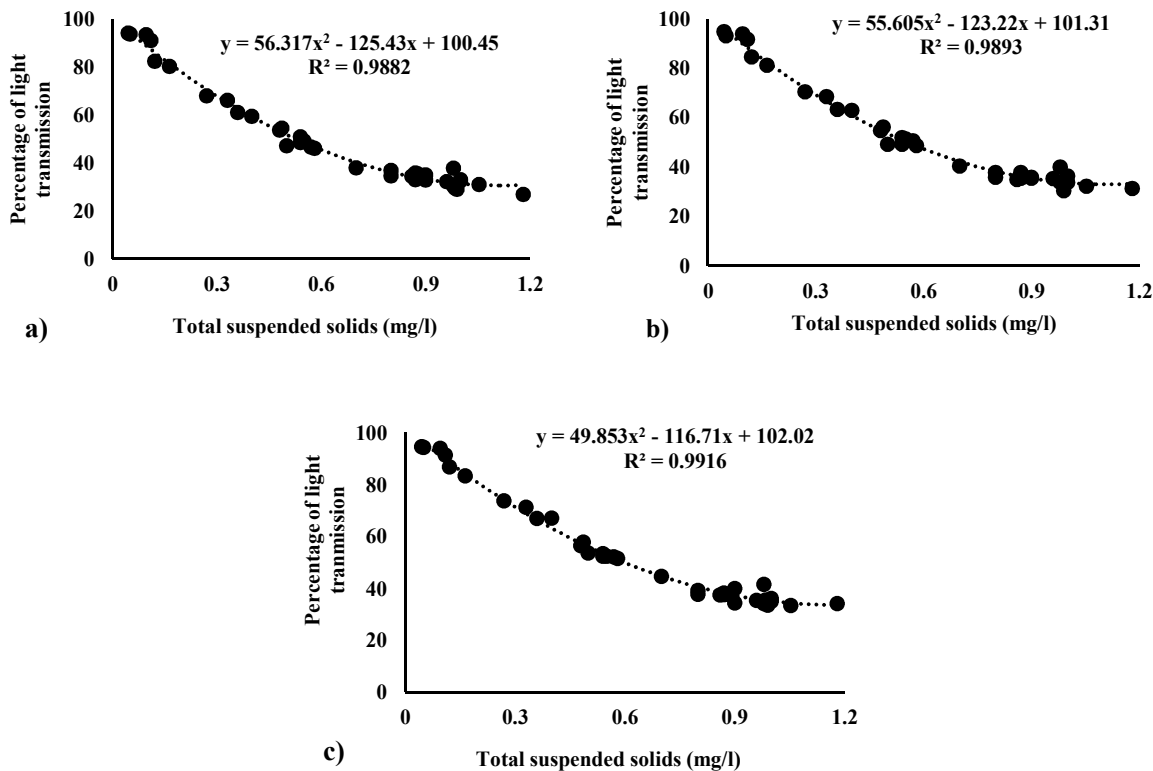


Figure 2. Relationship between light transmission percentage and total suspended solids at wavelengths a) 450 nm, b) 550 nm and c) 750 nm

بررسی ضخامت فیلتر شنی بر تصفیه آب در آبیاری قطره‌ای

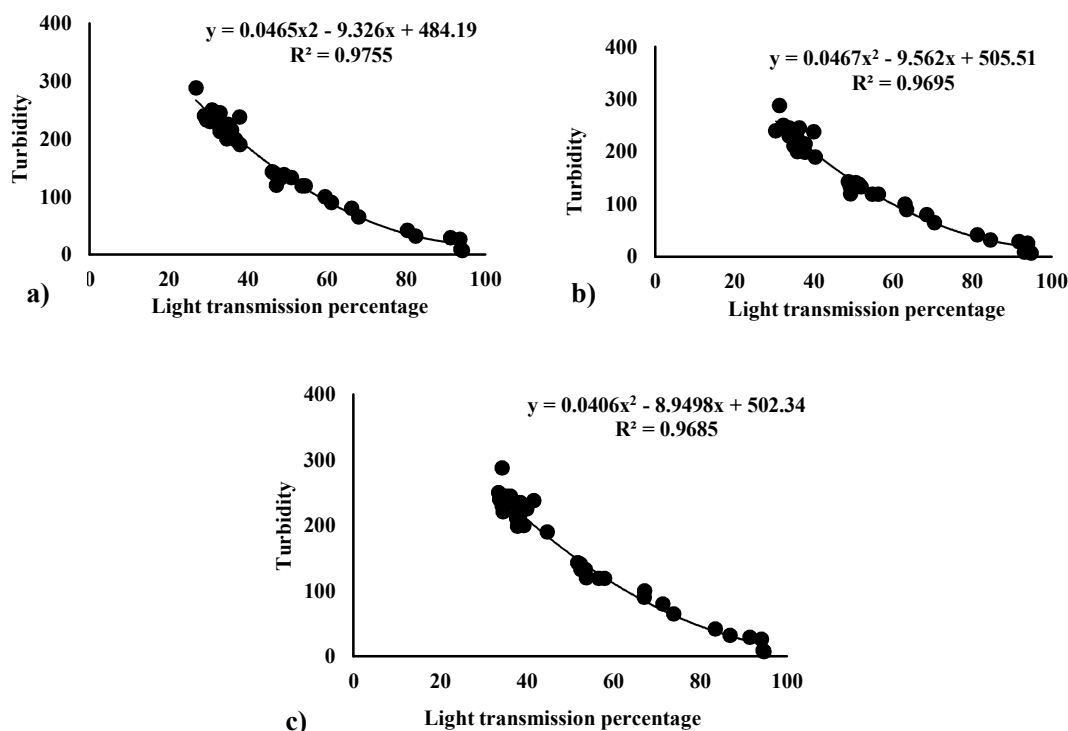


Figure 3. Relationship between light transmission percentage and turbidity at wavelengths a) 450 nm, b) 550 nm and c) 750 nm

تیمارها بود، دارای تصفیه بیشتری می‌باشد (شکل ۵). بررسی نتایج سایر پژوهش‌گران نیز نشان داده است می‌توان با افزایش ضخامت فیلتر شنی و استفاده از مواد شن ریزتر، سرعت و میزان تصفیه را افزایش داد (Chen *et al.*, 2016; Adriati *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2019).

رابطه بین درصد تصفیه، ارتفاع و متوسط قطر ذرات شن لایه وسط فیلترها

تیمار اول، تیمار چهارم و تیمار هفتم دارای لایه وسط به ارتفاع ثابت ۱۲ سانتی‌متر بودند، اما دانه‌بندی آن‌ها به ترتیب ۱/۷۷، ۰/۸۹ و ۰/۴۵ میلی‌متر بود. نتایج نشان داد از دانه‌بندی ۱/۷۷ تا ۰/۸۹ میلی‌متر درصد تصفیه تغییرات چندانی نداشت و با ریزتر شدن اندازه ذرات شن از ۰/۸۹ تا ۰/۴۵ درصد تصفیه تغییرات زیادی داشته و تصفیه بیشتری در این بازه انجام می‌گیرد (شکل ۶a).

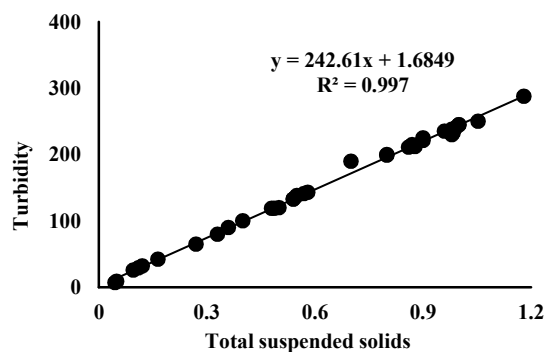


Figure 4. Relationship between turbidity and total suspended solids

درصد تصفیه فیلترها

با توجه به داده‌های TSS، درصد تصفیه تیمارها به دست آمد. تیمار اول نسبت به بقیه تیمارها دارای کم‌ترین میزان تصفیه بود علت آن هم ارتفاع کم و دانه‌بندی درشت لایه وسط این تیمار می‌باشد. در این حال تیمار نهم چون دارای لایه وسط ریزتر و ارتفاع بیشتر نسبت به بقیه

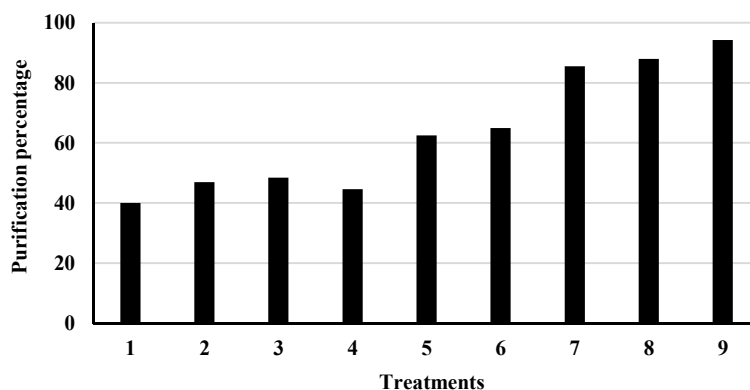


Figure 5. Percentage purification of different treatments

ارتفاع لایه وسط ۲۲ سانتی متر نسبت ارتفاع لایه وسط ۱۷ سانتی متر بیشتر شد. علاوه بر این، با افزایش ارتفاع لایه وسط از ۱۷ به ۲۲ سانتی متر در هر دو بازه دانه بندی (۱/۷۷-۰/۸۹ و ۰/۸۹-۰/۴۵) میزان درصد تصفیه افزایش یافت. به طور کلی، به ازای متوسط قطر ذرات شن لایه وسط فیلتر ۱/۷۷، ۰/۸۹ و ۰/۴۵ میلی متر، با افزایش ارتفاع لایه وسط درصد تصفیه فیلترها افزایش یافت. اما تغییرات درصد تصفیه به ازای تغییر ارتفاع از ۱۲ تا ۱۷ سانتی متر بیش تر از تغییرات درصد تصفیه از ۱۷ تا ۲۲ سانتی متر بود. نتایج این مطالعه نشان داد که یک معادله درجه دوم با همبستگی بالا بین درصد تصفیه، ارتفاع و متوسط ذرات شن لایه وسط فیلتر وجود دارد. پژوهشگران دیگر نیز بیان کردند افزایش ضخامت فیلتر در افزایش میزان تصفیه تأثیرگذار بوده و سرعت و میزان فیلتراسیون را می توان افزایش داد (Xiangsheng *et al.*, 2010; Abedi koupai *et al.*, 2013; Tangahu *et al.*, 2019; Adriati *et al.*, 2020).

رابطه بین افت بار و متوسط قطر ذرات شن لایه وسط فیلتر

برای تیمار اول، چهارم و هفتم نتایج نشان داد با ریزتر شدن اندازه ذرات شن لایه وسط افت بار افزایش می یابد.

تیمارهای دوم، پنجم و هشتم دارای لایه وسط به ارتفاع ثابت ۱۷ سانتی متر بودند، اما دانه بندی این تیمارها به ترتیب ۱/۷۷، ۰/۸۹ و ۰/۴۵ میلی متر بود. نتایج نشان داد تغییرات درصد تصفیه در بازه دانه بندی ۱/۷۷-۰/۸۹ میلی متر کم تر از بازه ۰/۸۹-۰/۴۵ میلی متر است (شکل ۶b). هم چنین بر اساس دانه بندی ۱/۷۷ تا ۰/۸۹ میلی متر، تغییرات درصد تصفیه وقتی ارتفاع لایه وسط ۱۷ سانتی متر می باشد نسبت به زمانی که ارتفاع لایه وسط ۱۲ سانتی متر بود بیشتر است. اما با ریزتر شدن اندازه ذرات شن از ۰/۸۹ تا ۰/۴۵، تغییرات درصد تصفیه وقتی ارتفاع لایه وسط ۱۷ سانتی متر باشد نسبت به زمانی که ارتفاع لایه وسط ۱۲ سانتی متر بود کم تر شد. علاوه بر این، با افزایش ارتفاع لایه وسط از ۱۲ به ۱۷ سانتی متر در هر دو بازه دانه بندی (۱/۷۷-۰/۸۹ و ۰/۸۹-۰/۴۵) میزان درصد تصفیه افزایش یافت. تیمارهای سوم، ششم و نهم دارای لایه وسط به ارتفاع ثابت ۲۲ سانتی متر بودند، اما دانه بندی این تیمارها به ترتیب ۱/۷۷، ۰/۸۹ و ۰/۴۵ میلی متر بود. نتایج نشان داد تغییرات درصد تصفیه در بازه دانه بندی ۱/۷۷-۰/۸۹ میلی متر کم تر از بازه ۰/۸۹-۰/۴۵ است (شکل ۶c). هم چنین، از دانه بندی تغییرات درصد تصفیه با ارتفاع لایه وسط ۲۲ سانتی متر و ۱۷ سانتی متر با دانه بندی ۱/۷۷ تا ۰/۸۹ میلی متر تقریباً برابر است. اما با ریزتر شدن اندازه ذرات شن از ۰/۸۹ تا ۰/۴۵، تغییرات درصد تصفیه در

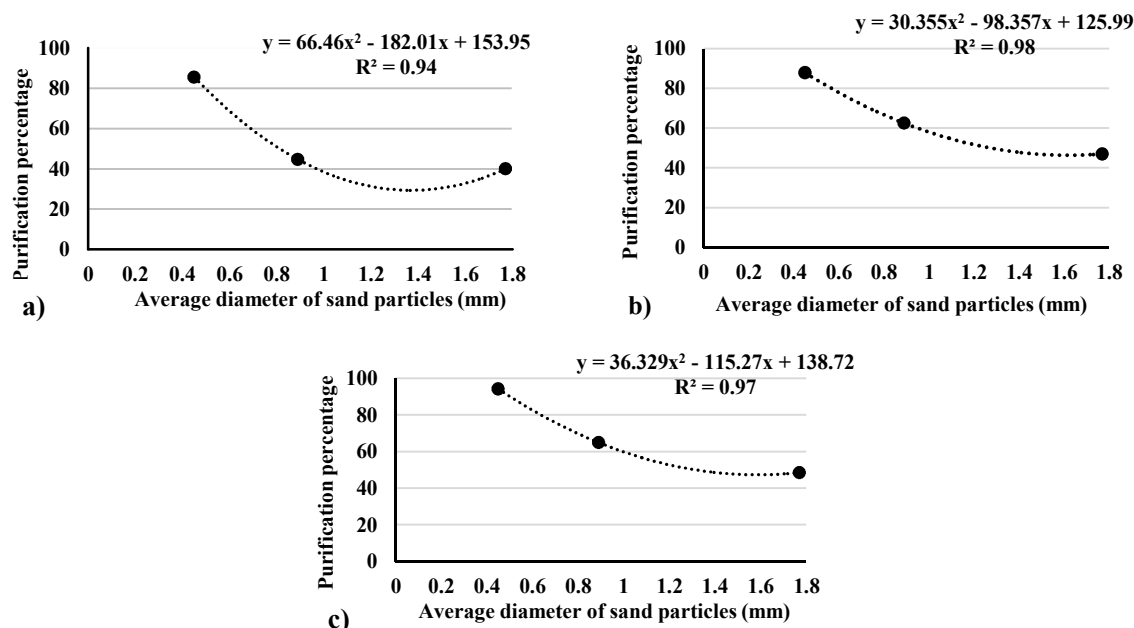


Figure 6. Relationship between filtration percentage and average diameter of sand particles in the middle layer of the filter and the height of the middle layer of the filter a) 12 cm, b) 17 cm, c) 22 cm

هم‌چنین، از دانه‌بندی ۱/۷۷ تا ۰/۸۹ میلی‌متر تغییرات افت بار زیاد نبود، اما با ریزتر شدن اندازه ذرات شن از ۰/۸۹ تا ۰/۴۵، تغییرات افت بار در ارتفاع لایه وسط ۲۲ سانتی‌متر نسبت به ارتفاع لایه وسط ۱۷ سانتی‌متر تقریباً تغییری نداشت (شکل ۷c). به‌طورکلی، به‌ازای متوسط قطر ذرات شن لایه وسط فیلتر ۱/۷۷، ۰/۸۹ و ۰/۴۵ میلی‌متر، با افزایش ارتفاع لایه وسط، افت بار افزایش یافت، اما تغییرات افت بار به‌ازای تغییر ارتفاع از ۱۲ تا ۱۷ سانتی‌متر کم‌تر از تغییرات افت بار از ارتفاع ۱۷ تا ۲۲ سانتی‌متر بود. نتایج این مطالعه نشان داد که یک معادله درجه دوم با همبستگی بالا بین افت بار و متوسط ذرات شن لایه وسط فیلتر وجود دارد. نتایج سایر پژوهش‌گران نیز نشان داده است میزان ضخامت و اندازه ذرات شن بر عملکرد فیلتراسیون و جذب آلاینده‌های موردنظر تأثیرگذار است به‌طوری‌که هر چقدر میزان ضخامت لایه شن بزرگ‌تر و نیز اندازه ذرات کوچک‌تر باشد، میزان افت بار بیش‌تر خواهد بود (Xiangsheng *et al.*, 2010; Lzhu and Chen, 2019; Wang *et al.*, 2019).

هم‌چنین، از دانه‌بندی ۱/۷۷ تا ۰/۸۹ میلی‌متر تغییرات افت بار زیاد نبود، اما با ریزتر شدن اندازه ذرات شن از ۰/۸۹ تا ۰/۴۵، تغییرات افت بار زیاد شد (شکل ۷a). تیمارهای دوم، پنجم و هشتم نتایج نشان داد تغییرات افت بار در بازه دانه‌بندی ۱/۷۷-۰/۸۹ کم‌تر از بازه ۰/۸۹-۰/۴۵ است، به‌عبارت دیگر، با ریزتر شدن اندازه ذرات شن، افت بار افزایش یافت. هم‌چنین، از دانه‌بندی ۱/۷۷ تا ۰/۸۹ میلی‌متر تغییرات افت بار در ارتفاع لایه وسط ۱۷ سانتی‌متر نسبت به زمانی که ارتفاع لایه وسط ۱۲ سانتی‌متر یکسان بود. با ریزتر شدن اندازه ذرات شن از ۰/۸۹ تا ۰/۴۵، تغییرات افت بار برای ارتفاع لایه وسط ۱۷ سانتی‌متر نسبت به ارتفاع لایه وسط ۱۲ سانتی‌متر تقریباً تغییری نداشت (شکل ۷b). در تیمارهای سوم، ششم و نهم نتایج نشان داد تغییرات افت بار در بازه دانه‌بندی ۱/۷۷-۰/۸۹ کم‌تر از بازه ۰/۸۹-۰/۴۵ ماست و با ریزتر شدن اندازه ذرات شن افت بار افزایش یافت. هم‌چنین، از دانه‌بندی ۱/۷۷ تا ۰/۸۹ میلی‌متر تغییرات افت بار در ارتفاع لایه وسط ۲۲ سانتی‌متر نسبت به ارتفاع

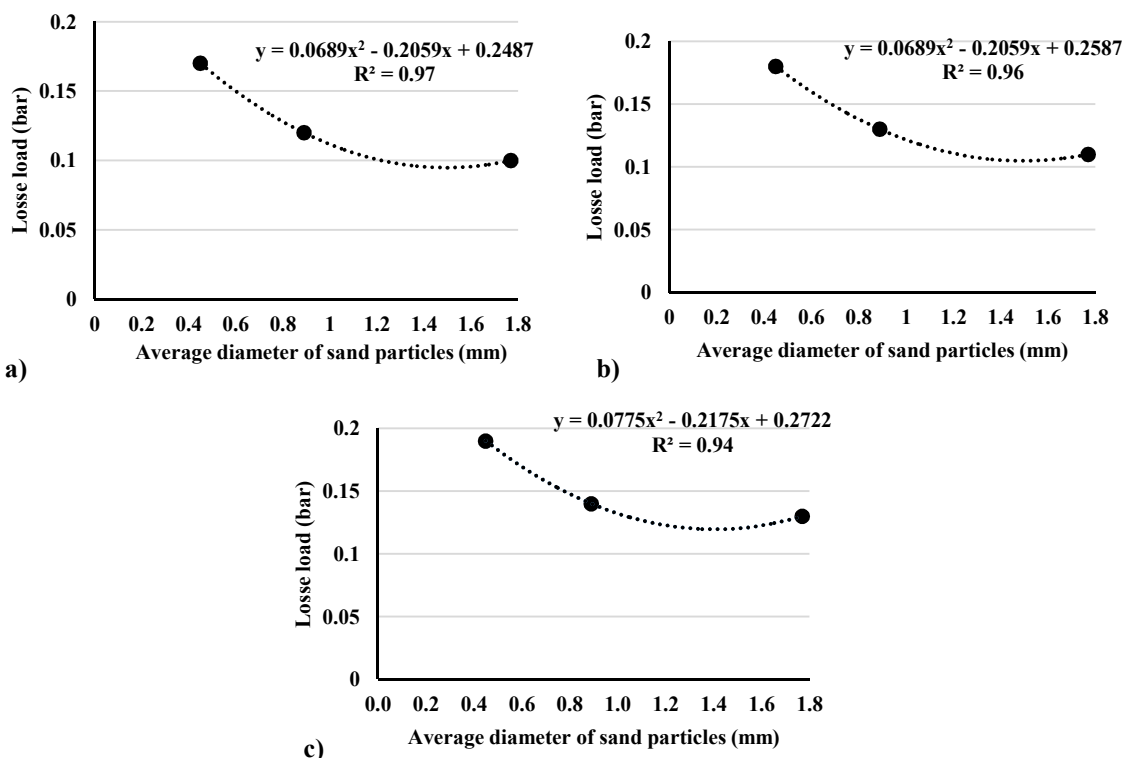


Figure 7. Relationship between load losses and average diameter of sand particles in the middle layer of the filter and the height of the middle layer of the filter a) 12 cm, b) 17 cm, c) 22 cm

نتیجه گیری

انتخاب فیلترهای شنی از طرف سازنده‌ها و تولیدکننده‌ها، اندازه فیلترهای شنی فقط متناسب با دبی ورودی و به صورت نمودارها و جدول‌هایی ارائه می‌شود و به کیفیت آب و اندازه دانه‌بندی شن و ضخامت آن برای حالت‌ها و وضعیت‌های مختلف توجهی نمی‌شود. هدف اصلی این مطالعه بررسی تأثیر دانه‌بندی و ضخامت‌های مختلف لایه‌های شن و ماسه برای تصفیه مواد جامد و معلق در آب بود. مطالعه شامل نه تیمار دانه‌بندی و لایه‌بندی بود. فیلتر شن به کار برده شده در هر تیمار شامل هفت لایه شن با دانه‌بندی و ارتفاع مختلف بود. از دستگاه اسپکتروفتومتر برای بررسی رابطه بین کل مواد جامد معلق و درصد عبور نور با طول موج مشخص ۴۵۰، ۵۵۰ و ۷۵۰ نانومتر استفاده شد. نتایج نشان داد در طول موج ۷۵۰ نانومتر بین درصد

عبور نور و کل مواد معلق جامد در آب، همبستگی بیشتری داشته و خطای کم‌تری وجود دارد. نتایج این آزمایش نشان داد که یک معادله درجه دوم بین درصد عبور نور و کل مواد معلق جامد وجود دارد. نتایج نشان داد در طول موج ۴۵۰ نانومتر بین کدورت و درصد عبور نور همبستگی بیشتر و خطای کم‌تری وجود دارد. همچنین، یک معادله درجه دوم بین کدورت و درصد عبور نور آب وجود دارد. در این مطالعه، یک رابطه خطی بین کل مواد معلق جامد و کدورت آب به دست آمد و با افزایش مقدار کل مواد معلق جامد (رس) در آب، کدورت آب با ضریب ۲۴۲/۶ افزایش می‌یابد. به طور کلی، به ازای متوسط قطر ذرات شن لایه وسط فیلتر ۱/۷۷، ۰/۸۹ و ۰/۴۵ میلی‌متر، با افزایش ارتفاع لایه وسط درصد تصفیه فیلترها افزایش یافت، اما تغییرات درصد تصفیه به ازای تغییر ارتفاع از ۱۲ تا ۱۷ سانتی‌متر بیشتر از تغییرات

5. Awan, M. A., Qazi, I. A., & Khalid, I. (2003). Removal of heavy metals through adsorption using sand, *Environmental Science*, (15), 413-416.
6. Baig, M. A. Mehmood, B., & Matin, A. (2001). Removal of chromium from industrial effluents by sand filtration. *Environmental, Agricultural and food Chemistry*, 2(3), 374-379.
7. Benetti, A. D. (2008). Water reuse: issues, technologies, and applications. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 13(3), 247-248.
8. Benjamin, M. M., & Sletten, R. S. (2002). Metals treatment at superfund sites by adsorptive filtration, *Environmental Engineering and Sciences university of Washington*, 93(5): 1-25.
9. Capra, A. & Scicolone, B. (2004). Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. *Agricultural water management*, 68(2), 135-149.
10. Chen, L., Zhang, J., & Zheng, X. (2016). Coupling technique for deep removal of manganese and iron from potable water. *Environmental Engineering Science*, 33(4), 261-269.
11. Clark, G.A. (1992). Drip irrigation management and scheduling for vegetable production. *Irrigation Journal*, 42(6), 14-21.
12. Dai, S., Du, H., Chen, W., & Yang, G. (1999). Full-scale study of dual media and with uniform sand medium filtration. *Water Supply*, 17(3), 183-189.
13. Daneshi, N., Banejad, H., Pirtaj Hamedani, R., & Farajee, H. (2010). Effect of rapid sand filter on copper and zinc metal removal in different presence of phosphate concentration. *Iranian Journal of Health and Environment*, 3(3), 271-280. (In Persian).
14. Fitriani, N., Kusuma, M.N., Wirjodirdjo, B., Hadi, W., Hermana, J., Kurniawan, S.B., Abdullah, S.R.S., & 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), 04967.
15. Foroughi, M., Hajian-Nejad, M., Pourzamani, H.R., Noori-Motlagh, Z., & Hashemi. H. (2012). Treatment of urban runoff using manganese oxide-coated sand in presence of magnetic field. *Health Development Journal*, (4)1, 287-297. (In Persian).
16. Ghaffari, M., Soltani, J., Akbari, M., & Rahimikhobe, A. (2015). Evaluation technical and operation of disc filters of filtration equipment on the micro irrigation systems. *Journal of Water and Irrigation Management*, 5(1), 1-9. (In Persian).

درصد تصفیه از ۱۷ تا ۲۲ سانتی متر بود. هم‌چنین، با افزایش ارتفاع لایه وسط، افت بار افزایش یافت، اما تغییرات افت بار به‌ازای تغییر ارتفاع از ۱۲ تا ۱۷ سانتی متر کم‌تر از تغییرات افت بار از ارتفاع ۱۷ تا ۲۲ سانتی متر بود. ذرات رس، بقایای گیاهی، حشرات جزو مواد معلق در آب می‌باشند که بایستی برای آبیاری قطره‌ای توسط فیلترها تصفیه شوند. از محدودیت کاربرد نتایج پژوهش این است که برای ذرات رس و بقایای گیاهی که از آن بزرگ‌تر است صادق است. فیلتر شنی فقط توانایی تصفیه فیزیکی دارد، یعنی فقط می‌تواند مواد معلق جامد نظیر گل و لای و جلبک و غیره را جذب کند و توانایی جذب مواد جامد محلول در آب نظیر نمک‌های محلول را ندارد.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

پی‌نوشت‌ها

1. Spectrophotometer

منابع

1. Abedi koupai, J., Eslamian, S. S., & Khaleghi, M. (2013). Investigation of the performance of sand filter incorporating tire chips as cover in subsurface drainage system. *Journal of Water and Soil Science*, 16 (62), 193-203. (In Persian).
2. Adriati, Y., Pallu, M. S., Selintung, M., & Bakri, B. (2020). Relevance between filtration rate and filter media thickness in downflow filter systems. In IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 149 (1), 012130.
3. Ahammed, M. M., & Meera, V. (2010). Metal oxide/hydroxide-coated dual-media filter for simultaneous removal of bacteria and heavy metals from natural waters. *Journal of hazardous materials*, 181(1), 788-793.
4. Asano, T., Burton, F. L., Leverenz, H. L., Tsuchihashi, R., & Tchobanoglous, G. (2007). *Water reuse: issues, technologies, and applications*, McGraw-Hill education.

17. Goel, A., & Chauhan, M. S. (2019). Experimental study on double sand filtration system for artificial groundwater recharge. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 1-9.
18. Gore, M. G. (Ed.). (2000). *Spectrophotometry and spectrofluorimetry: a practical approach*. New York: Oxford University Press.
19. Han, R., Zou, W., Li, H., Li, Y., & Shi, J. (2006). Copper (II) and lead (II) removal from aqueous solution in fixed-bed columns by manganese oxide coated zeolite. *Journal of hazardous materials*, 137(2), 934-942.
20. Irimia, O.T., Tomozei, C., Panainte, M., Mosnegutu, E.F., & Barsan, N. (2013). Efficiency of filters with different filtering materials: comparative study in water treatment. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 12(1), 35-39.
21. Kumar S., Kamra, S.K., Yadav, R.K., & Sharma, J.P. (2012) August. "Evaluation of sand based storm water filtration system for groundwater recharge wells." *Current Science*, 103(4), 395-404.
22. Lamm, F.R., Ayars, J.E., Nakayama, F.S. (2006). *Microirrigation for crop production: design, operation, and management*. Oxford, UK: Elsevier.
23. Lzhu, M., & Chen, Y. (2019). 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.
24. Maciel, P. M. F., & Sabogal-Paz, L. P. (2018). Household slow sand filters with and without water level control: continuous and intermittent flow efficiencies. *Environmental technology*, 41(8), 944-958.
25. Mahlangu T. O., Monyatsi L. M., Momba N. B., & Mamba B.B. (2011). A simplified cost-effective biosand Filter (BSFZ) for removed of chemical contaminants from water, *Journal of Chemical Engineering and Materials Science*, 2(10), 156-167.
26. Mallongi, A., Daud, A., Ishak, H., Ane, R. L., Birawida, A. B., Ibrahim, E., ..., & Rahman, S. A. (2017). Clean water treatment technology with an up-flow slow sand filtration system from a well water source in the tallo district of Makassar. *Journal of Environmental Science and Technology*, 10(1), 44-48.
27. Nakayama, F. S. (1982). Water analysis and treatment techniques to control emitter plugging. *Proceeding of Irrigation Association Conference*, Portland, Oregon, 21-24.
28. Nakayama, F.S., Boman, B.J., & Pitts, D.J. (2007). *Microirrigation for Crop Production Design, Operation, and Management*. Oxford, UK: Elsevier.
29. Oron, G., DeMalach, J., Hoffman, Z., & Manor, Y. (1996). Effect of effluent quality and application method on agricultural productivity and environmental control. *Water Science and Technology*, 26(7-8), 1593-1601.
30. Ravina, A., Paz, E., Sofer, Z., Marcu, A., Shisha, A., Sagi, G., Yechialy, Z., & Lev, Y. (1997). Control of clogging in drip irrigation with stored treated municipal sewage effluent. *Agricultural Water Management*, 33 (2-3), 127-137.
31. Sardo, V. (1991). An assessment of distribution uniformity in drip irrigation systems. Results of a field survey. *Irrigazione e Drenaggio (Italy)*.
32. Singh, U. P., Chahar, B. R., Yadav, H. R. P., & Vij, S. K. (Eds.). (2018). *Urbanization Challenges in Emerging Economies: Energy and Water Infrastructure; Transportation Infrastructure; and Planning and Financing*. Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
33. Siriwardene, N.R., Delectic, A., & Fletcher, T.D. (2007). Clogging of storm water gravel infiltration systems and filters: Insight from a laboratory study. *Water Resource*, 41(7), 1433-1440.
34. Tangahu, B. V., Ningsih, D. A., Kurniawan, S. B., & Imron, M. F. (2019). Study of BOD and COD removal in batik wastewater using Scirpus grossus and Iris pseudacorus with intermittent exposure system. *Journal of Ecological Engineering*, 20(5), 130-134.
35. Wang, J., Dong, Z., Qiu, Q., Zhou, H., & Deng, K. (2019). Research on the technique of multistage functional filtration to repair black and odorous water. In IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 384(1), 012059.
36. Xiangsheng, C., Jie, I., Xuezheng, M., & Qingguo, Q. (2010). Effect of filter layer thickness on the performance of deep treatment of sewage in slow filter [J]. *Journal of ecology and environment*, 19(03), 566-569.