نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۵، آذر – دی ۱۴۰۰، ص. ۶۸۷-۶۷۳

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 5, Dec.-Jan. 2021, p. 673-687

مقاله پژوهشی

بررسی نقش فیلترهای ترکیبی شن-ژئوتکستایل-زئولیت بر برخی ویژگی‌های پساب

حمید شیروانی ایچی[۱]- مهدی قبادی نیا[۲]- نگار نورمهناد[۳*]- سید حسن طباطبائی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۲

چکیده

امروزه کاربرد پساب در آبیاری و به‌ویژه سیستم‌های آبیاری قطره‌ای افزایش یافته است. در این پژوهش به منظور بررسی کارایی فیلترهای ترکیبی بر ویژگی‌های پساب و استفاده از آن‌ها در فیلتراسیون، آزمایش فاکتوریل درقالب طرح کاملا تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای پژوهش شامل فیلتر شنی یا تیمار شاهد (CTRL)، فیلتر ژئوتکستایل (G)، فیلتر شن-زئولیت (SZ) و فیلتر ژئوتکستایل-زئولیت (GZ) بود. پساب مورد استفاده در این پژوهش از فاضلاب دانشگاه تأمین شد. فشار، دبی سیستم، میزان نیترات، مواد معلق، سدیم، کلسیم، منیزیم، هدایت الکتریکی، پ-هاش پساب قبل و بعد از ورود به فیلترها در ساعات مختلف بررسی شد. نتایج نشان داد، فیلتر شن-زئولیت افت فشار اندک و تیمار زئوتکستایل-زئولیت نیز برای مدت زمان کوتاه قابلیت تامین فشار را داشت. مقدار نیترات در پساب خروجی در همه فیلترها به‌جز شاهد به طور معنی‌داری کاهش یافت به‌طوری‌که مقدار نیترات ورودی تمامی تیمارها ۲۶ میلی‌گرم بر لیتر و میانگین نیترات خروجی در فیلتر شاهد حدود ۲۵ و در سایر فیلترها کمتر از ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر بود. مقدار میانگین مواد معلق فاضلاب ورودی حدود ۱۱۰ میلی‌گرم بر لیتر بود درحالی‌که مقدار میانگین مواد معلق پساب خروجی از فیلترها همگی به کمتر از ۷۲ میلی‌گرم بر لیتر کاهش یافت. فیلترهای شن و شن- زئولیت به ترتیب بیش‌تر از فیلترهای ژئوتکستایل و ژئوتکستایل- زئولیت میزان مجموع کلسیم و منیزیم را در پساب افزایش دادند. بر اساس این پژوهش استفاده از شن- زئولیت به لحاظ کاهش نیترات و بار معلق، افزایش کلسیم و منیزیم و کاهش pH و عدم افت فشار پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: پساب ورودی، گرفتگی، مواد معلق، نیترات

مقدمه

آبیاری قطره‌ای مدت‌هاست در خاورمیانه استفاده می‌شود و نه تنها در مورد کارایی آبیاری و کنترل شوری، بلکه از نظر کاهش خطرات اپیدمی مربوط به استفاده مجدد از پساب، مفید است. با این حال، برای جلوگیری از مسدود شدن قطره‌چکان، بهبود کیفیت پساب از نظر مواد جامد معلق ضروری است (۱۳). روش آبیاری قطره‌ای تنها روشی است که مشکلات خاص ناشی از کاربرد پساب را رفع می‌نماید (۱۶). همچنین کاربرد فیلتراسیون در آبیاری قطره‌ای باعث کاهش شاخص‌های آلودگی می‌شود. نتایج مطالعات به این نکته اشاره دارد که کاربرد روش‌های قطره‌ای در کنترل آلودگی‌های زیست‌محیطی در مقایسه با روش آبیاری سطحی بسیار موثر است علت این امر این است که در این روش‌ها خاک همچون فیلتر عمل می‌کند و آلودگی بیولوژیکی کمتری وارد محیط خاک سطحی شده و در نتیجه نگرانی‌های ناشی از تماس مستقیم کارگران با خاک سطحی کاهش می‌یابد (۱۹). اما کاربرد بدون برنامه‌ریزی پساب می‌تواند تبعات زیست محیطی بسیار نامطلوبی را به‌وجود آورد. بنابراین پایش و تصفیه مواد مضر از فاضلاب ها قبل از استفاده به منظور آبیاری امری ضروری است تا از این طریق بتوان حفاظت از محیط زیست و بهداشت عمومی را ضمانت کرد. . برای به حداقل رساندن اثرات منفی آبیاری با فاضلاب اقدامات احتیاطی، دستورالعمل‌های سختگیرانه و سیستم مناسب بازیافت فاضلاب مورد نیاز است (۲۰).

در حال حاضر اعتقاد بر این است که فرایند جذب روش ساده و موثری در تصفیه به شمار می‌رود. از جمله جاذب‌ها می‌توان کربن فعال، مواد معدنی، خاک رس و زئولیت‌ها را نام برد. استفاده از زئولیت‌های طبیعی و مصنوعی در فرایند تصفیه فاضلاب‌ها به عنوان

۱، ۲ و ۴- به‌ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد، ایران
۳- استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: negar_nourmahnad@yahoo.com)
DOI: 10.22067/JSW.2021.72031.1082

یک روش جایگزین معتبر در حال بررسی می‌باشد. به دلیل خواص منحصر به فرد زئولیت از جمله گنجایش تبادل کاتیونی بالا، در دسترس بودن و هزینه‌های نسبتا کم، به‌طور گسترده‌ای به عنوان جاذب در فرایندهای جداسازی و خالص سازی در دهه‌های گذشته استفاده شده است (۸، ۱۷ و ۲۲).

زئولیت نوعی آلومینیوم کریستالی حاوی سیلیکات است که با تخصیص اتم‌های اکسیژن در چارچوب ساختار چهار ضلعی آلومینیومی و سیلیکات ساخته شده و در نتیجه یک ساختار چارچوبی باز از واحدهای سه بعدی- چهار بعدی ایجاد می‌کند (۱۰). 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 کاتیون‌ها هیچ‌گونه تغییری را در شبکه ساختاری به وجود نمی‌آورد. باتوجه 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 (۱۸).

ماهارانا و سن (۱۰) نشان دادند از زئولیت مغناطیسی می‌توان برای حذف فلزات سنگین از جمله مس و سرب و کروم، آنتی بیوتیک‌ها و رنگهایی مانند متیلن بلو از آب استفاده کرد. طاهری سودجانی و همکاران (۲۱) نشان دادند با کاهش اندازه ذرات و افزایش میزان کاربرد زئولیت، جذب نیترات توسط خاک به طور معنی داری افزایش یافت. ملکیان و همکاران (۱۲)، اثر دو نوع زئولیت طبیعی و اصلاح شده را بر آبشویی نیترات و رشد گیاه بررسی کردند و نشان دادند که مقدار ۶۰ گرم زئولیت به ازای هر کیلوگرم خاک، آبشویی نیترات را کاهش می‌دهد ولی اندازه ذرات زئولیت در مقدار آبشویی چندان مؤثر نیست. ملکیان و همکاران (۱۲) عنوان کردند با افزایش مقدار زئولیت میزان جذب نیترات توسط زئولیت افزایش می‌یابد. حاج هاشم خانی (۷) عنوان کرد کاربرد زئولیت به صورت لایه‌ای عملکرد بهتری داشته است. با اعمال روش لایه‌ای میزان کاهش نیترات نسبت به روش مخلوط ۷۱ درصد افزایش یافت. به نظر می‌رسد وجود لایه‌ی زئولیت باعث کاهش سرعت عبور پساب شده و در نتیجه از آبشویی نیترات جلوگیری شده است. احسانگر و همکاران (۵) در پژوهشی نشان دادند که قرار گرفتن زئولیت در لایه‌ی بالایی شن در حذف نیترات به صورت جزیی تاثیر بهتری داشته است که علت این‌طور بیان شده است که، با وجود اینکه شن بیش‌تر جنبه‌ی فیزیکی دارد اما قرار گرفتن آن در کنار زئولیت باعث کاهش ضریب آبگذری در کل ستون شده است و درصد کاهش نیترات پساب را افزایش داده است.

استفاده از ژئوسنتتیک‌ها به عنوان یک ماده ساختمانی در ۵۰ ساله اخیر و همگام با پیشرفت صنعت پتروشیمی در رابطه با طرح‌های آب و خاک مطرح گردیده و مورد استقبال مهندسین و کارشناسان در سطح جهان قرار گرفته است. کوتای و آیدلک (۹) در پژوهشی ژئوتکستایل یک لایه‌ای و دو لایه‌ای را به منظور فیلتراسیون به کار بردند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از پوشش ژئوتکستایل دو لایه‌ای به‌طور معنی‌داری نسبت به پوشش تک لایه‌ای ظرفیت فیلتراسیون را افزایش می‌دهد. نجفی و طباطبائی (۱۵) کاربرد محفظه‌هایی از شن و ژئوتکستایل را در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در کنترل گرفتگی قطره‌چکان‌ها پیشنهاد دادند و بیان کردند پوشش شن در اطراف قطره‌چکان‌های ناحیه‌ی ریشه و کاربرد طولانی مدت این سیستم برای گیاهان فصلی با ریشه‌های سطحی مناسب است. این فیلتر قابلیت هدایت الکتریکی را بهبود بخشیده و همچنین با تاثیر بر پارامترهای آلوده کننده خطرات زیست محیطی را کاهش می‌دهد.

با توجه به اینکه دانشگاه‌ها اغلب دارای حجم مناسبی از پساب خانگی است، هدف از این پژوهش بررسی کاهش بار آلودگی پساب جهت استفاده در سامانه آبیاری قطره‌ای در گذر از ترکیب فیلترهای مختلف شامل شنی، ژئوتکستایل و زئولیت است.

مواد و روش‌ها

با توجه به کمبود آب، در مراکز دانشگاهی که دارای حجم مناسبی از پساب می‌باشند استفاده از پساب برای آبیاری فضاهای سبز می‌تواند یک جایگزین مناسب باشد. به دلیل نبود سیستم‌های تصفیه فاضلاب، تنها امکان یک تصفیه اولیه که جداسازی مواد معلق درشت است امکان‌پذیر می‌باشد. این پژوهش به منظور بررسی تغییرات ویژگی‌های مهم شیمیایی موجود در فاضلاب شهری دانشگاه پس از عبور از فیلترهای شنی، ژئوتکستایل و زئولیت، در سیستم فیلتراسیون آبیاری قطره‌ای انجام شد. پژوهش حاضر در سال ۱۳۹۴-۱۳۹۳ در دانشگاه شهرکرد انجام شد. شهرکرد در طول جغرافیایی ۵۱ °۵۰ و عرض جغرافیایی ۱۷ °۳۲ قرار دارد. ارتفاع این شهر از سطح دریا ۲۰۴۹ متر می‌باشد. میانگین سالانه‌ی دمای هوا در شهرکرد ۱۱/۵ درجه سلسیوس می‌باشد و بارش سالیانه آن ۳۳۰ میلی‌متر است (سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۴). فاضلاب مورد استفاده در این طرح از منهول فاضلاب واقع در دانشگاه شهرکرد، به درون سیستم فیلتراسیون آماده شده شامل تیمارهای آزمایش پمپاژ می‌شد. میانگین مقادیر برخی پارامترهای فاضلاب ورودی به تیمارها، در جدول ۱ آورده شده است. پساب کاربردی بر اساس استاندارد محیط زیست ایران از نظر نیترات مشکلی نداشت. همچنین میزان EC (dS/m) ۱/۰۲ بود که طبق استاندارد فائو و باکس و ناکایاما (۳) برای استفاده از پساب در آبیاری قطره‌ای در شرایط کیفیت پساب متوسط، مجاز بود.

جدول ۱- میانگین برخی پارامترهای فاضلاب دانشگاه شهرکرد

Table 1- Average of some wastewater parameters of Shahrekord University

TSS (mg/L) کل مواد معلق	NO_3^- (mg/L)	Na (meq/L)	Ca+Mg (meq/L)	pH	EC (dS/m) هدایت الکتریکی
109.3	26	3.4	5.14	7.74	1.02

اما ذرات معلق (۱۰۹/۶ mg/L) طبق اکثر استانداردها بیش از حد مجاز برای آبیاری بود. حداقل و حداکثر مقدار pH به‌ترتیب ۷/۲ و ۸/۰۳ بود که از مقدار بیشینه، تمام استانداردها کمتر بود. SAR اندازه‌گیری شده پساب ورودی به فیلترها ۲/۱۴ بود که بر اساس استانداردها از نظر کاربرد در آبیاری مجاز بود (۱۴).

طرح آماری و تیمارها

در این پژوهش برای سیستم تصفیه فیلترهای شنی در آبیاری قطره‌ای، آزمایش فاکتوریل درقالب طرح کاملا تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. فاکتورها عبارت بودند از: فاکتوراول، نوع فیلتر پایه در دو سطح شامل: ۱- ژئوتکستایل و ۲- شن و فاکتور دوم، مکمل زئولیتی در کنار فیلتر پایه در دو سطح شامل: ۱-کاربرد زئولیت و ۲- بدون کاربرد زئولیت. تیمارهای پژوهش شامل فیلتر شنی (تیمار شاهد- CTRL)، فیلتر ژئوتکستایل (G)، فیلتر شنی-زئولیت (SZ) و فیلتر ژئوتکستایل-زئولیت (GZ) بود.

مواد استفاده شده در فیلترها

شن مورد استفاده در این پژوهش، از نوع شن‌های سیلیسی معمول مورد استفاده در فیلتر شنی بود که در سه اندازه‌ی ۵-۳، ۸-۵ و ۱۲-۸ میلی‌متری استفاده شد. به منظور زدودن هر نوع آلودگی و ذرات خاک و افزایش دقت کار در اندازه‌گیری مواد معلق پساب، شن‌ها قبل از استفاده چندین بار با آب معمولی شستشو داده شد. ژئوتکستایل‌های استفاده شده در این پژوهش سه نوع دارای وزن‌های۳۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ گرم در هر متر مکعب بود که از شرکت بهسازنسج کرمان تهیه شدند. زئولیت استفاده شده در این طرح از نوع کلینوپتیلولایت، محصول شرکت افرند توسکا بود که با نام تجاری آنزیمیت عرضه می‌شود. به‌منظور کاهش بار سدیمی زئولیت، از اسید کلریدریک جهت اصلاح و فعال‌سازی استفاده شد. انتخاب غلظت اسید بر اساس خروج سدیم از ساختار زئولیت و جایگزینی یون هیدروژن به‌جای آن جهت ایجاد ساختاری متخلخل‌تر با سطح ویژه‌ی بالاتر برای زئولیت، به منظور جایگزینی یون نیترات بود. بر این اساس در نهایت از غلظت نیم مولار جهت اصلاح زئولیت استفاده شد.

سیستم تصفیه

در این پژوهش از چهار مخزن مربوط به فیلتر شنی رایج با قطر ۱۲ اینچ و ارتفاع موثر ۴۵ سانتیمتر استفاده شد که به صورت موازی در کنار همدیگر قرار داده شدند. به علت اینکه قرار دادن ژئوتکستایل‌ها در مخزن فیلترهای شنی رایج باعث می‌شد پساب از کناره‌های آن عبورکند، در ۲ تیمار دارای ژئوتکستایل، از دو فیلتر ابداعی استفاده شد که بعد از فیلتر شن قرار می‌گرفت (شکل ۱). ساختار این فیلترهای ژئوتکستایلی شامل یک لوله‌ی ۳ اینچ بود که در میانه‌ی راه آن یک اتصال فلنچی ۳ اینچ قرار داشت و ژئوتکستایل‌ها در بین فلنچ‌ها قرار می‌گرفت و با چسب آب‌بندی می‌شد. به منظور اندازه‌گیری فشارهای ورودی و خروجی از فشارسنج‌های روغنی استفاده شد. بدین منظور یک فشارسنج قبل از فیلترها، فشار مشترک پساب ورودی را اندازه‌گیری می‌نمود و چهار فشار سنج هم بعد از هر یک از تیمارها فشارهای خروجی را بعد از افت فشار ناشی از عبور پساب از هر تیمار اندازه می‌گرفت. قبل از هر فیلتر و بعد از آن یک شیر جهت تنظیم ورودی و خروجی‌ها وجود داشت.

روش پر کردن و ترتیب تیمارها (فیلترهای شنی)

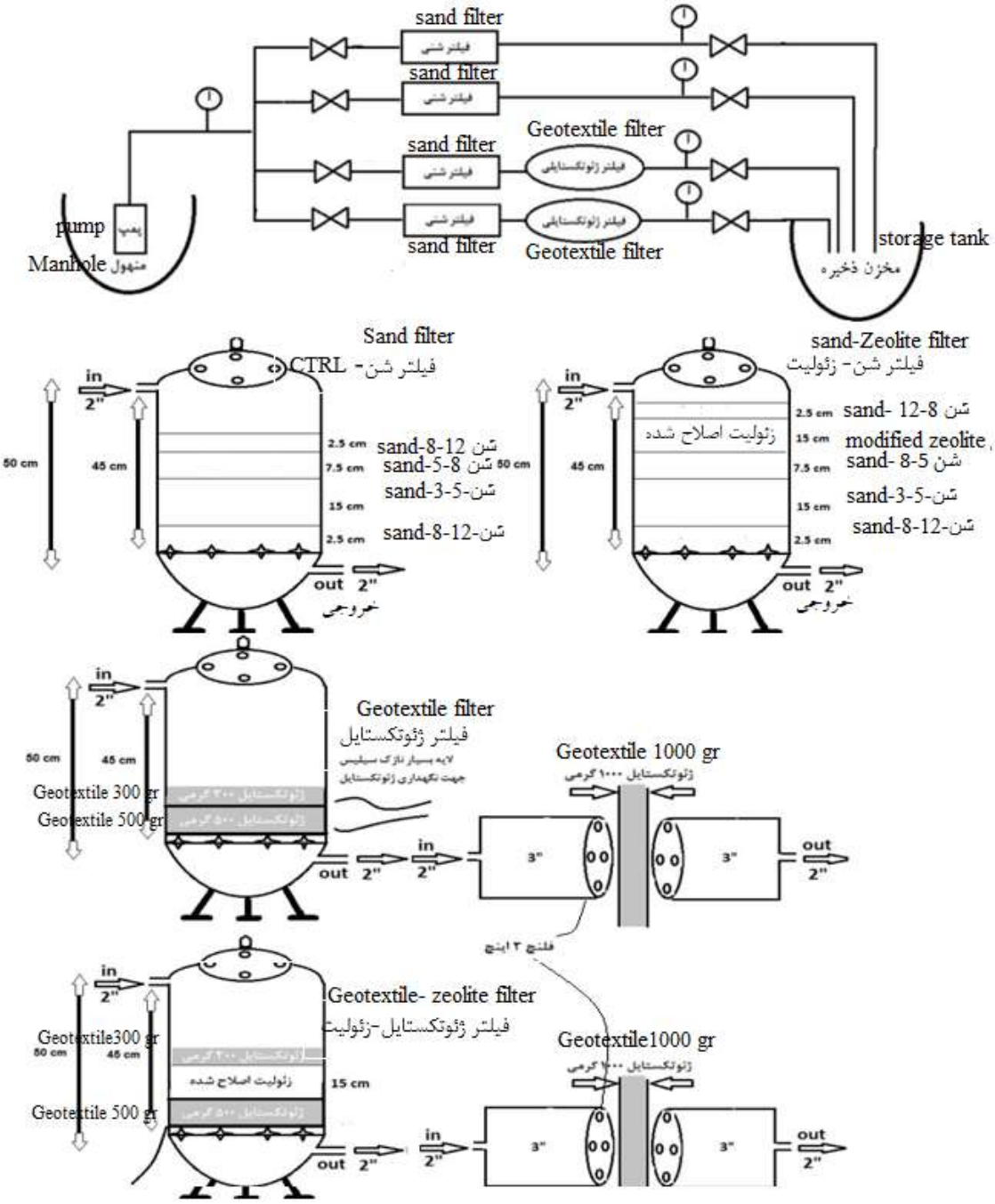
شکل ۱ به صورت شماتیک نحوه‌ی پر شدن تیمارها با استفاده از مواد فیلترکننده‌ی پساب را نشان می‌دهد. بر اساس پژوهش حاج هاشم خانی (۷) و احسانگر و همکاران (۵) زئولیت به صورت لایه‌ای استفاده شد و بالای شن و ژئوتکستایل قرار گرفت.

تغییرات فشار در فیلترها

یکی از پارامترهای بسیار مهم و تاثیرگذار در روش‌های آبیاری تحت فشار، از جمله آبیاری قطره‌ای، مبحث مقدار فشار سیستم و افت می‌باشد. معمولا اختلاف فشار در دو سوی فیلتر شنی در حالتی که تمیز باشد ۲ تا ۳/۵ متر است. هر زمان که اختلاف فشار بین ورودی و خروجی صافی شنی حدود ۳/۵ متر بیشتر از اختلاف فشار در حالت معمولی گردد، یعنی به ۵/۵ تا ۷ متر برسد باید فیلترها را تمیز کرد وگرنه دبی مورد نیاز سیستم تامین نمی‌گردد. گاهی توصیه می شود که حتی اگر اختلاف فشار افزایش نیابد روزی یکبار صافی‌ها شستشوی معکوس شوند (۲). برای اندازه‌گیری فشار از فشارسنج‌های پیش‌بینی شده‌ی قبل و بعد از فیلترها استفاده شد و در طول مدت زمان کار سیستم (۹ ساعت) قرائت فشارها با فواصل نیم ساعته و گاهی یک ساعته انجام شد.

نیترات با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر، مواد معلق به‌کمک

فیلتر و کاغذ صافی، سدیم توسط فلیم‌فتومتر، کلسیم و منیزیم با استفاده از تیتراسیون با EDTA و EC و pH به‌ترتیب توسط هدایت‌سنج و pHمتر در پساب ورودی و خروجی فیلترها اندازه‌گیری شد. به منظور آنالیز پارامترها و مقایسه میانگین داده‌ها از نرم‌افزار SAS و آزمون دانکن استفاده شد. همچنین ترسیم نمودارهای لازم با استفاده از نرم‌افزار EXCEL انجام شد.



شکل ۱- شماتیک تیمارها

Figure 1- Schematic of treatments

نتایج و بحث

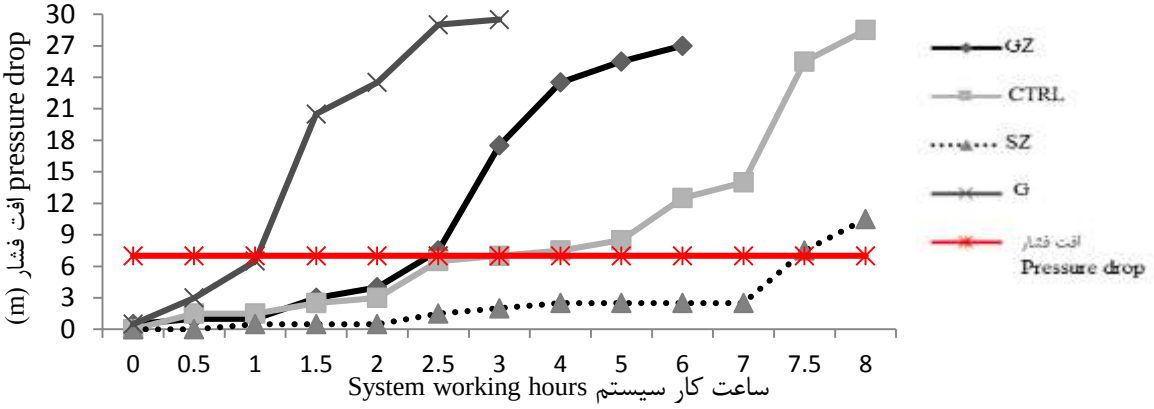
بررسی تغییرات فشار و دبی در فیلترها

همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است تمامی فیلترها دارای افت‌های قابل توجهی بوده‌اند. مقادیر افت هر فیلتر، با افت مجاز فیلتر شنی در سیستم تصفیه‌ی آبیاری قطره‌ای که ماکزیمم آن ۷ متر می‌باشد (۲) مقایسه شده است. افت فشار فیلتر شنی معمولی در طول مدت زمان آزمایش، تا ساعت پنجم کار سیستم، با افت فشار مجاز برابر و یا از آن کمتر بود، ولی از ساعت پنجم به بعد دچار گرفتگی شده و افت آن‌ها از مقدار مجاز تجاوز کرد. در سیستم‌های تصفیه‌ی آبیاری قطره‌ای که با آب معمولی آبیاری می‌شوند هم همواره اگر غلظت مواد معلق موجود در آب آبیاری زیاد باشد چشمه‌های فیلتر خیلی سریع مسدود می‌شود، به همین دلیل در چنین حالت‌هایی قبل از صافی شنی معمولا از حوضچه‌های ته نشینی و هیدروسیکون‌ها استفاده می‌شود. همچنین گاهی برای جلوگیری از به هم چسبیدن ذرات به آب مقداری کلر اضافه می‌کنند (۲). با اضافه شدن زئولیت به فیلتر شنی، مدت زمان رسیدن به حداکثر افت فشار مجاز حدود ۲/۵ ساعت به تاخیر افتاده است. در تیمار ژئوتکستایل تنها تا ساعت اول افت فشار کمتر از حد مجاز بوده است و بعد از آن به شدت افت افزایش یافته است به‌طوری که از ساعت سوم به بعد فیلتر کاملا گرفته است و عملا جریانی از آن عبور نکرده است. در تیمار مخلوط ژئوتکستایل و زئولیت، حضور زئولیت باعث شده است مقداری از مواد معلق پساب قبل از رسیدن به ژئوتکستایل گرفته شود. بنابراین زمان رسیدن به ماکزیمم مقدار افت مجاز ۱/۵ ساعت به تاخیر افتاده است و تا ساعت ۲/۵ بعد از شروع کار سیستم افت فشار مجاز بوده است ولی از این ساعت به بعد افت از مقدار مجاز تجاوز کرده است و بالاخره در ساعت ششم این فیلتر نیز کاملا دچار گرفتگی شده است. بنابراین با توجه به مطالب عنوان شده، به نظر می‌رسد کاربرد شن و ژئوتکستایل به تنهایی مناسب نیست و با کاربرد آن سیستم از لحاظ فشار دچار گرفتگی می‌شود. تیمار SZ عملکرد خوبی از این نظر داشت و تیمار GZ نیز با به کاربردن تمهیدات تصفیه‌ای خاص قبل از این فیلتر، پتانسیل استفاده را از لحاظ تامین فشار لازم برای مدت زمان کوتاه دارد.

تغییرات دبی فیلترها

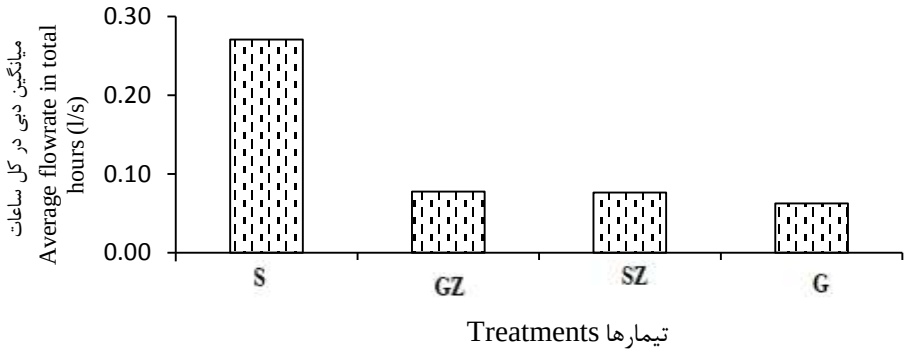
از آن‌جایی که میزان دبی یک سیستم تصفیه بسیار مهم است و بایستی حداقل دبی مورد نیاز توسط سیستم تامین گردد، در طول آزمایش‌ها دبی‌های خروجی هر فیلتر با فواصل یک ساعته به روش حجمی اندازه‌گیری شد. نمودار نشان داده شده در شکل ۳، میانگین دبی هر فیلتر در کل ساعت‌های کار آن فیلتر را نشان می‌دهد.

به طور کلی با توجه به دبی خروجی فیلترها و مساحت تحت آبیاری هر سیستم و با توجه به این نکته که معمولا در آبیاری قطره‌ای هیدرومدول ۰/۵ l/s/ha می‌باشد، بایستی تعداد فیلتر مورد نیاز سیستم آبیاری تعیین شود. ضمنا با توجه به اینکه دبی این فیلترها ثابت نبود و در طول ساعات کار سیستم مدام در حال تغییر بود و همچنین با توجه به اینکه بعضی از این فیلترها بعد از چند ساعت از کار افتاد، نیاز به یک استخر جهت جمع آوری پساب خروجی احساس می‌شود به‌طوری که میزان پساب موجود در استخر توانایی تامین دبی مورد نیاز سیستم را داشته باشد و پساب از داخل آن به سیستم آبیاری پمپاژ مجدد شود. به نظر می‌رسد بتوان با انتخاب فیلترهایی با سطح مقطع بزرگ‌تر، به ویژه در مورد ژئوتکستایل که سطح مقطع آن تنها سه اینچ مربع بود، از گرفتگی زود هنگام فیلترها جلوگیری نمود و دبی آن‌ها را افزایش داد.



شکل ۲- مقایسه‌ی افت فشار فیلترها با افت فشار مجاز در طول ساعات کار سیستم

Figure 2- Comparison of pressure drop of filters with allowable pressure drop during system operating hours



شکل ۳- دبی فیلترها در کل ساعت‌های کار سیستم
Figure 3- Average flow rate of filters in total operating hours of the system

نیترات

بررسی تاثیر فیلترها در کاهش نیترات فاضلاب نشان داد هر چهار فیلتر به کار رفته قابلیت حذف نیترات را دارند ولی کارایی آن‌ها با همدیگر تفاوت دارد. نتایج تجزیه واریانس در جدول ۲ نشان از تاثیر معنادار فیلترهای پایه‌ی شن و ژئوتکستایل بر مقدار نیترات پساب خروجی، در ساعات صفر تا سه از شروع آزمایش دارد. با گذشت زمان تاثیر این فیلترها معنی‌دار نبوده است. علت این امر عدم حضور فیلتر ژئوتکستایل از ساعت سوم به بعد است. بنابراین در ساعت‌های سوم به بعد تنها فیلتر پایه‌ی حاضر فیلتر شنی بوده است. با توجه به ماهیت شن به عنوان یک فیلتر فیزیکی، نتایج به دست آمده برای آن زیاد دور از انتظار نیست. اما نتایج نشان می‌دهد اضافه شدن زئولیت اصلاح شده به فیلترهای پایه باعث شده است که در سطح احتمال یک درصد در همه‌ی ساعت‌ها تاثیر معنا داری بر مقدار نیترات داشته باشد. اسید کلریدریک با حذف ناخالصی‌های موجود در ساختار زئولیت، باعث افزایش قابل توجه سطح ویژه‌ی زئولیت می‌شود که می‌تواند باعث افزایش بازده جذب سطحی آن شود. نتایج مقایسه میانگین‌ها در جدول ۳ آورده شده است. نتایج حاکی از آن است که در همه‌ی ساعت‌ها مقدار نیترات پساب خروجی تیمار شن با مقدار آن در پساب ورودی اختلاف معنی‌داری ندارد اما مقدار این پارامتر در تیمارهای دیگر با فاضلاب ورودی اختلاف معنی‌دار دارد و نیترات نسبت به مقدار اولیه به‌طور معناداری در سطح احتمال پنج درصد کاهش یافته است. احسانگر و همکاران (۵) در پژوهشی تحت عنوان بررسی امکان جذب نیترات فاضلاب شهری اهواز به وسیله‌ی ستون‌های زئولیت، کربن فعال و شن نشان دادند شن بیش‌تر جنبه‌ی فیزیکی داشته است و در حذف نیترات به صورت جزیی تاثیرگذار بوده است. در ساعت صفر، مقدار نیترات از ۲۵ به ۷/۶ در فیلتر ژئوتکستایل- زئولیت (GZ) رسیده است، یعنی در تیمار GZ بیش‌ترین کاهش نیترات وجود داشته است، هرچند که فیلتر SZ نیز در ساعات مختلف تفاوت معنی داری با فیلتر GZ ندارد. تیمار ژئوتکستایل از لحاظ کاهش نیترات در سه ساعت اولیه‌ی کار سیستم با نتایج دو فیلتر SZ و GZ تفاوت معنی‌داری داشته است. همه‌ی نتایج نشان از تاثیرگذاری زیاد زئولیت بر روی پارامتر نیترات در این تیمارها دارد. زئولیت به علت داشتن خاصیت تبادل یونی بالا، با آزاد کردن برخی یون‌ها و جذب یون نیترات و قرار دادن آن در حفرات و کانال‌های ساختمان خود باعث کاهش نیترات پساب خروجی از تیمارها گشته است.

در شکل ۴ میانگین درصد تغییرات نیترات فاضلاب در کل ساعت‌های کار سیستم دیده می‌شود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود تیمار شن (شاهد) قابلیت زیادی در حذف نیترات ندارد، اما با اضافه شدن زئولیت به آن در فیلتر SZ قدرت کاهش نیترات آن به حدود ۶۰ درصد رسیده است. احسانگر و همکاران (۵) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند و عنوان کردند که تاثیر تیمار زئولیت روی نیترات پساب با تیمارهای SZ تفاوت زیادی نداشته است و زئولیت اصلاح شده با اسید کلریدریک یک نرمال حدود ۵۳٪ نیترات موجود در پساب را کاهش داده است. حاج هاشم خانی (۷) نیز عنوان کرد زئولیت اصلاح شده با اسید کلریدریک و نمک کلسیم کلرید، میزان نیترات زه‌آب خروجی را تا حدود ۶۵ درصد کاهش می‌دهد. طاهری سودجانی و همکاران (۲۱) نیز به نتایج مشابهی در مورد کارایی زئولیت در کاهش نیترات پساب دست یافته بودند. در فیلتر GZ اضافه شدن زئولیت به فیلتر ژئوتکستایل باعث شد که قدرت تصفیه‌ی نیترات آن۳۱ درصد افزایش یابد و به حدود ۶۶ درصد برسد.

جدول ۲- تجزیه واریانس پارامترهای اندازه گیری شده در ساعات مختلف

Table 2- Variance analysis of measured parameters at different hours

	Hours ساعات	DF	1	2	3	4	DF	5	6	7	DF	8	9
Nitrate نیترات	B	1	70.1**	65.3*	48*	60.7**	1	4.1 ns	2.6 ns	6 ns	1	–	–
	C	1	444.1**	481.3**	320.3**	420.1**	1	308.1**	416.6**	368.16**	1	280.1**	266.6**
	B*C	1	44.1**	48ns	21.3 ns	30.1**	1	–	–	–	1	–	–
	E	10	3	12.6	5.6	1.7	8	2	1.1	13.4	6	1.1	7.5
	CV		10.5	20.2	15.6	7.5	–	7.8	5.6	18.9	–	5.2	13.9
TSS	B	1	3333.3*	3008.3*	1200*	2408.3*	1	2016.6**	2016.6**	1666.6*	1	–	–
	C	1	2700*	2408.3*	1633.3*	1408.3*	1	1066.6**	816.6**	816.6ns	1	600 ns	600**
	B*C	1	3.33 ns	75ns	0.0ns	8.3ns	1	–	–	–	1	–	–
	E	10	446.6	333.3	246.6	286.6	8	50	50	300	6	188.8	33.3
	CV		36.8	29.4	27.07	27.6	–	10.6	9.98	26.9	–	19.3	8.24
Na	B	1	0.01 ns	0.01 ns	0.001 ns	0.002 ns	1	0.02 ns	0.00006 ns		1	–	0.006ns
	C	1	2.6**	2.77 ns	1.71 ns	2.11**	1	1.1 ns	1.21*	0.46*	1	0.3*	1.08*
	B*C	1	0.01ns	0.02 ns	0.01 ns	0.001 ns	1	–	–		1	–	–
	E	10	0.01	0.73	0.69	0.01	8	0.49	0.11	0.08	6	0.03	0.1
	CV		3.8	23.1	23.2	3.6	–	18.2	7.7	8.7	–	6.8	7.3
Ca+Mg	B	1	0.8**	0.85**	1.47**	1.68**	1	1.5**	0.96**	0.006 ns	1	-	-
	C	1	14.7**	14.52**	15.78**	18**	1	12.9*	8.4**	0.06 ns	1	15.3 ns	12.32 ns
	B*C	1	0.07 ns	0.01 ns	0.1 ns	0.007 ns	1	-	-	-	1	-	-
	E	10	0.07	0.07	0.04	0.06	8	0.18	0.08	1.76	6	0.05	0.04
	CV		4.58	4.44	3.31	3.74	–	6.01	4.41	19.3	–	3.38	3.12
pH	B	1	0.001 ns	0.0008 ns	0.0008ns	0.003 ns	1	0.004 ns	0.001 ns	0.0004 ns	1	–	–
	C	1	0.17**	0.18*	0.18*	0.26**	1	0.18**	0.2*	0.21**	1	0.23**	0.21*
	B*C	1	0.0001 ns	0.0003ns	0 ns	0.001 ns	1	–	–	–	1		–
	E	10	0.004	0.03	0.02	0.02	8	0.009	0.01	0.006	6	0.01	0.01
	CV		0.93	2.5	2.09	2.05	–	1.25	1.74	1.02	–	1.43	1.71
EC	B	1	0.0001 ns	0.0004ns	0.0001 ns	0ns	1	0ns	0.0001 ns	۰	1	–	–
	C	1	0.03ns	0.04ns	0.03ns	0.04ns	1	0.03ns	0.01ns	0.01ns	1	0.01ns	0.01ns
	B*C	1	0.00003ns	0.000008ns	0.1ns	0.00003ns	1	–	–	–	1	0.01	0.004
	E	10	0.007	0.05	0.00003	0.02	8	0.02	0.03	0.04	6		
	CV		8.87	17.5	7.75	12.9	–	12.23	19.23	20.5	–	12.7	6.9

درجه DF معنی‌دار نبودن اثر فاکتور در سطح پنج درصد و "–" بیانگر عدم کارایی فیلتر در آن ساعت می باشد.ns** معنی‌داری اثرفاکتور در سطح یک و پنج درصد است.

ضریب تغییرات است.CV خطا و E فیلتر پایه در مکمل،B*C مکمل، C فیلتر پایه، Bآزادی،

ns, *and **: Non significant, significant at a probability level of one percent, significant at a probability level of five percent respectively. "- "shows that filter don't work.

DF: Degree of freedom, B: Basic filter, C: Complementary, B*C:Basic filter* Complementary, E: Erroe, CV:Coefficient of variation

جدول ۳- مقایسه میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده در ساعات مختلف

Table 3- Comparison of the mean of the measured parameters in different hours

	ساعات Hours	0	1	2	3	4	5	6	7	8
نیترات (mg/L) Nitrate	ورودی Inlet	25^{a}	26.6^{a}	23 ^{a}	26^{a}	26.6^{a}	30^{a}	27.6^{a}	25^{a}	24^{a}
	S	24.6^{a}	26^{a}	21^{a}	25^{a}	25.3^{a}	29^{a}	27.6^{a}	24^{a}	24^{a}
	SZ	8.6^{c}	9.3^{c}	8.6^{c}	10^{c}	11^{b}	12^{b}	12^{b}	11^{b}	10^{b}
	GZ	7.6^{c}	8.6^{c}	7.3^{c}	8.6^{c}	9.3^{b}	11^{b}	10^{b}	–	–
	G	16^{b}	17.3^{b}	15^{b}	17.3^{b}	–	–	–	–	–
TSS (mg/L)	ورودی Inlet	113.3^{a}	120^{a}	110^{a}	116.6^{a}	110^{a}	113.3^{a}	103.3^{a}	100^{a}	96.6^{a}
	S	43.3^{bc}	46.6^{c}	43.3^{bc}	50^{bc}	46.6^{c}	53.3^{c}	46.6^{bc}	46.6^{b}	46.6^{c}
	SZ	76.6^{ab}	80^{b}	66.6^{b}	73.3^{b}	73.3^{b}	76.6^{b}	70^{b}	66.6^{b}	66.6^{b}
	GZ	40^{b}	43.3^{c}	46.6^{bc}	43.3^{bc}	36.6^{c}	40^{d}	36.6^{c}	–	–
	G	13.3^{c}	20^{c}	23.3^{c}	23.3^{c}	–	–	–	–	–
Na (meq/l)	ورودی Inlet	3.41^{b}	3.77^{a}	3.2^{b}	3.31^{a}	3.9^{b}	3.5^{a}	4.06^{b}	3.14^{b}	2.4^{b}
	S	3.23^{b}	3.50^{a}	3.1^{b}	3.21^{a}	3.82^{b}	3.40^{a}	4.05^{b}	3.21^{ab}	2.42^{b}
	SZ	4.24^{a}	4.64^{a}	4.02^{a}	4.03^{a}	4.72^{a}	4.28^{a}	4.9^{a}	3.76^{a}	2.87^{a}
	GZ	4.23^{a}	4.61^{a}	4.01^{a}	3.99^{a}	4.73^{a}	4.17^{a}	4.08^{a}	–	–
	G	3.3^{b}	3.74^{b}	3.20^{b}	3.30^{a}	–	–	–	–	–
Ca+Mg (meq/l)	ورودی Inlet	4.4^{d}	4.8^{d}	5.1^{e}	5.2^{d}	5.3^{c}	4.9^{d}	5.2^{a}	5.4^{c}	5.7^{b}
	S	5.3^{c}	5.8^{c}	6.1^{c}	6.3^{c}	6^{c}	5.7^{c}	7.2^{a}	6^{b}	6.2^{b}
	SZ	7.6^{a}	8.06^{a}	8.6^{a}	8.8^{a}	8.9^{a}	8.1^{a}	7.4^{a}	8.8^{a}	9.4^{a}
	GZ	7b	7.4b	7.6b	8b	7.9b	7.3^{b}	7.5^{a}	–	–
	G	4.8^{cd}	5.3^{cd}	5.6^{d}	5.6^{d}	–	–	–	–	–
pH	ورودی Inlet	7.20^{a}	7.81^{a}	7.59^{a}	7.73^{a}	8.03^{a}	7.79^{a}	8.04^{a}	7.75^{a}	7.71^{a}
	S	7.23^{a}	7.83^{a}	7.60^{a}	7.74^{a}	8.04^{a}	7.73^{a}	7.98^{a}	7.70^{a}	7.60^{a}
	SZ	6.90^{b}	7.58^{a}	7.35^{a}	7.42^{b}	7.60^{b}	7.30^{b}	7.60^{b}	7.30^{b}	7.22^{b}
	GZ	6.90^{b}	7.60^{a}	7.37^{a}	7.47^{ab}	7.70^{b}	7.40^{b}	7.62^{b}	–	–
	G	7.23^{a}	7.84^{a}	7.62^{a}	7.75^{a}	–	–	–	–	–
EC (dS/m)	ورودی Inlet	0.91^{a}	1.27^{a}	0.87^{a}	1.14^{a}	1.30^{a}	0.89^{a}	0.97^{a}	0.87^{a}	0.88^{a}
	S	1.03^{a}	1.33^{a}	0.91^{a}	1.19^{a}	1.35^{a}	0.93^{a}	1.01^{a}	0.91^{a}	0.91^{a}
	SZ	1.14^{a}	1.46^{a}	0.99^{a}	1.31^{a}	1.49^{a}	1.01^{a}	1.11^{a}	1^{a}	1^{a}
	GZ	1.13^{a}	1.44^{a}	0.98^{a}	1.31^{a}	1.49^{a}	1.01^{a}	1.09^{a}	–	–
	G	1.03^{a}	1.32^{a}	0.9^{a}	1.19^{a}	–	–	–	–	–

"–" در جدول بیانگر عدم کارایی فیلتر در آن ساعت می باشد. میانگین‌ها با حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد آماری هستند (آزمون دانکن).

"- "shows that filter don't work. Means with similar letters in each column have no significant difference at the statistical level of 5% (Duncan test).

شکل (۵- الف) به مقایسه‌ی میانگین مقدار نیترات پساب خروجی از فیلترها در کل ساعات کار سیستم با میانگین مقدار ورودی آن پرداخته است. به جز شن که مقدار میانگین کل ساعت‌های آن حدود ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر است و اختلاف زیادی با مقدار میانگین ورودی ندارد، در بقیه‌ی فیلترها مقدار میانگین از ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر کمتر است. در ساختار زئولیت اصلاح شده با اسید، نقش اصلی در افزایش ظرفیت جذبی نیترات را یون‌های هیدروژن به عنوان یک یون قابل تعویض ایفا می‌کنند (۱۱).

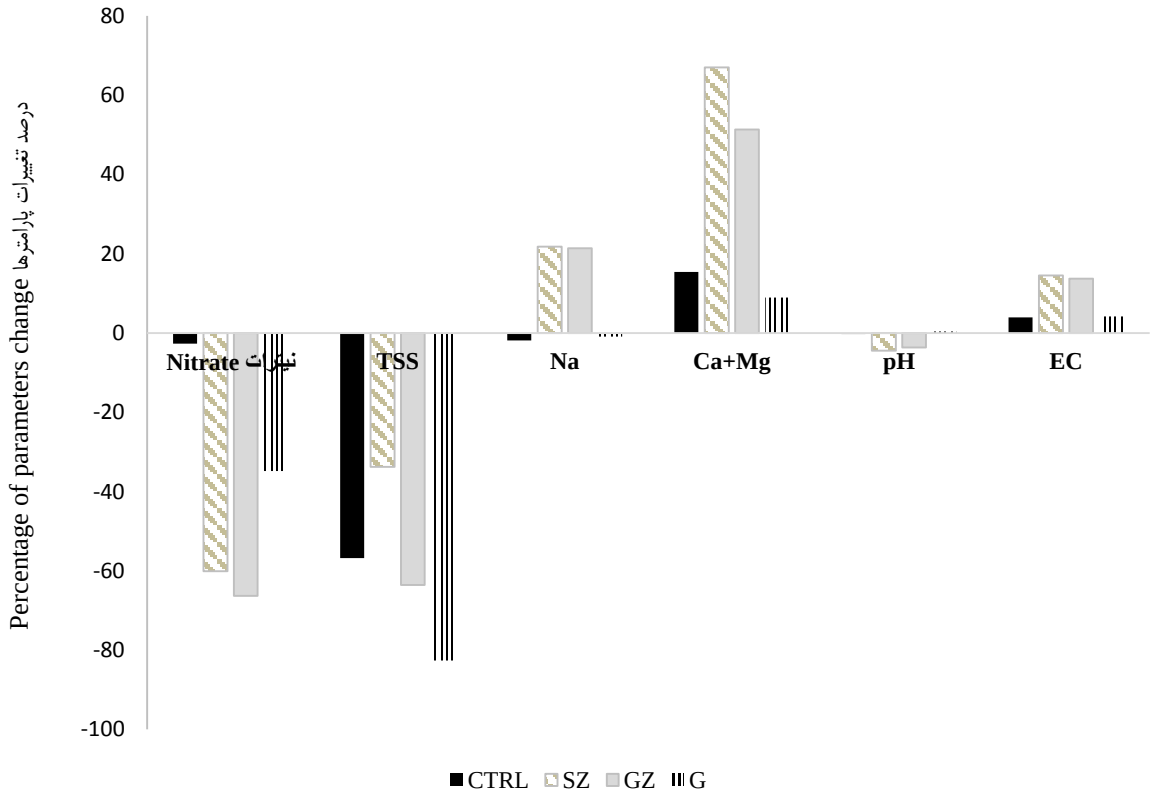
کل ذرات معلق[1]

نتایج تجزیه واریانس پارامتر کل ذرات معلق (TSS) در جدول ۲ نشان می‌دهد که شن و ژئوتکستایل به عنوان فیلترهای فیزیکی به کار رفته بر مقدار TSS تاثیر معناداری در سطح احتمال پنج درصد در ساعات صفر تا سه داشت و در ساعات دیگر تاثیر این فیلترها در سطح احتمال یک درصد معنادار بوده است. نتایج تاثیر ترکیب فیلترهای پایه‌ی فیزیکی با فیلتر شیمیایی زئولیت بر پارامتر بار معلق فاضلاب نیز در سطح احتمال یک درصد معنا دار بوده است. بنابراین می‌توان

1- Total suspended solid

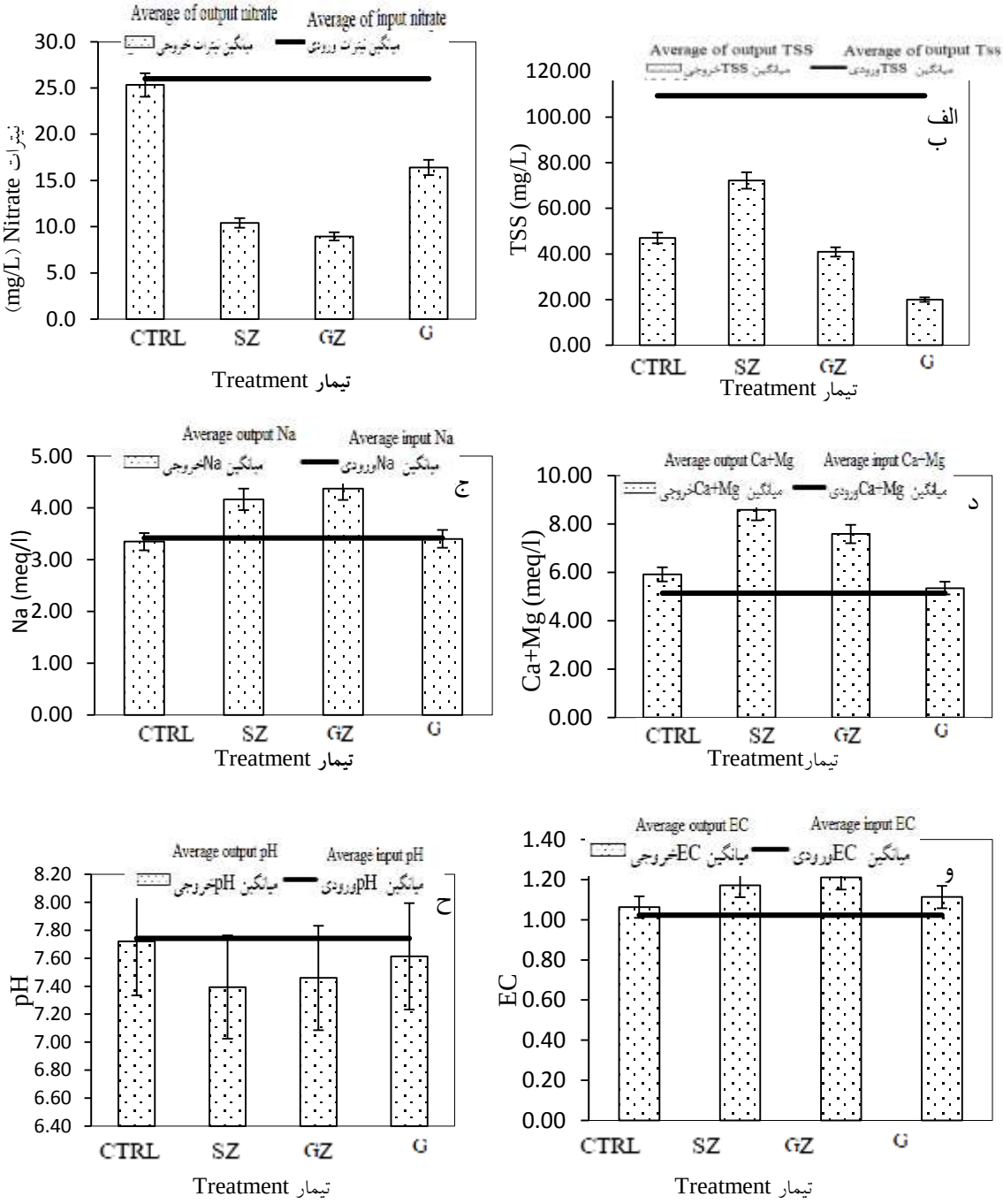
گفت به‌طور کلی فیلترها عملکرد موفقی در کاهش بار معلق فاضلاب داشته‌اند. همان‌طور که نتایج مقایسه میانگین‌ها در جدول ۳ نشان می‌دهد، هرچند که نتایج فیلترهای شن و SZ تنها در نیمی از ساعت‌ها با هم اختلاف معنی‌دار دارند ولی در کل اضافه شدن زئولیت به شن سبب کاهش قدرت تصفیه‌ی بار معلق فاضلاب در شن شده است.

بیش‌ترین کاهش بار معلق فاضلاب متعلق به فیلتر ژئوتکستایل است. به عنوان مثال در ساعت صفر، مقدار TSS از ۱۱۳ به ۱۳/۳ میلی‌گرم در لیتر در فیلتر ژئوتکستایل رسیده است که بیش‌ترین کاهش TSS در بین همه‌ی فیلترها و در همه‌ی ساعت‌ها می‌باشد. در فیلتر ژئوتکستایل که بیش‌ترین درصد کاهش بار معلق را از خود نشان داده است، تا ساعت سوم که در سیستم حضور داشته است، در ساعات مختلف تفاوت معنی داری بین میزان کاهش TSS وجود ندارد. نکته‌ی مهمی که وجود دارد این است که، هر چند اضافه شدن زئولیت به فیلتر ژئوتکستایلی در فیلتر GZ سبب کاهش قدرت تصفیه‌ی TSS آن شده است ولی در ساعات مختلف، بین درصد کاهش TSS بین تیمار GZ و ژئوتکستایل، به جز در ساعت صفر، و همچنین بین این دو فیلتر با فیلتر شن در همه‌ی ساعت‌ها اختلاف معنی‌داری نیست. پس در صورت محدودیت در استفاده از هر کدام از این سه فیلتر به دلایل خاص، می‌توان دیگری را جهت تصفیه‌ی TSS استفاده نمود. در شکل ۴ که نمودار درصد تغییرات TSS پساب در ساعت‌های مختلف کار سیستم را نشان می‌دهد، مشخص است که اضافه شدن زئولیت به هر دو فیلتر پایه‌ی ژئوتکستایل و شن موجب کاهش قدرت آن‌ها در تصفیه‌ی بار معلق فاضلاب شده است که علت آن می‌تواند شسته شدن ذرات زئولیت توسط پساب و اضافه شدن ذراتی بسیار ریز به فاضلاب باشد که ژئوتکستایل بیش‌تر از شن توانسته آن‌ها را جدا سازد. شکل (۵-ب) نشان می‌دهد اختلاف زیادی بین مقدار میانگین بار معلق فاضلاب ورودی که حدود ۱۱۰ میلی‌گرم بر لیتر است با مقدار میانگین بار معلق پساب خروجی از فیلترها که همگی کمتر از ۷۲ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشند وجود دارد.



شکل ۴- میانگین درصد تغییرات نیترات فاضلاب در کل ساعت‌های کار سیستم

Figure 4- Average of changes in wastewater nitrate in total operating hours of the system (%)



شکل ۵- میانگین ویژگی‌های فاضلاب ورودی و پساب خروجی فیلترها در کل ساعت‌های کار سیستم

Figure 5- Average characteristics of input and output wastewater of filters in all operating hours of the system

سدیم

در مورد پارامتر سدیم نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد که شن و ژئوتکستایل بر مقدار سدیم تاثیر معنا داری در سطح احتمال پنج درصد نداشته ولی ترکیب با آن‌ها با زئولیت اصلاح شده در سطح احتمال یک درصد معنا دار بوده است. در جدول ۳ نتایج مقایسه میانگین‌های پارامتر سدیم نشان می‌دهد که در تمام ساعت‌ها سدیم نسبت به مقدار اولیه در فیلترهای شن و ژئوتکستایل کاهش یافته ولی در هیچ یک از ساعت‌ها مقدار سدیم در این دو فیلتر، تفاوتش با مقدار اولیه و با یکدیگر معنادار نبوده است. پس مشخص است که پدیده‌ی تبادل یونی در زئولیت و آزادسازی یون سدیم برای جذب یون‌های دیگر، دلیل افزایش سدیم در پساب خروجی این دو

فیلتر بوده است. درصد تغییرات سدیم در کل ساعت ها به صورت میانگین بیانگر نزدیکی این درصد تغییرات در دو تیمار SZ و GZ، است که آن را می‌توان از یکسان بودن تاثیر زئولیت اضافه شده بر این دو تیمار دانست (شکل۴). در شکل (۵–ج)، به مقایسه‌ی میانگین سدیم فاضلاب ورودی و پساب خروجی فیلترها در کل ساعت‌های کار سیستم پرداخته شده است. همانطور که مشاهده می‌شود تیمارهای دارای زئولیت سدیم بیشتری داشتند. حاج هاشم خانی (۷) نشان داد که در تیمارهایی که دارای زئولیت طبیعی بودند میانگین درصد تغییرات سدیم زه‌آب خروجی مثبت بود و مقدار آن حدود ۷۰ درصد بود و در تیمارهایی که دارای زئولیت اصلاح شده بودند، میانگین درصد تغییرات سدیم زه‌آب خروجی منفی بود و مقدار آن حدود ۵ درصد بود. وی عنوان کرد که دلیل این امر جایگزینی کاتیون به جای کلسیم و منیزیم در ساختار زئولیت اصلاح شده است.

مجموع کلسیم و منیزیم

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد که فیلترهای پایه بر مقدار Ca+Mg فاضلاب ورودی تاثیر معناداری در سطح احتمال پنج درصد در ساعات صفر تا پنج داشته است. همه‌ی تیمارهای پژوهش مقدار Ca+Mg پساب را افزایش داده‌اند. نتایج مقایسه میانگین‌ها در جدول ۳ نشان می‌دهد که در تیمار ژئوتکستایل در ساعت‌های حضور در سیستم، کلسیم نسبت به مقدار اولیه‌ی فاضلاب ورودی اختلاف معنا داری پیدا نکرده است. اما در تیمار شن با اینکه یک فیلتر فیزیکی است در اکثر ساعت‌ها این اختلاف معنی‌دار بوده است. خروجی تیمارهای SZ و GZ نیز از لحاظ مقدار Ca+Mg با فاضلاب ورودی تفاوت معنی‌داری داشتند. افزایش کلسیم و منیزیم در تیمارهای دارای زئولیت به این دلیل می‌تواند باشد که در فرآیند اصلاح زئولیت، کلرید کلسیم نیز استفاده شده باشد.

تفاوت‌های معنی‌دار تیمارهای SZ و S با هم و GZ و G با هم، نشان از تاثیر زیاد زئولیت بر افزایش این پارامتر در پساب دارد. با توجه به نتایج فیلتر شن به نظر می‌رسد وجود ناخالصی‌هایی (احتمالا کربنات کلسیم) که در شن به کاربرده شده باعث شده است با آزادسازی یون کلسیم مقدار مجموع کلسیم و منیزیم افزایش یابد. در شکل ۴ میانگین درصد تغییرات مجموع کلسیم و منیزیم فاضلاب نشان می‌دهد که تیمارهای S و SZ به ترتیب بیش‌تر از تیمارهای G و GZ میزان مجموع کلسیم و منیزیم را در پساب افزایش داده‌اند. مطابق شکل (۵ –د) میزان میانگین مجموع Ca+Mg پساب خروجی در کل ساعت‌های کار سیستم، در همه‌ی فیلترها از مقدار میانگین ورودی بیش‌تر است. حاج هاشم خانی (۷) نیز عنوان کرد زئولیت اصلاح شده با اسید کلریدریک و نمک کلسیم کلرید، میزان کلسیم و منیزیم خروجی را تا حدود ۱۰۰ درصد افزایش می‌دهد.

تغییرات pH

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده شد فیلترهای شن و ژئوتکستایل بر مقدار pH تاثیر معنا داری نداشتند. اضافه شدن زئولیت به فیلترهای فیزیکی در تیمارهای GZ و SZ سبب شده است که اختلاف مقدار پارامتر pH در این دو فیلتر با مقدار pH فاضلاب ورودی، در سطح احتمال یک درصد معنا دار شود. شکل ۵ نمودار میانگین درصد تغییرات pH فاضلاب در کل ساعت‌های کار سیستم را نشان می‌دهد. بیش‌ترین درصد تغییرات مربوط به تیمار SZ بوده است که حدود ۴/۵ درصد میزان pH فاضلاب ورودی را کاهش داده است. بعد از آن نیز تیمار GZ با حدود ۴ درصد کاهش میزان pH فاضلاب ورودی در رتبه‌ی دوم قرار دارد. شکل (۵–ح) با انجام مقایسه‌ای در کل ساعت‌های کار سیستم نشان می‌دهد میانگین pH پساب خروجی همه‌ی فیلترها از میانگین ورودی آن‌ها کمتر است.

قابلیت هدایت الکتریکی (EC)

با وجود افزایش پارامتر قابلیت هدایت الکتریکی در فاضلاب خروجی از همه‌ی فیلترها، هیچ‌کدام از تیمارها تاثیر معناداری بر مقدار ECنداشته‌اند (جدول ۲ و ۳). در شکل ۴ مشاهده شد که میانگین درصد تغییرات EC در کل ساعت‌ها در تیمارهای شن و ژئوتکستایل حدود ۴ درصد و در تیمارهای GZ و SZ حدود ۱۴ درصد، به صورت افزایشی بوده است. در تمامی فیلترها مقدار میانگین EC پساب خروجی از مقدار میانگین آن در ورودی، در کل ساعت‌ها بیش‌تر است که این امر در شکل (۵–و) به خوبی مشهود است. عکاشه (۱) و کریستن و همکاران (۴) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. عکاشه (۱) بیان کرد نمک‌ها می‌توانند از ساختار زئولیت جذب یا دفع شوند، بنابراین دفع نمک‌ها از تیمارهای دارای زئولیت یکی از عواملی است که باعث افزایش قابلیت هدایت الکتریکی زه‌آب خروجی گردیده است.

نتیجه‌گیری

بر اساس این پژوهش فیلتر شن و ژئوتکستایل به تنهایی سبب افت فشار می‌شود. اما فیلتر شن- زئولیت عملکرد خوبی از این نظر داشت و فیلتر ژئوتکستایل-زئولیت نیز با به کاربردن تمهیدات تصفیه-ای خاص قبل از آن، پتانسیل استفاده را از لحاظ تامین فشار لازم برای مدت زمان کوتاه دارد. کلیه تیمارها به ویژه تیمارهای دارای زئولیت به میزان قابل توجهی نیترات را کاهش دادند و می‌توان از این فیلترها در کاهش نیترات پساب در مواردی که میزان نیترات بیش‌تر از حد مجاز است استفاده کرد. فیلتر ژئوتکستایل در همه‌ی ساعت‌ها درصد حذف مواد معلق آن بیش‌تر بود. اضافه شدن زئولیت به هر دو

فیلتر پایه‌ی ژئوتکستایل و شن موجب کاهش قدرت آن‌ها در تصفیه‌ی مواد معلق شد. بنابراین فیلتر ژئوتکستایل از لحاظ این پارامتر پتانسیل کاربرد در کنار فیلتر شنی معمولی را دارد. تیمار SZ بیش از سایر تیمارها (حدود ۴/۵ درصد) میزان pH فاضلاب ورودی را کاهش داد. همچنین دفع نمک‌ها از تیمارهای دارای زئولیت باعث افزایش EC زه‌آب خروجی در تیمارهای SZ و GZ گردید. به طور کلی می‌توان گفت استفاده از فیلتر شن- زئولیت پیشنهاد مناسبی به جهت کاهش بار معلق و نیترات موجود در پساب و عدم افت فشار می‌باشد.

منابع

1. Akkashe L. 2007. Application of natural zeolite in order to absorb heavy elements in the leachate of Isfahan Organic Fertilizer Factory. Master thesis, Islamic Azad University, Khorasgan Branch. Isfahan, I.R. Iran.
2. Alizade A. 1997. Principles and operations of drip irrigation (first edition). Imam Reza University Press. (In Persian)
3. Bucks D.A., and Nakayama F.S. 1980. Injection of fertilizer and other chemicals for drip irrigation. Technical conference Proceedings-Irrigation Association. Houston, Texas. USA. Silver Spring, Maryland. 166-180
4. Christen E.W., Quayle W.C., Marcoux M.A., Arienzo M., and Jayawardane N.S. 2010. Winery wastewater treatment using the land filter technique. Journal of Environmental Management 91: 1665-1673.
5. Ehsangar M., Charm M., and Farokhiyan Firozabadi A. 2013. Investigation of the possibility of adsorption of nitrate in Ahvaz municipal wastewater by columns of zeolite, activated carbon and sand. Proceedings of the Iranian National Conference on Environmental Research, 31 October. Shahid Mofateh College of Hamadan. (In Persian)
6. Gilbert R.G., Nakayama F.S., and Bucks D.A. 1979. Trickle irrigation, Prevention of clogging. Transactions of the ASAE 22: 514-519.
7. Hajhashemkhani M. 2013. Investigation of the effect of modified microzeolite in combination with soil on some hydrodynamic and chemical parameters of soil in effluent application conditions. Master thesis, Shahrekord University, Iran. (In Persian)
8. Ibrahim H.S., Jamil T.S., and Hegazy E.Z. 2010. Application of zeolite prepared from Egyptian kaolin for the removal of heavy metals: II. Isotherm models. Journal of Hazardous Materials 182: 842–847.
9. Kutay M.E., and Aydilek A.H. 2005. Filteration Performance of tow-layer geotextile systems. Geotechnical Testing Journal 28(1): 79-91.
10. Maharana M., and Sen S. 2021. Magnetic zeolite: A green reusable adsorbent in wastewater treatment. Materials Today: Proceedings.
11. Maleki A. 2012. Potential of Acid Modified Zeolite for Cadmium Adsorption in Aqueous Environment. Journal of Mazandaran University Medical Science 21(86): 74-85. (In Persian with English abstract)
12. Malekian R., Abedi-Kuopai J., and Eslamian S.S. 2011. Influences of clinoptilolite and surfactant-modified Clinoptilolite zeolite on nitrate leaching and plant growth. Journal of Hazardous Materials 185: 970-976.
13. Mohajeri S., and Horlemann L. (Eds.). 2017. Reviving the Dying Giant: Integrated Water Resource Management in the Zayandeh Rud Catchment, Iran. Springer.
14. Mohammadi P., Siyahi M.K, Naseri M., Liaghat A.M., Adl M., Ehteshami M., Ashrafi A., Ghodosi F., Zarankabi M.R. A review of standards and experiences of using wastewater for irrigation. 2010. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage.
15. Najafi P., and Tabatabaei S.H. 2009. Aplication of sand and geotextile envelope in subsurface drip irrigation. ICPTT: 1-6. Advances and Experiences with Pipelines and Trenchless Technology for Water, Sewer, Gas, and Oil Applications 2026-2031.
16. Pescod MB. 1992. Wastewater treatment and use in agriculture. FAO, Irrigation and Drainage Paper 47. p 113.
17. Rabbani M.S., Kazemian H., Ghannadi Maragheh M., and Mallah M.H. 2002. Characterization of a natural analcime from Ardebil (Germi) region of Iran and evaluation of its ion-exchange properties in comparison with synthetic analcime, Second FEZA Conference, 1-5 September, Taormina, Giardini Naxos, Italy.
18. Soleimani M., Ansarie A., Haj Abassie M., and Abedi J. 2008. Investigation of Nitrate and Ammonium Removal from Groundwater by Mineral Filters. Journal of Water and Wastewater 19(3): 18-26. (In Persian with English abstract)
19. Tabatabaei S.H., and Najafi P. 2009. Effects of irrigation with treated municipal wastewater on soil properties in arid and semi – arid regions. Irrigation and Drainage 58: 551-560
20. Tabatabaei S.H., Nourmahnad N., Kermani S.G., Tabatabaei S.A., Najafi P., and Heidarpour M. 2020. Urban wastewater reuse in agriculture for irrigation in arid and semi-arid regions-A review. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture 9(2): 193-220.
21. Taheri-Sodejani H., Ghobadinia 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.
22. Wang S., and Peng Y. 2010. Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment. Chemical Engineering Journal 156: 11–24.

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 5, Dec.-Jan. 2021, p. 673-687

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۵، آذر – دی ۱۴۰۰، ص. ۶۸۷-۶۷۳

Investigation of the Role of Sand- Geotextile-Zeolite Composite Filters on some Wastewater Properties

H. Shirvani Ichi[1]- M. Ghobadinia[2]- N. Nourmahnad[3*]- S.H. Tabatabaei[4]

Received: 08-09-2021
Accepted: 04-10-2021

Introduction: Nowadays, the use of effluent in irrigation and especially drip irrigation systems has increased. The findings uncovered that drip irrigation is assumed as the only method which is capable of overcoming specific problems caused by wastewater usage. In this study, the efficiency of sand and geotextile filters with zeolite on wastewater properties and their application in the filtration of the drip irrigation system was investigated.

Materials and Methods: This study was conducted to investigate the changes in important chemical properties in the municipal wastewater of a university after passing through sand filters, geotextiles, and zeolites in the drip irrigation filtration system. A factorial experiment was performed in a completely randomized design with three replications. Treatments included sand filter (control-CTRL treatment), geotextile filter (G), sand filter with zeolite (SZ), and geotextile filter with zeolite (GZ). The sand used in this study was the usual silica sand which was in three sizes of 3-5, 5-8, and 8-12 mm. In order to remove any contamination and soil particles and increase the accuracy of the measurement of suspended solids in the effluent, the sands were washed several times with water before usage. The geotextiles used in this study had three types with weights of 300, 500, and 1000 grams per cubic meter. The zeolite used in this study was clinoptilolite modified with hydrochloric acid. The wastewater used in this study was obtained from the effluent of Shahrekord University. System flow rate, Pressure, nitrate, suspended solids, sodium, calcium, magnesium, electrical conductivity, effluent pH were measured before and after entering the filters at different hours. Statistical analysis was done by SAS software and the Duncan test was used to compare the means of the data.

Results and Discussion: The results showed that the sand-zeolite treatment had a good performance in terms of pressure and the geotextile-zeolite treatment was able to provide pressure for a short time. The amount of nitrate in the wastewater of the sand filter was not significantly different from the amount of inlet, but in other filters was significantly reduced. The amount of nitrate input of all treatments was 26 mg/l.The average output nitrate in the sand filter was about 25 and in the other filters was less than 20 mg/l. The average amount of suspended solids in the effluent was about 110 mg/l, while the average amount of suspended solids in the wastewater was reduced to less than 72 mg/l. The sand and sand-zeolite treatments increased the total amount of calcium and magnesium in the wastewater more than geotextile and geotextile-zeolite treatments, respectively. The average Ca + Mg of effluent in the total operating hours of the system was higher than the average input in all filters. The percentage of EC changes in total hours increased about 4% in sand and geotextile treatments and 14% in geotextile- zeolite and sand -zeolite filters. The highest percentage of pH changes was related to sand-zeolite filter, which reduced the pH of incoming wastewater by about 4.5%. After that, geotextile- zeolite filter reduced the pH of the incoming wastewater by 4%. The average pH of the effluent of all filters is lower than the average of their inlet.

Conclusion: Sand and geotextile filters alone cause pressure drop and dropper clogging. However, the sand-zeolite treatment has performed well in this regard. The geotextile-zeolite treatment has the potential to be used in terms of supplying the necessary pressure for a short period by applying special treatment measures before this filter. These conclusions are only in terms of pressure drop due to the ability of filters in practical use and do not refer to their ability to filter the parameters and provide the desired flow. All treatments, especially zeolite treatments, significantly reduced nitrate, and these filters can be used to reduce effluent nitrate in cases where the amount of nitrate is more than allowed. However, since the sand filter had no effect on nitrate reduction, the effluent must be treated for nitrate before using sand filters. The geotextile filter had a higher percentage of suspended solids removal at all hours. The addition of zeolites to both geotextile and sand base filters reduced

1, 2 and 4- Former M.Sc. Student, Assistant Professor and Associate Professor, Department of Water Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran, respectively.
3- Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Iran
(*- Corresponding Aothur Email: negar_nourmahnad@yahoo.com)
DOI: 10.22067/JSW.2021.72031.1082

their ability to treat suspended solids. Therefore, geotextile filters can be a good alternative to ordinary sand filters in terms of this parameter. All treatments increased Ca + Mg relative to the input. The sand- zeolite treatment reduced the pH of the incoming wastewater more than other treatments (about 4.5%). Also, desalination of salts from zeolite treatments increased the EC of effluent in the sand-zeolite and Geotextile-zeolite treatments. According to this study, the use of sand-zeolite in terms of reducing nitrate and suspended solid, increasing calcium and magnesium, and reducing pH and no pressure drop is recommended.

Keywords: Clogging, Inlet wastewater, Nitrate, Total suspended solid