نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۸، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۳، ص. ۵۹۶-۵۸۷

Journal of Water and Soil
Vol. 28, No. 3, Jul.-Agu. 2014, p. 587-596

تاثیر روش کاربرد زئولیت اصلاح شده بر کیفیت پساب شهری خروجی و نفوذپذیری خاک

مریم حاج هاشم خانی[۱] – مهدی قبادی‌نیا[۲*]– سید حسن طباطبائی[۳] – علیرضا حسین‌پور[۴]– سعداله هوشمندگوچی[۵]

تاریخ دریافت:۱۳۹۲/۷/۱۱
تاریخ پذیرش:۱۳۹۳/۲/۹

چکیده

با توجه به کمبود منابع آب، امروزه از پساب‌ها به عنوان یکی از منابع آبیاری استفاده می‌شود. در این راستا استفاده از جاذب‌ها از جمله زئولیت‌ها برای بهبود ویژگی‌های پساب توصیه شده است. زئولیت طبیعی هرچند باعث کاهش غلظت آلودگی خروجی می‌گردد اما نفوذپذیری خاک را به شدت کاهش می‌دهد که می‌تواند اثرات نامطلوبی بر خاک بگذارد. این پژوهش در سال ۱۳۹۱ در دانشگاه شهرکرد در ۲۱ ستون PVC به منظور بررسی اثر ذرات میکروزئولیت اصلاح شده بر نفوذپذیری خاک و کیفیت زه‌آب خروجی انجام شد. آزمایش‌ها شامل دو فاکتور نوع میکروزئولیت (طبیعی و اصلاح شده) و روش کاربرد میکروزئولیت (مخلوط و لایه‌ای) و در مجموع ۷ تیمار با سه تکرار بود. تزریق پساب به داخل خاک به طریق غرقابی و ۱۵ مرتبه با تناوب هفتگی تکرار شد. حجم پساب به کار برده شده در هر مرتبه آبیاری برابر حجم تخلل می‌باشد. در تناوب‌های تزریق ۱، ۳، ۵، ۷، ۱۱ و ۱۵ نفوذ به روش بار افتان اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که به ترتیب تیمارهای اصلاح شده شامل مخلوط، لایه‌ای در وسط و لایه‌ای در سطح بیشترین سرعت نفوذ و تیمارهای همراه با زئولیت طبیعی شامل مخلوط، لایه‌ای در وسط و لایه‌ای در سطح دارای کمترین سرعت نفوذ بودند. همچنین تیمارهای اصلاح شده ۱۱۱ درصد نسبت به تیمارهای طبیعی مقدار سدیم زه‌آب خروجی را کاهش داده و در نتیجه باعث شدند که تیمارهای اصلاح شده ۴۵ درصد نسبت به تیمار شاهد و ۱۳۲ درصد نسبت به تیمارهای طبیعی میزان SAR را کاهش دهند. در نهایت اصلاح زئولیت باعث افزایش سرعت نفوذ نهایی خاک و بهبود کیفیت زه‌آب خروجی گردید.

واژه‌های کلیدی: پساب، زئولیت اصلاح شده، شوری،کلرید کلسیم، نفوذپذیری

مقدمه

با افزایش جمعیت کشورها در دهه‌های اخیر متوسط آب تجدید شونده به شدت کاهش یافته که این روند همچنان نیز ادامه دارد. از سوی دیگر عواملی چون تغییر الگوی مصرف، تغییر در الگوهای بارندگی و گرم شدن تدریجی جهان که موجب پدیدار شدن خشکسالی دوره‌ای گردیده، همچنین عدم سرمایه‌گذاری کافی و مناسب، مدیریت نامناسب منابع آبی موجود و رشد مصرف سرانه آب همگی باعث شده‌اند منابع آبی موجود پاسخگوی نیازهای جمعیت امروز و آینده نباشد (۲). امروزه استفاده از فاضلاب تصفیه شده در کشاورزی باعث کاهش استفاده از آب‌هایی می‌شوند که علاوه بر کشاورزی می‌تواند به مصارف دیگر نظیر شرب برسند. از طرفی افزایش حجم فاضلاب‌ها خود معضلی می‌باشد که سبب گردیده تصفیه خانه‌ها ظرفیت لازم جهت پالایش تمامی فاضلاب‌ها را نداشته باشند. استفاده از فاضلاب‌ها به عنوان منبع آب آبیاری سرشار از آب و عناصر کودی مورد نیاز گیاه، می‌تواند به عنوان یکی از راه‌های بازیافت پساب‌ها مورد توجه قرار گیرد.

استفاده از فاضلاب می‌تواند تاثیرات مثبتی روی خصوصیات فیزیکی خاک داشته باشد (۵). پژوهش صابر (۲۱) نشان داد که با افزایش سال‌های آبیاری با فاضلاب شهری گنجایش نگهداری آب در خاک افزایش می‌یابد. مهیدا (۱۸) نشان داد که بهره‌گیری از فاضلاب به جای آب کانال، سبب بهبود بیشتر ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند نفوذپذیری، تخلخل، پیدایش ساختمان اسفنجی خاک شده است.

گان چالوز و همکاران (۱۵) با بررسی هدایت اشباع و غیراشباع خاک تحت آبیاری با آب و پساب به مدت ۲۴ ماه به این نتیجه رسیدند که هر دو خصوصیت مذکور نسبت به نمونه شاهد (بدون آبیاری) کاهش یافت و میزان کاهش مذکور در تیمار تحت آبیاری با

۱، ۲ و۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
(*- نویسنده مسئول: Email: mahdi.ghobadi@gmail.com)
۴- استاد گروه مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
۵- دانشیار گروه اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

Archive of SID
www.SID.ir

آب بیشتر بود. کیزیلوگلو و همکاران (۱۷) به بررسی تاثیر آبیاری با فاضلاب خام و تصفیه شده بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک آهکی در کشور ترکیه پرداختند و دریافتند که آبیاری با فاضلاب به طور معنی‌داری ویژگی‌های شیمیایی خاک را در عمق صفر تا ۳۰ سانتی-متری تحت تاثیر قرار داده است. به طوری‌که آبیاری با فاضلاب سبب افزایش شوری، میزان مواد آلی خاک، کاتیون‌های سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم تبادلی خاک، فسفر قابل دسترس گیاه و کاهش اسیدیته خاک شده است.

استفاده از فاضلاب با توجه به آن‌که مشکلاتی مانند آبشویی کاتیون‌های محلول به ویژه کلسیم و منیزیم، نیتروژن نیتراتی و کربن آلی از خاک را به همراه دارد، باید با مدیریت صحیح صورت گیرد (۱). از جمله روش‌های مدیریتی استفاده از مواد اصلاحی مانند زئولیت در خاک‌ها برای افزایش ظرفیت تبادلی کاتیونی آن‌ها می‌باشد (۲۰). زئولیت از آلومینوسیلیکات‌های بلورین است که از واحدهای تتراهدرال SiO_4وAlO_4 تشکیل شده و اکسیژن عامل اتصال این واحدهااست (۱۲). این طریقه اتصال ساختار شبکه بلور را ایجاد کرده و داخل آن حفره‌هایی با ابعاد مولکولی ایجاد شده است. سدیم، کلسیم و پتاسیم و دیگر کاتیون‌های تبادلی می‌توانند در حفره‌های ساختمان زئولیت نفوذ کرده و جذب شوند (۱۳ و ۱۶). پدیده تبادل یونی یکی از ویژگی‌های زئولیت‌ها است، در پدیده تبادل یونی یک یون با یون دیگری که به صورت موقت نگهداری می‌شده تبادل می‌گردد (۲۲).

پژوهش‌های انجام شده نشان دهنده توانایی زئولیت در بهبود نسبی کیفیت پساب‌ها بوده است. حسین پور و همکاران (۱) فاضلاب خام و تصفیه شده را در ستون‌های پر شده از خاک لوم‌شنی را در شرایط غرقاب به کار بردند و در پایان آزمایش پارامترهایی مانند pH، شوری و نسبت جذب سدیم در نمونه‌های زه‌آب جمع‌آوری اندازه‌گیری کردند نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها بیانگر آن است میان تمام پارامترهای فوق به جز pH در زه‌آب‌های خروجی همواره کمتر از میانگین آن‌ها در فاضلاب ورودی به ستون‌های خاک است اما با استمرار کاربرد فاضلاب در طول زمان بر مقدار آن‌ها افزوده شده است.

کاربرد زئولیت طبیعی در فیلترهای زمینی به دلیل وجود سدیم در ساختار آن باعث کاهش نفوذپذیری، آبگذری و افزایش SAR زه‌آب خروجی گردد. میرزایی (۱۰) نشان داد که در خاک لوم‌رسی و شن-لومی با افزایش درصد زئولیت هدایت هیدرولیکی کاهش یافت وکاهش هدایت هیدرولیکی در اثر افزایش درصد زئولیت را به قرار گرفتن ذرات زئولیت در خلل و فرج درشت خاک نسبت داد. نتایج پژوهش طاهری سودجانی و همکاران (۴) در ستون‌های آزمایشگاهی پرشده با خاک سیلتی‌لوم و به کار بردن زئولیت طبیعی در دو اندازه‌های ۱۲۵ و ۶۳ میکرون و به میزان ۲ و ۴ درصد وزنی به صورت مخلوط و لایه‌ای با خاک نشان داد که اندازه‌های کوچکتر از ۶۳ میکرون و استفاده به صورت لایه‌ای در وسط هرچند در کاهش نیترات و BOD موثر واقع شده بود اما باعث کاهش بیشتر نفوذپذیری و افزایش بیشتر SAR خروجی نسبت به سایر تیمارها از ستون‌های آزمایشگاهی گردید. این امر می‌تواند موجب ناکارآمدی فیلتر و تخریب ساختمان خاک و اثرات زیست محیطی نامناسب در پایین‌دست گردد.

بررسی‌های فوق نشان می‌دهد که کاربرد لایه‌ای مواد جاذب مانند زئولیت اگرچه می‌تواند مشکلات ناشی از نیترات و BOD را کاهش دهد اما مسأله نفوذپذیری خاک و SAR خروجی در این شرایط حایز اهمیت است. لذا هدف این پژوهش ارزیابی تعداد و نحوه قرارگیری لایه‌های میکروزئولیت اصلاح شده بر میزان آبگذری و کیفیت زه‌آب خروجی از ستون‌های خاک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور بررسی تاثیر دو نوع زئولیت طبیعی و اصلاح شده بر توانایی ترکیب خاک و زئولیت بر کیفیت پساب خروجی و میزان نفوذپذیری نهایی در آبیاری با پساب در دانشگاه شهرکرد انجام گردید. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با دو فاکتور ۱- نوع میکروزئولیت و ۲- روش کاربرد میکروزئولیت با سه تکرار و در مجموع ۷ تیمار مورد آزمایش قرار گرفت. فاکتور اول نوع میکروزئولیت در دو سطح شامل زئولیت طبیعی و زئولیت اصلاح شده با محلول اسیدکلریدریک و کلرید کلسیم (۹) و فاکتور دوم روش کاربرد میکروزئولیت در سه سطح شامل مخلوط با خاک، تک لایه‌ای در سطح خاک و تک لایه‌ای در وسط ستون خاک در خاک به کار گرفته شد. نام‌گذاری تیمارها مطابق جدول ۱ می‌باشد.

جدول۱- مشخصات و علایم اختصاری تیمارهای پژوهش

ردیف	علامت اختصاری	مشخصات تیمار
۱	Ctrl	-
۲	NB	مخلوط زئولیت طبیعی با خاک
۳	NLS	لایه زئولیت طبیعی در سطح خاک
۴	NLI	لایه زئولیت طبیعی در وسط خاک
۵	MB	مخلوط زئولیت اصلاح شده با خاک
۶	MLS	لایه زئولیت اصلاح شده در سطح خاک
۷	MLI	لایه زئولیت اصلاح شده در وسط خاک

N بیانگر زئولیت طبیعی، B بیانگر مخلوط با خاک، LS بیانگر تک لایه‌ای در سطح خاک، LI بیانگر تک لایه‌ای در وسط ستون خاک، و M بیانگر زئولیت اصلاح شده می‌باشد

با توجه به پژوهش طاهری سودجانی (۳) ذرات کوچکتر زئولیت کارایی بهتری نسبت به ذرات با اندازه بزرگتر داشتند. بنابراین برای این پژوهش ذرات زئولیت با اندازه کوچکتر از ۶۳ میکرون انتخاب شد. برای آماده‌سازی، زئولیت با استفاده از دستگاه آسیاب خرد شد و با

Archive of SID

www.SID.ir

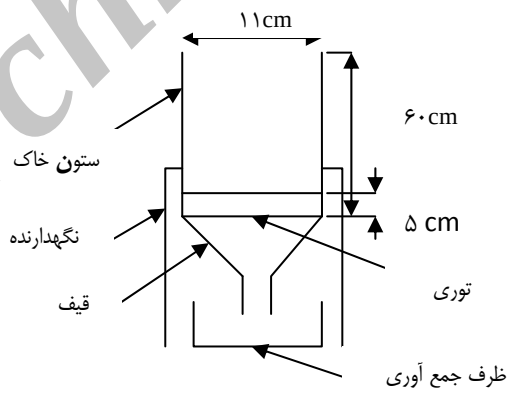
استفاده از الک، ذرات کوچکتر از ۶۳ میکرون جدا شدند. همچنین نتایج پژوهش طباطبائی و همکاران (۵) و طاهری سودجانی و همکاران (۴) نشان داد که استفاده از زئولیت طبیعی موجب کاهش نفوذپذیری و افزایش SAR زه‌آب خروجی می‌شود که استفاده از آن را با محدودیت مواجه می‌کند، لذا برای رفع دو مشکل فوق زئولیت با استفاده از اسیدکلریدریک و کلرید کلسیم اصلاح گردید. جهت اصلاح زئولیت مقدار یک گرم نمک کلریدکلسیم درون اسید کلریدریک یک نرمال ریخته شد و سپس به محلول حاضر ده گرم زئولیت اضافه گردید به‌گونه‌ای که نسبت فاز جامد به محلول ۱:۱۰ بود. محلول مورد نظر به مدت ۲۴ ساعت روی شیکر قرار داده شد. جهت خارج ساختن اسیدهای باقی مانده محلول فوق با آب مقطر شستشو و از کاغذ صافی عبور داده شد و به صورت متوالی pH آن اندازه‌گیری گردید تا به مقدار ثابتی برسد و پس از آن در ظروف پلی اتیلنی و در هوای آزاد خشک شد (۹).

در این آزمایش از ستون‌هایی با طول ۶۰ سانتی‌متر و قطر ۱۱ سانتی‌متر از جنس PVC استفاده شد (۸). نحوه آماده‌سازی ستون‌ها مطابق شکل ۱ از پایین به بالا بدین شرح است.

ابتدا توری فلزی در انتهای ستون برای نگهداری خاک ستون قرار گرفت، سپس حدود ۵ سانتی‌متر فیلتر به عنوان زهکش (مطابق استاندارد USBR آماده شده بود) روی توری فلزی، در انتهای ستون ریخته شد، در بالای فیلتر ۴۰ سانتی‌متر خاک و یا ترکیب خاک و زئولیت به میزان ۴ درصد وزنی خاک مورد استفاده مطابق با تیمارها به صورت لایه‌ای یا مخلوط از ترکیب خاک مورد آزمایش و زئولیت پر شد، سپس ۵ سانتی‌متر روی سطح خاک برای بهم نخوردن سطح خاک شن درشت ریخته شد. ۱۰ سانتی‌متر بالای آن نیز فضای خالی به منظور تزریق پساب در نظر گرفته شد. برای جلوگیری از حرکت جانبی آب از کناره ستون‌ها به طرف پایین، قسمت داخلی آن‌ها با استفاده از گریس پوشانده شد (۴).

پساب مورد استفاده از دانشگاه شهرکرد تامین می‌گردید که با استفاده از فیلتر شنی و فیلتر دیسکی تا ذرات ۲۵۰ میکرون تصفیه می‌گردید. تزریق پساب به داخل خاک به طریق غرقابی و ۱۵مرتبه با تناوب هفتگی تکرار شد. حجم پساب به کار برده شده در سه آبیاری اول ۱/۵vn و در کاربردهای بعدی هر مرتبه برابرnv بود که در این رابطه n تخلخل و v حجم کل ستون خاک می‌باشد. در تناوب‌های تزریق۱، ۳، ۵، ۷، ۱۱و ۱۵ نفوذ به روش بار افتان اندازه‌گیری شد. در تمام مراحل تزریق میزان هدایت الکتریکی و pH اندازه‌گیری گردید. همچنین در تناوب‌های ۱، ۵، ۱۱ و ۱۵ مقدار سدیم، مجموع کلسیم و منیزیم و SAR اندازه‌گیری شد. پس از جمع‌آوری اطلاعات فوق، درصد تغییرات پارامترهای کیفی آب در هر مرتبه آزمایش از معادله ۱ محاسبه شد و روند تغییرات این پارامترها در طول دوره آزمایش بررسی گردید. سپس با استفاده از نرم افزار Excel سرعت نفوذنهایی محاسبه گردید. آنالیز آماری و مقایسه اثرات فاکتورها با استفاده از نرم افزار آماریSAS صورت گرفت. برخی از خصوصیات خاک و پساب مورد استفاده به ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ آورده شده است.

$$\text{درصد تغییرات} = \frac{\text{پارامتر ورودی} - \text{پارامتر خروجی}}{\text{پارامتر ورودی}} \times ۱۰۰ \qquad (۱)$$



شکل ۱- ویژگی‌های ستون‌های آزمایشگاهی مورد استفاده در پژوهش و نحوه پر کردن آن

جدول۲- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک دانشگاه شهرکرد

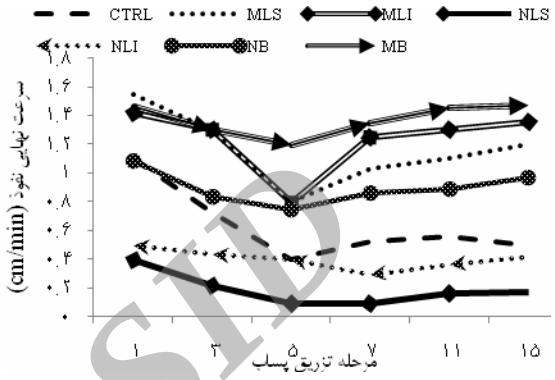
خاک	بافت خاک	وزن مخصوص ظاهری $(gr.cm^{-3})$	وزن مخصوص حقیقی $(gr.cm^{-3})$	pH	EC $(dS.m^{-1})$	Na $(meq.L^{-1})$	N $(mg.kg^{-1})$
دانشگاه شهرکرد	سیلت لوم	۱/۱۵	۲/۶۱	۸/۳۲	۰/۳۱	۰/۶۱	۱۴/۴۵

Archive of SID

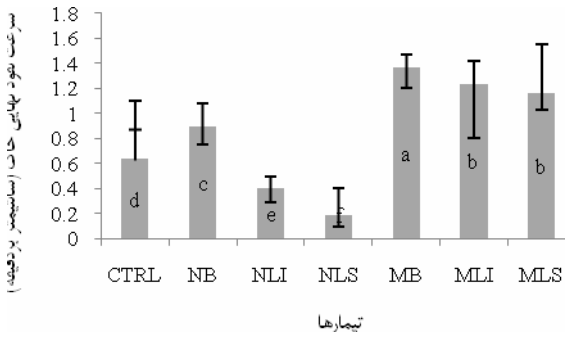
www.SID.ir

جدول ۳- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی پساب مورد استفاده

ویژگی	pH	EC ($dS.m^{-1}$)	TDS ($mg.L^{-1}$)	NO_3^- ($mg.L^{-1}$)	SAR $(mmol.L^{-1})^{0.5}$	Na^+ ($meq.L^{-1}$)	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$ ($meq.L^{-1}$)
بیشینه	۸/۱۲	۷	۱۶۰۵	۴۸/۳۱	۴/۳۸	۷	۶/۱
کمینه	۷/۷۸	۰/۷۵	۴۷۱	۲۴/۹۱	۲/۷۳	۴/۵	۵/۱
میانگین	۷/۹۵	۱/۳۶	۱۰۳۶	۳۶/۶۱	۳/۵۶	۵/۷۵	۵/۶



شکل ۲- سرعت نهایی نفوذ خاک در کلیه دوره‌های تزریق



شکل ۳- میانگین هدایت هیدرولیکی در شش مرحله تزریق پساب

نتایج و بحث

بررسی تغییرات نفوذ طی دوره آزمایش

شکل ۲ سرعت نفوذ اندازه‌گیری شده در مراحل تزریق آب ۱، ۳، ۵، ۷، ۱۱ و ۱۵ را نشان می دهد. با توجه به شکل مذکور در مرحله ۱ تا ۵ به علت شوری بالای پساب شدت نفوذ کاهش یافته اما از مرحله پنجم به تدریج افزایش نسبی نفوذ در تمام تیمارها مشاهده شد که با نتایج طباطبائی و همکاران (۶) مبنی بر بهبود سرعت نفوذ در استفاده از پساب مطابقت داشت. بیشترین و کمترین سرعت نفوذ به ترتیب متعلق به تیمارهای اصلاح شده مخلوط (MB) و کاربرد زئولیت طبیعی به صورت لایه‌ای در سطح (NLS) می‌باشد. طاهری سودجانی (۴) نشان داد که کاربرد زئولیت طبیعی به صورت لایه‌ای نسبت به مخلوط، نفوذپذیری را بیشتر کاهش می‌دهد، که در این پژوهش نیز این روند مشاهده شد. اما همانگونه که از شکل ۳ مشاهده می‌شود، استفاده از کلسیم برای اصلاح زئولیت توانسته نفوذپذیری را نسبت به تیمارهای دارای زئولیت طبیعی افزایش دهد و مشکل زئولیت طبیعی را در رابطه با کاهش نفوذپذیری و برهم زدن ساختمان خاک در اثر خروج تدریجی سدیم از ساختار آن‌ها حل نماید. همچنین در تیمارهای اصلاح شده بر خلاف تیمارهای طبیعی، اختلاف معنی‌داری بین کاربرد در سطح و یا در وسط خاک وجود ندارد و اختلاف بین تیمارهای مخلوط و لایه‌ای زیاد نمی‌باشد. لازم به ذکر است که در هر دو تیمار اصلاح شده و طبیعی، تحوه کاربرد زئولیت تاثیر مشابهی روی تغییرات میزان سرعت نفوذ در تیمارهای مخلوط و لایه‌ای دارد، بدین معنی که تیمار "مخلوط" و "لایه‌ای در سطح" به ترتیب دارای بیشترین و کمترین سرعت نفوذ در میان تیمارهای مشابه است. نتایج به طور کلی نشان می‌دهد که تیمارهای زئولیت اصلاح شده نفوذپذیری بالاتری نسبت به تیمارهای زئولیت طبیعی و حتی کنترل دارند به گونه‌ای که اثر نوع زئولیت و روش کاربرد زئولیت و هم‌چنین اثر متقابل نوع و روش کاربرد زئولیت در سطح یک درصد با استفاده از آزمون دانکن معنی‌دار شدند.

تغییرات هدایت الکتریکی (شوری)

همانطور که در شکل ۴ و ۵ نشان داده شده است میانگین شوری در نمونه‌های زه‌آب جمع آوری شده بیانگر آن است که میانگین مقدار شوری در زه‌آب خروجی همواره بیشتر از میانگین آن در پساب ورودی است که این موضوع با توجه به کسر آبشویی ۸۵ درصد که در آزمایش‌ها اتفاق افتاده است و همچنین بر اساس پژوهش‌کریستن و همکاران (۱۴) قابل توجیه است. همچنین عکاشه (۷) بیان کرد که نمک‌ها می‌توانند از ساختار زئولیت جذب یا دفع شوند. بنابراین دفع نمک‌ها باعث افزایش هدایت الکتریکی زه‌آب خروجی گردیده است. طاهری سودجانی و همکاران (۵) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند.

هدایت الکتریکی تیمارهای زئولیت اصلاح شده نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. همچنین مقایسه کل تیمارها نشان داد که تیمارهای مخلوط نسبت به لایه‌ای، شوری کمتری در خروجی ایجاد

Archive of SID

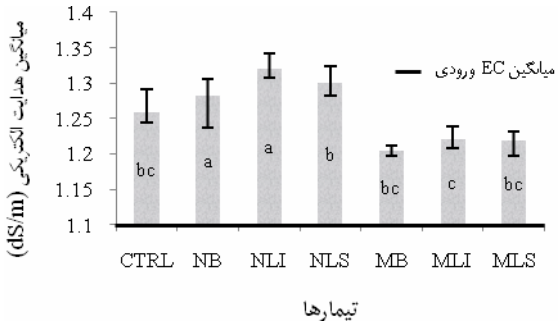
www.SID.ir

می‌کند که با نتایج طاهری سودجانی و همکاران (۵) تطابق دارد که دلیل امر بالاتر بودن هدایت الکتریکی زئولیت نسبت به خاک است و در نتیجه در اثر عبور پساب از لایه زئولیت هدایت الکتریکی آن افزایش می‌یابد.

بیشترین میزان درصد تغییرات هدایت الکتریکی مربوط به تیمار NLI و کمترین آن مربوط به تیمار MB بود. به طور کلی تیمارهای اصلاح شده ۲۶/۵۰ درصد نسبت به تیمار شاهد مقدار EC را کاهش داده‌اند و تیمارهای طبیعی ۲۲ درصد مقدار EC را نسبت به تیمار شاهد افزایش داده‌اند. مقایسه تیمارها توسط آزمون دانکن و در سطح یک درصد صورت گرفت. تیمارهایی که در هر دور تزریق پساب حروف مشترک دارند در سطح یک درصد معنی دار نیستند.

تغییرات غلظت سدیم درعبور از ستون خاک-زئولیت

نتایج نشان می‌دهد که میزان سدیم پساب ورودی همواره کمتر از میزان سدیم خارج شده از زه‌آب خروجی تیمارهای دارای زئولیت طبیعی است، همچنین به علت خروج سدیم از ساختار زئولیت طبیعی، سدیم خروجی از تیمار شاهد در کلیه مراحل تزریق کمتر از تیمارهای با زئولیت طبیعی می‌باشد (شکل ۶). عکاشه (۷)، پانسیو و همکاران (۱۹)، زمانیان (۳) و طاهری سودجانی و همکاران (۵) نیز نتایج مشابهی در همین زمینه بدست آوردند در بعضی از تیمارهای اصلاح شده جذب سدیم توسط زئولیت و خاک مشاهده می‌شود (شکل ۷). با توجه به اینکه ساختار زئولیت طبیعی با استفاده از کلسیم اصلاح شده بود، تیمارهای اصلاح شده نسبت به تیمارهای طبیعی ۱۱۱ درصد میزان سدیم خروجی را کاهش داده‌اند و در این زمینه تیمارهای لایه‌ای بهتر عمل کرده‌اند. همچنین میزان سدیم خروجی از تیمارهای اصلاح شده و طبیعی نسبت به تیمار شاهد به ترتیب۷۳ و ۳۵۸ درصد افزایش یافته است. در تیمارهای دارای زئولیت طبیعی تیمارهای لایه‌ای در کلیه مراحل تزریق با یکدیگر از لحاظ آماری تفاوت معنی-



شکل ٤-میانگین هدایت الکتریکی پساب ورودی و زه‌آب خروجی از ستون‌ها در کل دوره

داری دارند و بیشترین مقدار سدیم خروجی متعلق به تیمار لایه‌ای در وسط می‌باشد. همچنین تیمارهای لایه‌ای تا تزریق یازدهم با تیمار مخلوط از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری دارند اما در تزریق پانزدهم تیمار لایه‌ای سطح با تیمار مخلوط تفاوت معنی‌داری ندارد.

نکته قابل ذکر اینست که تیمار شاهد تمایل به جذب سدیم در ساختار خود دارد که این امر در بلند مدت می‌توان موجب تخریب ساختمان خاک گردد، اما استفاده از زئولیت توانسته است جذب سدیم را کاهش دهد، این امر به خصوص در تیمارهای مخلوط محسوس‌تر است. با بررسی روند تغییرات نفوذپذیری (شکل ۲) نیز مشاهده می‌شود که در اثر کاربرد فاضلاب با شوری بالا، در تیمار شاهد نفوذپذیری به شدت تحت تاثیر کیفیت پساب قرار گرفته است اما شیب تغییرات در تیمارهای مخلوط بسیار کمتر است به گونه‌ای که پایداری بیشتری برای خاک به وجود آورده است. بنابراین می‌توان بیان داشت که تیمارهای مخلوط برای استفاده در خاک و بهبود شرایط خاک دارای برتری نسبی می‌باشند و تیمارهای اصلاح شده با کاربرد لایه‌ای برای کاربردهای فیلتری گزینه مناسب‌تری هستند.

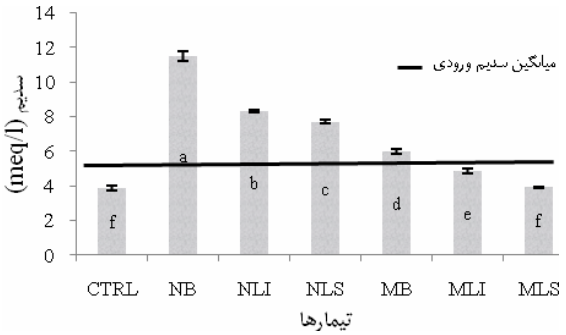
تغییرات غلظت کلسیم و منیزیم درعبور از ستون خاک-زئولیت

با توجه به شکل‌های ۸ و ۹ میزان کلسیم و منیزیم خروجی از تیمار شاهد کمتر از تیمارهای اصلاح شده و بیشتر از تیمارهای طبیعی می‌باشد. که علت این امر خروج کلسیم از ساختار زئولیت اصلاح شده و جذب کلسیم توسط خاک و زئولیت در تیمارهای طبیعی می‌باشد که با نتایج عکاشه (۷)، زمانیان (۳) و ناظم (۱۱) مطابقت دارد. بنابراین کاربرد زئولیت طبیعی باعث کاهش آبشویی مجموع کلسیم و منیزیم پساب شده است که این نتایج در ارتباط با کاهش آبشویی مجموع کلسیم و منیزیم توسط زئولیت طبیعی کلینوپتیلولایت سمنان با نتایج طاهری سودجانی و همکاران (۵) مطابقت دارد.

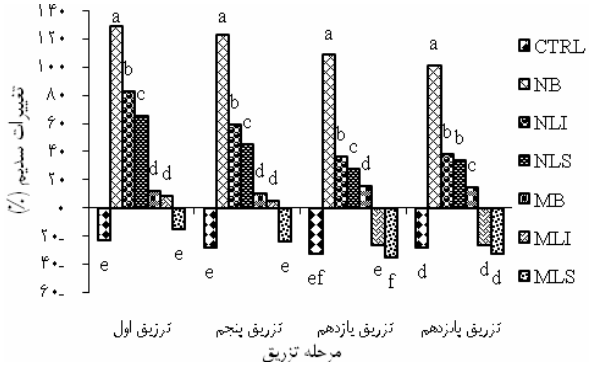
شکل ۵- میانگین درصد تغییرات هدایت الکتریکی در کل دوره

Archive of SID

www.SID.ir

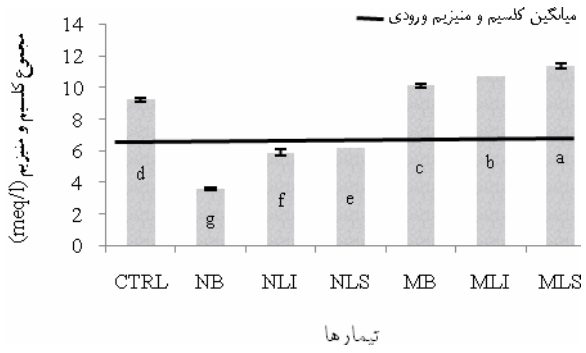


شکل ٦- میانگین سدیم پساب خروجی در کل دوره



شکل ۷- میانگین درصد تغییرات سدیم پساب خروجی در کل دوره

میزان کلسیم و منیزیم خروجی از تیمارهای اصلاح شده نسبت به تیمار شاهد ۴۰ درصد بیشتر بوده در حالی که در تیمارهای طبیعی ۱۰۶ درصد نسبت به تیمار شاهد مقدار کلسیم و منیزیم خروجی را کاهش داده‌اند. همانگونه که از شکل ۸ مشاهده می‌شود در تیمار شاهد خروجی کلسیم و منیزیم بیش از میزان ورودی است، استفاده از فاضلاب طی زمان می‌تواند موجب تخریب ساختمان خاک گردد اما استفاده از زئولیت توانسته است کلسیم و منیزیم بیشتری در ساختار خود حفظ کند. در تیمارهای زئولیت لایه‌ای هر چند وضعیت نسبت به شاهد بهبود یافته است اما مشاهده می‌شود که میزان کلسیم و منیزیم خروجی و ورودی تقریبا یکسان است و خاک نتوانسته است این دو کاتیون را در خود ذخیره نماید (جدول ۴). در مورد تیمارهای اصلاح شده به دلیل وجود کلسیم و منیزم در ساختار زئولیت اصلاح شده، مجموع کلسیم و منیزم خروجی بیشتر از ورودی است. اما در مجموع تیمارهای مخلوط توانسته است کنترل بیشتری روی خروج کلسیم و منیزیم از خاک داشته باشد و شرایط بهتری برای خاک فراهم آورد و تیمارهای اصلاح شده لایه‌ای، زه آب مناسب‌تری را برای استفاده در اختیار قرار می‌دهند و می‌توانند به عنوان فیلترهای خاکی مورد استفاده قرار گیرند.

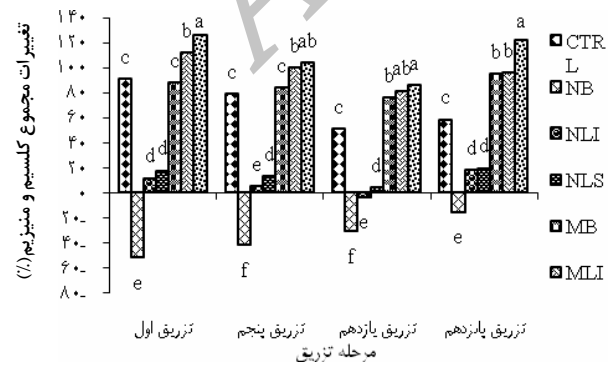


شکل ۸- میانگین کلسیم و منیزیم پساب خروجی در کل دوره

تغییرات SAR درعبور از ستون خاک-زئولیت

با توجه به شکل ۱۰ تیمار شاهد نسبت به کلیه تیمارهای دارای زئولیت طبیعی کمترین میزان SAR خروجی را دارد که این نتایج با نتایج حسین پور و همکاران (۱)، کریستن و همکاران (۱۴) و طاهری سودجانی و همکاران (۵) مطابقت دارد.

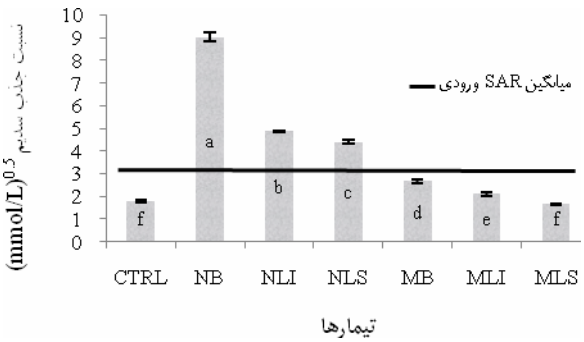
همانطور که در شکل‌های۱۰ و ۱۱ مشاهده می‌شود تیمارهای دارای زئولیت اصلاح شده باعث کاهش میزان SAR خروجی شدند که این موضوع به علت اصلاح زئولیت و خروج سدیم موجود در ساختار آن می‌باشد. همچنین تیمارهای اصلاح شده ۴۵ درصد نسبت به تیمار شاهد و ۱۳۲ درصد نسبت به تیمارهای طبیعی میزان SAR را کاهش دادند. میزان SAR خروجی از کلیه تیمارها کمتر از $(mmol/L)^{0.5}$ ۱۰ می‌باشند که با توجه به نمودار ویلکاکس در رده S1 قرار می‌گیرند. نتایج همچنین نشان می‌دهد که تیمارهای لایه‌ای در این مورد عملکرد بهتری داشته‌اند و توانسته‌اند SAR کمتری برای زه‌آب خروجی ایجاد نمایند که نتیجه آن آب مناسب‌تر برای استفاده است.



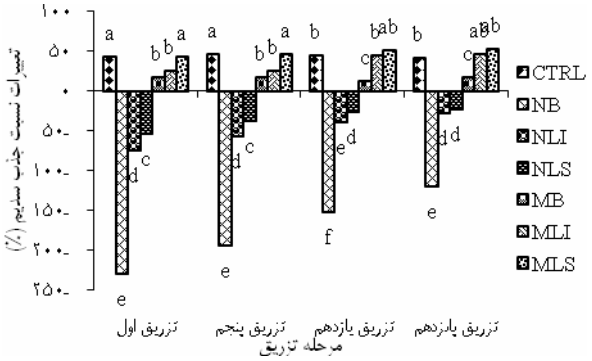
شکل ۹-درصد تغییرات مجموع کلسیم و منیزیم پساب در مراحل مختلف تزریق

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱۰- میانگین SAR پساب خروجی در کل دوره



شکل ۱۱- درصد تغییرات SAR در مراحل مختلف تزریق

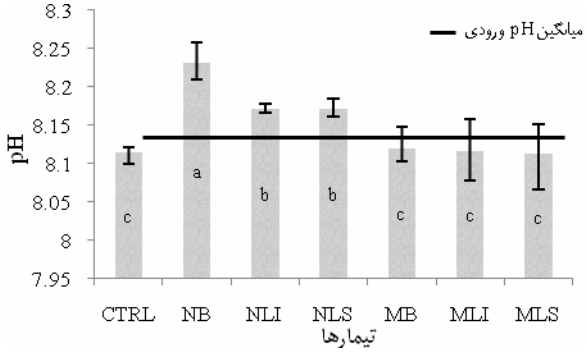
بیشترین مقدار SAR در کل دوره‌های تزریق مربوط به تیمار NB می‌باشد و در هر دو نوع زئولیت به کار برده شده تیمار لایه‌ای در وسط نسبت به تیمار لایه‌ای در سطح دارای SAR خروجی بیشتری بوده است. بنابراین تیمارهای اصلاح شده لایه‌ای می‌توانند نقش فیلتری مناسب‌تری در بهبود کیفیت پساب داشته باشند.

تغییرات pH

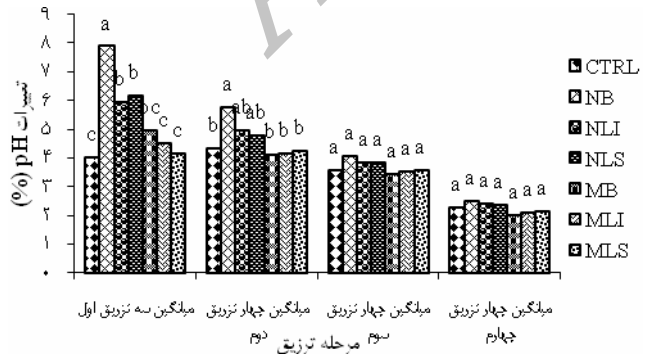
همانطور که در شکل ۱۲مشاهده می‌شود pH پساب خروجی در کلیه دوره‌ها بیشتر از pH ورودی است. با توجه به شکل ۱۳ مشاهده می‌شود که در میانگین سه تزریق اول کلیه تیمارها دارای pH خروجی بیشتری نسبت به تیمار شاهد بوده‌اند، همچنین مشاهده می‌شود که در کلیه دوره‌ها pH تیمارهایی که دارای زئولیت اصلاح شده کمتر از pH تیمارهای دارای زئولیت طبیعی بود. قلیایتی که سدیم در خاک ایجاد می‌کند بیشتر از کلسیم است و همین امر باعث اختلاف بین تیمارها گردیده است که با افزایش مراحل تزریق پساب و با شسته شدن و خروج کلسیم و منیزیم از تیمارهای آزمایش اختلاف بین آنها کاهش یافته است. طاهری سودجانی و همکاران (۵)، زمانیان (۳) و میرزایی (۱۰) به نتایج مشابهی در زمینه افزایش pH خروجی در نتیجه استفاده از زئولیت طبیعی به صورت مخلوط ولایه ای با خاک دست یافت. در تیمارهای دارای زئولیت طبیعی تیمارهای لایه‌ای در هیچ کدام از مراحل تزریق با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند اما در چهار تزریق اول با تیمار مخلوط از لحاظ آماری تفاوت دارند. در تیمارهای دارای زئولیت اصلاح شده هیچ یک از تیمارهای لایه‌ای تفاوت معنی‌داری در هیچ کدام از مراحل تزریق با یکدیگر ندارند. لازم به ذکر است که هرچند استفاده از زئولیت باعث افزایش pH و قلیایی‌تر شدن زه‌آب گردیده است و از لحاظ آماری معنادار شده است اما باید توجه داشت که از لحاظ فیزیکی اختلاف بین تیمارهای دارای زئولیت طبیعی و اصلاح شده ناچیز می‌باشد.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر دو نوع زئولیت طبیعی و اصلاح شده و سه روش کاربرد (مخلوط، لایه‌ای در سطح و لایه‌ای در وسط) روی تصفیه زمینی پساب مورد آزمون قرار گرفت و نتایج زیر حاصل شد:



شکل ۱۲- میانگین pH پساب خروجی در کل دوره



شکل ۱۳- درصد تغییرات pH پساب در دورهای مختلف تزریق پساب

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٤- تجزیه واریانس پارامترهای کیفی زه آب خروجی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		EC	Na^+	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$	SAR	pH
مرحله تزریق پساب	۳	۱۹۳۹/۷۴**	۱۶۳۱/۶۱**	۲۰۴۹/۸۸**	۷۸۴۳/۳۱**	۳۸/۸۶**
نوع زئولیت	۱	۷۷۹/۳۶**	۷۹۶۲۲/۶۱**	۱۴۰۶۳۵/۶۴**	۲۱۲۸۸۲/۳۱**	۱۱/۶۷**
روش کاربرد زئولیت	۳	۲۸/۸۷^{ns}	۳۷۷۰۰/۰۴**	۸۹۲۸/۶۷**	۷۰۱۵۹/۹۰**	۲/۳۸**
مرحله تزریق پساب × نوع زئولیت	۳	۳۸/۳۲^{ns}	۳۵۶/۷۳*	۳۸۹/۶۵**	۲۴۷۷/۱۴**	۲/۳۴**
مرحله تزریق پساب × روش کاربرد زئولیت	۹	۷/۶۳^{ns}	۵۴۶/۵۲**	۶۸۱/۱۱**	۱۰۲۲/۳۳**	۱/۲۴*
نوع زئولیت × روش کاربرد زئولیت	۳	۹۱/۷۲**	۱۰۹۳۱/۳۰**	۱۶۷۱۹/۲۵**	۴۰۴۹۲/۰۸**	۱/۹۰**
مرحله تزریق×نوع زئولیت×روش کاربرد	۹	۵/۲۰^{ns}	۱۰۹/۸۵^{ns}	۱۰۳/۳۰**	۱۰۳۳/۳۹**	۰/۳۶^{ns}
خطا	۶۲	۱۶/۰۱	۱۰۹/۸۳	۲۲/۳۳	۶۱/۳۲**	۰/۴۹

* و **- معنی داری اثر تیمار آزمایش در سطح ۵ و ۱ درصد ns معنی دار نبودن اثر تیمار آزمایشی در سطح ۵ درصد

- اصلاح زئولیت با استفاده از اسیدکلریدریک و کلرید کلسیم، باعث افزایش سرعت نفوذ نهایی خاک در آبیاری با پساب گردید به گونه‌ای که به طور میانگین تیمارهای دارای زئولیت اصلاح شده نسبت به تیمار شاهد و تیمارهای زئولیت طبیعی به ترتیب ۹۷ و ۱۵۲ درصد سرعت نفوذ نهایی خاک را افزایش داد.

- استفاده از زئولیت به صورت مخلوط دارای آبگذری بیشتری نسبت به کاربرد آن به صورت لایه‌ای است.

- با توجه به جدول ۴، اصلاح زئولیت روی میزان شوری، سدیم، کلسیم و منیزم، SAR و pH خروجی تأثیر معنی‌داری داشته است و توانسته است کیفیت زه آب را بهبود دهد.

- نتایج نشان داد که برای استفاده از پساب در مزرعه بهتر از زئولیت استفاده شود. زئولیت اصلاح شده با کلسیم توانسته است علاوه بر حفظ نفوذپذیری خاک، کیفیت زه‌آب خروجی را نیز ارتقا دهد تا برای پایین‌دست مشکلات کمتری را به وجود آورد.

- توصیه می‌شود در صورتی‌که هدف استفاده از پساب در مزرعه برای آبیاری محصول باشد، زئولیت به صورت مخلوط و در صورتی‌که هدف بهبود شرایط کیفی پساب باشد از زئولیت به صورت لایه‌ای به عنوان فیلتر در ابتدای مزرعه استفاده شود.

منابع

۱- حسین پور ا.، حق‌نیا غ.م. علیزاده ا. و فتوت ا. ۱۳۸۸. بررسی تغییرات کیفیت شیمیایی فاضلاب خام و پساب شهری در اثر عبور از ستون-های خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ۲۳(۳)، ۴۵-۵۶.

۲- خدا رحمی ر. ۱۳۸۹. اهمیت و ضرورت بازچرخانی پساب در توسعه پایدار کشاورزی، همایش ملی مدیریت پسماند و پساب‌های کشاورزی، تهران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

۳- زمانیان م. ۱۳۸۷. بررسی شاخصهای آلودگی شیمیایی و میکروبی در تصفیه زمینی شیرابه کارخانه کود آلی اصفهان و تاثیر کاربرد زئولیت. پایان نامه کاشناسی ارشد مهندسی آب. دانشکده‌ی کشاورزی. دانشگاه شهرکرد.

۴- طاهری سودجانی ه. ۱۳۹۱. بررسی تاثیر استفاده از پساب شهرکرد و ذرات میکروزئولیت بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک دانشگاه شهرکرد. پایان نامه کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد.

۵- طاهری سودجانی ه.، قبادی‌نیا م.، طباطبائی س.ح.، بیگی هرچگانی ب. و کاظمیان ح. ۱۳۹۲. بررسی تاثیر روش‌های کاربرد، اندازه ذرات و درصد زئولیت بر کیفیت پساب شهری. مجله پژوهش آب در کشاورزی.۲۷(۲). ۲۱۵-۲۲۷.

۶- طباطبائی س.ح.، طاهری سودجانی ه. و قبادی‌نیا م. ۱۳۹۱. اثر استفاده از پساب شهری بر نفوذپذیری خاک در شرایط استفاده از زئولیت. اولین همایش ملی بحران آب و پیامدهای ناشی از آن. دانشگاه آزاد اسلامی واحد فردوس مشهد.

۷- عکاشه ل. ۱۳۸۶. کاربرد زئولیت طبیعی به منظور جذب عناصر سنگین موجود در شیرابه کارخانه کود آلی اصفهان. پایان نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان.

۸- قانی ف.، طباطبائی س.ح.، قربانی دشتکی ش. ۱۳۹۱. تاثیر سنگ ریزه و قطر نمونه بر جریان آب در خاک. مجله مدیریت خاک. ۱(۱). ۱۹-۲۹.

۹- مرتضوی س.ب.، اصیلیان مهابادی ح.، فقیه زاده س.، سالم م.، کاظمیان ح. و شاه طاهری س.ج. ۱۳۸۲. حذف آمونیاک از هوا به وسیله

Archive of SID

www.SID.ir

زئولیت‌های طبیعی اصلاح شده (کلینوپتیلولیت) ایران با استفاده از روش تبادل یون. نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران.۲۲(۲). ۳۷-۳۱.
۱۰- میرزایی م.ج. ۱۳۸۶. بررسی تصفیه زمینی شیرابه کمپوست کارخانه کود آلی اصفهان و تاثیر کاربرد زئولیت. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۱۱- ناظم ز. ۱۳۸۶. بررسی امکان تصفیه زمینی شیرابه کمپوست کود آلی اصفهان. پایان نامه کاشناسی ارشد خاکشناسی. دانشکده‌ی کشاورزی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان.
12- Babel S. and Kurniawan T. A. 2002. Low-cost adsorbent for heavy metals uptake from contaminated water review. Journal Hazardous materials, 97(1):219-243
13- Bailey S.E., Olin T.J., Bricka M., and Adrian D.D. 1999. A Review of potentially low-cost sorbents for heavy metals. Journal Water Research, 33 11: 2469-2479.
14- Christen E.W., Quayle W.C., Marcoux M.A., Arienzo M. and Jayawardane N.S. 2010. Winnery wastewater treatment using the land filter technique. Journal of Environmental Management, 91:1665-1673
15- Gonçalves R.A.B., Folegatti M.V., Gloaguen T.V., Libardi P.L., Montes C.R., Lucas Y., Dias C.T.S., and Melfi A.J. 2007. Hydraulic conductivity of a soil irrigated with treated sewage effluent. Geoderma j, 139 :241–248.
16- Kazemian H. and Ghaffari-Kashani T. 2008. Agricultural application of zeolited fly ash. p 489-490.1sh Iran International Zeolite Conference, April 29-May 1, Tehran, Iran.
17- Kiziloglu F.M., Turan M., Sahin U., Kuslu Y. and Dursun A. 2008. Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica olerecea* L. var. botrytis) and red cabbage (*Brassica olerecea* L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey. Agricultural Water Management, 95:716-724.
18- Mahida U.N. 1981.Water Pollution and Disposal of Wastewater on Land.. McGrow-Hill pub., New Delhi., 323 pp.
19- Panuccio M.R., Cocrea F., Sorgona A. and Cacco G. 2007. Adsorption of nutrients and cadmium by different minerals: Experimental studies and modeling Journal of Environmental Management, 88:890-898.
20- Ramesh K. and Reddy D.D. 2011. Zeolites and their potential uses in agriculture. Advances in Agronomy, 113:219-240.
21- Saber M.S.M. 1986.Prolonged Effect of land disposal of human waste on soil conditions. Water Science Technology,18: 371-374.
22- Wang S., and Peng Y. 2010. Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment. Chemical Engineering Journal,156:11–24.

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of Water and Soil
Vol. 28, No. 3, Jul.-Agu. 2014, p. 587-596

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۸، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۳، ص. ۵۹۶-۵۸۷

Effect of Applying Method of Modified Zeolite on Soil Permeability and Sewage Quality

M. Hajhashemkhani[1] – M. Ghobadinia[2]* – S.H. Tabatabaei[3] – A. Hosseinpour[4] – S. Houshmand[5]

Received:03-10-2013
Accepted:29-04-2014

Abstract

Wastewater is one of the resources which is using, recently, for irrigation due to the scarcity of water resources. In this regard, using adsorbents such as zeolites is recommended to improve the indexes of the wastewater. The results show that although natural zeolite decreases the amount of pollutions, it decreases the permeability of the soil, which could adversely affect the soil structure. This study was done in 2012 at Shahrekord University in which 21 PVC columns were used to study the effect of modified zeolite particles on permeability and quality of sewage. The experiment consisted of two factors: the type of the microzeolite (natural zeolite, modified zeolite) and application method of the micro zeolite (mixed, layered) with three replications in 7 treatments. Injection of sewage into the soil was through flood irrigation and repeated fifteen times with a weekly frequency. Volume of sewage used in each injection was equal to pour valume. In frequency injections of 1, 3, 5, 7, 11, 15, infiltration was measured by using Falling Heads. The results showed that treatment of modified zeolite (included mixed, middle layer and layer on the surface) had the highest infiltration rate respectively and treatment with natural zeolite (included mixed, middle layer, layer on the surface) had lowest infiltration rate. Further, modified treatments decreased Na effluent rate 111 percent with respect to natural Zeolite and therefore caused modified treatments to decrease SAR amount to 45%, comparing to control treatments and 132% to natural zeolite. Ultimately the modified zeolite increased the final infiltration rate of the soil and improved effluent quality.

Keywords: Calcium Chloride, Electrical conductivity, Modified Zeolite, Permeability, Sewage

Archive of SID

1,2,3- MSc. Student, Assistant Professor and Associate Professor of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shahrekord University
(* - Corresponding Author Email: mahdi.ghobadi@gmail.com)
4- Professor of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Shahrekord University
5- Associate Professor of Agronomy and Plant Breeding Department, Faculty of Agriculture, Shahrekord University

www.SID.ir