

سومین همایش ملی مهندسی عمران
دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر - ۱۳۹۰

بررسی شیوه کاربرد، اندازه و مقادیر مختلف زئولیت بر روی خصوصیات پساب خروجی از ستون‌های خاک

هاجر طاهری سودجانی^۱، مهدی قبادی‌نیا^۲، سید حسن طباطبایی^۳، مجید فرزانه^۴، حسین
کاظمیان^۵

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۴- محقق مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی چهارمحال و بختیاری

۵- دانشیار دانشکده شیمی دانشگاه اوتاریو غربی

Hajar_taheri2001@yahoo.com

Mahdi.ghobadi@gmail.com

stabaei@agr.sku.ac.ir

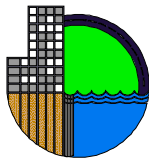
mj.farzan@yahoo.com

hosseinkazemian@gmail.com

چکیده

خاک‌ها با دارا بودن ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی و زیستی پیچیده، توانایی خوبی در حذف انواع آلاینده‌ها، از جمله آلاینده‌های موجود در پساب را از خود نشان می‌دهند. خاک‌ها معمولاً ظرفیت محدودی دارند برای بهبود تصفیه و افزایش ظرفیت خاک مواد مختلفی به خاک اضافه می‌گردد از جمله این مواد می‌توان به زئولیت اشاره نمود. برای بررسی تاثیر روش، میزان کاربرد و اندازه زئولیت بر خصوصیات پساب خروجی از ستون‌های خاک، تحقیقی در دانشگاه شهرکرد انجام گرفت. در این تحقیق و به منظور کنترل عوامل مؤثر بر محیط، آزمایش‌ها در داخل ۲۷ ستون پی وی سی انجام شد. این آزمایش مشتمل بر ۹ تیمار و ۳ تکرار بود. هر یک از تیمارها را با علامت اختصاری MB2، MB4، MA2، MA4، LB2، LB4، LA2، LA4 نمایش داده می‌شود. M بیانگر مخلوط با خاک، L بیانگر لایه‌ای در خاک، B و A اندازه ذرات زئولیت می‌باشد. تزریق پساب به داخل خاک ۱۲ مرتبه با تناوب هفتگی تکرار شد. نتایج نشان داد که تیمارهای مخلوط و لایه‌ای به ترتیب نسبت به تیمار کنترل تا ۳/۸، ۱۱ درصد شوری و ۳۹۲، ۲۱۹ درصد سدیم و ۷۳۵، ۲۸۱ درصد SAR را در زهاب خروجی افزایش و ۶۱، ۳۰ درصد میزان کلسیم به علاوه منیزیم را در زهاب کاهش دادند.

کلمات کلیدی: پساب، زئولیت، مخلوط، لایه‌ای، ستون خاک



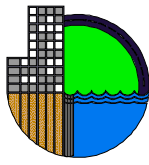
۱- مقدمه

این توجه به رشد جمعیت، ارتقای سطح زندگی، کاهش سرانه آب و از سوی دیگر محدود بودن منابع آبی، دسترسی به منابع آبی جدید ضروری است. از آن جایی که تصفیه پساب نسبت به سایر روش‌های تهیه آب شیرین مقرون به صرفه‌تر می‌باشد و از سوی دیگر جهت حفظ محیط زیست ملزم به تصفیه فاضلاب برای تخلیه به محیط زیست است، به منظور جلوگیری از بیهوده شدن مفهوم تصفیه، بهتر آن است که این پساب مورد مصرف مجدد قرار گرفته و به هدر نرود [۱]. برخی از محققین نیز استفاده از فاضلاب در کشاورزی را به عنوان راه حلی جهت تخلیه فاضلاب‌ها در محیط زیست پیشنهاد می‌کنند [۲]. با توجه به کمبود آب و حجم عظیم فاضلاب‌های تولیدی در مناطق مختلف جهان، نیاز به روش‌هایی جهت تصفیه فاضلاب که از لحاظ اقتصادی و کارایی قابل توجیه باشد، ضرورت می‌یابد [۳]. بررسی‌ها نشان می‌دهند که خاک‌ها با دارا بودن ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی و زیستی بسیار پیچیده، توانایی خوبی در حذف و پالایش انواع آلاینده‌ها، از جمله آلاینده‌های موجود در پساب را از خود نشان می‌دهند [۴].

خاک‌ها معمولاً ظرفیت محدودی دارند برای بهبود تصفیه و افزایش ظرفیت خاک مواد مختلفی به خاک اضافه می‌گردد از جمله این مواد می‌توان به زئولیت اشاره نمود. زئولیت از آلومینوسیلیکات‌های بلورین است که از واحدهای تتراهدرال SiO_4 و AlO_4 تشکیل شده و اکسیژن عامل اتصال این واحدها است [۵]. 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 تبدالی می‌توانند در حفره‌های ساختمان زئولیت نفوذ کرده و جذب شوند و این کاتیون‌ها هم‌چنین می‌توانند توسط عناصر سنگین جایگزین شوند [۶]. با استفاده از تکنیک میکرو می‌توان سطح ویژه ذرات زئولیت را افزایش داد که به طبع آن قدرت جذب آلاینده‌ها، به دلیل افزایش سطح تماس در تبادل یونی، افزایش خواهد یافت.

تبادل یونی یکی از ساده‌ترین و موثرترین روش‌ها در تصفیه‌ی آب می‌باشد [۷]. پدیده تبادل یونی بدون تغییر ساختار زئولیت انجام می‌گیرد. زیرا اسکلت ساختاری زئولیت‌ها شامل کانال‌ها و حفراتی است که کاتیون‌ها و مولکول‌های آب در آن‌ها جای می‌گیرند و تحرک این کاتیون‌ها هیچ تغییری را در شبکه ساختاری به وجود نمی‌آورد [۸]. در تحقیقی اثر زئولیت بر کنترل آب و شوری در خاک بررسی شد. طی این آزمایش زئولیت علاوه بر افزایش ظرفیت نگهداری آب به عنوان یک ملایم کننده زیان شوری برای گیاهان تحت آبیاری با آب شور معرفی شد [۹].

زمانیان و همکاران نشان دادند که افزودن زئولیت به خاک راندمان حذف کل مواد محلول، کلسیم به علاوه منیزیم شیرابه را افزایش می‌دهد و همچنین افزودن زئولیت به خاک باعث افزایش pH خواهد شد [۱۰]. حسین پور و همکاران فاضلاب خام و فاضلاب تصفیه شده در ستون‌های پر شده از خاک لوم شنی در شرایط غرقاب متناوب به کار برده شد در پایان آزمایش پارامترهایی مانند pH، شوری و نسبت جذب سدیم در نمونه‌های زه آب جمع آوری شده اندازه گیری کردند نتایج به دست آمده از آزمایش‌ها بیانگر آن است که میانگین 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 [۱۱]. مهم‌ترین معیار برای ارزیابی اثرات پساب‌ها بر خاک EC و SAR می‌باشد. هم‌چنین استفاده دراز مدت از پساب‌ها در نقاط مختلف دنیا علاوه بر ایجاد تغییراتی در میزان نفوذپذیری موجب تغییر تدریجی شوری خاک‌ها نیز گردیده است [۱۲]. نتایج حاصل از تجزیه خاک سطحی (۰-۳۰ سانتی‌متر) نشان داد که با کاربرد فاضلاب، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک

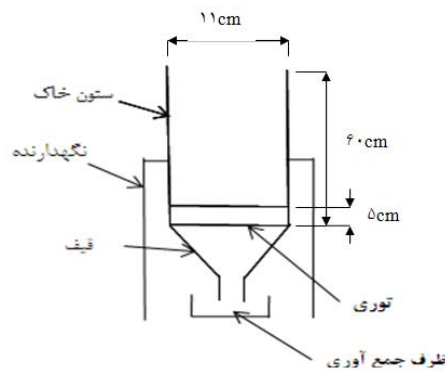


افزایش یافت [۱۳].

تحقیقات بسیاری در زمینه استفاده از زئولیت در خاک صورت گرفته است اما در زمینه کاربرد زئولیت به صورت لایه‌ای در خاک تاکنون تحقیقی صورت نگرفته است. بنابراین این تحقیق با هدف بررسی میزان تغییر ایجاد شده در اثر کاربرد زئولیت کلینوپتیلولیت در دو روش مخلوط و لایه‌ای در خاک بر برخی خصوصیات پساب ورودی به ستون‌های خاک صورت گرفت.

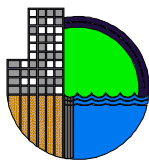
۲- مواد و روش‌ها

برای بررسی تاثیر روش، میزان کاربرد و اندازه زئولیت بر خصوصیات پساب خروجی از ستون‌های خاک، تحقیقی در گلخانه پژوهشی دانشگاه شهرکرد در سال ۱۳۹۰ انجام گرفت. در اجرای این تحقیق و به منظور کنترل کلیه عوامل مؤثر بر محیط، آزمایش‌ها در داخل ۲۷ ستون استوانه‌ای پی وی سی انجام شد. ابعاد ستون‌ها به قطر خارجی ۱۱ سانتیمتر و با ارتفاع ۶۰ سانتیمتر می‌باشد. برای پر نمودن ستون‌ها به ترتیب از پایین به بالا به این صورت عمل گردید. ۵ سانتیمتر کف ستون‌ها با استفاده از فیلتر شنی (انتخاب فیلتر به روش USBR) برای جلوگیری از خروج ذرات خاک از ستون‌ها، ۴۰ سانتیمتر بالای آن مطابق با تیمارها از ترکیب خاک مورد آزمایش و زئولیت سپس ۵ سانتیمتر روی سطح خاک به دلیل بهم نخوردن سطح خاک با استفاده از شن درشت پر شد. ۱۰ سانتیمتر بالای آن نیز فضای خالی به منظور آبیاری در نظر گرفته شد. برای جلوگیری از حرکت جانبی آب از کنار ستون‌ها به طرف پایین، قسمت داخلی آن‌ها با استفاده از گریس پوشانده شد. برای سه آبیاری اول ۲۷ ستون خاک سه بار با استفاده از آب معمولی به میزان $1/5 \text{ m}^3$ آبیاری شد، در این رابطه n تخلخل ستون خاک و v حجم کل ستون خاک می‌باشد. تا خاک به شرایط یکنواخت از لحاظ جرم مخصوص ظاهری، جرم مخصوص حقیقی، هدایت الکتریکی و pH برسد. شکل ۱ ستون‌های آزمایشی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- استوانه آزمایشگاهی

این آزمایش مشتمل بر ۹ تیمار و ۳ تکرار بود. هریک از تیمارها را با علامت اختصاری MB2، MB4، MA2، LA4، LA2، LB4، LB2، MA4 نمایش داده می‌شود که اندیس‌ها را به صورت زیر تعریف می‌شود: M بیانگر مخلوط با خاک، L بیانگر لایه‌ای در خاک، A و B اندازه ذرات میکرو زئولیت می‌باشد. تیمارهای تحقیق مطابق جدول زیر می‌باشند.



سومین همایش ملی مهندسی عمران
دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر - ۱۳۹۰

جدول ۱- مشخصات تیمارها

علامت اختصاری تیمار	روش کاربرد زئولیت	اندازه ی زئولیت (میکرومتر)	در صد مواد زئولیت در خاک
Ctrl	-	-	٪۰
MB2	مخلوط زئولیت با خاک	۱۲۵	٪۲
MB4	مخلوط زئولیت با خاک	۱۲۵	٪۴
MA2	مخلوط زئولیت با خاک	۶۳	٪۲
MA4	مخلوط زئولیت با خاک	۶۳	٪۴
LB2	لایه زئولیت به ضخامت ۷ میلیمتر در خاک	۱۲۵	٪۲
LB4	لایه زئولیت به ضخامت ۱۴ میلیمتر در خاک	۱۲۵	٪۴
LA2	لایه زئولیت به ضخامت ۷ میلیمتر در خاک	۶۳	٪۲
LA4	لایه زئولیت به ضخامت ۱۴ میلیمتر در خاک	۶۳	٪۴

طرح از نظر آماری در قالب طرح فاکتوریل با سه فاکتور انجام گرفت. فاکتور اول روش کاربرد میکرو زئولیت (در دو سطح مخلوط با خاک و به صورت لایه‌ای در خاک)، فاکتور دوم اندازه ذرات میکرو زئولیت‌ها (در دو سطح ذرات میکرو زئولیت $A=63$ و $B=125$ میکرومتر) و فاکتور سوم درصد مواد میکرو زئولیت به کار رفته (در دو سطح دو و چهار درصد وزنی خاک) می‌باشد.

پساب استفاده شده در این تحقیق از محل تصفیه‌خانه فاضلاب شهرکرد تامین شد. برخی از خصوصیات خاک و پساب به ترتیب در جداول ۱ و ۲ آورده شده است.

جدول ۲- برخی خصوصیات فیزیکی خاک دانشگاه شهرکرد

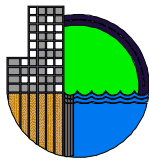
خاک	بافت خاک	وزن مخصوص ظاهری (gr/cm^3)	وزن مخصوص حقیقی (gr/cm^3)
دانشگاه شهرکرد	سیلت لوم	۱/۱۵	۲/۶۱

جدول ۳- برخی خصوصیات شیمیایی پساب و آب شهرکرد

	pH	EC (dS/m)	TDS (mg/L)	TSS (mg/L)	SAR $\left(\frac{mmol}{L}\right)^{\frac{1}{2}}$	BOD (mEq/L)	$N - NO_3^-$ (mg/L)
پساب	۷/۸	۰/۷۵	۴۵۰	۳۰	۲/۲	۱۸/۷۵	۱۶
آب	۷/۵۴	۰/۳	۳۸	۰	۰/۱۳	۳/۹۶	۲/۶۱

زئولیت مورد استفاده از نوع زئولیت کلینوپتیلولیت تهیه شده از معدن سمنان بود. زئولیت خریداری شده با استفاده از دستگاه‌های آسیاب بال میل و فست میل آسیاب شد و دو سایز مورد نظر با استفاده از الک جداسازی شد.

توزیع پساب به داخل خاک به طریق غرقابی و ۱۲ مرتبه با تناوب هفتگی تکرار شد. حجم پساب به کار برده شده در هر مرتبه آبیاری برابر $1/0$ NV می‌باشد. در هر بار آبیاری با پساب از پساب ورودی ۳ نمونه و از پساب خروجی از هر ستون نمونه‌گیری شد. نمونه‌ها داخل ظروف تمیز و درب‌دار پلاستیکی به آزمایشگاه منتقل شد و هدایت الکتریکی توسط دستگاه هدایت سنج مدل (Jenway 4010)، pH، توسط دستگاه pH متر مدل



سومین همایش ملی مهندسی عمران
دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر - ۱۳۹۰

(ELMETRON CP-501)، اندازه گیری کلسیم و منیزیم با روش تیتراسیون و سدیم توسط دستگاه جذب اتمی پرکین - المر قراعت گردیدند.

پس از جمع آوری اطلاعات فوق، درصد تغییرات $(100 \times \frac{\text{میزان پارامتر خروجی} - \text{میزان پارامتر ورودی}}{\text{میزان پارامتر ورودی}})$ پارامترهای کیفی آب در هر مرتبه آزمایش محاسبه شد و سپس میانگین کل درصدهای تغییر محاسبه شد تا اثر تیمارها در کل دوره بررسی شود. آنالیز آماری و مقایسه اثرات فاکتورها با استفاده از نرم افزار آماری SAS و SPSS صورت گرفت.

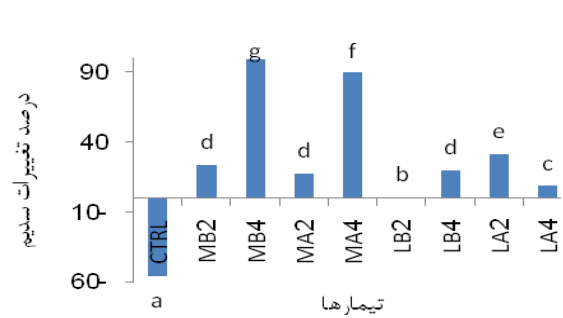
۴- نتایج

بررسی تغییرات سدیم خروجی از ستون های خاک

در شکل ۳ میانگین سدیم خروجی از ستون های مربوط به هر تیمار در طول دوره آزمایش نشان داده شده است. خط نشان داده شده بر روی شکل میانگین سدیم ورودی به ستون ها را در طول دوره آزمایش نشان می دهد. در شکل ۲ درصد تغییرات سدیم در طول دوره آزمایش آمده است. (حروف مشترک بر روی نمودار نشان دهنده معنی دار نبودن میانگین ها در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن است)



شکل ۳- میانگین سدیم خروجی از ستون ها در کل دوره



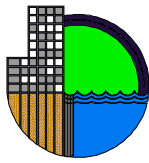
شکل ۲- میانگین درصد تغییرات سدیم خروجی از ستون ها در کل دوره

جدول ۴- تجزیه واریانس میانگین درصد تغییرات سدیم خروجی از ستون ها در کل دوره

میانگین مربعات	درجه آزادی	پارامتر
۱۰۸۵۰/۳۶**	۱	روش کاربرد ژئولیت
۸/۲۹ n.s	۱	اندازه ژئولیت
۷۹۰۰/۵۹**	۱	درصد ژئولیت
۷۴۵/۰۷**	۱	اندازه ژئولیت × درصد ژئولیت
۴۴۷/۷۴**	۱	روش کاربرد ژئولیت × اندازه ژئولیت
۸۵۳۲/۱۱**	۱	روش کاربرد ژئولیت × درصد ژئولیت
۵۹۳/۷۷**	۱	روش کاربرد ژئولیت × اندازه ژئولیت × درصد ژئولیت
۳۸/۲۰	۱۶	خطا

** و *** معنی داری اثر تیمارها در سطوح ۵ و ۱ درصد n.s معنی دار نبودن تیمار آزمایشی در سطح ۵ درصد

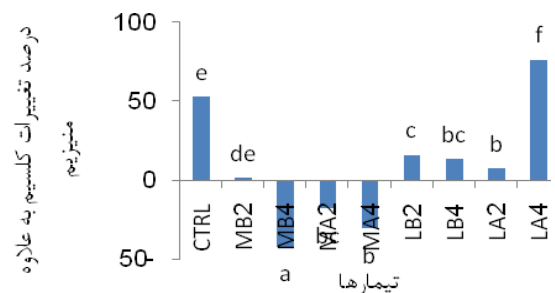
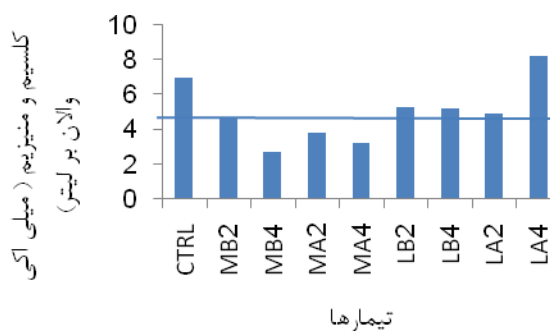
همانطور که در شکل ۲ مشخص است استفاده از ژئولیت باعث افزایش سدیم خروجی شده است. با توجه به جدول تجزیه واریانس روش کاربرد و درصد ژئولیت اثر معنی داری داشته اند. میزان سدیم خروجی در



تیمار مخلوط ولایه ای نسبت به تیمار کنترل تا ۳۹۲ و ۲۱۹ درصد افزایش داشته است. همچنین کاربرد ژئولیت ۴ درصد باعث خروج سدیم بیشتری نسبت به ۲ درصد شده است. روند آزمایش‌ها نشان داد که در تیمارهای مخلوط میانگین سدیم خروجی در آبیاری‌های ابتدایی بیشتر بوده و در آبیاری‌های بعدی روند کاهشی داشته است.

بررسی تغییرات کلسیم به علاوه منیزیم خروجی از ستون‌های خاک

در شکل ۴ میانگین کلسیم به علاوه منیزیم خروجی از ستون‌های مربوط به هر تیمار در طول دوره آزمایش نشان داده شده است. خط نشان داده شده بر روی شکل میانگین کلسیم به علاوه منیزیم ورودی به ستون‌ها را در طول دوره آزمایش نشان می‌دهد. در شکل ۵ درصد تغییرات کلسیم به علاوه منیزیم در طول دوره آزمایش آمده است.



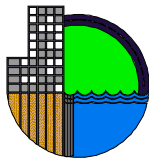
شکل ۴- میانگین درصد تغییرات کلسیم به علاوه منیزیم ۵- میانگین کلسیم به علاوه منیزیم خروجی از ستون‌ها در کل دوره خروجی از ستون‌ها در کل دوره

جدول ۵- تجزیه واریانس میانگین درصد تغییرات کلسیم به علاوه منیزیم خروجی از ستون‌ها در کل دوره

پارامتر	درجه آزادی	میانگین مربعات
روش کاربرد ژئولیت	۱	۱۵۴۵۲/۱۲**
اندازه ژئولیت	۱	۸۰۵/۲۷**
درصد ژئولیت	۱	۳۷/۷۷ ^{n.s}
اندازه ژئولیت × درصد ژئولیت	۱	۳۹۲۸/۹۸**
روش کاربرد ژئولیت × اندازه ژئولیت	۱	۱۴۶۳/۸**
روش کاربرد ژئولیت × درصد ژئولیت	۱	۵۵۹۳/۹**
روش کاربرد ژئولیت × اندازه ژئولیت × درصد ژئولیت	۱	۶۲۹/۴**
خطا	۱۶	۱۶/۱

* و ** معنی داری اثر تیمارها در سطوح ۵ و ۱ درصد n.s معنی دار نبودن تیمار آزمایشی در سطح ۵ درصد

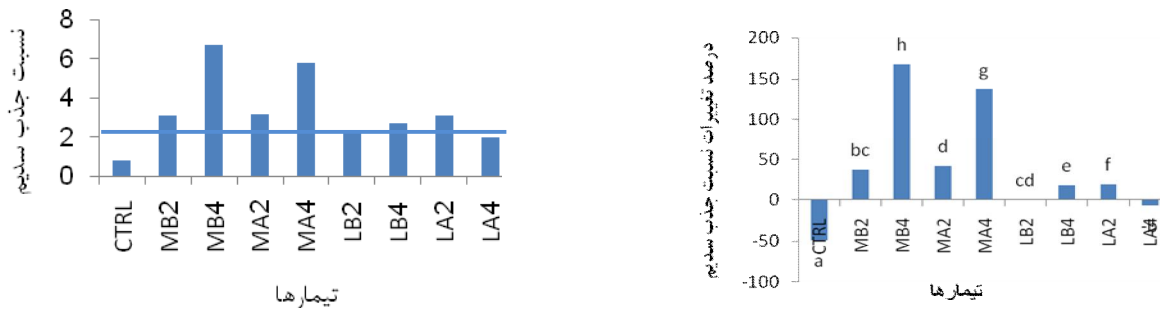
میزان کلسیم و منیزیم خروجی در تیمار مخلوط ولایه ای نسبت به تیمار کنترل تا ۶۱ و ۳۰ درصد کاهش داشته است. بنابراین تیمار مخلوط توانایی بیشتری برای نگه داشتن کلسیم و منیزیم در خاک داشته است. هرچه میزان درصد ژئولیت به کار رفته بیشتر شده، میزان کلسیم و منیزیم در زهاب بیشتر کاهش یافته است. نتایج آزمایشات نشان داد که در تیمارهای مخلوط در آبیاری‌های اولیه ژئولیت باعث حذف بیشتر میزان کلسیم و منیزیم خروجی از ستون‌های خاک شده است و با گذشت زمان ظرفیت خاک مخلوط شده با ژئولیت کاهش یافته است. اما در تیمارهای لایه ای به کار رفته روند برعکس بوده و با گذشت زمان توانایی خاک و ژئولیت برای جذب



کلسیم و منیزیم افزایش یافته است.

بررسی تغییرات نسبت جذب سدیم خروجی از ستون‌های خاک

در شکل ۹ میانگین نسبت جذب سدیم خروجی از ستون‌های مربوط به هر تیمار در طول دوره آزمایش نشان داده شده است. خط نشان داده شده بر روی شکل میانگین نسبت جذب سدیم ورودی به ستون‌ها را در طول دوره آزمایش نشان می‌دهد. در شکل ۲ درصد تغییرات سدیم در طول دوره آزمایش آمده است.



شکل ۶- میانگین درصد تغییرات نسبت جذب سدیم شکل ۷- میانگین نسبت جذب سدیم خروجی از ستون‌ها در کل دوره خروجی از ستون‌ها در کل دوره

جدول ۶- تجزیه واریانس میانگین درصد تغییرات نسبت جذب سدیم خروجی از ستون‌ها در کل دوره

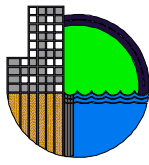
پارامتر	درجه آزادی	میانگین مربعات
روش کاربرد زئولیت	۱	۵۳/۸۸**
اندازه زئولیت	۱	۱/۱۱**
درصد زئولیت	۱	۸۵/۷۴**
اندازه زئولیت × درصد زئولیت	۱	۸۳/۳۵**
روش کاربرد زئولیت × اندازه زئولیت	۱	۱۹/۶۴**
روش کاربرد زئولیت × درصد زئولیت	۱	۲۸۳/۰۲**
روش کاربرد زئولیت × اندازه زئولیت × درصد زئولیت	۱	۱۷/۱**
خطا	۱۶	۱۱/۰

* و ** معنی داری اثر تیمارها در سطوح ۵ و ۱ درصد n.s معنی دار نبودن تیمار آزمایشی در سطح ۵ درصد

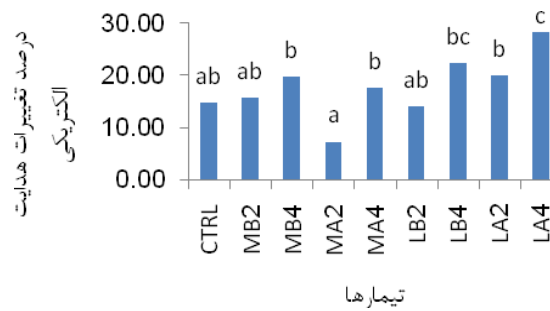
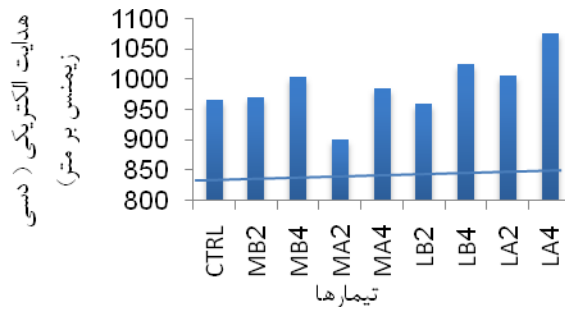
با توجه به شکل ۸ تیمار مخلوط نسبت به لایه ای توانسته SAR خروجی از ستون‌ها را افزایش دهد، که این وضعیت برای خاک مطلوب تر بوده و باعث بهبود شرایط خاک خواهد شد. میزان SAR خروجی در تیمار مخلوط ولایه ای نسبت به تیمار کنترل تا ۷۳۵ و ۲۸۱ درصد افزایش داشته است. همچنین هر چه اندازه زئولیت کوچکتر شده و درصد زئولیت استفاده شده بیشتر باشد SAR خروجی بیشتر شده است.

بررسی تغییرات هدایت الکتریکی خروجی از ستون‌های خاک

در شکل ۹ میانگین هدایت الکتریکی خروجی از ستون‌های مربوط به هر تیمار در طول دوره آزمایش نشان داده شده است. خط نشان داده شده بر روی شکل میانگین هدایت الکتریکی ورودی به ستون‌ها را در طول دوره آزمایش نشان می‌دهد. در شکل ۸ درصد تغییرات هدایت الکتریکی در طول دوره آزمایش آمده است.



سومین همایش ملی مهندسی عمران
دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر - ۱۳۹۰



شکل ۸- میانگین درصد تغییرات هدایت الکتریکی خروجی از شکل ۹- میانگین هدایت الکتریکی خروجی از ستون‌ها در کل دوره ستون‌ها در کل دوره

جدول ۷- تجزیه واریانس میانگین درصد تغییرات هدایت الکتریکی خروجی از ستون‌ها در کل دوره

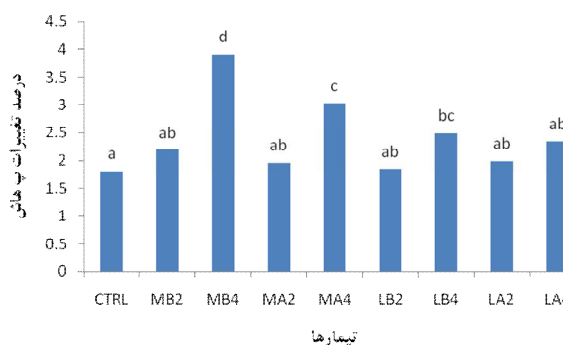
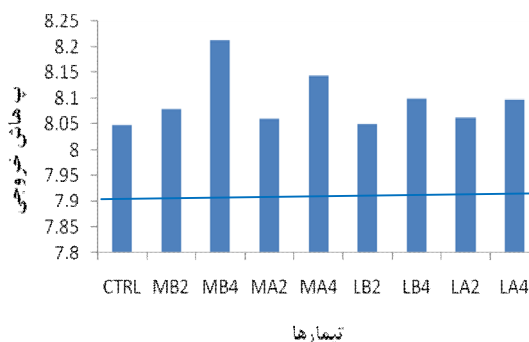
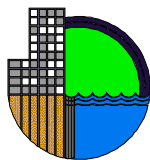
میانگین مربعات	درجه آزادی	پارامتر
۲۱۸/۴۲**	۱	روش کاربرد زئولیت
۰/۹۱ ^{n.s}	۱	اندازه زئولیت
۳۶۰/۰۰۶**	۱	درصد زئولیت
۱۵/۳۲ ^{n.s}	۱	اندازه زئولیت × درصد زئولیت
۱۸۸/۳۲*	۱	روش کاربرد زئولیت × اندازه زئولیت
۱/۸۱ ^{n.s}	۱	روش کاربرد زئولیت × درصد زئولیت
۱۴/۸۶ ^{n.s}	۱	روش کاربرد زئولیت × اندازه زئولیت × درصد زئولیت
۲۲/۷۲	۱۶	خطا

* و ** معنی داری اثر تیمارها در سطوح ۵ و ۱ درصد n.s معنی دار نبودن تیمار آزمایشی در سطح ۵ درصد

با توجه به نمودار مشخص است که در اثر اعمال تیمارها همواره میزان شوری خروجی بیشتر از میزان شوری ورودی است و میزان شوری در تیمار مخلوط ولایه ای نسبت به تیمار کنترل تا ۳/۸ و ۱۱ درصد افزایش داشته است. همچنین هرچه میزان زئولیت به کار رفته بیشتر شده میزان شوری خروجی افزایش یافته است. روند آزمایش‌ها نشان داد که در آبیاری‌های ابتدایی شوری خروجی بیشتر است و با گذشت زمان این شوری کمتر شده است.

بررسی تغییرات pH خروجی از ستون‌های خاک

در شکل ۱۱ میانگین pH خروجی از ستون‌های مربوط به هر تیمار در طول دوره آزمایش نشان داده شده است. خط نشان داده شده بر روی شکل میانگین pH ورودی به ستون‌ها را در طول دوره آزمایش را نشان می‌دهد. در شکل ۱۰ درصد تغییرات pH در طول دوره آزمایش آمده است.



شکل ۱۱- میانگین pH خروجی از ستون‌ها در کل دوره

شکل ۱۰- میانگین درصد تغییرات pH خروجی از ستون‌ها در کل دوره

کلیه تیمارهای این تحقیق باعث افزایش pH شده اند. با توجه به شکل ۱۱ مشخص است که هر چه درصد زئولیت به کار برده شده بیشتر شده درصد تغییرات pH خروجی افزایش یافته است. درصد تغییرات pH در آبیاری‌های ابتدایی بیشتر بوده و با گذشت زمان درصد تغییرات کاهش یافته است.

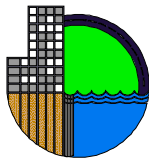
جدول ۸- تجزیه واریانس میانگین درصد تغییرات pH خروجی از ستون‌ها در کل دوره

میانگین مربعات	درجه آزادی	پارامتر
۲/۰۱**	۱	روش کاربرد زئولیت
۰/۳۹ ^{n.s}	۱	اندازه زئولیت
۵/۶۶**	۱	درصد زئولیت
۰/۲۷ ^{n.s}	۱	اندازه زئولیت × درصد زئولیت
۰/۵۵ ^{n.s}	۱	روش کاربرد زئولیت × اندازه زئولیت
۱/۰۷*	۱	روش کاربرد زئولیت × درصد زئولیت
۰/۰۸۹ ^{n.s}	۱	روش کاربرد زئولیت × اندازه زئولیت × درصد زئولیت
۰/۱۲۹	۱۶	خطا

* و ** معنی داری اثر تیمارها در سطوح ۵ و ۱ درصد n.s معنی دار نبودن تیمار آزمایشی در سطح ۵ درصد

۵- نتیجه گیری

میزان کلسیم به علاوه منیزیم خروجی در تیمار مخلوط ولایه ای نسبت به تیمار کنترل تا ۶۱ و ۳۰ درصد کاهش داشته است و در تیمارهای مخلوط نسبت به لایه‌ای کلسیم و منیزیم کمتری در زهاب مشاهده شده است یعنی تیمار مخلوط توانسته کلسیم و منیزیم بیشتری را در خاک تثبیت کند. استفاده از زئولیت باعث افزایش سدیم خروجی شده به طوری که میزان سدیم خروجی در تیمار مخلوط ولایه ای نسبت به تیمار کنترل تا ۳۹۲ و ۲۱۹ درصد افزایش داشته است. میزان هدایت الکتریکی خروجی در تیمار مخلوط ولایه ای نسبت به تیمار کنترل تا ۳/۸ و ۱۱ درصد افزایش داشته است همچنین میزان SAR خروجی در تیمار مخلوط ولایه ای نسبت به تیمار کنترل تا ۷۳۵ و ۲۸۱ درصد افزایش داشته است. کاربرد زئولیت در خاک باعث افزایش pH شده است. پس به طور کلی استفاده از زئولیت چه به صورت مخلوط و چه به صورت لایه‌ای باعث بهبود شرایط خاک خواهد شد اگر چه تیمار مخلوط نتایج بهتری داده است اما باید به سادگی کاربرد زئولیت به صورت لایه ای در خاک هم توجه نمود.



۶- قدردانی

بدین وسیله از دانشگاه شهرکرد به دلیل حمایت‌های معنوی و مالی، از مسئولین محترم آزمایشگاه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری و کارشناس آزمایشگاه آبیاری دانشگاه شهرکرد و از شرکت افرد توسکا به دلیل تامین زئولیت این تحقیق تشکر می‌گردد.

۷- مراجع

- [۱] ترابیان، ع.، مطلبی، م. (۱۳۸۲)، طرح مدیریتی استفاده مجدد از پساب تصفیه شده (مطالعه موردی: شهرک اکباتان)، مجله محیط شناسی، شماره ۳۲، ۶۲-۵۷.
- [۲] دامیادی، آ.، و لیاقت، ع.، (۱۳۷۰)، مدیریت استفاده از فاضلاب صنعتی در کشاورزی، یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
- [3] Picchioni, G.A., Mexal, J.G., Sammis, T.W., Remmenga, M.D., and Rodriguez, D.S., (2004), Land application of saline wastewater on a Chihuahuan desert upland. Inter Report. Project No. W-02-06, <http://www.scerp.org/projs/02rpts/W-02-6dr>.
- [4] Gong, C., and Donahoe, R.J., (1997), An experimental study of heavy metal attenuation and mobility in sandy loam soils. *Applied Geochemistry*, 12: 243-254.
- [5] Babel, s., and Kurniawan, T.A., (2002), Low-cost adsorbant for heavy metals uptake from contaminated water: review, *J. Hazardous materials*: 219-243.
- [6] 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.
- [7] Fernandez-Olmo, I., Fernandez, J.L., and Irabien, A., (2007), Purification of dilute hydrofluoric acid by commercial ion exchange resins. *Separation and Purification Technology*. 56,118-125.
- [۸] سردشتی، ع.، کاظمیان، ح.، اردکانی، م.، (۱۳۸۲)، شناسایی زئولیت‌های منطقه حرمت زاهدان، بررسی امکان کاربرد آن در تصفیه فاضلاب‌های حاوی Ag, Cu, Cd, Pb, Zn ، شیمی و مهندسی شیمی ایران، ۲۳(۱)، ۳۲-۲۵.
- [9] Yasuda, H., Takuma, K., Fukuda, T., Suzuki, J., and Y., Fukushima, (1998), Effects of zeolite amendment on water and salt characteristics in soil proceedings of the International Agricultural Engineering Conference, Bangkok, Thailand. pp. 837-842.
- [۱۰] زمانیان، م.، طباطبائی، س.ح.، و نجفی، پ.، (۱۳۸۷)، بررسی شاخص‌های آلودگی شیمیایی و میکروبی در تصفیه زمینی شیرابه کارخانه کود آلی اصفهان و تاثیر کاربرد زئولیت، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده ی کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.
- [۱۱] حسین پور، ا.، حق نیا، غ.م.، علیزاده، ا. و فتوت، ا.، (۱۳۸۸)، بررسی تغییرات کیفیت شیمیایی فاضلاب خام و پساب شهری در اثر عبور از ستون‌های خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ۲۳(۳)، ۴۵-۵۶.
- [۱۲] توکلی، م.، و طباطبائی، م.، (۱۳۷۸). آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده مجموعه مقالات همایش جنبه‌های زیست‌محیطی استفاده از پساب‌ها در آبیاری، وزارت نیرو، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۱ آذر ماه، تهران.
- [۱۳] آگاه، ع.، (۱۳۸۳)، بررسی کارایی فاضلاب‌های تصفیه‌شده خانگی در آبیاری زراعت کاهو و گوجه‌فرنگی، همایش جنبه‌های زیست‌محیطی استفاده از پساب‌ها در آبیاری.