بررسی تاثیر روش کاربرد، اندازه ذرات و درصد زئولیت بر کیفیت پساب شهری

هاجر طاهری سودجانی، مهدی قبادی نیا[1]*، سیدحسن طباطبائی، حبیب بیگی هرچکانی و حسین کاظمیان

دانشجو دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی- گروه مهندسی آب؛
hajar_taheri2001@yahoo.com
استادیار دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی- گروه مهندسی آب؛
mahdi.ghobadi@gmail.com
دانشیار دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی - گروه مهندسی آب؛
stabaei@agr.sku.ac.ir
استادیار دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی - گروه خاکشناسی؛
hb_harchegani@yahoo.com
دانشیار دانشگاه اونتاریو غربی، دانشکده شیمی، دانشگاه اونتاریو غربی؛
hosseinkazemian@gmail.com

چکیده

کمبود آب باعث توجه به منابع آب‌های نامتعارف از جمله پساب‌ها در کشاورزی شده است. برای استفاده از پساب‌ها با توجه به کیفیت نامناسب آن‌ها، استفاده از مواد اصلاحی مانند زئولیت‌ها در خاک اهمیت پیدا می‌کند. در این پژوهش به بررسی اثر روش، میزان کاربرد و اندازه زئولیت، بر تغییرات ایجاد شده روی هدایت الکتریکی، pH، BOD_5، سدیم، مجموع کلسیم و منیزیم پساب ورودی هنگام عبور ازستون‌های خاک پرداخته شد. آزمایش‌ها روی دو روش کاربرد (مخلوط و لایه‌ای)، دو نوع اندازه ذره (بین 125 و 63 میکرون و کوچکتر از 63 میکرون)، دو مقدار مختلف (2 و 4 درصد) و در چهار دور آبیاری (اول، چهارم، نهم و سیزدهم) در داخل 27 ستون پی‌وی‌سی با قطر اسمی (خارجی) 11 سانتی‌متر و ارتفاع 60 سانتی‌متر انجام شد. این آزمایش‌ها مشتمل بر 9 تیمار و 3 تکرار بود. تزریق پساب به داخل خاک 13 مرتبه با تناوب هفتگی تکرار شد. در دور آبیاری یک، چهار، نه و سیزدهم اندازه‌گیری پارامترهای ذکر شده، روی پساب ورودی و زه‌آب خروجی از هر ستون صورت گرفت. نتایج نشان داد که در شرایط انجام آزمایش، کاربرد زئولیت باعث افزایش میزان سدیم، pH و هدایت الکتریکی زه‌آب خروجی از ستون‌ها شد و در مقابل راندمان جذب مجموع کلسیم و منیزیم در تیمارهای مخلوط و لایه‌ای نسبت به تیمار شاهد به ترتیب 142 و 75/7 درصد افزایش یافت. همچنین افزایش راندمان حذف BOD_5 در تیمار مخلوط و لایه‌ای نسبت به تیمار شاهد به ترتیب 43/1 و 87 درصد بود.

واژه‌های کلیدی: کاربرد لایه‌ای زئولیت، هدایت الکتریکی، مجموع کلسیم و منیزیم، BOD_5

---

1. آدرس نویسنده مسؤول: دانشگاه شهرکرد، گروه مهندسی آب، صندوق پستی: 115

* دریافت: مرداد، 1391 و پذیرش: بهمن، 1391

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

ایران از جمله کشورهای خشک و نیمه خشک دنیا به حساب می‌آید، میزان مصرف آب در بخش کشاورزی بالاترین درصد (بیش از 90 درصد) را بین کلیه مصارف به خود اختصاص داده و در بسیاری از نقاط کشور، افزایش روزافزون مصرف آب و محدودیت منابع آب باعث گردیده که برنامه‌ریزان و مدیران در برنامه‌ریزی‌های توسعه، به کلیه منابع متعارف و غیر متعارف آب توجه نمایند (بهروز و لیاقت، 1382). استفاده از فاضلاب‌ها در امر آبیاری و تولید محصولات کشاورزی، به عنوان منبع آب غیر متعارف و دارای عناصر کودی مورد نیاز گیاه، از دیرباز در بسیاری از نقاط دنیا رواج داشته است (فرداد و ناشر،1387). در صورت استفاده از این منابع به دلیل آبشویی کاتیون‌های محلول به ویژه کلسیم و منیزیم، نیتروژن نیتراتی و کربن آلی از خاک، باید با مدیریت صحیح صورت گیرد (حسین‌پور و همکاران، 1388). از جمله روش‌های مدیریتی استفاده از مواد اصلاحی مانند زئولیت در خاک‌ها برای افزایش ظرفیت تبادلی کاتیونی آن‌ها می‌باشد (رامش و ردی، 2011). زئولیت از آلومینوسیلیکات‌های بلورین است که از واحدهای تتراهدرال SiO_4 و AlO_4 تشکیل شده و اکسیژن عامل اتصال این واحدها است (بابل و کورنیاوان، 2002). این طریقه اتصال ساختار شبکه بلور را ایجاد کرده و داخل آن حفره‌هایی با ابعاد مولکولی ایجاد شده است. کلسیم و پتاسیم و دیگر کاتیون‌های تبادلی می‌توانند در حفره‌های ساختمان زئولیت نفوذ کرده و جذب شوند (بیلی و همکاران، 1999 و کاظمیان و غفاری، 2008). پدیده تبادل یونی یکی از ویژگی‌های زئولیت‌هاست در پدیده تبادل یونی، یک یون با یون دیگری که به صورت موقت نگهداری می‌شده، تبادل می‌گردد (وانگ و پنگ، 2010).

تحقیقات انجام شده نشان دهنده توانایی زئولیت در بهبود نسبی کیفیت پساب‌ها بوده است. ناظم و همکاران (1386) نتیجه گرفتند که اضافه کردن زئولیت به خاک سبب جذب نمک‌های بیشتری از شیرابه ورودی شده و در نتیجه هدایت الکتریکی زه‌آب خروجی از تیمارها کاهش یافته است. زمانیان (1387) بیان کرد که زئولیت تمایل به جذب سدیم موجود در شیرابه را ندارد و به دلیل ظرفیت تبادل کاتیونی بالا تمایل بیشتری به جذب کاتیون‌های دو ظرفیتی نسبت به کاتیون‌های یک ظرفیتی را از خود نشان می‌دهد. عکاشه (1386) و پانوسیو و همکاران (2007) در تحقیقات خود خروج سدیم از ساختار زئولیت و جایگزینی آن با کلسیم را نتیجه گرفتند و دلیل جذب قوی‌تر کلسیم را دو ظرفیتی بودن آن دانستند. زمانیان (1387) در تحقیقات خود کاربرد زئولیت را سبب افزایش pH زه‌آب خروجی از لایسی‌مترهای خاک دانست.

بررسی‌ها نشان می‌دهند که خاک‌ها با دارا بودن ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و زیستی بسیار پیچیده، توانایی خوبی در حذف و پالایش آلاینده‌های موجود در پساب را از خود نشان می‌دهند (گنگ و دوناهو، 1997). هر چه زمان عبور پساب از بین ذرات خاک طولانی‌تر باشد، به دلیل تماس بیشتر و در نتیجه تاثیر بیشتر فرایندهای شیمیایی و بیولوژیک خاک بر کیفیت پساب، امکان انتقال آلاینده‌ها به عمق خاک کاهش می‌یابد (ونکوئیک و همکاران، 2001). در تحقیق انجام شده در دانشگاه تهران با بهره‌گیری از پروفیل خاک به عنوان یک فیلتر بیولوژیکی مشخص شدکه بسیاری از آلودگی‌های فاضلاب پس از عبور از پروفیل خاک به میزان قابل توجهی کاهش یافته، به گونه‌ای که میزان متوسط BOD_5[1] (اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی) از 160 میلی‌گرم‌درلیتر در فاضلاب به 9 میلی‌گرم‌درلیتر در زه‌آب کاهش یافته بود (بهروز و لیاقت، 1382). کریستن و همکاران (2010) گزارش کردند که با گذر زمان BOD_5 زه‌آب خروجی از زهکش زمین مورد تحقیق افزایش یافته و علت این امر را

[1] . Biochemical Oxygen Demand

Archive of SID

www.SID.ir

کاهش توانایی خاک برای حذف مواد آلی و همچنین BOD_5 بالای پساب عنوان کردند. چن و همکاران (2008) میزان BOD_5 و COD خروجی از سیستم تصفیه زمینی (زمین‌های مرطوب) به کار رفته در آزمایش را با گذر زمان ثابت دانستند. با توجه به تحقیقات زمانیان (1387) زئولیت به دلیل ظرفیت تبادل کاتیونی بالا و نیز حفرات و کانال‌های خود می‌تواند، بعضی از مواد آلی موجود در شیرابه را در خود جای دهد و از خروج آن‌ها جلوگیری کند و در نتیجه سبب کاهش بیشتر اکسیژن مورد نیاز شیمیایی زه‌آب خروجی در این تیمارها نسبت به تیمار شاهد شود.

در تصفیه‌خانه‌ها فرایندهای فیزیکی و بیولوژیکی برای تصفیه فاضلاب‌ها انجام می‌شود با توجه به این که این فرایندها برای تصفیه کامل فاضلاب ها کافی نیست بنابراین نیاز به فرایندهای پیشرفته‌تر برای تصفیه آن‌ها ضرورت می‌یابد. با توجه به این امر تحقیق حاضر با هدف بررسی تغییرات برخی پارامترهای شیمیایی پساب شهرکرد با استفاده از ترکیب خاک و میکروزئولیت به دو روش مخلوط و لایه‌ای با اندازه ذرات و درصدهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته و عملکرد آن‌ها با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر به منظور بررسی امکان تصفیه بیشتر برخی پارامترهای شیمیایی پساب تصفیه‌خانه شهرکرد با استفاده از خاک و یا ترکیب خاک و میکروزئولیت به عنوان یک فیلتر، در سال 1390 و در دانشگاه شهرکرد انجام شد. پساب استفاده شده در این تحقیق از محل تصفیه‌خانه فاضلاب شهرکرد تأمین شد. برخی از خصوصیات خاک و پساب به ترتیب در جداول 1 و 2 آورده شده است.

جدول 1- برخی مشخصات خاک مورد آزمایش

بافت خاک	pH	EC* (dS/m)	Na* (meq/L)	N (mg/kg)	$CaCO_3$ (mg/kg)	CO_3^{2-*} (meq/L)	HCO_3^{-*} (meq/L)
سیلت لوم	8/5	0/3	0/8	14/3	25/2	0	2/3

*اندازه‌گیری‌ها در عصاره 2:1 آب مقطر و خاک صورت گرفت.

جدول 2- برخی خصوصیات شیمیایی پساب و آب شهرکرد

	pH	EC (dS/m)	TDS (mg/L)	TSS (mg/L)	Na^+ (meq/L)	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$ (meq/L)	SAR $(mmol/L)^{0.5}$	BOD_5 (meq/L)	$N\text{-}NO_3$ (mg/L)	HCO_3^- (meq/L)
پساب	7/9	0/8	429	30	3/6	4/6	2/4	15/8	14/2	5/2
آب	7/5	0/3	38	0	-	-	0/13	3/9	2/6	-

زئولیت مورد استفاده از نوع زئولیت کلینوپتیلولیت تهیه شده از معدن سمنان بود. زئولیت با استفاده از دستگاه‌های آسیاب بال‌میل و فست‌میل خرد و با استفاده از الک در دو اندازه مورد نظر، جداسازی شد. ترکیبات زئولیت مورد استفاده در جدول 3 آمده است.

جدول 3- درصد ترکیبات شیمیایی زئولیت سمنان (ملکیان و همکاران، 2011)

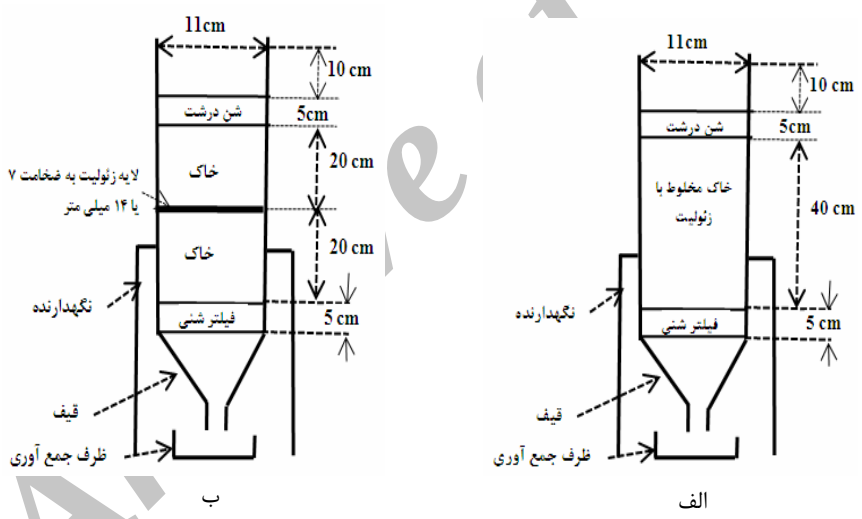
SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	K_2O	CaO	Fe_2O_3	MgO	Loss of Ignition (LOI)*	SiO_2/Al_2O_3
65/9	11/2	2/1	2/3	3/2	1/2	0/5	11/9	5/9

*درصد از دست رفت آب در اثر خشکاندن در کوره

Archive of SID

www.SID.ir

واحدهای آزمایشی در داخل 27 ستون استوانه‌ای از جنس لوله‌ی پی‌وی‌سی 110 به قطر داخلی 10/5 سانتی‌متر و با ارتفاع 60 سانتی‌متر پیاده شد. به منظور جلوگیری از حرکت جانبی آب به طرف پایین ستون‌ها قسمت داخلی ستون‌ها با استفاده از گریس پوشانده شد. به منظور انسداد بخش انتهایی ستون‌ها و در عین حال برقراری امکان خروج آب از توری فلزی با قطر روزنه‌های یک میلی‌متر استفاده شد. برای پر کردن ستون‌ها به صورت زیر عمل شد. ابتدا پنج سانتی‌متر کف هر ستون با استفاده از فیلتر شنی (انتخاب فیلتر به روش USBR) برای جلوگیری از خروج ذرات خاک پر شد (طباطبائی و همکاران، 1390). روی فیلتر شنی تا ارتفاع 40 سانتی‌متر از خاک یا از ترکیب خاک و زئولیت (بسته به تیمار) پر شد. سپس برای جلوگیری از بهم خوردن سطح خاک، لایه‌ای از شن درشت به ارتفاع 5 سانتی‌متر داخل هر لوله ریخته شد. بدین ترتیب 10 سانتی‌متر از بالای هر لوله برای آبیاری ستون خاک باقی ماند. برای پرکردن تیمارهای لایه‌ای مشابه تیمارهای مخلوط عمل شد با این تفاوت که همان میزان زئولیت به صورت لایه‌ای در وسط نمونه خاک ریخته شد. در ابتدای دوره 27 ستون خاک سه بار با استفاده از آب معمولی به میزان 1/5nv تیمار شاهد (n تخلخل و v حجم کل ستون خاک تیمار شاهد) آبیاری شد تا خاک نشست خود را داشته باشد. شکل 1 شمای کلی ستون‌های آزمایشی را نشان می‌دهد.



شکل 1- ابعاد ستون‌های آزمایشگاهی، الف)تیمار مخلوط - ب) تیمار لایه‌ای

این آزمایش مشتمل بر 9 تیمار و 3 تکرار بود. طرح از نظر آماری در قالب آزمایش فاکتوریل با 4 فاکتور اجرا گردید. فاکتور اول روش کاربرد میکروزئولیت (به دو روش مخلوط با خاک و به صورت لایه‌ای در خاک)، فاکتور دوم اندازه ذرات میکروزئولیت (در دو قطر A<63 و B=63-125 میکرومتر) فاکتور سوم درصد مواد میکرو زئولیت به کار رفته (در دو مقدار دو و چهار درصد وزنی خاک) و فاکتور چهارم دور آبیاری (در دور آبیاری اول، چهارم، نهم و سیزدهم) می‌باشد. تیمارهای تحقیق مطابق جدول 4 می‌باشند.

www.SID.ir

جدول 4- مشخصات تیمارها

علامت اختصاری تیمار	روش کاربرد زئولیت	اندازه‌ی زئولیت (µm)	وزن زئولیت در خاک (%)
CTRL(شاهد)	-	-	%0
MB2	مخلوط زئولیت با خاک	63-125	%2
MB4	مخلوط زئولیت با خاک	63-125	%4
MA2	مخلوط زئولیت با خاک	<63	%2
MA4	مخلوط زئولیت با خاک	<63	%4
LB2	لایه زئولیت به ضخامت 7 میلی‌متر در خاک	63-125	%2
LB4	لایه زئولیت به ضخامت 14 میلی‌متر در خاک	63-125	%4
LA2	لایه زئولیت به ضخامت 7 میلی‌متر در خاک	<63	%2
LA4	لایه زئولیت به ضخامت 14 میلی‌متر در خاک	<63	%4

M بیانگر مخلوط با خاک، L بیانگر لایه‌ای در خاک، B و A اندازه ذرات میکرو زئولیت می‌باشد.

در این تحقیق 13 مرتبه تزریق پساب با تناوب هفتگی صورت گرفت. حجم پساب به کار برده شده در هر مرتبه آبیاری برابر nv 1/0 تیمار شاهد (برحسب میلی‌لیتر) می‌باشد. زه‌آب هر ستون (27 عدد) بعد از 14 ساعت از زمان آبیاری در دور آبیاری اول، چهارم، نهم و سیزدهم جمع‌آوری شد و همچنین از پساب ورودی سه نمونه برداشت شد. pH با استفاده از pH متر مدل ELMETRON CP-501، هدایت الکتریکی(EC) با استفاده از هدایت سنج مدل (Jenway 4010) ، BOD_5 با دستگاه BOD سنج و مجموع کلسیم و منیزیم با استفاده از تیتراسیون با EDTA (APHA، 1998) و سدیم به وسیله فلیم فتومتر (کندسن و همکاران، 1982) اندازه‌گیری شد.

برای هر پارامتر پساب، درصد تغییرات با رابطه‌ی زیر محاسبه شد:

$$C(\%) = \frac{(C_{tw} - C_{0w})}{C_{0w}} \times 100 \qquad (1)$$

که در آن: C_{tw} غلظت یا مقدار در زه‌آب خروجی، C_{0w} غلظت یا مقدار در پساب ورودی و C تغییرات (درصد) است. آنالیز آماری با استفاده از نرم افزار SAS صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان 95 درصد انجام گردید.

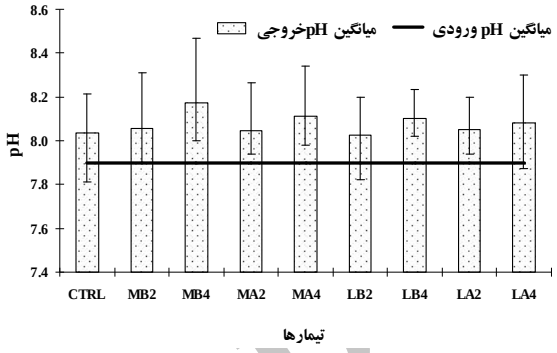
نتایج و بحث

- تغییرات pH

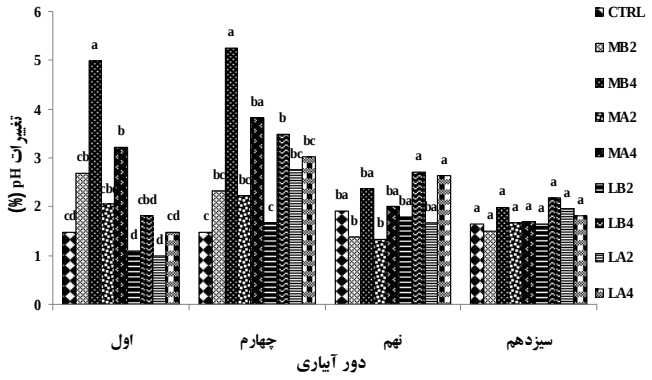
میزان pH زه‌آب خروجی در اثر عبور پساب از داخل ستون‌ها در طول مدت آزمایش نسبت به pH پساب ورودی افزایش یافت و این افزایش برای تیمارهای دارای زئولیت بیش از تیمار شاهد بود (شکل 2). بررسی درصد تغییرات pH (شکل 3 و جدول 5) نشان داد که درصد زئولیت بالاتر وکاربرد آن به صورت مخلوط باعث افزایش بیشتر pH خروجی شد و اختلاف بین تیمارها در سطح یک درصد معنی‌دار بود. دلیل این امر را می‌توان این‌گونه بیان نمود که به دلیل آن‌که زئولیت دارای سدیم است، وجود سدیم در خاک باعث افزایش خاصیت قلیاییت خاک و در نتیجه افزایش pH در تیمارهای دارای زئولیت به خصوص در آبیاری‌های ابتدایی شده ولی با افزایش دور آبیاری و با شسته شدن سدیم، قلیاییت خاک کاهش یافته و از میزان pH زه‌آب خروجی کاسته شد، به گونه‌ای که در آبیاری سیزدهم هیچ یک از تیمارها اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. نتایج بدست آمده با نتایج زمانیان (1387) تطابق داشت.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل 2- میانگین pH پساب ورودی و زه‌آب خروجی در تیمارهای آزمایش



شکل 3- میانگین تغییرات pH تیمارهای آزمایش در دورهای مختلف آبیاری

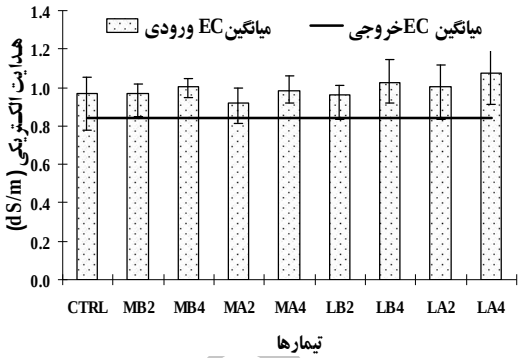
تیمارهایی که در هر دور آبیاری حرف مشترک دارند، در سطح 5 درصد معنی‌دار نیستند.

- تغییرات هدایت الکتریکی (EC)

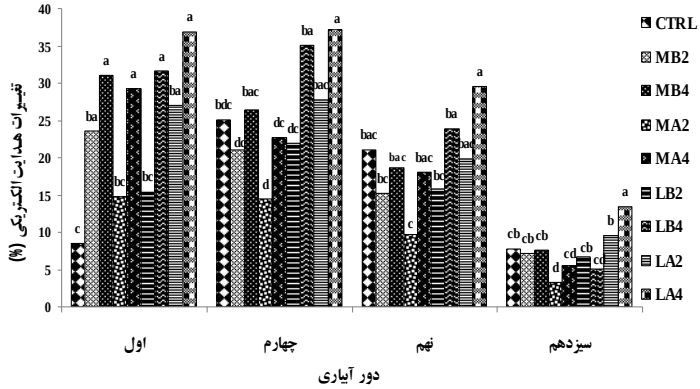
بررسی میانگین مقدار شوری در زه‌آب خروجی بیانگر آن است که میانگین مقدار شوری در زه‌آب خروجی همواره بیشتر از میانگین آن در پساب ورودی است (شکل 4). افزایش شوری در زه‌آب خروجی نسبت به پساب ورودی به دلیل کسر آبشویی 85 درصد، قابل توجیه است (کریستن و همکاران، 2010). نتایج آزمون مقایسه میانگین (جدول 5) نشان داد که درصد زئولیت بالاتر و کاربرد آن به صورت لایه‌ای هدایت الکتریکی را به صورت معنی‌داری افزایش داد. کاهش اندازه ذرات، در تیمارهای مخلوط و لایه‌ای به ترتیب باعث افزایش و کاهش درصد تغییرات هدایت الکتریکی گردید. درصد تغییرات هدایت الکتریکی در دورهای مختلف آبیاری (شکل 5 و جدول 5) نشان داد که در اکثر تیمارهای ترکیب شده با زئولیت در دور آبیاری اول درصد تغییرات زیاد بوده و با افزایش دور آبیاری درصد تغییرات هدایت الکتریکی به صورت معنی‌دار کاهش یافت و هدایت الکتریکی زه‌آب خروجی به هدایت الکتریکی پساب ورودی نزدیک شد. زئولیت به دلیل هدایت الکتریکی بالا، باعث افزایش هدایت الکتریکی زه‌آب خروجی در دور اول آبیاری نسبت به تیمار شاهد شد اما با آبشویی زئولیت، میزان EC طی دوره آزمایش کاهش یافت.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل 4- میانگین هدایت الکتریکی پساب ورودی و زه‌آب خروجی در تیمارهای آزمایش



شکل 5- میانگین تغییرات هدایت الکتریکی تیمارهای آزمایش در دورهای مختلف آبیاری

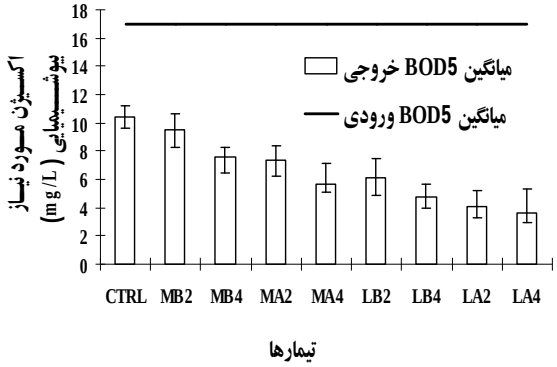
تیمارهایی که در هر دور آبیاری حرف مشترک دارند، در سطح 5 درصد معنی‌دار نیستند.

- اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD)

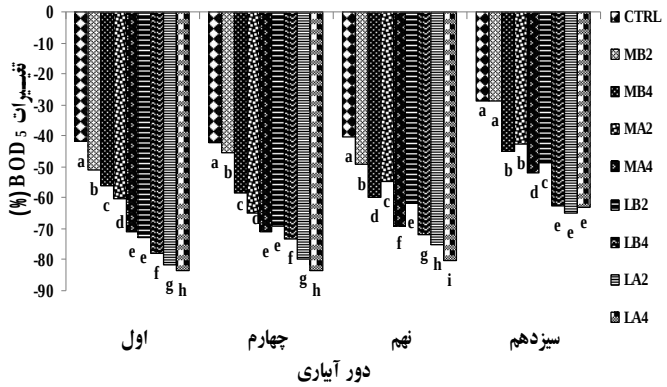
بررسی میانگین مقدار BOD_5 در نمونه‌های زه‌آب جمع آوری شده بیانگر آن است که میانگین مقدار BOD_5 زه‌آب‌های خروجی همواره کمتر از میانگین آن در پساب ورودی است (شکل 6). نتایج آزمون مقایسه میانگین (جدول 5) نشان داد که روش کاربرد به صورت لایه‌ای و همچنین افزایش درصد وکوچک شدن اندازه ذرات زئولیت سبب کاهش بیشتر BOD_5 زه‌آب خروجی شده است. به نظر می‌رسد لایه زئولیت قرار گرفته در وسط تیمارهای لایه‌ای مانع عبور مواد آلی موجود در پساب شده و به طبع آن اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی به دلیل غلظت کم مواد آلی در زه‌آب خروجی کاهش یافته است. تیمارهای مخلوط تا آبیاری نهم توانایی خود را برای کاهش BOD_5 پساب حفظ نمودند ولی در آبیاری سیزدهم میزان BOD_5 زه‌آب به طور معنی‌داری افزایش یافت. دلیل این امر کاهش قدرت تصفیه‌کنندگی خاک و زئولیت در جذب مواد آلی بود. اما در تیمارهای لایه ای با افزایش دور آبیاری میزان BOD_5 زه‌آب خروجی به طور معنی‌داری افزایش یافت. زئولیت به دلیل دارا بودن ظرفیت تبادل کاتیونی بالا و نیز حفرات و کانال-های خود می‌تواند مواد آلی موجود در پساب را در خود جای دهد و از خروج آن‌ها جلوگیری کند به همین دلیل کاهش BOD_5 پساب با افزایش میزان زئولیت به کار رفته مشاهده شد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل 6- میانگین BOD_5 پساب ورودی و زه‌آب خروجی در تیمارهای آزمایش



شکل 7- راندمان حذف BOD_5 تیمارهای آزمایش در دور-های مختلف آبیاری

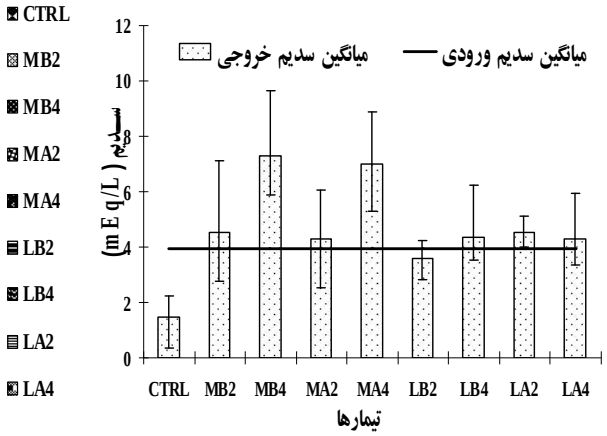
تیمارهایی که در هر دور آبیاری حرف مشترک دارند، در سطح 5 درصد معنی‌دار نیستند.

- سدیم (Na)

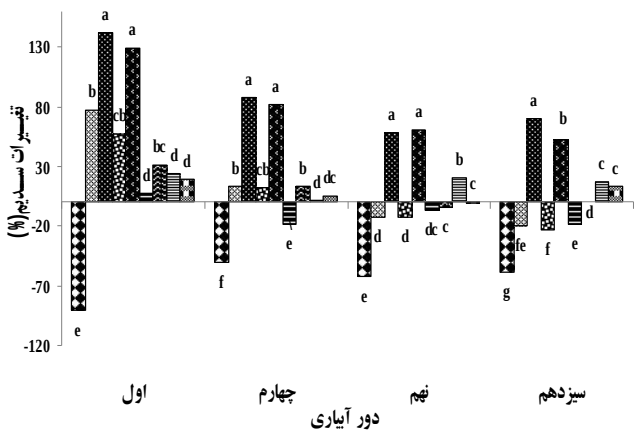
با توجه به نتایج، به جز تیمار شاهد، در سایر تیمارها میزان سدیم پساب در اثر عبور ستون‌ها افزایش یافت(شکل 8). در میان تیمارهای تحقیق، تیمارهای مخلوط 4 درصد (MB4 و MA4) میزان سدیم خروجی بیشتری در زه‌آب نسبت به سایر تیمارها داشتند. میزان سدیم خروجی در تیمارهای مخلوط بیشتر از لایه‌ای بود. با کوچک کردن اندازه ذرات زئولیت میزان سدیم خروجی در تیمارهای مخلوط و لایه‌ای به ترتیب کاهش و افزایش یافت. با افزایش میزان زئولیت درخاک، میزان سدیم زه‌آب خروجی در هر دو روش کاربرد مخلوط و لایه‌ای به صورت معنی-داری افزایش یافت (جدول 5). بیشترین میزان خروج سدیم در تیمارهای مخلوط و لایه‌ای در آبیاری اول مشاهده شد و در تیمارهای مخلوط به صورت معنی‌دار میزان سدیم زه‌آب خروجی در دورهای آبیاری بعدی کاهش یافت اما در تیمارهای لایه‌ای اختلاف معنی‌داری از لحاظ خروج سدیم در دورهای آبیاری بعدی مشاهده نشد (شکل 9). اختلاف‌های میان تیمارها در کلیه دورهای آبیاری در سطح یک درصد معنی‌دار شد ($P<0/01$). تحقیقات زمانیان (1387) نیز نشان داد که زئولیت تمایلی به جذب سدیم ندارد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل 8- میانگین سدیم زه‌آب پساب ورودی و زه‌آب خروجی در تیمارهای آزمایش



شکل 9- در صد تغییرات سدیم تیمارهای آزمایش در دور-های مختلف آبیاری

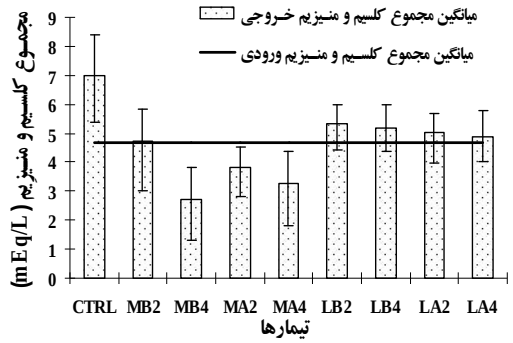
تیمارهایی که در هر دور آبیاری حرف مشترک دارند، در سطح 5 درصد معنی‌دار نیستند.

- مجموع کلسیم و منیزیم

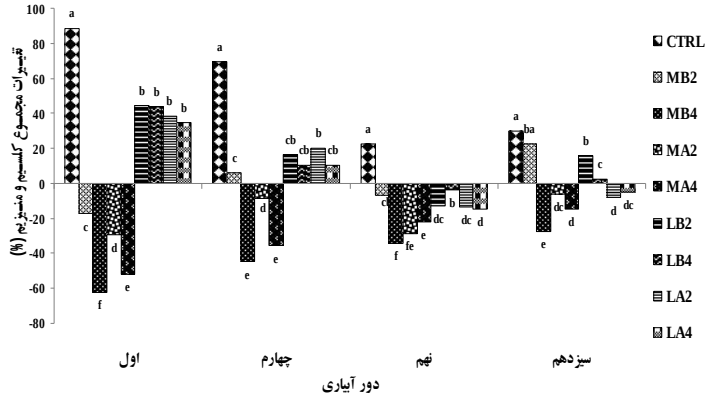
در تیمار شاهد(کلیه دورها) و تیمارهای لایه‌ای (دور آبیاری اول تا چهارم) در اثر کاربرد پساب، مجموع کلسیم و منیزیم خروجی بیش از ورودی بود. در صورتی‌که در تیمارهای مخلوط، کاربرد زئولیت توانست سبب کاهش آبشویی مجموع کلسیم و منیزیم شود (شکل 10 و جدول 5). هر چند که میزان آبشویی مجموع کلسیم و منیزیم تیمارهای لایه‌ای بیشتر از تیمارهای مخلوط بود، اما در کل دوره نتایج تیمارهای لایه‌ای بهتر از شاهد بود و احتمالا با افزایش دور آبیاری تیمارهای لایه‌ای قادر خواهند بود که عملکردی مشابه با تیمارهای مخلوط داشته باشند (شکل 11 و جدول 5). با توجه به نتایج سدیم زه‌آب خروجی که در بخش قبل آمده است می‌توان نتیجه گرفت، سدیم از ساختار زئولیت خارج و کلسیم و منیزیم وارد ساختار زئولیت شده است. عکاشه (1386)، زمانیان (1387) و ناظم (1386) در تحقیقات خود به نتایج مشابه در این زمینه دست یافتند. طباطبائی و لیاقت (2004) گزارش کردند که کاهش اندازه ذرات باعث کاهش آبشویی مجموع کلسیم و منیزیم در تیمارهای مخلوط و لایه‌ای شد که دلیل آن افزایش سطح ویژه‌ی ذرات با کاهش اندازه‌ی آن‌ها می‌باشد. همچنین کاربرد زئولیت 4 درصد تاثیر بیشتری در کاهش آبشویی مجموع کلسیم و منیزیم نسبت به 2 درصد داشته است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل 10- میانگین مجموع کلسیم و منیزیم پساب ورودی و زه‌آب خروجی در تیمارهای آزمایش

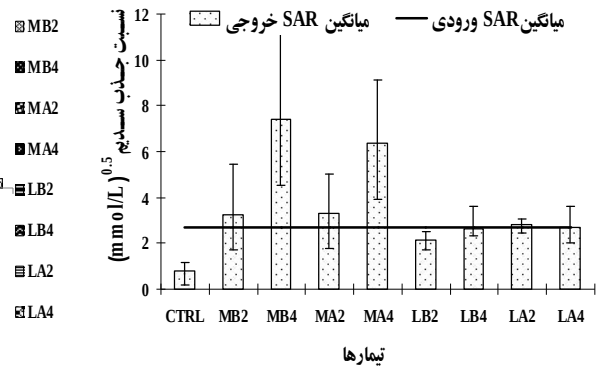


شکل 11- راندمان جذب مجموع کلسیم و منیزیم تیمارهای آزمایش در دورهای مختلف آبیاری

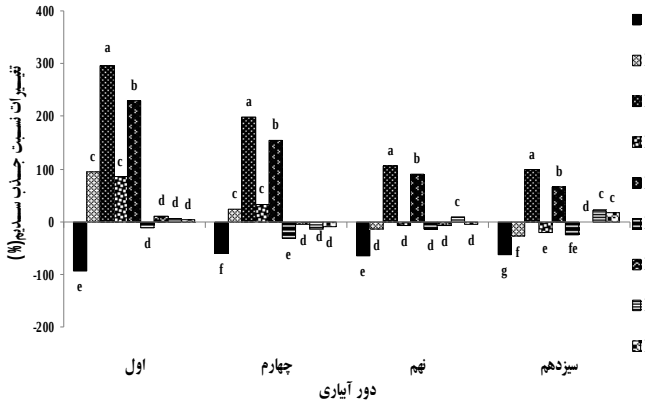
تیمارهایی که در هر دور آبیاری حرف مشترک دارند، در سطح 5 درصد معنی‌دار نیستند.

- نسبت جذب سدیم (SAR)

در اثر کاربرد، پساب بیشترین و کمترین میزان SAR زه‌آب خروجی به ترتیب در تیمار MB4 و شاهد مشاهده شد (شکل12). نتایج مقایسه میانگین (جدول 5) نشان داد تغییرات SAR در تیمارهای مخلوط بیشتر از تیمارهای لایه‌ای بود و با افزایش دور آبیاری از میزان تغییرات SAR در تیمارهای مخلوط به صورت معنی‌داری کاسته شد، اما SAR در تیمارهای لایه‌ای در دورهای آبیاری دارای نوسان زیادی بود. میزان SAR زه‌آب خروجی از تیمارهای آزمایش در هر چهار دور آبیاری دارای اختلاف معنی‌دار در سطح‌یک درصد بود ($P<0/01$). مطابق جدول 5 کاربرد ذرات ریزتر در تیمارهای مخلوط سبب کاهش میزان درصد تغییرات SAR شده است در حالی که در روش لایه‌ای باعث افزایش درصد تغییرات SAR شد. با افزایش میزان زئولیت SAR زه آب خروجی در تیمارهای مخلوط افزایش یافته است در حالی که در تیمارهای لایه‌ای اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.



شکل 12- میانگین SAR پساب ورودی و زه‌آب خروجی در تیمارهای آزمایش



شکل 13- درصد تغییرات SAR تیمارهای آزمایش در دور-های مختلف آبیاری

تیمارهایی که در هر دور آبیاری حرف مشترک دارند، در سطح 5 درصد معنی‌دار نیستند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول 5 -مقایسه میانگین و اثرات متقابل درصد تغییرات پارامترها در فاکتورهای آزمایش

پارامتر	روش کاربرد		دور آبیاری				اندازه ذرات (µm)		درصد زئولیت	
			اول	چهارم	نهم	سیزدهم	63-125	63<	2	4
pH	شاهد	1/6	1/5	1/5	1/9	1/6	-	-	-	-
	مخلوط	2/5[a]	[ba]3/2	3/4[a]	1/7[de]	1/7[de]	-[*]	-	1/9[c]	3/1[a]
	لایه ای	2/1[b]	1/3[e]	2/7[bc]	2/2[dc]	1/9[de]	-[*]	-	1/7[c]	2/4[b]
هدایت الکتریکی	شاهد	15/6	8/4	25/1	21/1	7/8	-	-	-	-
	مخلوط	16/8[b]	24/6[bc]	21/2[c]	15/4[d]	5/9[e]	18/8[b]	14/7[c]	13/6[c]	19/9[b]
	لایه ای	22/3[a]	27/7[ba]	30/3[a]	22/3[c]	8/7[e]	19/4[b]	25/1[a]	17/9[b]	26/6[a]
BOD_5	شاهد	-38/4	-41/9	-42/4	-40/5	-28/8	-	-	-	-
	مخلوط	-54/9[a]	-59/6[b]	-59/9[b]	-58/2[b]	-42/0[a]	-49/2[a]	-60/7[b]	-49/6[a]	-60/3[b]
	لایه ای	-71/7[b]	-78/9[e]	-76/3[d]	-72/2[c]	-59/8[b]	-67/2[c]	-76/4[d]	-69/2[c]	-74/4[d]
سدیم	شاهد	-65/0	-90/1	-49/7	-62/0	-58/1	-	-	-	-
	مخلوط	48/2[a]	101/3[a]	48/5[b]	23/5[c]	19/6[c]	51/9[a]	44/5[b]	11/2[b]	85/2[a]
	لایه ای	6/8[b]	20/9[c]	0/7[d]	2/1[d]	3/3[d]	0/8[d]	12/7[c]	3/4[c]	10/1[b]
مجموع کلسیم و منیزیم	شاهد	52/7	88/6	69/5	22/7	29/8	-	-	-	-
	مخلوط	-22/5[b]	-40/2[f]	-20/7[e]	-22/8[e]	-6/4[d]	-20/5[c]	-24/5[d]	-8/5[c]	-36/5[d]
	لایه ای	11/1[a]	40/4[a]	14/1[b]	-11/1[d]	1/2[c]	14/6[a]	7/7[b]	12/5[a]	9/8[b]
SAR	شاهد	-70/8	-92/8	-61/4	-65/6	-63/3	-	-	-	-
	مخلوط	87/8[a]	176/6[a]	101/9[b]	43/8[c]	28/7[d]	96/9[a]	78/7[b]	20/6[b]	154/9[a]
	لایه ای	-3/7[b]	1/7[e]	-15/4[f]	-4/7[fe]	3/5[e]	-10/6[d]	3/2[c]	-7/3[c]	-0/1[c]

C نشان‌دهنده تیمار شاهد، M نشان‌دهنده مخلوط با خاک و L نشان‌دهنده لایه‌ای در خاک و * نشان دهنده عدم معنی‌داری می‌باشد ضمنا تیمارهایی که حرف مشترک دارند در سطح یک درصد معنی‌دار نیستند.

نتیجه‌گیری

- افزودن زئولیت به خاک باعث افزایش میزان pH و هدایت الکتریکی زه‌آب خروجی به خصوص در دورهای اولیه شد.

- میانگین سدیم زه‌آب خروجی از تیمار شاهد نسبت به میانگین سدیم پساب ورودی 64/99 درصد کاهش نشان داد، در حالی که در تیمارهای مخلوط و لایه‌ای، سدیم زه‌آب خروجی به دلیل استفاده از زئولیت 48/24 و 6/76 درصد از میزان سدیم پساب ورودی بیشتر بود.

- میزان BOD_5 زه‌آب خروجی در تیمارهای شاهد، مخلوط و لایه‌ای به ترتیب 38/42، 54/98 و 71/84 درصد نسبت به BOD_5 پساب ورودی کمتر بود.

- میزان آبشویی مجموع کلسیم و منیزیم در تیمارهای شاهد و لایه‌ای به ترتیب 52/8 و 11/16 درصد بود در حالی که تیمارهای مخلوط میزان مجموع کلسیم و منیزیم

Archive of SID

www.SID.ir

زه‌آب خروجی 22/55 درصد نسبت به پساب ورودی کمتر بود.

- افزایش میزان زئولیت و کوچک کردن ذرات آن سبب کاهش معنی‌دار BOD_5 و مجموع کلسیم و منیزیم زه‌آب خروجی شد.

- اگر هدف از کاربرد زئولیت کنترل BOD_5 پساب باشد، کاربرد زئولیت به صورت لایه‌ای و در صورتی که هدف جذب مجموع کلسیم و منیزیم پساب توسط خاک باشد کاربرد زئولیت به صورت مخلوط عملکرد بهتری دارد.

- در مجموع می‌توان بیان نمود که تیمار لایه‌ای کارایی بهتری داشته است و درصورتی‌که هدف استفاده از زه آب خروجی ستون‌ها باشد، تیمارهای لایه‌ای برای این منظور مناسب‌تر است.

سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهرکرد به دلیل حمایت‌های مالی و از کارشناس آزمایشگاه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، جناب آقای مهندس فرزان به دلیل کمک به انجام آزمایش‌های این پژوهش قدردانی می‌گردد.

فهرست منابع:

1. بهروز، ر. و ع. لیاقت. 1382. مدیریت استفاده از فاضلاب در کشاورزی، مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، 3 تا 4 دی ماه، سالن اجتماعات کانون پرورش فکری تهران، صفحه 335 تا 337.
2. حسین‌پور، ا.، غ.ح. حق نیا، ا. علیزاده و ا. فتوت. 1388. بررسی تغییرات کیفیت شیمیایی فاضلاب خام و پساب شهری در اثر عبور از ستون‌های خاک. مجله‌ی آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) دانشگاه فردوسی مشهد، جلد 33 (شماره‌ی 2)، صفحه 45 تا 56.
3. زمانیان، م. 1387. 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.
4. طباطبائی، س.ح.، ن. نورمهناد و پ. نجفی. 1390. مبانی مهندسی زهکشی (چاپ اول). دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان.
5. عکاشه، ل. 1386. کاربرد زئولیت طبیعی به منظور جذب عناصر سنگین موجود در شیرابه کارخانه کود آلی اصفهان. پایان نامه کاشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان.
6. ناظم، ز. 1386. بررسی امکان تصفیه زمینی شیرابه کمپوست کود آلی اصفهان. پایان نامه کاشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان.
7. APHA. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater, American Public Health Association, Washington, D.C., pp. 1566.
8. Babel, S. and T. A. Kurniawan. 2002. Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: a review. Journal Hazard Mater. 97(1-3):219-43.
9. Bailey, S.E., T.J. Olin, M. Bricka and D.D. Adrian. 1999. A Review of potentially low-cost sorbents for heavy metals. Journal Water Research. 33(11): 2469-2479.

Archive of SID

www.SID.ir

10. Chen, Z., Chen M. B., Zhou J. B., Li Zhou Z. Y., Xi X. R., Lin C. and Chen G. Q. 2008. A vertical subsurface- flow constructed wetland in Beijing. Communications in nonlinear science and numerical simulation 13(9):1986-1997.
11. Christen, E. W., W. C. Quayle, M. A. Marcoux, M. Arienzo and N.S. Jayawardane. 2010. Winery wastewater treatment using the land filter technique. Journal of Environmental Management. 91:1665-1673.
12. Fardad, H. and Nasher, M. 2008. Irrigation with treated wastewater in environmental management and its impact on health: human, livestock and poultry. Tandis shab, Tehran, Iran.
13. Gong, C and R.J. Donahoe. 1997. An experimental study of heavy metal attenuation and mobility in sandy loam soils. Applied Geochemistry. 12:243-254.
14. Kazemian, H. and T. Ghaffari Kashani. 2008. Agricultural application of zeolited fly ash. 1sh Iran International Zeolite Conference. Tehran. April 29-May 1, Tehran, pp 489-490.
15. Knudsen, D., G.A., Peterson and P.F., Pratt. 1982. Lithium, Sodium, and Potassium. In: Page, A.L. R.H., Miller and D.R. Keeney (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2. America Society of Agronomy. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin USA. pp. 225-245.
16. Malekian, R., J. Abedi-Koupai and S.S. Eslamian. 2011. Influences of clinoptilolite and surfactant-modified clinoptilolite zeolite on nitrate leaching and plant growth. Journal of Hazardous Materials. 185:970-976.
17. Panuccio, M. R., Cocrea F., Sorgona A. and G. Cacco. 2007. Adsorption of nutrients and cadmium by different minerals: Experimental studies and modeling. Journal of Environmental Management. 88:890–898.
18. Ramesh, K and D. D. Reddy. 2011. Zeolites and Their Potential Uses in Agriculture. Advances in Agronomy. 113:219-240.
19. Tabatabaei, S. H. and A. Liaghat. 2004. Use of zeolite to control heavy metal municipal wastewater applied for irrigation. journal of Ion Exchange**,** Japanese association of Ion Exchange press. 15(2):62-67.
20. VanCuyk, S., R. Siegrist, A. Logan, S. Masson, E. Fischer and L. Figueroa. 2001. Hydraulic and purification behaviors and their interactions during wastewater treatment in soil infiltration systems. Water Research. 35: 953-964.
21. Wang, S. and Y. Peng. 2010. Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment. Chemical Engineering Journal. 156:11–24.

Archive of SID

www.SID.ir