

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 اوتاریو غربی، دانشکده شیمی، دانشگاه اوتاریو 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، BOD₅، سدیم، مجموع کلسیم و منیزیم پساب ورودی هنگام عبور از ستون‌های 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 BOD₅ 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، BOD₅

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

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

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 (بهرروز 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 آبهویی 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 ژئولیت در خاک‌ها برای افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی آن‌ها می‌باشد (رامش و ردی، 2011). ژئولیت از آلومینوسیلیکات‌های بلورین است که از واحدهای تتراهدرال SiO_4 و AlO_4 تشکیل شده و اکسیژن عامل اتصال این واحدها است (بابل و کورنیان، 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 تبدلی می‌توانند در حفره‌های ساختمان ژئولیت نفوذ کرده و جذب شوند (بیلی و همکاران، 1999 و کاظمیان و غفاری، 2008). پدیده تبادل یونی یکی از ویژگی‌های ژئولیت‌هاست 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 ژئولیت در بهبود نسبی کیفیت پساب‌ها بوده است. ناظم و

همکاران (1386) نتیجه گرفتند که اضافه کردن ژئولیت 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 ژئولیت 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 ژئولیت 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 ژئولیت 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 تأثیر 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 شد که 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 (بهرروز 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

ضرورت می‌یابد. با توجه به این امر تحقیق حاضر با هدف بررسی تغییرات برخی پارامترهای شیمیایی پساب شهرکرد با استفاده از ترکیب خاک و میکروژئولیت 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 میکروژئولیت 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.

کاهش توانایی خاک برای حذف مواد آلی و همچنین BOD₅ بالای پساب عنوان کردند. چن و همکاران (2008) میزان COD و BOD₅ خروجی از سیستم تصفیه زمینی (زمین‌های مرطوب) به کار رفته در آزمایش را با گذر زمان ثابت دانستند. با توجه به تحقیقات زمانیان (1387) ژئولیت 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 فاضلاب‌ها کافی نیست بنابراین نیاز به فرایندهای پیشرفته‌تر برای تصفیه آن‌ها

جدول 1- برخی مشخصات خاک مورد آزمایش

HCO ₃ ^{-*} (meq/L)	CO ₃ ^{2-*} (meq/L)	CaCO ₃ (mg/kg)	N (mg/kg)	Na ⁺ (meq/L)	EC [*] (dS/m)	pH	بافت خاک
2/3	0	25/2	14/3	0/8	0/3	8/5	سیلت لوم

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

جدول 2- برخی خصوصیات شیمیایی پساب و آب شهرکرد

HCO ₃ ⁻ (meq/L)	N-NO ₃ (mg/L)	BOD ₅ (meq/L)	SAR (mmol/L) 0.5	Ca ²⁺ +Mg ²⁺ (meq/L)	Na ⁺ (meq/L)	TSS (mg/L)	TDS (mg/L)	EC (dS/m)	pH	
5/2	14/2	15/8	2/4	4/6	3/6	30	429	0/8	7/9	پساب
-	2/6	3/9	0/13	-	-	0	38	0/3	7/5	آب

با استفاده از الک در دو اندازه مورد نظر، جداسازی شد. ترکیبات ژئولیت مورد استفاده در جدول 3 آمده است.

ژئولیت مورد استفاده از نوع ژئولیت کلینوپتیلولیت تهیه شده از معدن سمنان بود. ژئولیت با استفاده از دستگاه‌های آسیاب بال‌میل و فست‌میل خرد و

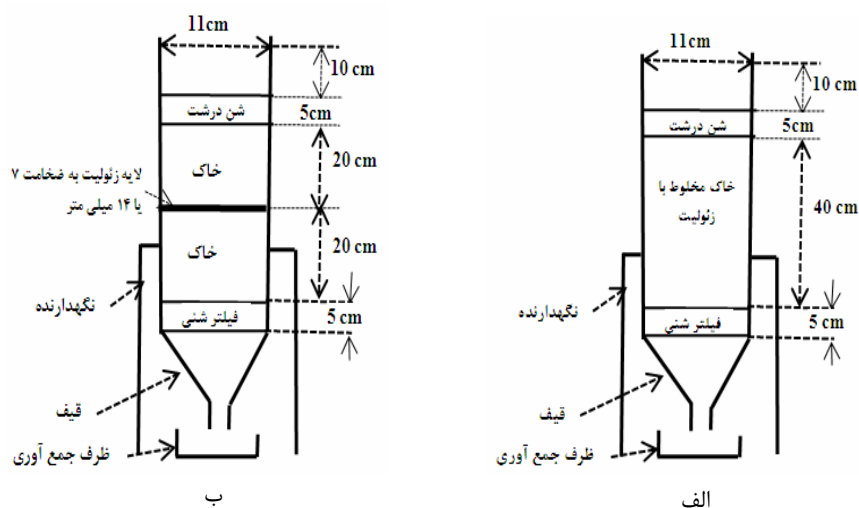
جدول 3- درصد ترکیبات شیمیایی ژئولیت سمنان (ملکیان و همکاران، 2011)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	Loss of Ignition (LOI)*	SiO ₂ /Al ₂ O 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

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 پر کردن 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 7 حجم کل ستون خاک تیمار شاهد) آبیاری شد تا خاک نشست خود را داشته باشد. شکل 1 شمای کلی ستون‌های آزمایشی را نشان می‌دهد.

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



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

خاک) و فاکتور چهارم دور آبیاری (در دور آبیاری اول، چهارم، نهم و سیزدهم) می‌باشد. تیمارهای تحقیق مطابق جدول 4 می‌باشند.

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

جدول 4- مشخصات تیمارها

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

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

گرفت. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان 95 درصد انجام گردید.

نتایج و بحث

- تغییرات pH

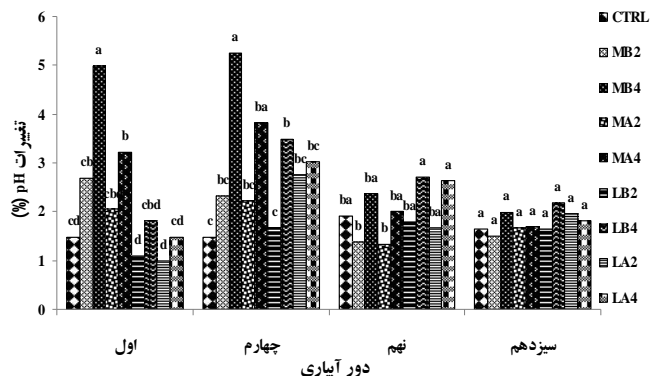
میزان pH زه‌آب خروجی در اثر عبور پساب از داخل ستون‌ها در طول مدت آزمایش نسبت به pH پساب ورودی افزایش یافت و این افزایش برای تیمارهای دارای زئولیت بیش از تیمار شاهد بود (شکل 2). بررسی درصد تغییرات pH (شکل 3 و جدول 5) نشان داد که درصد زئولیت بالاتر و کاربرد آن به صورت مخلوط باعث افزایش بیشتر pH خروجی شد 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 قلیابیت 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، قلیابیت 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.

در این تحقیق 13 مرتبه تزریق پساب با تناوب هفتگی صورت گرفت. حجم پساب به کار برده شده در هر مرتبه آبیاری برابر 1/0 nv 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)، BOD₅ با دستگاه BOD سنج و مجموع کلسیم و منیزیم با استفاده از تیتراسیون با EDTA (APHA, 1998) و سدیم به وسیله فلیم فتومتر (کنکدن و همکاران، 1982) اندازه‌گیری شد.

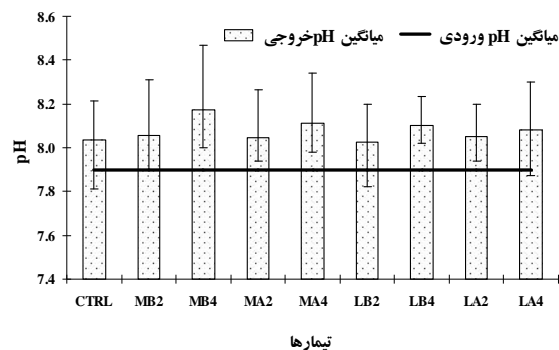
برای هر پارامتر پساب، درصد تغییرات با رابطه‌ی زیر محاسبه شد:

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

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



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



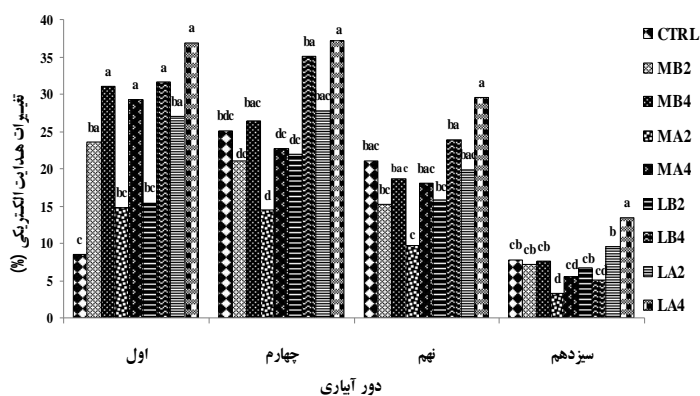
شکل 2- میانگین pH پساب ورودی و زه‌آب خروجی در تیمارهای آزمایش

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

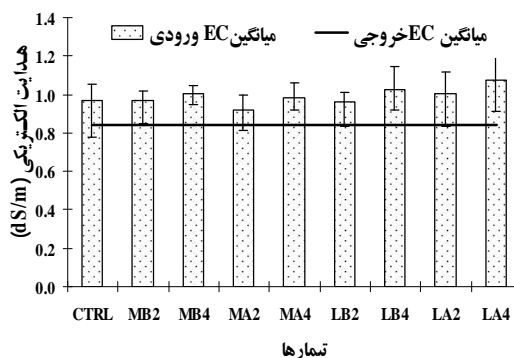
هدایت الکتریکی گردید. درصد تغییرات هدایت الکتریکی در دوره‌های مختلف آبیاری (شکل 5 و جدول 5) نشان داد که در اکثر تیمارهای ترکیب شده با ژئولیت در دور آبیاری اول درصد تغییرات زیاد بوده و با افزایش دور آبیاری درصد تغییرات هدایت الکتریکی به صورت معنی‌دار کاهش یافت و هدایت الکتریکی زه‌آب خروجی به هدایت الکتریکی پساب ورودی نزدیک شد. ژئولیت به دلیل هدایت الکتریکی بالا، باعث افزایش هدایت الکتریکی زه‌آب خروجی در دور اول آبیاری نسبت به تیمار شاهد شد اما با آبتیوی ژئولیت، میزان EC طی دوره آزمایش کاهش یافت.

- 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 آبتیوی 85 درصد، قابل توجیه است (کریستن و همکاران، 2010). نتایج آزمون مقایسه میانگین (جدول 5) نشان داد که درصد ژئولیت 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



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



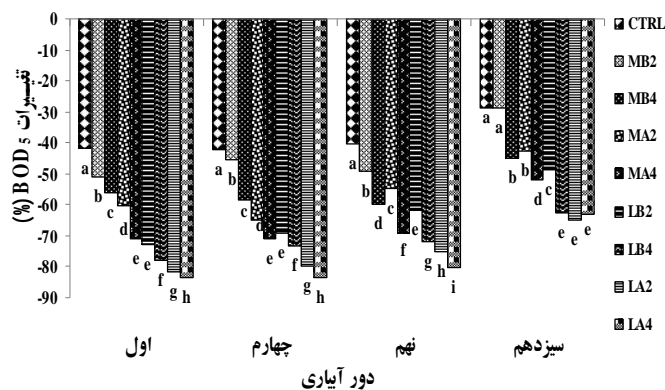
شکل 4- میانگین هدایت الکتریکی پساب ورودی و زه‌آب خروجی در تیمارهای آزمایش

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

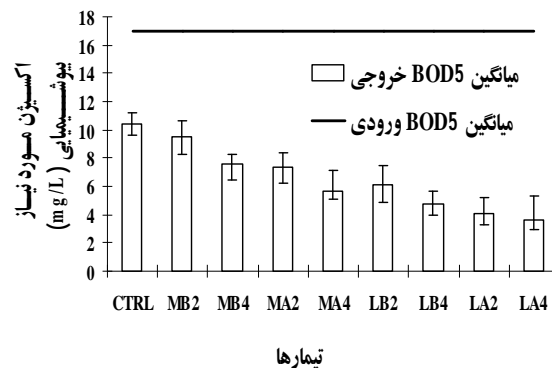
آبیاری نهم توانایی خود را برای کاهش BOD_5 پساب حفظ نمودند ولی در آبیاری سیزدهم میزان BOD_5 زه‌آب به طور معنی‌داری افزایش یافت. دلیل این امر کاهش قدرت تصفیه‌کنندگی خاک و ژئولیت در جذب مواد آلی بود. اما در تیمارهای لایه ای با افزایش دور آبیاری میزان BOD_5 زه‌آب خروجی به طور معنی‌داری افزایش یافت. ژئولیت به دلیل دارا بودن ظرفیت تبادل کاتیونی بالا و نیز حفرات و کانال‌های 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 ژئولیت به کار رفته مشاهده شد.

- اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD)

بررسی میانگین مقدار BOD_5 در نمونه‌های زه‌آب جمع‌آوری 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 و کوچک شدن اندازه ذرات ژئولیت سبب کاهش بیشتر BOD_5 زه‌آب خروجی شده است. به نظر می‌رسد لایه ژئولیت 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



شکل 7- راندمان حذف BOD₅ تیمارهای آزمایش در دور- های مختلف آبیاری



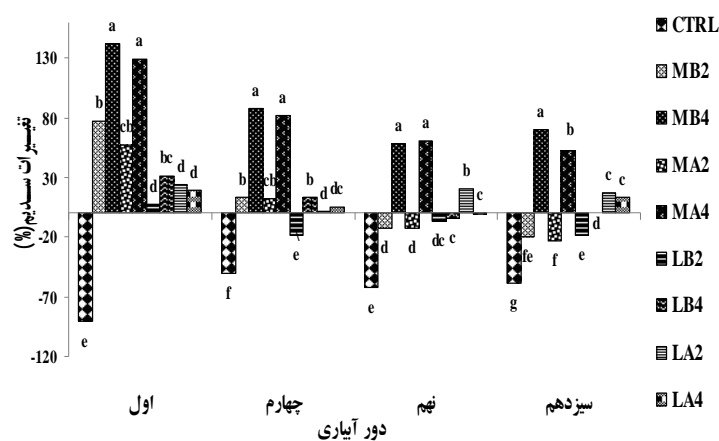
شکل 6- میانگین BOD₅ پساب ورودی و زه آب خروجی در تیمارهای آزمایش

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

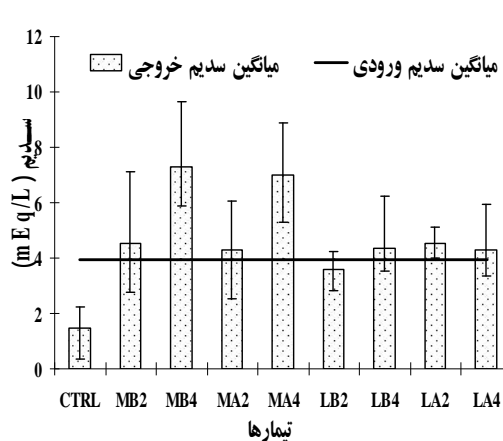
داری افزایش یافت (جدول 5). بیشترین میزان خروج سدیم در تیمارهای مخلوط و لایه ای در آبیاری اول مشاهده شد و در تیمارهای مخلوط به صورت معنی دار میزان سدیم زه آب خروجی در دوره های آبیاری بعدی کاهش یافت اما در تیمارهای لایه ای اختلاف معنی داری از لحاظ خروج سدیم در دوره های آبیاری بعدی مشاهده نشد (شکل 9). اختلاف های میان تیمارها در کلیه دوره های آبیاری در سطح یک درصد معنی دار شد ($P < 0/01$). تحقیقات زمانیان (1387) نیز نشان داد که ژئولیت تمایلی به جذب سدیم ندارد.

- سدیم (Na)

با توجه به نتایج، به جز تیمار شاهد، در سایر تیمارها میزان سدیم پساب در اثر عبور ستون ها افزایش یافت (شکل 8). در میان تیمارهای تحقیق، تیمارهای مخلوط 4 درصد (MA4 و MB4) میزان سدیم خروجی بیشتری در زه آب نسبت به سایر تیمارها داشتند. میزان سدیم خروجی در تیمارهای مخلوط بیشتر از لایه ای بود. با کوچک کردن اندازه ذرات ژئولیت میزان سدیم خروجی در تیمارهای مخلوط و لایه ای به ترتیب کاهش و افزایش یافت. با افزایش میزان ژئولیت در خاک، میزان سدیم زه آب خروجی در هر دو روش کاربرد مخلوط و لایه ای به صورت معنی -



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



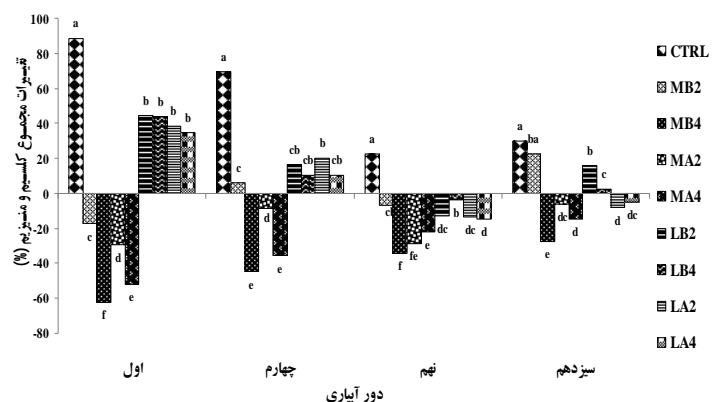
شکل 8- میانگین سدیم زه آب پساب ورودی و زه آب خروجی در تیمارهای آزمایش

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

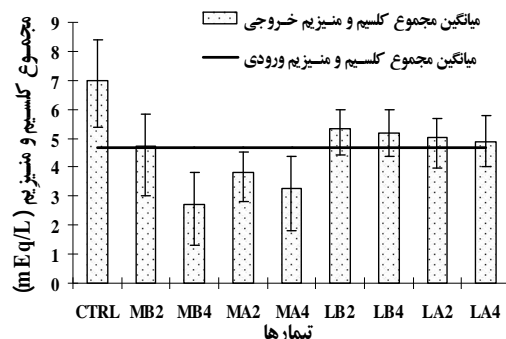
و جدول 5). با توجه به نتایج سدیم زه آب خروجی که در بخش قبل آمده است می توان نتیجه گرفت، سدیم از ساختار زئولیت خارج و کلسیم و منیزیم وارد ساختار زئولیت شده است. عکاشه (1386)، زمانیان (1387) و ناظم (1386) در تحقیقات خود به نتایج مشابه در این زمینه دست یافتند. طباطبائی و لیاقت (2004) گزارش کردند که کاهش اندازه ذرات باعث کاهش آبشویی مجموع کلسیم و منیزیم در تیمارهای مخلوط و لایه ای شد که دلیل آن افزایش سطح ویژه ذرات با کاهش اندازه ی آنها می باشد. همچنین کاربرد زئولیت 4 درصد تاثیر بیشتری در کاهش آبشویی مجموع کلسیم و منیزیم نسبت به 2 درصد داشته است.

- مجموع کلسیم و منیزیم

در تیمار شاهد (کلیه دورها) و تیمارهای لایه ای (دور آبیاری اول تا چهارم) در اثر کاربرد پساب، مجموع کلسیم و منیزیم خروجی بیش از ورودی بود. در صورتی که 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 لایه ای بیشتر از تیمارهای مخلوط بود، اما در کل دوره نتایج تیمارهای لایه ای بهتر از شاهد بود و احتمالاً با افزایش دور آبیاری تیمارهای لایه ای قادر خواهند بود که عملکردی مشابه با تیمارهای مخلوط داشته باشند (شکل 11



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



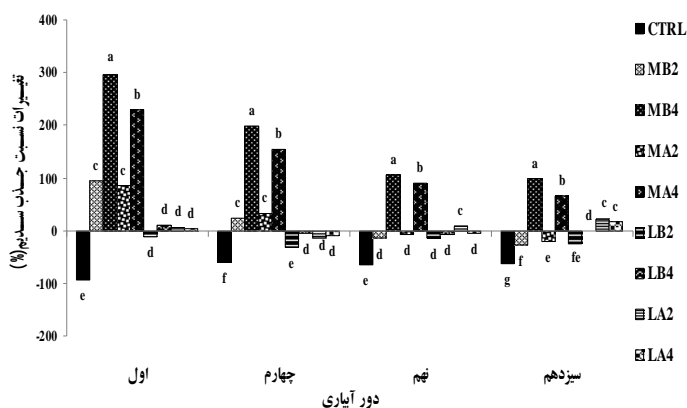
شکل 10- میانگین مجموع کلسیم و منیزیم پساب ورودی و زه آب خروجی در تیمارهای آزمایش

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

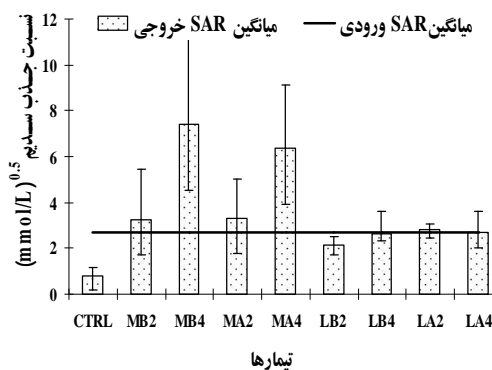
اختلاف معنی دار در سطح یک درصد بود ($P < 0/01$). مطابق جدول 5 کاربرد ذرات ریزتر در تیمارهای مخلوط سبب کاهش میزان درصد تغییرات SAR شده است در حالی که در روش لایه‌ای باعث افزایش درصد تغییرات SAR شد. با افزایش میزان ژئولیت SAR زه آب خروجی در تیمارهای مخلوط افزایش یافته است در حالی که در تیمارهای لایه‌ای اختلاف معنی داری مشاهده نشد.

- نسبت جذب سدیم (SAR)

در اثر کاربرد، پساب بیشترین و کمترین میزان SAR زه آب خروجی به ترتیب در تیمار MB4 و شاهد مشاهده شد (شکل 12). 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 معنی داری کاسته شد، اما SAR در تیمارهای لایه‌ای در دوره‌های آبیاری دارای نوسان زیادی بود. میزان SAR زه آب خروجی از تیمارهای آزمایش در هر چهار دور آبیاری دارای



شکل 13- درصد تغییرات SAR تیمارهای آزمایش در دوره‌های مختلف آبیاری



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

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

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	1/5	1/5	1/9	1/6	-	-	-	-
	مخلوط	ba3/2	3/4 ^a	1/7 ^{de}	1/7 ^{de}	-	*	1/9 ^c	3/1 ^a
	لایه ای	1/3 ^e	2/7 ^{bc}	2/2 ^{dc}	1/9 ^{de}	-	*	1/7 ^c	2/4 ^b
هدایت الکتریکی	شاهد	8/4	25/1	21/1	7/8	-	-	-	-
	مخلوط	24/6 ^{bc}	21/2 ^c	15/4 ^d	5/9 ^c	14/7 ^c	18/8 ^b	13/6 ^c	19/9 ^b
	لایه ای	27/7 ^{ba}	30/3 ^a	22/3 ^c	8/7 ^e	25/1 ^a	19/4 ^b	17/9 ^b	26/6 ^a
BOD ₅	شاهد	-41/9	-42/4	-40/5	-28/8	-	-	-	-
	مخلوط	-59/6 ^b	-59/9 ^b	-58/2 ^b	-42/0 ^a	-60/7 ^b	-49/2 ^a	-49/6 ^a	-60/3 ^b
	لایه ای	-78/9 ^c	-76/3 ^d	-72/2 ^c	-59/8 ^b	-76/4 ^d	-67/2 ^c	-69/2 ^c	-74/4 ^d
سدیم	شاهد	-90/1	-49/7	-62/0	-58/1	-	-	-	-
	مخلوط	101/3 ^a	48/5 ^b	23/5 ^c	19/6 ^c	44/5 ^b	51/9 ^a	11/2 ^b	85/2 ^a
	لایه ای	20/9 ^c	0/7 ^d	2/1 ^d	3/3 ^d	12/7 ^c	0/8 ^d	3/4 ^c	10/1 ^b
مجموع کلسیم و منیزیم	شاهد	88/6	69/5	22/7	29/8	-	-	-	-
	مخلوط	-40/2 ^f	-20/7 ^e	-22/8 ^e	-6/4 ^d	-24/5 ^d	-20/5 ^c	-8/5 ^c	-36/5 ^d
	لایه ای	11/1 ^a	14/1 ^b	-11/1 ^d	1/2 ^c	7/7 ^b	14/6 ^a	12/5 ^a	9/8 ^b
SAR	شاهد	-92/8	-61/4	-65/6	-63/3	-	-	-	-
	مخلوط	176/6 ^a	101/9 ^b	43/8 ^c	28/7 ^d	78/7 ^b	96/9 ^a	20/6 ^b	154/9 ^a
	لایه ای	-3/7 ^b	-15/4 ^f	-4/7 ^{fe}	3/5 ^e	3/2 ^c	-10/6 ^d	-7/3 ^c	-0/1 ^c

C نشان دهنده تیمار شاهد، M نشان دهنده مخلوط با خاک و L نشان دهنده لایه ای در خاک و * نشان دهنده عدم معنی داری می باشد ضمناً تیمارهایی که حرف مشترک دارند در سطح یک درصد معنی دار نیستند.

نتیجه گیری

زه آب خروجی به دلیل استفاده از زئولیت 48/24 و 6/76

درصد از میزان سدیم پساب ورودی بیشتر بود.

- میزان BOD₅ زه آب خروجی در تیمارهای شاهد، مخلوط و لایه ای به ترتیب 38/42، 54/98 و 71/84

درصد نسبت به BOD₅ پساب ورودی کمتر بود.

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

- افزودن زئولیت به خاک باعث افزایش میزان pH و هدایت الکتریکی زه آب خروجی به خصوص در دوره های اولیه شد.

- میانگین سدیم زه آب خروجی از تیمار شاهد نسبت به میانگین سدیم پساب ورودی 64/99 درصد کاهش نشان داد، در حالی که در تیمارهای مخلوط و لایه ای، سدیم

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 در صورتی که هدف استفاده از زه آب خروجی ستون‌ها باشد، تیمارهای لایه‌ای برای این منظور مناسب‌تر است.

زه آب 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 زه آب خروجی شد. - اگر هدف از کاربرد زئولیت کنترل BOD_5 پساب باشد، کاربرد زئولیت به صورت لایه‌ای و در صورتی که هدف

بختیاری، جناب آقای مهندس فرزاد به دلیل کمک به انجام آزمایش‌های این پژوهش قدردانی می‌گردد.

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

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. نورمهنداد 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.

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. 1st 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.