



## اثر استفاده از پساب شهری بر نفوذپذیری خاک در شرایط استفاده از زئولیت

سید حسن طباطبائی<sup>۱</sup>، هاجر طاهری سودجانی<sup>۲</sup> و مهدی قبادی‌نیا<sup>۳</sup>

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

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

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

[stabaei@agr.sku.ac.ir](mailto:stabaei@agr.sku.ac.ir)

### چکیده

کمبود آب باعث روی آوردن کشاورزان به منابع آب با کیفیت پائین از جمله پسابهای شهری گردیده است. در این راستا، اثرات استفاده از پساب بر روی گیاه و خاک باید پایش گردد. زئولیت‌ها به منظور افزایش جذب عناصر غذایی پساب‌ها، به خاک افزوده می‌شود. این تحقیق با هدف بررسی مقدار و اندازه زئولیت بر پارامتر سرعت نفوذ نهایی خاک، هنگام آبیاری با پساب صورت گرفت. در این تحقیق و به منظور کنترل عوامل مؤثر بر محیط، آزمایش‌ها در داخل ۱۵ ستون PVC در گلخانه پژوهشی دانشگاه شهرکرد در سال ۱۳۹۰ انجام شد. این آزمایش مشتمل بر ۵ تیمار و ۳ تکرار بود. تزریق پساب به داخل خاک به طریق غرقابی و ۱۳ مرتبه با تناوب هفتگی تکرار شد. حجم پساب به کار برده شده در هر مرتبه آبیاری برابر  $1/0 \text{ m}^3$  می‌باشد. در دوره‌های آبیاری ۵، ۶، ۸، ۹، ۱۲ و ۱۳ نفوذ به روش بار افتان اندازه‌گیری شد. میانگین سرعت نفوذ در تیمارهای زئولیت و کنترل به ترتیب برابر با  $0/93$  و  $0/73$  سانتی متر بر دقیقه می‌باشد، کاربرد زئولیت به طور میانگین نسبت به تیمار شاهد  $10/31$  درصد سرعت نفوذ را افزایش داده و این افزایش در سطح ۵ درصد معنی دار شد. اثر اندازه ذرات بر سرعت نفوذ نهایی خاک در این تحقیق معنی دار نشد. افزایش میزان سرعت نفوذ نهایی در تیمارهای دارای ۴ درصد وزنی زئولیت به اثر شیمیایی زئولیت نسبت داده شد. میزان جذب کلسیم و منیزیم در تیمار MB4 و MA4 به ترتیب برابر با  $42/21$  و  $30/91$  درصد می‌باشد.

کلمات کلیدی: پساب، زئولیت، ستون خاک، سرعت نفوذ نهایی

### مقدمه

استفاده از پساب در کشاورزی به طور گسترده در مناطقی که با کمبود آب شیرین مواجه هستند پذیرفته شده است (Nadav et al., 2011). برخی تحقیقات نشان دادند که کاربرد فاضلاب در خاک، به عنوان یک ماده مناسب اصلاح کننده عمل نموده و باعث افزایش ظرفیت نگهداری خاک و هدایت هیدرولیکی آن شده است (Chang et al., 1984). ناداو (۲۰۱۱) به بررسی چندین رژیم نفوذ باهدف دستیابی به سرعت نفوذ بالا در سیستم تصفیه زمینی پرداختند و نتیجه گرفتند که سرعت نفوذ آب به داخل خاک شنی در اثر انباشتگی مواد آلی کاهش خواهد یافت و تجمع مواد آلی در لایه سطحی خاک مهم ترین عاملی است که باعث کاهش نفوذ پذیری



در خاک می شود. مختاری و همکاران (۱۳۸۴) نشان دادند که افزودن کود به خاک با بافت لوم رسی باعث افزایش نفوذپذیری خاک شده است و هر چه میزان کوددهی افزایش داشته باشد سرعت نفوذ نهایی خاک هم بیشتر شده است. تحقیقات پاترسون (۱۹۶۶) در استالیا نشان داد که افزایش قابل توجه SAR در پساب حاصل از تصفیه فاضلاب‌های خانگی موجب کاهش هدایت هیدرولیکی خاک می‌گردد. میرزایی (۱۳۸۶) نشان داد که شیرابه به دلیل داشتن SAR بالا باعث پراکندگی ذرات خاک و کاهش هدایت هیدرولیکی و نفوذپذیری خاک لوم رسی شده است در حالی که تغییری در خاک ماسه لوم دار ایجاد نشده است. ناظم (۱۳۸۶) نشان داد که آبیاری با شیرابه به دلیل میزان مواد آلی بالای آن باعث افزایش هدایت هیدرولیکی و نفوذپذیری خاک و آبدهی ویژه در خاک SANDY CLAY LOAM شده است. مهیدا (۱۹۸۱) گزارش نمود که استفاده از فاضلاب به جای آب آبیاری موجب بهبود نفوذپذیری، افزایش تخلخل در خاک و بهبود ساختمان اسفنجی خاک شده است.

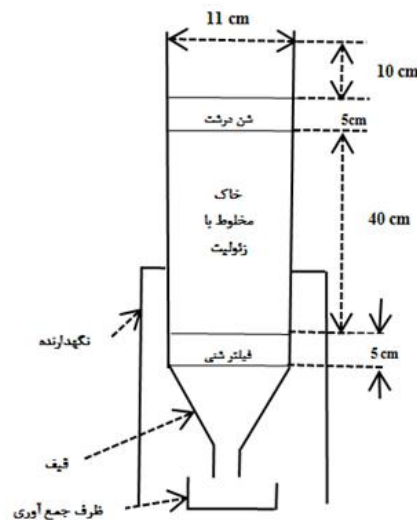
ژئولیت از آلومینوسیلیکات‌های بلورین است که از واحدهای تتراهدرال  $SiO_4$  و  $AlO_4$  تشکیل شده و اکسیژن عامل اتصال این واحدها است (Babel et al., 2002). این طریقه اتصال ساختار شبکه بلور را ایجاد کرده و داخل آن حفره‌هایی با ابعاد مولکولی ایجاد شده است. سدیم، کلسیم و پتاسیم و دیگر کاتیون‌های تبادل می‌توانند در حفره های ساختمان ژئولیت نفوذ کرده و جذب شوند و این کاتیون‌ها هم‌چنین می‌توانند توسط عناصر سنگین جایگزین شوند (Bailey et al., 1999).

هانگ و ژانبین (۲۰۰۱) نشان دادند که خاک دارای ژئولیت در مقایسه با خاک بدون ژئولیت می‌تواند نفوذ آب به داخل خاک را تا ۳۵٪ در شیب تند افزایش دهد. میرزایی (۱۳۸۶) نشان داد که در خاک لوم رسی و ماسه لوم دار با افزایش درصد ژئولیت هدایت هیدرولیکی کاهش یافته است و کاهش هدایت هیدرولیکی در اثر افزایش درصد ژئولیت را به قرار گرفتن ذرات ژئولیت در خلل و فرج درشت خاک نسبت داده است. با در نظر گرفتن شرایط خشک اقلیمی کشور ایران استفاده از پساب‌ها در آبیاری یک راهکار جهت مقابله با کمبود آب است. این تحقیق با هدف بررسی سرعت نفوذ نهایی خاک در اثر آبیاری با پساب در خاک سیلت لوم مخلوط با ژئولیت صورت گرفته است.

## مواد و روش‌ها

برای بررسی تاثیر میزان کاربرد و اندازه ژئولیت بر سرعت نفوذ نهایی 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 ۱۵ 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 ستون-ها، ۴۰ سانتیمتر بالای آن مطابق با تیمارها از ترکیب خاک مورد آزمایش و ژئولیت 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 ستون‌های 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 ۵ تیمار و ۳ تکرار بود. هریک از تیمارها را با علامت اختصاری MB4، MB2، MA4، MA2 نمایش داده می‌شود که اندیس‌ها را به صورت زیر تعریف می‌شود: M بیانگر مخلوط با خاک A و B اندازه ذرات میکرو زئولیت می‌باشد. تیمارهای تحقیق مطابق جدول ۱ می‌باشند.

جدول ۱- مشخصات تیمارها

علامت اختصاری تیمار	اندازه‌ی زئولیت (میکرومتر)	در صد مواد زئولیت در خاک
Ctrl	-	٪۰
MB2	۱۲۵	٪۲
MB4	۱۲۵	٪۴
MA2	۶۳	٪۲
MA4	۶۳	٪۴

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

طرح از نظر آماری در قالب طرح فاکتوریل با دو فاکتور انجام گرفت. فاکتور اول اندازه ذرات میکروزئولیت‌ها (در دو سطح ذرات میکرو زئولیت  $A=63$  و  $B=125$  میکرومتر) و فاکتور دوم 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 ( $gr/cm^3$ )	pH	EC (dS/m)	Na (mEq/L)	N (mg/kg)
دانشگاه شهرکرد	سیلت لوم	1/15	2/61	8/45	0/24	0/52	14/32



جدول ۳- برخی خصوصیات شیمیایی پساب و آب شهرکرد

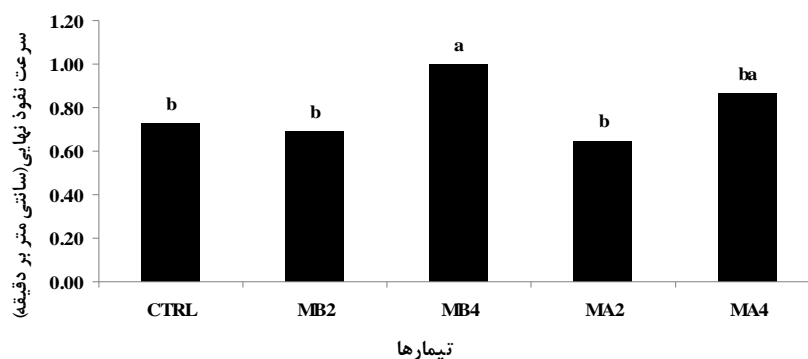
N-NO <sub>3</sub> (mg/L)	BOD <sub>5</sub> (mEq/L)	SAR (mmol/L) <sup>0.5</sup>	TSS (mg/L)	TDS (mg/L)	EC (dS/m)	pH	
14/22	18/75	2/2	30	450	0/75	7/8	پساب
2/61	3/96	0/13	0	38	0/3	7/54	آب معمولی

ژئولیت مورد استفاده از نوع ژئولیت کلینوپتیلولیت تهیه شده از معدن سمنان بود. ژئولیت 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.

تزیق پساب به داخل خاک به طریق غرقابی و ۱۳ مرتبه با تناوب هفتگی تکرار شد. حجم پساب به کار برده شده در هر مرتبه آبیاری برابر ۱۷۰ ml می‌باشد. در دوره‌های آبیاری ۵، ۶، ۸، ۹، ۱۲ و ۱۳ نفوذ به روش بار افتان اندازه گیری شد. در ابتدای آزمایش به اندازه ۱۰ سانتی متر پساب بر روی خاک ریخته شد و میزان نفوذ پساب به داخل خاک با زمان اندازه گیری شد. زمانی که ارتفاع پساب روی خاک به نصف رسید دوباره به اندازه ۵ سانتی متر پساب به خاک اضافه شد و این عمل در هر آزمایش دو بار تکرار شد. داده‌ها وارد نرم افزار excel شد و سرعت نفوذ نهایی محاسبه گردید. آنالیز آماری و مقایسه اثرات فاکتورها با استفاده از نرم افزار آماری SAS صورت گرفت

## نتایج و بحث

در شکل ۲ میانگین سرعت نفوذ نهایی در طول دوره آزمایش نشان داده شده است. در جدول ۴ تجزیه واریانس سرعت نفوذ نهایی در کل دوره مورد آزمایش آمده است. با توجه به این جدول اثر تیمارها در سطح پنج درصد معنی دار بوده است. با توجه به شکل ۲ افزودن ژئولیت ۴ درصد با اندازه ذرات ۱۲۵ میکرون بیشترین میزان سرعت نفوذ را داشته و در سطح ۵ درصد با سایر تیمارها معنی دار شده است.



شکل ۲- میانگین سرعت نفوذ نهایی خاک در طول دوره آزمایش

جدول ۴- تجزیه واریانس سرعت نفوذ نهایی در کل دوره

پارامتر	منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	معنی داری
سرعت نفوذ نهایی خاک	تیمار	۴	۰/۲۶	۰/۰۴*



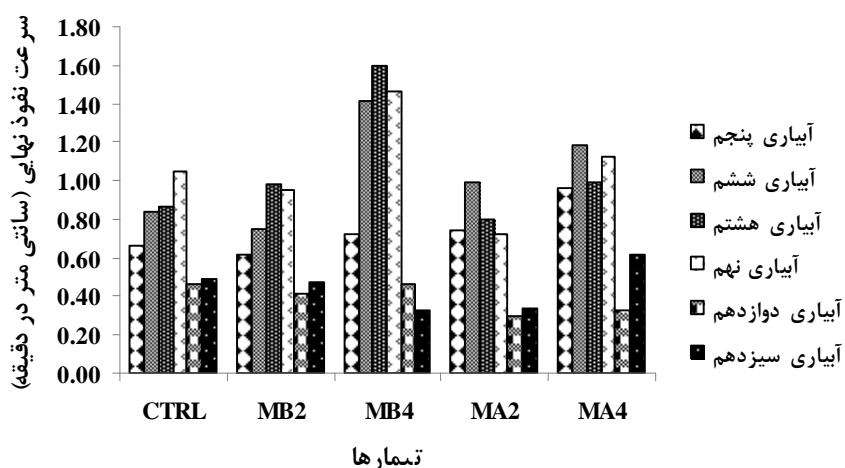
خطا	۱۰	۰/۱۸
کل	۱۴	

× معنی داری اثر تیمارها در سطح ۵ درصد با آزمون دانکن

با توجه به آنالیز آماری اثر میزان ژئولیت بر سرعت نفوذ نهایی معنی دار شده است. یعنی با افزایش ژئولیت به کار رفته در داخل خاک بر سرعت نفوذ نهایی افزوده شده است. نتایج به دست آمده از این تحقیق با نتایج هانگ و ژانبین (۲۰۰۱) مطابقت دارد. این در حالی است که اثر سایز ژئولیت به کار رفته در این تحقیق در سطح ۵ درصد معنی دار نبوده است.

### بررسی سرعت نفوذ نهایی در طول زمان

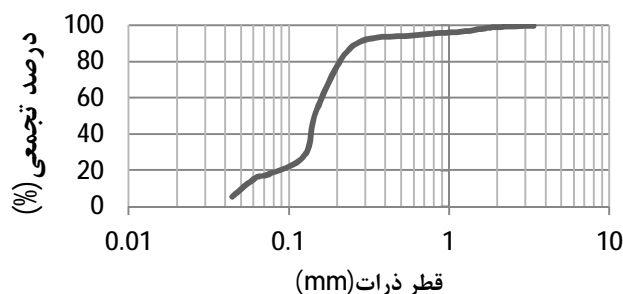
شکل ۳ سرعت نفوذ اندازه گیری شده در در دوره‌های آبیاری ۵، ۶، ۸، ۹، ۱۲ و ۱۳ را نشان می‌دهد، با توجه به شکل ۳ تا آبیاری نهم استفاده از پساب باعث افزایش سرعت نفوذ نهایی بوده، اما در آبیاری‌های ۱۲ و ۱۳ میزان سرعت نفوذ نهایی در کلیه تیمارهای مورد آبیاری کاهش یافته است که احتمالاً به دلیل کاهش دما در دو آبیاری آخر می‌باشد.



شکل ۳- میانگین سرعت نفوذ نهایی خاک در تیمارهای آزمایشی در آبیاری‌های مختلف

### بررسی اثر مکانیکی ذرات میکروژئولیت مخلوط شده با خاک

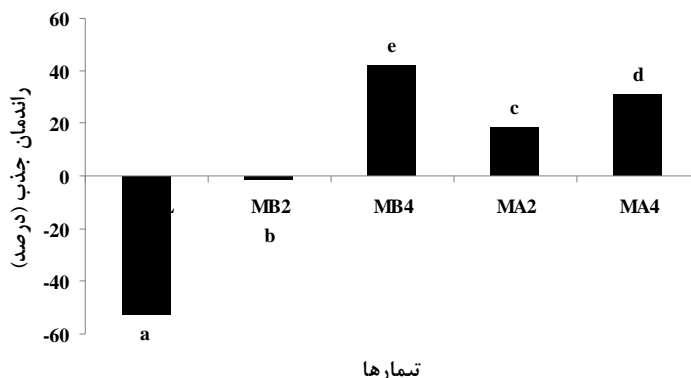
با توجه به شکل ۴، ۷۵ درصد ذرات خاک دارای سایز بزرگتر از ۱۲۵ میکرون می‌باشند. بنابراین اضافه نمودن ذرات ۱۲۵ و ۶۳ میکرون ژئولیت به خاک، درصد ذرات ریزتر خاک را افزایش داده و در نتیجه میزان تخلخل خاک را کاهش یافته و از لحاظ مکانیکی بایستی سرعت نفوذ را کاهش می‌داد ولی با توجه به این که موضوع مشاهده نشد به بررسی اثر شیمیایی ژئولیت اضافه شده به خاک پرداخته شد.



شکل ۴- منحنی دانه بندی خاک

#### بررسی اثر شیمیایی ذرات میکروزئولیت مخلوط شده با خاک

شکل ۵ راندمان جذب کلسیم و منیزیم پساب توسط تیمارها را در طول دوره آزمایش نشان می دهد. در جدول ۵ تجزیه واریانس راندمان جذب کلسیم به علاوه منیزیم خاک آمده است. با توجه به جدول اثر تیمارها در جذب کلسیم و منیزیم در سطح یک درصد معنی دار می باشد. تیمارهای دارای زئولیت نسبت به تیمار کنترل میزان جذب بالاتری داشتند. نتایج به دست آمده با نتایج ناظم و همکاران (۱۳۸۶) و زمانیان و همکاران (۱۳۸۶) مطابقت دارد.



شکل ۵- راندمان جذب کلسیم به علاوه منیزیم پساب

جدول ۵- تجزیه واریانس راندمان جذب کلسیم به علاوه منیزیم خاک

پارامتر	منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	معنی داری
کلسیم به علاوه منیزیم	تیمار	۴	۴۱۷۲/۸۵	* <sup>**</sup> < ۰/۰۰۰۱
	خطا	۱۰	۱۰/۰۱	
	کل	۱۴		

\*<sup>\*\*</sup> معنی داری اثر تیمارها در سطح ۱ درصد با آزمون دانکن

کاتیون‌هایی که جذب ذرات کلوئیدی خاک می‌شوند، غشایی را در اطراف این ذرات تشکیل می‌دهند که ضخامت این لایه تعیین کننده حالت فیزیکی خاک از نظر ساختمانی است. اگر ضخامت این لایه که اصطلاحاً آن را لایه مضاعف می‌نامند، کم باشد ذرات خاک به هم چسبیده و حالت لخته‌ای به خود می‌گیرند. در این وضعیت خاک از ساختمان فیزیکی مطلوبی برخوردار است. برعکس در شرایطی که ضخامت این لایه زیاد باشد ذرات خاک پراکنده



شده و ساختمان فیزیکی خاک از بین می‌رود. اگر کاتیون‌هایی که جذب ذرات خاک می‌شوند بیشتر از نوع دو ظرفیتی مانند کلسیم باشند، لایه مضاعف فشرده شده و چنانچه بیشتر از نوع یک ظرفیتی مانند سدیم باشند لایه مضاعف ضخیم و ذرات خاک پراکنده می‌شوند. پراکندگی ذرات خاک باعث ایجاد مشکلاتی از جمله کاهش نفوذ خواهد شد (میرزایی، ۱۳۸۶). میزان جذب کلسیم به علاوه منیزیم در تیمار MB4 و MA4 به ترتیب برابر با ۴۲/۲۱ و ۳۰/۹۱ درصد می‌باشد، بنابراین تیمار MB4 بیشترین میزان جذب کلسیم به علاوه منیزیم را داشته، بنابراین می‌توان سرعت نفوذ نهایی بالاتر این تیمار را به جذب بیشتر کلسیم و منیزیم پساب نسبت داد که لایه مضاعف فشرده ای را در اطراف ذرات خاک ایجاد کرده و باعث بهبود ساختمان خاک شده است.

### نتیجه‌گیری

- کاربرد ژئولیت به طور میانگین نسبت به تیمار شاهد ۱۰/۳۱ درصد سرعت نفوذ را افزایش داده و این افزایش در سطح ۵ درصد معنی دار شد.
- میانگین سرعت نفوذ در تیمارهای ژئولیت ۴ درصد و کنترل به ترتیب برابر با ۰/۹۳ و ۷۳/۷۳ سانتی متر بر دقیقه می‌باشد.
- اثر اندازه ذرات بر سرعت نفوذ نهایی خاک در این تحقیق معنی دار نشد. در حالی که اثر میزان ژئولیت به کار رفته در سطح یک درصد معنی دار شد.
- بیشترین میزان سرعت نفوذ در تیمار MB4 مشاهده شد.
- بین تیمار کنترل با تیمارهای دارای ژئولیت ۲ درصد اختلاف معنی دار مشاهده نشد. با وجود این که از لحاظ مکانیکی انتظار کاهش سرعت نفوذ در این تیمارها را داشتیم.
- میزان جذب کلسیم به علاوه منیزیم در تیمار MB4 و MA4 به ترتیب برابر با ۴۲/۲۱ و ۳۰/۹۱ درصد می‌باشد، تیمار MB4 بیشترین میزان جذب کلسیم به علاوه منیزیم را داشته، بنابراین می‌توان سرعت نفوذ نهایی بالاتر این تیمار را به جذب بیشتر کلسیم و منیزیم پساب نسبت داد.

### قدردانی

بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهرکرد به دلیل حمایت‌های مالی، از مسئولین تصفیه خانه بهرام آباد و آزمایشگاه مرکز تحقیقات به سبب حمایت‌هایشان، از شرکت افزند توسکا به دلیل تامین ژئولیت این تحقیق تشکر می‌گردد.

### منابع

۱. زمانیان م. ۱۳۸۷. بررسی شاخص‌های آلودگی شیمیایی و میکروبی در تصفیه زمینی شیرابه کارخانه کود آلی اصفهان و تاثیر کاربرد ژئولیت. پایان نامه کاشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.
۲. میرزائی م.ج. ۱۳۸۶. بررسی تصفیه زمینی شیرابه کمپوست کارخانه کود آلی اصفهان و تاثیر کاربرد ژئولیت. پایان نامه کاشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.



۳. ناظم ز. ۱۳۸۶. بررسی امکان تصفیه زمینی شیرابه کمپوست کود آلی اصفهان. پایان نامه کاشناسی ارشد خاک شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان.
4. Babel s. and Kurniawan T.A. 2002. Low-cost adsorbant for heavy metals uptake from contaminated water:review, J .Hazardous materials :219-243.
  5. 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.
  6. Chang A. C. Warneke J.E. Page A.L. and Lund L.J. 1984. Accumulation of heavy metals uptake form soil treated with metal-amended sewage-sludge, J. Environ. Qual. 4(4):455-460.
  7. Eriksson E. Auffarth K. Henze M. and Ledin A. 2002. Characteristics of grey wastewater. Urban Water 4 (1):85–104.
  8. Mahida N.U. 1981. Water Pollution and Disposal of Wastewater on Land. Tata McGraw – Hill Publishing Company limited, New Delhi, 325.
  9. Nadav I. Arye G. Tarchitzky J. and Chen Y. 2012. Enhanced infiltration regime for treated-wastewater purification in soil aquifer treatment (SAT). Journal of Hydrology 421:275–283.
  10. Xiubin H. and Huang Z. 2001. Zeolite application for enhancing water infiltration and retention in loess soil, Resources, Conservation and Recycling, 34(1):45-52.