Archive of SID

مجله پژوهش آب ایران
جلد ۱۳/ شماره ۱/ پیاپی ۳۲/ بهار ۱۳۹۸ (۵۹-۶۸)

تأثیر کاربرد آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با فیلتر سیلیس بر خصوصیات شیمیایی خاک در شرایط استفاده از پساب

ساناز اجل لوییان[۱]، پیام نجفی[۲]، زهره ناظم[۳*] و سید حسن طباطبائی[۴]

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی اثر آبیاری قطره‌ای با پساب بر خصوصیات شیمیایی خاک در مزرعه دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان با خاکی دارای بافت لومی انجام شد. هدایت‌الکتریکی آب چاه منطقه ۴/۱۹ و پساب ۶ دسی‌زیمنس بر متر بود. آزمایش در قالب طرح فاکتوریل با دو تیمار اصلی روش آبیاری، شامل آبیاری قطره‌ای سطحی و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به همراه کاربرد فیلتر سیلیس در اطراف قطره‌چکان‌ها و دو تیمار فرعی، شامل منبع آب آبیاری چاه و پساب (حاصل از رقیق‌سازی شیرابه کارخانه کود آلی اصفهان با آب چاه مزرعه) در ۴ تکرار به مدت ۹ ماه انجام شد. نمونه‌برداری و بررسی‌های خاک، هر ۳ ماه یک‌بار بر اساس روش‌های استاندارد صورت گرفت. ادامهٔ آبیاری با پساب پس از ۹ ماه سبب افزایش معنی‌داری pH، OC، EC، SO_4^{2-}، NO_3^-، PO_3^-، Cl^-، Ca، Mg، Na، K به غیر از HCO_3^- در خاک اطراف قطره‌چکان‌ها شد. اثر عمق کاربرد آب آبیاری نشان داد که تمامی پارامترهای ذکرشده به‌جز K، NO_3^- و PO_3^- در خاک سطحی تجمع معنی‌داری داشتند. میانگین اثر متقابل زمان، عمق و نوع آبیاری بر تمامی شاخص‌های مورد بررسی خاک به غیر از OC معنی‌دار بود. وجود فیلتر سیلیس سبب کاهش میزان املاح و تصفیهٔ پساب قبل از ورود به خاک و افزایش کارایی سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی گردید.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، آب نامتعارف، فیلتر، حذف.

ارجاع: اجل لوییان س. نجفی پ. ناظم ز. و طباطبائی س. ح. ۱۳۹۸. تأثیر کاربرد آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با فیلتر سیلیس بر خصوصیات شیمیایی خاک در شرایط استفاده از پساب. مجله پژوهش آب ایران. ۳۲: ۵۹-۶۸.

۱- دانشجوی سابق کارشناس ارشد علوم خاک، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، اصفهان.
۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، اصفهان.
۳- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.
۴- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.
* **نویسنده مسئول**: Nazem.zohreh@gmail.com
تاریخ دریافت:۱۳۹۵/۰۴/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۱/۲۱

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

ایران به‌خاطر موقعیت جغرافیایی خاص، جزء نواحی خشک و نیمه‌خشک در جهان با منابع آب با کیفیت محدود محسوب می‌گردد (هنرجو و همکاران، ۲۰۱۰). به همین جهت، برای رفع نیاز آب آبیاری مجبور به استفاده از آب‌هایی با کیفیت پایین، مانند آب‌های زیرزمینی شور، آب زه‌کشی، پساب تصفیه‌شده می‌باشد (جلالی و همکاران، ۲۰۰۷). یافتن راهکاری برای حذف آلاینده از پساب‌ها با توجه به منابع محدود آب با کیفیت می‌تواند نقش مهمی در عملیات کشاورزی و کاهش هزینه‌ها داشته باشد.

به‌طورکلی، پساب ترکیبی است که حدود ۹۹/۹ درصد آن آب و ۰/۱ آن مخلوطی از سایر مواد، از جمله مواد معلق، مواد آلی، گازها و یا باکتری‌ها می‌باشد (حیدرپور و همکاران، ۲۰۰۷). افزودن پساب‌ها به خاک سبب افزایش آنیون‌های کلراید، بی‌کربنات، سولفات و فسفات در خاک می‌شود. سطح بی‌کربنات (بیشتر از ۳-۴ میلی‌اکی‌والان در لیتر) در آب آبیاری می‌تواند باعث افزایش pH خاک شود و همراه با کربنات می‌تواند بر نفوذپذیری خاک مؤثر باشد. خصوصیات شیمیایی لایه‌های خاک تحت تأثیر حرکت آب و غلظت ترکیبات شیمیایی موجود در آب است (حیدرپور و همکاران، ۲۰۰۷). یکی از مزایای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، افزایش انتشار آب و ترکیبات موجود در لایهٔ سطحی خاک می‌باشد (طباطبایی و نجفی، ۲۰۰۹).

اور و کولهو (۲۰۰۲) گزارش کردند که قطره‌چکان‌های نصب‌شده زیر سطح خاک موجب افزایش بازدهی آبیاری و افزایش نفوذ عمقی آب در خاک می‌شود. در مقایسهٔ آبیاری زیرسطحی و جویچه گزارش شد که راندمان آبیاری SDI[1] سه برابر بیشتر از جویچه می‌باشد؛ زیرا سطح ناحیهٔ خیس‌شده در آبیاری SDI بیشتر از جویچه می‌باشد (چوی و همکاران، ۲۰۰۴). در آبیاری SDI، میزان تبخیر و تعرق در مقایسه با سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی به حداقل می‌رسد؛ از این‌رو، سطح خیس‌شده بعد از آبیاری به سرعت افزایش می‌یابد و با گذشت زمان، محیط خیس‌شده افزایش می‌یابد. در واقع، شوری محدودکننده ناحیهٔ ریشه است (ساک لاریوس و همکاران، ۲۰۰۲). جوز و همکاران (۲۰۰۵) سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی را در مقایسه با سیستم آبیاری فارو دارای کارایی بیشتر از ۶۵% همراه با کاهش ۲۵% آب آبیاری در شرایط دستیابی به عملکرد بالای کشاورزی اعلام کردند. آن‌ها کارآیی سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی را به مدیریت، نوع خاک و فصل آبیاری وابسته دانستند. از طرفی، یک سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در مقام مقایسه با سیستم آبیاری فارو سبب جلوگیری از آب‌شویی عناصر غذایی، فرسایش خاک و آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌شود.

تریپاتی و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقاتی که بر روی سه فیلتر شن، دیسک و فیلتر ترکیب شن به همراه دیسک انجام دادند به این نتیجه رسیدند که فیلتر ترکیبی توانایی بالایی در حذف ذرات جامد معلق، کلسیم، منیزیم و بی‌کربنات نسبت به دو فیلتر دیگر داشت. کاهش سرعت جریان قطره‌چکان‌ها اگرچه سبب افزایش زمان عملیات آبیاری با پساب می‌شود؛ ولی این امر سبب کاهش ترکیبات پساب می‌شود.

وجود ذرات جامد معلق آلی و غیرآلی در پساب منجر به افزایش ریسک بسته‌شدن سوراخ‌های قطره‌چکان‌ها می‌شود (نجفی و نصر، ۲۰۰۹). به همین جهت، کاربرد فیلترهای مختلف مانند سیلیس ضرروری به نظر می‌رسد؛ زیرا مسدودشدن سوراخ‌های قطره‌چکان‌ها، یکی از مشکلات اساسی در کاربرد و توسعهٔ سیستم آبیاری قطره‌ای می‌باشد؛ به‌ویژه در مناطقی که از پساب‌هایی با کیفیت پایین استفاده می‌شود (نجفی و نصر، ۲۰۰۹). اکسید سیلیسیم[2] یا سیلیس، ترکیبی شیمیایی است که به‌صورت خالص و یا به‌صورت ترکیب در کانی‌های سیلیکاته در مجموع ۹۰ درصد پوسته جامد زمین را تشکیل می‌دهند. نام سیلیس از واژه لاتین سیلیکن به معنی سنگ سخت، سنگ آتش‌زنه یا سنگ چخماق گرفته شده است.

هدف این تحقیق، اجرای سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی با استفاده از فیلتر سیلیس برای اجرای یک تصفیه مکمل است.

مواد و روش‌ها

تحقیق در مزرعه دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان واقع در شرق اصفهان (گورت) دارای طول جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۹ دقیقه و عرض جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۸

1- Sub Drip Irrigation

2- SiO_2

www.SID.ir

Archive of SID

دقیقه، ارتفاع از سطح دریا ۱۵۵۵ متر، اقلیم خشک بسیار گرم با تابستان‌های خشک به روش کوپن، متوسط بارندگی ۱۲۲/۴ میلی‌متر، تبخیر و تعرق سالیانه ۱۵۷۱ میلی‌متر، متوسط دمای سالانه ۱۶ درجه سانتی‌گراد انجام شد. خاک منطقه از سری گلشهر و ردهٔ اریدی سولز با بافت لومی می‌باشد (شریفیان‌پور، ۱۳۸۷).

از شیرابه کارخانه کود آلی اصفهان (همراه با ۴ ماه زمان ماند) با نسبت رقیق‌سازی ۱: ۴ با آب چاه منطقه به‌عنوان یک منبع آب آبیاری غیرمتعارف، برای به‌کارگیری تیمارهای مختلف به مدت ۹ ماه (سه دوره سه ماه) استفاده شد. متوسط دبی خروجی قطره‌چکان‌ها ۱۰ لیتر در ساعت با دور آبیاری یک روز در میان انجام گرفت. این تحقیق به‌صورت یک آزمایش فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد که در آن فاکتور اول روش آبیاری قطره‌ای، شامل دو تیمار آبیاری قطره‌ای سطحی (S) و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی است که قطره‌چکان‌ها در عمق ۳۰ سانتی‌متری به همراه فیلتر سیلیس (SS) نصب شدند و فاکتور دوم تیمارهای کیفیت آب آبیاری، شامل آبیاری با آب چاه مزرعه به‌عنوان شاهد (N) و پساب ساخته شده حاصل از رقیق‌سازی شیرابه با EC =۶dS/m (T1) می‌باشد.

خصوصیات خاک مزرعه از دو عمق ۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری در جدول ۱ و ترکیب شیمیایی شیرابه کارخانه کود آلی برای ساخت پساب به‌عنوان تیمار دوم منبع آب آبیاری، در جدول ۲ آمده است.

جدول ۱- برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از انجام آزمایش

عمق (cm)	OC (%)	بافت	pH	EC (dS/m)	OM (%)	T.N.V (%)
۰-۳۰	۲۶/۲۵	لومی	۷/۸۹	۸/۹۱	۰/۲۰۱	۵۹
۳۰-۶۰	۱۰/۶۲	لومی	۷/۹	۷/۷۸	۰/۱۳۴	۶۴

تحلیل‌های خاک، شامل pH، هدایت‌الکتریکی عصارهٔ اشباع، فسفر قابل جذب به روش اولسن و توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر، نیترات به روش کجلدال و بافت به روش هیدرومتر طبق روش‌های استاندارد انجام گرفت (APHA, 1998). تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS توسط آزمون دانکن انجام گرفت.

جدول ۲- میانگین غلظت برخی از عناصر اندازه‌گیری شده در پساب مورد استفاده و آب چاه

منبع آب آبیاری	EC	pH	N	P	Ca	Mg	K	Na	Cl	HCO_3^-	SO_4^{2-}
	dS/m	-	Meq/L								
آب چاه	۰/۷	۷/۳	-	-	-	-	-	-	-	-	-
پساب به‌دست‌آمده	۱/۳	۶/۳	۱۴	۲۷	۳۳۸	۷۵	۳۲۶	۳۸۱	۱۴۰۹	۱۱۴	۶۷۸

نتایج و بحث

نتایج خاک سطحی (۰-۳۰ سانتی‌متری) از اطراف قطره‌چکان‌های سطحی با حرف لاتین S و خاک زیرسطحی (۳۰-۶۰ سانتی‌متری) از اطراف قطره‌چکان‌های زیرسطحی با حرف SS بر روی نمودارها نشان داده شده‌اند.

نتایج این تحقیق نشان داد که مصرف پساب در خاک، باعث کاهش اسیدیته خاک و رسیدن به دامنه اسیدیته قلیایی ضعیف (۷/۸) به اسیدیته خنثی ۷/۴-۷/۵ شد (جدول ۳). روند تغییرات کاهش اسیدیته خاک در خاک زیرسطحی بیشتر از خاک سطحی بود و فقط پس از ۶ و ۹ ماه آبیاری از زمان شروع آبیاری با پساب ساخته‌شده به‌عنوان آب آبیاری در سطح احتمال ۵% معنی‌دار توسط آزمون دانکن بود. از دلایل این امر، کاهش سرعت تبادلات گازی و تجمع مقدار بیشتری گاز کربنیک ناشی از تجزیه مواد آلی شیرابه مورد استفاده به‌عنوان آب آبیاری و همچنین وجود مقدار آهک زیاد (۵۹ درصد) در خاک و به دنبال آن ظرفیت بافری بالای خاک بود که با نتایج رحیمی (۱۳۷۱)، گندمکار (۱۳۷۵)، خوش‌گفتارمنش (۱۳۷۷) و مجیری (۲۰۱۱) مطابقت داشت. واثقی و همکاران (۱۳۸۵) نیز تجزیه مواد آلی تولید اسیدهای آلی مانند اسیدهیومیک را در خاک در اثر آبیاری با پساب دلیل دیگر این امر دانستند. آبیاری با پساب اگرچه در مراحل اولیه سبب کاهش موقتی اسیدیته خاک شود؛ ولی وجود ظرفیت بافری خاک سبب بازگشت مجدد اسیدیته خاک به مقدار اولیه خود می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

مناجم و همکاران (۲۰۱۳) کاهش اسیدیته خاک را در اثر پساب ناشی از افزایش فعالیت میکروبی به خاطر محتوای بالای مواد آلی پساب‌ها و تولید گاز دی‌اکسیدکربن و اکسیداسیون آمونیوم موجود در پساب دانستند. از طرفی، آبیاری با پساب به‌خاطر حضور مواد معلق و بسته‌شدن منافذ خاک، سبب کاهش تبادلات گازی در سطح خاک می‌شود که خود بر روی سرعت تبادلات گازی و در نتیجه تغییرات اسیدیته خاک آبیاری‌شده با پساب اثرگذار می‌باشد (وینتر و گوتز، ۲۰۰۳).

از طرفی، آبیاری با پساب سبب افزایش معنی‌دار هدایت الکتریکی خاک سطحی و زیرسطحی با گذشت زمان در سطح احتمال ۱% توسط آزمون دانکن شد (جدول ۳). افزایش هدایت‌الکتریکی در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری بیشتر از عمق زیرین خاک بود که بیانگر ناکافی بودن مقدار آب آب‌شویی به‌علت کاربرد سیستم آبیاری قطره‌ای و شدت تبخیر بیشتر از سطح خاک، کاربرد فیلتر سیلیس در اطراف قطره‌چکان‌های زیرسطحی و تفاوت در الگوی توزیع رطوبت در اطراف قطره‌چکان‌های سطحی و زیرسطحی بود. همچنین، آبیاری با پساب در هر سه نوبت و در هر دو عمق باعث افزایش شوری خاک نسبت به آبیاری با آب معمولی چاه شد که با نتایج صالح و حسن‌لی (۱۳۹۳) مطابقت داشت.

روند کلی تغییرات مقدار مادهٔ آلی در خاک سطحی (از مقدار اولیه ۰/۲% به ۰/۷۳%) بیشتر از خاک زیرسطحی (از مقدار اولیه ۰/۱۳۴% به ۰/۵۵%) مشاهده شد. همچنین، با گذشت زمان، افزایش بین سه تا چهار برابری ماده آلی خاک پس از به‌کارگیری سه دوره سه ماهه آبیاری قطره‌ای رخ داد (جدول ۳) ($p\leq0.01$). افزایش ماده آلی متناسب با میزان پساب مصرفی بود که با نتایج رحیمی (۱۳۷۱)، چوی و همکاران (۲۰۰۴) و مجیری (۲۰۱۱) نیز مطابقت داشت. طباطبایی و نجفی (۲۰۰۹) در تحقیقات خود افزایش تجمع مواد آلی خاک را عامل ایجاد حجم تغییر و تبادلات میکروبی خاک دانستند. همان‌گونه که در این تحقیق نیز مشخص شد، سرعت افزایش مواد آلی خاک با ادامهٔ آبیاری کمتر گردیده است (جدول ۳). پساب دارای درصد مواد آلی بالایی است؛ کاربرد آن به‌عنوان آب آبیاری سبب افزایش درصد مواد آلی خاک می‌شود. درصد مواد آلی خاک سطحی علت فعالیت بیشتر میکروارگانیسم‌های ترشحات آلی آن‌ها و گیرافتادن بیشتر ذرات مواد آلی بین منافذ خاک بیشتر است؛ به همین جهت، درصد افزایش مواد آلی خاک سطحی بیشتر از خاک زیرسطحی خواهد بود.

در این تحقیق، آبیاری با پساب به‌علت pH اسیدی و انحلال بخشی از آهک خاک و کلسیم محلول همراه پساب، باعث افزایش مقدار کلسیم محلول خاک شد. نتایج غلظت بالاتر کلسیم در لایه سطحی خاک نسبت به لایه زیرین خاک با نتایج نصر اصفهانی (۱۳۸۶) مطابقت داشت ($p\leq0.01$) (شکل ۱). وجود فیلتر سیلیس در اطراف قطره‌چکان‌های زیرسطحی سبب یک مرحله اضافه در کاهش غلظت کلسیم لایه زیرسطحی گردید که با نتایج حیدرپور و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت داشت.

در واقع، کلسیم با افزایش عمق، به‌واسطهٔ آب‌شویی و واکنش با کربنات و سولفات خاک کاهش می‌یابد.

مقایسهٔ میانگین اثرهای متقابل تیمارهای مختلف عمق و زمان نشان داد که به‌کارگیری پساب با گذشت زمان، یعنی در دوره‌های دوم و سوم انجام آزمایش، غلظت کلسیم محلول را به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال ۱% توسط آزمون دانکن افزایش می‌دهد (جدول ۳).

بر اساس شکل ۱، عمق کاربرد پساب سطحی (S) و زیرسطحی (SS) تأثیر معنی‌داری ($p\leq0.01$) در کاهش غلظت کلسیم همراه ناشی از کاربرد پساب به‌عنوان آب آبیاری دارد.

غلظت منیزیم تجمع یافته در خاک سطحی (۱۶/۹ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) بیشتر از خاک زیرسطحی (۱۵/۷ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) بود ($p\leq0.01$) (شکل ۲). کاربرد پساب با گذشت زمان سبب افزایش ۲/۱۴ واحدی غلظت اولیه منیزیم از مقدار اولیه در طی دروه‌های ۹ ماههٔ آبیاری شد. روندی افزایشی غلظت منیزیم مشابه کلسیم بود (جدول ۳).

از نمودار ۲ مشخص می‌شود که کاربرد زیرسطحی پساب، به دو دلیل به کاهش غلظت منیزیم کمک می‌کند: کاهش سرعت تبخیر آب خالص همراه پساب و کاربرد فیلتر سیلیسی.

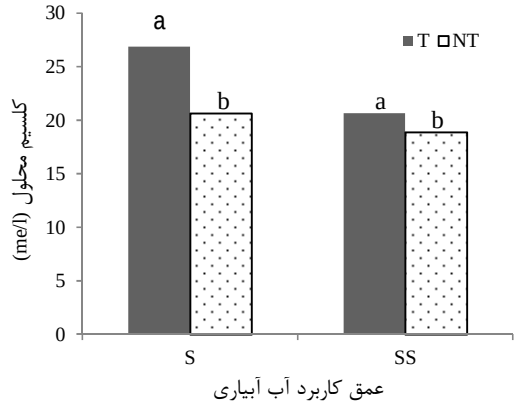
روند تغییرات یون سدیم و پتاسیم با گذشت زمان افزایشی بود. نتایج آنالیز آماری افزایش معنی‌دار در سطح احتمال ۱% توسط آزمون دانکن نشان داد (جدول ۳).

www.SID.ir

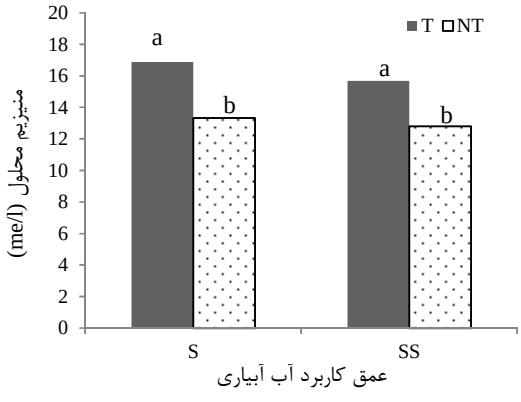
Archive of SID

جدول ۳- نتایج شاخص‌های خاک مورد بررسی پس از ماه آبیاری قطره‌ای

شاخص	عمق خاک (سانتی‌متر)	غلظت اولیه در خاک	پس از ۳ ماه	پس از ۶ ماه	پس از ۹ ماه
pH	۳۰-۰	۷/۸۹^{a}	۷/۶۸^{a}	۷/۵۶^{ab}	۷/۴۹^{b}
	۶۰-۳۰	۷/۹^{a}	۷/۶۴^{a}	۷/۴۹^{b}	۷/۴۱^{b}
هدایت‌الکتریکی (dS/m)	۳۰-۰	۸/۹۱^{d}	۱۰/۷^{c}	۱۱/۳۵^{b}	۱۳/۲۳^{a}
	۶۰-۳۰	۷/۷۸^{cd}	۸/۲^{c}	۹/۳۵ ^{b}	۱۱/۲^{a}
ماده آلی (%)	۳۰-۰	۰/۲۰^{c}	۰/۴۷^{b}	۰/۶۴^{b}	۰/۷۳^{a}
	۶۰-۳۰	۰/۱۳۴^{c}	۰/۱۸^{c}	۰/۳۵^{b}	۰/۵۵^{a}
کلسیم محلول (meq/L)	۳۰-۰	۱۹/۸^{c}	۲۳/۱^{b}	۲۵/۴۸^{ab}	۲۸/۶۲^{a}
	۶۰-۳۰	۱۹^{cd}	۲۰/۲^{c}	۲۳/۳۱^{b}	۲۵/۹^{a}
منیزیم محلول (meq/L)	۳۰-۰	۱۳/۲^{c}	۱۵/۳۴^{b}	۱۶/۱۶^{a}	۱۶/۹^{a}
	۶۰-۳۰	۱۳/۱^{bc}	۱۳/۷^{b}	۱۴^{b}	۱۵/۷^{a}
پتاسیم محلول (meq/L)	۳۰-۰	۷/۶۶^{d}	۱۰/۸۲^{c}	۱۲/۵۰^{b}	۱۳/۸۳^{a}
	۶۰-۳۰	۶/۶۹^{d}	۹ ^{c}	۱۰/۷^{b}	۱۲/۵۴^{a}
سدیم محلول (meq/L)	۳۰-۰	۴۷/۹۹^{c}	۵۶/۳۹^{b}	۵۷/۸۱^{ab}	۶۰/۳۸^{a}
	۶۰-۳۰	۴۵/۸^{c}	۴۹/۵^{b}	۵۴/۱^{a}	۵۵/۵^{a}
بی‌کربنات محلول (meq/L)	۳۰-۰	۵/۵۱^{b}	۵/۶۵^{ab}	۵/۸۶^{a}	۵/۹۶^{a}
	۶۰-۳۰	۶/۱^{b}	۶/۲۲^{ab}	۶/۳۹ ^{a}	۶/۴۵^{a}
سولفات محلول (meq/L)	۳۰-۰	۴۴^{c}	۵۳/۲^{b}	۵۴/۶۳^{b}	۵۷/۶۵^{a}
	۶۰-۳۰	۴۱^{c}	۴۳/۱^{bc}	۴۷/۷^{b}	۵۱/۶۸^{a}
کلراید محلول (meq/L)	۳۰-۰	۳۴/۶^{c}	۴۳/۱۸^{b}	۴۴/۱^{b}	۴۷/۸۸^{a}
	۶۰-۳۰	۳۲^{cd}	۳۴/۱^{c}	۳۹/۲^{b}	۴۲/۳^{a}
ازت (mg/Kgsoil)	۳۰-۰	۲۱/۵^{d}	۲۵/۵^{c}	۳۵/۴^{b}	۴۲/۲^{a}
	۶۰-۳۰	۳۰/۶^{d}	۴۲/۲^{c}	۵۶/۶^{b}	۶۰/۲۴^{a}
فسفر (mg/ Kgsoil)	۳۰-۰	۵/۳۵^{c}	۱۳/۲۸^{b}	۲۳/۰۵^{a}	۲۳/۳۵^{a}
	۶۰-۳۰	۴/۴^{d}	۹/۸۵^{c}	۱۵/۵^{b}	۲۳/۸^{a}



شکل ۱- اثر پسآب در دو روش آبیاری بر کلسیم خاک



شکل ۲- اثر پسآب در دو روش آبیاری بر منیزیم خاک

در کلیه نمودارها: S: آبیاری قطره‌ای سطحی (۰-۳۰ سانتی‌متری) SS: آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (۳۰-۶۰ سانتی‌متری) T1: آبیاری با پسآب ساخته شده N: آبیاری با آب معمولی

طبق رهنمودهای کیفیت آب آبیاری حضور یون سدیم به‌عنوان یک کاتیون همراه با آب آبیاری نقش تخریبی بر ساختمان خاک با به‌هم‌زدن نسبت سدیم به کاتیون‌های کلوئیدی مانند کلسیم و منیزیم دارد (حاج‌رسولیها،

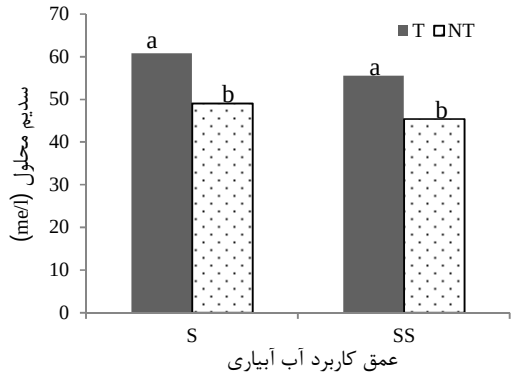
www.SID.ir

Archive of SID

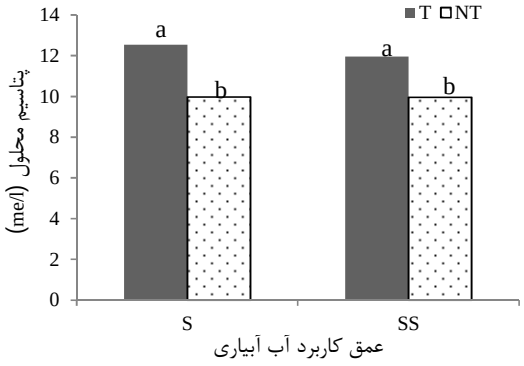
۱۳۸۲). آبیاری زیر قطره‌ای و فیلتر سیلیس سبب کاهش اثرات تخریبی سدیم در لایه زیرین خاک شد (شکل ۳).

نجفی و نصر (۲۰۰۹) نشان دادند که کاربرد پساب به روش آبیاری قطره‌ای سبب افزایش EC، OC%، $SO4^{2-}$، Ca^{2+}، Na^{+} و Cl^{-} خاک می‌شود و در مقابل سبب کاهش هدایت‌هیدرولیکی و تخلخل خاک به‌علت تجمع بیشتر املاح در اثر کاهش راندمان آب‌شویی خاک شد.

با گذشت زمان، متوسط غلظت اولیه پتاسیم محلول در لایه سطحی خاک از ۷/۶۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در شروع آزمایش، افزایش ۶/۱۵ واحدی در پایان دوره سوم نشان داد ($p\leq0.01$) (شکل ۴). افزایش پتاسیم محلول خاک در اثر آبیاری با شیرابه رقیق‌شده با نتایج گندمکار (۱۳۷۵) و محمدی‌نیا (۱۳۷۴) مطابقت داشت. غلظت این یون در خاک زیرسطحی از ۶/۶۹ میلی‌اکی‌والان بر لیتر به ۱۲/۵۴ میلی‌اکی‌والان بر لیتر پس از سه دوره سه ماه آبیاری با پساب بود ($p\leq0.01$) (شکل ۴). اگرچه روند افزایشی غلظت پتاسیم خاک زیرسطحی (SS) کندتر از خاک سطحی بود.



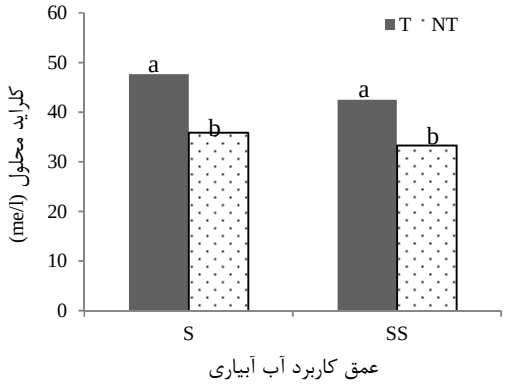
شکل ۳- اثر پساب در دو روش آبیاری بر سدیم خاک



شکل ۴- اثر پساب در دو روش آبیاری بر پتاسیم خاک

با گذشت زمان، متوسط کلراید از ۳۴/۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در ابتدای دوره، افزایش ۱۳/۲۸ واحدی معنی‌دار در سطح احتمال ۱% توسط آزمون دانکن تا انتهای دوره یافت (جدول ۳). افزایش کلراید خاک آبیاری‌شده با پساب را می‌توان به حضور برخی از ترکیبات مثل کلراید سدیم در پساب نسبت داد (مجیری، ۲۰۱۱).

عنصر کلراید دارای یک بار منفی بود. به مرور زمان، انجام فرایند آبیاری و کاربرد فیلتر سیلیس اطراف قطره چکان‌ها سبب خروج کلراید از خاک سطحی می‌گردد که با نتایج نجفی و نصر (۲۰۰۹) مطابقت دارد (شکل ۵).

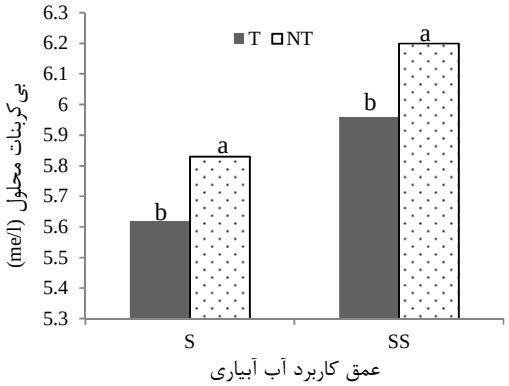


شکل ۵- اثر پساب در دو روش آبیاری بر یون کلراید خاک

با گذشت زمان و آبیاری با پساب ساخته‌شده از رقیق‌سازی شیرابه زباله، متوسط بی‌کربنات ۰/۶ واحد افزایش نسبت به ابتدای دورهٔ آزمایش از خود نشان داد ($p\leq0.05$) (جدول ۳). همچنین، در این تحقیق مشخص شد که مقدار افزایش یون بی‌کربنات در لایه زیرسطحی به‌دلیل نفوذ عمقی پساب و آب‌شویی آنیون بی‌کربنات از لایه سطحی به خاطر بار منفی و جذب کمتر توسط کلوییدهای خاک نسبت به کاتیون‌های همراه پساب بود؛ اگرچه کاربرد سیلیس در اطراف قطره‌چکان‌ها سبب کاهش سرعت و روند آب‌شویی این آنیون در خاک شد ($p\leq0.05$) (شکل ۶). از نتایج مشخص شد که میزان تحرک و غلظت آنیون بی‌کربنات کمتر از آنیون‌های سولفات و کلراید است؛ چراکه قسمتی از یون بی‌کربنات در جریان عبور آب به دی‌اکسیدکربن و آب هیدرولیز می‌شود.

www.SID.ir

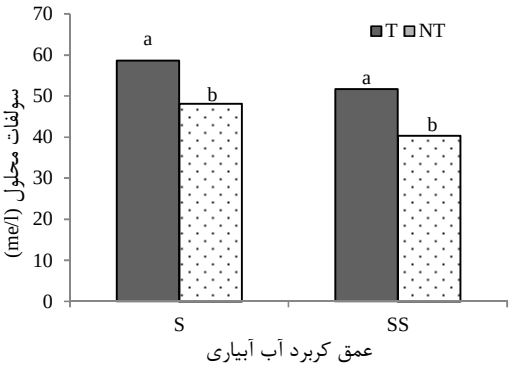
Archive of SID



شکل ۶- اثر پساب در دو روش آبیاری بر بی‌کربنات خاک

کاربرد فیلتر سیلیس در اطراف قطره‌چکان‌ها، مانند سایرکاتیون‌ها و آنیون‌های مورد بررسی، سبب تجمع کمتر سولفات در لایه زیرسطحی گردید. غلظت سولفات محلول در خاک سطحی بیشتر و برابر ۵۷/۶۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر (یکی از دلایل کاهش اسیدیته خاک سطحی) و در خاک زیرسطحی ۵۱/۶۸ میلی‌اکی‌والان بر لیتر پس از نه ماه آبیاری با پساب ساخته‌شده به‌عنوان یک منبع آب آبیاری متعارف بود (شکل ۷) ($p\leq0.01$).

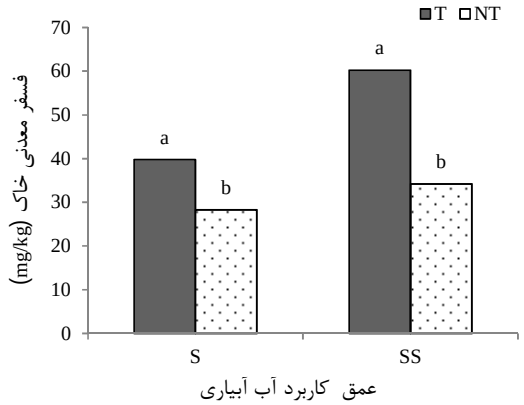
نصر اصفهانی (۱۳۸۶) گزارش کرد در آبیاری خاک با پساب شهری میزان افزیش غلظت سولفات در سیستم آبیاری سطحی تقریباً دو برابر آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بود. ایشان دلیل این امر را توزیع آبدهی کمتر، آب‌شویی کمتر، تبخیر آب و حرکت املاح در اثر مویینگی به لایه‌های رویین دانست که با نتایج آزمایش مغایرت داشت و شاهد افزایش تقریباً ۵ واحدی غلظت سولفات خاک در زمان کاربرد سیستم آبیاری زیرسطحی بود.



شکل ۷- اثر پساب در دو روش آبیاری بر سولفات خاک

روند افزایش غلظت فسفر قابل جذب در اثر استفاده پساب در خاک زیرسطحی به مقدار جزئی بیشتر از خاک سطحی بود که با نتایج مناچم و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت داشت (جدول ۳).

با گذشت زمان و آبیاری تیمارهای خاک با پساب، شاهد افزایش ۱۸ واحدی متوسط غلظت فسفر اولیه از ۵/۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بودیم (شکل ۸) ($p\leq0.01$). مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد که تیمار پساب با گذشت زمان فسفر قابل جذب خاک را به‌طور معنی‌داری ۱% براساس آزمون دانکن در مقایسه با تیمار آب چاه (شاهد) افزایش داد. با توجه به نیاز و ضروری بودن عنصر فسفر برای کشت و زرع، این روند افزایشی، یک پدیدهٔ مثبت و مفید محسوب می‌شود؛ البته این در حالی است که خاک دارای بافت بسیار مناسب (بافت لومی در این تحقیق) باشد (کریم‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵).



شکل ۸- اثر پساب در دو روش آبیاری بر فسفر قابل جذب خاک

در حالی‌که در لایه زیرسطحی خاک، پساب از یک‌سو به‌دلیل واکنش اسیدی و کاهش pH خاک و از طرفی به‌خاطر افزایش ماده آلی، موجب افزایش فسفر قابل جذب خاک شد. یکی از دلایل این موضوع، این است که شرایط غرقاب و تجزیه ماده آلی سبب افزایش فشار گاز کربنیک، کاهش pH و افزایش حلالیت فسفر (جودهوری، ۱۹۸۶) و احیای ترکیبات سه‌ظرفیتی آهن و آزادسازی بخشی از فسفر تثبیت‌شده (گریست، ۱۹۷۵) می‌شود. ترکیبات حاصل از تجزیه ماده آلی با تصرف‌کردن محل‌های جذب‌کننده فسفر در سطح ذرات خاک، جذب سطحی فسفر را کاهش می‌دهند و ضمن پوشاندن سطوح

www.SID.ir

Archive of SID

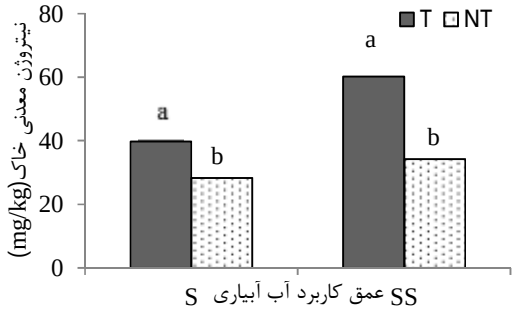
فسفات‌های مختلف کلسیم، از تبدیل این کلسیم فسفات‌ها به کلسیم فسفات‌های نامحلول‌تر و پایدارتر جلوگیری می‌کنند (گندمکار، ۱۳۷۵؛ زمانیان، ۱۳۸۷).

با گذشت زمان، متوسط غلظت نیتروژن معدنی در پایان دوره آزمایش پس از ۹ ماه، افزایش معنی‌داری در سطح احتمال ۱% توسط آزمون دانکن داشت (جدول ۳). در واقع، در خاک‌ها فرایند تثبیت و به دنبال آن جذب و نگهداری ازت آمونیاکی به‌وسیلهٔ کانی‌های رسی خاک و نیز انباشتگی نیترات و نیتریت به همراه نمک‌های محلول دیگر در لایه‌های بالایی خاک در افزایش ازت کل در خاک مؤثر است (نصر اصفهانی، ۱۳۸۶). غلظت این عنصر در سطح خاک از ۲۱/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ۴۲/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در خاک زیرسطحی از ۳۰/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ۶۰/۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم رسید (افزیش تقریبی دو برابر) ($p\leq0.01$) (جدول ۳). افزایش نیتروژن معدنی متناسب با میزان پساب مصرفی بود که با نتایج ابو-زریگ و همکاران (۲۰۰۳) مطابقت داشت. همچنین، بافت خاک از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر انتقال و آب‌شویی نیترات ذکر شد (شاکرمی و همکاران، ۱۳۹۵). بر اساس تحقیقات انجام‌شده، خاک لوم در مقایسه با خاکی مانند لوم سیلتی نیترات بیشتری را انتقال می‌دهد (نیک‌عمل لاریجانی و همکاران، ۲۰۱۱) که با نتیجه تحقیق و تجمع بیشتر نیترات در لایه زیر خاک مطابت داشت.

مناجم و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که کاهش سطح اکسیژن خاک زیرسطحی سبب کاهش نیتریفیکاسیون و افزایش دنیتروفیکاسیون و تجمع بیشتر نیترات در خاک زیرسطحی می‌شود؛ در مقابل، سبب افزایش فرم نیتروژن- آمونیومی مقارن با کاهش فرم نیتروژن- نیتراتی و در نتیجه تجمع بیشتر در نیتروژن در خاک سطحی به‌علت افزایش جذب سطحی توسط کلوئیدهای خاک می‌شود.

دلیل سوم تجمع بیشتر ازت نیتراتی در لایه زیرین سطح خاک حتی با وجود فیلتر، می‌تواند ایجاد تناوب دوره‌های خشک و مرطوب در نیمرخ سطحی خاک (۰-۳۰ سانتی‌متری) به‌علت ایجاد شرایط تبخیر از سطح خاک باشد؛ چرا که سبب بهبود شرایط هوازی و افزایش حذف نیترات می‌شود و در نتیجه، افزایش کارایی سیستم در حذف نیترات را در پی دارد (جوانی و همکاران، ۱۳۹۵).

در تحقیق مورد بررسی، نیز مقادیر حذف آلاینده‌ها با گذشت زمان روند کاهش داشت. در مرحلهٔ اول، پس از ۳ ماه آبیاری و در مرحلهٔ سوم، پس از ۹ماه آبیاری به‌ترتیب ۲۷% و ۶% نیترات توسط فیلتر سیلیس در اطراف قطره‌چکان‌های زیرزمینی حذف شد که البته تغییرات آن در صورت ادامه طولانی‌تر آبیاری با پساب باید از لحاظ کارآرایی فیلتر سیلیس در حذف آلاینده‌های خروجی از قطره‌چکان‌ها مورد بررسی دقیق‌تر قرار گیرد.



شکل ۹- اثر پساب در دو روش آبیاری بر نیتروژن معدنی خاک

اسماعیلیان و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیقات خود بر حذف نیترات توسط زئولیت طبیعی کلینوپتیولایت و کربن فعال تهیه‌شده از چوب درخت لیمو با حفرات نانو به این نتیجه رسیدند که با افزایش میزان جاذب ابتدا میزان جذب در واحد جرم افزایش و سپس کاهش می‌یابد که این نقطهٔ ماکزیمم، نقطه حداکثر پتانسیل نامیده می‌شود. محل این نقطه به نوع جاذب و آلاینده بستگی دارد. افزایش غلظت آلاینده سبب کاهش درصد حذف نیترات به‌ترتیب تا ۲۴/۲% و ۱۱ می‌شود؛ در نتیجه، ادامهٔ استفاده از پساب کشاورزی سبب افزایش تجمع نیترات در خاک می‌شود که با نتایج مطابقت داشت.

نتیجه‌گیری

در مجموع، اختلاط شیرابه کارخانه کود آلی اصفهان و آب چاه سبب افزایش معنی‌دار pH، شوری، موادآلی و کاتیون‌های محلول مانند کلسیم، منیزیم، پتاسیم، سدیم، کلراید، بی‌کربنات و همچنین فسفات و ازت معدنی خاک شد. همچنین، pH، هدایت‌الکتریکی، مواد آلی، کلسیم، منیزیم، پتاسیم، سدیم، کلراید، فسفر و سولفات خاک سطحی افزایش بیشتری نسبت به خاک زیرسطحی پس از ۹ ماه آبیاری با پساب داشت؛ در حالی که بی‌کربنات و

www.SID.ir

Archive of SID

نیتروژن خاک زیرسطحی افزایش بیشتری نسبت به خاک زیرسطحی داشت. غلظت نیتروژن معدنی در خاک زیرسطحی به‌علت عمل دنیتریفیکاسیون افزایش بیشتری نسبت به خاک سطحی داشت. نتایج تحقیق نشان داد که کاربرد فیلتر سیلیس در لایه زیرسطحی در اطراف قطره‌چکان‌ها به‌خوبی در عمل تصفیه و حذف کاتیون‌ها و آنیون‌ها پساب‌ها توانا بوده است. همچنین، روند تغییرات درصد انتقال عناصر پتاسیم، نیتروژن و فسفر در طول زمان ۹ ماهه آبیاری در لایه زیرین خاک ثابت نبود و بیشترین نوسانات را در بین سایر عناصر مورد بررسی داشت. کاربرد پساب ساخته‌شده به‌عنوان یک منبع آب قابل اعتماد و مفید باعث ارتقای کیفیت خاک از نظر مواد غذایی مورد نیاز برای کشت بدون ایجاد مسمومیت و آلودگی می‌شود. از طرفی، با گذشت زمان و تجزیه مواد آلی، امکان انتقال این عناصر به آب‌های زیرزمینی فراهم می‌شود و برای انسان و محیط‌زیست خطرآفرین می‌باشد؛ به همین جهت، در این زمینه باید مدیریت صحیحی را به‌کار بست.

منابع

۱. اسماعیلیان آ، غفوریان ح، مهدوی مزده ع، و لیاقت ع، ا. ۱۳۹۲. ارزیابی کارایی فیلترهای کانساری و کربن فعال لیمو با حفره‌های نانو مقیاس در حذف یون‌های نیترات و کادمیم از پساب کشاورزی، مجله پژوهش آب ایران، ۷(۱۲): ۵۳-۶۲.

۲. جوانی ح، ر، لیاقت ع، ا، و حسن‌اقلی ع، ر، ۱۳۹۵. بررسی تغییرات کیفی فاضلاب تصفیه شده با عبور از ستون خاک برای آبیاری محصولات کشاورزی، نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۳۰(۳): ۴۱۷-۴۲۹.

۳. حاج‌رسولیها ش، ۱۳۸۲. کیفیت آب برای کشاورزی، مرکز نشر دانشگاهی تهران، ۲۵۵ ص.

۴. خوشگفتارمنش ح، ۱۳۷۷. اثر شیرابه زباله بر رشد و عملکرد برنج و اثرات باقیمانده آن بر گندم، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۴۸ ص.

۵. رحیمی ق، ۱۳۷۱. مطالعات اثر کود کمپوست بر شوری و آلودگی خاک و مقدار جذب عناصر سنگین توسط گیاه ذرت از خاک‌های حاوی کود کمپوست، پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۱۰ ص.

۶. زمانیان م، ۱۳۸۷. بررسی شاخص‌های آلودگی شیمیایی و میکروبی در تصفیه زمینی شیرابه کارخانه کود آلی اصفهان و تأثیر کاربرد زئولیت، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه شهرکرد،۱۴۲ ص.

۷. شاکرمی م، معروفی ص، رحیمی ق، ۱۳۹۵. تأثیر فاضلاب بر انتقال فلزات سنگین و ترکیبات شیمیایی در ستون خاک با پوشش ریحان، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۳(۵): ۱-۲۳.

۸. شریفیان‌پور گ، ۱۳۸۷. اثر شیرابه کمپوست بر اصلاح خصوصیات کیفی خاک‌های منطقه شرق اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان ۱۳۸ ص.

۹. صالح ا، و حسن‌لی ع، م، ۱۳۹۳. بررسی تأثیر پساب و روش‌های آبیاری بر شوری خاک در منطقه‌ی نیمه‌خشک دشت کربال، نشریه آب و توسعه پایدار، ۱(۲): ۴۷-۵۴.

۱۰.کریم‌زاده ح، ر، رضایی ح، و مهرابی ش، ۱۳۹۵. بررسی تأثیر خاک، پساب، لجن فاضلاب بر برخی ویژگی‌های رویشی گیاه قره‌داغ (Nitraria schoberi)، نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۵(۴): ۸۱-۹۵.

۱۱.گندمکار ا، ۱۳۷۵. اثر شیرابه زباله و شیرابه کمپوست بر خصوصیات خاک و رشد و عملکرد گیاه ذرت، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۵۷ ص.

۱۲.محمدی‌نیا ع، ۱۳۷۴. ترکیب شیمیایی شیرابه کمپوست زباله و اثر آن بر خاک و گیاه، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد خاکشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی، ۱۰۵ ص.

۱۳.نصر اصفهانی ش، ۱۳۸۶. بررسی اثر تزریق پساب دانشگاه آزاد اسلامی خوراسگان بر روی برخی از خصوصیات خاک آن، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، ۱۵۶ ص.

۱۴.واثقی س، افیونی م، شریعتمداری ح، و مبلی م،

www.SID.ir

Archive of SID

۱۳۸۳. اثر لجن فاضلاب بر غلظت تعدادی از عناصر غذایی و ویژگی‌های شیمیایی خاک. مجله آب و فاضلاب. ۵۳ :۱۵-۲۲.

15. Abu-Zreig M. Rudra R. P. and Dickinson W. T. 2003. Effect of application of surfactants on hydraulic properties of soils. Biosystems Engineering Journal. 84(3): 363-372.
16. APHA. 1998. Standard methode for the examination of water and wastewater. American Public Health Association. Washington, D. C. 1566 p.
17. Choi C. Song I. Stine S. Pimentel J. and Gerba C. 2004. Role of irrigation and wastewater reuse: Comparison of subsurface irrigation and furrow irrigation. Water Science and Technology Journal. 7 (1): 60-68.
18. Choudhury F. A. 1986. Effect of waterlogging on isotopically exchangeable phosphate and iron in some soils. Agriculture Science Journal. 19: 321-325.
19. Grist D. H. 1975. Rice Longman group ltd. London published in the United States of America by Longman Inc. NewYork.
20. Heidarpour M. Mostafazadeh-Fard B. Koupai J. A. and Malekian R. 2007.The effects of treated wastewater on soil chemical properties using subsurface and surface irrigation methods. Agriculture Water Management Journal. 90:87-94.
21. Honarjoo N. Mojiri A. Jalalian A. and Karimzadeh H. R. 2010. The effects of salinity and alkalinity of soil on growth of Haloxylon sp. In Segzi plain (Iran). International Conference on Chemistry and Chemical Engineering (ICCCE 2010), Kyoto, Japan 1-3 August. 285-288.
22. Jalali M. Merikhpour H. Kaledhonkar M. J. and Van Der Zee S. 2007. Nickel in a tropical soil treated with sewage sludge and cropped with maize in a long-term field study. Agricultural Water Management Journal 95: 143-153.
23. Jose O. P. Dean Yonts C. Irmak S. and Tarjalson D. 2005. Advantages and Disadvantages of Subsurface Drip Irrigation. University of Nebraska –Lincoln Extension. EC776.
24. Khai N. M. Tuan P. T. Vinh C. N. and Oborn I. 2008. Effects of using wastewater as nutrient sources on soil chemical properties in per urban agricultural systems. Earth Sciences Journal. 24: 87-95.
25. Menachem Y. S. Meiyang Z. Ferrando Chavez D. L. Yakirevich A. Gillor O. Gross A. and Soares L. M. 2013. Effect of Treated Domestic Wastewater on Soil -- Physicochemical and Microbiological Properties. Environmental Quality Journal. 24: 1226-1235.
26. Mojiri A. 2011. Effects of municipal wastewater on physical and chemical properties of saline soil. Biology Environmental Science Journal. 5(14):71-76.
27. Najafi P. and Nasr S .2009. Comparison effects of wastewater on soil chemical properties in three irrigation methods. Research on crops Journal. 10(2): 277-280.
28. Nikamal Larijani N. Hassanoghli A. Mashal M. and Liaghat A. 2011. Investigation of Nitrate Leaching through two Different Soil Textures via Application of three Organic Manures (Poultry, Cow and Sewage Sludge). Water Soil Journal of Mashhad. 25 (4): 708-718.
29. Or D. and Coelho F. E. 2002. Soil water dynamics under drip irrigation transient flow and uptake models. Tran saction of ASAE Journal. 39: 2017-2025.
30. Sakellariou-Makrantonaki M. Kalfountzos D. and Vyrlas P. 2002. Water saving and yield increase of sugar beet with subsurface drip irrigation. Global Nest: The International Journal. 4(2-3): 85-91.
31. Tabatabaei S. H. and Najafi P. 2009. Effects of irrigation with treated municipal wastewater on soil properties in arid and semi-arid regions. Irrigation Drainage Journal. 58: 551-560.
32. Tripathi V. K. Rajput T. B. S. and Patel Neelam A. 2014. Performance of different filter combinations with surface and subsurface drip irrigation systems for utilizing municipal wastewater. Irrigation Science Journal. 32(5): 379-391.
33. Winter K. J. and Goetz D. 2003. The impact of sewage composition on the soil clogging phenomena of vertical flow constructed wetlands. Water Science Technology Journal. 48: 9-14.

www.SID.ir