مدیریت آب و آبیاری

دوره ۶ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۵

صفحه‌های ۸۷-۷۳

آثار بلندمدت آبیاری با آب آلوده بر خصوصیات فیزیکی خاک (مطالعهٔ موردی: اراضی حاشیهٔ رودخانهٔ قره‌سو)

حسین میرزایی تختگاهی[۱]، هوشنگ قمرنیا[۲]*، مقداد پیرصاحب[۳]، و نظیر فتاحی[۴]

۱. دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

۲. استاد گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

۳. دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

۴. استادیار گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۳۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۷/۰۴

چکیده

هدف اصلی از این تحقیق بررسی اثر طولانی‌مدت آبیاری با آب آلوده بر خصوصیات فیزیکی خاک طی دو تیمار آب آلوده و آب چاه (شاهد) طی سال‌های (۹۲ و ۹۳) در منطقهٔ درودفرامان در ۲۰ کیلومتری جنوب شهر کرمانشاه است. مطالعه در سه لایهٔ ۳۰، ۶۰ و ۹۰ سانتی‌متری و در سه تکرار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفیصورت پذیرفت. خصوصیات شامل هدایت هیدرولیکی اشباع، منحنی مشخصهٔ رطوبتی و نقاط مهم پتانسیلی آب در خاک، وزن مخصوص حقیقی و ظاهری، همچنین تخلخل خاک بود. نتایج آماری نشان داد کهروند یکسانی بین پارامترهای مختلف وجود نداشت و تأثیر تیمارهای آبیاری بر پارامترهای فیزیکی خاک در اعماق مختلف یکسان نبود. استفاده از آب آلوده باعث اختلاف معنادار در سطح ۵ درصد بر هدایت هیدرولیکی اشباع‌شده شد، ولی بر سایر خصوصیات فیزیکی خاک اختلاف معناداری ایجاد نکرد. آب آلوده در خاک لومی سبب افزایش معنادار هدایت هیدرولیکی اشباع خاک و کاهش مقدار رطوبت در نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی شد و مقدار آب در دسترس را کاهش داد و باعث کاهش وزن مخصوص حقیقی و ظاهری خاک شد. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از آب آلوده باعث افزایش تخلخل خاک می‌شود.

کلیدواژه‌ها: آبیاری، آب آلوده، خصوصیات فیزیکی خاک، رودخانهٔ قره‌سو، منحنی مشخصهٔ رطوبتی.

* نویسنده مسئول

Email: hghamarnia@razi.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

کل آب موجود در دنیا حدود ۱/۴ کیلومترمکعب است که از این مقدار ۹۷/۵ درصد آب شور دریاها و اقیانوس‌ها و ۲/۵ درصد باقیماندهٔ آب شیرین دریاچه‌ها و رودخانه‌هاست(۱۶). کشاورزی بیشترین مصرف‌کنندهٔ آب شیرین است. حدود ۷۵ درصد آب شیرین جهان (کشورهای در حال توسعه تا ۹۵ درصد) به مصرف کشاورزی می‌رسد (۳۸) که این تقاضا در حال افزایش است (۱۷). کمبود منابع آب شیرین دغدغه‌ای جهانی و همواره در حال افزایش است، به‌ویژه در خاورمیانه و شمال آفریقا میزان آب به سطح بحرانی رسیده است و استرس آبی بر منطقه حکمفرما خواهد شد (۲۱).

استفاده از فاضلاب به‌جای آب آبیاری موجب بهبود نفوذپذیری، افزایش تخلخل و توسعهٔ ساختمان اسفنجی در خاک می‌شود (۳۰). در بررسی‌ها مشخص‌شده که کاربرد فاضلاب در خاک مادهٔ مناسب اصلاح‌کننده عمل می‌کند و منجر به تغییرات خواص فیزیکی خاک می‌شود (۱۲). همچنین، استفاده از پساب تصفیه‌شده اثر معناداری بر افزایش سرعت نفوذ نهایی آب به خاک در مقایسه با کاربرد آب چاه داشته است (۵، ۶). آبیاری محصول ذرت با استفاده از پساب تصفیه‌شدهٔ شهر مشهد به مدت دو سال، کاهش ۱۵/۶ درصدی ظرفیت نفوذپذیری خاک را به‌دنبال داشته است (۸).

در بررسی ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های شنی قاهره که گنجایش نگهداری آب در خاک آزمایش شد، نشان داد که با افزایش سال‌های آبیاری با فاضلاب شهری این ویژگی افزایش یافت (۴۱). در پژوهشی اثر مواد جامد معلق بر هدایت هیدرولیکی سه نوع خاک مطالعه شد و دریافتند که کاهش نفوذپذیری در خاک سیلتی لوم به‌مراتب بیش از خاک‌های شنی و لوم شنی است (۴۶). مطالعات نشان داد که زمین‌های آبیاری‌شده با پساب، در مقایسه با آب چاه، دارای جرم مخصوص ظاهری کمتر، درصد رطوبت بیشتر در گنجایش زراعی، نفوذ نهایی کمتر و هدایت هیدرولیکی بیشتر است (۲). آبیاری با فاضلاب شهری بسته به مقدار و در دسترس بودن مواد مغذی موجود در آن، نقش مهمی بر خواص و ویژگی‌های خاک دارد (۲۸).

تعدادی از محققان گزارش داده‌اند که شوری و سدیم خاک‌های تحت آبیاری بلندمدت با فاضلاب تصفیه‌شدهٔ شهری افزایش می‌یابد (۲۲، ۳۵). همچنین، افزایش شوری باعث کاهش پایداری خاکدانه‌ها و هدایت هیدرولیکی خاک در زهکشی ضعیف خاک می‌شود (۳۱، ۳۴). در بررسی‌ای، در هدایت هیدرولیکی غیراشباع بعد از پنج سال آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده بر دو نوع خاک در نیوزیلند تغییری مشاهده نشد (۲۹) در حالی که ۵۰ درصد افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع بعد از نصف دورهٔ آبیاری با همان فاضلاب تصفیه‌شده گزارش شده است (۱۴). کاهش خصوصیات فیزیکی خاک ممکن است به‌دلیل استفادهٔ طولانی‌مدت از فاضلاب تصفیه‌شده در آبیاری باشد (۲۵). لخته‌شدن و گرفتگی منافذ خاک هدایت هیدرولیکی اشباع خاک را کاهش و منحنی نگه‌داشت آب را تغییر می‌دهد (۱۳).

در مناطق با آب‌وهوای خشک، با توجه به شرایط نامناسب خاک، به‌کارگیری کمپوست زبالهٔ شهری کودی آلی و راهی برای بهبود شرایط خاک از نظر نفوذپذیری و تخلخل است (۷). اضافه‌کردن لجن فاضلاب کودی آلی است و اثر مطلوبی بر ویژگی‌های فیزیکی آن دارد. این موضوع به‌ویژه در افزایش آب قابل‌استفادهٔ گیاه به‌دنبال افزایش درصد خلل و فرج خاک بسیار اهمیت دارد (۱). باید توجه داشت، علی‌رغم اینکه استفاده و به‌کارگیری فاضلاب تصفیه‌شده در آبیاری راهبرد ارزش‌مندی در بالابردن منابع آب در دسترس محسوب می‌شود، کیفیت و شرایط این آب چالش‌هایی را در کشاورزی ایجاد می‌کند (۲۰). در سال‌های اخیر، با توجه به کمبود و کاهش آب

Archive of SID
www.SID.ir

شیرین در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مانند ایران، آبیاری با فاضلاب به عملی معمول و رایج تبدیل شده است (۳۹).

آب رودخانهٔ قره‌سو از سال‌های بسیار دور در نقاط مختلف مورد استفادهٔ کشاورزان قرارگرفته و با توجه به حاصلخیز بودن زمین‌های اطراف این رودخانه، این امر در حال گسترش است. همچنین، با توجه به رعایت نکردن نکات محیط‌زیستی در کارخانه‌ها، بیمارستان‌ها و سایر ادارات و اماکن سطح شهر و ریختن فاضلاب حاصل به‌طور مستقیم به داخل رودخانه، کیفیت آب آن به‌خصوص در خروجی شهر کرمانشاه روزبه‌روز در حال بدترشدن است. در جنوب شهر کرمانشاه، کشاورزان به‌طور وسیعی از آب رودخانه در آبیاری مزارع خود استفاده می‌کنند. این امر خطرات جدی برای بهداشت و سلامتی انسان و حیوانات و آثار مخربی بر محیط‌زیست به‌همراه دارد. لذا، بررسی جامع تأثیر این آب بر خاک که جزیی از محیط زیست محسوب می‌شود لازم و ضروری است.

هدف از این تحقیق بررسی آثار آبیاری طولانی‌مدت با آب آلودهٔ رودخانهٔ قره‌سو بر پنج خصوصیت فیزیکی خاک است، شامل وزن مخصوص ظاهری، وزن مخصوص حقیقی، تخلخل، هدایت هیدرولیکی اشباع، منحنی مشخصه و نقاط مهم رطوبتی خاک و مقایسهٔ آن با آب چاه به‌عنوان شاهد.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ مورد مطالعه اراضی روستای قمشه (به طول جغرافیایی ۴۷ درجه، ۱۴ دقیقه و ۴۳ ثانیهٔ شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه، ۱۴ دقیقه و ۳۳ ثانیهٔ شمالی) واقع در منطقهٔ درودفرامان به فاصلهٔ ۲۰ کیلومتری جنوب شهر کرمانشاه است. شهر کرمانشاه مرکز استان کرمانشاه و واقع در غرب ایران است. ارتفاع منطقه ۱۲۹۲ متر از سطح دریا، اقلیم آن بر اساس تقسیم‌بندی آمبرژه نیمه‌خشک- سرد، میانگین دمای سالانهٔ آن ۱۴/۳ درجهٔ سانتی‌گراد و میزان بارش سالانهٔ آن تقریباً ۴۴۵ میلی‌متر است. شکل ۱، نمای رودخانهٔ قره‌سو و موقعیت و محل نقاط اندازه‌گیری را نشان می‌دهد.

شکل ۱. جانمایی منطقهٔ مورد نظر

www.SID.ir
Archive of SID

آب آبیاری

رودخانهٔ اصلی دشت کرمانشاه رودخانهٔ قره‌سوست. رودخانهٔ قره‌سو جزء حوضهٔ آبریز کرخه و طول آن حدود ۱۰۰ کیلومتر است. سرچشمهٔ اصلی این رودخانه سراب روانسر واقع در ۵۰ کیلومتری شمال‌غرب کرمانشاه است. انواع پسماندهای صنعتی، سموم خطرناک کشاورزی، آبشوران پر از انواع میکروب، فاضلاب‌های انسانی، صنعتی و جزآن مستقیم به داخل آن می‌ریزد و آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی، و آلودگی خاک و اراضی مرغوب کشاورزی را موجب می‌شود. شهر صنعتی، متأسفانه هنوز فاقد سیستم تصفیهٔ فاضلاب است، درنتیجه، بسیاری از واحدهای صنعتی این منطقه مانند کارخانجات صنایع غذایی، فرآورده‌های گوشتی، واحدهای شیمیایی، تولید رنگ، تولید شوینده‌ها، کارتن‌سازی و ساخت قطعات فلزی، معیارهای محیط‌زیستی را رعایت نکرده‌اند و پساب‌های خود را به داخل رودخانهٔ قره‌سو می‌ریزند.

در این مطالعه، از دو تیمار آب یکی رودخانهٔ قره‌سو و دیگری چاه به‌عنوان شاهد استفاده شده است. برای آزمایش‌های آب قبل از شروع آبیاری یعنی اردیبهشت و در پایان برداشت محصول و قبل از بارندگی سال زراعی بعد در مهر، اقدام به نمونه‌برداری از آب رودخانه و آب چاه برای انجام آزمایش‌های شیمیایی شد که این کار به مدت دو سال (۹۲ و ۹۳) انجام شد. خصوصیات فیزیکی-شیمیایی این دو نوع آب، همچنین سه استاندارد جهانی، سازمان جهانی خواروبار و کشاورزی (FAO)، سازمان بهداشت جهانی (WHO) وآژانس حفاظت محیط‌زیست (EPA)در رابطه با کیفیت مجاز آب آلوده برای آبیاری در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. نتایج آزمایش‌های شیمیایی تیمارهای آب آبیاری و مقایسهٔ آن با استانداردهای جهانی استفاده از آب آلوده برای آبیاری

		قبل از آبیاری (اردیبهشت)		بعد از آبیاری (مهر)		استاندارد جهانی		
پارامتر	واحد	چاه	رودخانه	چاه	رودخانه	FAO	WHO	EPA
سدیم	mg/l	۲۷/۷	۱۳/۱۵	۳۲/۶	۱۶۲		۶۹	۶۹
کلسیم	″	۱۰۲/۹	۱۲۶/۷	۱۰۸/۲	۲۱۰/۶			۲۰۰
منیزیم	″	۶۲/۴	۳۷/۸	۵۴/۱	۱۱۲/۳			۲۵
پتاسیم	″	۷/۴	۱/۹	۸/۵	۱۵/۸			
آلومینیم	″	۰	۰/۰۸	۰	۱/۰۳	۵	۵	۱
کلر	″	۲۳/۳۸	۲۰/۰۲	۲۱/۵۴	۶۲/۴۸	۱۴۲	۱۰۶	۱۰۰
بر	″	۰/۰۳	<۰/۰۲	۰/۰۷	۷/۱۸	۰/۷	۰/۷	۱
جیوه	″	۰	۰/۰۰۳	۰	۰/۰۲			۰/۰۱
آهن	″	۱/۳۲	۰/۸	۱/۰۶	۱۹/۲۶	۵	۵	۵
مس	″	۰	۰/۰۰۹	۰	۰/۰۴	۰/۲	۰/۲	۰/۲
روی	″	۰/۰۸	۰/۹۲	۰/۰۷	۴۳	۲	۲	۱
کادمیم	″	۰	۰/۰۰۷	۰	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱

Archive of SID
www.SID.ir

ادامه جدول ۱. نتایج آزمایش‌های شیمیایی تیمارهای آب آبیاری و مقایسهٔ آن با استانداردهای جهانی استفاده از آب آلوده برای آبیاری

		قبل از آبیاری (اردیبهشت)		بعد از آبیاری (مهر)		استاندارد جهانی		
پارامتر	واحد	چاه	رودخانه	چاه	رودخانه	FAO	WHO	EPA
نیکل	″	۰	۰/۰۰۹	۰	۰/۰۳	۰/۲	۰/۲	۰/۲
کروم	″	۰	۰/۰۲	۰	۰/۱۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
سرب	″	۰	۰/۰۱	۰	۰/۰۵	۵	۵	۵
منگنز	″	۰	۰/۰۸	۰/۰۲	۱۱/۲۸	۰/۲	۰/۲	۰/۲
کبالت	″	۰	۰/۰۰۷	۰	۰/۰۶	۰/۰۵		۰/۰۵
آرسنیک	″	۰	۰/۰۰۱>	۰	۰/۰۳	۰/۱	۰/۱	۰/۱
سلنیوم	″	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲
نیترات	″	۱۹/۴۴	۲۷/۳	۲۸/۳۷	۴۷/۲۹	۵	۵	۳۰
فسفات	″	۳/۸۲	۶/۷	۶/۲۵	۲۸/۵۴			۱۰
کل ذرات معلق	″	۱۱/۲	۱۲۳/۸	۰	۱۲۳/۸			۵
کل ذرات محلول	″	۳۷۶	۵۰۱/۶	۳۶۸	۷۶۳	۴۵۰	۴۵۰	
نسبت جذب سدیم	–	۳/۰۴	۱/۴۵	۳/۶۱	۱۲/۷۴	۳	۳	
هدایت الکتریکی	ds/m	۰/۸۱۵	۰/۵۵۲	۱/۴۰۹	۰/۹۶۵	۰/۷	۰/۷	۰/۷
اسیدیته	–	۷/۲۵	۶/۵۶	۷	۷/۵۹	۶/۵–۸	۶–۸/۵	۶/۵–۸/۴
کدورت	NTU	۳۱/۶	۳۲/۴	۰/۹	۳۲/۴			۲

با توجه به جدول ۱، از نظر استانداردهای ذکرشده، آب چاه در اردیبهشت و مهر تقریباً مشکل خاصی ندارد. پارامترهای مختلف آب رودخانه در اردیبهشت فقط در چند مورد آن هم به‌صورت جزیی بیش از حد استاندارد بوده ولی تمامی پارامترهای آب رودخانه در مهر ماه غیر از چند مورد در بقیه موارد بیش از حد استاندارد بوده است. حال اگر میانگین اردیبهشت و مهر ماه را به عنوان کیفیت آب رودخانهٔ قره‌سو در نظر بگیریم، باز هم کیفیت آن بیش از حدود استاندارد بوده است. پس می‌توان نتیجه گرفت آب رودخانهٔ قره‌سو از نظر استانداردهای آبیاری کیفیت مناسبی ندارد.

خاک

در پایان هر فصل زراعی و به‌مدت دو سال (۹۲ و ۹۳) نمونه‌های خاک در دو تیمار آب رودخانه و چاه و در سه تکرار از سه لایه (عمق‌های ۰–۳۰، ۳۰–۶۰ و ۶۰–۹۰ سانتی‌متری) برداشت شد. در مجموع، روی تعداد ۳۶ نمونهٔ خاک آزمایش‌های فیزیکی انجام شد. این آزمایش‌ها شامل وزن مخصوص ظاهری، وزن مخصوص حقیقی، تخلخل، هدایت هیدرولیکی اشباع و منحنی مشخصهٔ رطوبتی خاک بود. بعد از برداشت نمونه‌ها، در مجاورت هوا قرارگرفتند تا به‌طور کامل خشک شوند. پس از خشک‌شدن، نمونه‌ها را خرد کرد و از الک ۲ میلی‌متری عبور دادیم. سپس، با استفاده از هیدرومتر بافت خاک تعیین شد که بر اساس طبقه‌بندی USDA نتایج حاصل در جدول ۲ آمده است.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۲. مشخصات بافت خاک سه‌لایه در دو تیمار آبیاری

تیمار	لایه	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	بافت
	۰-۳۰	۱۵	۴۸	۳۷	لومی
آب رودخانه	۳۰-۶۰	۳۰	۴۱	۲۹	رسی لومی تا لومی
	۶۰-۹۰	۲۶	۴۵	۲۹	لومی
	۰-۳۰	۱۰	۴۵	۴۵	لومی
آب چاه	۳۰-۶۰	۱۸	۳۰	۵۲	لومی
	۶۰-۹۰	۱۸/۵	۴۰	۴۱/۵	لومی

برای تعیین وزن مخصوص ظاهری خاک از روش استوانه و برای وزن مخصوص حقیقی خاک از روش پیکنومتر (۴۰) استفاده شد. برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک از روش بارافتان و از استوانه‌ای به قطر داخلی ۷ و طول ۲۳ سانتی‌متر استفاده شد. در نهایت، برای تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک از رابطهٔ (۱) استفاده شد.

$$k = \frac{2.3aL}{At}\log\frac{h_1}{h_2} \qquad (۱)$$

که در آن k هدایت هیدرولیکی بر حسب سانتی‌متر بر ثانیه، a سطح مقطع لولهٔ بورت بر حسب سانتی‌مترمربع، L طول نمونهٔ خاک بر حسب سانتی‌متر، A سطح مقطع نمونهٔ خاک بر حسب سانتی‌مترمربع، h_1 و h_2 بار آبی در شروع و پایان آزمایش بر حسب سانتی‌متر و t زمان افتادن بار آبی از h_1 به h_2 بر حسب ثانیه است.

تخلخل یکی از پارامترهای مهم خاک به‌خصوص از نظر کشاورزی است (رابطهٔ ۲).

$$n = (1 - \frac{\rho b}{\rho a}) \times 100 \qquad (۲)$$

که در آن n تخلخل بر حسب درصد، و ρ_b و ρ_a وزن مخصوص ظاهری و حقیقی بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب است.

منحنی دانه‌بندی خاک با روش الک اندازه‌گیری شد. برای این کار از الک‌های با شمارهٔ مش ۴، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۶۰، ۱۰۰، ۱۷۰ و ۲۰۰ استفاده شد. برای اندازه‌گیری منحنی مشخصهٔ رطوبتی خاک از دستگاه صفحات فشاری و دارای دو مخزن یکی تا فشار ۵ بار (مدل 1600) و دیگری تا فشار ۱۵ بار (مدل 1500F1) استفاده شد. همچنین، برای اندازه‌گیری منحنی مشخصهٔ خاک، رطوبت خاک در فشارهای تقریبی ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۳، ۰/۵، ۱، ۳، ۵، ۷، ۹، ۱۱، ۱۳ و ۱۵ بار اندازه‌گیری شد (۲۳).

تجزیه‌وتحلیل آماری

این پژوهش در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) با آزمایش‌های فاکتوریل (دو تیمارآب آلوده و آب چاه)، در سه تکرار و در مدت دو سال صورت گرفت. با توجه به اهداف مورد نظر تلاش‌شده تا نتایج به‌صورت متوسط دوساله ارائه شود، زیرا هدف اصلی از انجام این تحقیق، بررسی و ارزیابی تأثیر بلندمدت آبیاری با آب آلوده بر خصوصیات فیزیکی خاک و مقایسهٔ آن با آب چاه است. اما، در بررسی جامع و کامل نتایج، اثر سال و تکرارها در تحلیل آماری محاسبه و ارائه شده است. سپس، تجزیه و تحلیل آماری پارامترهای اندازه‌گیری‌شده با استفاده از دو نرم‌افزار آماری SAS 9.1 و MSTATC انجام

Archive of SID
www.SID.ir

گرفت. همچنین، آزمون مقایسهٔ میانگین در سطوح احتمالی ۱ درصد و ۵ درصد بر اساس روش دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

با توجه به جدول تجزیهٔ واریانس (جدول ۳)، مشخص شد که اثر تیمار کیفیت آب بر هدایت هیدرولیکی اشباع در سطح ۱ درصد و ظرفیت زراعی و نقطهٔ پژمردگی در سطح ۵ درصد معنادار بود. همچنین، اثر همزمان سال و تیمار آب بر هدایت هیدرولیکی اشباع در سطح ۱ درصد و ظرفیت زراعی در سطح ۵ درصد معنادار بود. سرانجام، اثر همزمان سال، تیمار آب و لایه فقط بر هدایت هیدرولیکی اشباع در سطح ۵ درصد اثر داشت. همچنین، با توجه به جدول ۳، پارامترهای وزن مخصوص حقیقی، ظاهری و تخلخل هیچ گونه تأثیری از تیمارهای مختلف حتی در سطح ۵ درصد نداشت. ضریب تغییرات نیز در محدودهٔ قابل‌قبولی قرار داشت، به‌طوری که بیشترین مقدار آن برابر با ۳۰/۲ درصد مربوط به هدایت هیدرولیکی اشباع و کمترین مقدار آن ۳/۹۲ درصد مربوط به وزن مخصوص حقیقی بود.

جدول ۳. تجزیهٔ واریانس در رابطه با تأثیر تیمارهای آبیاری بر خصوصیات فیزیکی لایه‌های خاک

تیمار	درجهٔ آزادی	هدایت هیدرولیکی	وزن مخصوص ظاهری	وزن مخصوص حقیقی	تخلخل	ظرفیت زراعی	نقطهٔ پژمردگی دایم	آب در دسترس
Y	۱	۳۷۱۷/۹**	۰/۰۹ ^{ns}	۰/۰۳۱۲^{ns}	۸۰/۹^{ns}	۳۱/۲*	۱۵/۲ ^{ns}	۳۱/۳^{ns}
R(Y)	۴	۴۰/۷	۰/۰۲	۰/۰۰۷۱	۴۸/۲	۳۹/۴	۵۵/۹	۱/۸۹
A	۱	۳۹۶۶/۸**	۰/۰۶ ^{ns}	۰/۰۰۰۵ ^{ns}	۷۳/۱^{ns}	۴۱/۸*	۰/۵۶*	۳۲/۷^{ns}
Y*A	۱	۲۸۹/۹**	۰/۰۶^{ns}	۰/۰۰۰۵^{ns}	۹/۹^{ns}	۳۳/۸*	۵۰/۹^{ns}	۳/۴۷^{ns}
R*A(Y)	۴	۷۴/۲	۰/۰۳	۰/۰۰۹۷	۵۱/۸	۶/۸۸	۷/۳۹۸	۵/۳۱
Error A	۱۶	۷۴/۲	۰/۰۳	۰/۰۰۹۷	۵۱/۸	۶/۸۸	۷/۳۹۸	۵/۳۱
B	۲	۳۹/۹^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}	۳۸/۲^{ns}	۲۷/۱**	۱۳/۶۶*	۲/۲۸^{ns}
Y*B	۲	۳۲۳/۵^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}	۱۳/۵^{ns}	۱/۲۳*	۲/۳۵^{ns}	۶/۸۹^{ns}
A*B	۲	۳۲۳/۵^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}	۱۳/۵^{ns}	۱/۲۳^{ns}	۲/۳۵^{ns}	۶/۸۹^{ns}
Y*A*B	۲	۷۴/۲*	۰/۰۳^{ns}	۰/۰۰۹۷^{ns}	۵۱/۸^{ns}	۶/۸۸^{ns}	۷/۳۹۸^{ns}	۵/۳۱^{ns}
Error B	۲	۳۹/۹	۰/۰۵	۰/۰۰۴۹	۶۱/۳	۴۴/۹	۳۲/۹	۱/۹۵
CV(%)		۳۰/۲	۹/۸	۳/۹۲	۲۲/۸	۹/۰۹	۱۵/۴	۱۹/۳

*معنادار در سطح احتمال ۵ درصد،**معنادار در سطح احتمال ۱ درصد وns غیرمعنادار

Y سال، R تکرار، A تیمار آب و B لایهٔ خاک

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۴. مقایسهٔ میانگین‌های خصوصیات فیزیکی خاک تحت تأثیر تیمارهای آبیاری

تیمار	هدایت هیدرولیکی (mm/h)	وزن مخصوص ظاهری (g/cm^3)	وزن مخصوص حقیقی (g/cm^3)	تخلخل (٪)	ظرفیت زراعی (٪)	نقطهٔ پژمردگی دایم (٪)	آب در دسترس (٪)
A_1	۳۴/۹a	۱/۶۹a	۲/۴۹a	۳۱/۷a	۲۷/۶b	۱۶/۵b	۱۱/۱a
A_2	۲۱/۹b	۱/۷۵a	۲/۵۴a	۳۰/۹a	۳۰/۱a	۱۸/۹a	۱۱/۲a
A_1*B_1	۳۷/۴a	۱/۷۳ab	۲/۴۸e	۳۰/۳ab	۲۸/۹bc	۱۷/۹ab	۱۱a
A_1*B_2	۳۱a	۱/۶۹ab	۲/۵۰cd	۳۲/۳ab	۲۶/۲c	۱۵/۷b	۱۰/۵a
A_1*B_3	۳۶/۲a	۱/۶۸ab	۲/۴۹de	۳۲/۶ab	۲۷/۷bc	۱۵/۹b	۱۱/۸a
A_2*B_1	۱۸/۲a	۱/۵۸b	۲/۵۲bc	۳۷a	۳۲/۸a	۲۱/۲a	۱۱/۶a
A_2*B_2	۲۷/۲a	۱/۸۰ab	۲/۵۷a	۲۹/۹ab	۲۷/۸bc	۱۶/۹b	۱۰/۹a
A_2*B_3	۲۰/۶a	۱/۸۸a	۲/۵۴b	۲۵/۷b	۲۹/۷b	۱۸/۵ab	۱۱/۲a
$Y_1*A_1*B_1$	۳۹/۵ab	۱/۸۱a	۲/۵۱a	۲۷/۹a	۲۹/۵ab	۱۸a	۱۱/۵a
$Y_1*A_1*B_2$	۱۹/۸abcd	۱/۶۷a	۲/۵۳a	۳۴/۱a	۲۷/۷ab	۱۶/۵a	۱۱/۲a
$Y_1*A_1*B_3$	۲۷/۸abcd	۱/۶۳a	۲/۵۲a	۳۵/۳a	۳۱/۷ab	۱۷/۴a	۱۴/۳a
$Y_1*A_2*B_1$	۲۹/۵abcd	۱/۵۴a	۲/۵۴a	۳۹/۵a	۳۱/۵ab	۲۰/۴a	۱۱/۱a
$Y_1*A_2*B_2$	۴۴/۸a	۱/۷۰a	۲/۶۰a	۳۴/۵a	۲۷/۶ab	۱۷a	۱۰/۶a
$Y_1*A_2*B_3$	۳۶/۹abc	۱/۸۱a	۲/۵۶a	۲۹/۲a	۳۰/۸ab	۲۰/۷a	۱۰/۱a
$Y_2*A_1*B_1$	۳۵/۴abc	۱/۶۴a	۲/۴۴a	۳۲/۸a	۲۸/۴ab	۱۷/۸a	۱۰/۶a
$Y_2*A_1*B_2$	۴۲/۳a	۱/۷۱a	۲/۴۷a	۳۰/۵a	۲۴/۷b	۱۴/۹a	۹/۸a
$Y_2*A_1*B_3$	۴۴/۷a	۱/۷۲a	۲/۴۶a	۲۹/۹a	۲۳/۶b	۱۴/۵a	۹/۱a
$Y_2*A_2*B_1$	۶/۹cd	۱/۶۳a	۲/۴۹a	۳۴/۴a	۳۴/۱a	۲۱/۹a	۱۲/۲a
$Y_2*A_2*B_2$	۹/۵bcd	۱/۹a	۲/۵۴a	۲۵/۳a	۲۸ab	۱۶/۸a	۱۱/۲a
$Y_2*A_2*B_3$	۴/۲d	۱/۹۶a	۲/۵۲a	۲۲/۳a	۲۸/۶ab	۱۶/۴a	۱۲/۲a

در هر ستون و برای هر گروه میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک با هم اختلاف معناداری ندارد (٪۵=P).

Y_1 سال اول، Y_2 سال دوم، A_1 آب رودخانه، A_2 آب چاه، B_1 لایهٔ اول، B_2 لایهٔ دوم و B_3 لایهٔ سوم

نتایج آزمون مقایسهٔ میانگین به روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد برای خصوصیات فیزیکی اعماق مختلف خاک در جدول ۴ نشان داده شده است. هدایت هیدرولیکی خاک آبیاری‌شده با آب آلوده به‌طور معناداری بیش از آب چاه و بیشترین مقدار آن در لایهٔ اول و برای آب آلوده بود. بیشترین مقدار وزن مخصوص ظاهری در آب آلوده در لایهٔ اول، سپس نسبت به عمق کاهش یافت ولی در آب چاه کمترین آن در لایهٔ اول و بعد با عمق

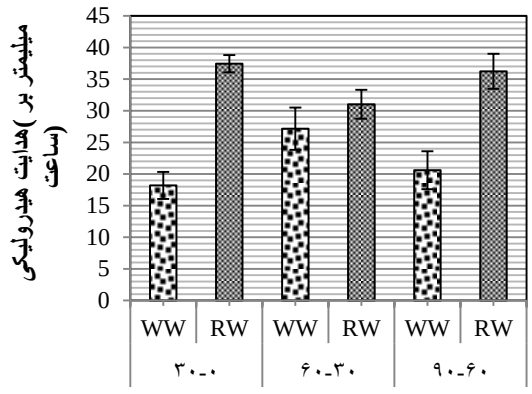
Archive of SID
www.SID.ir

افزایش داشت. وزن مخصوص حقیقی در هر دو تیمار آب در لایهٔ سطحی کمترین بود، ولی برعکس میزان تخلخل در لایه‌های سطحی بیشترین بود. همچنین، بیشترین مقادیر ظرفیت زراعی و پژمردگی دایم در هر دو تیمار آب در لایهٔ سطحی اتفاق افتاده بود.

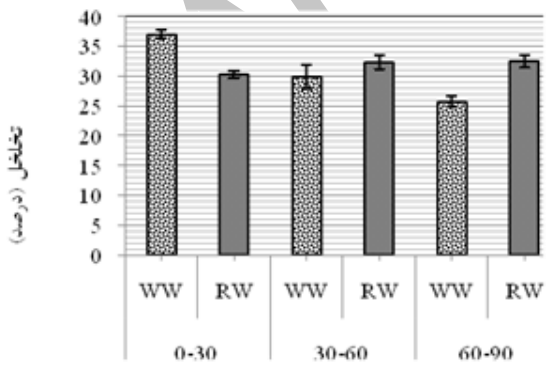
هدایت هیدرولیکی اشباع خاک

هدایت هیدرولیکی اشباع یکی از پارامترهای مهم فیزیکی خاک و تحت تأثیر شوری و سدیمی خاک است (۴۲). بررسی آماری نشان‌دهندهٔ اختلاف معنادار در سطح ۵ درصد بین هدایت هیدرولیکی اشباع تیمار آب آلوده و آب چاه بود. با توجه به کیفیت آب تیمارهای آبیاری دیده می‌شود که مجموع کلسیم و منیزیم آب رودخانه بیشتر بوده است. از طرفی، میزان سدیم آن هم کمتر از آب چاه بود که این امر باعث بهبود ساختمان خاک می‌شود و هدایت هیدرولیکی آن را افزایش می‌دهد. با توجه به شکل ۲، مقدار هدایت هدرولیکی اشباع در لایهٔ اول، دوم و سوم به‌ترتیب ۱۰۵/۸، ۱۴/۲ و ۷۵/۹ درصد افزایش را در تیمار آب آلوده نسبت به آب چاه نشان داد. در نتیجه، استفاده از آب آلوده در خاک لومی سبب افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک می‌شود. در تیمار آب رودخانه بیشترین مقدار در لایهٔ اول و کمترین در لایهٔ دوم بود و در آب چاه بیشترین در لایهٔ دوم و کمترین در لایهٔ اول اتفاق افتاد.

نتایج مطالعات گذشته نشان داده است که در حالت کلی، آبیاری با فاضلاب و فاضلاب تصفیه‌شده باعث کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع و غیراشباع خاک می‌شود (۸، ۱۰، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۹، ۲۶، ۲۷، ۲۹، ۴۵، ۴۶). این کاهش در خاک‌های خیلی شنی هم مشاهده شده است (۴۳). گزارش‌هایی هم حاکی از آن بود که آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده بر هدایت هیدرولیکی اشباع تأثیری ندارد (۲۴) و یا هدایت هیدرولیکی اشباع بعد از بیش از ده سال آبیاری با فاضلاب تصفیه شده افزایش یافت (۳۳). هدایت هیدرولیکی اشباع در هر دو تیمار آب شیرین و آب فاضلاب با عمق کاهش یافت که کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع لایهٔ سطحی در خاک آبیاری‌شده با فاضلاب حداکثر بود (۱۰). همچنین، گزارش‌هایی مبنی بر افزایش هدایت هیدرولیکی داریم (۱۲) که موافق با نتایج آزمایش بود.



شکل ۲. متوسط مقدار هدایت هیدرولیکی در اعماق مختلف خاک تحت تیمارهای آبیاری



شکل ۳. مقدار تخلخل در اعماق مختلف خاک تحت تیمارهای آبیاری

Archive of SID
www.SID.ir

تخلخل خاک

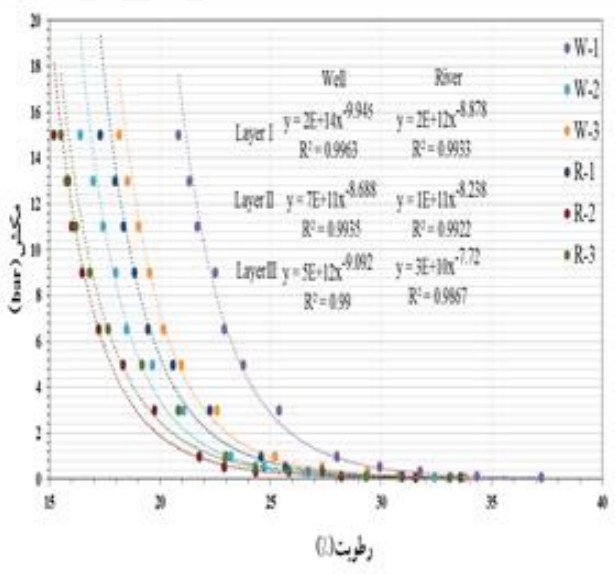
از نظر آماری تخلخل دو تیمار آب رودخانه و آب چاه تفاوت معناداری با یکدیگر نداشت. با توجه به شکل ۳، مقدار تخلخل در لایهٔ اول ۱۸/۱ درصد کاهش و در لایه‌های دوم و سوم به‌ترتیب ۸/۱ درصد و ۲۶/۵ درصد افزایش داشت. همچنین، مقدار تخلخل در آب چاه با روند یکنواختی نسبت به عمق کاهش یافت، ولی برعکس در آب رودخانه به‌طور یکنواخت افزایش نشان داد.

هر چند مطالعه روی آب آلودهٔ رودخانه بود، ولی مطالعات گذشته که بیشتر روی فاضلاب است، به این صورت بوده که استفاده از کمپوست فاضلاب شهری خلل و فرج خاک را افزایش داده است (۹). همچنین، افزایش تخلخل خاک با مصرف کمپوست در خاک شنی گزارش شده است (۱۸، ۴۴). علاوه‌بر این، تخلخل در خاک‌های آبیاری‌شده با فاضلاب بیشتر بوده است (۳۰).

منحنی مشخصهٔ رطوبتی و نقاط مهم پتانسیلی آب در خاک

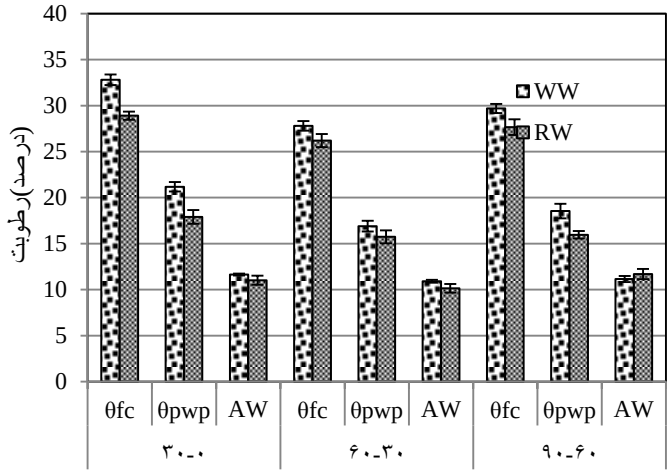
منحنی رطوبتی خاک یکی از پارامترهای اساسی خاک است که میزان گنجایش رطوبتی خاک را طی فرایند رطوبت‌گیری (آبیاری) و رطوبت‌دهی (زهکشی) نشان می‌دهد که بافت و ساختمان خاک تأثیر بسزایی روی آن دارد. با توجه به شکل ۴، منحنی‌های رطوبتی در تیمار آب رودخانه به سمت چپ نمودار انتقال یافته است که نشان می‌دهد در فشار ثابت، مقدار رطوبت در تیمار آب رودخانه کاهش می‌یابد. به‌طور کلی، می‌توان گفت آبیاری با آب آلوده میزان نگه‌داشت آب در خاک را در نقاط مختلف پتانسیلی کاهش داده است. شاید یکی از دلایل، کم‌بودن میزان سدیم آب رودخانه نسبت به آب چاه باشد، چون بالابودن سدیم خاک باعث جذب آب و متورم‌شدن خاک به‌خصوص خاک‌های رسی می‌شود.

در بررسی آماری مشخص شد که تفاوت آماری نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی در دو تیمار آب رودخانه و آب چاه معنادار نبود. همچنین، تفاوت معناداری بین مقدار آب در دسترس دو تیمار وجود نداشت. با توجه به شکل ۵، مقدار رطوبت ظرفیت زراعی در تیمار آب رودخانه در هر سه لایه به‌ترتیب ۱۱/۹، ۵/۸ و ۶/۹ درصد کاهش یافت.



شکل ۴. منحنی مشخصهٔ رطوبتی خاک در تیمارهای مختلف

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۵. مقادیر ظرفیت زراعی، نقطهٔ پژمردگی دایم و آب در دسترس در اعماق مختلف خاک تحت تیمارهای آبیاری

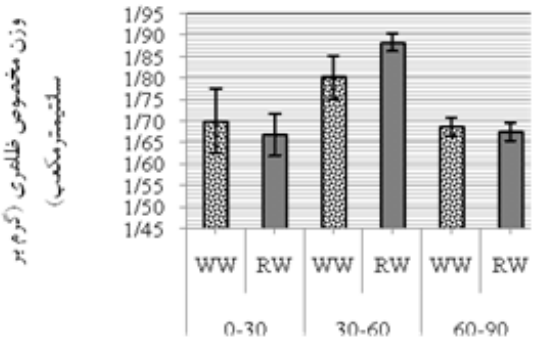
همچنین، مقدار رطوبت نقطهٔ پژمردگی در تیمار آب رودخانه در هر سه لایه به‌ترتیب ۱۵/۵، ۶/۹ و ۱۳/۹ درصد کاهش نشان داد. در مورد مقدار آب در دسترس تیمار آب رودخانه در لایهٔ اول و دوم ۵/۳ و ۷ درصد کاهش و در لایهٔ سوم ۴/۹ درصد افزایش داشت.

گزارش‌های قبلی نشان دادند که استفاده از کمپوست فاضلاب شهری مقدار ظرفیت زراعی را افزایش می‌دهد (۳۷). همچنین، استفاده از فاضلاب در آبیاری باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌شود (۱۲، ۴۱). محققان افزایش رطوبت خاک در نقطهٔ ظرفیت زراعی و پژمردگی را با به‌کارگیری لجن فاضلاب گزارش کردند (۷). به‌علاوه، با کاربرد ۵۰ تن لجن فاضلاب در هکتار محتوای آب در خاک به‌دنبال افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک نسبت به شاهد ۳۰/۳ درصد افزایش داشته است (۱). با به‌کارگیری کمپوست زبالهٔ شهری افزایش میزان رطوبت در نقطهٔ ظرفیت زراعی را نشان داد (۱۸). استفاده از کمپوست فاضلاب شهری ظرفیت نگهداری آب در خاک را افزایش داد (۹). البته، متفاوت‌بودن نتیجهٔ آزمایش شاید به‌دلیل تفاوت نوع آلودگی آب و یا استفادهٔ طولانی‌مدت از آب آلوده (بیش از ۲۰ سال) باشد.

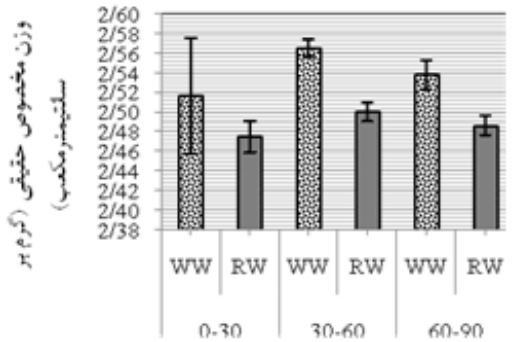
وزن مخصوص حقیقی و ظاهری خاک

وزن مخصوص ظاهری خاک اهمیت بیشتری دارد، زیرا هر چه مقدار آن کمتر باشد، خاک خلل و فرج بیشتری خواهد داشت و به اصطلاح پوکتر است. از طرفی، پوک‌بودن خاک باعث می‌شود تا عملیات زراعی و خاکورزی روی خاک بهتر و راحت‌تر انجام پذیرد. اگرچه جرم مخصوص حقیقی خاک تابع نوع ذرات و کانی‌های خاک است، در شرایط فراوانی مادهٔ آلی این ویژگی تحت تأثیر قرارمی‌گیرد و کاهش می‌یابد (۳). وزن مخصوص حقیقی و ظاهری در دو تیمار آبیاری مورد آزمایش اختلاف معناداری با هم نداشت. همچنین، با توجه به شکل‌های ۶ و ۷، مقدار وزن مخصوص حقیقی خاک تحت آبیاری با آب رودخانه در هر سه لایه به‌ترتیب ۱/۷، ۲/۵ و ۲/۱ درصد کاهش نشان داد. همچنین، مقدار وزن مخصوص ظاهری خاک تحت همین تیمار در لایه‌های اول و سوم به‌ترتیب ۲ و ۰/۷ درصد کاهش و در لایهٔ دوم ۴/۵ درصد افزایش نشان داد.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۶. متوسط وزن مخصوص ظاهری در اعماق مختلف خاک تحت تیمارهای آبیاری



شکل ۷. متوسط مقدار وزن مخصوص واقعی در اعماق مختلف خاک تحت تیمارهای آبیاری

مطابق با نتایج به‌دست آمده، آزمایش‌های قبلی نشان داد که استفاده از کمپوست فاضلاب شهری جرم مخصوص ظاهری خاک را به میزان معناداری کاهش داده است (۷، ۱۱، ۴۷). همچنین، کاربرد فاضلاب در آبیاری وزن مخصوص ظاهری خاک را کاهش داد (۱۲). در تحقیقی با کاربرد ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار در خاک گچی کاهش جرم مخصوص ظاهری از ۱/۳ به ۱/۰۴ گرم بر سانتی‌مترمکعب گزارش شد (۳۶). در پژوهشی، کاهش معنادار وزن مخصوص حقیقی نسبت به شاهد در خاک رسی شنی گزارش شده است (۳۲). کاهش معنادار وزن مخصوص ظاهری در خاک با کاربرد کمپوست کودی آلی گزارش شد (۴۴). به‌کارگیری کودهای آلی در خاک، با افزایش درصد منافذ خاک، باعث کاهش وزن مخصوص ظاهری شد (۴).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داد که استفاده از آب آلوده و حاوی انواع آلودگی‌های خانگی، صنعتی و کشاورزی آثار مثبت و منفی بر خصوصیات فیزیکی خاک دارد. جدول تجزیهٔ واریانس نشان داد که استفاده از آب آلودهٔ رودخانهٔ قره‌سو باعث اختلاف معنادار در سطح ۵ درصد بر هدایت هیدرولیکی اشباع‌شده دارد، ولی بر سایر پارامترها اختلاف معناداری ایجاد نکرد. بررسی‌ها همچنین نشان داد که استفاده از آب آلوده در خاک لومی سبب افزایش معنادار هدایت هیدرولیکی اشباع خاک شد. نتایج حاصل، نشان‌دهندهٔ آن است که استفاده از آب آلوده باعث کاهش مقدار رطوبت در نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی دایم شد. همچنین، مقدار رطوبت در هر دو نقطه نسبت به عمق کاهش یافت. همچنین، مقدار آب در دسترس در تیمار آب رودخانه کاهش یافت. به‌علاوه، تیمار آب آلوده باعث کاهش وزن مخصوص حقیقی و ظاهری خاک شد. هر چند تخلخل خاک در لایهٔ اول کاهش و در دو لایهٔ بعدی افزایش نشان داد، در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از آب آلوده باعث افزایش تخلخل خاک شده است. لازم به یادآوری است که استفاده از آب آلوده در درازمدت بر خصوصیات فیزیکی خاک اطرف رودخانهٔ قره‌سو تأثیر گذاشته است. لذا، پیشنهاد می‌شود که این پژوهش در سال‌های آینده نیز پیگیری شود.

Archive of SID
www.SID.ir

منابع

۱. . بهره‌مند م.ر.، افیونی م.، حاج عباسی م. و رضایی‌نژاد ی. (۱۳۸۱) تأثیر فاضلاب بر روی تعدادی از خصوصیات فیزیکی خاک. مجلهٔ علوم و تکنولوژی کشاورزی و منابع طبیعی. ۶(۴): ۹-۱.

۲. روحانی شهرکی ف.، مهدوی ر. و رضایی م. (۱۳۸۴) اثر آبیاری با پساب بر برخی خواص فیزیکی و شیمیایی. مجلهٔ آب و فاضلاب. ۱۶(۱): ۲۹-۲۳.

۳. علیزاده ا. (۱۳۸۳) فیزیک خاک. انتشارات دانشگاه امام رضا، مشهد.۲۶۷ ص.

۴. میرزایی ت.ر.، کامبوزیا ج.، صباحی ح. و دامغانی ا. (۱۳۸۸) اثر کود آلی بر روی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، عملکرد و مادهٔ خشک گوجه فرنگی. مجلهٔ منابع مزرعه.۷(۱): ۲۶۷-۲۵۷.

۵. ولی‌نژاد م.، مصطفی‌زاده ب. و میرمحمدی میبدی س.ع. (۱۳۸۱) اثر پساب تصفیه‌شدهٔ شاهین‌شهر بر خصوصیات زراعی و شیمیایی ذرت تحت سیستم آبیاری بارانی و سطحی. مجلهٔ علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۹(۱): ۱۱۵-۱۰۳.

6. Abedi- Koupai J., Afyuni M., Mostafazadeh B. and Bagheri M.R. (2001) Influence of Treated Wastewater and Irrigation Systems on Soil Physical Properties in Isfahan Province. ICID International Workshop on Wastewater Reuse Management, Korea.

7. Aggelides S.M. and Londra P.A. (2000) Effect of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties. Bioresource Technology. 71(3): 253-259.

8. Alizadeh A., Bazari M.E., Velayati S., Hasheminia M. and Yaghmai A. (2001) Using Reclaimed Municipal Wastewater for Irrigation of Corn. ICID International Workshop on Wastewater Reuse Management, Korea.

9. Annabi M., Houot S., Francou F., Poitrenaud M. and Bissonnais Y Le (2007) Soil aggregate stability improvement with urban composts of different maturities. Soil Science. 71(2): 413-423.

10. Assouline S. and Narkis K. (2011) Effects of long-term irrigation with treated wastewater on the hydraulic properties of a clayey soil. Water Resources Research. Vol. 47.

11. Carter M.R. and Stewart B.A. (1996) Structure and organic matter storage in agricultural soils. CRC Press, Boca Raton FL, USA.

12. Chang A.C., Warneke J.E., Page A.L. and Lund L.J. (1984) Accumulation of heavy metal in sewage sludge treated soils. Journal of Environmental Sciences. 13: 87-90.

13. Coppola A., Santini A., Botti P., Vacca S., Comegna V. and Severino G. (2004) Methodological approach for evaluating the response of soil hydrological behaviour to irrigation with treated municipal wastewater. Journal of Hydrology. 292: 114-134.

14. Cook F.J., Kelliher F.M. and McMahon S.D. (1994) Changes in infiltration during wastewater irrigation of a highly permeable soil. Journal of Environmental Sciences. 23: 476-482.

15. De Vries J. (1972) Soil filtration of wastewater effluent and the mechanism of soil clogging. Journal of the Water Pollution Control Federation. 44: 565-573.

16. DSI (2011) Republic of Turkey Ministry of Environment and Forestry. General Directorate of State Hydraulic Works. http://www.dsi.gov.tr/topraksu.htm.

Archive of SID
www.SID.ir

17. FAOWATER (2008) Water at a Glance: The Relationship between Water, Agriculture, Food Security and Poverty. Water Development and Management Unit. http:// www.fao.org/nr/ water/docs/ waterataglance.pdf.

18. Gelik I., Ortas I, and Kilik S. (2004) Effect of compost, Mycorhiza, Mnure and fertilizer on some physical properties of Chromoxerert soil. Soil and Tillage Research. 78: 59-67.

19. Goncalves R.A.B., Folegatti M.V., Gloaguen T.V., Libardi P.L., Montes C.R., Lucas Y., Dias C.T.S. and Melfi A.J. (2007) Hydraulic conductivity of a soil irrigated with treated sewage effluent. Geoderma. 139: 241-248.

20. Hasan H., Battikhi A. and Qrunfleh M. (2014) Impacts of Treated Wastewater Reuse on Some Soil Properties and Production of *Gladiolus communis*. Journal of Horticulture. 1: 111.

21. Jury W.A., Vaux Jr H.J. and Donald L.S. (2007) The emerging global water crisis: managing scarcity and conflict between water users. Advancesin Agronomy Academic Press. 1-76.

22. Lado M. and Ben-Hur M. (2009) Treated domestic sewage irrigation effects on soil hydraulic properties in arid and semiarid zones: a review. Soil and Tillage Research. 106: 152-163.

23. Lee G.W. and Bauder J.W. (1986) Particle Size Analysis. In: Methods of Soil Analysis, A. Klute (Ed). Part1 (snd Edn.)Agro.Monger. 9, ASA and SSSA, Madison, WS, USA, 383-411.

24. Levy G.J., Rosenthal A., Shainberg I., Tarchitzky J. and Chen Y. (1999) Soil hydraulic conductivity changes caused by irrigation with reclaimed waste water. Journal of Environmental Sciences. 28: 1658-1664.

25. Levy G.J. and Assouline S. (2011) Physical aspects, in Treated Wastewater in Agriculture, chap. 9, Edited by G J Levy, P Fine and A Bar-Tal, Wiley-Blackwell, Oxford, UK.

26. Levy G.J. and Mamedov A.I. (2002) Aggregate stability and seal formation. Soil Sci. 66: 1603-1609.

27. Levy G.J., Mamedov A.I. and Goldstein D. (2003) Sodicity and water quality effects on slaking of aggregates from semi-arid soils. Soil Science. 168: 552-562.

28. Magesan G.N. (2001) Changes in soil physical properties after irrigation of two forested soils with municipal wastewater. New Zealand Journal of Foresty Science. 31(2): 188-195.

29. Magesan G.N., Williamson J.C., Yeates G.W. and Lloyd-Jones A.R.H. (2000) Wastewater C:N ratio effects on soil hydraulic conductivity and potential mechanisms for recovery. Bioresource Technology. 71: 21-27.

30. Mahida N.U. (1981) Water Pollution and Disposal of Wastewater on Land. Tata McGraw-Hill Publishing Company limited, New Dehli. 325.

31. Mandal U.K., Bhardwaj A.K., Warrington D.N., Goldstein D., Bar Tal A. and Levy G.J. (2008) Changes in soil hydraulic conductivity, runoff, and soil loss due to irrigation with different types of saline-sodic water. Geoderma. 144: 509-516.

32. Marinari S., Masciandro B. and Grego S. (2000) Influence of organic and mineral fertilizer on soil physical properties. Geoderma. 72: 9-17.

33. Mathan K.K. (1994) Studies on the influence of long-term municipal sewage- effluent irrigation on soil physical properties. Bioresource Technology. 48: 275–276.

34. Misra R.K. and Sivongxay A. (2009) Reuse of laundry grey water as affected by its interaction with saturated soil. Journal of Hydrology. 366: 55-61.

Archive of SID
www.SID.ir

35. Morugán-Coronado A., García-Orenes F., Mataix-Solera J., Arcenegui V. and Mataix-Beneyto J. (2011) Short-term effects of treated wastewater irrigation on Mediterranean calcareous soil. Soil and Tillage Research. 112: 18-26.

36. Navas A., Bermudez F. and Machin J. (1998) Influence of sewage sludge application on physical and chemical properties of Gypsysoils. Geoderma. 87: 123-135.

37. Olsen R.J., Hensler R.F. and Attoe O.J. (1970) Effect of manure application, aeration, and soil pH on soil nitrogen transformations and on certain soil test values. Soil Science. 34: 222-225.

38. Pedrero F., Kalavrouziotis I., Alarcón J.J., Koukoulakis P. and Asano T. (2010) Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture review of some practices in Spain and Greece. Agricultural Water Management. 97: 1233-1241.

39. Razzaghi S., Khodaverdiloo H. and Ghorbani Dashtaki Sh. (2015) Effects of long-term wastewater irrigation on soil physical properties and performance of selected infiltration models in a semi-arid region. Hydrological Sciences Journal. DOI: 10.1080/02626667.2015.1051981.

40. Roots of peace (2008) Soil testing perennial crop support series Jalalabad, Afghanistan, Publication No. 2008-001-AFG.

41. Saber M.S.M. (1986) Prolonged Effect of Land Disposal of Human Wastes on Soil Conditions. Water Scienceand Technology. 18: 371-374.

42. Shainberg I. and Letey J. (1984) Response of soils to sodic and saline conditions. Hilgardia. 52: 1-57.

43. Tarchouna L.G., Merdy P., Raynaud M., Pfeifer H.R. and Lucas Y. (2010) Effects of long-term irrigation with treated wastewater. Part I: Evolution of soil physic-chemical properties, Applied Geochemistry. 25: 1703-1710.

44. Tejada M. and Ginzalez J.L. (2008) Influence of two organic amendments on the soil physical properties. Geoderma. 145: 325-334.

45. Uttam K.M., Warrington D.N., Bhardwaj A.K., Bar-Tal A., Kautsky L., Minz D. and Levy G.J. (2008) Evaluating impact of irrigation water quality on a calcareous clay soil using principal component analysis. Geoderma. 144: 189-197.

46. Vinten A.J.A., Mingelgrin U. and Yaron B. (1983)The effect of suspended solids in wastewater on soil hydraulic conductivity: II. Vertical distribution of suspended solids. Soil Science. 47: 408-412.

47. Zebarth B.J., Neilsen G.H., Hogue E. and Neilsen D. (1999) Influence of organic waste amendments on selected soil physical and chemical properties. Soil Science. 79(3): 501-504.

Archive of SID

www.SID.ir