



تأثیر استفاده از پساب بر خصوصیات شیمیایی خاک تحت شرایط روش‌های آبیاری قطره‌ای و شیاری

محمد ذونعمت کرمانی^۱، رسول اسدی^{۲*}، یارمحمد بای^۳ و پوریا میرزازنجانی^۴

استادیار بخش مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
مدرس گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
عضو کمیسیون پژوهش سازمان حفاظت محیط زیست
دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های دریایی، دانشکده عمران، دانشگاه علوم و تحقیقات واحد سیرجان

تاریخ پذیرش: ۹۳/۹/۱۵

تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۳۰

Effects of Using Wastewater Irrigation on the Chemical Characteristics of Soil Under Furrow and Drip Irrigation Methods

Mohammad Zounemat Kermani,¹ Rasoul Asadi,^{2*} Yarmohammad Bay³ & Pooriya Mirzazanjani⁴

¹Assistant Professor, Department of Water Engineering, University of Shaihd Bahonar Kerman, Iran

²Lectruer of Payame Noor University, Department of Agricultural, Tehran, Iran

³Member of Research Committee of Environmental Institute

⁴MSc Student of Marine Structure, Faculty of Civil, University of Science and research Azad

Abstract

The importance and position of water in economical, municipal, agricultural and industrial scopes is evident. Nevertheless, the shortage of the water resources, will duplicate the importance of protecting measures of clean water. Irrigation with treated municipal wastewater is considered an environmentally sound wastewater disposal practice compared to its direct disposal to the surface or ground water bodies. In addition, wastewater is a valuable source of plant nutrients and organic matter needed for maintaining fertility and productivity levels of the soil. In this research, the effects of treated wastewater of Kerman city on chemical characteristics of soil using drip and furrow irrigations were investigated. Irrigation period was 6 days and lasted for 6 months. Samplings were done for the middle part of furrows in two depths of 0-30 cm and 30-60 cm in four irrigation treatments. The experiments were conducted in a split plot design based on the Randomized Complete Block Design (RCBD) with three replications. Results showed the reduction of pH, and increment of salinity, phosphate phosphorus, nitrate nitrogen and heavy metals of using wastewater compare to well water. Moreover, the results indicate the increasing of accumulation of heavy metals in soil depth applying furrow irrigation in comparison to drip irrigation.

Keywords: Wastewater, Furrow irrigation, Drip irrigation, Chemical characteristics of soil.

چکیده

اهمیت و جایگاه آب در حوزه‌های اقتصادی، انسانی، کشاورزی و صنعت بر هیچکس پوشیده نیست. در این راستا به‌کارگیری روش‌های مبتنی بر آبیاری با آب‌های با کیفیت پایین مانند پساب یک راهکار عملی و مناسب می‌باشد. هم‌چنین پساب می‌تواند به‌عنوان یک منبع غنی از مواد معدنی و آلی به‌منظور حاصلخیز نمودن خاک قلمداد شود. در تحقیق حاضر به‌منظور ارزیابی اثرات استفاده از پساب، فاضلاب تصفیه‌شده شهری کرمان بر روی خصوصیات شیمیایی خاک در قالب دو نوع روش آبیاری شیاری و قطره‌ای در قیاس با آبیاری با آب چاه مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. در این پژوهش دور آبیاری ۶ روز و آبیاری به مدت ۶ ماه انجام پذیرفت. نمونه‌برداری‌ها از قسمت میانی جوی و در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر در چهار تیمار آبیاری شیاری با آب چاه، آبیاری شیاری با پساب، آبیاری قطره‌ای با آب چاه و آبیاری قطره‌ای با پساب در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در ۳ تکرار صورت گرفت. نتایج نشان‌دهنده کاهش میزان اسیدیته، افزایش شوری، افزایش فسفر-فسفاتی، افزایش نیتروژن نیتراتی و افزایش تجمع فلزات سنگین خاک آبیاری شده با پساب در مقایسه با خاک آبیاری شده با آب چاه می‌باشد. هم‌چنین نتایج بیانگر افزایش تجمع فلزات سنگین در اعماق خاک با استفاده از شیوه آبیاری شیاری نسبت به آبیاری قطره‌ای است.

کلمات کلیدی: پساب، آبیاری شیاری، آبیاری قطره‌ای، خصوصیات شیمیایی خاک.

* Corresponding Author. E-mail Address: rakh_802@yahoo.com

دوره طولانی مدت آبیاری با پساب در منطقه نیمه‌خشک مورد پژوهش قرار دادند. بر اساس گزارشات آن‌ها، به‌کارگیری پساب به‌منظور آبیاری باعث افزایش ۸۰ درصدی هدایت هیدرولیکی، ۳۵۰ درصدی کربن‌آلی، ۱۰۰ درصدی ازت و ۳۰۰ درصدی پتاسیم می‌شود [۶]. کریم‌زاده و همکاران (۲۰۱۲)، اظهار داشتند که استفاده از پساب در آبیاری موجب کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک و افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک می‌گردد [۷].

ملی و همکاران (۲۰۰۲)، اثر پساب شهری را بر خصوصیات شیمیایی و میکروبیولوژیکی خاک در اقلیم نیمه‌خشک بررسی نمودند [۳]. آن‌ها اذعان داشتند که استفاده از پساب شهری موجب افزایش بهره‌وری و حاصلخیزی خاک شده است. آیلو و همکاران (۲۰۰۷) تأثیر استفاده از آبیاری قطره‌ای مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که استفاده از پساب موجب افزایش میزان آلودگی میکروبی سطح خاک، کاهش تخلخل و هدایت هیدرولیکی می‌شود [۸]. زو و همکاران (۲۰۱۰) تأثیر بلند مدت (۲۰ ساله) پساب تصفیه‌شده را بر روی خاک‌های کشاورزی بررسی کردند. آن‌ها بیان داشتند که استفاده از پساب موجب کاهش pH و افزایش فلزات سنگین در سطح ۵ درصد شده است [۹]. ساکو و همکاران (۲۰۱۲) تغییرات فصلی خصوصیات فیزیکی خاک را تحت شرایط آبیاری متفاوت برای گیاه برنج مد نظر قرار دادند [۱۰]. بلوم و همکاران (۲۰۱۲) تغییرات خصوصیات خاک یک مزرعه نیشکر را پس از آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده در یک دوره ۲ ساله مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان‌دهنده تغییرات شدیدتر خصوصیات شیمیایی خاک در سال اول نسبت به سال دوم بود [۱۱]. سوداکوره و همکاران (۲۰۱۳) اثرات آبیاری با پساب صنعتی را بر روی خصوصیات خاک مورد کاوش قرار دادند. ایشان به‌هم‌ریختگی ساختار خاک و نامناسب بودن شرایط فیزیکی آن پس از آبیاری با پساب را گزارش نمودند [۱۲]. پاپاودولوس و همکاران (۲۰۱۴) خصوصیات فیزیکی خاک را به‌منظور بررسی اثر استفاده از مواد آلی در بهبود کیفیت آن مورد بررسی قرار دادند [۱۳].

استان کرمان با متوسط بارندگی ۱۴۵ و تبخیر ۱۷۰۰ میلی‌متر سالیانه، دارای محدودیت شدید از نظر منابع آبی است. یکی از منابع آب نامتعارف استان کرمان، تصفیه‌خانه فاضلاب شهری است که از سال ۱۳۸۶ شروع به جمع‌آوری و

رشد روز افزون جمعیت جهان، همگام با گسترش فعالیت‌های کشاورزی در جهت افزایش تأمین مواد غذایی از یک سو و از سوی دیگر خشکسالی‌های پی‌درپی در سال‌های اخیر، موجب شده است که بهره‌برداری از منابع موجود آب شیرین در اکثر کشورهای واقع در مناطق خشک به اوج رسد. با توجه به مشکلات کمبود آب در اراضی مناطق خشک و کم‌باران، استفاده از پساب به‌عنوان یک شیوه جایگزین برای آبیاری مطرح می‌باشد که می‌تواند علاوه بر داشتن توجیه اقتصادی، در مسائل زیست‌محیطی نیز نقش مثبتی ایفا نماید. افزون بر این پساب می‌تواند به‌عنوان یک منبع غنی از مواد معدنی و آلی به‌منظور حاصلخیز نمودن خاک به‌شمار آید.

تحقیقات پژوهش‌گران نشان می‌دهد که استفاده از پساب به‌منظور آبیاری، تأثیر مستقیم بر روی خصوصیات خاک دارد. به‌طوری‌که میزان pH خاک در اراضی آبیاری شده با پساب به‌طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از اراضی است که با آب معمولی آبیاری می‌شوند، محققین دلیل کاهش اسیدیته خاک در شرایط استفاده از پساب را افزایش مواد آلی، تشکیل مواد حدواسط اسیدی و گازهایی مانند H₂S اعلام نمودند [۱]. هم‌چنین میزان شوری خاک آبیاری شده با پساب بیشتر از خاک‌های معمول می‌باشد. به‌علاوه نتایج حکایت از افزایش سطح نیترژن، فسفر و پتاسیم در خاک دارند، درحالی‌که تغییرات میزان فلزات سنگین رابطه مستقیم با تعداد سال‌های آبیاری با پساب دارد [۲ و ۳].

حنیف‌لو و معاضد (۲۰۰۷)، عملکرد پساب شهری اهواز را بر خواص هیدرولیکی خاک بررسی کردند. نتایج گزارش شده توسط این محققین نشان از افزایش ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع و نفوذپذیری لایه سطحی خاک نسبت به آبیاری با آب کارون، به‌طور معنی‌داری دارد [۴]. حیدرپور و همکاران (۲۰۰۷)، اثر استفاده از پساب تصفیه‌شده را بر روی خصوصیات شیمیایی خاک از جمله، هدایت الکتریکی، سدیم، کلسیم، منیزیم محلول، ازت، فسفر و پتاسیم، در دو نوع آبیاری سطحی و زیرسطحی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که استفاده از آبیاری زیرسطحی افزایش هدایت الکتریکی، سدیم و منیزیم محلول را در لایه سطحی خاک در پی دارد، اما تغییرات مشاهده شده در پارامترهای بافت خاک، چگالی حقیقی، تخلخل و نفوذ آب معنی‌دار نمی‌باشد [۵]. رضاپور و همکاران (۲۰۱۲)، واکنش خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک را پس از یک

فاصله ۷۵ سانتی‌متر از یکدیگر بودند، قرار گرفتند. هم‌چنین فاصله بین تکرارهای آزمایش که بصورت عمودی کنار هم قرار گرفتند، ۲ متر بود و تعداد کل کرت‌ها با احتساب تکرارها به ۱۲ کرت رسید.

در این تحقیق در هر دو روش آبیاری، میزان ۷۰۰۰ مترمکعب آب در هکتار که طی ۳۰ مرتبه آبیاری (دور آبیاری ۶ روز) انجام گردید، مورد استفاده قرار گرفت. برای اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک، از دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک، از قسمت وسط جوی نمونه برداری شد. لازم به ذکر است که لوله‌های آبد در سیستم آبیاری قطره‌ای در وسط جوی کارگزار شدند. پارامترهایی اندازه‌گیری شده عبارت‌اند از: اسیدیته خاک (توسط دستگاه pH متر الکترونیکی)، شوری خاک (توسط دستگاه هدایت سنج الکترونیکی)، نسبت جذب سدیم (از طریق فرمول (با توجه به میزان سدیم، کلیسم و منیزیم))، نیتروژن-نیتراتی (توسط دستگاه کج‌دال)، فسفر-فسفاتی (توسط دستگاه اسپکتروفتومتر) به روش اولسن، کربن‌آلی (توسط روش اکسیداسیون به کمک دی‌کرومات) و غلظت عناصر سنگین مانند نیکل، کادمیم، روی و آهن (توسط دستگاه جذب اتمی مجهز به کوره گرافیتی و بر اساس روش ارائه شده توسط APHA). هم‌چنین میزان آب ورودی به هر کرت توسط کنتور حجمی اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت؛ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن (در سطح اعتماد ۹۹ درصد) انجام شد.

۳- نتایج و بحث

جدول‌های ۱ و ۲ به ترتیب تجزیه برخی خصوصیات شیمیایی آب چاه و پساب (همرا با استاندارد) و خصوصیات فیزیکی خاک، مورد استفاده را نشان می‌دهند. با توجه به جدول ۱ می‌توان چنین ادعان داشت که پساب حاصل از تصفیه فاضلاب شهری کرمان از لحاظ تمامی پارامترهای مورد بررسی در مقایسه با استاندارد ارائه شده توسط سازمان حفاظت از محیط‌زیست ایران (قابل مصرف در بخش کشاورزی) در حد مجاز قرار دارند. هم‌چنین خصوصیات فیزیکی خاک منطقه مورد مطالعه در جدول ۲ مندرج شده است.

تصفیه فاضلاب نموده و تاکنون در حدود ۲۰ هزار مشترک به این سیستم پیوسته‌اند. پیش‌بینی می‌شود که این تصفیه‌خانه تا سال ۱۴۰۵ به بهره‌برداری کامل برسد و میزان پساب تولیدی به ۳۸/۵ میلیون مترمکعب در سال رسد [۱۴]. حال با توجه به مطالب ذکر شده، چنین به‌نظر می‌رسد که بتوان از پساب تصفیه‌شده فاضلاب، به‌عنوان یک منبع مطمئن برای تأمین آب، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، که با کمبود شدید منابع آب روبرو هستند، استفاده کرد. در صورتی‌که از این پساب در آبیاری اراضی کشاورزی استفاده شود، می‌توان در صرفه‌جویی برداشت از منابع آب و مصرف کود شیمیایی و هم‌چنین کاهش هزینه تأمین آب قدم بلندی برداشت. هدف از تحقیق حاضر، بررسی اثرات استفاده از پساب تصفیه‌شده فاضلاب شهری کرمان بر خصوصیات شیمیایی خاک در قالب به‌کارگیری روش‌های آبیاری قطره‌ای و شیاری می‌باشد. در همین راستا توجه و اهتمام به بحث خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک آبیاری شده با پساب فاضلاب تصفیه‌خانه کرمان را می‌توان یکی از نوآوری‌های تحقیق حاضر برشمرد. این در حالی است که تحقیق مشابهی با توجه به تحلیل عناصر فیزیکی و شیمیایی خاک در این محدوده صورت نپذیرفته است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه اجرای طرح

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی در ۵۰۰ متری تصفیه‌خانه فاضلاب شهر کرمان، واقع در ۱۵ کیلومتری شهر کرمان اجرا شد.

۲-۲- قالب طرح و روش اجرا

به‌منظور ارزیابی اثرات استفاده از پساب تصفیه‌شده فاضلاب شهری کرمان بر خصوصیات شیمیایی خاک در قالب به‌کارگیری روش‌های آبیاری قطره‌ای و شیاری، آزمایشی در زمینی به ابعاد ۱۰×۱۶ متر، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در شرایط بدون کاشت گیاه، در سال ۱۳۹۱ به اجرا درآمد. در این آزمایش اثرات ۴ تیمار (T۱= آبیاری شیاری با آب چاه، T۲= آبیاری شیاری با پساب، T۳= آبیاری قطره‌ای با آب چاه و T۴= آبیاری قطره‌ای با پساب) در شرایط یکسان بودن خاک مزرعه برای هر ۴ تیمار، مورد مقایسه قرار گرفت. تیمارها در کرت‌هایی به عرض و طول ۴ متر که شامل ۴ ردیف جوی-پشته به

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی آب چاه و پساب مورد استفاده و مرز استاندارد آلوده‌کننده فاضلاب برای مصارف کشاورزی^۱

پارامتر اندازه‌گیری شده	آب چاه	پساب مورد آزمایش	میزان درصد تفاوت پارامتر اندازه‌گیری شده	مرز استاندارد آلوده‌کننده در مصارف کشاورزی
pH	۶/۷	۶/۴	-۴/۵	۶-۸/۵
هدایت الکتریکی (ds/m)	۱/۵	۲/۳	+۵۳/۳	-
سدیم (meq/l)	۳/۶	۱۴/۳	+۲۹۷/۲	-
کلسیم (meq/l)	۱/۴	۳/۲	+۱۲۸/۶	-
منیزیم (meq/l)	۲/۱	۲/۷	+۲۸/۶	۴/۱
نسبت جذب سدیم (meq/l) ^{0.5}	۲/۷	۸/۴	+۲۱۱/۱	-
فسفر-فسفاتی (meq/l)	-	۲/۶	-	-
نیترژن-نیتراتی (meq/l)	-	۳۸/۹	-	-
کربن آلی کل (meq/l)	-	۷۴/۱	-	-
کادمیوم (meq/l)	-	۰/۰۱۴	-	۰/۰۵
نیکل (meq/l)	-	۰/۰۸۷	-	۲
آهن (meq/l)	-	۰/۰۲۹	-	۳
روی (meq/l)	-	۰/۰۰۲	-	۲
BOD (ppm)	-	۳۴	-	۱۰۰
COD (ppm)	-	۵۱	-	۲۰۰

۱: استاندارد سازمان محافظت از محیط زیست ایران

جدول ۲- تجزیه برخی خصوصیت‌های فیزیکی خاک عرصه مورد مطالعه (قبل از انجام آزمایش)

عمق (cm)	شش (%)	سیلت (%)	رس (%)	تخلخل (%)	وزن مخصوص ظاهری (gr/cm ³)	وزن مخصوص حقیقی (gr/cm ³)
۰-۳۰	۵۷/۵	۲۸/۲	۱۴/۳	۴۶/۸	۱/۴۲	۲/۶۷
۳۰-۶۰	۵۱/۳	۳۱/۹	۱۶/۸	۴۹/۴	۱/۳۷	۲/۷۱
۰-۶۰	۵۴/۴	۳۰/۱	۱۵/۵	۴۸/۱	۱/۳۹	۲/۶۹

جدول ۳- مقایسه میانگین تجزیه برخی خصوصیت‌های شیمیایی خاک عرصه مورد مطالعه

عمق (cm)	pH	EC (dS/m)	Na (meq/l)	Ca (meq/l)	Mg (meq/l)	SAR (meq/l) ^{0.5}	Cd (meq/l)	Ni (meq/l)	Fe (meq/l)	Zn (meq/l)
قبل از انجام آزمایش										
۰-۳۰	۷/۱b	۱/۰۵d	۳/۱۴d	۵/۸۵a	۳/۵۱a	۱/۴۵d	۰/۰۰۰۱c	۰/۰۰۵۵d	۰/۰۰۰۱b	۰/۰۰۳c
۳۰-۶۰	۷/۴a	۰/۹۵e	۲/۷۱e	۴/۷۴c	۳/۲۲b	۱/۳۳d	۰/۰۰۰۱c	۰/۰۰۳۸e	۰/۰۰۰۱b	۰/۰۰۳c
۰-۶۰	۷/۲	۱	۲/۹۲	۵/۲۹	۳/۳۶	۱/۳۹	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۴۶	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۳
بعد از انجام آزمایش (در سیستم‌های آبیاری شیبی و قطره‌ای با آب چاه)										
۰-۳۰	۶/۹c	۱/۱۱d	۳/۴۵c	۴/۷۲c	۳/۱۱c	۱/۷۳c	۰/۰۰۰۱c	۰/۰۰۵۷d	۰/۰۰۰۱b	۰/۰۰۲۷c
۳۰-۶۰	۷/۱b	۱/۰۷d	۳/۴۲c	۵/۲۸a	۳/۰۹c	۱/۶۸c	۰/۰۰۰۱c	۰/۰۰۳۱e	۰/۰۰۰۱b	۰/۰۰۲۷c
۰-۶۰	۷	۱/۰۹	۳/۴۳	۵	۳/۱	۱/۷	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۲۷
بعد از انجام آزمایش (در سیستم آبیاری قطره‌ای با پساب)										
۰-۳۰	۶/۶d	۱/۸۱b	۶/۶۴b	۴/۳۱d	۳/۱۹b	۳/۴۲b	۰/۰۰۲۵b	۰/۰۰۸۹c	۰/۰۰۰۷a	۰/۰۰۸b
۳۰-۶۰	۶/۸c	۱/۵۵c	۶/۲۱b	۴/۷۴c	۳/۰۷c	۳/۱۴b	۰/۰۰۲۱b	۰/۰۰۷۱c	۰/۰۰۰۵۲a	۰/۰۰۷b
۰-۶۰	۶/۷	۱/۶۸	۶/۴۲	۴/۵۲	۳/۱۳	۳/۷۸	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰۰۶۱	۰/۰۰۷۵
بعد از انجام آزمایش (در سیستم آبیاری شیبی با پساب)										
۰-۳۰	۶/۱e	۲/۱۱a	۸/۵۸a	۵/۰۲b	۳/۲۵b	۴/۲۳a	۰/۰۰۴۷a	۰/۰۱۴۲a	۰/۰۰۱۲a	۰/۰۱۲۷a
۳۰-۶۰	۶/۵d	۱/۸۴b	۸/۳۱a	۴/۹۷b	۳/۲۱b	۴/۱۱a	۰/۰۰۳۲a	۰/۰۱۰۹b	۰/۰۰۰۹a	۰/۰۱۰۹a
۰-۶۰	۶/۳	۱/۹۷	۸/۴۴	۵	۳/۲۳	۴/۱۷	۰/۰۰۴	۰/۰۱۲۵	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۶۰۸

۳-۱- تحلیل اسیدیته خاک

خاک کاهش می‌یابد. در شرایط اعمال پساب به خاک، تجمع مواد آلی را در سطح خاک افزایش یافته و به دلیل عدم فرصت کافی برای تجزیه مواد آلی، نفوذ پساب به اعماق خاک کاهش می‌یابد که به موجب آن شرایط لازم برای تجمع نمک در سطح خاک فراهم می‌گردد، لذا شوری خاک در لایه‌های سطحی خاک افزایش می‌یابد. در همین راستا مگسن و همکاران (۲۰۰۰)، گزارش نمودند که مقدار مواد آلی در پساب تأثیر مهمی بر خاصیت نفوذپذیری خاک دارد، بطوری که افزایش مواد آلی با مسدود نمودن منافذ خاک، نفوذ پساب را به اعماق خاک کاهش می‌دهد [۱۶].

۳-۳- تحلیل نسبت جذب سدیم

مقایسه میانگین میزان نسبت جذب سدیم در اعماق مورد بررسی تحت تأثیر اعمال پساب در دو روش آبیاری نشان می‌دهد (جدول ۳)، که با افزایش عمق، میزان نسبت جذب سدیم کاهش می‌یابد. دلیل این امر را می‌توان این دانست که تجمع کاتیون‌های محلول در لایه‌های سطحی خاک بیشتر از لایه‌های عمیق می‌باشد. همچنین همان‌طور که در جدول ۳ مشخص است، آبیاری با پساب افزایش نسبت جذب سدیم را نسبت به آبیاری با آب چاه را در پی دارد. اعمال پساب سرشار از سدیم، تعادل طبیعی کاتیون‌های محلول خاک را بر هم می‌زند و منجر به جایگزینی سدیم با کاتیون‌های دیگر به‌ویژه کلسیم و منیزیم موجود بر سطوح قابل تبادل خاک می‌گردد که به موجب آن افزایش نسبت جذب سدیم را در پی دارد. همچنین از مقایسه میانگین تأثیر اعمال پساب در دو روش آبیاری شیری و قطره‌ای بر نسبت جذب سدیم خاک مشخص می‌گردد که میزان نسبت جذب سدیم در روش آبیاری شیری با اختلاف ۹/۵ درصدی نسبت به روش آبیاری قطره‌ای بیشتر است.

۳-۴- تحلیل فسفر- فسفات

فسفر به‌عنوان یک عامل تغذیه‌ای موثر در وقوع پدیده اوتریفیکاسیون به‌شمار می‌رود که انتقال آن به آب‌های سطحی و زیرزمینی کاهش کیفیت آب را به‌دنبال دارد. در این تحقیق میزان فسفر خاک بر حسب فسفات اندازه‌گیری شده است. لذا مقایسه میانگین تجزیه فسفات خاک نشان می‌دهد (شکل ۱)، میزان فسفات خاک تحت تأثیر استفاده از پساب نسبت به میزان فسفات خاک قبل از انجام آزمایش، افزایش یافته است. همچنین همان‌طور که در شکل ۱ مشخص شده است افزایش میزان فسفات خاک در شرایط

مقایسه میانگین تجزیه برخی خصوصیات شیمیایی خاک نشان می‌دهد که میزان اسیدیته خاک تحت تأثیر استفاده از پساب نسبت به میزان اسیدیته خاک قبل از انجام آزمایش، کاهش یافته است (جدول ۳). همان‌طور که در جدول مشخص شده است کاهش میزان اسیدیته خاک در شرایط استفاده از پساب در سیستم آبیاری شیری بسیار چشم‌گیر بوده است، به‌طوری که میزان اسیدیته خاک در عمق ۰-۶۰ سانتی‌متری خاک در شرایط استفاده از پساب در سیستم آبیاری شیری، نسبت به اسیدیته خاک قبل از انجام آزمایش، ۱۲/۵ درصد کاهش داشت، این در صورتی است که کاهش pH خاک در شرایط استفاده از پساب در سیستم آبیاری قطره‌ای، نسبت به اسیدیته خاک قبل از انجام آزمایش، ۶/۹ درصد بوده است. محققین دلیل کاهش اسیدیته خاک در شرایط استفاده از پساب را افزایش مواد آلی، تشکیل مواد حدواسط اسیدی و گازهایی مانند H₂S اعلام نمودند [۱]. مقایسه میانگین اسیدیته خاک در اعماق مورد بررسی نشان می‌دهد (جدول ۳)، که با افزایش عمق، میزان اسیدیته خاک نیز افزایش می‌یابد. به‌نظر می‌رسد کاهش pH خاک در سطح خاک نسبت به اعماق به این دلیل است که با توجه به اینکه در سطح خاک شرایط برای ورود هوا به داخل خاک مساعدتر است، موجب افزایش سرعت تجزیه مواد آلی از جمله فرآیند نیتریفیکاسیون می‌شود که کاهش اسیدیته خاک را به‌دنبال دارد.

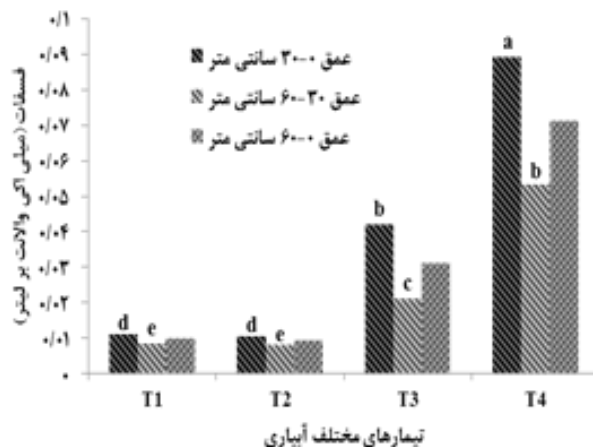
۳-۲- تحلیل شوری خاک

مقایسه میانگین نتایج تجزیه شیمیایی خاک نشان می‌دهد (جدول ۳)، که اعمال پساب به خاک نسبت به آب چاه در دو سیستم آبیاری شیری و قطره‌ای در عمق ۰-۶۰ سانتی‌متر به ترتیب باعث افزایش ۴۴/۶۷ و ۳۵/۱۱ درصدی شوری خاک شده است. با توجه به شوری پساب مورد آزمایش که تقریباً ۲ برابر شوری خاک بوده است، افزایش شوری خاک به‌دنبال کاربرد پساب دور از انتظار نمی‌باشد. محققین بسیاری شور شدن خاک را در اثر آبیاری با پساب را اظهار داشته‌اند [۱]. همچنین محققین افزایش EC خاک آبیاری شده با پساب را به دلیل بالا بودن غلظت کاتیون‌هایی مثل Na در پساب ارتباط داده‌اند که منجر به افزایش EC گردیده است [۱۵].

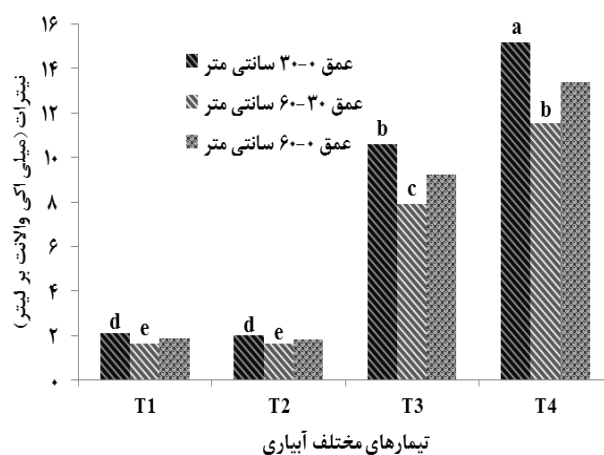
مقایسه میانگین شوری خاک در دو عمق مورد بررسی نشان می‌دهد (جدول ۳)، که با افزایش عمق، میزان شوری

در سیستم آبیاری قطره‌ای (T۳)، نسبت به فسفات خاک قبل از انجام آزمایش، ۶۸/۷ درصد بوده است. با توجه به تحرک بسیار کم فسفر در خاک، تجمع فسفر در لایه‌های سطحی خاک قابل ملاحظه می‌باشد (موجیری، ۲۰۱۱)، لذا در این تحقیق مقایسه میانگین فسفات در اعماق مورد بررسی نشان می‌دهد (شکل ۱)، با افزایش عمق، میزان فسفات خاک کاهش می‌یابد.

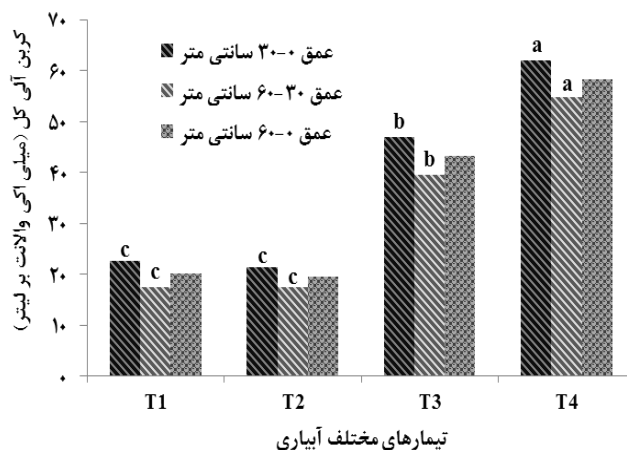
استفاده از پساب در سیستم آبیاری شیاری (T۴) بسیار چشم‌گیر بوده است، به طوری که میزان فسفات خاک در عمق ۰-۶۰ سانتی‌متری خاک در شرایط استفاده از پساب در سیستم آبیاری شیاری، نسبت به میزان آن قبل از انجام آزمایش (T۱) ۴/۸۶ درصد افزایش داشت، این در صورتی است که افزایش فسفات خاک در شرایط استفاده از پساب



شکل ۱- مقایسه میانگین تجزیه فسفات خاک



شکل ۲- مقایسه میانگین تجزیه نیترات خاک



شکل ۳- مقایسه میانگین تجزیه کربن آلی کل خاک

۳-۵- تحلیل نیتروژن-نیتراتی

در نتیجه اعمال پساب به خاک، مقدار قابل توجهی نیتروژن به خاک افزوده می‌شود که میزان آن بستگی به مقدار نیتروژن موجود در پساب و حجم پساب کاربردی دارد. یکی از شکل‌های نیتروژن یون نیترات است. یون نیترات به دلیل داشتن بار منفی از پویایی بسیار زیادی برخوردار است و اگر به وسیله گیاهان و یا میکروارگانیسم‌ها جذب نگردد به سرعت وارد آب‌ها سطحی و زیرزمینی شده و خطرات بهداشتی را به دنبال خواهد داشت [۱۷]. مقایسه میانگین تجزیه نیترات خاک نشان می‌دهد (شکل ۲)، که اعمال تیمار پساب به خاک مزرعه نسبت به آب چاه در دو سیستم آبیاری شیاری و قطره‌ای در عمق ۰-۶۰ سانتی‌متر به ترتیب باعث افزایش ۸۶/۱ و ۷۹/۹ درصدی نیترات خاک قبل از انجام آزمایش شده است.

هم‌چنین با افزایش عمق، میزان نیترات خاک کاهش می‌یابد. دلیل این امر را می‌توان چنین ذکر کرد که با توجه به این که انباشتگی مواد آلی در بخش سطحی نیم‌رخ خاک بیش‌تر است، احتمال می‌رود زیاد بودن مقدار نیترات در سطح، به دلیل تجزیه مواد آلی و آزاد شدن آمونیوم باشد، که در نتیجه پدیده نیتراتی شدن، افزایش آنیون در سطح خاک را در پی داشته است.

۳-۶- تحلیل کربن آلی کل

وجود مواد آلی محلول در خاک می‌تواند بیانگر حضور ترکیبات میکروبی و هم‌چنین ترکیبات آلی مقاوم به تجزیه باشد که در خاک تجزیه نشده‌اند. ترکیب‌های آلی مقاوم به تجزیه خاصیت انباشتگی زیستی دارند که برای میکروارگانیسم‌های خاک و گیاهان سمی بوده و در انسان اثرات سرطان‌زایی دارند. با توجه به فواید بی‌شمار مواد آلی، وجود کربن آلی کل در محلول خاک می‌تواند سبب افزایش پویایی فلزات سنگین در اعماق خاک و هم‌چنین تغییر در پتانسیل اکسایش خاک گردد. افزون بر آن پیوند ترجیحی ترکیبات آلی محلول با کلسیم و منیزیم، افزایش پراکندگی ذرات خاک را به دنبال دارد. مقایسه میانگین میزان کربن آلی کل در اعماق مورد بررسی تحت تأثیر اعمال پساب در دو روش آبیاری نشان می‌دهد (شکل ۳)، که با افزایش عمق میزان کربن آلی کل کاهش می‌یابد. مکلازن و همکاران (۲۰۰۳)، گزارش نمودند که با افزایش عمق خاک میزان کربن آلی کل به شدت کاهش می‌یابد که با نتیجه بدست آمده از تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد [۱۸].

کربن آلی مهم‌ترین پارامتر برای کیفیت و تقویت حاصل‌خیزی خاک است (سپاسخواه و کاریز، ۲۰۱۱). لذا از دیگر نتایج تحقیق حاضر می‌توان چنین اذعان داشت که آبیاری با پساب افزایش کربن آلی کل را نسبت به آبیاری با آب چاه را در پی دارد [۱۹]. در همین راستا نجفی و نصر (۲۰۰۹)، گزارش نمودند که کربن آلی در خاک‌های تیمار شده با پساب شهری افزایش معنی‌داری نسبت به خاک‌های شاهد و تیمار شده با کودهای شیمیایی دارد، به طوری که مقدار کربن آلی خاک در تیمار حاوی پساب شهری از افزایش ۴۱ درصدی نسبت به تیمار شاهد برخوردار بود [۲۰]. هم‌چنین از مقایسه تأثیر اعمال پساب در دو روش آبیاری شیاری و قطره‌ای بر کربن آلی کل در خاک مشخص می‌گردد که میزان کربن آلی کل در روش آبیاری شیاری در عمق ۰-۶۰ سانتی‌متری خاک با اختلاف ۲۵/۹ درصدی نسبت به روش آبیاری قطره‌ای بیش‌تر است.

۳-۷- تحلیل عناصر سنگین

عناصر سنگین در عرصه‌های مختلف فعالیت‌های شهری، خدماتی، کشاورزی و صنعتی دارای مصرف روزافزون می‌باشند و در فرآیند مصرف آب، این مواد می‌توانند وارد فاضلاب گردند. فلزات سنگین در طبیعت اثرات سوئی بر کیفیت محصولات کشاورزی، حاصل‌خیزی خاک و آب‌های زیرزمینی می‌گذارند [۱۷]. خصوصیات مختلف خاک، ترکیب و درجه تصفیه فاضلاب و روش آبیاری نقش مهمی بر انتقال فلزات سنگین به آب‌های زیرزمینی ایفا می‌کنند. از طرف دیگر باید توجه کرد که در مورد تجمع فلزات سنگین در خاک نباید انتظار داشت که در یک سال زراعی میزان غلظت فلزات سنگین در خاک افزایش معنی‌داری نشان دهد زیرا غلظت این عناصر در پساب بسیار ناچیز است. تجمع عناصر سنگین در خاک طی آبیاری با پساب به عوامل مختلفی از جمله غلظت این عناصر در پساب، مدت آبیاری با پساب، بافت خاک، اسیدیته و درصد مواد آلی خاک بستگی دارد.

مقایسه میانگین میزان عناصر سنگین در اعماق مورد بررسی تحت تأثیر اعمال پساب در دو روش آبیاری نشان می‌دهد (جدول ۳)، که با افزایش عمق، میزان عناصر سنگین کاهش می‌یابد. حسین‌پور و همکاران (۱۳۸۷)، در تحقیقی دریافتند که مقدار فلزات سنگین در اعماق سطحی خاک بیشتر از اعماق زیرین می‌باشد [۱۷]. اما در این تحقیق انتقال عناصر سنگین به عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک نیز صورت

منابع

- [1] Mojiri A. Effects of municipal wastewater on physical and chemical properties of saline soil. *Journal of Biology, Environ Science*; 2011;14:71-76.
- [2] Kaschl A, Romheld V, Chen Y. The influence of soluble organic matter from municipal solid waste compost on trace metal leaching in calcareous soils. *The Science of the Total Environment*; 2002;291:45-57.
- [3] Meli S, Porto M, Belligno A, Bufo S A, Mazzatura A, Scopa A. Influence of irrigation with lagooned urban wastewater on chemical and microbiological soil parameters in a citrus orchard under Mediterranean condition. *Science of the Total Environment*; 2002;285(1-3):69-77.
- [4] Hanifehlou A, Moazed H. Effects of Ahwaz treated municipal wastewater application on hydraulic characteristics of soil. *Journal of Agricultural Engineering Research*; 2007;8(2):47-62. [In Persian]
- [5] Heidarpour M, Mostafazadeh-Fard B, Abedi Koupai J, Malekian R. The effects of treated wastewater on soil chemical properties using subsurface and surface irrigation methods. *Agricultural Water Management*; 2007;90(1-2):87-94.
- [6] Rezapour S, Samadi A, Khodaverdiloo H. Impact of long-term wastewater irrigation on variability of soil attributes along a landscape, semi-arid region of Iran. *Environmental Earth Sciences*; 2012;67:1713-1723.
- [7] Karimzadeh M, Alizadeh A, Mohammady Arya M. Effect of Irrigation with Waste Water on Soil Saturated Hydraulic Conductivity. *Journal of water and soil*; 2012;26(6):1553-1547. [In Persian]
- [8] Aiello R, Cirelli, G L, Consoli S. Effects of reclaimed wastewater irrigation on soil and tomato fruits: A case study in Sicily (Italy). *Agricultural water management*; 2007;93(1-2):65-72.
- [9] Xu J, Wu L, Chang A C, Zhang Y. Impact of long-term reclaimed wastewater irrigation on agricultural soils: A preliminary assessment. *Journal of Hazardous Materials*; 2010;183(1-3), 780-786.
- [10] Sacco D, Cremon C, Zavattaro L, Grignani C. Seasonal variation of soil physical properties under different water managements in irrigated rice. *Soil and Tillage Research*; 2012;118.:22-31.

گرفته است که نوع بافت خاک در این آزمایش می‌تواند یکی از عوامل موثر بر افزایش درصد انتقال عناصر سنگین به اعماق خاک باشد. حرکت فلزات سنگین در خاک‌هایی که منافذ درشت دارند، به علت حرکت بخشی از رسوبات کلئیدی و ذرات رس همراه با حرکت محلول خاک، سبب انتقال فلزات سنگین متصل به این ذرات می‌گردد. از سوی دیگر انتقال کربن آلی کل و روند افزایش درصد انتقال آن به عمق خاک در طول زمان، نیز می‌تواند یکی دیگر از عوامل موثر بر انتقال باشد. به طوری که کاسچل و همکاران (۲۰۰۲)، افزایش میزان فلزات سنگین در خاک‌های با اسیدیته قلیایی را به علت پیوند آن‌ها با مواد آلی محلول گزارش نمودند [۲].

۴- نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از تأثیر فاضلاب تصفیه شده بر خصوصیات شیمیایی خاک در قالب استفاده از دو روش آبیاری شیاری و قطره‌ای نشان داد که استفاده از فاضلاب تصفیه شده شهر کرمان در مقایسه با آب معمولی باعث کاهش اسیدیته خاک، افزایش شوری، نسبت جذب سدیم، فسفات، نیترات و کربن آلی کل خاک شد. همچنین بررسی تأثیر فاضلاب تصفیه شده شهری بر دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی متری خاک نشان داد که با افزایش عمق خاک میزان اسیدیته خاک افزایش می‌یابد ولی شوری، نسبت جذب سدیم، فسفات، نیترات و کربن آلی کل خاک به میزان قابل ملاحظه‌ای نسبت به سطح خاک کاهش می‌یابند. لازم به ذکر است که با توجه به اینکه در این تحقیق در هر دو روش آبیاری، حجم آب مورد استفاده یکسان و میزان آن ۷۰۰۰ مترمکعب در هکتار بود، نتایج نشان داد که در روش آبیاری شیاری خصوصیات شیمیایی خاک نسبت به آبیاری با روش قطره‌ای، افزایش بیشتری را از خود نشان دادند. لذا با توجه به مشکلات کمبود آب در اراضی مناطق خشک، استفاده از پساب به عنوان یک شیوه جایگزین برای آبیاری مطرح می‌باشد که می‌تواند علاوه بر داشتن توجیه اقتصادی، در مسائل زیست محیطی نیز نقش مثبتی ایفا نماید و همچنین استفاده از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای در آبیاری باغات و مزارع زراعی در استان کرمان در حال افزایش است، توصیه می‌گردد جهت افزایش بهره‌وری آب و کاهش اثرات سوء استفاده از فاضلاب تصفیه شده، جهت استفاده از این منبع غنی در آبیاری مزارع و باغات از سیستم آبیاری قطره‌ای استفاده شود.

- [11] Blum J, Herpin U, Melfi A J, Montes C R. Soil properties in a sugarcane plantation after the application of treated sewage effluent and phosphogypsum in Brazil. *Agricultural Water Management*. 2012;115:203-216.
- [12] SouDakoure M Y, Mermoud A, Yacouba H, Boivin P. Impacts of irrigation with industrial treated wastewater on soil properties. *Geoderma*. 2013;200–201:31-39.
- [13] Papadopoulos A, Bird N R A, Whitmore A P, Mooney S J. Does organic management lead to enhanced soil physical quality. *Geoderma*; 2014;213:435-443.
- [14] Asadi R, Haghightjou P, Koohi N. Evaluation of the evapotranspiration based on solar radiation and air temperature in Kerman city. The 1st International Conference on Plant, Water, Soil and Weather Modeling; 2010; Kerman, Iran. [In Persian]
- [15] Khai N, Tuan P, Vinh C, Oborn I. Effects of using wastewater as nutrient sources on soil chemical properties in peri periurban agricultural systems. *Journal of Science, Earth Sciences*; 2008;24: 87-95.
- [16] Magesan G N, Williamson J C, Yeates G W, Lloyd-Jones A R. Wastewater C:N ratio effects on soil hydraulic conductivity and potential mechanisms for recovery. *Bioresource Technology*; 2000;71:21-27.
- [17] Hosseinpour A, Haghnia G, Alizadeh A, Fotovat A. Transport of some elements to depth of a soil following irrigation with raw and treated municipal wastewaters under continuous and intermittent flood conditions. *Journal of water and soil*; 2008;22(2):117-133. [In Persian]
- [18] McLaren R G, Clucas L M, Taylor M D, Hendry T. Leaching of macronutrients and metals from undisturbed soils treated with metal-spiked sewage sludge, Leaching of macronutrients. *Australian Journal of Soil Research*; 2003;41:571-588.
- [19] Sepaskhah A R, Karizi A. Effects of alternate use of wastewater and fresh water on soil saturated hydraulic conductivity. *Journal of agronomy and soil science*; 2011;57:149–158.
- [20] Najafi P, Nasr S. Comparison effects of wastewater on soil chemical properties in three irrigation methods. *Research on Crops*; 2009;10:277-280.



