

بررسی تاثیر کاربرد فاضلاب تصفیه شده شهری بر ویژگی‌های شیمیایی خاک در آبیاری قطره‌ای سطحی

علی اصغر قائمی* و احسان امین دین**

* نگارنده مسئول: شیراز، دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی، بخش مهندسی آب، تلفن: ۳۲۲۸۶۲۲۶ (۰۷۱)،

پيام‌نگار: ghaemi@shirazu.ac.ir

** به ترتیب: دانشیار؛ و دانش‌آموخته بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۹/۱۶

چکیده

خشکسالی‌های اخیر موجب شده است که بهره‌برداری از منابع موجود آب‌های با کیفیت بالا در اکثر مناطق کشور به اوج برسد و برنامه‌ریزان و مدیران منابع آب را مجبور ساخته تا در برنامه‌ریزی‌های خود، به کلیه منابع آب متعارف و غیرمتعارف توجه کنند؛ یکی از این منابع، فاضلاب تصفیه شده شهری است. هدف از این تحقیق، بررسی اثر کاربرد فاضلاب تصفیه شده شهری شیراز بر خصوصیات شیمیایی خاک منطقه باجگاه فارس با یافت لومرسی است. برای اجرای پژوهش حاضر، از شش تیمار آب آبیاری (آب چاه، آب چاه به همراه کود شیمیایی، فاضلاب تصفیه شده شهری، فاضلاب تصفیه شده شهری به همراه کود شیمیایی، آب چاه به همراه فاضلاب تصفیه شده، آب چاه به همراه فاضلاب تصفیه شده و کود شیمیایی) در آبیاری قطره‌ای برای کاشت کلم بروکلی استفاده شد. نتایج آزمون آماری دانکن نشان می‌دهد که استفاده از فاضلاب تصفیه شده، در مقایسه با آب چاه (شاهد) باعث افزایش معنی‌دار ویژگی‌های شیمیایی خاک (اسدیته، نسبت جذب سدیم و کربن آلی) در سطح احتمال ۵ درصد می‌شود؛ همچنین، غلظت اکثر عناصر پرمصرف و کم‌مصرف گیاهی در خاک از جمله نیتروژن، پتاسیم، منیزیم و همچنین فلزات سنگین مانند آهن، روی و سرب در نتیجه استفاده از فاضلاب تصفیه شده، نسبت به آب چاه، در سطح احتمال ۵ درصد افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی

آب‌های غیر متعارف، آلودگی خاک، خرد آبیاری، عناصر شیمیایی

مقدمه

بهره‌برداری صحیح از فاضلاب‌های شهری، مشکل آلودگی آب‌های سطحی را نیز کاهش می‌دهد. این عمل باعث حفظ منابع آب می‌شود ضمن اینکه مواد و عناصر غذایی در فاضلاب برای رشد گیاهان نیز بسیار سودمند است. موجود بودن پساب در نزدیکی مراکز شهری، امکان افزایش محصولات کشاورزی را در اطراف این مناطق فراهم می‌کند. وجود نیتروژن و فسفر در فاضلاب می‌تواند به حذف یا کاهش مصرف کودهای تجاری مورد نیاز محصولات کشاورزی بینجامد (Pescod, 1992).

امروزه به لحاظ کمبود آب و بحران حاصل از آن و با توجه به هزینه‌های بالای استحصال و انتقال آب، استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده در کشورهای مختلف جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده است (Anon, 1989). حجم فاضلاب تصفیه شده در مقایسه با حجم آب آبیاری مورد نیاز، ناچیز است اما بهره‌برداری از همین مقدار فاضلاب تصفیه شده باعث می‌شود که آب‌های با کیفیت بالاتر را بتوان در مصارف با اهمیت‌تری به کار برد (Pescod, 1992).

مدیریت طرح‌های کاربردی فاضلاب ضروری است و بی‌توجهی به آنها دستیابی به اهداف برنامه توسعه پایدار کشاورزی را با ابهام روبه‌رو می‌سازد. هدف از این تحقیق بررسی ویژگی‌های شیمیایی خاک متأثر از کاربرد فاضلاب تصفیه شده شهر شیراز در سیستم آبیاری قطره‌ای است.

مواد و روش‌ها

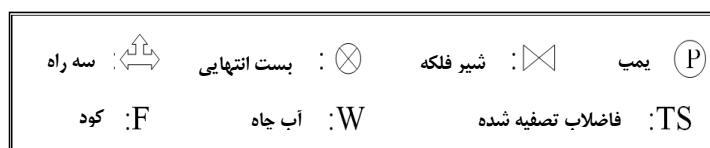
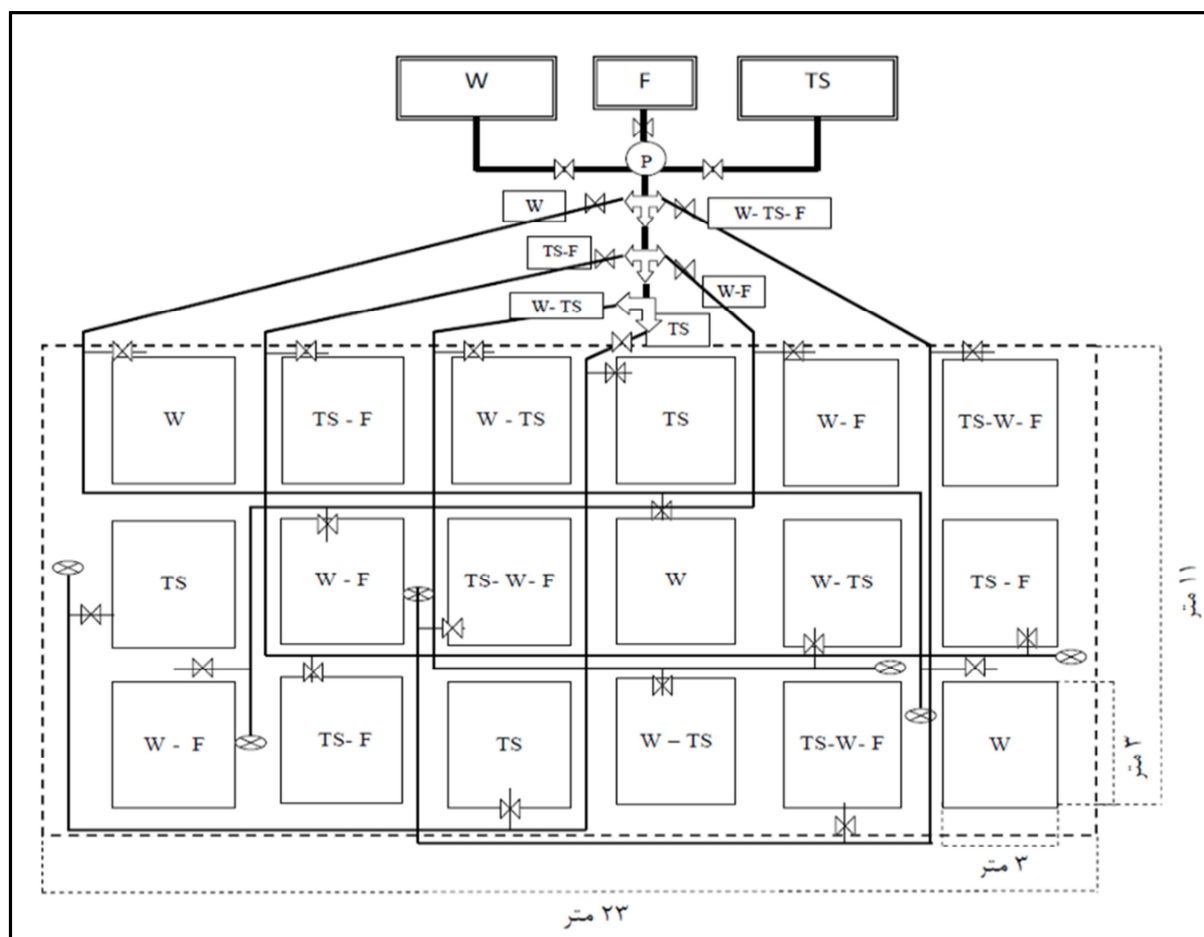
پژوهش حاضر در زمینی نسبتاً مسطح به مساحت ۲۵۰ متر مربع با شیب بسیار کم در محل دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در منطقه باجگاه و با هدف بررسی تاثیر ۶ تیمار مختلف آب آبیاری بر ویژگی‌های شیمیایی خاک انجام گرفت. بدین منظور زمین مورد نظر به ۱۸ کرت مساوی، به ابعاد ۳×۳ متر، هر یک به فاصله یک متر از دیگری تقسیم شد. آزمایش بر اساس طرح پایه کرت‌های خردشده، در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار، مطابق شکل ۱ اجرا شد. تیمارهای استفاده شده در این طرح عبارت بودند از: فاضلاب تصفیه‌شده شهری (TS)، آب چاه منطقه باجگاه (شاهد) (W)، آب چاه به همراه کود (W-F)، فاضلاب به همراه کود (TS-F)، فاضلاب به همراه آب چاه (TS-W) و فاضلاب به همراه آب چاه و کود شیمیایی (TS-W-F). با توجه به اضافه کردن کود لازم به تیمار آب چاه، که فاقد کودهای مورد نیاز بود، لازم بود به سایر تیمارها نیز به نسبت مشابه کود اضافه شود تا تیمارها به لحاظ تجزیه و تحلیل آماری قابل قیاس باشند. فاضلاب تصفیه شده از تصفیه‌خانه شهر شیراز تهیه شد. تصفیه‌خانه مذکور، فرآیند تصفیه سه مرحله مقدماتی، اولیه و بیولوژیکی را طی می‌کنند.

عناصر شیمیایی موجود در آب چاه و فاضلاب تصفیه شده مورد استفاده در طرح، قبل از شروع آزمایش بررسی شد که نتایج آن به‌ترتیب در جداول ۱ و ۲ آورده شده است. اعداد جدول ۲ از اطلاعات آزمایشگاه تصفیه‌خانه شیراز به‌دست آمده است. یادآوری می‌شود که

به‌کارگیری پساب در بخش کشاورزی با مزایای زیادی توأم است، اما به‌دلیل اینکه این گونه آب‌ها حاوی موادی مانند نمک‌های سدیم، کلر، و بور و نیز ریزجانداران بیماری‌زا و گاهی فلزات سنگین یا ترکیبات آلی و معدنی زیان‌آور دیگری هستند، کاربرد بدون برنامه‌ریزی آنها می‌تواند تبعات زیست محیطی بسیار نامطلوبی به بار آورد که جبران بسیاری از آنها حداقل در کوتاه‌مدت امکان‌پذیر نخواهد بود (Danesh & Alizadeh, 2008). شور شدن خاک‌ها، تخریب ساختمان خاک، مسمومیت گیاهان و کاهش عملکرد آنها، آلودگی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و شیوع بیماری‌ها نمونه‌هایی بارز از آثار کاربرد بدون برنامه‌ریزی پساب‌هاست. از این‌رو پیش از به‌کارگیری این آب‌ها در آبیاری باید به استانداردهای موجود در این زمینه توجه کرد و به‌منظور جلوگیری از تاثیرات سوء کوتاه‌مدت و طولانی‌مدت کاربری پساب، برنامه‌ریزی‌ها و تمهیدات خاصی در نظر گرفت. یکی از مهم‌ترین رهنمودهای رایج در ارتباط با پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب‌های آبیاری، رهنمود آیرس و وستکات (Ayers & Westcot, 1985) است که مورد تایید سازمان خواربار و کشاورزی جهان نیز قرار گرفته است. در مقابل، به‌دلیل وجود برخی تفاوت‌ها در شرایط اقلیمی، اجتماعی - فرهنگی، کیفیت‌های متفاوت خاک، گیاهان مختلف، و متغییر بودن ویژگی‌های فاضلاب از منطقه‌ای به منطقه دیگر، (حتی در طول زمان در یک محل)، تکیه بر به‌کارگیری دستورالعمل‌های ارائه شده در دیگر مناطق جهان و سایر عوامل، گاهی صدمات جبران‌ناپذیری بر منابع آب و خاک وارد می‌سازد (Bookers & Mathes, 1999; Hassanoghli *et al.*, 2002, 2004; Tchobanoglous & Burton, 2003; Scott *et al.*, 2004; Waste, 2004). از این‌رو باید چالش‌های توأم با کاربرد فاضلاب در کشاورزی بررسی شود و به نکاتی توجه کرد که رعایت آنها در برنامه‌ریزی‌ها و

بررسی تاثیر کاربرد فاضلاب تصفیه شده شهری...

با توجه به امکانات آزمایشگاهی موجود، فقط به اندازه گیری مجدد برخی از عناصر مانند کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، آهن و روی و برخی ترکیبات مانند کربنات‌ها، بی‌کربنات‌ها، نیتрат و نیز سختی کل اکتفا شد که با اطلاعات جدول ۲ همخوانی داشت.



شکل ۱- پلان طرح آزمایشی و شبکه آبیاری قطره‌ای اجرا شده

جدول ۱- برخی ویژگی‌های شیمیایی آب چاه مورد استفاده

| آنیون‌ها | | | کاتیون‌ها | | | pH | نسبت جذب سدیم (میلی‌اکی‌والان بر لیتر) ^{۰.۵} | هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) | |
|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|--------------------|------------------|------------------|-----|--|--------------------------------------|------|
| مجموع آنیون‌ها | | | مجموع کاتیون‌ها | | | | | | |
| HCO ₃ ⁻ | CO ₃ ⁻² | Cl ⁻ | Na ⁺ | Mg ²⁺ | Ca ²⁺ | | | | |
| ۷/۴ | ۵/۲ | ۰ | ۸/۵۹ | ۰/۸۹ | ۴/۱ | ۳/۶ | ۷/۹۳ | ۰/۴۵ | ۰/۵۵ |

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی فاضلاب تصفیه شده تصفیه‌خانه شهر شیراز

| پارامتر | میزان | واحد | پارامتر | میزان | واحد |
|--------------------------------|--------|------------------------|-------------------------------|-------|--|
| کربنات (CO_3^{2-}) | ۱/۵ | میلی‌اکی‌والان بر لیتر | سرب (Pb) | ۰/۰۰۳ | قسمت در میلیون |
| بی‌کربنات (HCO_3^-) | ۳/۵ | میلی‌اکی‌والان بر لیتر | کروم (Cr) | ۰/۰۰۲ | قسمت در میلیون |
| کلسیم (Ca^{2+}) | ۹ | میلی‌اکی‌والان بر لیتر | سدیم (Na) | ۸/۱ | میلی‌اکی‌والان بر لیتر |
| منیزیم (Mg^{2+}) | ۶ | میلی‌اکی‌والان بر لیتر | پتاسیم (K) | ۰/۵۱ | میلی‌اکی‌والان بر لیتر |
| بور (B) | ۰/۵۵ | قسمت در میلیون | کلر (Cl) | ۴/۵۵ | میلی‌اکی‌والان بر لیتر |
| سختی کل | ۷۵۰ | قسمت در میلیون | سولفات (SO_4^{2-}) | ۵/۳۱ | میلی‌اکی‌والان بر لیتر |
| آهن (Fe) | ۰/۰۵ | قسمت در میلیون | فسفر (P) | ۰/۲ | میلی‌اکی‌والان بر لیتر |
| مس (Cu) | ۰/۰۳ | قسمت در میلیون | فسفات (PO_4^{2-}) | ۰/۱۵ | میلی‌اکی‌والان بر لیتر |
| منگنز (Mn) | ۰/۰۰۲ | قسمت در میلیون | نیتрат (NO_3^{-1}) | ۰/۱ | میلی‌اکی‌والان بر لیتر |
| جیوه (Hg) | ۰/۰۰۲ | قسمت در میلیون | BOD | ۲۸/۲۳ | میلی‌گرم بر لیتر |
| آلومینیم (Al) | ۰ | قسمت در میلیون | COD | ۶۰/۸۰ | میلی‌گرم بر لیتر |
| آرسنیک (As) | ۰/۰۰۱ | قسمت در میلیون | TDS | ۱۰۱۶ | میلی‌گرم بر لیتر |
| روی (Zn) | ۰/۰۲۴ | قسمت در میلیون | TSS | ۶۸/۷ | میلی‌گرم بر لیتر |
| نیکل (Ni) | ۰/۰۰۲ | قسمت در میلیون | pH | ۷/۷۰ | ----- |
| کبالت (Co) | ۰/۰۰۲ | قسمت در میلیون | EC | ۱/۸۲ | دسی زیمنس بر متر |
| کادمیم (Cd) | ۰/۰۰۰۲ | قسمت در میلیون | SAR | ۲/۷۴ | (میلی‌اکی‌والان بر لیتر) ^{۱۵} |

تجمع عناصر مضر، در این نوع از محصولات است (Ghaemi & Atefi, 2012; Rajabi Sorkhani & Ghaemi, 2012).

نشاهای کلم بروکلی ابتدا در تابستان در گلخانه تولید و پس از یک ماه (مهرماه) که به مرحله چهار برگی رسیدند، به زمین زراعی انتقال داده شدند. عمق کاشت بذرها در خزانه ۳ تا ۳/۵ سانتی‌متر و برای نشاها کمی بیشتر در زمین در نظر گرفته شد. فاصله بوته‌ها روی ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله ردیف‌ها از یکدیگر ۷۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بنابراین در هر کرت ۴ ردیف و در هر ردیف ۶ بوته قرار گرفت و در کنار هر بوته یک قطره‌چکان نصب گردید. زمین مورد نظر برای کاشت گیاه با اجرای شخم، دیسک و دیگر عملیات مورد نیاز در بهار سال ۱۳۸۹ آماده شده بود. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه نیز قبل از شروع عملیات زراعی بررسی شده بود که نتایج آن در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است.

شبکه آبیاری قطره‌ای با توجه به ضوابط طراحی شبکه‌های آبیاری کم‌فشار طراحی و قطره‌چکان‌های مورد استفاده در طرح از نوع خم‌های با میزان خروجی ۴ لیتر در ساعت انتخاب شد. طول لاترال با توجه به ابعاد هر کرت ۳ متر و فاصله قطره‌چکان‌ها از یکدیگر روی لاترال ۰/۵ متر در نظر گرفته شد. فشار کارکرد این نوع قطره‌چکان معادل یک بار است که با توجه به کوتاه بودن طول شبکه و نسبتاً مسطح بودن زمین تحت کشت، فشار کارکرد در ابتدای لاترال نیز از طریق شیر فشارشکن به‌میزان یک بار تنظیم شد. برای کشت، گیاه کلم بروکلی رقم زودرس "Green Calabrese" انتخاب شد که به‌صورت خام یا پخته مصرف می‌شود. کلم بروکلی از این‌رو انتخاب شد که تاکنون پژوهش‌های جامعی در خصوص استفاده از فاضلاب تصفیه شده شهری و اثر آن بر عملکرد کمی و کیفی این گیاه در ایران صورت نگرفته است و دیگر اینکه این محصول به‌صورت خام نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد و بیشترین ریسک استفاده از فاضلاب، از نظر

جدول ۳- برخی از خصوصیات فیزیکی خاک مزرعه آزمایشی

| عمق (سانتی‌متر) | رس (درصد) | سیلت (درصد) | شن (درصد) | بافت خاک | وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌مترمکعب) | ظرفیت زراعی (درصد حجمی) | نقطه پژمردگی (درصد حجمی) |
|-----------------|-----------|-------------|-----------|----------|--|-------------------------|--------------------------|
| ۰-۳۰ | ۳۰ | ۳۵ | ۳۵ | لومرسی | ۱/۴۳ | ۳۳ | ۱۹ |
| ۳۰-۶۰ | ۳۹ | ۳۸ | ۲۳ | لومرسی | ۱/۳۵ | ۳۴ | ۲۰ |
| ۶۰-۹۰ | ۴۰ | ۳۹ | ۲۱ | لومرسی | ۱/۴۰ | ۳۱ | ۲۰ |

جدول ۴- برخی از خصوصیات شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

| عمق (سانتی‌متر) | هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) | pH | نیترژن (درصد) | فسفر (قسمت در میلیون) | پتاسیم (میلی‌اکی‌والان بر لیتر) | بی‌کربنات (میلی‌اکی‌والان بر لیتر) |
|-----------------|-----------------------------------|------|---------------|-----------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| ۰-۳۰ | ۱/۰۱ | ۷/۵۹ | ۰/۰۵ | ۱۵ | ۰/۰۵ | ۴ |
| ۳۰-۶۰ | ۰/۵۱ | ۷/۶۲ | ۰/۰۲ | ۱۱ | ۰/۰۲ | ۴ |
| ۶۰-۹۰ | ۰/۳۷ | ۷/۷۵ | ۰/۰۳ | ۶/۵ | ۰/۰۲ | ۳/۵ |

کشت، ۳۶۵ میلی‌متر محاسبه شد. مقدار آبیاری هر کرت و همچنین فشار کارکرد سیستم به ترتیب از طریق کنتور حجمی و فشارسنج نصب شده در ابتدای مسیر پیوسته اندازه‌گیری شد. از طرف دیگر با توجه به بافت خاک، ظرفیت نگهداشت آب در خاک، عمق ریشه، ضریب تخلیه مجاز برای گیاه کلم بروکلی (۵۰ درصد) و همچنین توصیه‌های موجود، دور آبیاری ۳ روز در نظر گرفته شد. در پژوهش حاضر تقریباً ۴۰ متر مکعب فاضلاب تصفیه شده برای آبیاری استفاده شد و حدود ۴ کیلوگرم کود N-P-K به صورت محلول در آب و به مقدار برابر در تیمارهای مربوطه، در طول دوره رشد گیاه، از طریق دستگاه ونتوری به خاک و گیاه تزریق شد تا با بررسی میزان تجمع کود در لایه‌های مختلف خاک، نیاز گیاه به کود در شرایط مختلف استفاده از فاضلاب تصفیه شده ارزیابی شود (Rajabi Sorkhani & Ghaemi, 2012). در فصل زمستان برای جلوگیری از شسته شدن فاضلاب تصفیه شده از خاک (در اثر بارندگی احتمالی) و همچنین جلوگیری از سرمازدگی، روی پلات‌های مزرعه تحقیقاتی با پلاستیک پوشانده شد. در تیمارهای آب چاه به همراه فاضلاب تصفیه شده، میزان آب مورد نیاز در هر دور

برای تامین آب مورد نیاز گیاه دو منبع هر یک با ظرفیت ۱۰۰۰ لیتر یکی برای ذخیره کردن آب چاه و دیگری برای ذخیره کردن فاضلاب تصفیه شده نصب شد؛ یک مخزن ۲۰۰ لیتری نیز برای ذخیره کردن کود همراه با یک دستگاه ونتوری برای تزریق کود به شبکه و یک پمپ گریز از مرکز برای تامین فشار مورد نیاز سیستم در کنار زمین نصب شدند. برای بررسی تجمع کودهای شیمیایی در خاک در شرایط مختلف استفاده از فاضلاب تصفیه شده، از کود N-P-K (کود کامل ماکروگرانوله) در سه تیمار استفاده شد. برای محاسبه نیاز آبی از روش پنمن-فائو-مانتیت استفاده و آبیاری نیز بر اساس نرم‌افزار CROPWAT برنامه‌ریزی شد (Smith, 1992). بدین منظور پارامترهای هواشناسی مورد نیاز نرم‌افزار، برای دوره رشد، از آرشیو بخش آبیاری-زهکشی در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز تهیه شد. سایر پارامترها از قبیل عمق ریشه، ضریب آب سهل‌الوصول و ضریب‌گیاهی برای دوره‌های رشد گیاه کلم بروکلی از منبع فائو (FAO₅₆) استفاده شد (Allen et al., 1998). میزان آب ناخالص مورد نیاز گیاه برای کل دوره رشد با احتساب ۵۰ میلی‌متر اولیه آبیاری جهت مهیا کردن زمین برای

نشان داده است و بیشترین تغییرات در مقدار عناصر شیمیایی خاک در یک دوره کشت و اعمال فاضلاب تصفیه شده برای آبیاری در عمق اولیه، یعنی صفر تا ۳۰ سانتی‌متر، مشاهده می‌شود.

نتایج بررسی‌ها همچنین نشان می‌دهد که هدایت الکتریکی خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر به‌طور محسوس تحت تاثیر نوع آب آبیاری قرار می‌گیرد و در بیشترین حد خود در تیمار مربوط به فاضلاب، ۶۹ درصد افزایش را نسبت به تیمار شاهد (آب چاه) نشان می‌دهد. همچنین در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری نیز در تیمارهای فاضلاب تصفیه شده و فاضلاب تصفیه شده و کود، افزایش ۳۹ درصد در هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، نسبت به تیمار آب چاه، مشاهده شد. در بقیه تیمارها، به‌خصوص در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری نیز افزایش هدایت الکتریکی خاک دیده می‌شود، اما این تغییرات در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیستند و از لحاظ آماری قابل استناد نخواهند بود. بر اساس نتایج به‌دست آمده از آزمون آماری دانکن، قابلیت هدایت الکتریکی خاک در عمق ۳۰-۶۰ و ۰-۳۰ سانتی‌متر تحت تاثیر نوع آب آبیاری قرار گرفته است و بین تیمار فاضلاب تصفیه شده (TS) و فاضلاب تصفیه شده و کود (TS-F) با تیمار آب چاه (W) اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد مشاهده می‌شود. اما در تیمارهای آب چاه (W)، آب چاه و کود (W-F)، آب چاه و فاضلاب تصفیه‌شده (W-TS) و فاضلاب تصفیه‌شده، آب چاه و کود (TS-W-F) اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد مشاهده نمی‌شود (جدول ۵).

نتایج آزمون دانکن نشان می‌دهد که، اسیدیته خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر در تمامی تیمارها به‌جز تیمار فاضلاب تصفیه شده، آب چاه و کود (TS-W-F) و آب چاه و فاضلاب تصفیه شده (TS-W) در سطح ۵ درصد تحت تاثیر تیمارهای آب آبیاری قرار گرفته است، با این

آبیاری به دو قسمت تقسیم و در همان دور آبیاری به نوبت نیمی از آب مورد نیاز گیاه با آب چاه و نیم دیگر با فاضلاب تصفیه شده آبیاری شد. محصول حدوداً پنج ماه پس از انتقال نشاها به مزرعه و تکمیل دوره رشد گیاه و در بهمن‌ماه، برداشت شد. نمونه‌های خاک یک بار قبل از هرگونه اقدامی از نقاط و عمق‌های مختلف ۳۰-۶۰، ۰-۳۰ و ۶۰-۹۰ سانتی‌متری زمین مورد نظر برداشت و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آنها تجزیه و تحلیل شد. علاوه بر این بلافاصله پس از برداشت محصول، نمونه‌های خاک به‌صورت دست‌نخورده و با استوانه نمونه‌برداری^۱ از همان عمق‌های گفته شده برداشت و برای بررسی به آزمایشگاه منتقل گردید. از هر کرت سه نمونه به‌ازای سه عمق مورد بررسی از نقطه‌ای واقع در پوشش مشترک بین دو قطره‌چکان روی ردیف موجود در کرت برداشت شد. سعی شد تا قطره‌چکان مذکور به‌گونه‌ای انتخاب شود که نمونه‌ای مناسب از جامعه آماری باشد.

نتایج و بحث

مقایسه میانگین مقدار عناصر شیمیایی و ویژگی‌های خاک در عمق‌های مختلف خاک در نتیجه استفاده از فاضلاب تصفیه شده و ترکیب‌های مختلف آن با آب چاه و کود برای آبیاری، بر اساس آزمون دانکن صورت پذیرفت که نتایج آن در جداول ۵ تا ۱۰ ارائه شده است. در این جداول مشاهده می‌شود که، در عمق ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متری خاک، میانگین غلظت عناصر مختلف خاک در تیمارهای مختلف، بر اساس آزمون آماری دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تغییر معنی‌داری نشان نمی‌دهد که این مسئله نمایانگر تجمع عناصر شیمیایی در لایه‌های فوقانی خاک در سال‌های اولیه استفاده از فاضلاب برای آبیاری است. همچنین، در عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری خاک نیز تنها میانگین مقادیر برخی از عناصر و ویژگی‌های خاک تحت تاثیر نوع آب آبیاری قرار گرفته و تغییر معنی‌داری

نتایج مقایسه میانگین میزان کربن آلی خاک اندازه‌گیری شده در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر، در تیمارهای مختلف آب آبیاری نشان داد که در نتیجه استفاده از فاضلاب تصفیه شده میزان کربن آلی خاک افزایش می‌یابد و بیشترین تغییر در تیمار فاضلاب تصفیه شده و کود قابل مشاهده است (جدول ۵). بر اساس آزمون دانکن، میزان کربن آلی خاک در تیمارهای فاضلاب تصفیه‌شده (TS) و فاضلاب تصفیه‌شده و کود (TS-F) با تیمار شاهد در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار نشان می‌دهد. در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر، آزمون دانکن بین تیمار فاضلاب تصفیه شده (TS) و تیمار آب چاه و کود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد نشان می‌دهد، اما تغییر درصد کربن آلی در این عمق در نتیجه استفاده از تیمارهای مختلف آب آبیاری روند خاصی را نشان نمی‌دهد.

تفاوت که در تیمارهای آب چاه و کود (W-F) و فاضلاب تصفیه شده و کود (TS-F) این مقدار نسبت به تیمار شاهد کاهش و در تیمار فاضلاب تصفیه شده افزایش معنی‌دار نشان داده است (جدول ۵).

نتایج به‌دست آمده از کاربرد تیمارهای مختلف آبی با کیفیت متفاوت در این تحقیق نشان می‌دهد که، نسبت جذب سدیم خاک (SAR) تحت تاثیر قرار گرفته و استفاده از فاضلاب تصفیه شده باعث افزایش آن شده است. نتایج آزمون دانکن نیز نشان می‌دهد که استفاده از فاضلاب تصفیه شده در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر نسبت به تیمار شاهد باعث افزایش نسبت جذب سدیم خاک می‌شود، که به‌نظر می‌رسد به‌دلیل میزان سدیم گزارش شده در جدول ۲ است، اگرچه این افزایش در هر دو عمق تنها در تیمار فاضلاب تصفیه شده در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است (جدول ۵).

جدول ۵- متوسط مقدار و اثر تیمارهای مختلف آب آبیاری بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک

| تیمار | هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) | | | pH | | | نسبت جذب سدیم (میلی‌اکی‌والان بر لیتر) ^{۰/۵} | | | درصد کربن آلی | | |
|--------|--------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|
| | عمق (سانتی‌متر) | عمق (سانتی‌متر) | عمق (سانتی‌متر) | عمق (سانتی‌متر) | عمق (سانتی‌متر) | عمق (سانتی‌متر) | عمق (سانتی‌متر) | عمق (سانتی‌متر) | عمق (سانتی‌متر) | عمق (سانتی‌متر) | عمق (سانتی‌متر) | |
| | ۰-۳۰ | ۳۰-۶۰ | ۶۰-۹۰ | ۰-۳۰ | ۳۰-۶۰ | ۶۰-۹۰ | ۰-۳۰ | ۳۰-۶۰ | ۶۰-۹۰ | ۰-۳۰ | ۳۰-۶۰ | ۶۰-۹۰ |
| W | ۱/۰۲b | ۰/۵۱b | ۰/۳۸a | ۷/۵۸bc | ۷/۶۲a | ۷/۷۵a | ۱/۱۷b | ۰/۳b | ۰/۳a | ۰/۶۵cd | ۰/۳۱ab | ۰/۲۷a |
| W-F | ۱/۱۶b | ۰/۵۳b | ۰/۴۲a | ۷/۳۸d | ۷/۶a | ۷/۷۳a | ۱/۲۲b | ۰/۲۸b | ۰/۳۱a | ۰/۶۹bc | ۰/۲۸b | ۰/۲۸a |
| W-TS | ۱/۱۷b | ۰/۵b | ۰/۴۳a | ۷/۷۱ab | ۷/۷۲a | ۷/۷۹a | ۱/۱۹b | ۰/۳۱b | ۰/۳a | ۰/۵۸cd | ۰/۳۵ab | ۰/۲۹a |
| W-TS-F | ۱/۲۸b | ۰/۵۹ab | ۰/۴۵a | ۷/۴۴cd | ۷/۶۸a | ۷/۷۴a | ۱/۳۱b | ۰/۳۴b | ۰/۳۲a | ۰/۵۷d | ۰/۳۵ab | ۰/۲۳a |
| TS-F | ۱/۶۵a | ۰/۷۱a | ۰/۴۶a | ۷/۴۱d | ۷/۶۴a | ۷/۷۸a | ۱/۵۶ab | ۰/۳۶ab | ۰/۳۲a | ۰/۸۴a | ۰/۳۳ab | ۰/۲۹a |
| TS | ۱/۷۲a | ۰/۷۱a | ۰/۴۵a | ۷/۸۰a | ۷/۷۷a | ۷/۸۰a | ۱/۸۲a | ۰/۴۲a | ۰/۳a | ۰/۷۹ab | ۰/۳۷a | ۰/۲۳a |

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

بین تیمارهای آب چاه و کود (W-F)، فاضلاب تصفیه شده (TS) و فاضلاب تصفیه شده و کود (TS-F) با تیمار شاهد (W) در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار مشاهده می‌شود. همچنین، نتایج آزمون آماری دانکن نشان می‌دهد که در

طبق نتایج به‌دست آمده از آزمون آماری دانکن، نیتروژن خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر تحت تاثیر تیمارهای مختلف آب آبیاری قرار می‌گیرد و در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار نشان می‌دهد، به این‌صورت که

معنی‌دار است. در دیگر تیمارها نیز در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر، افزایش مقدار پتاسیم خاک مشاهده می‌شود ولی این تغییرات در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیست (جدول ۶). در جدول ۶ مشاهده می‌شود که، در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک، منیزیم موجود در عصاره اشباع خاک نیز متأثر از تیمارهای آب آبیاری است؛ و در تیمارهای آب چاه، فاضلاب تصفیه‌شده و کود (W-TS-F)، فاضلاب تصفیه شده و کود (TS-F) و فاضلاب تصفیه شده (TS)، افزایش غلظت منیزیم در عصاره اشباع خاک، نسبت به تیمار شاهد، معنی‌دار است و از نظر عددی در بیشترین حد خود (در تیمار فاضلاب تصفیه شده) افزایش ۱۲۷ درصدی را نسبت به تیمار شاهد نشان می‌دهد. نتایج آزمون دانکن نیز نشان می‌دهد که میزان کلسیم در هیچ یک از عمق‌های ۰-۳۰، ۳۰-۶۰، ۶۰-۹۰ سانتی‌متر تحت تاثیر تیمارهای آب آبیاری قرار نگرفته و در سطح ۵ درصد معنی‌دار نشده است.

اثر استفاده از فاضلاب تصفیه شده و کود، مقدار فسفر محلول در عصاره اشباع خاک، نسبت به تیمار آب چاه، به‌طور معنی‌دار در سطح ۵ درصد افزایش یافته است. در بقیه تیمارها نیز در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک که از فاضلاب تصفیه شده برای آبیاری استفاده شده است، مقدار فسفر خاک در مقایسه با تیمار شاهد افزایش نشان می‌دهد. اگرچه این تغییرات در سطح ۵ درصد معنی‌دار نگردید، اما در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر خاک در تیمار آب چاه، فاضلاب تصفیه شده و کود (W-TS-F) نسبت به تیمار شاهد در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار مشاهده می‌شود و در عمق ۶۰-۹۰ اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود (جدول ۶). طبق نتایج آزمون آماری دانکن، پتاسیم خاک نیز تحت تاثیر تیمارهای آب آبیاری قرار گرفته است و در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک، افزایش حدود ۴۳ درصدی مقدار پتاسیم در تیمار فاضلاب تصفیه شده (TS) نسبت به تیمار شاهد، در سطح ۵ درصد

جدول ۶- متوسط مقدار و اثر تیمارهای مختلف آب آبیاری بر تجمع برخی عناصر اصلی غذایی در خاک

| تیمار | فسفر | | | پتاسیم | | | منیزیم | | | کلسیم | | | N % |
|--------|-----------------|--------|--------|-----------------|--------|--------|-----------------|-------|-------|-----------------|-------|-------|-----|
| | عمق (سانتی‌متر) | | | عمق (سانتی‌متر) | | | عمق (سانتی‌متر) | | | عمق (سانتی‌متر) | | | |
| | ۰-۳۰ | ۳۰-۶۰ | ۶۰-۹۰ | ۰-۳۰ | ۳۰-۶۰ | ۶۰-۹۰ | ۰-۳۰ | ۳۰-۶۰ | ۶۰-۹۰ | ۰-۳۰ | ۳۰-۶۰ | ۶۰-۹۰ | |
| W | ۰/۰۴۳a | ۰/۰۲۲a | ۰/۰۱۸a | ۰/۰۴۷b | ۰/۰۲۲a | ۰/۰۲۲a | ۲/۰۰d | ۱/۵۷a | ۱/۰۷a | ۷/۰۰a | ۴/۳۳a | ۳/۶۷a | |
| W-F | ۰/۰۵۷bcd | ۰/۰۲۴a | ۰/۰۱۸a | ۰/۰۵۷ab | ۰/۰۲۷a | ۰/۰۲۲a | ۲/۹۳bcd | ۲/۰۰a | ۱/۱۷a | ۸/۰۰a | ۴/۵a | ۳/۸۳a | |
| W-TS | ۰/۰۵۳abc | ۰/۰۲۷a | ۰/۰۱۹a | ۰/۰۵b | ۰/۰۲۳a | ۰/۰۲۳a | ۲/۳۳cd | ۱/۵۳a | ۱/۴۷a | ۷/۳۳a | ۴/۱۷a | ۳/۶۷a | |
| W-TS-F | ۰/۰۵ab | ۰/۰۳۶a | ۰/۰۱۸a | ۰/۰۵۷ab | ۰/۰۲۷a | ۰/۰۲۲a | ۴/۱۷ab | ۲/۰۲a | ۱/۱a | ۷/۳۳a | ۴/۳۳a | ۳/۶۷a | |
| TS-F | ۰/۰۶۷d | ۰/۰۳a | ۰/۰۱۸a | ۰/۰۵۷ab | ۰/۰۲۷a | ۰/۰۲۳a | ۳/۴۰abc | ۲/۴۷a | ۱/۵a | ۷/۶۷a | ۴/۶۷a | ۳/۵a | |
| TS | ۰/۰۶۳cd | ۰/۰۲۵a | ۰/۰۱۵a | ۰/۰۶۷a | ۰/۰۲۷a | ۰/۰۲۲a | ۴/۵۳a | ۲/۰۰a | ۱/۰۳a | ۷/۶۷a | ۴/۶۷a | ۳/۶۷a | |

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

و کود و فاضلاب تصفیه شده، افزایش مقدار بور خاک در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. اما در دو عمق ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی‌متر تغییرات بور در خاک در سطح ۵ درصد

جدول ۷ نشان می‌دهد که، میزان بور موجود در خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر تحت تاثیر تیمارهای آب آبیاری قرار گرفته است و در دو تیمار فاضلاب تصفیه شده

است (جدول ۷). نتایج آزمون آماری دانکن در رابطه با مقدار سدیم تجمع یافته در نیمرخ خاک نیز نشان می‌دهد که، میزان سدیم موجود در خاک نیز در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر تحت تاثیر تیمارهای آب آبیاری قرار گرفته است و مقدار آن در تیمار فاضلاب تصفیه شده نسبت به تیمار شاهد، در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است، اما در دو عمق ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی‌متری اگرچه افزایش نسبی مقدار سدیم مشاهده می‌شود، اما این تغییرات در سطح ۵ درصد معنی‌دار نشده است (جدول ۷). باید توجه داشت که افزایش میزان سدیم در خاک، سدیمی شدن و تخریب ساختمان خاک را به دنبال دارد.

معنی‌دار نیست. در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک روند افزایش بور در خاک به‌خوبی قابل تشخیص است و مقدار بور تجمع یافته در این دو عمق خاک در بیشترین حد خود نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۵۹ و ۴۸ درصد افزایش دارد. همچنین، نتایج آزمون آماری دانکن نشان می‌دهد که، میزان کلر موجود در خاک نیز در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری تحت تاثیر تیمارهای آب آبیاری قرار گرفته و در دو تیمار فاضلاب تصفیه شده و کود و فاضلاب تصفیه شده، افزایش مقدار کلر خاک در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است و در دو عمق ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی‌متر تغییرات کلر در خاک ناچیز بوده و در سطح ۵ درصد معنی‌دار نشده

جدول ۷- متوسط مقدار و اثر تیمارهای مختلف آب آبیاری بر تجمع برخی عناصر در خاک

| تیمار | بور (قسمت در میلیون) | | | کلر (میلی‌اکی‌والان بر لیتر) | | | سدیم (میلی‌اکی‌والان بر لیتر) | | |
|--------|-------------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|-------|
| | عمق (سانتی‌متر) | عمق (سانتی‌متر) | عمق (سانتی‌متر) | عمق (سانتی‌متر) | عمق (سانتی‌متر) | عمق (سانتی‌متر) | عمق (سانتی‌متر) | عمق (سانتی‌متر) | |
| | ۰-۳۰ | ۳۰-۶۰ | ۶۰-۹۰ | ۰-۳۰ | ۳۰-۶۰ | ۶۰-۹۰ | ۰-۳۰ | ۳۰-۶۰ | ۶۰-۹۰ |
| W | ۰/۴۹b | ۰/۴۶a | ۰/۱۵۷a | ۲/۶۷c | ۰/۵۷a | ۰/۵۷a | ۲/۵۰b | ۰/۵۲a | ۰/۴۷a |
| W-F | ۰/۴۷b | ۰/۴۸a | ۰/۱۶۰a | ۳/۵۰abc | ۰/۵۷a | ۰/۶۰a | ۳/۱۶ab | ۰/۵۳a | ۰/۵۳a |
| W-TS | ۰/۵۰b | ۰/۴۶a | ۰/۱۹۷a | ۳/۳۳abc | ۰/۵۷a | ۰/۵۳a | ۲/۵۰b | ۰/۵۳a | ۰/۴۷a |
| W-TS-F | ۰/۶۰ab | ۰/۵۴a | ۰/۲۱۰a | ۳/۵۰abc | ۰/۶۰a | ۰/۶۰a | ۳/۳۳ab | ۰/۶۰a | ۰/۵۰a |
| TS-F | ۰/۷۹a | ۰/۶۷a | ۰/۱۷۰a | ۴/۱۷bc | ۰/۷۰a | ۰/۶۰a | ۳/۵۰ab | ۰/۷۷a | ۰/۵۰a |
| TS | ۰/۷۸a | ۰/۶۸a | ۰/۱۹۳a | ۴/۳۳a | ۰/۷۰a | ۰/۵۷a | ۴/۰۰a | ۰/۷۸a | ۰/۵۰a |

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

خاک نسبت به تیمار آب چاه مشاهده می‌شود، اما این افزایش‌ها در آزمون آماری دانکن، به‌جز در مورد روی، در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر در سطح ۵ درصد معنی‌دار نشده است. همان‌گونه که در جدول ۸ مشاهده می‌شود، اگرچه مقدار تجمع یافته منگنز، مس و نیکل در اعماق خاک، در نتیجه استفاده از تیمارهای مختلف آب آبیاری، دستخوش تغییر شده و بعضاً نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان

جدول ۸ نشان می‌دهد که میزان آهن و روی تجمع یافته در خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر تحت تاثیر تیمارهای آب آبیاری قرار گرفته و در دو تیمار فاضلاب تصفیه شده و کود و فاضلاب تصفیه شده، افزایش مقدار این دو عنصر در خاک در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شده است. در دو عمق ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی‌متر نیز اگرچه افزایش مقدار آهن و روی تجمع یافته در نیمرخ

می‌دهد، اما این تغییرات در آزمون آماری دانکن در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نشده است. در عین حال از آنجا که دامنه مشخصی از این عناصر برای حاصلخیزی خاک توصیه شده است، بنابراین در صورت استفاده از

فاضلاب تصفیه شده برای آبیاری ضرورت دارد تغییرات تجمع این عنصرهای شیمیایی در نیمرخ خاک همواره مورد توجه قرار گیرد زیرا در درازمدت، تجمع آنها در خاک ممکن است عملکرد محصول را تحت تاثیر قرار دهد.

جدول ۸- متوسط مقدار و اثر تیمارهای مختلف آب آبیاری بر تجمع برخی فلزات سنگین و سایر عناصر کم‌مصرف در خاک

| تیمار | آهن (قسمت در میلیون) | روی (قسمت در میلیون) | منگنز (قسمت در میلیون) | مس (قسمت در میلیون) | نیکل (قسمت در میلیون) | |
|--------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|--------------------------|-------|
| | عمق (سانتی‌متر) | عمق (سانتی‌متر) | عمق (سانتی‌متر) | عمق (سانتی‌متر) | عمق (سانتی‌متر) | |
| | ۰-۳۰ | ۳۰-۶۰ | ۶۰-۹۰ | ۰-۳۰ | ۳۰-۶۰ | ۶۰-۹۰ |
| W | ۲/۰۳b | ۲/۵۷a | ۲/۱۳a | ۰/۶۰b | ۰/۳۰b | ۰/۲۲a |
| W-F | ۳/۳۷b | ۲/۹۰a | ۲/۶۳a | ۰/۶۷b | ۰/۳۵b | ۰/۲۳a |
| W-TS | ۵/۸۰b | ۳/۰۰a | ۲/۰۳a | ۰/۹۷b | ۰/۳۵b | ۰/۲۲a |
| W-TS-F | ۵/۵۷b | ۳/۵۳a | ۲/۱۷a | ۱/۱۶b | ۰/۳۸b | ۰/۲۳a |
| TS-F | ۱۰/۵۰a | ۴/۴۷a | ۲/۷۳a | ۳/۰۸a | ۰/۴۰ab | ۰/۲۵a |
| TS | ۱۰/۳۳a | ۴/۴۰a | ۲/۴۳a | ۳/۴۰a | ۰/۵۰a | ۰/۲۸a |

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

خاک علاوه بر تامین عنصر گوگرد مورد نیاز گیاه، موجب کاهش نسبی pH خاک نیز می‌شود. از خواص کاهش pH خاک می‌توان به، افزایش انحلال‌پذیری بسیاری از عناصر و ترکیبات در عصاره اشباع خاک اشاره کرد.

نتایج آزمون آماری دانکن (جدول ۱۰) نشان می‌دهد که مقدار سرب تجمع یافته در نیمرخ خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک تحت تاثیر تیمارهای آب آبیاری (تیمارهای فاضلاب و فاضلاب تصفیه شده و کود) قرار گرفته و در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شده است، اما در عمق‌های ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی‌متری خاک آزمون آماری دانکن اختلاف معنی‌داری از نمونه‌های اندازه‌گیری شده نشان نمی‌دهد. از طرف دیگر، نتایج ارائه شده در جدول ۱۰ نشان می‌دهد که مقدار کادمیم تجمع یافته ناشی از آبیاری با فاضلاب تصفیه شده در نیمرخ خاک، در

بی‌کربنات از آنیون‌هایی است که بر تعادل یونی خاک نقش دارد. نتایج آزمون آماری دانکن نشان می‌دهد که مقدار بی‌کربنات خاک نیز در تیمارهای مختلف کیفی آب آبیاری و هیچ‌یک از عمق‌های ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی‌متری خاک در سطح ۵ درصد تحت تاثیر تیمارهای آب قرار نگرفته و معنی‌دار نشده است (جدول ۹). این جدول نشان می‌دهد که میزان سولفات تجمع یافته در خاک در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر تحت تاثیر تیمارهای آب آبیاری قرار گرفته و در هر دو عمق، تیمارهای فاضلاب تصفیه شده و کود و فاضلاب تصفیه شده افزایش معنی‌دار مقدار سولفات خاک را در سطح ۵ درصد نشان می‌دهند. اما در عمق ۶۰-۹۰ سانتی‌متری خاک تغییرات این آنیون در آزمون آماری دانکن در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیست. افزایش میزان سولفات

بررسی تاثیر کاربرد فاضلاب تصفیه شده شهری...

هیچ یک از تیمارهای کیفی آب آبیاری و همچنین هیچ عمقی از خاک در سطح ۵ درصد معنی دار نشده است. لذا از نظر مخاطرات ناشی از این عنصر سمی بر اساس رهنمود آیرس و وستکات (Ayers & Westcot, 1985)، فاضلاب تصفیه شده شیراز مشکلی برای استفاده در آبیاری به وجود نمی آورد.

جدول ۹- متوسط مقدار و اثر تیمارهای مختلف آب آبیاری بر تجمع بی کربنات و سولفات در خاک

| تیمار | بی کربنات (میلی اکی والان بر لیتر) | | | سولفات (میلی اکی والان بر لیتر) | | |
|--------|---------------------------------------|--------------------|--------------------|------------------------------------|--------------------|--------------------|
| | عمق (سانتی متر) | عمق (سانتی متر) | عمق (سانتی متر) | عمق (سانتی متر) | عمق (سانتی متر) | عمق (سانتی متر) |
| | ۰-۳۰ | ۳۰-۶۰ | ۶۰-۹۰ | ۰-۳۰ | ۳۰-۶۰ | ۶۰-۹۰ |
| W | ۴/۰۰a | ۴/۰۰a | ۳/۸۳a | ۴/۰۰c | ۱/۲۰b | ۰/۲۲a |
| W-F | ۴/۵۰a | ۳/۸۳a | ۳/۸۳a | ۴/۳۷bc | ۱/۳۰b | ۰/۷۷a |
| W-TS | ۴/۵۰a | ۴/۰۰a | ۳/۸۳a | ۴/۳۳bc | ۱/۳۰b | ۰/۴۷a |
| W-TS-F | ۴/۳۳a | ۴/۱۷a | ۴/۰۰a | ۵/۳۳bc | ۱/۳۳b | ۰/۴۳a |
| TS-F | ۴/۵۰a | ۴/۱۷a | ۳/۸۳a | ۵/۶۷ab | ۲/۰۳a | ۰/۴۳a |
| TS | ۴/۳۳a | ۴/۱۷a | ۳/۸۳a | ۶/۲۷a | ۲/۴۳a | ۰/۴۰a |

در هر ستون میانگین های دارای حروف مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

جدول ۱۰- متوسط مقدار و اثر تیمارهای مختلف آب آبیاری بر تجمع عناصر سنگین سمی در خاک

| تیمار | سرب (قسمت در میلیون) | | | کادمیم (قسمت در میلیون) | | |
|--------|-------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|--------------------|
| | عمق (سانتی متر) | عمق (سانتی متر) | عمق (سانتی متر) | عمق (سانتی متر) | عمق (سانتی متر) | عمق (سانتی متر) |
| | ۰-۳۰ | ۳۰-۶۰ | ۶۰-۹۰ | ۰-۳۰ | ۳۰-۶۰ | ۶۰-۹۰ |
| W | ۰/۴۳b | ۰/۳۸a | ۰/۳۳a | ۰/۰۲۰a | ۰/۰۰۳a | ۰/۰۰۱a |
| W-F | ۰/۴۳b | ۰/۳۷a | ۰/۳۰a | ۰/۰۱۹a | ۰/۰۰۷a | ۰/۰۰۳a |
| W-TS | ۰/۴۵b | ۰/۴۱a | ۰/۳۳a | ۰/۰۱۵a | ۰/۰۰۳a | ۰/۰۰۴a |
| W-TS-F | ۰/۴۵b | ۰/۳۷a | ۰/۳۲a | ۰/۰۱۷a | ۰/۰۰۵a | ۰/۰۰۴a |
| TS-F | ۰/۵۰a | ۰/۴۰a | ۰/۳۳a | ۰/۰۲۳a | ۰/۰۰۹a | ۰/۰۰۳a |
| TS | ۰/۵۱a | ۰/۴۳a | ۰/۳۳a | ۰/۰۲۱a | ۰/۰۰۸a | ۰/۰۰۳a |

در هر ستون میانگین های دارای حروف مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

نتیجه گیری

احتمال ۵ درصد می شود. غلظت حداکثر عناصر پرمصرف و کم مصرف گیاهی در خاک از جمله نیتروژن، پتاسیم، منیزیم، سدیم، کلر و بور و نیز سولفات در نتیجه استفاده از فاضلاب تصفیه شده نسبت به آب چاه در سطح ۵ درصد افزایش می یابد و در برخی دیگر از جمله فسفر، کلسیم و

نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان می دهد که استفاده از فاضلاب تصفیه شده پس از یک دوره کشت، در مقایسه با تیمار شاهد، باعث افزایش معنی دار ویژگی های شیمیایی خاک (اسیدیته، نسبت جذب سدیم و کربن آلی) در سطح

لایه‌های مختلف خاک اغلب در محدوده‌های توصیه شده بر اساس استانداردهای موجود است اما باید توجه داشت که استفاده مداوم و دراز مدت از این نوع فاضلاب، بدون اعمال مدیریت‌های لازم، موجب می‌شود تا نمک‌ها و عناصر سمی در خاک تجمع یابد و خاک بلااستفاده شود. از این رو لازم است تا با اعمال مدیریت‌هایی همچون استفاده متناوب از آب و فاضلاب تصفیه شده که در این پژوهش به کار گرفته شد و یا بررسی تاثیر آبشویی در دوره آبیاری با فاضلاب در پژوهش‌های دیگر و پایش شرایط شیمیایی خاک در دوره‌های زمانی مشخص و بررسی تجمع عناصر سنگین در خاک در دراز مدت، از غلظت عناصر زیان‌آور در خاک فراتر از آستانه تحمل گیاه جلوگیری شود.

بی‌کربنات افزایش معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. غلظت فلزات سنگین منگنز، مس، نیکل و کادمیم در خاک تحت تاثیر نوع آب آبیاری اختلاف معنی‌دار نشان نمی‌دهد اما در مقادیر آهن، روی و سرب افزایش معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد در تیمار آبیاری شده با فاضلاب تصفیه شده نسبت به تیمار آب چاه مشاهده می‌شود. از آنجا که کود مصرفی در هر تیمار برابر با مقدار مورد نیاز گیاه کشت شده در نظر گرفته شده است، استفاده از فاضلاب تصفیه شده نیاز به استفاده از کود N-P-K را برطرف می‌کند و در مورد این عناصر تغییر معنی‌داری در خاک بین تیمار فاضلاب تصفیه شده و کود در سطح ۵ درصد مشاهده نمی‌شود. در پژوهش حاضر مشخص شد که تجمع عناصر در

قدردانی

اجرای تحقیق حاضر با کمک شرکت آب و فاضلاب شیراز میسر شده است که بدین‌وسیله صمیمانه قدردانی و تشکر می‌شود.

مراجع

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome.
- Anon. 1989. Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture. Technical Report No.778. WHO. Geneva.
- Ayers, R. S. and Westcot, D. W. 1985. Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29. Rome.
- Booker, N. and Mathes, P. 1999. Water and Wastewater Treatment Process Alternatives. CSIRO Molecular Science. Clayton. Melbourne.
- Danesh, Sh. and Alizadeh, A. 2008. Applied of wastewater in agriculture, benefits and risks. 1st International Conference of Station of Treated Wastewaters and Sewage in Water Management. Mashhad. Iran. (in Farsi)
- Ghaemi, A. A. and Atefi, A. 2012. The effect of micro-irrigation with ground water and wastewater on broccoli yield and elements uptake. Iranian J. Hortic. Sci. Technol. 13(4): 417- 430. (in Farsi)
- Hassanoghli, A., Liaghat, A. and Mirabzadeh, M. 2002. Changes of soil organic materials caused by municipal wastewater irrigation and it's self-purification. J. Water Wastewater. 42, 46-52. (in Farsi)

- Hassanoghli, A., Liaghat, A., Mirabzadeh, M., Vosoughi, M. and Fardad, H. 2004. Investigation the effects of irrigating by municipal sewage on transforming materils to the soil depth and the water quality drained from lysimiter. 11th Conference of Irrigation and Drainage Committee. Tehran. Iran. (in Farsi)
- Pescod, M. B. 1992. Wastewater Treatment and Use in Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 47. Rome.
- Rajabi Sorkhani, M. and Ghaemi, A. 2012. Consequences of using treated wastewater and chemical fertilizers on Broccoli (*Brassia oleracea*) growth. Water Irrig. Manage. 2(2): 13-24. (in Farsi)
- Scott, C. A., Faruqui, N. I. and Raschid-Sally, L. 2004. Wastewater Use in Irrigated Agriculture: Management Challenges in Developing Countries. In: Scott, C. A., Faruqui, N. I. and Raschid-Sally, L. (Eds.) Wastewater Use in Irrigated Agriculture: Confronting the Livelihood and Environmental Realities. CABI Pub. UK.
- Shuval, H., Lampert, Y. and Fattal, B. 1997. Development of a risk assessment approach for evaluating wastewater reuse standards for agriculture. Water Sci. Technol. 35, 15-20.
- Smith, M. 1992. CROPWAT: A Computer Program for Irrigation Planning and Management. FAO.
- Tchobanoglous, G. and Burton, F. L. 2003. Wastewater engineering. Management. 7, 1-4.
- Waste, S. 2004. Guidelines for Water Reuse. Report No. EPA. 625/R-04-108. Environmental Protection Agency. US.

Effect of Treated Municipal Wastewater Disbursed by Drip Irrigation on the Chemical Characteristics of Soil

A. A. Ghaemi* and E. Amindin

* Corresponding Author: Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran. Email: ghaemi@shirazu.ac.ir

Received: 20 January 2014, Accepted: 7 December 2014

Recent drought has increased the consumption of fresh water resources to peak values in most parts of Iran. Water resources managers and planners have been forced to consider the use of all conventional and marginal-quality water (water of low quality) sources during planning. One of these marginal sources is treated municipal wastewater. The present study investigated the effects of the use of a drip irrigation system dispersing municipally-treated wastewater from the city of Shiraz on the chemical characteristics of clay loam soil in Badjgah in Fars province. Six water quality parameters were examined for treatments using freshwater, treated wastewater and fertilizer to irrigate broccoli. The results showed that application of treated municipal wastewater significantly increased the pH, SAR, and OC of the soil over that of the other treatments at 5% probability. Concentration of most chemical elements, such as nitrogen, potassium, and magnesium, and heavy metals, such as zinc, iron and lead, increased significantly increased at 5% probability for the wastewater treatment over the values for the other treatments.

Keywords: Marginal-Quality Water, Micro-Irrigation, Soil Chemical Characteristics, Soil Pollution