نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۹، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۴، ص. ۲۲-۱۲

Journal of Water and Soil
Vol. 29, No. 1, Mar.-Apr. 2015, p. 12-22

تاثیر درازمدت روش‌های مختلف آبیاری با پساب بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک

پیام نجفی[۱]- سید حسن طباطبائی[۲]- هاجر طاهری سودجانی[۳*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۴/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۰۳

چکیده

نیاز روزافزون به منابع آب در مناطق مختلف جهان، استفاده از پساب‌ها را ضروری می‌سازد. هنگام استفاده از پساب‌ها باید به سلامت خاک توجه شود. در این پژوهش تاثیر آبیاری با پساب به مدت سه سال بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک با استفاده از پنج روش آبیاری شامل آبیاری سطحی (FI)، آبیاری قطره‌ای سطحی (SDI)، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۳۰ سانتی‌متر (SDI30)، آبیاری قطره ای زیرسطحی در عمق ۶۰ سانتی‌متر (SDI60) و روش آبیاری بابلر (BI) بررسی شد. در پایان دوره از سه عمق ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متر از خاک نمونه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌های هدایت الکتریکی (EC، pH)، نسبت جذب سدیم (SAR)، درصد مواد آلی (OM)، کربنات کلسیم معادل ($CaCO_3$) روی نمونه‌های خاک نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان شوری تا عمق ۹۰ سانتی‌متر در تیمارهای مورد مطالعه به ترتیب در تیمار آبیاری BI 99/74 درصد افزایش در شوری) و SDI 19) درصد افزایش در شوری) مشاهده شد. تیمار BI و SID30 با ۱۴/۳ و ۸/۲- درصد افزایش در میزان SAR نسبت به ابتدای دوره به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین افزایش در میزان SAR را داشتند. کاربرد پساب موجب کاهش ۲۳/۴ درصدی $CaCO_3$ در لایه ۹۰-۶۰ سانتی‌متری و کاهش ۳۸/۷۵ درصدی SAR در لایه ۶۰-۳۰ شد.

واژه‌های کلیدی: پساب شهری، پساب صنعتی، خصوصیات شیمیایی خاک، روش آبیاری

مقدمه

تقریباً ۷۰ درصد آب منحرف شده از رودخانه‌ها و پمپاژ از آب‌های زیرزمینی برای کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد، در صورت استفاده از پساب‌ها برای آبیاری در کشاورزی مقدار استخراج آب از منابع طبیعی کاهش یافته و از تخلیه پساب‌ها به محیط زیست و آلودگی آن جلوگیری می‌شود (۲۰). هم‌چنین هزینه‌های زیاد کود-های شیمیایی، مواد مغذی موجود در پساب‌ها و هزینه‌های زیاد به منظور تصفیه پیشرفته پساب‌ها برای استفاده در مصارف دیگر سبب شده تا استفاده از پساب‌ها در بخش کشاورزی روزبه روز افزایش یابد (۲ و ۴).

آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) در بسیاری از کشورها به ترویج استفاده از پساب‌ها به منظور کاهش آلودگی آب‌ها پرداخته است (۹). کاربرد پساب در مصارفی نظیر آبیاری اراضی کشاورزی، موجب افزایش برخی از یون‌های قابل تبادل، نمک‌ها و مواد جامد معلق (آلی و معدنی) در خاک شده و خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک را به شدت تحت تأثیر قرار داده است (۲۰). بنابراین باید هنگام استفاده از پساب به سلامت خاک و گیاه توجه شود (۱۳). در ارتباط با اثر پساب بر خصوصیات خاک تحقیقات زیادی صورت گرفته است. تباری و صالحی (۲۲) گزارش کردند، قابلیت هدایت الکتریکی، پ هاش و کربن آلی خاک تحت تأثیر استفاده از پساب شهری افزایش یافت. کریستن و همکاران (۷) با کاربرد پساب برای آبیاری درخت انگور گزارش کردند میزان کلسیم و منیزیم در تمام اعماق خاک کاهش یافته در حالی که افزایش در میزان کاتیون های یک ظرفیتی خاک مشاهده کردند. آنتونی زیما و همکاران (۳) با کاربرد دو ساله پساب برای آبیاری گونه‌های *Typha latifolia*، *Arundo donax* و *Phragmites australis* به بررسی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک پرداختند.

وقتی منبع آب آبیاری، پساب باشد، آن گاه نگرانی‌هایی از بابت آلودگی محصولات برداشتی، تماس کارگران مزارع با عوامل بیماری‌زا

۱ – دانشیار گروه مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان
۲– دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
۳ – دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
(*–نویسنده مسئول: Email: Hajar_taheri2001@yahoo.com)

و تنش‌های زیست‌محیطی در سطح مزرعه وجود دارد در این شرایط توجه به روش–های آبیاری در کنار لحاظ کردن استانداردهای زیست محیطی بسیار حائز اهمیت است (۵، ۱۶ و ۲۱). کوادیر و همکاران (۲۱) گزارش کردند هنگام انتخاب روش آبیاری، کشاورز باید کیفیت پساب، امکان آلودگی محصولات و مسائل زیست محیطی را مد نظر قرار دهد. هم‌چنین بیان کردند روش آبیاری جویچه‌ای نیاز به تسطیح زمین و توپوگرافی مناسب را می طلبد و روش آبیاری بارانی را به دلیل این که پساب بر روی سطح محصول می پاشد توصیه نکردند. ارون و همکاران (۱۷)، نجفی (۱۵) و کوادیر و همکاران (۲۱) گزارش کردند هنگام استفاده از آبیاری قطره‌ای (DI) و عمدتاً آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI) هیچ تماسی بین کارگران و قسمت‌های بالای گیاه با پساب وجود ندارد، بنابراین مشکلات کم‌تری برای سلامت محصول و کارگران در این زمینه ایجاد خواهد شد. هم‌چنین در روش آبیاری قطره‌ای زیر سطحی آلودگی خاک سطحی کاهش پیدا می‌کند. حیدرپور و همکاران (۱۰) با بررسی اثر آبیاری با پساب با دو روش آبیاری قطره ای سطحی و زیر سطحی بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک گزارش کردند میزان شوری، سدیم، کلسیم، منیزیم لایه سطحی در روش آبیاری زیر سطحی نسبت به روش آبیاری سطحی به صورت معنی داری افزایش نشان داد. کاپرا و سیکولون (۶) بیان کردند استفاده مجدد از پساب به روش آبیاری قطره‌ای موثر و کارآمد ترین راه برای مقابله با کمبود آب برای محصولات کشاورزی و مقابله با آلودگی محیط زیست می‌باشد. طباطبایی و نجفی (۲۴) با کاربرد روش‌های مختلف آبیاری به این نتیجه رسیدند روش آبیاری قطره‌ای موجب کاهش رطوبت سطح خاک و در نتیجه کاهش کل کلیفرم شده، هم‌چنین از آبشویی نیترات نیز جلوگیری می‌کند. حسنلی و همکاران (۱۱) با کاربرد پساب شهری گزارش کردند که آبیاری با کمک روش آبیاری قطره‌ای علاوه بر این‌که اثر منفی نداشته بلکه موجب بهبود فاکتورهای شیمیایی خاک در مدت ۲۵ ماه شده و به‌طور معنی‌داری شوری در پروفیل خاک را کاهش داده است.

اثر استفاده از پساب در محیط زیست، رشد و یا تولید محصول و اثرات آن بر خصوصیات خاک به ندرت در شرایط مزرعه مورد مطالعه قرار گرفته است. استفاده از پساب‌ها در احیای جنگل‌ها در آینده‌ی نزدیک توسعه یافته و ضمن کمک به حفاظت محیط زیست می‌تواند سبب بازسازی مناظر و اماکن عمومی شود (۲۰). با توجه به این که استفاده از پساب‌ها در زمین‌های کشاورزی در نزدیکی تصفیه‌خانه‌ها رواج یافته است اما اطلاعات کمی در ارتباط با اثر سیستم‌های مختلف آبیاری با پساب بر روی خصوصیات خاک در دسترس است. بنابراین این تحقیق با هدف بررسی اثر آبیاری با پساب شهری و صنعتی مجموعه کارخانه ذوب آهن اصفهان بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک، تعیین سیستم بهینه آبیاری که اثرات منفی کمتری بر خاک داشته انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق طی سالهای ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۵ در محدوده فضای سبز ذوب آهن اصفهان به مختصات جغرافیایی، طول ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه و عرض ۳۰ درجه و ۲۲ دقیقه انجام گرفت. اراضی به نحوی انتخاب شد که به خط لوله فاضلاب صنعتی غیرسمی و هم‌چنین به خط لوله انتقال پساب شهری ذوب آهن اصفهان دسترسی داشته باشد. به این منظور دو قطعه زمین هر یک به وسعت ۶۸۴۰ مترمربع، انتخاب شد. زمین مورد مطالعه پیش از این تحت کشت و آبیاری نبوده است. خصوصیات خاک و پساب استفاده شده به ترتیب در جداول ۱ و ۲ آمده است.

آماده‌سازی زمین

در ابتدا علف‌های هرز جهت آماده‌سازی زمین حذف گردید. بر اساس نقشه طراحی (شکل ۱)، فاضلاب صنعتی پس از پمپاژ توسط پمپ خانه مرکزی به وسیله یک انشعاب با لوله ۱۱۰ میلی متر به واحد تصفیه SDI انتقال یافت و از آن‌جا به وسیلهٔ یک خط لوله ۶۳ میلی متر به قطعه زمین انتخابی منتقل شد. پساب شهری نیز از طریق یک لوله ۱۱۰ میلی‌متر به واحد تصفیه SDI انتقال یافت و سپس به وسیله یک لوله ۶۳ میلی متر به قطعه انتخابی انتقال داده شد (شکل ۱).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در زمان شروع آزمایش

Table 1- Chemical and physical properties of the soil at the beginning of the experiment

عمق Depth(cm)	بافت خاک Soil texture	SAR*	EC* (dS/m)	$CaCO_3$ (mg/l)	pH	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)
0-30	SCL	1.25	0.1	51	7.9	3.04	12	0.4	0.5	0.01	0.02	3.9
30-60	SCL	2.75	0.2	46	8.1	2.04	9	0.25	0.4	0.02	0.02	3.5
60-90	SCL	1.75	0.3	65	7.7	2.04	8.9	0.4	0.35	0.05	0.02	2

*اندازه‌گیری در عصاره ۵:۱ (خاک و آب مقطر)

*The measurements did in water and soil extracts 5:1

جدول ۲- میانگین خصوصیات شیمیایی پساب در طول مدت آزمایش

Table 2- Chemical characteristics of the treated wastewater during the experiment

	TSS	pH	EC	TSS	SAR_{adj}	SI	SAR_{iw}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO^-_3	CO_3^{2-}	Mg	Ca	Na
واحد unit	mg/l	-	dS/m	mg/l	-	-	-	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
شهری urban	164	8.1	2.2	164	16.1	1.2	7.3	7.3	3.1	4.6	0.4	1.3	2.7	10.3
صنعتی industrial	24	8.2	2	24	16	1.2	7.3	12.3	16.6	2.2	0	3.2	6.4	16

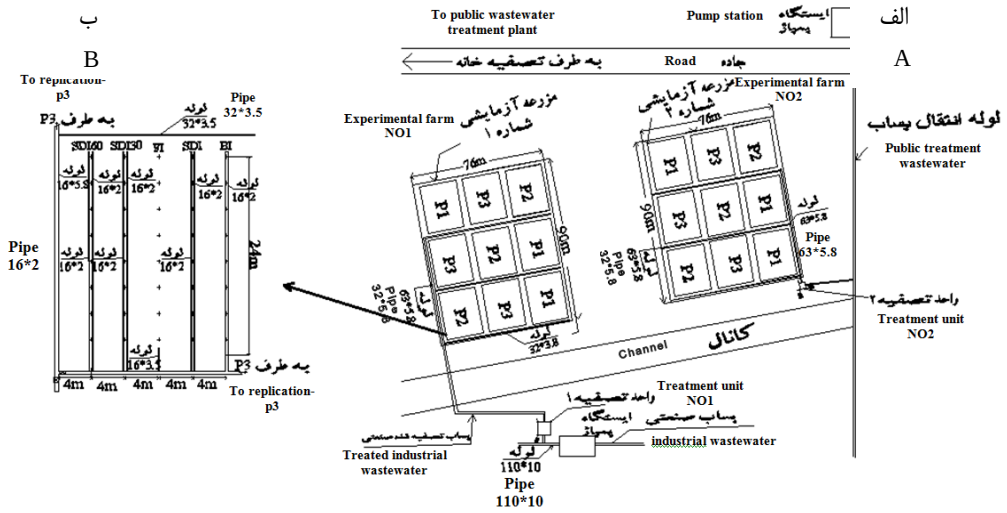
برای دست‌یابی به اهداف این تحقیق، یک طرح کرت‌های دوبار خرد شده (Split-Split – Plot design) در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی طراحی گردید. تیمارهای آبیاری شامل آبیاری جویچه‌ای (FI)، آبیاری قطره‌ای سطحی (SDI)، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۳۰ سانتی‌متر (SDI30)، آبیاری قطره‌ای زیر-سطحی در عمق ۶۰ سانتی متر (SDI60) و آبیاری بابلر (BI) انتخاب شدند. کلیه تیمارهای فوق در قطعات مجزا برای فاضلاب شهری و صنعتی تکرارگردید. برای هر قطعه ۵ تیمار که با نه تکرار، ۳۶۰ عدد درخت کاج و سرو نقره ای و انگور و مجموعاً ۷۲۰ درخت برای دو قطعه منظور شد.

اجرای سیستم آبیاری

برای تیمارهای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به اعماق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر ترانشه‌هایی حفر گردید و لوله‌های فرعی (Lateral Drippipe) با قطر ۱۶ میلی‌متر به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر و در هر خط به فاصله هر ۳ متر یک دیریپر منظور شد. به این ترتیب برای هر درخت ۲ دیریپر با دبی ۴ لیتر در ساعت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر نصب گردید که متناسب با تیمار در نظر گرفته در عمق خاک نصب گردیدند. برای تیمار آبیاری بابلر برای هر درخت یک عدد بابلر پایه کوتاه با دبی حداکثر ۸ لیتر در ساعت منظور شد. علاوه بر این‌ها تیمار آبیاری جویچه‌ای به عنوان شاهد در نظر گرفته شد که از طریق یک عدد شیر در ابتدای هر ردیف آبیاری انجام شود (شکل ۱ قسمت ب). به منظور جلوگیری از گرفتگی دیریپرهای داخل خط زیرسطحی به شعاع ۵ سانتی‌متر فیلتر شنی منظور شد.

کاشت

مطابق قطعات مذکور برای هر یک از درخت‌ها به عمق ۸۰ و شعاع ۶۰ سانتی‌متر گودبرداری انجام شد. و نهال-های آماده شده برای این تحقیق (نهال‌های دو ساله کاج و سرو نقره ای و انگور) با فاصله سه متری روی ردیف و چهار متری بین ردیف‌ها کشت گردید.



شکل ۱-الف) پلان عمومی محل اجرای طرح و ب) نحوه استقرار درختان در قطعه P2

Figure 1 - A) Overal Plan of the Project's Site and B) The distribution of trees in plot P2

در شکل فوق P1 درخت کاج، P2 درخت سرو نقره‌ای، P3 درخت انگور می‌باشد.

P1: Pine tree, P2: Cypress Silver and P3: Grapevine

آماده‌سازی و تجزیه نمونه‌های خاک

در ابتدای دوره رشد گیاهان از خاک اولیه در نقاط مختلف نمونه‌برداری شد. هم‌چنین در پایان طرح (سه سال بعد) از محل تیمارها تا عمق ۹۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری انجام شد. در آزمایشگاه، ۷۲۰ نمونه خاک هوا خشک، کوبیده و در الک ۲ میلی‌متری بر طبق روش استاندارد عبور داده، مخلوط گردیده و برای تجزیه شیمیایی آماده گردید (۱۳). اندازه‌گیری‌های که بر روی نمونه‌های خاک انجام شد عبارت بودند از:

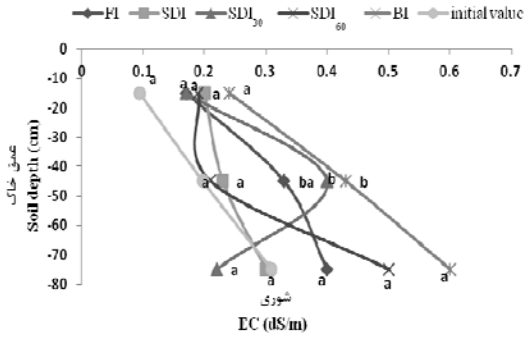
pH خاک با استفاده از pH متر مدل ELMETRON CP-501، شوری توسط دستگاه هدایت سنج مدل Jenway4010، درصد کربن آلی خاک به روش واکلی ها ـ بلاک، کربنات کلسیم معادل خاک با استفاده از تیتراسیون برگشتی و کلر با روش تیتراسیون، سدیم با استفاده از فلیم فتومتر، کلسیم و منیزیم با روش تیتراسیون اندازه‌گیری شدند (۱۸).

برای تجزیه و تحلیل و پردازش داده‌ها از نرم‌افزار آماری SPSS استفاده گردید. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

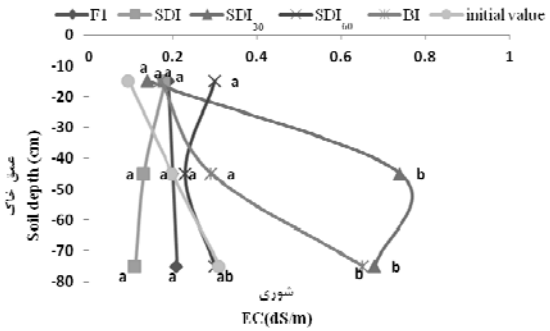
شوری خاک

باتوجه به شکل‌های ۲ و ۳، نتایج تجزیه خاک به لحاظ شوری (۱:۵) نشان داد که در مجموع با اعمال تیمارها خاک شورتر شده است. از آن‌جایی‌که مقدار کمی از نمک‌های موجود در خاک توسط گیاه تحت کشت مصرف می‌شود، حرکت نمک و توزیع آن در خاک به طور مستقیم با حرکت آب ارتباط دارد (۱۴). بنابراین در تیمارهای آبیاری بسته به وضعیت تیمار، شرایط متفاوت است. در تیمار FI با توجه به این که پساب به تمام سطح خاک اضافه می‌شود، شرایط در لایه‌ها یکنواخت‌تر است و بیش‌ترین میزان آبشویی در لایه ۹۰-۶۰ سانتی‌متر مشاهده شد و میزان شست و شوی لایهٔ سطحی در مقایسه با سایر لایه‌ها کم‌تر است که دلیل این امر تبخیر پساب از سطح خاک و به جای ماندن نمک‌ها در سطح خاک است. بر عکس در BI (بابلر) با توجه به شدت جریان بیش‌تر در این روش به تدریج با افزایش عمق شوری افزایش یافت. در تیمار آبیاری قطره‌ای شوری در لایه ۳۰-۰ سانتی‌متر افزایش یافت و میزان شوری در لایه ۹۰-۶۰ سانتی‌متر کاهش نشان داد. در تیمار SDI_{60} با توجه به محل تزریق پساب، لایه ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر تا حدودی نسبت به سایر لایه‌ها از شوری کمتری برخوردار است. در تیمار SDI_{60} میزان شوری در لایه ۶۰-۳۰ سانتی‌متر نسبت به سایر لایه‌ها بیش‌تر بوده است. در مجموع در دو پلات، کم‌ترین مقدار شوری تا عمق ۹۰ سانتی متر در تیمار SDI و بیش‌ترین مقدار شوری در تیمار BI مشاهده شد (شکل‌های ۲ و ۳).



شکل ۲- تاثیر تیمارهای آبیاری بر شوری (۱:۵) خاک در پلات شهری

Figure 2- Effect of irrigation treatments on soil salinity (1:5) in urban plot



شکل ۳- تاثیر تیمارهای آبیاری بر شوری (۱:۵) خاک در پلات صنعتی

Figure 3- Effect of irrigation treatments on soil salinity (1:5) in industrial plot

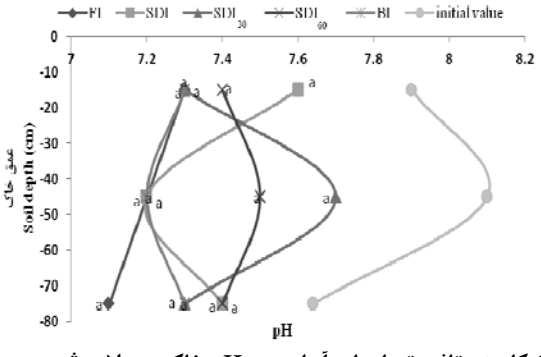
پدررو (۱۹) و آنتونی زیما و همکاران (۳) گزارش کردند کاربرد پساب برای آبیاری سبب افزایش شوری خاک شده است. حیدرپور و همکاران (۱۰) با کاربرد پساب با دو روش آبیاری گزارش کردند که در روش آبیاری زیرسطحی میزان شوری لایه سطحی و هم‌چنین میانگین شوری تا عمق ۶۰ سانتی‌متری نسبت به روش آبیاری سطحی بیش‌تر بود. پدررو (۲۰) گزارش کرد استفاده طولانی‌مدت از پساب برای آبیاری موجب شوری خاک شده و ایجاد جریان رو به پایین آب و نمک از منطقه ریشه تنها راه عملی برای مدیریت مشکل شوری است. آسادین و همکاران (۱) و تامپسون و همکاران (۲۳) بیان کردند که جریان به سمت بالا در روش آبیاری زیرسطحی و تبخیر و تعرق آن شوری بالای سطح خاک را سبب می‌شود که این امر یک مشکل در نواحی خشک و نیمه-خشک به دلیل بارندگی ناکافی محسوب می‌شود و شست‌و شوی دوره‌ای نمک‌های سطح خاک

می‌تواند این مشکل را تا حدودی مرتفع سازد. طباطبائی و نجفی (۲۴) گزارش کردند که در روش آبیاری FW (جویچه‌ای با پساب) بیش‌ترین میزان نمک‌ها در سطح خاک مشاهده شده است. هم‌چنین تاثیر روش آبیاری قطره‌ای سطحی را در آبشویی نمک‌ها نسبت به روش آبیاری شیاری و قطره‌ای زیر سطحی را کمتر دانستند در حالی که در پژوهش حاضر تیمار آبیاری قطره‌ای سطحی بیش‌ترین میزان آبشویی را داشته است.

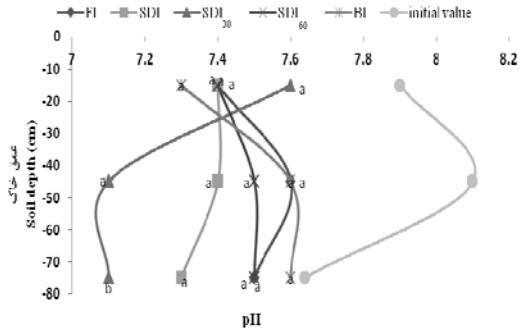
pH خاک

حد مجاز pH خاک ۶/۵ تا ۷/۵ می‌باشد (۲۰). نتایج بررسی pH خاک پلات‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که در طول مدت اجرای طرح pH خاک به صورت معنی‌داری کاهش یافته است و به حدود مجاز در خاک نزدیک شده است. به‌علاوه بین pH خاک شهری و صنعتی تفاوت معنی داری مشاهده نشد و به طور متوسط pH لایه‌های خاک به ترتیب ۷/۴ و ۷/۳ برای پلات شهری و صنعتی بوده است. بر اساس شکل‌های ۵ و۶ اختلافات بین تیمارها کم و بر مبنای بررسی آماری به جز لایه سوم پلات شهری، بین تیمارهای سایر لایه‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در لایه ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متر در پلات شهری BI با pH 6/7 با SDI30 با اسیدیته ۷/۱ اختلاف معنی‌دار نشان داد. بالاتر بودن مقدار pH در تیمار آبیاری بابلر، احتمالاً به افت فشار در قسمت شهری و تاثیر کم‌تر اعمال طرح در این لایه است. مقایسه pH لایه‌های خاک در تیمارهای آبیاری پلات صنعتی اختلاف معنی‌داری نشان نداد.

فدریا دا فونسکا و همکاران (۸)، پدرو (۱۹)، کریستن و همکاران (۷) و آنتونی زیما و همکاران (۳) کاهش pH خاک را در اثر آبیاری با پساب گزارش کردند. حیدرپور و همکاران (۱۰) گزارش کردند که پساب اثر معنی‌داری بر میزان pH خاک نداشته و میزان pH لایه‌های مختلف در آبیاری سطحی و زیرسطحی اختلاف معنی‌داری ندارد.



شکل ۵- تاثیر تیمارهای آبیاری بر pH خاک در پلات شهری
Figure 5- Effect of irrigation treatments on soil pH in urban plot



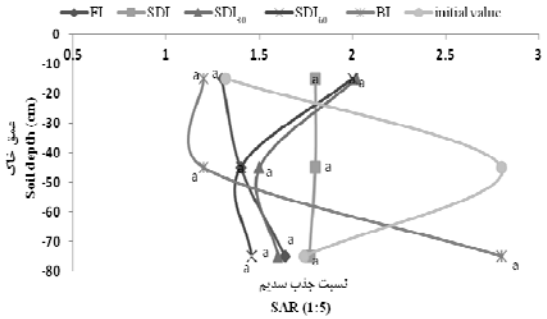
شکل ٦- تاثیر تیمارهای آبیاری بر pH خاک در پلات صنعتی
Figure 6- Effect of irrigation treatments on soil pH in industrial plot

نسبت جذب سدیم خاک

شوری و SAR برای ارزیابی میزان نفوذپذیری مورد استفاده قرار می‌گیرند (۲۱). نتایج بررسی میزان SAR متوسط خاک عصاره اشباع پلات شهری و صنعتی نشان داد که میانگین سه لایه این پلات‌ها به ترتیب به ترتیب ۶/۶ و ۵/۳ بر آورد شده است (شکل ۷ و ۸). در صورت قرار دادن این مقادیر در کنار EC وضعیت خاک به لحاظ شوری و قلیائیت نرمال است که از این جهت با خاک اولیه تفاوتی نداشته است. مقایسه وضعیت SAR در دو پلات پساب شهری، صنعتی و خاک اولیه نشان داد که در شرایط پساب صنعتی SAR در لایه های خاک خصوصاً در دو لایه سطحی کم‌تر از شرایط پساب شهری ارزیابی شد که به توجه به آن که میزان SAR پساب در هر دو نمونه تقریباً برابر بود، این تغییر به میزان شدت جریان آب در دو پلات و عدم تحقق آبشویی کافی در پلات شهری وابسته است. به جز دو تیمار FW و BI در پلات صنعتی در کلیه تیمارها افزایش میزان SAR در لایه سطحی مشاهده شد. در مورد تیمارهای آبیاری مشابه شرایط شوری، در محل تزریق پساب خصوصاً در مورد تیمارهای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مقدار SAR خاک کاهش یافته است (شکل‌های ۷ و ۸). البته مقایسه اختلاف‌های بین تیمارها در لایه های مشابه معنی‌دار نبود. کمترین میزان SAR در سطح خاک در هر دو پلات در تیمارهای FW و BI مشاهده شد و هم‌چنین بیش‌ترین میزان SAR در لایه ۹۰-۶۰ در تیمار BI مشاهده شد که این امر مشابه شرایط شوری خاک می‌باشد. در مجموع دو پلات کم‌ترین میزان SAR تا عمق ۹۰ سانتی‌متر در تیمار SDI30 و بیش‌ترین مقدار در تیمارهای BI مشاهده شد.

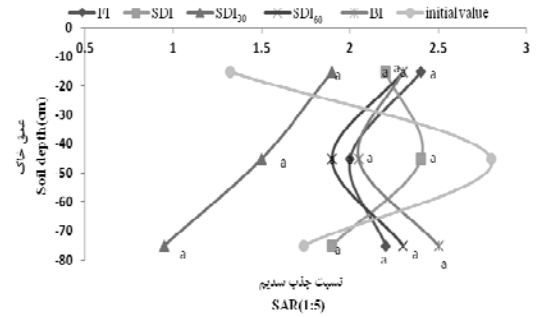
آنتونی زیما و همکاران (۳) افزایش ۱۱۳/۶ درصدی میزان SAR خاک آبیاری شده با پساب در مقایسه با خاک آبیاری شده با آب معمولی را گزارش کردند. حیدرپور و همکاران (۱۰) گزارش کردند در روش آبیاری زیرسطحی غلظت سدیم به صورت معنی‌دار بیش‌تر از روش سطحی بوده و علت این امر را به آبشویی بیش‌تر سدیم در

روش آبیاری سطحی نسبت دادند.



شکل ۷- تاثیر تیمارهای آبیاری بر میزان SAR خاک در پلات شهری

Figure 7- Effect of irrigation treatments on soil SAR in urban plot



شکل ۸- تاثیر تیمارهای آبیاری بر میزان SAR خاک در پلات صنعتی

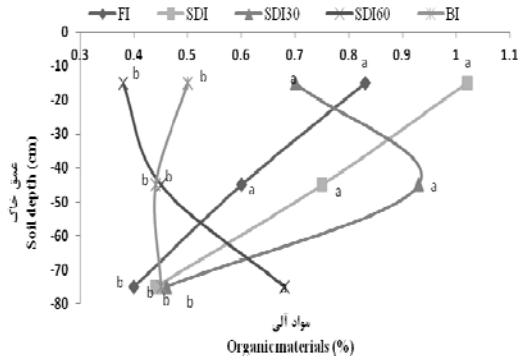
Figure 8- Effect of irrigation treatments on soil SAR in industrial plot

هم‌چنین بیان کردند اثر روش آبیاری بر میزان کلسیم خاک معنی‌دار نمی‌باشد. طباطبائی و نجفی (۲۴) با کاربرد روش‌های مختلف آبیاری گزارش کردند میزان SAR در کلیه روش‌ها در عمق ۶۰-۳۰ کاهش نشان داد و تفاوت چندانی در میزان SAR تیمارهای SDI و SDI30 و SDI60 با SAR خاک اولیه درلایهٔ سطحی خاک گزارش نکردند.

درصد مواد آلی (OM)

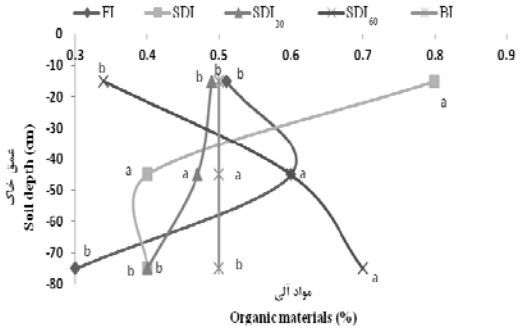
حد مجاز مواد آلی در خاک ۱/۷۵-۰ درصد می‌باشد (۲۰). با توجه به شکل‌های ۹ و ۱۰ میزان مواد آلی در خاک تیمارهای آزمایش کم‌تر از حد مجاز می‌باشد. میزان مواد آلی موجود در پلات صنعتی خصوصاً تا عمق ۶۰ سانتی متری بیش‌تر از پلات شهری است. هم‌چنین میزان درصد OM به طور متوسط در لایه سطحی بیش‌تر از لایه های عمقی است.

با توجه به شکل ۹ در لایه صفر تا ۳۰ سانتی‌متر پلات شهری، تیمار آبیاری قطره‌ای سطحی بیش‌ترین مقدار OM را داشته به‌طوری که با سایر تیمارها در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار نشان داد. در لایه ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر بین تیمارها اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. هم‌چنین در در لایه ۶۰ تا ۹۰ سانتی متر SDI60 با اختلاف معنی‌دار، دارای بیش‌ترین درصد OM است. تقریباً مشابه همین وضعیت در مورد پلات صنعتی مشاهده شد (شکل۱۰). در این وضعیت SDI در لایه ۰ تا ۳۰ سانتی متر دارای بیش‌ترین مقدار بوده و اختلاف آن با تیمار های SDI60 و BI معنی دار است. در لایه ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر تیمارهای SDI و SDI30 دارای بیش‌ترین مقدار با اختلاف معنی دار با تیمارهای SDI60 و BI می‌باشد و در نهایت در لایه آخر تیمار SDI30 دارای بیش‌ترین مقدار با اختلاف معنی دار است. در هر دو پلات مورد مطالعه میزان مواد آلی خاک در دو تیمار SDI و FI با افزایش عمق کاهش یافت که با پژوهش طباطبائی و نجفی (۲۴) تطابق دارد.



شکل ۹- تاثیر تیمارهای آبیاری بر درصد مواد آلی خاک در پلات شهری

Figure 9- Effect of irrigation treatments on soil organic matter in urban plot



شکل ۱۰- تاثیر تیمارهای آبیاری بر درصد مواد آلی خاک در پلات صنعتی

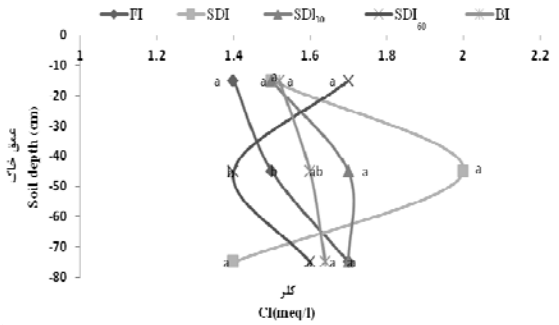
Figure 10- Effect of irrigation treatments on soil organic matter in industrial plot

پدررو (۱۹) با کاربرد پساب به مدت یک سال برای آبیاری درختان مرکبات افزایش مواد آلی خاک را گزارش کرد. طباطبائی و نجفی (۲۴) گزارش کردند کاربرد پساب سبب افزایش ماده آلی خاک شده است و بیش‌ترین میزان مواد آلی در سطح خاک را در تیمارهای FI و SDI مشاهده نمودند. هم‌چنین با توجه به پژوهش حاضر و

نتایج تحقیق طباطبائی و نجفی (۲۴) می‌توان این‌طور بیان کرد که تجمع مواد آلی در خاک تابع عمق تزریق پساب به داخل خاک بوده و با کاربرد روش آبیاری زیرسطحی از تجمع مواد آلی در سطح خاک جلوگیری خواهد شد.

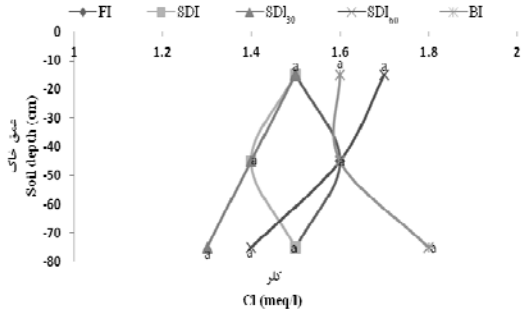
کلر (Cl)

میانگین مقدار کلر پساب صنعتی (۱۲/۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر) بیش‌تر از میانگین کلر پساب شهری (۷/۳ میلی–اکی‌والان بر لیتر) بود (جدول ۲). در این‌جا نیز بر اساس آن‌چه در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ مشهود است میزان تاثیر کاربرد پساب صنعتی در افزایش کلرید خاک بیش از پساب شهری بوده است. در پلات شهری تیمارهای آبیاری موجب اختلاف معنی‌داری در کلرید لایه‌های مختلف خاک نشده است هر چند اعمال تیمارهای آبیاری تغییراتی را در مقادیر کلرید خاک به وجود آورده است از جمله آن‌که غالباً در محل تزریق پساب میزان کلرید کاهش یافته است. در تیمار BI با افزایش عمق میزان کلر زیاد شده است که نشان‌دهنده بار آبشویی ضعیف‌تر این تیمار است (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- تاثیر تیمارهای آبیاری بر میزان کلرید خاک درپلات شهری

Figure 11- Effect of irrigation treatments on soil Chloride in urban plot



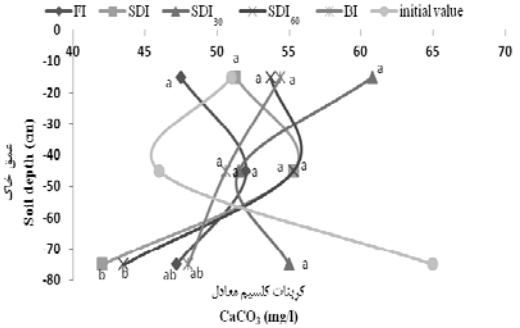
شکل ۱۲- تاثیر تیمارهای آبیاری بر میزان کلرید خاک درپلات صنعتی

Figure 12- Effect of irrigation treatments on soil Chloride in industrial plot

در پلات صنعتی، وضعیت تیمارهای آبیاری مشابه پلات شهری است با تفاوت که در لایه دوم تیمارهای SDI و SDI30 با تیمارهای FI و SDI60 اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد نشان داده است. در این لایه کم‌ترین میزان کلرید مربوط به SDI60 می‌باشد که به آبشویی ناشی از تزریق پساب در این لایه مربوط می‌شود (شکل ۱۲)

کربنات کلسیم معادل خاک ($CaCO_3$)

در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ میزان $CaCO_3$ در لایه‌های خاک را نشان داده شد. در پلات‌های مورد مطالعه نسبت به خاک اولیه تفاوت عمده در میزان $CaCO_3$ در عمق ۶۰ تا ۹۰ سانتی متر است که در این لایه میزان $CaCO_3$ به طور میانگین ۲۳/۴۴ درصد کاهش نشان داده است. مقایسه میانگین‌های این مقادیر بر اساس آزمون دانکن نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است. اما در مورد پلات صنعتی در تیمارهای آبیاری در لایه آخر، SDI30 با بیشترین مقدار دارای اختلاف معنی‌دار با SDI و SDI60 است.



شکل ۱۳- تاثیر تیمارهای آبیاری بر میزان $CaCO_3$ خاک در پلات شهری

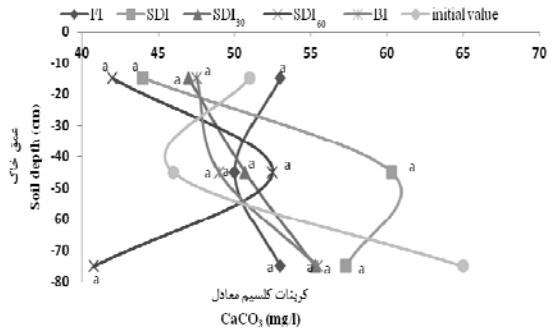
Figure 13- Effect of irrigation treatments on soil $CaCO_3$ in urban plot

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این تحقیق به شرح زیر خلاصه می‌شود:

نتایج آنالیز خاک نشان می دهد با اعمال تیمارها، خاک شورتر شد و در مجموع دو پلات پساب شهری و صنعتی کم‌ترین میزان شوری و SAR در تیمارهای آبیاری قطره‌ای و بیش‌ترین میزان این پارامترها در روش آبیاری بابلر مشاهده شد.

نتایج بررسی pH خاک پلات‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که در طول مدت اجرای طرح pH خاک به صورت معنی‌داری کاهش یافته است و به حدود مجاز در خاک نزدیک شده است.



شکل ۱۴- تاثیر تیمارهای آبیاری بر میزان $CaCO_3$ خاک در پلات صنعتی

Figure 14- Effect of irrigation treatments on soil $CaCO_3$ in industrial plot

درصد مواد آلی در خاک تحت تاثیر روش آبیاری بوده و در محل تزریق پساب بیش‌تر بوده است. در سطح خاک بیش‌ترین میزان مواد آلی در تیمارهای FI و SDI مشاهده شد ولی در عمق ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ با ترتیب تیمارهای SDI30 و SDI60 بیش‌ترین میزان مواد آلی را داشتند.

در محل تزریق پساب میزان کلر خاک افزایش نشان داد و بیش‌ترین میزان کلر در تیمارهای آبیاری در تیمار BI مشاهده شد.

نتایج آنالیز آهک خاک نشان می‌دهد که اعمال تیمارها خصوصاً در لایه ۶۰ تا ۹۰ سانتی متر این عامل محدود کننده را کاهش داده است و کم‌ترین میزان آهک در تیمار SDI60 مشاهده شد.

در مجموع استفاده از روش آبیاری قطره‌ای SDI در عمق توسعه ریشه گیاهان مورد مطالعه (در شرایط این تحقیق در عمق ۶۰ سانتی‌متر) برای تأمین بهتر شرایط زیست‌محیطی، تامین نیاز آبی در عمق توسعه ریشه و اصلاح کیفیت خاک توصیه می‌شود.

منابع

1- Assadian N.W., Di Giovanni G.D., Enciso J., Iglesias J., and Lindemann W. 2005. The transport of waterborne solutes and bacteriophage in soil subirrigated with a wastewater blend. Agriculture, Ecosystems and Environment, 111:279–291.
2- Abedi-Koupai J., Mostafazadeh-Fard B., Afyuni M., and Bagheri M.R. 2006. Effect of treated wastewater on soil chemical and physical properties in an arid region. Plant Soil Environ, 52(8): 335–344.
3- Antonio Zema D., Bombino G., Andiloro S., and Marcello Zimbone S. 2012. Irrigation of energy crops with urban wastewater: Effects on biomass yields, soils and heating values. Agricultural Water Management, 115:55– 65.
4- Bond W.J. 1998. Effluent irrigation – an environmental challenge for soil science. Ustralian Journal of Soil Research, 36:543–555.
5- Capra A., and Scicolone B. 2004. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. Agricultural Water Management, 68:135–149.
6- Capra A., and Scicolone B. 2007. Recycling of poor quality urban wastewater by drip irrigation systems. Journal of Cleaner Production, 15:1529-1534.
7- Christen E.W., Quayle W.C., Marcoux M.A., Arienzo M., and Jayawardane N.S. 2010. Winery wastewater treatment using the land filter technique. Journal of Environmental Management, 91:1665-1673.
8- Fedria da Fonseca A., Adolpho J.M., and Clia R.M. 2005. Maize growth and change in soil fertility after irrigation with treated sewage effluent.II.Soil Acidity exchangeable cations and sulfur boron and heavy metals availability. Communication in Soil Science and Plant Analysis, 13&14:1983-2003.
9- Greenway M. 2005. The role of constructed wetlands in secondary effluent treatment and water reuse in subtropical and arid Australia Ecological Engineering, 25(1):501–509.
10- Heidarpour H., Mostafazadeh-Fard B., Abedi Koupai J., and Malekian R. 2007. The effects of treated wastewater on soil chemical properties using subsurface and surface irrigation methods. Journal Agricultural Water Management, 90:87–94.
11- Hassanli A.M., Javan M., and Saadat Y. 2008. Reuse of municipal effluent with drip irrigation and evaluation the effect on soil properties in a semi-arid area. Environ Monit Assess, 144(1-3):151-158.
12- Kloke A., Sauerbeck D.R., and Vetter H. 1984. The contamination of soils and plants with heavy metals and the transtrial food chains. In: Changing metal cycles and human Health. Nriagu J. O. Ed, Berlin, Springer Verlag: 113-141.
13- Laurenson S., Bolan N.S., Smith E., and Mccarthy M. 2011. Review: Use of recycled wastewater for irrigating grapevines. Australian Journal of Grape and Wine Research, 18:1-10.
14- Nakayama F.S., and Bucks D.A. 1986. Trickle Irrigation for Crop Production: Design, Operation and Management. Elsevier, New York, NY.
15- Najafi P. 2005. Effects of using subsurface drip irrigation and treated municipal wastewater in irrigation of tomato. Pakistan Journal of Biological Science, 9(14):2672-2676.
16- Najafi P., Mousavi S.F., and Faizi M. 2005. Effects of using municipal wastewater in irrigation of potato. Journal

of agricultural sciences and natural resources, 12(1). (in Persian with English abstract)
17- Oron G., Campos C., Gillerman L. and Salgot M. 1999. Wastewater treatment, renovation and reuse for agricultural irrigation in small communities. Journal Agricultural Water Management, 38(3):223-234.
18- Page A.L., Miller R.H., and Keeney D.R. (Eds). 1982. Methods of Soil Analysis. Part 2. America Society of Agronomy. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin USA. pp. 449-479.
19- Pedrero F., Kalavrouziotis L., Alarcon J., Koukoulakis P., and Asano T. 2011. Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture—Review of some practices in Spain and Greece. Agricultural Water Management, 97:1233–1241.
20- Pedrero F., and Alarcon J. 2009. Effects of treated wastewater irrigation on lemon trees. Desalination, 246:631–639.
21- Qadir M., Wichelns D., Raschid-Sally L., McCornick P.G., Drechsel P., Bahri A. and Minhas P.S. 2010.The challenges of wastewater irrigation in developing countries. Agricultural Water Management, 97:561–568.
22- Tabari M.,and Salehi A. 2009. Long-term impact of municipal sewage irrigation on treated soil and black locust trees in a semi-arid suburban area of Iran. J Environ Sci (China), 21(10):1438-45.
23- Thompson T.H., Huan-cheng P., and Yu-yi L. 2009. The Potential Contribution of Subsurface Drip Irrigation to Water-Saving Agriculture in the Western USA. Agricultural Sciences in China, 8(7):850-854.
24- Tabatabaei S.H., and Najafi P. 2009. Effects of Irrigation With Treated Municipal Wastewater On Soil Properties In Arid And Semi-Arid Regions. Irrigation and Drainage, 58:551–560.

Journal of Water and Soil
Vol. 29, No. 1, Mar.-Apr. 2015, p. 12-22

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۹، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۴، ص. ۲۲-۱۲

Long-term Effects of Different Irrigation Methods with Treated Wastewater on Soil Chemical Properties

P. Najafi[1] -S.H. Tabatabaei[2] - H. Taheri-Sodejani[3]*

Received: 20-07-2013
Accepted: 24-11-2014

Introduction: Reuse of wastewater for agricultural irrigation is increasing due to an increased demand for water resources in different parts of the world. Almost 70% of deviated water from rivers and pumped groundwater is used for agriculture. If wastewater is used for irrigation in agriculture, then the amount of discharged water from natural sources will be decreased and the flow of wastewater to the environment and its ensuing pollution will be prevented. Using wastewater in applications such as irrigation of agricultural lands has caused an increase of some exchangeable ions, salts and suspended solids (organic and mineral) in the soil and has significantly affected physical, chemical and biological features. Therefore, paying attention to the soil health is important during use of wastewater when it is the source of irrigation water. In such cases, there will be some worries about pollution of harvested products, contact of farm workers with pathogenes and environmental issues in the farm. In these conditions, attention to irrigation methods along with consideration of environmental protection standards is important .

Materials and Methods: In this study, the effects of treated wastewater (TW) irrigation were tested on some chemical properties of soil for three years under five different irrigation treatments. The treatments were as follows: surface furrow irrigation (FI), surface drip irrigation (SDI), subsurface drip irrigation in 30 cm depth (SDI30), subsurface drip irrigation in 60 cm depth (SDI60) and bubbler irrigation (BI). At the end of the experiment, soil samples were collected from a depth of 0-30, 30-60 and 60-90 cm in order to measure the electrical conductivity (EC), pH, sodium adsorption ratio (SAR), organic matter (OM) and calcium carbonate equivalent ($CaCO_3$).

Results and Discussion: According to the results of soil analysis, the soil became more saline than the beginning by applying the treatments. Generally, in two plots of urban and industrial wastewater, the least salinity was observed in SDI (19.0% increase in salinity) and the maximum value of these parameters was observed in BI (99.7% increase in salinity). The results showed that average SAR in soil saturation extract of three layers were 5.5 and 6.6 dS m-1, respectively for urban and industrial plots. Considering these values along with EC, the soil will be categoraized as normal soil in terms of salinity and alkalinity. An increase of 14.3 % in BI and 8.2% in SID30 were observed in comparison with the initial values of the period. These were the extremums for SAR. The results also showed that the application of TW caused a 38.75 % reduction in SAR for the 30-60 cm. Soil pH of the plots under study was decreased significantly and reached its acceptable limit in the soil during the experiment. On the average, the pH of soil layer has been 7.4 and 7.3 for urban and industrial plots, respectively. The results showed that soil organic matter was influenced by the irrigation method and this was more pronounced in the location of wastewater injection. In the soil surface, the highest amount of organic matter was observed in treatment FI and SDI. However, in a depth of 30-60 and 60-90, SDI30 and SDI60 revealed the highest amount of organic matter content. The average concentration of chloride (Cl-) ions in industrial wastewater (12.3 meq L-1) was more than that of urban wastewater (7.3 meq L-1). Therefore, the effect of industrial wastewater on increasing soil Cl- has been more pronounced than that of urban wastewater. Soil Cl- was increased at the location of wastewater injection and the highest amount of Cl- in the irrigation treatments was observed in BI. The results also showed that the application of TW caused a 23.4% reduction in soil CaCO3 content at a depth of 60-90 cm. The lowest amount of CaCO3 was recorded in treatment SDI60. There was no significant difference between the average of irrigation treatments in the urban plots. But in the last layer, it showed that SDI30 had a significant difference with both SDI and SDI60, in the industrial plots .

1- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Khorasgan Branch
2- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University
3- PhD Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology
(*- Corresponding Author Email: Hajar_taheri2001@yahoo.com)

Conclusion: Generally, SDI irrigation in the root zone depth (in this study was up to 60 cm) is recommended for protecting safe environmental conditions, supplying water demand in the root zone and improving soil quality.

Keywords: Industrial wastewater, Irrigation methods, Soil chemical properties, Urban wastewater