نشریه علوم آب و خاک
سال بیست و هشتم/ شماره دوم / تابستان ۱۴۰۳/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۱۳۵ تا ۱۴۵

بررسی اثر متقابل کیفیت آب آبیاری و نوع سیستم آبیاری بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در شرایط کاربرد فاضلاب شهری تصفیه‌شده

یحیی چوپان[1*] و حسام آریان‌پور[2]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۷/۲۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۸)

چکیده

یکی از راهکارهای کاهش اثرات سوءاستفاده از پساب فاضلاب شهری، بکارگیری آن در کشاورزی همراه با سیستم آبیاری زیر سطحی است که آثار آن نیز در خاک نیاز به بررسی‌های گسترده دارد. ازاین‌رو، پژوهشی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با دو فاکتور نوع منبع آبیاری (آب چاه W_1 و پساب تصفیه شده شهری W_2) و نوع سیستم آبیاری (سطحی S1 و قطره‌ای زیر سطحی S2) در سه تکرار (R) برای عمق ۴۰-۰ سانتی‌متری خاک طی دو سال زراعی انجام شد. نتایج آماری نشان داد پارامترهای پتاسیم، سدیم، شوری و نسبت جذب سدیم در تقابل نوع سیستم و نوع منبع آبیاری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند؛ ولی پارامترهای pH، کلسیم و منیزیم در تقابل نوع سیستم و نوع منبع آبیاری غیرمعنی‌دار شدند. کمترین مقدار برای کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و آنیون‌های کلر، فسفات و سولفات در تیمار W1S1 به‌دست آمد. همچنین بیشترین مقدار پارامترهای شوری، کلسیم، منیزیم، فسفات، پتاسیم و کلر برای تیمار W2S2 دیده شد. باتوجه‌به نتایج استنباط می‌شود که آبیاری با پساب فاضلاب شهری بهبود خصوصیات شیمیایی خاک را شامل شده است و نوع سیستم آبیاری مورد بررسی نیز تغییرات جزئی داشته است.

واژه‌های کلیدی: پساب تصفیه‌شده، سیستم زیرسطحی، شیمی خاک، واکنش خاک

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
۲. آزمایشگاه آب‌وخاک، پژوهشکده زعفران، دانشگاه تربت‌حیدریه، تربت‌حیدریه، ایران.
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Yahyachoopan68@gmail.com

مقدمه

فراهم بودن بهترین شرایط رشدی برای هر محصول ضروری است؛ اما با وضع نامطلوب کمی و کیفی منابع آب‌وخاک در ایران باید تدابیری برای کاهش فشار به این منابع اعمال کرد. آبیاری محصولات کشاورزی با پساب به دلیل کمبود منابع آب کافی در مناطق کم آب گسترده است (۲۵). استفاده از پساب فاضلاب تصفیه‌شده برای آبیاری به‌عنوان منبع آب جایگزین برای کشاورزی قبلاً پیشنهاد شده است (۱۵). آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده توجه جهانی را به خود جلب کرده است، به‌ویژه در محیط‌های کم آب که کشاورزان اغلب گزینه دیگری جز استفاده از فاضلاب ندارند (۱۸). فرمانی‌فرد و همکاران (۱۶)، اثر آبیاری طولانی‌مدت با پساب شهری کرمانشاه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد جرم مخصوص ظاهری لایه سطحی خاک، کاهش و جرم مخصوص حقیقی آن افزایش یافت. همچنین، تخلخل کل خاک در دولایه اولیه نسبت به تیمار شاهد کمتر بود که در مطالعه خدادادی و همکاران (۱۹) نیز نتایج مشابهی به‌دست آمد. تاکنون مطالعات متعددی در خصوص کاربرد پساب در کاشت محصولات کشاورزی انجام شده است. از جمله این مطالعات می‌توان به پژوهش‌های چوپان و همکاران (۱۰) اشاره کرد. طی این پژوهش‌ها مشاهده شد، آبیاری با پساب خام کارخانه قند خصوصیات شیمیایی خاک را بهبود می‌بخشد و برای آبیاری مزارع جو منطقه مورد بررسی توصیه می‌شود. چوپان و امامی (۱۲) نتیجه گرفتند کل جامدات محلول، اکسیژن محلول، اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی، کلیفرم، کاتیون‌های کلسیم، منیزیم و سدیم و آنیون‌های سولفات، فسفات و کلراید در پساب تصفیه‌شده تصفیه‌خانه تربت‌حیدریه در حد استاندارد آبیاری محصولات است و در بررسی دیگر چوپان و همکاران (۱۰) عنوان شد، استفاده از پساب تصفیه‌شده شهری بر کاتیون‌ها و آنیون‌های خاک تغییراتی در حد مجاز استاندارد آبیاری و کشت گیاهان دارد. اثرات زیست‌محیطی ناشی از استفاده از پساب در کشاورزی می‌تواند مثبت و منفی باشد. اقدامات کشاورزی خوب که با برنامه ریزی و مدیریت اجرا می‌شود، اثرات زیست‌محیطی و آلودگی منابع آب را کاهش می‌دهد و استفاده مجدد می‌تواند برای محیط زیست مفید باشد (۲۱). اشرفی و همکاران (۴) در پژوهشی برای بررسی استفاده از سیستم آبیاری زیر سطحی قطره‌ای و پساب بیان کردند، سیستم آبیاری زیرسطحی قطره‌ای در آبیاری با پساب کارآمدتر از سیستم سطحی بوده و باعث افزایش عملکرد زیتون خواهد شد. استفاده از پساب تصفیه‌شده در کشاورزی می‌تواند تقاضای آب شیرین را حین بازیافت مواد مغذی کاهش دهد. در پژوهشی بررسی اثر کاربرد زئولیت به‌عنوان اصلاح کننده خاک بر جذب کادمیم در گیاه اسفناج تحت آبیاری با پساب انجام شد که آبیاری با پساب باعث تغییر معنی‌دار زیست توده اسفناج نشد، ولی حضور کادمیم در پساب به‌شدت محصول را کاهش داد (۲۰). در پژوهشی توسط عامریان و همکاران (۳) به بررسی اثر همزمان نوع سیستم آبیاری قطره‌ای و کم‌آبیاری با استفاده از پساب تصفیه‌شده شهری بر زیست‌توده و کارآیی مصرف آب در ذرت دانه‌ای پرداخته شد و مشاهده شد سیستم آبیاری قطره‌ای با ۷۵ درصد نیاز آبی، سیستم بهینه است و استفاده از آن توصیه می‌شود.

اثرات زیست‌محیطی ناشی از استفاده از پساب در کشاورزی می‌تواند مثبت و منفی باشد. بااین‌حال، آبیاری طولانی‌مدت ممکن است منجر به برخی تغییرات ناخواسته (اثرات منفی) در کیفیت خاک در طول زمان شود (۲۴). برای نمونه می‌توان به نمک‌های محلول بیش‌ازحد، فرسایش و آلودگی خاک توسط عناصر سنگین اشاره کرد. چنین تغییراتی ممکن است مشکلاتی مانند از دست دادن عملکرد محصول، پوشش گیاهی، حاصلخیزی خاک و بهره‌وری و همچنین افزایش سطح تخریب خاک را به دنبال داشته باشد (۲۳). اثرات منفی آبیاری با پساب بر خصوصیات خاک بستگی به منبع و درجه تصفیه آن، سطح و غلظت اجزای سمی آن، میزان و دفعات کاربرد پساب، نوع و خواص خاک دارد (۱۴). مطالعه‌ای در غرب ایالات متحده نشان داد که آبیاری با پساب فاضلاب هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم را به میزان ۱۸۷٪ و ۴۸۱٪ در مقایسه با مناطق خاکی آبیاری‌شده با آب چاه افزایش داد (۲۲). این بدان معنی است که شوری و سدیم خاک به‌طور قابل توجهی با

آبیاری پساب ارتقاء یافت. آیلو و همکاران (۲) تأثیر به‌کارگیری پساب تصفیه‌شده را روی خصوصیات خاک با 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. همچنین در سال‌های اخیر مطالعات نشان داده‌اند که آبیاری طولانی‌مدت با پساب تصفیه‌شده منجر به تخریب قابل‌توجه ساختار خاک و خواص هیدرولیکی خاک می‌شود که بیشتر به دلیل افزایش درصد سدیم قابل تعویض است که باعث پراکندگی و تورم رس می‌شود (۵ ، ۶ و ۷).

باتوجه‌به بررسی‌های میدانی و پژوهش‌های اجرا شده، بیشتر پژوهش‌ها به بررسی اثرات فاضلاب تصفیه‌شده بر خصوصیات شیمیایی خاک پرداخته‌اند، باتوجه‌به این‌که استفاده از پساب در منطقه موردمطالعه پژوهش حاضر (تربت‌حیدریه) همراه با کشت زعفران، رواج روزافزونی یافته و اثرات آن بر محصول نیز باید در اولویت پژوهش‌ها نیز قرار گیرد؛ حال با وجود این مسئله، هدف اصلی از انجام این پژوهش، بررسی تأثیر آبیاری با پساب فاضلاب شهری بر خصوصیات شیمیایی خاک در نتیجه اجرای عملیات آبیاری محصول کشت زعفران با استفاده از این نوع آب‌های نامتعارف است.

مواد و روش

پژوهشی به‌صورت مقایسه‌ای و میدانی در اقلیم گرم و خشک اراضی تحت کشت زعفران تربت‌حیدریه با مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴ دقیقه شمالی و ۵۹ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی برای پی بردن به تغییرات خاک در اثر استفاده از پساب تصفیه شده شهری و سیستم آبیاری صورت گرفت. پژوهش حاضر در قالب طرح بلوک کامل تصادفی به‌ترتیب با دو فاکتور نوع منبع آبیاری (آب چاه W_1 و پساب فاضلاب شهری W_2) و نوع سیستم آبیاری (سطحی کرتی S1 و زیر سطحی قطره‌ای S2) در سه تکرار (R) انجام و تیمار W1S1 به‌عنوان تیمار شاهد معرفی شد. مقدار بنه مصرفی برای کاشت، بنه‌های ۸ تا ۱۲ گرم که برای کرت‌های ۴ (۲*۲) مترمربعی مقدار ۳/۶ کیلوگرم بنه در عمق ۲۰ سانتی‌متری به‌وسیله دست برای تمام تیمارها به‌طور یکسان کاشته شد. آبیاری برای هر کرت در هر نوبت ۱۵ روزه آبیاری سطحی کرتی ۱۵۰ لیتر و برای آبیاری زیرسطحی ۵۰ لیتر در هر نوبت ۵ روزه اعمال شد. در این پژوهش آنالیز شیمیایی خاک در عمق ۴۰-۰ سانتی‌متری خاک طی دو سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ مورد بررسی قرار گرفت. در زمین مدنظر زعفران کشت شده و آبیاری گیاه به میزان ۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار در هر سال آزمایش در ۷ نوبت (بر اساس نیاز آبی زعفران) شامل ۱۰مهر، ۱۵ آبان، ۵ آذر، ۲۰ اسفند، ۵ فروردین، اول اردیبهشت و ۱۵ اردیبهشت انجام گرفت. مقدار بارندگی از مهرماه تا دی ماه که آبیاری محصول صورت پذیرفته است، بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی سینوپتیک تربت‌حیدریه ۶۳ میلی‌متر بوده است. همچنین مقدار میانگین دمایی از ابتدای سال زراعی تا اوایل بهمن ماه ۷/۵ درجه سانتی‌گراد بوده است که نسبت به مدت مشابه سال قبل و دوره آماری بلندمدت کاهش ۳ درجه‌ای داشته است. مقدار بیشینه، کمینه و میانگین دما و بارش ماهانه در جدول ۱ آمده است. پس از اتمام دوره آبیاری محصول، نمونه‌های متعددی از عمق ۴۰-۰ سانتی‌متری خاک (گیاه زعقران به دلیل اینکه در عمق ۱۵ - ۲۰ سانتی‌متری کاشته می شود و ریشه های پیاز زعفران در عمق ۲۰ -۴۰ سانتی‌متری رشد می‌کنند، بنابراین برای انجام آنالیز های کیفی خاک تحت کشت آن، عمق ۴۰-۰ سانتی‌متری خاک مورد توجه قرار گرفته است) برای انجام آنالیزهای لازم برای تعیین خواص شیمیایی خاک، برداشت شد. نتایج به‌دست آمده در جدول ۲ ارائه شده است. مشخصات آب چاه و پساب فاضلاب تصفیه‌شده شهری در جدول ۳ و ۴ ارائه شده است. پارامترها به‌صورت زیر اندازه‌گیری شد: اسیدیته با دستگاه پی اچ سنج مدل اسیدیته Moisture، کلراید با روش موهر (نیترات نقره)، هدایت الکتریکی پساب (EC) با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج قلمی MIC تایوان مدل ۹۹۶۰۲، سولفات با روش کولوریمتری در طول موج ۴۲۰، کربن آلی با روش سوزاندن در کوره، فسفات با روش کولوریمتری با فسفومولیبدات، کلسیم و منیزیم با روش کومپلکسومتری (تیتراسیون با EDTA)، سدیم با روش اسپکتوفتومتری طول موج در ۵۸۹، پتاسیم با روش اسپکتوفتومتری در طول موج۷۶۶ و نیترات با روش اسپکتوفتومتری در طول موج ۲۲۰ (۱۱).

جدول ۱. داده‌های هواشناسی در طول دوره رشد زعفران

سال	ماه	دما (سانتی‌گراد)		دمای میانگین (سانتی‌گراد)	بارندگی (میلی‌متر)
		کمینه	بیشینه		
۱۳۹۷	شهریور	۱۵	۲۸	۲۱	۱۷
	مهر	۱	۲۳	۱۷	۱۱
	آبان	۳	۱۱	۷	۲۳
	آذر	-۱	۸	۴	۱۲
	دی	-۷	۵	-۱	۰
	بهمن	-۵	۸	-۱/۵	۰
۱۳۹۸	شهریور	۱۶	۳۱	۲۳	۰
	مهر	۱۰	۲۵	۱۸	۶
	آبان	۱	۱۵	۸	۳۱
	آذر	-۱	۱۰	۴	۱۶
	دی	-۱	۱۰	۴	۲۴
	بهمن	-۲	۱۲	۵	۳۲

جدول ۲. ویژگی‌های خاک منطقه اجرای طرح قبل از اعمال تیمارها

نوع آزمایش	واحد اندازه‌گیری	نتایج آزمایش
پتاسیم	($mg.kg^{-1}$)	۱۳۰
فسفر	($mg.kg^{-1}$)	۳/۵
هدایت الکتریکی	($dS.m^{-1}$)	۳/۸
pH	—	۷/۲
آهک	(%)	۱۶/۴
مواد آلی	(%)	۱/۲
شن	(%)	۴۸
رس	(%)	۲۲
سیلت	(%)	۳۰
درصد اشباع	(%)	۳۹

جدول ۳. آنالیز شیمیایی آب آبیاری با چاه

هدایت الکتریکی EC	pH	نسبت جذب سدیم (SAR)	کلسیم Ca^{2+}	منیزیم Mg^{2+}	سدیم Na^{+}	کربنات CO_3^{-}	بی‌کربنات HCO_3^{-}	کلر Cl^{-}	سولفات SO_4^{2-}
($dS.m^{-1}$)	—	—	($meq.l^{-1}$)						
۲/۵	۶/۸	۱۳/۴	۱/۲	۲/۸	۱۸/۴	—	۳/۴	۱۰/۵	۱۰/۸

جدول ۴. آنالیز شیمیایی و بیولوژیکی پساب تصفیه شده شهری

(بر اساس استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایران برای دفع فاضلاب و استفاده مجدد از پساب)

آزمایش	واحد اندازه‌گیری	نتایج آزمایش	استاندارد آبیاری کشاورزی
pH	—	۷/۴	۷-۹
کل جامدات محلول	($mg.kg^{-1}$)	۱۰۴۴	۱۵۰۰-۳۰۰۰
کلسیم	($mg.kg^{-1}$)	۵۲/۸	۲۵۰
منیزیم	($mg.kg^{-1}$)	۳۵/۵	۱۰۰
سولفات	($mg.kg^{-1}$)	۸۴/۹	۵۰۰
کلر	($mg.kg^{-1}$)	۶۰۸	۶۰۰
نیترات	($mg.kg^{-1}$)	۳/۱	۰/۵
فسفات	($mg.kg^{-1}$)	۱/۵	—
هدایت الکتریکی	($dS.m^{-1}$)	۵/۸	۰/۷
نسبت جذبی سدیم	—	۷/۴	۳

به‌منظور تجزیه‌وتحلیل داده‌های حاصل از آزمایش از نرم‌افزار DSTAT و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel ۲۰۱۳ استفاده شد. میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر مقایسه شدند.

نتایج و بحث

بررسی نتایج عملکرد کمی و کیفی زعفران نشان داد، نتایج میانگین مربعات صفات کمی (تعداد گل، وزن تازه گل، وزن خشک کلاله و وزن خشک خامه) زعفران در فاکتور نوع منبع آبیاری و تقابل دو فاکتور نوع منبع و نوع سیستم آبیاری، همه صفات کمی غیرمعنی‌دار شدند. این نتایج می‌تواند به دلیل سازش‌پذیری زعفران با شرایط اعمال‌شده در پژوهش باشد (۹). در جدول ۵ مقایسه میانگین مربعات صفات کمی در تیمارهای پژوهش آمده است.

جدول ۵. مقایسه میانگین مربعات صفات کمی در تیمارهای پژوهش (۷)

تیمارهای پژوهش	تعداد گل (عدد در مترمربع)	وزن گل تازه (گرم در مترمربع)	وزن خشک کلاله (گرم در مترمربع)	وزن خشک خامه (گرم در مترمربع)
W1S1	۵۱/۴ a	۱۵/۹ a	۰/۷۹ a	۰/۰۱۷ a
W1S2	۴۸/۲ a	۱۴ a	۰/۷ a	۰/۰۱۴ a
W2S1	۴۸/۹ a	۱۳/۹ a	۰/۷۸ a	۰/۰۱۷ a
W2S2	۵۱/۲ a	۱۴/۶ a	۰/۷۲ a	۰/۰۱۴ a

بر اساس نتایج واریانس صفات مورد بررسی دیده شد که پارامترهای اسدیته، کلسیم، منیزیم، سولفات و درصد مواد آلی در تقابل نوع منبع و نوع سیستم غیرمعنی‌دار آماری شده که نشان‌دهنده تغییرات جزئی در تیمارهای پژوهش شده‌اند و پارامترهای سدیم، پتاسیم، نسبت جذب سدیم و شوری در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شدند (جدول ۶).

pH

اهمیت pH خاک در این مورد است که حلالیت بسیاری از عناصر وابسته به pH است. عموماً بیشتر عناصر غذایی در اسیدی بین ۵/۵ – ۶/۵ جذب گیاه می‌شوند (۱۳). در هر صورت زمانی که خاک خیلی اسیدی باشد، عناصر پرمصرف مثل نیتروژن، پتاسیم و فسفر به خوبی جذب نمی‌شود. اگر خاک بیش از اندازه قلیایی باشد، عناصر کم مصرف مثل آهن و روی جذب خوبی ندارد (۱۳). بر اساس نتایج آنالیز شیمیایی خاک تحت تیمارهای پژوهش، pH در تیمارهای پژوهش حاضر تغییرات کمی داشته و در محدوده ۷/۶ تا ۸/۰ قرار گرفته و مشکلی برای کشاورزی و جذب عناصر توسط گیاهان و همچنین خاک تحت کشت محصولات ایجاد نمی‌کند. نتایج نشان داد، میزان pH تیمارهای پساب نسبت به تیمار شاهد با کاهش ۵ درصدی مواجه بودند.

نسبت جذب سدیم

در مصارف کشاورزی آب با غلظت نسبت جذب سدیم کم توصیه می‌شود؛ زیرا به‌ازای مقدار معینی از کاتیون سدیم، افزایش کاتیون‌های کلسیم و منیزیم آب منجر به قابلیت جذب سدیم به‌وسیلهٔ خاک شده و در نتیجه زیان آن برای گیاه کمتر می‌شود. اما سدیم به‌تنهایی نمی‌تواند معیار کیفی آب به لحاظ کشاورزی مورداستفاده قرار گیرد و بهتر است که تأثیر آن در ارتباط با شوری کل آب در نظر گرفته شود (۱۳). هرچه نسبت جذب سدیم بیشتر باشد، آن آب برای آبیاری از لحاظ کیفی مناسب نیست. آبیاری با استفاده از آب با نسبت جذب سدیم بیشتر، نیاز به اصلاح خاک را در درازمدت ایجاد می‌کند. تیمار W1S1 در این پژوهش کمترین مقدار (۶/۳۷) و تیمار W2S2 بیشترین مقدار (۱۱/۴۲) را به‌دست داد و بقیه تیمارها در محدود ۱۱/۵ مشاهده شدند (جدول ۷) که این تغییرات می‌تواند تأثیر آبیاری با مدار بیشتر در سیستم آبیاری زیرسطحی و مقدار مؤثر عناصر تأثیرگذار مثل سدیم در پساب فاضلاب در آبیاری زمین باشد که با نتایج (۱، ۱۰، ۱۷) همخوانی دارد.

شوری

خاک‌هایی که شوری آن‌ها بیش از ۴ دسی‌زیمنس بر متر باشد، جزء خاک‌های شور طبقه‌بندی می‌شوند. تیمار W1S1 از لحاظ

جدول ۶. تجزیه واریانس صفات مورد بررسی

منابع تغییر	درجه آزادی	اسدیته	شوری	نسبت جذب سدیم	کلسیم	منیزیم	سدیم	پتاسیم	کلر	سولفات	فسفات	درصد مواد آلی
نوع منبع آبیاری	۱	۰/۱۴ ns	۳۸۷۴۶۱۳**	۰/۰۲**	۲/۴ ns	۰/۰۳ ns	۱۲۱**	۱۲۴۶۹۷**	۲۷ ns	۱/۶ ns	۰/۰۴ ns	۴/۳E-۵**
نوع سیستم آبیاری	۱	۰/۰۲ ns	۶۰۴۸۴۹۰**	۰/۲۵ ns	۵/۸ ns	۰/۲۶ ns	۱۲۷**	۱۳۴۸۲۸**	۴۸ ns	۲۸*	۰/۰۹ ns	۶E-۲**
نوع سیستم آبیاری × نوع منبع آبیاری	۱	۰/۱۲ ns	۸۸۴۷۷۰۱**	۰/۳۵**	۰/۹ ns	۰/۰۱ ns	۳۵۵**	۱۲۲۹۳۰**	۶۲ *	۱۲ ns	۰/۲ *	۸E-۲ ns
خطا	۴	۰/۱۱	۱۴۶۰۶۶	۰/۵۱	۲	۰/۰۶	۳	۲۳۶	۱۰	۲/۶	۰/۰۳	۴E-۳
ضریب تغییرات (cv)	—	۴	۹	۴	۷	۳	۵	۳	۱۰	۱۹	۲	۱۰

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد.

جدول ۷. مقایسه میانگین مربعات صفات کمی در تیمارهای پژوهش بعد از دوره رشد

تیمارهای پژوهش	درصد مواد آلی (٪)	فسفات ($meq.l^{-1}$)	سولفات ($meq.l^{-1}$)	کلر ($meq.l^{-1}$)	پتاسیم ($meq.l^{-1}$)	سدیم ($meq.l^{-1}$)	منیزیم ($meq.l^{-1}$)	کلسیم ($meq.l^{-1}$)	نسبت جذب سدیم (-)	شوری (میکروزیمنس بر متر)	pH (-)
W1S1	۰/۵a	۶/۷a	۶a	۲۶a	۱۵۸a	۲۳a	۷a	۲۰/۵a	۶/۴a	۱۹۱۶a	۸a
W1S2	۰/۶b	۷/۱a	۷/۳a	۲۸a	۵۶۵b	۴۰c	۷/۱a	۱۹a	۱۱/۳b	۴۷۶۹b	۷/۶a
W2S1	۰/۸c	۷/۲a	۱۱/۱b	۳۵b	۵۷۳b	۴۱c	۷/۳a	۱۸/۶a	۱۱/۴b	۵۰۵۳b	۷/۹a
W2S2	۰/۶b	۷a	۸/۳ab	۲۷a	۵۷۴b	۳۶b	۷/۴a	۱۸/۲a	۱۰/۲b	۴۴۷۲b	۷/۹a

طبقه‌بندی شوری در کلاس معمولی و بقیه تیمارها در کلاس شور قرار گرفتند (۱۳، ۸ و ۱۷). عامل اصلی به‌وجود آمدن شوری، عنصر سدیم است (۸). کمترین و بیشترین مقدار شوری خاک بر حسب میکروزیمنس بر متر برای تیمارهای W1S1 و W2S2 به‌ترتیب با مقادیر ۱۹۱۶ و ۴۴۷۲ شد. بر اساس نتایج شوری خاک و نسبت جذب سدیم در این بازه محدودیتی برای کشاورزی ایجاد نمی‌کند. دامنه مطلوب برای نسبت جذب سدیم، ۳-۹ و برای شوری خاک ۴-۸ دسی‌زیمنس برمتر است (۸). میزان شوری تیمارهای پساب نسبت به تیمار شاهد با افزایش ۱۳۰ درصدی روبه‌رو بود (جدول ۷). تغییرات شوری تیمارهای پساب نسبت به تیمار شاهد، به دلیل وجود املاح و مواد معدنی در این نوع منابع است و یا اینکه ویژگی‌های ذاتی خاک سبب این تغییر شده است. همچنین استفاده از روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نیز اثر شوری را به دلیل شوری بیشتر پساب و عدم آبشویی نمک از محیط مورد بررسی تشدید کرده است.

کاتیون‌ها و آنیون‌ها

هر چه واکنش خاک قلیایی‌تر شود یا به عبارتی pH خاک بیشتر شود، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک افزایش می‌یابد و برعکس هر چه واکنش خاک کمتر باشد، ظرفیت تبادل آنیونی افزوده می‌شود. خاک‌هایی که دارای ظرفیت تبادل کاتیونی بیشتر هستند، آنیون‌ها را از خود دور کرده و در نتیجه جذب آنیونی در آن‌ها از اهمیت بسیار کمی برخوردار است. از عوامل مؤثر بر جذب عناصر در گیاهان می‌توان به دما اشاره کرد که در این مطالعه دما برای محصول زعفران در دامنه مناسب رشد مطلوب (۱- تا ۲۳+ درجه سانتی‌گراد) بوده است (۱۳). بر اساس نتایج جدول ۷، مقدار کاتیون‌های پتاسیم، کلسیم (افزایش میزان کلسیم موجود در خاک باعث افزایش میزان جذب فسفر قابل جذب می‌شود)، منیزیم و آنیون‌های کلر و فسفات برای تیمارهای W1S1، بیشترین مقدار و W2S2، کمترین مقدار را به‌دست دادند. مقدار پتاسیم در تیمارهای پژوهش جز در تیمار شاهد با مقدار ۱۵۸ میلی‌اکی‌والانت بر لیتر، در بقیه تیمارهای پژوهش مقدار برابر ۵۷۰ میلی‌اکی‌والانت بر لیتر به‌دست آمد که این می‌تواند به دلیل استفاده از کودهای شیمیایی برای کشت محصول همزمان با کاربرد پساب فاضلاب (به‌عنوان یک منبع غنی از کود) که مورداستفاده گیاه قرار نگرفته و در محیط خاک تجمع پیدا کرده است، باشد. سدیم در تیمارهای مورد بررسی پژوهش دارای اختلافات معنی‌داری دیده شد؛ به‌طوری که در تیمار شاهد با کمترین مقدار، ۲۳ میلی‌اکی‌والانت بر لیتر و در

تیمار W2S1 بیشترین مقدار با ۴۰ میلی‌اکی‌والانت بر لیتر را نشان داده است. در بررسی نتایج تیمارهای آبیاری زیرسطحی، تغییرات چشمگیری در مقدار پارامترهای آنیون و کاتیون‌های مورد بررسی دیده نشده و اثر سوئی بر مقدار کاهش یا افزایش این پارامترها نداشته است. همچنین نتایج حاصله از پژوهش حاضر با نتایج (۱، ۱۰، ۱۷) همخوانی دارد.

درصد مواد آلی

ترکیبات کربنی خاک طی یک چرخه با قرارگرفتن در فشار، گرما و فعالیت میکروارگانیسم‌ها به مواد آلی ترکیب شدند. هیومیک اسید، فولیک‌اسید و کودهای دامی همگی جزئی از مواد آلی هستند. اگر کمبود شدید نیتروژن در خاک وجود داشته باشد، موجب کم رشدی می‌شود (۱۳). مواد آلی خاک یکی از پارامترهای مؤثر در حاصلخیزی خاک یا ظرفیت تبادل کاتیونی است که می‌تواند خاک‌های فقیر که مواد آلی کافی برای کشت و کار ندارند را اصلاح کند. مقدار مؤثر مواد آلی در خاک در دامنه ۲-۳ است (۱۳) که در این پژوهش بیشترین و کمترین مقدار برای این پارامتر به‌ترتیب در تیمارهای W1S1 و W2S1 با مقادیر ۰/۴۶ و ۰/۷۸ دیده شدند و تیمارهای دارای پساب و آبیاری زیرسطحی قطره‌ای دارای بیشترین مقدار برای درصد کربن آلی شدند (جدول ۷).

نتیجه‌گیری کلی

در پژوهش حاضر به بررسی خصوصیات شیمیایی خاک با استفاده از آبیاری با پساب تصفیه‌شده شهری و آبیاری زیر سطحی قطره‌ای در اراضی تحت کشت زعفران منطقه تربت‌حیدریه پرداخته شد که نتایج عملکرد کمی زعفران، نشان‌دهنده تغییرات بسیار جزئی در تیمارهای پژوهش بوده است. در بررسی آنالیز شیمیایی خاک؛ پارامترهای pH، منیزیم و کلسیم در تیمارهای پژوهش بدون تغییر دیده شدند و پارامترهای سدیم، شوری و نسبت جذب سدیم بر اثر استفاده از پساب و سیستم آبیاری قطره‌ای دارای افزایش چشمگیر ولی در محدوده استاندارد مشاهده شدند. مواد آلی نیز در اثر استفاده از پساب و سیستم آبیاری قطره‌ای افزایش داشته و باعث بهبود شرایط آلی خاک شده است. در مجموع می‌توان بیان کرد که باتوجه‌به مشکلات کمبود آب در اراضی مناطق خشک کشور از جمله منطقه تربت‌حیدریه، گزینه استفاده از پساب به‌عنوان یک منبع مناسب برای آبیاری مطرح بوده تا علاوه بر داشتن توجیهات اقتصادی، در مسائل زیست‌محیطی نیز نقش مثبتی ایفا نماید و آبیاری زیرسطحی قطره‌ای باتوجه‌به هزینه اجرای طرح و عدم تغییر در عملکرد محصول و احتمال گرفتگی زیاد در این نوع آبیاری با اعمال پساب تصفیه‌شده شهری برای این منظور توصیه نمی‌شود.

منابع مورداستفاده

1. Agh-Barati, A., S. M. Hoseini, A. Esmaili and A. Maralian. 2009. Irrigation effect with urban wastewater treatment on physical and chemical properties of soil, the accumulation of nutrients and cadmium in olive trees. *Environmental Science Journal*. 6: 1-10.
2. Aiello, R., G. L. Cirelli and S. Consoli. 2007. Effects of reclaimed wastewater irrigation on soil and tomato fruits:A case study in Sicily (Italy). *Journal of Agricultural Water Management* 93 (1-2): 65-72.
3. Amerian, M., S. E. Hashemi Garmdareh and A. Karami. 2020. Comparison of the Effect of Furrow and Drip Irrigation with Waste Water Combined with Deficit Irrigation on Yield Indices and Water Use Efficiency of Corn. *Journal of Water and Soil Science* 24 (3) :179-190
4. Ashrafi, N., M. Gheysari, A. Maleki and A. Nikbakht. 2015. Effect of Irrigation with Reclaimed Water on Fruit Characteristics and Photosynthesis of Olive Trees under Two Irrigation Systems. *Journal of Water and Soil* 29(3): 569-577 (in Farsi).
5. Assouline, S. and K. Narkis. 2013. Effect of Long-Term Irrigation with Treated Wastewater on the Root Zone Environment. *Vadose Zone Journal* 12 (2): 1-10.

6. Assouline, S., D. Russo, A. Silber and D. Or. 2015. Balancing water scarcity and quality for sustainable irrigated agriculture. *Journal of Water Resources Research* 51 (5): 3419–3436.
7. Bedbabis, S., B. B. Rouina, M. Boukhris and G. Ferrara. 2014. Effect of irrigation with treated wastewater on soil chemical properties and infiltration rate. *Journal of Environmental Management*. 133: 45-50.
8. Bybordi, M. 1981. Soil (formation and classification). Tehran University press, Tehran (in Farsi).
9. Choopan, Y., A. HezarJaribi, Kh. Ghorbani, M. Hesam and A. Khashei-Siuki. 2021.The Effect of Municipal Wastewater and Modern Irrigation Methods on the Properties of Saffron. *Journal of Water and Wastewater Science and Engineering* 6(1): 52-60 (in Farsi).
10. Choopan, Y., A. Khashei-Siuki and A. Shahidi. 2018. Effect of Treated Wastewater on Soil Chemical Properties under Cotton Cultivation. *Journal of Water and Wastewater Science and Engineering* 3 (2): 61-68 (in Farsi).
11. Choopan, Y., S. Emami and M. Hesam. 2018. Study the Effect of Irrigation with Industrial Wastewater on Soil Chemical Properties (Case Study: Torbat-Heydarieh). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 4(12): 862-871 (in Farsi).
12. Choopan, Y. and S. Emami. 2018. Evaluation of Physical, Chemical and Biological Properties of Torbat-Heidariyeh municipal wastewater treatment plant effluent for agricultural use. *Quarterly Journal of Research in Environmental Health* 4(3): 236-227 (in Farsi).
13. dehkadeco.com/experiment-of-soil/
14. Elgallal, M., L. Fletcher and B. Evans. 2016. Assessment of potential risks associated with chemicals in wastewater used for irrigation in arid and semiarid zones: a review. *Journal of Agricultural Water Management* 177: 419-431.
15. Farmanifard, M., H. Ghamarnia, M. Pirsaheb and N. Fatahi. 2017. The effect of long-term irrigation with Kermanshah urban sewage on some physical properties of the soil. *Journal of Water Research in Agriculture* 31(3): 493-508 (in Farsi).
16. Ghazanshahi, J. 2006. Soil and plant analysis. Ayizh publication, Tehran. 311p (in Farsi).
17. Ibekwe, A.M., A. Gonzalez-Rubio and D. L. Suarez. 2018. Impact of treated wastewater for irrigation on soil microbial communities. *Journal of Science of the Total Environment* 622: 1603-1610.
18. Jahany, M. and S. Rezapour. 2020. Assessment of the quality indices of soils irrigated with treated wastewater in a calcareous semi-arid environment. *Journal of Ecological Indicators* 109: 105800.
19. Khodadadi, N., S. Ghorbani-Dashtaki and S. Kiani. 2015.The Effects of Quality of Irrigation Water on Selected Soil Physical Properties in Rice Cultivation Lands (*Oryza Sativa*). *Journal of Water and Soil Resources Conservation* 4(3): 15-28 (in Farsi).
20. Mollaei, R., J. Abedi Koupai and S.S. Eslamian. 2016. Effect of Zeolite on Cadmium Uptake By Spinach (Spinacia Oleares L.) in Wastewater Irrigation. *Journal of Water and Soil Science* 20 (75) :15-25.
21. Qian, Y.L. and B. Mecham. 2005. Long-term effects of recycled wastewater irrigation on soil chemical properties on golf course fairways. *Agronomy Journal* 97 (3): 717-721.
22. Rezapour, S., A. Taghipour and A. Samadi. 2013. Modifications in selected soil attributes as influenced by long-term continuous cropping in a calcareous semiarid environment. *Journal of Natural Hazards* 69: 1951-1966.
23. Rezapour, S., B. Atashpaz, S. S. Moghaddam and C. A. Damalas. 2019. Heavy metal bioavailability and accumulation in winter wheat (*Triticum aestivum L.*) irrigated with treated wastewater in calcareous soils. *Journal of Science of the Total Environment* 656: 261-269.
24. Singh, A. 2021. A review of wastewater irrigation: Environmental implications. *Journal of Resources, Conservation and Recycling* 168: 105454.
25. World Health Organization (WHO). 2006. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. WHO Policy and Regulatory Aspects, 1.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 28, No. 2, Summer 2024, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Investigating the interaction Effect of Irrigation Water Quality and Type of Irrigation System on the Soil Physical and Chemical Properties under the Conditions of Using Treated Municipal Wastewater

Y. Choopan[1*] and H. Arianpour[2]

(Received: October 13-2023 ; Accepted: April 27-2024)

Abstract

Reducing the effects of the misuse of urban wastewater is to use it in agriculture along with the subsurface irrigation system, which effects on the soil also require extensive investigations. Therefore, the present research was performed in a randomized complete block design with two factors of the type of irrigation source (well water W1 and treated urban wastewater W2) and the type of irrigation system (surface S1 and subsurface drip S2) in three replications (R) for a soil depth of 0-40 centimeter during two crop seasons. The results showed that the potassium, sodium, salinity, and sodium absorption ratio were significant at the 1% probability level in the comparison of system type and irrigation source type, whereas the values of pH, calcium, and magnesium were not significant in the comparison of system type and irrigation source type. The lowest value of calcium, magnesium, sodium cations, chlorine, phosphate, and sulfate anions was obtained in the W1S1 treatment. Also, the highest parameters of salinity, calcium, magnesium, phosphate, potassium, and chlorine were observed for the W2S2 treatment. It can be concluded that irrigation with urban wastewater has improved the chemical properties of the soil, and the type of irrigation system has had minor changes.

Keywords: Treated wastewater, Subsurface system, Soil chemistry, Soil reaction

1. Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
2. Water and Soil Laboratory, Saffron Research Institute, Torbat Heydarieh University, Torbat Heydarieh, Iran.
*: Corresponding author, Email: Yahyachoopan68@gmail.com