ارزیابی ویژگی‌های شیمیایی خاک تحت تأثیر آبیاری با پساب خام صنعتی و پساب فاضلاب تصفیه شده شهری

یحیی چوپان[۱]، سمیّه امامی[۲]*

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۲/۱۷ تاریخ پذیرش:۹۷/۶/۲

چکیده

به‌منظور بررسی اثرات آبیاری با پساب خام صنعتی (کارخانه قند) و پساب فاضلاب تصفیه شده شهری بر خواص شیمیایی خاک، پژوهشی به‌صورت مقایسه‌ای در اراضی کشاورزی روستای بوری‌آباد شهرستان تربت حیدریه صورت گرفت. پژوهش حاضر در قالب آزمایش‌های مزرعه‌ای با طرح بلوک کامل تصادفی به‌ترتیب با پنج تیمار ((آب چاه (T_1)، پساب فاضلاب تصفیه شده شهری (T_2)، ترکیب ٪۳۳ آب چاه و ٪۶۶ پساب تصفیه شده فاضلاب شهری (T_3)، پساب خام صنعتی (T_4) و ترکیب آب و پساب خام صنعتی (با درصد اختلاط یک به هفت (T_5)) و سه تکرار (R) در عمق ۴۰-۰ سانتی‌متری خاک طی سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. نتایج به‌دست آمده از تحلیل‌های آماری نشان داد پارامترهای اسیدیته، شوری، نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گروه‌های مختلف آماری قرار گرفتند که دارای تفاوت معنی‌داری بودند، ولی همه پارامترها در حد استاندارد برای آبیاری محصولات زراعی می‌باشند. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار شوری خاک تحت تیمارهای پژوهش حاضر، در تیمارهای T_4 و T_5 به ترتیب با مقادیر ۴/۲ و ۳/۹ دسی زیمنس بر متر شد. هم‌چنین بیش‌ترین مقادیر نیتروژن، پتاسیم و فسفر به‌ترتیب با مقدار ۱/۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم، ۴۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار T_2 و ۷/۸۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار T_3 مشاهده شد. با توجه به نتایج مقایسه‌های صورت گرفته، می‌توان بیان نمود که آبیاری با پساب خام صنعتی و پساب فاضلاب تصفیه شده شهری بر خصوصیات شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه، تأثیر مخربی ندارد.

کلمات کلیدی: آبیاری، پساب صنعتی، فاضلاب شهری، خواص شیمیایی خاک.

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲- نویسنده مسئول: دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه تبریز Email: somayehemami70@gmail.com

مقدمه

خصوصیات اقلیمی حاکم بر مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، شرایط حساس و شکننده‌ای را در این منطقه ایجاد کرده است. کاهش کمیت و کیفیت منابع آب و خاک، خشکسالی‌های پیاپی و از طرفی تولید مضاعف فاضلاب‌های تولیدی، موجبات لزوم استفاده از پساب‌های صنعتی و پساب فاضلاب تصفیه شده شهری تولیدی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک را فراهم نموده است. پساب‌ها بسته به نوع منبع تولید آن نه تنها حاوی عناصر غذایی و مواد آلی بوده، بلکه حاوی عناصر سنگینی هستند که می‌توانند برای مدت طولانی در خاک باقی مانده و با گذشت زمان غلظت آن‌ها در خاک زیاد شود (۱۸). چنان‌چه حتی قسمتی از فاضلاب‌های صنعتی با فاضلاب شهری ادغام شوند، به نسبت میزان آلودگی و نوع صنعت، ممکن است عناصر و مواد سمی گوناگونی وارد فاضلاب شهری شده و از کیفیت آن برای آبیاری اراضی کاسته گردد. تنها غلظت فلزات سنگین در خاک، برای پیش‌بینی وضعیت جذب آن‌ها توسط گیاه کافی نیست، بلکه در بررسی آلودگی سیستم پیچیده گیاه خاک بایستی به ویژگی‌های شیمیایی خاک، نیز توجه داشت. بنابراین کاربرد فاضلاب در کشاورزی، هر چند باعث ورود عناصر کودی مورد نیاز گیاه به خاک می‌گردد، لیکن ممکن است برخی مخاطرات بهداشتی را به‌همراه داشته باشد. به‌همین دلیل تصفیه مناسب فاضلاب قبل از کاربرد زراعی جهت حصول استانداردهای مرتبط با محیط‌زیست و سلامتی ضرورت می‌یابد. میزان تصفیه مورد نیاز و کیفیت پساب تولیدی به نوع مصرف، نوع محصول کشت شده، وضعیت خاک، عمق آب زیرزمینی و سیستم آبیاری انتخاب شده بستگی دارد (۷). تاکنون به‌منظور بررسی اثرات آبیاری با پساب خام و پساب فاضلاب تصفیه شده شهری در مناطق مختلف ایران و جهان بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، مطالعات متعددی صورت گرفته است.

حیدرپور و همکاران (۲۰۰۷) با بررسی اثر استفاده از پساب فاضلاب تصفیه شده بر روی خصوصیات شیمیایی خاک از جمله، هدایت الکتریکی، سدیم، کلسیم، منیزیم محلول، نیتروژن، فسفر و پتاسیم در دو نوع آبیاری سطحی و زیرسطحی نتیجه گرفتند استفاده از آبیاری زیرسطحی باعث افزایش هدایت الکتریکی، سدیم و منیزیم محلول در لایه سطحی خاک گردیده، هرچند تغییرات مشاهده شده در پارامترهای بافت خاک، چگالی حقیقی، تخلخل و نفوذ آب معنی‌دار نبود.

کیوشلاقی و همکاران (۲۰۰۸) گزارش نمودند که آبیاری اراضی کشاورزی با پساب‌های تصفیه نشده سبب افزایش ۲۰ تا ۳۰ درصدی ماده آلی خاک و نیز سبب افزایش غلظت عناصر سنگین در خاک می‌شود. پژوهش‌های متعددی به‌منظور ارزیابی اثر

کاربرد پساب بر غلظت فلزات سنگین در خاک و محصولات مختلف انجام شده است (۲).

نتایج مطالعه‌ی ر ضاپور و همکاران (۲۰۱۲) با عنوان واکنش خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک پس از یک دوره‌ی طولانی‌مدت آبیاری با پساب در مناطق نیمه‌خشک نشان داد به‌کارگیری پساب به‌منظور آبیاری باعث افزایش ۸۰ درصدی هدایت هیدرولیکی، ۳۵۰ درصدی کربن‌آلی، ۱۰۰ درصدی نیتروژن و ۳۰۰ درصدی پتاسیم گردید. کریم‌زاده و همکاران (۲۰۱۲) اظهار داشتند که استفاده از پساب در آبیاری موجب کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک و افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک می‌گردد. کریم‌زاده (۲۰۱۲) در نتایج پژوهشی خود نشان داد تأثیر آبیاری با پساب بر میزان کاهش هدایت هیدرولیکی‌ا شباع در خاک در شت‌دانه کم‌تر از خاک ریزدانه می‌باشد. دلیل این امر ناشی از گرفتگی منافذ ریز خاک توسط مواد معلق موجود در پساب در خاک‌های ریزدانه است. هم‌چنین وی نتیجه گرفت در صورت استفاده از پساب با غلظت مواد معلق TSS=60 میلی‌گرم بر لیتر، کاهش K_s حتی در خاک‌های ریزدانه کم‌تر از ۱۰ در صد می‌باشد. ساچت و مارچنز (۲۰۱۵) نتیجه گرفتند آبیاری در کشاورزی در مناطق مواجه با تنش و کمبود آب، باعث کاهش فشار بر منابع آب موجود شده و اجازه می‌دهد تا منابع آب با کیفیت جهت مصارف دیگر و توسعه زیر ساخت‌های امنیت و سلامت اختصاص یابد.

حسن و همکاران (۲۰۱۵) نتیجه گرفتند استفاده از پساب جهت آبیاری اراضی کشاورزی یک استراتژی مهم جهت بهبود و حفظ منابع آب در دسترس می‌باشد. خدادادی و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی اثر آبیاری با پساب‌های شهری و صنعتی (به مدت هشت سال) و آب رودخانه (بیست سال) بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک در زمین‌های کشاورزی منطقه زرین شهر لنجان گزارش کردند که آبیاری با پساب‌های شهری و صنعتی موجب افزایش جرم مخصوص ظاهری و هم‌چنین باعث کاهش هدایت هیدرولیکی خاک، نفوذپذیری و دوکوهانه شدن منحنی رطوبتی خاک گردیده است. فرمانی‌فرد و همکاران (۱۳۹۶) تأثیر آبیاری بلند مدت با پساب فاضلاب تصفیه شده شهری کرمانشاه بر برخی خصوصیات فیزیکی خاک را مورد بررسی قرار دادند. به این منظور، خصوصیات خاک شامل هدایت هیدرولیکی اشباع، منحنی مشخصه رطوبتی و نقاط رطوبتی، جرم مخصوص حقیقی و ظاهری و تخلخل خاک در سه لایه تا عمق ۹۰ سانتی‌متری، در قالب طرح تجزیه مرکب دو ساله و آزمایش کرت‌های خرد شده در سه تکرار بررسی شد. نتایج نشان داد تحت تأثیر آبیاری با پساب، جرم مخصوص ظاهری لایه سطحی خاک کاهش و جرم مخصوص حقیقی آن افزایش یافت. هم‌چنین تخلخل کل خاک در لایه‌های اول و دوم نسبت به تیمار شاهد کم‌تر بود، ولی در لایه ۹۰-۶۰ سانتی‌متری افزایش نشان داد.

چوپان و امامی (۱۳۹۷) با بررسی خصوصیات شیمیایی خاک تحت تأثیر آبیاری

با پساب خام کارخانه قند و تنش کم‌آبی بیان داشتند که آبیاری با پساب خام کارخانه قند و اعمال تنش کم‌آبی، به‌طور تقریبی خصوصیات شیمیایی خاک را بهبود می‌بخشد.

چوپان و همکاران (۱۳۹۷) خصوصیات شیمیایی خاک تحت تأثیر آبیاری با پساب صنعتی تصفیه نشده را مورد بررسی قرار دادند. نتایج به‌دست آمده از تحلیل‌های آماری نشان داد تنش آبی و نوع آب آبیاری بر یون‌های پتاسیم، فسفر، نیتروژن و شوری در سطح احتمال یک درصد و بر میزان اسیدیته در سطح احتمال ۵ در صد تأثیر معنی‌دار داشته است. بیش‌ترین مقدار یون‌های پتاسیم، فسفر، نیتروژن، شوری و میزان اسیدیته با مقدار ۳۵۴ کیلوگرم و ۷/۹ و کم‌ترین مقدار یون‌های پتاسیم، فسفر، نیتروژن و میزان اسیدیته با مقدار ۱۰۳ کیلوگرم و ۷/۲ مشاهده شد.

در مطالعات انجام شده نشان داده شده است که استفاده از پساب خام و نیز پساب فاضلاب تصفیه شده شهری منجر به بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌گردد. شهرستان تربت‌حیدریه با توجه به قرار گرفتن در اقلیم خشک و سرد و در عین حال دارا بودن اراضی مستعد کشاورزی، با کمبود منابع آب روبه روست، لذا استفاده از منابع آب‌های غیر متعارف همانند پساب‌ها، در این منطقه امری ضروری می‌باشد. در پژوهش حاضر، نقش اصلاحی یا تخریبی پساب خام صنعتی و پساب فاضلاب تصفیه شده شهری بر برخی خصوصیات مهم خاک در منطقه تربت‌حیدریه مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به مطالب ذکر شده دستیابی به پاسخ‌های زیر مدنظر می‌باشد: آبیاری با پساب خام صنعتی و پساب فاضلاب تصفیه شده شهری چه تأثیری بر روی خصوصیات شیمیایی خاک منطقه داشته است؟ و دیگر این‌که کدام‌یک از این دو نوع آبیاری جهت استفاده و بهبود خصوصیات خاک مناسب‌تر است؟

روش تحقیق

پژوهش حاضر در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در اراضی کشاورزی روستای بوری‌آباد شهرستان تربت حیدریه انجام شد. آبیاری توسط یک حلقه چاه، تانکر جهت ذخیره و تلفیق پساب خام صنعتی و پساب فاضلاب تصفیه شده شهری در مواقع نیاز صورت می‌گرفت. تیمارهای مورد استفاده شامل آب چاه (T_1)، پساب فاضلاب شهری (T_2)، ترکیب ۳۳٪ آب چاه و ۶۶٪ پساب فاضلاب تصفیه شده شهری (T_3)، پساب خام صنعتی (T_4)، ترکیب آب و پساب خام صنعتی (با درصد اختلاط یک به هفت) (T_5) بودند.

هدایت الکتریکی پساب، آب، ترکیب آب و پساب خام صنعتی و پساب فاضلاب تصفیه شده شهری با استفاده از دستگاه EC متر در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، اسیدیته با دستگاه پی اچ سنج، کلر با روش موهر (نیترات نقره)، شوری با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج، 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 و پتاسیم با روش اسپکتوفتومتری در طول موج ۷۶۶ و نیترات با روش اسپکتوفتومتری در طول موج ۲۲۰ اندازه‌گیری شدند.

مقدار نیاز آبی با استفاده از نرم‌افزار NETWAT محاسبه و به‌وسیله کنتور حجمی و دقیق تحویل کرت‌ها شد. سیستم آبیاری مورد استفاده نیز به‌صورت کرتی و فاصله کرت‌ها در هر دو نوع محصول یک متر و فاصله بلوک ها از یکدیگر ۲ متر اختیار گردید. در جدول ۱، آنالیز شیمیایی آب، پساب خام صنعتی، ترکیب آب و پساب، آب چاه و پساب فاضلاب تصفیه شده شهری ارائه شده است.

هم‌چنین با توجه به آن که معیار کشت انجام کشت در منطقه مورد مطالعه به وسعت زیاد بود، از این‌رو، به دلیل کشت زیاد و استفاده از پساب جهت آبیاری و حصول نتایج، خاک با ۵۸ درصد شن جهت کشت اختصاص یافت. در جدول ۲، آنالیز شیمیایی و فیزیکی خاک قبل از انجام پژوهش در عمق (۰-۴۰) سانتی‌متری از سطح زمین برای محصولات زیر کشت آورده شده است.

جدول ۱- آنالیز شیمیایی آب معمولی، پساب و ترکیب آب و پساب خام صنعتی (با در صد اختلاط یک به هفت) و پساب فاضلاب تصفیه شده شهری

نوع آزمایش	واحد	آب معمولی	پساب خام صنعتی	ترکیب آب و پساب	پساب فاضلاب شهری
هدایت الکتریکی	dS/m	۲/۵	۲۰	۵	۱/۶
اسیدیته	-	۶/۸	۱۲/۱	۱۰/۷	۷/۴
کلسیم	meq/lit	۱/۲	۶۸	۱۰	۵۲/۸
منیزیم	meq/lit	۲/۸	۶۲	۳/۴	۳۵/۵
سدیم	meq/lit	۱۸/۴	۶۵/۲	۲۵/۷۴	۳۹/۲۴
کربنات	meq/lit	۰	۱۵	۱/۳	-
بی کربنات	meq/lit	۳/۴	۸/۵	۳/۴	-
کلر	meq/lit	۱۰/۵	۵۷	۳۰/۵	۶۰/۸
سولفات	meq/lit	۱۰/۸	۱۲۰/۴	۷/۸۳	۸۴/۹

جدول ۲- آنالیز شیمیایی و فیزیکی خاک قبل از انجام تحقیق در عمق (۴۰- ۰) سانتی‌متری از سطح زمین

نوع آزمایش	واحد اندازه‌گیری	نتایج آزمایش
پتاسیم	mg/Kg	۱۷۵
فسفر	mg/Kg	۵/۳
نیتروژن	mg/Kg	۱/۱
شوری	dS/m	۶/۳
اسیدیته	-	۷/۶
آهک	%	۱۸/۷۵
مواد آلی	%	۰/۰۸۱
شن	%	۵۸
رس	%	۹
سیلت	%	۳۳
درصد اشباع	%	۲۷/۹

نتایج و بحث

در جدول ۳، نتایج مقایسه میانگین صفات شوری، اسیدیته، فسفر، پتاسیم و نیتروژن تحت تیمارهای آزمایشی برای حالت آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده شهری و پساب خام صنعتی ارائه شده است.

جدول ۳- مقایسه میانگین آنالیز شیمیایی خاک تحت تیمارهای آزمایشی

پارامتر	فسفر	نیتروژن	پتاسیم	شوری	اسیدیته (-)
تیمار	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	dS/m	
T_1	۷/۸۸c	۱/۲۳a	۵۰۰a	۳/۲۳d	۸/۹۲a
T_2	۷/۸۵c	۱/۰۶b	۴۸۶a	۳/۲d	۸/۷a
T_3	۸/۰۳c	۰/۹۸c	۴۹۰a	۳/۵c	۸/۸۲a
T_4	۳۹a	۰/۸۲d	۲۰۹/۲b	۴/۲a	۷/۲ c
T_5	۱۹/۲b	۰/۸d	۱۶۷/۷ c	۳/۹b	۷/۸۵b

اعداد با ضرایب مشترک در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنادار آماری نشان ندادند.

نتایج حاصله نشان داد که تأثیر نوع آب آبیاری بر یون‌های پتاسیم، فسفر، نیتروژن و شوری در سطح احتمال یک درصد و بر میزان اسیدیته در سطح احتمال ۵ در صد، معنی‌دار است. هم‌چنین بر اساس نتایج جدول ۳، پساب فاضلاب تصفیه شده شهری بر خواص خاک اثر مخربی نداشته و کاتیون‌ها و آنیون‌های خاک تغییراتی در حد نرمال و مجاز استاندار آبیاری و کشت گیاهان دارند (مطابق استانداردهای کیفی پساب فاضلاب‌های تصفیه شده مورد استفاده در آبیاری (FAO) ارائه شده در جدول ۴)، به‌طوری‌که پارامترهای نیتروژن، پتاسیم و فسفر در تیمارهای مختلف در یک گروه آماری

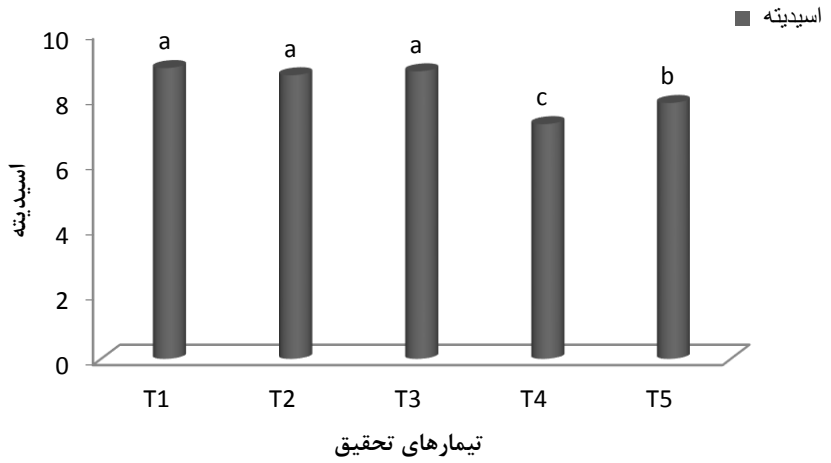
قرار گرفته و اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای پژوهش مشاهده نشده است.

جدول ۴- استانداردهای کیفی پساب فاضلاب‌های تصفیه شده مورد استفاده در آبیاری (FAO)

پارامتر	واحد	مقدار حد مجاز
نیتروژن	mg/Kg	۵
فسفر	mg/Kg	۱۵
پتاسیم	mg/Kg	۵۰۰
شوری	dS/m	۴-۳/۲
اسیدیته	-	۸-۶/۵

اسیدیته

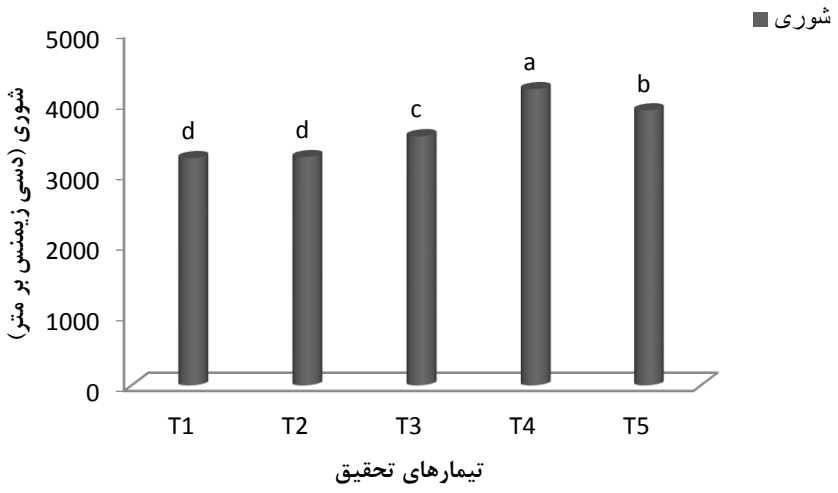
مهم‌ترین نقش اسیدیته خاک کنترل حلالیت عناصر غذایی در خاک می‌باشد. یک خاک را هنگامی می‌توان اسیدی در نظر گرفت که در بخش قابل توجهی از ظرفیت تبادل کاتیونی آن، آلومینیوم و هیدروژن به جای یون‌های بازی کلسیم، منیزیم، پتاسیم و سدیم قرار گرفته باشند (۱۷). جایگزینی آلومینیوم و هیدروژن به جای یون ها، باعث می‌گردد این یون‌ها از پروفیل خاک شسته شده و به اعماق پایین‌تر حرکت نمایند. خاک‌های اسیدی دارای pH کم‌تر از ۵/۶ می‌باشند (۴). براساس نتایج آنالیز شیمیایی خاک تحت تیمارهای پژوهش، اسیدیته در تیمارهای پژوهش حاضر تغییرات کمی داشته و در محدوده ۷/۲ تا ۸/۸۲ قرار گرفته و مشکلی برای کشاورزی گیاهان و خاک تحت کشت محصولات ایجاد نمی‌کند (شکل ۱). نتایج نشان داد میزان اسیدیته تیمارهای پساب نسبت به تیمار شاهد با کاهش ۱/۱ درصدی مواجه بودند که این امر ممکن است به‌دلیل وجود املاح و مواد معدنی در این نوع منابع باشد.



شکل ۱- مقدار اسیدیته در تیمارهای مورد بررسی

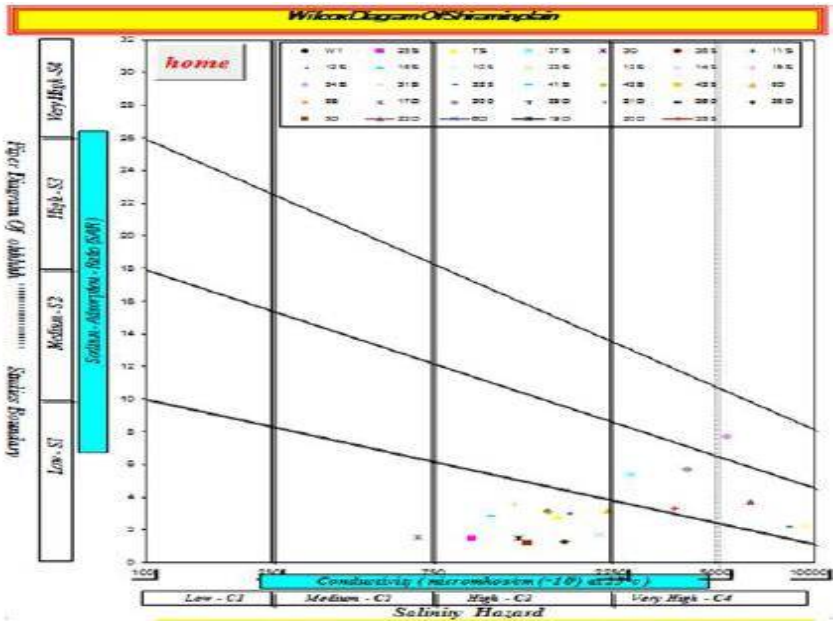
شوری

خاک‌هایی که EC، آن‌ها بیش از ۴dS/m باشد جزو خاک‌های شور طبقه‌بندی می‌شوند. عامل اصلی به‌وجود آمدن شوری عنصر سدیم می‌باشد. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار شوری خاک تحت تیمارهای پژوهش حاضر، در تیمارهای T_4 و T_5 به ترتیب با مقادیر ۴/۲ و ۳/۹ دسی زیمنس بر متر برای حالت استفاده از پساب خام صنعتی حاصل شد (شکل ۲).



شکل ۲- مقدار شوری در تیمارهای مورد بررسی

براساس جدول ۵ و نمودار ویلکاس (شکل ۳)، شوری خاک در این محدوده مانعی برای کشاورزی ایجاد نمی‌کند.

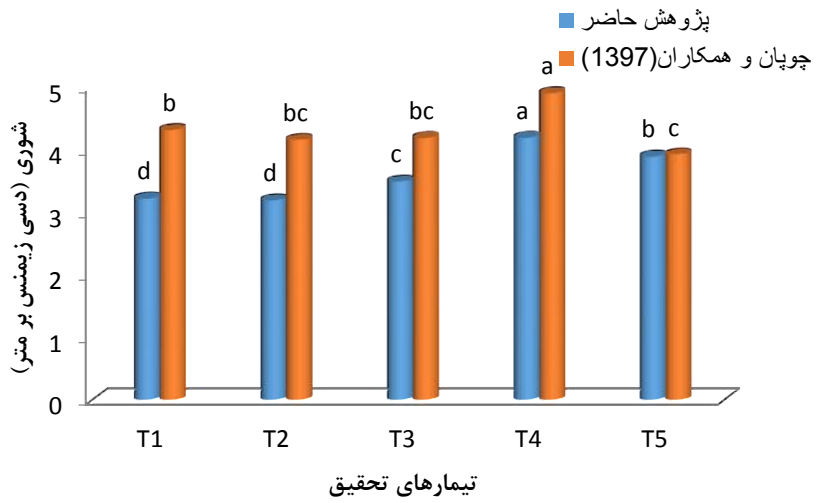


شکل ۳- نمودار ویلکاس آنالیز شیمیایی منطقه تربت‌حیدریه

جدول ۵- طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی بر اساس معیار ویلکاکس

طبقه	حدود EC	طبقه	حدود SAR
۲۵۰-۰	عالی C1	۱۰-۰	عالی S1
۷۵۰-۲۵۰	خوب C2	۱۸-۱۰	خوب S2
۲۲۵۰-۷۵۰	متوسط C3	۲۶-۱۸	متوسط S3
۵۰۰۰-۲۲۵۰	ضعیف C4	۳۲-۲۶	ضعیف S4

هم‌چنین نتایج حاصله نشان داد که آبیاری با پساب خام صنعتی شوری بیش‌تری نسبت به پساب فاضلاب تصفیه شده شهری دارد. میزان شوری تیمارهای پساب نسبت به تیمار شاهد با افزایش ۳۰ درصدی روبه‌رو بود. احتمالا تغییرات شوری تیمارهای پساب نسبت به تیمار شاهد، به‌دلیل وجود املاح و مواد معدنی در این نوع منابع باشد یا ویژگی‌های ذاتی خاک سبب این تغییر گردد. نتایج حاصل از پژوهش حاضر با نتایج به‌دست آمده از مطالعات پژوهشگرانی هم‌چون آقابراتی و همکاران (۱۳۸۸)، حسین‌پور و همکاران (۱۳۸۶)، شارما و همکاران (۲۰۰۷) و چوپان و همکاران (۱۳۹۷) هم‌خوانی دارد (شکل ۴).

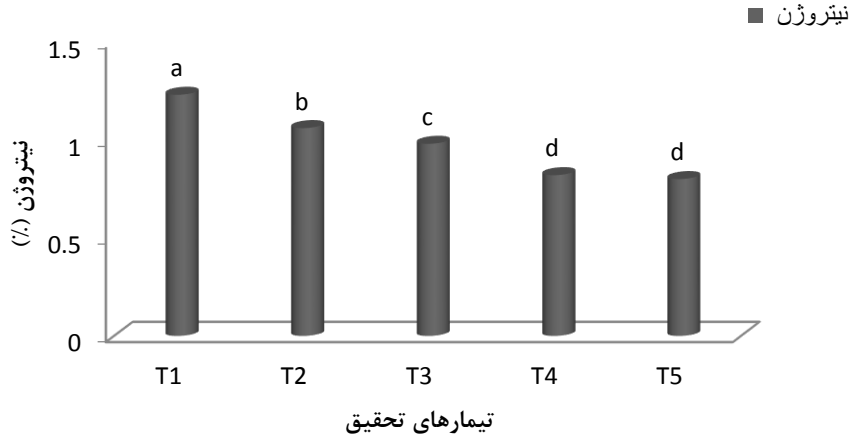


شکل ۴- مقایسه‌ی مقدار شوری (پژوهش حاضر با نتایج پژوهش‌های دیگر)

هم‌چنین نتایج تحقیقات صفری‌سنجانی و حاجی‌رسولی‌ها (۲۰۰۱)، نیز نشان داد که آبیاری با پساب باعث شده است که خاک‌های شور و سدیمی، به یک خاک مناسب برای کشاورزی تبدیل شده و این کار باعث افزایش چشم‌گیر مواد آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل جذب لایه صفر تا ۴۰ سانتی‌متری خاک گردد. بر اساس نتایج پژوهش حاضر، آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده شهری باعث کاهش شوری خاک به میزان ۴۵٪ مقدار اولیه خاک قبل از کشت گردید.

نیتروژن

میزان نیتروژن در خاک‌های زراعی از ۰/۰۶ تا ۰/۵ درصد متغیر است. نتایج نشان دادند عنصر نیتروژن در محدوده مجاز برای استفاده از خاک تحت تیمارهای پژوهش جهت کشاورزی محصولات کشاورزی بوده و تأثیر نامطلوبی بر گیاه نخواهد نداشتند (شکل ۵).



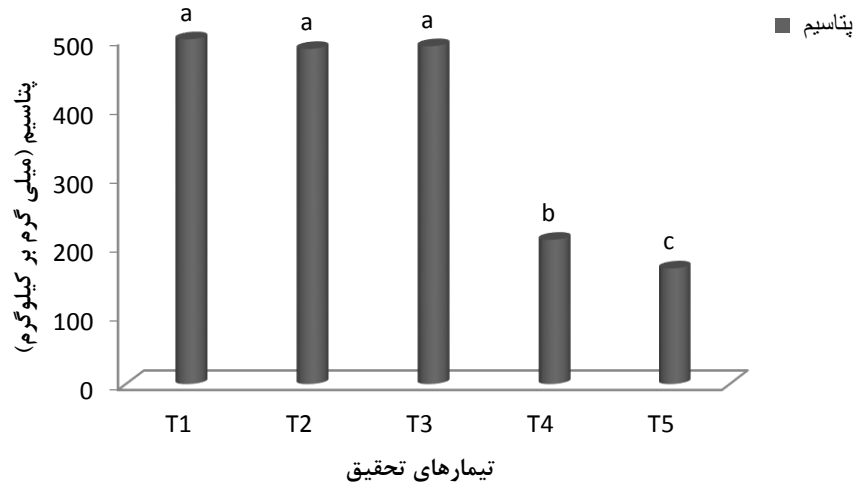
شکل ۵- مقدار نیتروژن در تیمارهای مورد بررسی

بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار نیتروژن به‌ترتیب در تیمارهای T_2 و T_5 با مقادیر ۱/۰۶ و ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده گردید. هم‌چنین میزان نیتروژن در تیمارهای پساب و ترکیب آب و پساب افزایش قابل توجهی رانشان نداد که می‌توان گفت پساب بر نیتروژن خاک تأثیری نداشت. این امر می‌تواند به‌دلیل کاهش رطوبت و انحلال نیتروژن در خاک و عدم استفاده آن توسط گیاه باشد (آقابراتی و همکاران، ۱۳۸۸، حسین‌پور و همکاران، ۱۳۸۶، شارما و همکاران، ۲۰۰۷ و چوپان و همکاران، ۱۳۹۷). نشان داد که میزان نیتروژن تیمارهای پساب نسبت به تیمار شاهد نسبت با کاهش ۱۳/۸ درصدی مواجه بود (شکل ۶).

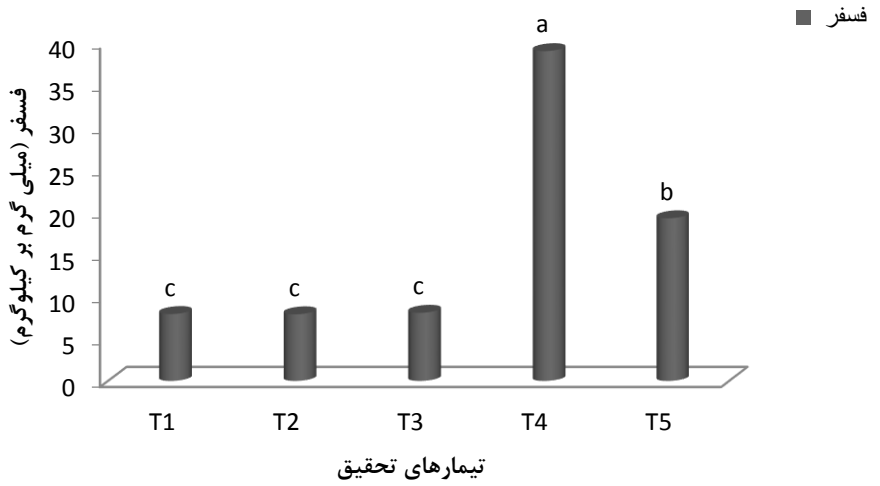
شکل ۶- مقایسه‌ی مقدار نیتروژن (پژوهش حاضر با نتایج پژوهش‌های دیگر)

عناصر فسفر و پتاسیم

نتایج مقایسه‌های انجام گرفته نشان داد در تیمارهای آبیاری با پساب خام صنعتی (T_4 و T_5)، مقدار یون‌های پتاسیم و فسفر خاک تیمارهای تحت مطالعه در گروه‌های مختلف آماری قرار گرفت (شکل۵، ب). در حالت آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده شهری نسبت به آبیاری با پساب خام صنعتی، مقدار پتاسیم و فسفر به ترتیب روند افزایشی و کاهشی داشتند و این امر می‌تواند به دلیل میزان تغییرات مقادیر عنصرهای Mg و Ca در پساب باشد (شکل‌های ۷ و ۸).



شکل ۷- مقدار پتاسیم در تیمارهای مورد بررسی



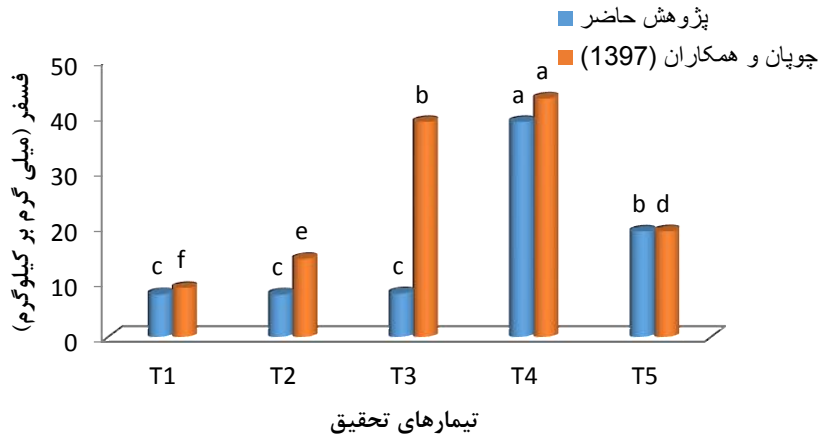
شکل ۸- مقدار فسفر در تیمارهای مورد بررسی

تجمع عناصر Mg و Ca در خاک، باعث بهبود شرایط فیزیکی خاک و رشد گیاه شده، اما موجبات ا ستفاده کم‌تر پتا سیم در واکنش‌های شیمیایی و فعالیت‌های درونی خاک را نیز فراهم می‌نماید. فسفر به‌دلیل داشتن بار منفی، با ایجاد واکنش با عناصر Mg و Ca موجود در پساب، در خاک تثبیت می‌شود.

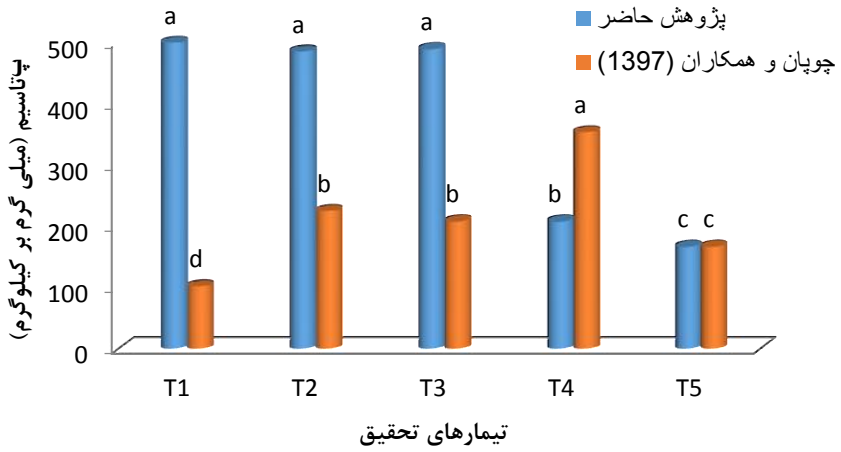
هم‌چنین نتایج نشان داد که میزان پتاسیم تیمارهای پساب نسبت به تیمار شاهد کاهش ۲ درصدی را دارا بود. میزان فسفر تیمارهای پساب نیز نسبت به تیمار شاهد با افزایش ۷۹ درصدی مواجه بود که این امر به‌خاطر وجود مقادیر زیاد عناصر Mg و Ca در پساب‌ها می‌باشد. نتایج حاصله با نتایج پژوهشگران (آ قابراتی و هم کاران، ۱۳۸۸، حسین‌پور و همکاران، ۱۳۸۶، شارما و همکاران، ۲۰۰۷، جلالی و همکاران، ۲۰۰۸ و چوپان و همکاران، ۱۳۹۷) هم‌خوانی دارد.

با توجه به نتایج حا صل از آزمایش‌های صورت گرف ته، بیش‌ترین و کم‌ترین م قدار یون های

پتاسیم و فسفر در تیمارهای پژوهش حاضر، به ترتیب در تیمارهای T_3 و T_2 با مقادیر ۴۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ۷/۸۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد (شکل‌های ۵ و ۶). هم‌چنین نتایج حاصله از پژوهش حاضر با نتایج محققین (آقابراتی و همکاران، ۱۳۸۸، حسین‌پور و همکاران، ۱۳۸۶، شار ما و همکاران، ۲۰۰۷، جلالی و همکاران، ۲۰۰۸ و چوپان و همکاران، ۱۳۹۷) هم‌خوانی دارد (شکل‌های ۹ و ۱۰).



شکل ۹- مقایسه‌ی مقدار فسفر (پژوهش حاضر با نتایج پژوهش‌های دیگر)



شکل ۱۰- مقایسه‌ی مقدار پتاسیم (پژوهش حاضر با نتایج پژوهش‌های دیگر)

نتیجه‌گیری

براساس نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر، در این تحقیق آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده شهری علاوه بر کاهش شوری خاک به ٪۴۵ مقدار اولیه خاک قبل از کشت، باعث افزایش نیتروژن، فسفر و پتاسیم شده که این امر سبب بهبود وضعیت خاک می‌گردد. مقایسه‌های انجام گرفته نشان داد که آبیاری با پساب خام صنعتی نیز باعث افزایش مقادیر پتاسیم و فسفر و عدم تغییر شوری و اسیدیته

خاک می‌گردد، ولی میزان این افزایش عناصر نسبت به آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده شهری، درصد پایین‌تری می‌باشد. نتایج حاصل بیانگر این است که آبیاری با پساب خام صنعتی و نیز پساب فاضلاب تصفیه شده شهری، باعث بهبود خصوصیات شیمیایی خاک مزارع تحت کشت گردید. بر اساس مشاهدات صورت گرفته از پژوهش حاضر، در حالت کلی می‌توان اظهار نمود پساب فاضلاب تصفیه شده شهری اثر مؤثرتری نسبت به پساب خام صنعتی بر خاک منطقه مورد مطالعه (تربت‌حیدریه) داشته است و براساس نتایج مشکلی برای کشاورزی محصولات ساقه‌دار را نا شی نمی شود. لازم به‌ذکر ا ست این مطالعه بر اساس آمار و اطلاعات جمع‌آوری شده از منطقه‌ی تربت‌حیدر یه انجام گرفت و قابل تعمیم برای سایر مناطق می‌باشد.

Refernces:

1. Agh-Barati, A., S. M. Hoseini, A. Esmaili, & 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. Choopan, Y., S. Emami, S. & M. Hesam, 2018. Study of the Effect of Irrigation with Industrial Wastewater on Soil Chemical Properties (Case Study: Torbat-Heydarieh). Water and Drainage Journal. (In Persian)
3. Choopan, Y. & S. Emami, 2018. Investigation of Soil Chemical Properties under Irrigation with Sugar Factory Raw Wastewater and Water Stress. Journal of Natural Ecosystems of Iran.
4. Cregan, P. 2006. The Acid Soil Problem Defined. New South Wales Department of Agriculture.
5. Farmanifard, M., H. Ghamarnia, M. Pirsaheb, & N. Fatahi, 2017. Effect of long-term irrigation with refined urban wastewater from Kermanshah on some physical properties of soil. Water Research in Agriculture 31 (3): 493-508. (In Persian)
6. Jalali, M., H. Merikhpour, M. J. Kaledhonkar, & S. E. A. T. T. M. Vander-Zee, 2008. Effects of wastewater irrigation on soil sodicity and nutrient leaching in calcareous soils. Agriculture and Water Management 95: 143-153.
7. Hasan, H. I., M. Anwar, M. Battikhi, & M. Qrunfleh, 2015. Impacts of Treated Wastewater Reuse on Some Soil Properties and Production of Gladiolus Communis. Jordan Journal of Agriculture Science 11(4): 1103-1118.
8. Hassanoghli, A., 2004. Use of raw and treated domestic wastewater for irrigation of agricultural crops. Final research report. Agricultural Engineering Research Institute (AERI) 83: 806, 231 pages.
9. Heidarpour, M., B. Mostafazadeh-Fard, J. Abedi-Koupai, & R. Malekian, 2007. The effects of treated wastewater on soil chemical properties using subsurface and surface irrigation methods. Agricultural Water Management 90 (1-2): 87-94.
10. Hoseinpour, A., Q. H. Haghnia, A. Alizadeh, & A. Fotowwat, 2007. The irrigation effect of raw and refined sewage on soil chemical properties in various depths in

both continuous and alternative conditions. Irrigation and drainage journal 1 (2): 73-85.
11. http://areo.ir/
12. Karimzadeh, M., A. Alizadeh, M. & Mohammadi-Aria, 2012. The effects of irrigation with wastewater on soil saturation hydraulics conductivity. Water and soil journal 6: 1547-1553.
13. Khodadadi, N., Sh. Ghorbani Dashtaki, & Sh. Kiani, 2015. Effect of irrigation water quality on some physical properties of soil in rice cultivated land. Journal of Soil and Water Resources Conservation 4 (3): 15-28. (In Persian)
14. Qishlaqi A., F. Moore, & G. Forghani, 2008. Impact of untreated wastewater irrigation on soil and crops in Shiraz suburban area, SW Iran. Environment Monitoring Assessment 141: 257-273.
15. Rezapour, S., A. Samadi, & H. Khodaverdiloo, 2012. Impact of long-term wastewater irrigation on variability of soil attributes along a landscape, semi-arid region of Iran. Environmental Earth Sciences 67: 1713–1723.
16. Schacht, K. & B. Marschner, 2015. Treated wastewater irrigation effects on soil hydraulic conductivity and aggregate stability of loamy soils in Israel. Journal of Hydrology and Hydromechanic, 63 (1): 47–54. DOI: 10.1515/johh-2015-0010.
17. Schumann, B., 2007. The causes of soil acidity. New South Wales Acid Soil Action Program.
18. Selivanovskaya, Syu., V. Z. Latypova, S. N. Kiyamova, & F. K. Alimova, 2001. Use of microbial parameters to assess treatment methods of municipal sewage sludge applied to grey forest soils of Tatarstan. Agriculture. Ecosystems and Environment 86: 145-153.
19. Sharma, R., M. M. Agrawal, & F. Marshall, 1999. Heavy metal contamination of soil andvegetables in suburban areas of Varanasi, India. Eco-toxicology and Environmental Safety 66: 258-266.
20. FAO, 1989. Wastewater quality guidelines for agricultural use. Irrigation and Drainage paper.