مدیریت آب و آبیاری
دوره ۸ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۷
صفحه‌های ۲۶۵-۲۵۳

تأثیر سطوح مختلف آبیاری با پساب شهری بر تجمع برخی عناصر شیمیایی در خاک

اکرم حسین نژاد میر[۱]، عباس ملکی[۲*]، افسانه عالی‌نژادیان بیدآبادی[۳]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.
۲. استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.
۳. استادیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، ایران.

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۰۵/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۲۵

چکیده

امروزه به‌علت خشکسالی و کمبود آب استفاده از آب‌های نامتعارف به‌ویژه پساب حاصل از تصفیه فاضلاب شهری در کشاورزی اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. به‌این منظور این تحقیق با هدف بررسی اثرات پساب شهری بر تجمع عناصر شیمیایی نیتروژن، پتاسیم، فسفر و سدیم و همچنین میزان مواد آلی، pH و شوری خاک در کشت فلفل دلمه‌ای به‌صورت گلدانی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان صورت گرفت. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار آبیاری با ۱۰۰ درصد پساب (T_{100})، ۷۵ درصد پساب و ۲۵ درصد آب چاه (T_{75+25})، ۵۰ درصد پساب و ۵۰ درصد آب چاه (T_{50+50})، ۲۵ درصد پساب و ۷۵ درصد آب چاه (T_{25+75})، ۱۰۰ درصد آب چاه (T_{0+100}) و ۱۰۰ درصد آب چاه و کود شیمیایی ($T_{0+100+k}$) و سه تکرار در پاییز ۱۳۹۳ اجرا گردید. نتایج آزمایش نشان داد که اثر تیمارها بر تجمع فسفر، پتاسیم، سدیم، موادآلی، شوری و pH خاک در سطح یک درصد و نیتروژن در سطح پنج درصد دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشد. با افزایش درصد پساب در آب آبیاری (تیمار ۱۰۰ درصد پساب) نسبت به خاک قبل از کشت غلظت فسفر (۵۹ درصد)، پتاسیم قابل جذب (۲۰/۷ درصد)، نیتروژن کل (۲/۲۸ برابر) و مواد آلی (۱/۱ برابر) افزایش نشان داد و میزان pH (به‌جز در تیمار ۱۰۰درصد پساب) ۷/٤ درصد و شوری ۱۸ درصد کاهش یافت. علاوه بر آن، یافته‌ها بیانگر این است که با مصرف پساب به‌دلیل داشتن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه می‌توان با مدیریت صحیح در منطقه مورد مطالعه استفاده از کود شیمیایی را کاهش داد.

کلیدواژه‌ها: آب‌های نامتعارف، سدیم، فسفر، موادآلی، نیتروژن.

* نویسنده مسئول
Email: maleki.a@lu.ac.ir

مقدمه

وجود آب شیرین برای ادامه حیات بشر ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. این در حالی است که تنها سه درصد از کل آب‌های کره زمین، شیرین است و دو سوم از این سه درصد نیز در قطب‌ها به‌صورت یخ‌زده موجود می‌باشد. بنابراین تنها یک درصد از کل آب‌های کره زمین به‌صورت آب‌های سطحی و زیرزمینی قابل استفاده می‌باشد و آب‌های زیرزمینی ٦٥ درصد آن را شامل می‌شوند (٢٨). رشد روزافزون جمعیت و افزایش استانداردهای سطح زندگی باعث ایجاد محدودیت در استفاده از آب‌های شیرین برای کشاورزی شده است چرا که بخش عمده‌ای از آب قابل دسترس را مصرف می‌کند و در بلندمدت موضوع بحران آب به‌صورت یک مسأله جدی مطرح است. بنابراین توجه به منابع آب‌های غیرمتعارف مانند پساب و یا آب‌های شور و لب شور، یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است (١٠).

بررسی‌ها نشان داد بهترین شیوه دفع فاضلاب تصفیه‌شده پس از انجام مراحل تصفیه اولیه، کاربرد آن در کشاورزی است (٢٧). آب‌های غیرمتعارف همانند آب‌های شور زهکش‌ها و پساب‌ها می‌توانند برای جبران اختلاف بین منابع آب شیرین قابل دسترس و تقاضا برای آب شیرین، مؤثر واقع شوند (٢١). حدود ٦٠ تا ٧٠ درصد آب مورد مصرف شهرها به فاضلاب تبدیل می‌شود (٨). پساب‌های شهری می‌توانند به‌عنوان یک منبع با ارزش و قابل دسترس در کشاورزی محسوب شوند. از جمله تأثیرات احتمالی آبیاری با فاضلاب‌های تصفیه‌شده و تصفیه‌نشده بر خاک با توجه به کیفیت آن، می‌توان به افزایش آلودگی‌های میکروبیولوژیک[1] خاک، افزایش فلزات سنگین، موادآلی و افزایش املاح به‌ویژه شوری در خاک اشاره کرد (٩). مقدار زیاد ماده آلی در پساب، تأثیر مثبت این مواد بر خصوصیات مختلف خاک و نیز در دسترس بودن خاک از جمله مهم‌ترین دلایل تخلیه فاضلاب در خاک ذکر می‌گردد (٢٥). از طرفی مشخص شده است که خاک‌ها با دارا بودن خصوصیات فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی بسیار پیچیده، نقش بسیار مهمی در بهبود کیفیت انواع آلاینده‌ها از جمله فاضلاب ایفا می‌کنند (٢٣). به‌طوری‌که با عبور فاضلاب از منطقه غیراشباع خاک (حدفاصل آب زیرزمینی و سطح خاک)، امکان جداشدن ذرات جامد شناور، مواد قابل تجزیه و میکروارگانیسم‌ها[2] به‌صورت تقریباً کامل فراهم می‌گردد و به مقدار قابل‌توجهی غلظت نیتروژن، فسفر و فلزات سنگین موجود در آن کاهش می‌یابد. هرچند عدم مدیریت صحیح تخلیه فاضلاب با اهداف گوناگون در خاک پیامدهای ناگوار مانند آلودگی منابع آب به‌ویژه آب‌های زیرزمینی، خاک و گیاه را به دنبال خواهد داشت (٢٢). برخی پژوهشگران گزارش کردند که آبیاری با پساب، نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک را افزایش می‌دهد (٢٦).

در تحقیق انجام‌شده در کشور ترکیه تأثیر آبیاری با فاضلاب خام و تصفیه‌شده بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک نشان داد که آبیاری با فاضلاب به‌طور معنی‌داری ویژگی‌های شیمیایی خاک را در عمق (٣٠-٠ سانتی‌متری) تحت تأثیر قرار داد. به‌طوری‌که آبیاری با فاضلاب سبب افزایش شوری (٩/٣ درصد)، میزان مواد آلی خاک (٩٦ درصد)، کاتیون‌های سدیم (٢/٣٥ برابر)، پتاسیم (١/٧٥ برابر)، کلسیم (١١ درصد)، فسفر قابل دسترس گیاه (١٢/٧ درصد) و کاهش اسیدیته خاک (٩/٥ درصد) نسبت به قبل از آبیاری شد. هرچند کاربرد فاضلاب اثرات سوئی همچون آلودگی خاک به فلزات سنگین را در برداشت.

1. Microbiological

2. Microorganism

آنها همچنین گزارش کردند که از فاضلاب خام می‌توان برای زمین‌های کشاورزی در کوتاه‌مدت و از فاضلاب تصفیه‌شده برای مدت طولانی استفاده نمود (۲٤). در پژوهشی بررسی اثر مصرف پساب شهری شهرکرد بر غلظت عناصر غذایی فسفر، پتاسیم و نیتروژن خاک نشان داد که با افزایش درصد پساب در آب آبیاری غلظت فسفر (۵/۱ درصد)، پتاسیم قابل جذب (۲۷ درصد) و نیتروژن کل (۲۹ درصد) نسبت به تیمارهای شاهد در خاک افزایش یافت (۱۳). پژوهشگران در مطالعه‌ای دیگری به بررسی تأثیر پساب شهری مشهد بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک پرداختند و بیان نمودند که با افزایش تعداد آبیاری با پساب شهری، مقدار عناصر فسفر، سدیم، نیتروژن افزایش یافت به‌طوری‌که بیشترین افزایش در نیتروژن (۳۸ درصد) و سدیم (۸٤ درصد) مشاهده گردید (۱۷). نتایج پژوهشی دیگر در بررسی تأثیر مدیریتی کیفیت متفاوت آب آبیاری، پساب تصفیه‌شده و کود ازت (۰/۰٦ درصد)، فسفر (۱۷ ppm) و پتاسیم (۰/۰۸ میلی‌اکی والانت بر لیتر) بر خصوصیات شیمیایی خاک در کشت کلم بروکلی در آبیاری میکرو نشان داد که میزان ازت (۲۰ درصد)، فسفر (۱۵/۸ درصد) و پتاسیم (۱۰۰ درصد) در اثر آبیاری با پساب افزایش معنی‌داری یافت (۷). در مطالعه بررسی تأثیر آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده شهری کرمانشاه بر خصوصیات گیاه و خاک نشان داد که آبیاری بلندمدت با پساب، منجر به افزایش نسبی سدیم، کلسیم، منیزیم و مواد مغذی خاک شد. اما تغییرات پارامتر SAR میان دو تیمار آبیاری با پساب و آب چاه معنی‌دار نگردید که این موضوع به نسبت‌های مشابه پارامترهای مؤثر بر SAR بود. در حقیقت، از نظر شاخص‌های مؤثر بر شوری و سدیمی شدن، خاک اراضی مورد مطالعه مشکل نگران‌کننده‌ای نداشتند اما با ادامه روند آبیاری با منابع آب با کیفیت نامطلوب و آلوده، احتمالاً خاک به سمت شور و سدیمی شدن خواهد رفت (۱۱).

به‌دلیل نیاز گیاهان به عناصر غذایی و به‌منظور کاهش استفاده از کودهای شیمیایی، پساب به‌عنوان یک منبع کودی به‌حساب می‌آید، به‌طوری‌که استفاده از پساب در آبیاری به‌عنوان منبعی سرشار از عناصر تغذیه‌ای مورد نیاز گیاه از اهمیت بالایی برخودار می‌باشد و می‌تواند باعث افزایش موادآلی و بهبود حاصلخیزی خاک گردد. بنابراین ضرورت دارد به استفاده از پساب‌ها در ارتباط با افزایش غلظت عناصر غذایی از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک بیشتر توجه شود. از طرفی در شهرستان خرم‌آباد- لرستان پژوهش علمی و کاربردی در زمینه کاربرد پساب به‌ندرت صورت گرفته است. به‌گونه‌ای‌که برای اولین بار اثر کاربرد پساب در خاک زیر کشت گیاه فلفل دلمه‌ای صورت پذیرفت. همچنین با توجه به کمبود و بحران آب در کشور که این استان نیز مستثنی نمی‌باشد، ضروری به‌نظر می‌رسد که پژوهش‌های منسجم در استفاده از آب‌های نامتعارف به‌طور مستمر صورت بگیرد. بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی سطوح مختلف آبیاری با استفاده از پساب شهری بر تجمع برخی عناصر و ویژگی‌های شیمیایی خاک در شرایط گلخانه‌ای اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

مکان و روش تحقیق

پژوهش حاضر به‌صورت گلدانی در گلخانه‌ی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان با هدف بررسی اثرات پساب شهری بر تجمع عناصر شیمیایی نیتروژن، پتاسیم، فسفر و سدیم و همچنین میزان موادآلی، pH و شوری خاک در کشت گیاه فلفل دلمه‌ای در پاییز ۱۳۹۳ صورت پذیرفت. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی

با شش تیمار ۱۰۰ درصد پساب (T_{100})، ۷۵ درصد پساب و ۲۵ درصد آب چاه (T_{75+25})، ۵۰ درصد پساب و۵۰ درصد آب چاه (T_{50+50})، ۲۵ درصد پساب و ۷۵ درصد آب چاه (T_{25+75})، ۱۰۰ درصد آب چاه (T_{0+100}) و ۱۰۰ درصد آب چاه و کود شیمیایی ($T_{0+100+k}$) و سه تکرار اجرا گردید. پساب مورد استفاده برای آبیاری از تصفیه‌خانه شهری خرم‌آباد- لرستان واقع در جنوب این شهر تهیه گردید.

بذور تهیه‌شده فلفل دلمه‌ای در داخل ورمی کمپوست در سینی نشا کاشته شدند و تا استقرار کامل نشاها، آبیاری توسط آب‌پاش دستی به‌طور مرتب هر دو روز یکبار انجام گرفت. خاک مورد استفاده برای گلدان‌ها از عمق صفر تا۳۰ سانتی‌متری خاک قسمت‌های مختلف در اراضی دانشکده کشاورزی، تهیه و پس از اختلاط با یکدیگر به میزان لازم به گلخانه منتقل شدند. پس از ٤٥ روز و بعد از چهار برگه شدن نشاها، یک نشا از گیاه فلفل دلمه‌ای به داخل گلدان‌های پلاستیکی با قطر ۲۵ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر انتقال داده شدند.

مقدار آب مورد نیاز فلفل دلمه‌ای با استفاده از تخلیه رطوبتی خاک محاسبه و حجم آب مورد نیاز گیاه در طی دوره رشد با دور آبیاری ثابت پنج روز یکبار، با آبپاش به گلدان‌ها اضافه گردید. به این‌صورت که یک روز قبل از هر نوبت آبیاری در هر کدام از تیمارها در منطقه عمق توسعه ریشه، نمونه خاک برداشته و به‌مدت ٢٤ ساعت در گرمخانه در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس گذاشته شد. بعد از این مدت رطوبت وزنی خاک از فرمول زیر به‌دست آمد:

$$\theta_m = \frac{m_w - m_s}{m_s} \qquad (۱)$$

که در این رابطه θ_m رطوبت وزنی، m_s جرم خاک خشک و m_w جرم خاک مرطوب می‌باشد.

پس از به‌دست‌آوردن رطوبت وزنی خاک با استفاده از معادله زیر مقدار آب موردنیاز برای هر دور آبیاری محاسبه گردید.

$$d_n = (\theta_{FC} - \theta_i) \times \rho_b \times D \qquad (۲)$$

که در این رابطه θ_{FC} درصد رطوبت وزنی گنجایش مزرعه‌ای (برحسب اعشاری)، θ_i درصد رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری (برحسب اعشاری)، ρ_b چگالی ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، D عمق توسعه ریشه (سانتی‌متر) و d_n عمق خالص آبیاری (سانتی‌متر) است. قابل ذکر است که پس از محاسبه حجم آب مورد نیاز گیاه، با توجه به تیمارها، اختلاط آب و پساب در ظرف جداگانه صورت گرفت و سپس حجم آب موردنظر به خاک هر تیمار اعمال گردید. در کل دوره رشد ۱۵۸٤۱/۰۲ میلی‌لیتر برای هر تیمار آب استفاده گردید.

با توجه به کیفیت متغیر پساب، برخی پارامترهای پساب در هر نوبت آبیاری اندازه‌گیری شد و در نهایت به‌صورت میانگین گزارش گردید. در تیمار آب چاه و کود شیمیایی ($T_{0+100+k}$) براساس آزمون خاک، کود سوپرفسفات تریپل و کود سولفات پتاسیم مورد نیاز گیاه به‌ترتیب با مقدار ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در ابتدای کاشت نشا و ٤٥٠ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به‌صورت سرک در ابتدا و اواسط دوره رشد به خاک گلدان‌ها اضافه گردید.

بعد از ٤/٥ ماه و رسیدن کامل فلفل دلمه‌ای برداشت صورت گرفت و نمونه گیاه و خاک به آزمایشگاه منتقل گردید. بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری تعیین شد. برای تعیین خصوصیات شیمیایی خاک، پس از تهیه گل اشباع و تهیه عصاره، اندازه‌گیری اسیدیته آن با دستگاه pH متر و میزان هدایت الکتریکی با دستگاه شوری‌سنج قرائت شد. برای تعیین سدیم محلول خاک و پتاسیم قابل جذب از روش فلیم‌فتومتری و برای اندازه‌گیری فسفر خاک نیز از روش اسپکتوفتومتری استفاده گردید. مقدار

نیتروژن خاک نیز به‌روش کجلدال و از احتراق به‌روش مرطوب نیز برای اندازه‌گیری کربن آلی خاک استفاده گردید. هدایت الکتریکی، pH، فسفر و عناصر غذایی نمونه‌های آب و پساب نیز با همان روش و دستگاه‌های ذکرشده برای اندازه‌گیری این پارامترها در خاک اندازه‌گیری شدند. خاطرنشان می‌شود که اعداد در جدول‌های ۲ و ۳ میانگین پارامترهای اندازه‌گیری‌شده مربوط به ویژگی‌های آب و پساب در ۲۷ نوبت آبیاری در طی دوره رشد گیاه است. برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک، ویژگی‌های پساب و آب چاه به‌ترتیب در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ ارائه شده است.

محاسبات آماری با نرم‌افزار SASV9 و مقایسه میانگین با آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار (LSD) انجام شد. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار اکسل استفاده گردید.

نتایج و بحث

به‌منظور اثر پساب شهری بر غلظت برخی عناصر و ویژگی‌های شیمیایی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، pH، شوری، سدیم و مواد آلی) خاک در کشت فلفل‌دلمه‌ای قبل و بعد از برداشت محصول اندازه‌گیری‌های لازم روی خاک صورت گرفت. در ادامه نتایج حاصل از آنها ارائه خواهد شد.

بررسی برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک

نتایج تجزیه واریانس برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک در جدول (٤) نشان می‌دهد که تمام پارامترها به‌جز نیتروژن که در سطح پنج درصد دارای تفاوت معنی‌داری است، سایر پارامترها در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشند.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مورد آزمایش

هدایت الکتریکی (dSm^{-1})	جرم مخصوص ظاهری (ρb)	واکنش خاک (pH)	نیتروژن (٪)	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)	شن (٪)	رس (٪)	سیلت (٪)	بافت
۰/۵	۱/۳۰	۷/٤۲	۰/۰۷	۲۰/۰۸	۱۸۰	٤٤/۲٤	۱٦/٤۸	۳۹/۲۸	لوم

جدول ۲. برخی ویژگی‌های پساب مورداستفاده

هدایت الکتریکی (dSm^{-1})	pH	نیتروژن نیتراتی ($mg.l^{-1}$)	فسفر فسفاتی ($mg.l^{-1}$)	سدیم ($mg.l^{-1}$)	پتاسیم ($mg.l^{-1}$)
۰/٦۵	۷/۵٤	٤۰/۲	۱۲/۱۱	۳٤/۷۳	۲٤/۲۵

جدول ۳. برخی ویژگی‌های آب چاه مورداستفاده

هدایت الکتریکی (dSm^{-1})	pH	نیتروژن نیتراتی ($mg.l^{-1}$)	فسفر فسفاتی ($mg.l^{-1}$)	سدیم ($mg.l^{-1}$)	پتاسیم ($mg.l^{-1}$)
۰/٦۷	۷	۱۰/۰۱	۲	۱۳/۲۵	۱/۸

جدول ٤. تجزیه واریانس (کمّیت F) پارامترهای شیمیایی خاک

منابع تغییر	درجه آزادی	pH	EC (dS/m)	†OC (%)	K (ppm)	Na (ppm)	N (%)	P (ppm)
تکرار	۲	۰/۵۷^{ns}	۰/۰۸^{ns}	۲/۷٤^{ns}	۲/۵۷^{ns}	۸/۳٤**	۰/٤۳^{ns}	۲۲/٤۱**
تیمار	۵	۲۵/۰۱**	۱۹٦/۲۹**	۱۰۲۳/۳۹**	۳۱/٤۷**	۱٦/٤۸**	٤/۲٦*	۸/۲۲**
خطا	۱۲							

ns، * و **: نشان‌دهنده نبود تفاوت معنی‌دار و وجود تفاوت معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد است. † کربن آلی

بررسی میزان pH در خاک

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده ملاحظه می‌شود که مقادیر pH خاک در تمام تیمارها در سطح یک درصد دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشد (شکل ۱). بیشترین میزان pH در تیمار T_{100} (۸/۱) و کمترین آن در تیمار $T_{0+100+k}$ (٦/۳) مشاهده گردید. مقدار pH خاک آبیاری‌شده با پساب شهری نسبت به خاک آبیاری‌شده با آب چاه ۱/۲۹ برابر افزایش را نشان می‌دهد. نتایج بیانگر این است که میزان pH در تمامی مشاهدات در حدی است که نه تنها برای کشت فلفل دلمه‌ای مناسب است (pH مناسب خاک برای فلفل دلمه‌ای ۷ می‌باشد)، بلکه برای سایر محصولات کشاورزی نیز مجاز می‌باشد. نظر به این‌که pH مناسب کشاورزی اعلام‌شده توسط سازمان محیط زیست در حد استاندارد و بین ۸/۵-۷ است (۱۳). در پژوهشی تأثیر کاربرد پساب شهری تصفیه‌شده بر عملکرد چهار گیاه علوفه‌ای و تجمع فلزات سنگین در خاک نشان دادند که با کاربرد پساب، pH خاک به مقدار جزئی افزایش یافت ولی از حد استاندارد بیشتر نگردید، که با تحقیق حاضر همخوانی داشت (۱۰). نتایج بیانگر این است که آبیاری با پساب منجر به افزایش اسیدیته در خاک شده است. قبل از کشت، خاک آزمایش دارای pH حدوداً ۷/٤۲ بود که با آبیاری پساب موجب افزایش pH تا حدود ۰/٦۸ واحد شده است. pH خاک به‌جز در تیمار T_{100} در سایر تیمارها به‌دلیل استفاده از مخلوط آب چاه و پساب نسبت به قبل از کشت کاهش یافته است، هرچند مقدار این کاهش بسیار جزئی می‌باشد. علت این کاهش جزئی شاید به‌دلیل ورود مواد آلی به خاک و تجزیه این مواد در طی دوره رشد گیاه باشد که منجر به تولید اسیدهای آلی شده است. در پژوهشی علت افزایش pH در خاک آبیاریشده با پساب را زیاد بودن غلظت ترکیبات قلیایی، از جمله Na^+ در پساب ذکر کردند (۲۰). تحقیقات مختلف نشان می‌دهد که با استفاده از فاضلاب شهری در کشاورزی ضمن افزایش درصد موادآلی و حاصلخیزی خاک، pH نیز اصلاح شده است (۵).

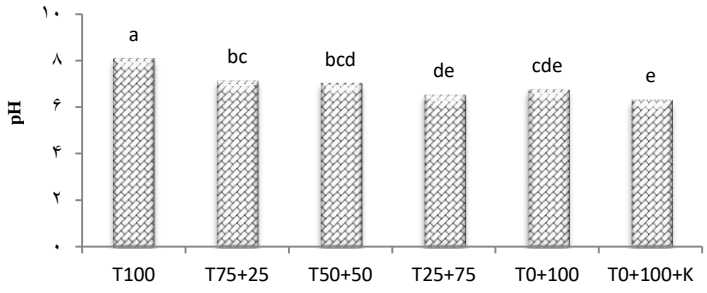
بررسی میزان شوری در خاک

مقایسه میانگین میزان شوری خاک در تمام تیمارها در سطح یک درصد دارای تفاوت معناداری است. بیشترین میزان شوری در تیمار T_{100} (۰/٤۱ dS/m) و کمترین آن در تیمار T_{0+100} (۰/۱۹۹ dS/m) به‌دست آمد (شکل ۲). میزان شوری خاک قبل از آزمایش ۰/۵ dS/m می‌باشد که نسبت به تیمارهای آبیاری‌شده با پساب بیشتر می‌باشد. پایین بودن میزان شوری در تیمارها می‌تواند به‌دلیل میزان شوری کم موجود در پساب باشد. استفاده از پساب نه تنها آثار تخریبی بر شوری نداشته است بلکه شوری خاک را کاهش داده و موجب بهبود شرایط شده است. در پژوهشی تأثیر آبیاری بارانی و سطحی با پساب بر شوری خاک، نشان داد که آبیاری با پساب باعث کاهش شوری خاک گردیده است. به‌طوری‌که خاک‌های شور سدیمی منطقه مورد آزمایش به یک خاک با شوری ۱/۲۵ تا ۲/٤۵ دسی‌زیمنس بر متر تغییر یافت، که این نتیجه با تحقیق حاضر همخوانی دارد (۵). در تحقیقی که بر روی اثر آبیاری با پساب شهری بر خاک و رشد درختان کاج تهران صورت گرفت، کاهش شوری در مناطق متأثر از پساب را نسبت به منطقه شاهد گزارش کرده‌اند (۳).

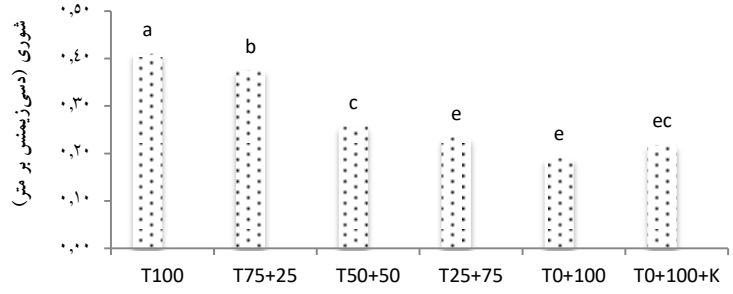
بررسی میزان سدیم در خاک

بررسی مقایسه میانگین میزان سدیم در پساب نشان می‌دهد که تمام تیمارها در سطح یک درصد دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشند (شکل ۳). بیشترین میزان سدیم در تیمار T_{100} (۲۸ppm) و کمترین آن در تیمار T_{0+100} (۱٦/٦۷ ppm) می‌باشد. میزان سدیم موجود در خاک قبل از آبیاری ۲۹ppm بوده و این میزان بعد از آبیاری در تمام تیمارها کاهش یافته

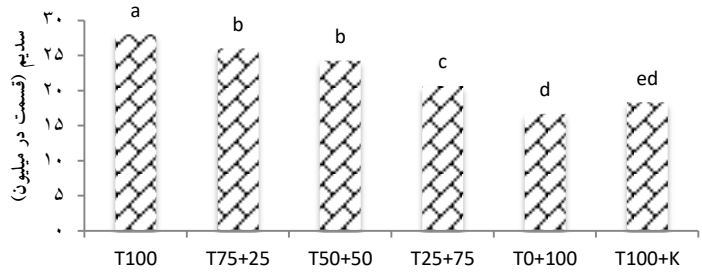
است. یکی از ترکیبات محدودکننده و مضر پساب‌ها میزان سدیم بالای آنهاست، اما در پژوهش حاضر آبیاری با پساب کاهش میزان سدیم را در خاک نشان داد که دلیل آن می‌تواند مربوط به غلظت نه چندان زیاد سدیم در پساب باشد که در طی دوره رشد مقداری از آن نیز توسط گیاه جذب شده است. سطح آبیاری با پساب همراه با آب معمولی باعث کاهش سدیم در خاک گردید. یافته‌های پژوهش دیگری که بر خاک‌های منطقه برخوار اصفهان که به‌مدت هفت سال با فاضلاب آبیاری شده‌اند نشان داد که آبیاری با فاضلاب نه تنها هیچ مسئله‌ای از لحاظ شور و سدیمی ایجاد نکرده، بلکه از میزان شوری خاک این اراضی کاسته است (٤). در مطالعه دیگری که به بررسی تأثیر آبیاری با پساب شهری کرمانشاه بر خصوصیات گیاه و خاک صورت گرفت، نشان داد که آبیاری با پساب منجر به افزایش نسبی سدیم و هدایت الکتریکی (شوری) خاک شده است. در واقع، پژوهشگر این تحقیق بیان نمود که از نظر شاخص‌های مؤثر بر شوری و سدیمی شدن خاک، اراضی موردمطالعه در حال حاضر مشکل نگران‌کننده‌ای نشان نداد (١١).



شکل ١. مقادیر متوسط pH خاک در تیمارهای مختلف



شکل ٢. مقادیر متوسط شوری خاک در تیمارهای مختلف



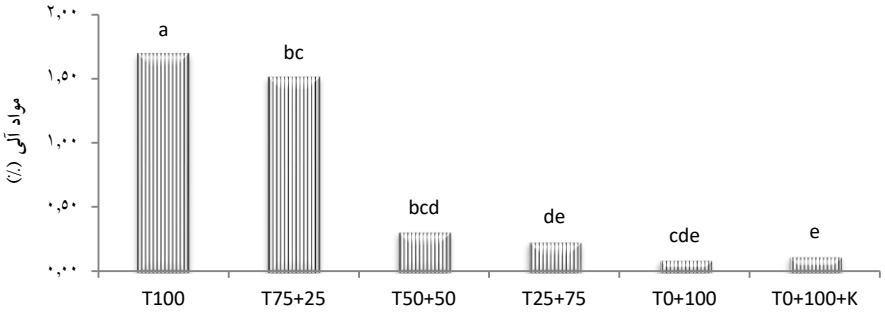
شکل ٣. مقادیر متوسط سدیم خاک در تیمارهای مختلف

بررسی میزان موادآلی

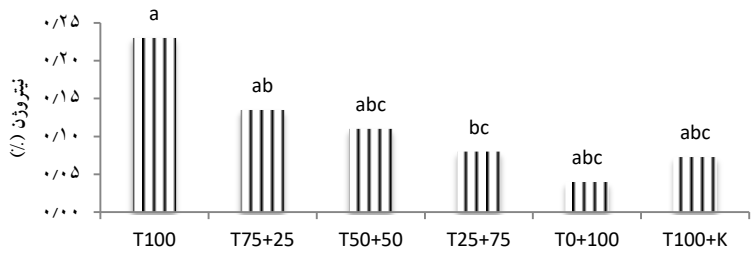
بررسی مقایسه میانگین مواد آلی موجود در خاک نشان داد که تیمارهای مختلف در سطح یک درصد دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشند. بیشترین مقدار مواد آلی در تیمار T_{100} (۱/۷ درصد) و کمترین آن در تیمار T_{0+100} (۰/۰۹۱ درصد) به‌دست آمد (شکل ٤). نتایج نشان داد که درصد ماده آلی خاک در تیمار آبیاری با پساب افزایش یافته است. در این رابطه می‌توان گفت که حدود نیمی از مواد موجود در فاضلاب، موادآلی می‌باشد (١٦). عمده این مواد از نوع ناپایدار بوده و دارای منشأ انسانی، حیوانی و گیاهی است که در صورت آبیاری با پساب به خاک اضافه می‌گردد. در این حالت خاک به‌عنوان یک صافی یا فیلتر عمل می‌کند و قادر است بخش اعظم مواد آلی قابل‌تجزیه را که به‌صورت محلول و معلق در فاضلاب و پساب وجود دارند از آن جدا کند که این عمل باعث بهبود شرایط خاک برای رشد بهتر گیاهان می‌گردد (١٨). همچنین در مطالعه‌ای که در هندوستان برای بررسی تأثیر کاربرد فاضلاب و پساب بر عملکرد چند محصول زراعی صورت گرفت، گزارش شد که عملکرد گیاهان در آبیاری با انواع پساب و فاضلاب بیشتر از گیاهان تحت آبیاری با آب معمولی به‌همراه کود بود. همچنین علاوه بر اضافه‌شدن عناصر غذایی خاک با آبیاری با پساب‌ها و فاضلاب‌ها، مواد آلی موجود در آنها نیز پس از ورود به‌وسیله ریز موجودات خاک تجزیه شده و باعث افزایش هوموس خاک و در نهایت بهبود خواص فیزیکی- شیمیایی و حاصلخیزی خاک می‌شود (١٩). در پژوهشی بررسی تأثیر آبیاری با پساب شهری کرمانشاه بر خصوصیات گیاه و خاک مطالعه و نشان داده شد که آبیاری با پساب منجر به افزایش نسبی مواد آلی و مواد مغذی خاک شده است، که نتایج این تحقیق با نتایج حاضر همخوانی دارد (١١).

بررسی میزان نیتروژن در خاک

بررسی مقایسه میانگین میزان نیتروژن موجود در خاک نشان می‌دهد که تیمارهای مختلف از لحاظ آماری در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار دارند. بیشترین آن در تیمار T_{100} (۰/۲۳ درصد) و کمترین آن در تیمار T_{0+100} (۰/۰٤ درصد) می‌باشد. در آزمایش انجام‌شده نیز مشاهده شد که در تیمارهایی که پساب دریافت کرده‌اند و همچنین در تیمار کود شیمیایی، نیتروژن کل خاک نسبت به تیمار آب چاه افزایش داشته است (شکل ٥). مقدار نتایج نشان داد که درصد نیتروژن خاک در تیمار آبیاری با پساب افزایش یافته است. میزان نیتروژن موجود در تیمار ۱۰۰ درصد پساب بیشتر از دو برابر میزان نیتروژن موجود در خاک قبل از کشت است.



شکل ٤. مقادیر متوسط مواد آلی خاک در تیمارهای مختلف

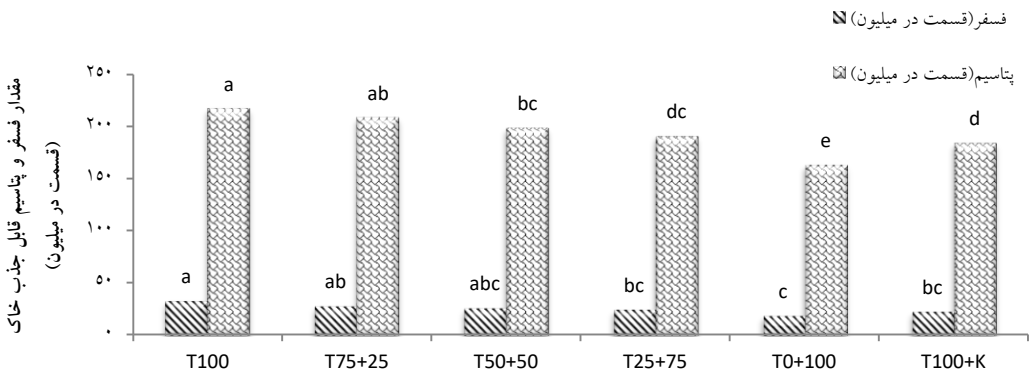


شکل ۵. مقادیرمتوسط نیتروژن خاک در تیمارهای مختلف

در پژوهشی بررسی تغییرات به‌دست‌آمده در خاک و گیاه ناشی از آبیاری با استفاده از پساب شهری و تأثیر آن بر عملکرد یونجه صورت گرفت. یافته‌ها نشان داد آبیاری با پساب منجر به افزایش غلظت عنصر غذایی نیتروژن در خاک شده است که نشان از افزایش غلظت نیتروژن خاک در استفاده از پساب شهری است (۸). ازآنجایی‌که این عنصر باعث بهبود حاصلخیزی خاک محسوب می‌شود، استفاده از پساب موجب بهبود وضعیت خاک از نظر عامل موردنظر شده است. در حقیقت با کاهش مقدار پساب در آب آبیاری مقدار ازت خاک کاهش یافته است. افزایش ماده آلی خاک در نتیجه کاربرد پساب عامل دیگری در جهت افزایش ازت خاک می‌باشد. نیتروژن از جمله عناصر غذایی مهم و موجود در پساب می‌باشد که نقشی اساسی را در رشدونمو گیاهان بازی می‌کند. همچنین نیتروژن می‌تواند نقش مهمی در اصلاح خاک از نظر خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی ایفا نماید. پژوهشگران در ارزیابی آثار آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده بر برخی خصوصیات خاک گزارش دادند که در مناطق متأثر از پساب غلظت ازت در خاک ۱۲/۸۳ppm بود که این میزان نسبت به منطقه شاهد بیشتر بوده است (۲).

بررسی میزان فسفر و پتاسیم قابل جذب در خاک

مقایسه میانگین عنصر فسفر در خاک نشان داد که در تیمارهای مختلف در سطح یک درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد. بیشترین میزان فسفر در تیمار ۱۰۰ درصد پساب به میزان ppm ۳۲ و کمترین آن در تیمار ۱۰۰ درصد آب چاه به مقدار ppm ۱۸/۳۳ به‌دست آمد. نتایج نشان می‌دهد استفاده از پساب از تیمار T_{100} تا T_{50+50} تفاوت معنی‌داری ندارند و تأثیر یکسانی در مقدار غلظت فسفر خاک داشته است (شکل ٦). بالا بودن فسفر موجود در پساب، احتمالاً باعث تجمع بیشتر فسفر در خاک آبیاری‌شده با پساب نسبت به آبیاری با آب معمولی شده است. فسفر یکی از عناصر اصلی موردنیاز گیاه می‌باشد که در تولید محصول نقش مهمی ایفا می‌کند (۱۵). همان‌طورکه در شکل (٦) مشهود است، فسفر قابل جذب در همه تیمارهای آبیاری با پساب و تیمار آب+ کود شیمیایی (۲۲/۳۳ppm) به‌جز تیمار T_{0+100} نسبت به قبل از آزمایش بیشتر است. احتمالاً به‌دلیل نیاز گیاه به فسفر در دوره رشد و همچنین تأمین‌نشدن این عنصر در این تیمار به‌دلیل مصرف نکردن کود شیمیایی، گیاه نیاز فسفر خود را از خاک تأمین کرده و مقدار فسفر در این تیمار نسبت به قبل از آزمایش کمتر شده است. در تحقیق حاضر، در تیمارهای دریافت‌کننده پساب علاوه بر تأمین فسفر موردنیاز گیاه، در برخی تیمارها افزایش غلظت فسفر در خاک مشهود است. پژوهشگران در بررسی اثر آبیاری با فاضلاب شهری بر خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک، تجمع عناصر غذایی و کادمیوم در درختان زیتون گزارش کردند آبیاری با فاضلاب جنوب شهر تهران، سبب افزایش معنی‌دار فسفر و پتاسیم در خاک گردید، نتایج این تحقیق با نتایج تحقیق حاضر مطابقت نشان داد (۳).



شکل ٦. مقادیر فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک در تیمارهای مختلف

نتایج مقایسه میانگین پتاسیم در خاک نشان داد که تیمارهای مختلف از لحاظ آماری در سطح یک درصد تفاوت معنی‌داری نشان دادند. نتایج نشان داد که بیشترین میزان پتاسیم در تیمار T_{100} (۲۱۷/۳ ppm) و کمترین آن در تیمار T_{0+100} (۱٦۳ ppm) به‌دست آمد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد با افزایش پساب مورد استفاده میزان غلظت پتاسیم در خاک بیشتر شده است. پژوهشگران در بررسی تأثیر کاربرد فاضلاب تصفیه‌شده شهری بر ویژگی‌های شیمیایی خاک در آبیاری قطره‌ای سطحی در شیراز گزارش کردند که استفاده از پساب در مقایسه با آب چاه (شاهد) باعث افزایش معنی‌دار ویژگی‌های شیمیایی خاک در سطح احتمال پنج درصد گردید. همچنین، غلظت عنصر پرمصرف پتاسیم در نتیجه استفاده از پساب در مقایسه با آب چاه افزایش یافت. این یافته‌ها با نتایج آزمایش حاضر همخوانی داشت (۱۲). پتاسیم مدت زمان بسیار کوتاهی را به‌صورت محلول باقی می‌ماند، زیرا این عنصر توان یونی بالایی داشته و قادر است به‌آسانی همراه با آنیون‌های محلول، به‌ویژه در خاک‌های سبک جابه‌جا شود و مدت طولانی را در حالت قابل تبادل سپری کند. در پژوهش حاضر آبیاری با پساب منجر به افزایش غلظت عناصر غذایی ازت، فسفر و پتاسیم در خاک شده است. ازآنجایی‌که این عناصر جز عناصر پر نیاز برای گیاهان محسوب می‌شوند، استفاده از پساب موجب بهبود وضعیت خاک از لحاظ عوامل موردنظر شده است. افزایش عناصر غذایی خاک در نتیجه آبیاری با پساب می‌تواند به‌دلیل ورود فاضلاب خانگی و فاضلاب واحدهای تولیدی و صنعتی کوچک به فاضلاب شهری در طول مسیر باشد. محققین در بررسی خود بر برخی خصوصیات خاک گزارش کردند که در مناطق متأثر از پساب، غلظت عناصر فسفر، پتاسیم و نیتروژن به‌ترتیب حدود ۰/۰۱۲، ۰/۰۰۱۲ و ۰/۰۰٤ درصد بود که ۰/٤ درصد بیشتر از منطقه شاهد بود. نتایج نشان داد آبیاری با پساب به افزایش غلظت عناصرغذایی ازت، فسفر و پتاسیم در خاک منجر شده است، این یافته‌ها با نتایج آزمایش حاضر مطابقت نشان داد (۲).

نتیجه‌گیری کلی

در پیش‌بینی آثار کوتاه‌مدت و طولانی‌مدت کاربرد پساب شهری بر خاک، بررسی خصوصیات خاک و کیفیت فاضلاب هر منطقه مهم است. نتایج اثر کاربرد پساب شهری بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک در پژوهش حاضر گویای این واقعیت است. یافته‌ها بیانگر این است

که استفاده از پساب نه تنها آثار تخریبی شوری را در بر نداشته است بلکه شوری خاک را کاهش داده و موجب بهبود شرایط خاک از این جهت شده است. مقدار pH خاک آبیاری‌شده با پساب شهری نسبت به خاک آبیاری‌شده با آب چاه ۱/۲۹ برابر افزایش را نشان می‌دهد. آبیاری با پساب باعث افزایش غلظت عناصر غذایی ازت، فسفر و پتاسیم در خاک شده است. ازآنجاکه این عناصر پر نیاز، برای گیاهان ضروری هستند، استفاده از پساب می‌تواند موجب بهبود وضعیت خاک از لحاظ عوامل موردنظر گردد.

منابع

۱. ابوالحسنی زرجوع ا.، زهتابیان غ.، مشهدی ن.، خسروی ح. و سلطانی گردفرامرزی م (۱۳۹۳) ارزیابی آثار آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده بر برخی خصوصیات خاک. بازیافت آب. ۱(۱):۱۷-۲٤.

۲. آقابراتی ا.، حسینی م.، اسماعیلی ع. و مارالیان ح (۱۳۸۸) اثر آبیاری با فاضلاب شهری بر خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک، تجمع عناصر غذایی و کادمیوم در درختان زیتون. علوم محیطی. ٦(۳):۱-۱۰.

۳. صالحی ا.، طبری کوچکسرایی م.، محمدی ج. و علی عرب ع (۱۳۸۷) اثر آبیاری با پساب شهری بر خاک و رشد درختان کاج تهران. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران. ۱٦(۲):۱۸٦-۱۹٦.

٤. صفری سنجانی ع (۱۳۷٤) پیامد آبیاری با پساب بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک ناحیه برخوار اصفهان و انباشتگی برخی عناصر در گیاه یونجه. دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان. اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد.

۵. طائی سمیرمی ج (۱۳۸٤) بررسی اثر آبیاری با فاضلاب شهری زابل بر عملکرد کمی و کیفی خاک و ویژگی‌های شیمیایی خاک. دانشگاه زابل. پایان‌نامه کارشناسی ارشد.

٦. عابدی کوپایی ج.، افیونی م.، مصطفی‌زاده ب.، موسوی س. و باقری م (۱۳۸۲) تأثیرآبیاری بارانی سطحی با پساب تصفیه شده بر شوری خاک. آب و فاضلاب. ۱٤(۱):۲-۱۱.

۷. عاطفی ا. و قائمی ع (۱۳۹۱) بررسی تأثیر مدیریتی کیفیت متفاوت آب آبیاری، پساب تصفیه شده و کود ازت، فسفر و پتاسیم بر خصوصیات شیمیایی خاک در کشت کلم بروکلی در آبیاری میکرو. آب و خاک. ۲٦(۵): ۱۱۱۹-۱۱۲۷.

۸. عرفانی‌آگاه ع (۱۳۷۸) بررسی کارایی فاضلاب‌های تصفیه شده‌ی خانگی در آبیاری زراعت کاهو و گوجه فرنگی. مجموعه مقالات همایش جنبه‌های زیست محیطی استفاده از پساب‌ها در آبیاری، کمیته‌ی ملی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران، ایران.

۹. علیمحمدی ر (۱۳۹٤) بررسی تغییرات حاصله در خاک و گیاه ناشی ازآبیاری با استفاده از پساب تصفیه شده شهری و تأثیر آن بر عملکرد یونجه. پژوهش آب در کشاورزی. ۲۹(۱):۳٦-٤۷.

۱۰. فرمانی فرد م (۱۳۹٦) بررسی تأثیر آبیاری با پساب تصفیه شده شهری کرمانشاه بر خصوصیات گیاه و خاک. دانشگاه رازی. کرمانشاه. رساله دکتری.

۱۱. فیضی ح. و ذبیحی ح. ر (۱۳۸٦) تأثیر کاربرد پساب شهری تصفیه شده بر عملکرد چهار گیاه علوفه‌ای و تجمع عناصر سنگین در خاک. مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران. کرج، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. ایران.

۱۲. قائمی ع ا. و امین دین ا (۱۳۹۳) بررسی تأثیر کاربرد فاضلاب تصفیه شده شهری بر ویژگی‌های شیمیایی خاک آبیاری قطره‌ای سطحی. تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۱۵(٤): ٦۵-۷۸.

۱۳. مرادمند م (۱۳۸۸) اثر مصرف پساب شهری شهرکرد بر غلظت عناصر غذایی فسفر، پتاسیم و نیتروژن خاک و بر رشد و عملکرد فلفل سبز. چهارمین همایش منطقه‌ای ایده‌های نو در کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی خوراسگان، ایران.

۱٤. معاونت تحقیقاتی سازمان محیط زیست (۱۳۷۱) استاندار خروجی فاضلاب‌ها. انتشارات دفتر آموزش زیست محیطی. صفحه ۱۰.

۱۵. ملکوتی م ج (۱۳۷۵) کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد با بهینه‌سازی مصرف کود در ایران. چاپ دوم، انتشارات نشر آموزش کشاورزی، کرج. صفحه ۵۲-۵٤.

۱٦. نظری م ع.، شریعتمداری ح.، افیونی م.، مبلی م. و رحیلی ش (۱۳۸۵) اثر کاربرد پساب و لجن فاضلاب صنعتی بر غلظت برخی عناصر و عملکرد گندم، جو و ذرت. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۰(۳): ۹۷-۱۱۱.

۱۷. یزدانی و.، قهرمان ب.، داوری ک. و فاضلی ا (۱۳۹۳) تأثیر پساب بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک. علوم و تکنولوژی محیط زیست. ۱٦(۹۳):۵٤۳-۵۵۸.

18. Asano T and Levine A D (1996) Wastewater reclamation, recycling and reuse: past, present and future. Water Science and Tecnology. 33(10-11): 1-14.
19. Ayers RS and Westcot DW (1985) Water quality for agriculture. FAO, Rome, Italy.
20. Bhati M and Singh G (2003) Growth and mineral accumulation in Eucalyptus camaldulensis seedlings irrigated with mixed industrial effluents. Bioresource Technology. 88(3): 221-228.
21. Bole J B, Carefoot J M, Chang C and Oosterveld M (1981) Effect of wastewater irrigation and leaching percentage on soil and ground water chemistry. Environmental Quality. 10(2): 177-183.
22. Gohil M B (2000) Land Treatment of WasteWater. New Age international publishers, New Dehli, 134 p
23. Gong C and Donahoe R J (1997) An experimental study of heavy metal attenuation and mobility in sandy loam soils. Applied Geochemistry. 12(3): 243-254.
24. Kiziloglu F M, Turan M, Sahin U, Kuslu Y and Dursun A (2008) Effects of untreated and treated wastewater irrigationon some chemical properties of cauliflower (Brassica olerecea L. var. botrytis) and red cabbage (Brassica olerecea L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey. Agricultural Water Management. 95(6): 716-724.
25. Magesan G N, Williamson J C, Yeates G W and Lloyd-jones A Rh (2000) Wastewater C:N ratio effects on soil hydraulic conductivity and potential mechanisms for recovery. Bioresource Technology. 71(1): 21-27.
26. Murtaza G, Ghafoor A and Qadir M (2006) Irrigation and soil management strategies for using saline- sodicwater in cotton- wheat rotation Agric. Agricultural Water Management. 81(1-2): 98-114.
27. Rusan M J M, Hinnawi S and Rousan L(2007) Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. Desalination. 215(1-3): 143-152.
28. Pescod M B(1992) Wastewater treatment and use in agriculture FAO. Irrigation and Drainage Paper, No. 47, 113 p.

Water and Irrigation Management
(Scientific Journal of Agriculture)
(*College of Abouraihan – University of Tehran*)
Vol. 8 ■ No. 2 ■ Autumn & Winter 2019

Effect of different levels of irrigation with treated urban wastewater on soil chemical elements accumulation

Akram Hosseinnejad mir[1], Abbas Maleki[2*], Afsaneh Alinejadian Bidabadi[3]

1. Former M.Sc. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran.

Received: August 09, 2018 Accepted: December 16, 2018

Abstract
Due to drought and water scarcity, the use of unconventional waters in agriculture, i.e. the outlet of urban wastewater treatment, has become an important water resource, recently. The aim of this study was to investigate the effects of irrigation with Khorramabad treated urban wastewater in Lorestan province on the accumulation of chemical elements such as nitrogen, potassium, phosphorus, and sodium in soil along with soil organic matter, pH and salinity in a pepper field. The experiment was conducted in the form of randomized complete blocks design with six treatments: T_{100}: 100 percent wastewater, T_{75+25}: 75 percent wastewater + 25 percent fresh water, T_{50+50}: 50 percent wastewater + 50 percent fresh water, T_{25+75}: 25 percent wastewater + 75 percent fresh water, T_{0+100}: 100 percent fresh water, and $T_{0+100+k}$: 100 percent fresh water containing fertilizers with three replications in the research greenhouse of faculty of agriculture, Lorestan University. Experimental results showed that the effects of treatments on the accumulation of phosphorus, potassium, sodium, organic matter, EC, and pH were significant at 1 percent level and nitrogen at 5 percent level. By increasing the percentage of wastewater in irrigation water (T_{100}: 100 percent wastewater), to pre-planting soil the concentration of available phosphorus (59%), available potassium (20.7%), total nitrogen(2.28-fold), and organic matter (1.1-fold) increased, and the pH (except T_{100} treatment) 7.4% and EC 18% decreased. In addition, the findings of this study indicated that with the use of wastewater due to its nutrients which are required for the plants, it is possible to minimize the fertilizer consumption by a proper management plan.

Keywords: Nitrogen, Organic matter, Phosphorus, Sodium, Unconventional waters.

* Corresponding author: maleki.a@lu.ac.ir