بررسی اثر استفاده از پساب تصفیه شده شهری بر خاک، بهره‌وری مصرف آب و عملکرد گیاه کینوا

صابر جمالی[۱]، سیده محبوبه زین‌الدین[۲]، مهدی کلاهی[۳]*

تاریخ ارسال:۱۳۹۹/۰۶/۱۹
تاریخ پذیرش:۱۳۹۹/۱۱/۰۱

مقاله پژوهشی

چکیده

از آنجایی‌که یکی از اهداف مهم در کشاورزی پایدار با توجه به بحران منابع آب، افزایش بهره‌وری مصرف آب می‌باشد لذا استفاده از تکنیک‌هایی جهت رسیدن به این مهم ضروری است. به منظور بررسی اثر تیمارهای مختلف پساب تصفیه شده شهری بر خواص شیمیایی خاک، بهره‌وری مصرف آب و عملکرد کینوا (رقم Titicaca)، در سال ۱۳۹۶ آزمایشی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. این تحقیق بر پایه طرح کاملاً تصادفی و با ۳ تکرار در شرایط گلخانه‌ای و در گلدان اجرا گردید. تیمارهای مورد بررسی در این پژوهش شامل آب شهری، پساب شهری، یک در میان پساب شهری، اختلاط ۵۰:۵۰ پساب شهری و آب شهری، و آبیاری زیرسطحی با پساب شهری بودند. نتایج نشان داد که تیمارهای مورد بررسی بر پتاسیم، فسفر، نیتروژن، بهره‌وری مصرف آب و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد موثر بوده، ولی بر اسیدیته خاک و وزن هزار دانه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شدند. همچنین استفاده از پساب تصفیه شده شهری منجر به افزایش کلیه صفات گردید. بطوریکه تیمار پساب شهری، متناوب یک در میان، اختلاط ۵۰:۵۰ پساب شهری، و آبیاری زیر سطحی پساب شهری منجر به افزایش ۳۰/۷، ۸/۸، ۲۰/۶ و ۳۶/۱ درصدی عملکرد دانه، ۳۱/۱، ۸/۶، ۲۰/۵ و ۳۶/۴ درصدی بهره‌وری مصرف آب و ۸/۸، ۶/۷، ۷/۵ و ۹/۶ درصدی وزن هزار دانه شدند. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از آب فاضلاب تصفیه شده نه‌تنها عملکرد گیاه کینوا را افزایش داده بلکه سبب بهبود شرایط شیمیایی خاک شده و می‌تواند باعث صرفه‌جویی در هزینه‌های تامین و مصرف کودهای شیمیایی شود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری زیرسطحی، پساب، خواص شیمیایی خاک، رژیم تلفیقی، عملکرد دانه کینوا.

[۱] دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. saber.jamali@mail.um.ac.ir

[۲] دانش‌آموخته کارشناسی، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. seyedemahbobe.zeinodin@mail.um.ac.ir

[۳] استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، پژوهشکده آب و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. ۰۵۱۳۸۸۰۵۴۷۴، MahdiKolahi@um.ac.ir (*نویسنده مسئول).

مقدمه

بحران آب یکی از چالش برانگیزترین مسائل امنیتی است که می‌تواند به یک بحران بزرگ بین‌المللی تبدیل شود. طبق مطالعات انجام‌شده، تا سال ۲۰۵۰، بیش از ۱۵ درصد ساکنان کشورهای خاورمیانه و آفریقا با بحران شدید آب روبرو خواهند بود. ایران به‌عنوان کشوری که با تنش شدید آب مواجه است در منطقه خاورمیانه قرار دارد که اگر مدیریت درست و مناسب را برای آینده تنظیم نکند با بحران‌های محیط‌زیستی، امنیتی، سیاسی، اجتماعی، اقتصادی و حتی نظامی در داخل و خارج روبرو خواهد شد (Rezayan and Rezayan, 2016)، از طرفی جمعیت شهری نیز از حدود ۷/۳ میلیون نفر به ۵۸ میلیون نفر افزایش‌یافته است. امروزه ۷۳/۵ درصد از جمعیت ایران در مناطق شهری زندگی می‌کنند و هشت شهر ایران از جمعیتی بیشتر از یک‌میلیون نفر برخوردار است (Madani, 2014)، که به معنی افزایش تقاضا برای آب و غذا به طور روز افزون است. از اینرو استفاده مجدد پساب‌ها با دو هدف تامین آب بیشتر و حفاظت محیط‌زیست از آلودگی می‌تواند به‌عنوان یکی از راهکارهای رفع مشکل تامین آب و یکی از منابع بالقوه برای آبیاری در کشاورزی باشد. به‌طور کلی پساب‌ها به‌عنوان یکی از منابع نامتعارف تامین آب مطرح بوده و حتی در شرایط خشکسالی نیز یکی از منابع آب مطمئن می‌باشد. در نتیجه، استفاده و به‌کارگیری پساب‌ها در آبیاری، راهبرد ارزشمندی در بالا بردن منابع آب در دسترس محسوب می‌شود. به هر حال، کیفیت و شرایط این آب ملزم به رعایت استانداردهایی جهت استفاده در کشاورزی است (Hasan et al., 2014). بر اساس پژوهش Heidarpour et al. (2007) روش آبیاری و کیفیت آب آبیاری بر روی نیتروژن و فسفر خاک اثر معنی‌داری نداشته ولی کیفیت آب آبیاری بر پتاسیم خاک در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از پساب در آبیاری سبب افزایش نیتروژن، پتاسیم و فسفر شده و این صفات در آبیاری سطحی بیشتر از آبیاری زیر سطحی بود. در پژوهشی دیگر که به منظور بررسی اثر آبیاری با پساب تصفیه شده صنعتی بر خواص شیمیایی خاک توسط چوپان و همکاران (۱۳۹۷) در تربت حیدریه انجام شد، نتایج نشان داد که استفاده از پساب به صورت کامل و اختلاطی منجر به افزایش معنی‌دار پتاسیم، فسفر، نیتروژن و اسیدیته خاک در شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد شده است. ایشان اظهار داشتند که استفاده از پساب در شرایط کم‌آبیاری منجر به بهبود شرایط شیمیایی خاک شده است. Rezapour et al. (2012) در پژوهشی نشان دادند که استفاده از پساب تصفیه شده فاضلاب در آبیاری بر روی نیتروژن و پتاسیم خاک در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار با شرایط شاهد می‌باشد. یزدانی و همکاران (۱۳۹۳) به منظور بررسی اثر آبیاری با پساب تصفیه خانه پرکندآباد مشهد بر خصوصیات شیمیایی خاک پژوهشی را انجام داده که نتایج نشان داد تعدد آبیاری با پساب این تصفیه خانه منجر به افزایش فسفر و نیترات خاک تحت آبیاری با آن شده است. در پژوهشی دیگر نیز نتایج نشان داد که استفاده از پساب تصفیه شده در آبیاری منجر به افزایش شوری و سدیم قابل جذب خاک می‌شود (Schacht and Marschner, 2015). در پژوهشی، Mirzaei Takhtgahi et al. (2018) نشان دادند که استفاده از آب آلوده رودخانه قره‌سو در آبیاری زمین‌های زراعی منجر به کاهش چگالی ظاهری خاک و افزایش هدایت هیدرولیکی خاک در اعماق مختلف شده است. همچنین آقابراتی و همکاران (۱۳۸۸) از پساب تصفیه شده به منظور آب آبیاری استفاده کرده که نتایج نشان داد استفاده از پساب تصفیه شده نسبت به آب چاه منجر به افزایش pH خاک، پتاسیم، نیتروژن و فسفر در اعماق مختلف شده است. در تحقیقی رحیمی و همکاران (۱۳۹۴) به منظور بررسی اثر آبیاری با پساب صنعتی بر تربچه نشان دادند که آبیاری با پساب سبب افزایش معنی‌دار نسبت جذب سدیم، میزان شوری و میزان کلر خاک شد. در حالی‌که کاربرد درصدهای مختلف پساب در مقایسه با تیمار شاهد، سبب کاهش معنی‌دار

اسیدیته خاک در سطح احتمال یک درصد شد. همچنین Irandoost and Salehi Tabriz. (2017) نشان دادند که استفاده از پساب در آبیاری منجر به افزایش نیتروژن و فسفر شده و اسیدیته خاک را نسبت به استفاده از آب چاه کاهش می‌دهد. El Youssfi et al. (2012) در تحقیقی به منظور بررسی اثر آبیاری با پساب شهری بر عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم (QS 0938, QM 1113, DO708) گیاه کینوا نشان دادند که افزایش شوری پساب شهری بر روی عملکرد ارقام مختلف مورد بررسی اثری نداشته و بیشترین میزان عملکرد نیز با ۷/۰۳ تن در هکتار در رقم A211 مشاهده شد. از طرفی ایشان نشان دادند که آب فاضلاب به عنوان یکی از منابع آبی برای آبیاری این گیاه در مراکش می‌توان استفاده کرد. هریچی و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی به منظور بررسی اثر کم‌آبیاری بر ارقام (QM 1113, DO708) گیاه کینوا تحت آبیاری با پساب شهری نشان دادند که آبیاری با پساب شهری منجر به افزایش سطح‌برگ، وزن تر ریشه شده بطوری‌که در رقم DO708 و میزان ۵۰ درصد آب دارای بیشترین میزان سطح برگ بود. بر اساس نتایج مطالعه عسگری و همکاران (۱۳۸۷) بر روی گیاه آفتابگردان، آبیاری با پساب در مقایسه با آب معمولی تاثیر ویژه‌ای بر عملکرد دانه و وزن هزار دانه داشته و همچنین ایشان اظهار داشتند که آبیاری با پساب در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک در شرایط مشابه مناسب است. نتایج تحقیقی دیگر نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه در تیمار شاهد و بیشترین تعداد گلچه بارور در هر سنبله در تیمار پساب خالص مشاهده شد (شفق کلوانق و همکاران، ۱۳۹۴) و همچنین بیشترین تعداد پنجه بارور و عملکرد دانه از تیمار آبیاری با پساب با نسبت‌های تعیین شده در کل دوره رشد بدست آمد. برخی محققان به منظور بررسی اثرات پساب شهری بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت در مرودشت گزارش کردند که آبیاری با پساب باعث افزایش بیشتر کارایی مصرف آب در مقایسه با آب چاه گردیده اما تفاوت آنها معنی‌دار نبود (Hassanli et al., 2009). با توجه به کمبود آب‌های با کیفیت و اهمیت استفاده و بازچرخانی آب در بخش کشاورزی و صنعت، با توجه به خشکسالی‌های اخیر از یک سو و از طرف دیگر افزایش جمعیت و تقاضای بیشتر غذا، نیاز به استفاده از آب‌های نامتعارف در بخش کشاورزی بیش از پیش مورد توجه است. با توجه به اینکه تا کنون، مدیریت‌های مختلف استفاده از پساب تصفیه شده شهری بر روی رقم Titicaca گیاه کینوا مورد بررسی قرار نگرفته بود، از این رو در این پژوهش از مدیریت‌های مختلف استفاده از پساب تصفیه شده شهر مشهد برای آبیاری گیاه کینوا استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر پساب تصفیه شده شهری بر خاک، عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه کینوا در سال ۱۳۹۶ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در قالب طرح کاملا تصادفی با پنج تیمار و در ۳ تکرار به صورت گلدانی اجرا گردید. تیمارهای مورد بررسی در این تحقیق عبارت بود از W_1: تیمار شاهد (آبیاری با آب شهری در تمام طول فصل رشد)، W_2: پساب تصفیه شده شهری، W_3: اختلاط ۵۰:۵۰ پساب تصفیه شده شهری و آب شهری (در هر نوبت آبیاری، نیمی از حجم آب آبیاری با پساب و نیمی دیگر از آب شهری با هم مخلوط شده و در آبیاری استفاده شد) ، W_4: پساب تصفیه شده شهری بصورت یک در میان (آبیاری به‌صورت یک در میان، یک بار با پساب و بار دیگر با آب شهری) و W_5: پساب تصفیه شده شهری به‌صورت زیر سطحی بوده و از مرحله‌ی چهار برگی شدن بوته‌ها اعمال شد (شکل ۱).

شکل (۱): شماتیک طرح و نمایی از چیدمان گلدان‌ها در گلخانه

$$\text{بهره‌وری مصرف آب} = \frac{\text{عملکرد دانه}}{\text{میزان آب مصرفی}} \qquad (۱)$$

خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است. فاضلاب تصفیه شده در این پژوهش فاضلاب تصفیه‌خانه خین عرب مشهد بود. قبل از کاشت، خاک مورد استفاده در گلدان‌ها با نسبت ۲۰:۲۰:۳۰:۳۰ درصد خاک، ماسه، کود گاوی پوسیده و پرلیت تهیه شده که دارای بافت سیلتی لومی (به روش هیدرومتری)، شوری ۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر (با EC متر) و اسیدیته ۷/۸۵ (با pH متر) بود. حد ظرفیت زراعی در خاک مورد استفاده برابر با ۲۶ درصد بود که با استفاده از روش صفحات فشاری اندازه‌گیری شد. میزان نیتروژن (روش کجلدال)، فسفر و میزان پتاسیم (روش فلیم فتومتری) به‌ترتیب در خاک ۰/۰۵ درصد، ۵/۸ و ۱۰۶/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود. در این پژوهش، از گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهلنه ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر استفاده شد. در تاریخ ۱۰ دی ۱۳۹۶ ده بذر گیاه دارویی کینوا رقم Titicaca کاشته که پس از رسیدن به مرحله ۴ برگی تعداد سه بوته در هر گلدان نگه داشته شد. در تاریخ اول بهمن ۱۳۹۶ پس از اینکه گیاهان تنک شده و در گلدان‌ها مستقر شدند، تیمارهای آبیاری هر یک ازگلدان‌ها اعمال شد. دور آبیاری در این طرح متغیر بوده و بر اساس میزان تخلیه مجاز رطوبتی (MAD[†]) و رطوبت موجود در خاک با استفاده از دستگاه TDR ساخت شرکت Lutron تایوان مدل PMS-714 تعیین شد، از طرفی عمق آبیاری ثابت بوده که با استفاده از روش وزنی تعیین شد. گلدان‌هایی به صورت مجزا از طرح آماری در نظر گرفته شده و با کیفیت‌های آب مورد استفاده در این پژوهش آبیاری شد و برای تعیین میزان آب آبیاری، به‌طور روزانه رطوبت این گلدان‌ها که در بین گلدان‌ها قرار داشت، اندازه‌گیری شده و رژیم‌هایی که درصد وزنی رطوبت خاک به میزان تخلیه مجاز رطوبتی رسیده بود، آبیاری در هر تیمار انجام شد و به میزان کمبود وزن گلدان‌ها از حالت FC به گلدان‌ها آب داده شد (Khorasaninejad et al., 2018). تا

[†] با توجه به مقاوم بودن این گیاه به تنش خشکی، مقدار تخلیه مجاز رطوبتی ۵۰ درصد در نظر گرفته شد (Al-Naggar et al., 2017).

مرحله استقرار گیاه، آبیاری تمام تیمارها با استفاده از آب شهری و به میزان حد ظرفیت زراعی انجام شد و سپس اعمال تیمارها صورت پذیرفت. در این پژوهش با توجه به اینکه از کود دامی پوسیده استفاده شده بود، جهت مبارزه با علف‌های هرز رشد کرده در گلدان‌ها وجین علف‌های هرز با دست و در طی ۴ مرحله انجام شد. در انتهای آزمایش و پس از اینکه دانه گیاهان در مرحله سفت شدن بودند، آبیاری بوته‌ها در تاریخ ۱ اردیبهشت ۱۳۹۷ قطع شده و گیاهان در تاریخ ۱۵ اردیبهشت کف‌بری شده و به آزمایشگاه منتقل شد. عملکردی برداشت شده برای تمامی گیاهان (۳ بوته در هر گلدان) شامل وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد سنبله بوده که با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ توزین شد. در این پژوهش جهت محاسبه بهره‌وری فیزیکی مصرف آب که مبتنی بر عملکرد دانه بود از رابطه (۱) استفاده شد. اسیدیته خاک، پتاسیم، نیتروژن و فسفر صفات مرتبط با خاک بوده که پس از اتمام دوره رویشی گیاه مورد مطالعه قرار گرفت (Munns et al., 2010; Kjeldahl, 1883; Pandey et al., 2018). در انتها داده‌ها با نرم‌افزار SAS (ver. 9.4) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. جهت ترسیم اشکال نیز از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

اسیدیته، پتاسیم، فسفر و نیتروژن خاک

مطابق با جدول تجزیه واریانس‌های مربوط به صفات شیمیایی خاک مورد استفاده پس از اعمال تیمارهای آبیاری و در انتهای فصل رشد (جدول ۳) کیفیت آب آبیاری بر پتاسیم، فسفر و نیتروژن خاک در سطح احتمال یک درصد و بر pH خاک در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. مطابق جدول (۴) تغییرات کمی در صفت اسیدیته خاک در شرایط آبیاری با رژیم‌های مختلف پساب شهری مشاهده شد که می‌تواند بخاطر ظرفیت بافری خاک باشد که به همین دلیل اسیدیته در طول زمان تغییر زیادی نمی‌کند. کاهش اسیدیته در آبیاری با پساب به‌صورت زیر سطحی در طی مراحل کشت را می‌توان بخاطر افزایش تجزیه مواد آلی خاک در نتیجه افزوده شدن میکروارگانیسم‌های موجود در پساب به خاک و تشکیل مواد حد واسط اسیدی نسبت داد. بیشترین میزان تغییرات pH خاک در تیمار اختلاط ۵۰:۵۰ پساب شهری و آب چاه مشاهده شد، به طوری‌که منجر به بروز افزایش ۲/۳ درصدی نسبت به قبل از اعمال تیمارها شد. در این صفت مطابق با جدول (۴) بین تیمارهای آب چاه، پساب تصفیه شده شهری و استفاده یک در میان از پساب و آب چاه در سطح احتمال ۵ درصد در مقایسه میانگین‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین بالا بودن اسیدیته فاضلاب و میزان زیاد کاتیون‌های موجود در آن نسبت به آب چاه خود میتواند از دلایل افزایش اسیدیته در خاک باشد، بطوری‌که در پژوهش‌های متعددی این دلیل ارائه شده است (Mohammad and Mazahreh, 2003; Willett et al., 1984). نتایج این پژوهش با نتایج فراستی و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت داشت.

بر اساس جدول (۴) رژیم‌های مختلف آبیاری با پساب شهری اختلاف معنی‌داری در صفت پتاسیم نسبت به شرایط آبیاری با آب چاه نشان داد، به‌طوری‌که استفاده از پساب، اختلاط، یک در میان و آبیاری زیر سطحی به‌ترتیب منجر به افزایش ۷۸/۲، ۵۱/۹، ۲۴/۰ و ۳۴/۷ درصدی نسبت به استفاده از آب چاه نشان داد. بیشترین میزان از این صفت نیز در تیمار استفاده از پساب در طول فصل رشد (۲۰۶/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) وکمترین میزان آن نیز در تیمار آبیاری با آب چاه با ۱۱۶/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده شد. لازم به ذکر است که در این صفت بین تیمارهای استفاده یک در میان از پساب و آب چاه و اعمال آبیاری با پساب به‌صورت زیر سطحی در مقایسه میانگین‌ها اختلاف معنی‌داری در

سطح احتمال ۵ درصد مشاهده نشد. بر اساس جدول (۴) رژیم‌های مختلف آبیاری با پساب شهری اختلاف معنی‌داری در صفت فسفر داشته و میزان این صفت را در خاک پس از اعمال تیمارهای آبیاری نسبت به شرایط آبیاری با آب چاه در شرایط اعمال تیمارهای پساب، اختلاط، یک در میان و آبیاری زیر سطحی به‌ترتیب منجر به افزایش ۳۷۷/۰، ۲۳۲/۴، ۶۶/۲ و ۱۳۶/۵ درصدی نسبت به استفاده از آب چاه نشان داد. بیشترین میزان از این صفت نیز در تیمار استفاده از پساب در طول فصل رشد (۳۵/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) و کمترین میزان آن نیز در تیمار آبیاری با آب چاه با ۷/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده شد. لازم به ذکر است که در این صفت بین تیمارهای استفاده یک در میان از پساب و آب چاه و اعمال آبیاری با پساب به‌صورت زیر سطحی و بین تیمارهای آب چاه و استفاده یک در میان از پساب و آب چاه در مقایسه میانگین‌ها اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد مشاهده نشد. در صفت نیتروژن نیز بیشترین میزان در تیمار پساب تصفیه شده شهری مشاهده شد که نسبت به تیمار استفاده از آب چاه منجر به افزایش معنی‌دار ۷۸/۴ درصدی شد. در این صفت از نظر مقایسه میانگین‌ها بین تمامی تیمارها در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده شد. دلیل افزایش پتاسیم و فسفر در خاک‌های آبیاری شده با پساب نسبت به تیمار آبیاری با چاه می‌تولند به‌دلیل جایگزینی کاتیون‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} به‌جای Na^{+} در خاک باشد که منجر به کاهش فعالیت پتاسیم در واکنش‌های شیمیایی خاک شده است. زیادت کاتیون‌های مذکور در خاک باعث بهبود خواص فیزیکی خاک و ریشه‌دوانی بهتر گیاه در خاک و به تبع آن رشد بهتر گیاه می‌شود. از طرفی جایگزینی این کاتیون‌ها با سدیم می‌تواند سبب تثبیت بهتر فسفر در خاک و به تبع آن افزایش این آنیون در خاک شود. نتایج این پژوهش با نتایج Irandoost and Salehi Tabriz (2017)، Heidarpour et al. (2007) و حسینی‌پور و همکاران (۱۳۸۸) مطابقت دارد. همچنین می‌توان اینگونه بیان کرد که بالا بودن غلظت عناصر غذایی در فاضلاب شهری نسبت به آب چاه، سبب افزایش غلظت پتاسیم، فسفر و نیتروژن در خاک شده است. در واقع فاضلاب محتوی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه چون ازت، فسفر، پتاس و عناصر کم‌مصرف مانند آهن، روی، منگنز است که در حالت معمولی آلوده کننده بالقوه آب‌های جاری محسوب می‌شوند ولیکن این عناصر را میتوان به عنوان کود محلول جهت کشت و زرع و درختکاری به‌کار برد.

بهره‌وری مصرف آب

بر اساس جدول تجزیه واریانس‌ها (جدول ۵) نتایج نشان داد که بهره‌وری مصرف آب در شرایط اعمال تیمارهای آبیاری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است. مطابق با شکل (۲) این صفت در شرایط استفاده از پساب نسبت به تیمار آب چاه دارای روند صعودی بوده و بیشترین میزان این صفت در تیمار آبیاری به صورت زیر سطحی پساب تصفیه شده شهری مشهد (۲/۰۶ کیلوگرم در متر مکعب) مشاهده شد. استفاده از پساب در کل دوره رشد، اختلاط ۵۰:۵۰، استفاده یک در میان پساب و آب چاه و استفاده به صورت زیر سطحی از پساب منجر به بهبود بهره‌وری مصرف آب به‌ترتیب به میزان ۳۱/۱، ۸/۶، ۲۰/۵ و ۳۶/۴ درصد شد. دلیل اینکه در تیمار اختلاط و یک در میان در مقایسه با دو تیمار دیگر بهره‌وری به میزان کمتری افزایش یافته می‌تواند به این دلیل باشد که در دو تیمار قبل عناصر غذایی بیشتری که با پساب وارد خاک می‌شده در اختیار گیاه قرار می‌گرفته است. در تیمار یک در میان پس از هر آبیاری با پساب در آبیاری دیگر عناصر غذایی کمتری با آب چاه به خاک افزوده می‌شده و گاها مقداری از عناصر در مرحله قبل شسته شده است. در روش اختلاطی نیز چون پساب رقیق شده از میزان عناصر آن نسبت به دو روش قبل کاسته شده است. نتایج این پژوهش با نتایج

Hassanli et al. (2009) بر روی ذرت مطابقت داشت.

وزن هزار دانه و عملکرد دانه

بر اساس جدول (۵) وزن هزار دانه و عملکرد دانه در اثر ترکیبات تیماری مورد استفاده در این پژوهش به‌ترتیب در سطح احتمال ۵ و یک درصد معنی‌دار شد. بر اساس شکل (۳) استفاده از پساب در کل دوره رشد، اختلاط ۵۰:۵۰، استفاده یک در میان پساب و آب چاه و استفاده به صورت زیر سطحی از پساب منجر به بهبود وزن هزار دانه به‌ترتیب به میزان ۸/۸، ۶/۷، ۷/۵ و ۹/۶ درصد شد. لازم به ذکر است که در این صفت مطابق با آزمون مقایسه میانگین‌ها (LSD) بین تمامی تیمارهای استفاده از پساب اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد وجود ندارد (بجز تیمار آبیاری با آب چاه). بیشترین و کمترین میزان این صفت به‌ترتیب در تیمارهای آبیاری با پساب به‌صورت زیر سطحی (۴/۱ گرم) و آبیاری با آب چاه (۳/۷۴ گرم) مشاهده شد. در صفت عملکرد دانه نیز مشابه صفت وزن هزار دانه در شرایط استفاده از پساب در آبیاری این گیاه روندی افزایشی مشاهده شد، به‌طوری‌که استفاده از پساب در کل دوره رشد، اختلاط ۵۰:۵۰، استفاده یک در میان پساب و آب چاه و استفاده به صورت زیر سطحی از پساب سبب افزایش ۳۰/۷، ۸/۸، ۲۰/۶ و ۳۶/۱ درصد نسبت به تیمار آبیاری با آب چاه شد. در این صفت بین آبیاری سطحی و زیر سطحی با پساب اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. پساب علاوه بر نیتروژن، فسفر و پتاسیم دارای سایر عناصر ضروری مورد نیاز گیاه نیز می‌باشد (Rattan et al., 2005). افزایش عملکرد دانه و سنبله در اثر آبیاری با پساب تصفیه شده شهری مشهد می‌تواند به دلیل افزایش مقدار عناصر غذایی (فسفر، پتاسیم و نیتروژن) موجود در آن در مقایسه با آب شهری باشد که می‌توان آن‌را اینگونه تفسیر کرد که آبیاری با پساب باعث افزایش رشد و توسعه برگ و ریشه گیاه شده، که این خود باعث به وجود آمدن میانگره‌ها و نقاط مستعد بیشتری برای تولید جوانه‌های فرعی و افزایش تعداد سنبله می‌شود. حال اگر موادغذایی کافی در اختیار این گیاه قرار گیرد، منجر به رشد این جوانه‌ها شده و ساقه‌هایی فرعی به وجود می‌آورد که بر روی هر یک احتمال ظهور سنبله افزایش می‌یابد. همانطور که مشاهده شد، پساب این توانایی را دارد که مواد غذایی مورد نیاز گیاه را فراهم کند، با افزایش مواد غذایی در دسترس گیاه جوانه‌های جانبی رشد نموده و به تبع آن با افزایش نسبت پساب تعداد سنبله و عملکرد سنبله افزایش یافته که خود می‌تواند دلیلی بر افزایش عملکرد دانه باشد. آبیاری با پساب باعث تسهیل برگ‌دهی و افزایش تعداد برگ و به تبع آن افزایش سطح فتوسنتزی گیاه می‌شود. در پی آن با افزایش تعداد برگ‌ها در گیاه جذب انرژی خورشیدی بالا رفته و فرآیند متابولیسم و جذب بیشتر CO_2 سبب افزایش رشد گیاه می‌شود (Myers et al., 1996) ، افزایش سطح فتوسنتزی سبب بهبود تولید شیره پرورده شده که در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. افزایش شیره پرورده در شرایط استفاده از پساب به دلیل بهبود در تعداد برگ و رنگیزه‌های موجود و افزایش فتوسنتز سبب فراهمی این ماده برای دانه‌ها شده و به تبع آن وزن هزار دانه در شرایط استفاده از پساب در مقایسه با آب چاه افزایش یافته است (فریدونی و همکاران، ۱۳۹۲). Keller et al. (2002) بیان کردند که به دلیل فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در پساب رشد گیاه و تولید محصول آن افزایش می‌یابد که در این پژوهش نیز نتایج این پژوهشگران مشهود بود و استفاده از پساب سبب بهبود عملکرد دانه که اندام اقتصادی این گیاه به شمار می‌آید، شد. نتایج این پژوهش با نتایج El Youssfi et al. (2012) بر روی کینوا، شفق کلوانق و همکاران (۱۳۹۴) بر روی گندم، فریدونی و همکاران (۱۳۹۲) بر روی ذرت و Hassanli et al. (2009) بر روی ذرت مطابقت داشت.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده، اعمال تیمارهای پساب، اختلاط، یک در میان و آبیاری زیر سطحی نسبت به استفاده از آب چاه به‌ترتیب منجر به افزایش ۳۷۷/۰، ۲۳۲/۴، ۶۶/۲ و ۱۳۶/۵ درصدی میزان فسفر در خاک شد. همچنین صفات نیتروژن و پتاسیم نیز در تمامی ترکیبات تیماری فوق‌الذکر دارای روند افزایشی بود، به‌طوری‌که در تیمار آبیاری با پساب به‌ترتیب صفات مذکور افزایش ۷۸/۴ و ۷۸/۲ درصدی را نسبت به اعمال آبیاری با آب چاه در خاک نشان دادند. استفاده از پساب تصفیه شده شهری در آبیاری بر pH خاک به‌دلیل خاصیت بافری خاک اثر زیادی ندارد. بر اساس نتایج استفاده از پساب در آبیاری این گیاه بهره‌وری مصرف آب را افزایش داده است. بیشترین میزان از وزن هزار دانه و عملکرد دلنه این گیاه در تیمار آبیاری با پساب به صورت زیر سطحی بدست آمده است، لازم به ذکر است که استفاده از پساب در آبیاری در تمامی رژیم‌ها منجر به بهبود عملکرد دانه در مقایسه با آبیاری با آب چاه شده است، که خود می‌تواند عواید مناسبی را بیش از آبیاری با آب چاه و با رعایت نکات ایمنی و پیروی از دستورالعمل‌های بهداشتی در اختیار کشاورز قرار دهد. مطابق با نتایج به‌دست آمده استفاده از پساب تصفیه شده شهری منجر به غنی شدن خاک‌ها از عناصر مفید پتاسیم، فسفر و نیتروژن که بیشترین استفاده را توسط گیاه داشته شده و منجر به کاهش کودهای شیمیایی و به تبع آن بهبود وضعیت اقتصادی کشاورز و از همه مهمتر کاهش آلودگی محیط زیست ناشی از مصرف این کودها می‌شود. مطابق با نتایج فوق الذکر بهترین تیمار برای آبیاری با پساب اعمال این منبع آبی به صورت زیر سطحی بوده و پس از آن اعمال به صورت سطحی است. لازم به ذکر است که استفاده از پساب در کشاورزی ملزم به آزمایشات کیفی بر روی گیاه بوده که از نظر سلامتی به انسان ضرری وارد نشود، از این‌رو در راستای این پژوهش بررسی کیفیت دانه گیاه کینوا برای کاهش خطرات احتمالی پیشنهاد می‌شود.

جدول (۱): خصوصیات شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده

کیفیت آب	SAR	Cl (meq/L)	Na (meq/L)	K (meq/L)	Ca (meq/L)	Mg (meq/L)	SO_4 (meq/L)	HCO_3 (meq/L)	$^{\#}EC_{25}$ (dS/m)	pH
آب شهری	۲/۷۱	۱	۰/۲۷	۰/۴۸	۴/۴	۲/۸	۰/۷	۷	۱/۲۳	۸/۲

جدول (۲): خصوصیات شیمیایی پساب تصفیه شده شهری مشهد

آب آبیاری	کل جامدات محلول (mg/l)	pH	BOD5 (mg/L)	COD (mg/L)	Ca2+ (meq/L)	Mg2+ (meq/L)	نیترات (meq/L)	سولفات (meq/L)	کلراید (meq/L)
پساب تصفیه شده شهری	۱۲۵	۷/۹	۱۱۰	۱۹۷	۵۰/۴۶	۳۷/۳۲	۱/۲۵	۷۵	۵۹۰

جدول (۳): تجزیه واریانس صفات شیمیایی خاک پس از آزمایش

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		اسیدیته	پتاسیم	فسفر	نیتروژن
کیفیت آب آبیاری	۴	۰/۰۱۵ *	۳۴۹۲/۵ **	۳۵۹/۶ **	۰/۰۰۰۸ **
خطا	۱۰	۰/۰۰۲	۸۴/۹	۱۲/۴	۰/۰۰۰۰۱
ضریب تغییرات		۱/۵	۵/۸	۱۸/۱	۴/۶

**: معنی‌داری در سطح ۱ درصد، *: معنی‌داری در سطح ۵ درصد، ns غیر معنی‌دار

جدول (۴): اثر رژیم‌های مختلف آبیاری با پساب تصفیه شده بر خواص شیمیایی خاک

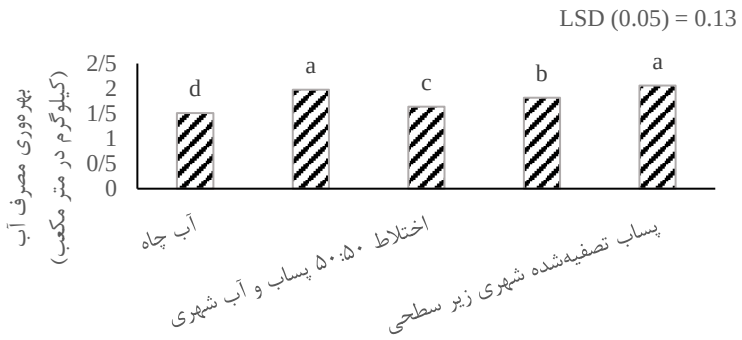
ترکیبات تیماری	اسیدیته	پتاسیم	فسفر	نیتروژن
		mg Kg^{-1}		%
آب چاه	7.92 b	116.1 d	7.4 d	0.051 e
پساب تصفیه‌شده شهری	7.97 ab	206.9 a	35.3 a	0.091 a
اختلاط ۵۰:۵۰ پساب و آب شهری	8.03 a	176.3 b	24.6 b	0.081 b
یک در میان پساب شهری	7.93 b	144.0 c	12.3 cd	0.058 d
پساب تصفیه‌شده شهری زیر سطحی	7.84 c	156.4 c	17.5 c	0.071 c
LSD (0.05)	0.08	16.8	6.4	0.006

حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم معنی‌داری بین تیمارهای مورد بررسی در سطح احتمال ۵ درصد است.

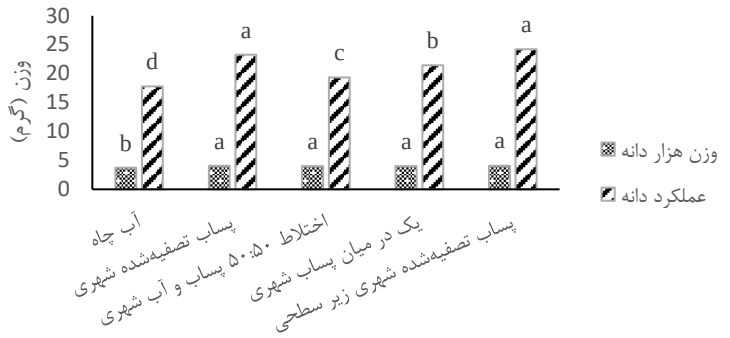
جدول (۵): تجزیه واریانس صفات عملکردی و بهره‌وری مصرف آب کینوا تحت رژیم‌های مختلف پساب تصفیه شده شهری

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		بهره‌وری مصرف آب	وزن هزار دانه	عملکرد دانه
کیفیت آب آبیاری	۴	۰/۱۵ **	۰/۰۶ *	۲۳/۳ **
خطا	۱۰	۰/۰۰۵	۰/۰۰۸	۰/۷
ضریب تغییرات		۳/۹	۲/۳	۳/۹

**: معنی‌داری در سطح ۱ درصد، *: معنی‌داری در سطح ۵ درصد، ns غیر معنی‌دار



شکل (۲): اثر رژیم‌های مختلف آبیاری با پساب تصفیه شده شهری مشهد بر بهره‌وری مصرف آب گیاه کینوا رقم Titicaca



شکل (۳): اثر رژیم‌های مختلف آبیاری با پساب تصفیه شده شهری مشهد بر عملکرد دانه و وزن هزار دانه گیاه کینوا رقم Titicaca

منابع

آقابراتی، ا.، حسینی، س.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. ۶(۳): ۱-۱۰.

چوپان، ی.، امامی، س. و حسام، م. ۱۳۹۷. بررسی خصوصیات شیمیایی خاک تحت تأثیر آبیاری با پساب صنعتی تصفیه نشده (مطالعه موردی: تربت حیدریه). آبیاری و زهکشی ایران. ۱۲(۴): ۸۶۲-۸۷۱.

حسین‌پور، ا.، حق‌نیا، غ.ح.، علیزاده، ا. و فتوت، ا. ۱۳۸۸. بررسی تغییرات کیفیت شیمیایی فاضلاب خام و پساب شهری در اثر عبور از ستون‌های خاک. آب و خاک. ۲۳(۳): ۴۵-۵۶.

رحیمی، ق.، امرایی، ل. و کیمیایی طلب، ع. ۱۳۹۴. اثر آبیاری با پساب صنعتی بر روند تغییرات برخی فلزات سنگین در خاک و گیاه تربچه. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. ۶(۴): ۱۱-۲۰.

شفق کلوانق ج.، زهتاب سلماسی س.، اعلمی میلانی م.، اوستان ش. و عبدلی (۱۳۹۴) اثر استفاده از پساب کارخانه تولید خمیرمایه بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در منطقه قراملک تبریز. دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۵(۲): ۶۴-۷۷.

عسگری، ک.، سلیمانی، ع. و نجفی، پ. ۱۳۸۷. اثر فاضلاب تصفیه شده شهری بر شاخص عملکرد دانه و اجزای آن در گیاه آفتابگردان تحت تیمارهای مختلف آبیاری. پژوهش آب ایران. ۲(۲): ۴۵-۵۲.

فراستی، م.، توسلی، ع.، فتح‌آبادی، ا. و قلی‌زاده، ع. ۱۳۹۷. بررسی اثر آبیاری با پساب و چاه بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اراضی زراعی. مطالعات محیط‌زیست، منابع طبیعی و توسعه پایدار. ۵: ۵۱-۶۱.

فریدونی، م.ج.، فرجی، ه. و اولیایی، ح.ر. ۱۳۹۲. تأثیر پساب شهری تصفیه شده و نیتروژن بر عملکرد کمی، کیفیت دانه ذرت شیرین و برخی ویژگی‌های خاک در منطقه یاسوج. دانش آب و خاک. ۲۳(۳): ۴۳-۵۶.

یزدانی، و.، قهرمان، ب.، داوری، ک. و فاضلی، ا. ۱۳۹۳. تأثیر پساب بر خصوصیات فیزیکی و شیمیای خاک. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست. ۱۶(۱): ۵۴۳-۵۵۸.

El Youssfi, L., Choukr-Allah, R., Zaafrani, M., Mediouni, T., Samba, B. and Hirich, A., 2012. Effect of domestic treated wastewater use on three varieties of Quinoa (Chenopodium quinoa) under semiarid conditions. World Academy of Science. Engineering and Technology. International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering. 6(8): 562-565.

Hasan H., Battikhi A. and Qrunfleh M. (2014) Impacts of Treated Wastewater Reuse on Some Soil Properties and Production of Gladiolus communis. Journal of Horticulture. 1: 111.

Hassanli A.M., Ebrahimizadeh M.A. and Beecham S (2009) the effect of irrigation methods with effluent and irrigation scheduling on water use efficiency and corn yields in an arid region. Agricultural Water Management. 96: 93-99.

Heidarpour, M., Mostafazadeh-Fard, B., Koupai, J. A., & Malekian, R. (2007). The effects of treated wastewater on soil chemical properties using subsurface and surface irrigation methods. Agricultural Water Management, 90(1-2), 87-94.

Hirich, A., Allah, R.C., Jacobsen, S.E., El Youssfi, L. and El Homaria, H., 2012. Using deficit irrigation with treated wastewater in the production of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) in Morocco. Revista Científica UDO Agrícola. 12(3), pp.570-583.

Irandoost, M., & Salehi Tabriz, A. (2017). The effect of municipal wastewater on soil chemical properties. Solid Earth Discuss, 1-13.

Keller, C., S. P. McGrath and S. J. Dunham (2002). Trace metal leaching through a soil grassland system after sewage sludge application. J. Environ. Qual., 31: 1550-1560.

Kjeldahl, J. (1883) A New Method for the Determination of Nitrogen in Organic Matter. Zeitschrift für Analytische Chemie, 22, 366-382.

Madani, K. (2014) Water Management in Iran: what is causing the looming crisis? Journal of Environmental Studies and Sciences (4), 315–328.

Mirzaei-Takhtgahi, H., Ghamarnia, H., & Pirsaheb, M. (2018). Impact of irrigation with contaminated water on soil properties (Case Study: Border Land of Gharesoo River). Journal of Applied Research in Water and Wastewater, 5(2), 447-453.

Mohammad, M. J. and N. Mazahreh (2003). Changes in soil fertility parameters in response to irrigation of forage crops with secondary treated wastewater. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 34: 1281–1294.

Munns, R., Wallace, P. A., Teakle, N. L., & Colmer, T. D. (2010). Measuring soluble ion concentrations (Na+, K+, Cl−) in salt-treated plants. In Plant stress tolerance (pp. 371-382). Humana Press.

Myers, B. J., S. O. Theiveyanath, N. O. Brian and W. J. Bond. 1996. Growth and water use of Eucalyptus grandis and Pinus radiata plantation irrigated with effluent. Tree Physiuol. 16: 211-219.

Pandey, N. C., Tewari, L. M., Joshi, G. C., & Upreti, B. M. (2018). Physico-chemical characterization of Oak, Pine and Sal forest soil profiles of Betalghat Region of Kumaun Himalaya. Eurasian Journal of Soil Science, 7(3), 261-272.

Rattan, R. K., S. P. Datta, P. K. Chhonkar, K. Suribabu and A. K Singh. 2005. Long-term Impact of Irrigation with Sewage Effluents on Heavy Metal Content in Soils, Crops and Groundwater a case study. Agriculture, Ecosys. And Environ. 109: 310–322.

Rezapour,S., Samadi,A and Khodaverdiloo,H. 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.

Rezayan, A. and Rezayan, A. H., (2016). Future studies of water crisis in Iran based on processing scenario. Irainian journal of Ecohydrology, Vol. 3, No. 1, spring 2016.

Schacht, K., & Marschner, B. (2015). Treated wastewater irrigation effects on soil hydraulic conductivity and aggregate stability of loamy soils in Israel. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 63(1), 47-54.

Willett, I. R., P. Jakobsen, K. W. J. Malafant and W. J. Bond (1984). Effect of land disposal of lime treated sewage sludge on soil properties and plant growth. Division of water and land resources, CSIRO, Canberra. Div. Rep., 84:3, 56.

Evaluation the Effects of Using Treated Wastewater on Soil Characteristics, Yield and Water Productivity of Quinoa

Saber Jamali [1], Seyedeh Mahboubeh Zeynodin[2], Mahdi Kolahi[3*]

Abstract

Since the sustainable agriculture field is the main water consumer, using techniques in order to increasing water use efficiency is necessary. An investigation was done to evaluate effects of different regimes of urban wastewater on chemicals properties of soil, yield and water productivity of Quinoa plant (cv. Titicaca), at Research Greenhouse of Ferdowsi University of Mashhad, during 2017-2018. The research was based on completely randomized design with three replications in greenhouse conditions and in pots. Five applied treatments were urban fresh water, urban wastewater, alternate wastewater and fresh water, mixture of 50-50 percent wastewater and freshwater, and subterranean irrigation with urban wastewater. The results show that the treatments were significant on K, P, N, and water productivity; grain yield was significant at 1 percent level ($P<0.01$), but on pH and 1000 kernel weights at 5 percent level ($P<0.05$). The research shows effects of using urban refined wastewater on an increase in all traits. The treatments of urban wastewater, alternate, mixture of 50-50 and subterranean irrigation resulted in an increase of 30.7%, 8.8%, 20.6% and 36.1% of grain yield, 31.1%, 8.6%, 20.5% and 36.4% of water productivity, 8.8%, 6.7%, 7.5% and 9.6% of 1000 kernel weights, respectively. Furthermore, the results of the experiment show that the use of refined sewage water for irrigation of Quinoa crop can increase the yield of Quinoa, positive effects on the chemical properties of the soils of the studied, and decrease the cost of supplying and using fertilizers, and then save the environment.

Keywords: Conjunction regimes, Grain yield of Quinoa, Soil chemical characteristics, subterranean irrigation, Wastewater.

[1]PhD Candidate, Water Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran, Email address: saber.jamali@mail.um.ac.ir

[2] B.Sc. Graduates, Management of Arid and Desert Areas Departments, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran, Email address: seyedemahbobe.zeinodin@mail.um.ac.ir

[3] Assistant Prof. and Faculty Member, Faculty of Natural Resources and Environment, Water and Environment Research Institute, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, PO BOX 9177948974, MahdiKolahi@um.ac.ir (* Corresponding Author)

Research Paper

Evaluation the Effects of Using Treated Wastewater on Soil Characteristics, Yield and Water Productivity of Quinoa

Saber Jamali[1], Seyedeh Mahboubeh Zeynodin[2], Mahdi Kolahi[3*]

[1] PhD Candidate, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran
[2] BSc graduate, Department of Management of Arid and Desert Areas, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran.
[3] Assistant Prof. and Faculty Member, Faculty of Natural Resources and Environment, Water and Environment Research Institute, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran, PO BOX 9177948974

10.22125/IWE.2021.186716.1128.

Received: **September.09.2020**
Accepted: **December.21.2020**
Available online: **March.13.2022**

Keywords:
Conjunction regimes, Grain yield of Quinoa, Soil chemical characteristics, Subterranean irrigation, Wastewater.

Abstract

Since the sustainable agriculture field is the main water consumer, using techniques in order to increasing water use efficiency is necessary. An investigation was done to evaluate effects of different regimes of urban wastewater on chemicals properties of soil, yield and water productivity of Quinoa plant (cv. Titicaca), at Research Greenhouse of Ferdowsi University of Mashhad, during 2017-2018. The research was based on completely randomized design with three replications in greenhouse conditions and in pots. Five applied treatments were urban fresh water, urban wastewater, alternate wastewater and fresh water, mixture of 50-50 percent wastewater and freshwater, and subterranean irrigation with urban wastewater. The results show that the treatments were significant on K, P, N, and water productivity; grain yield was significant at 1 percent level ($P<0.01$), but on pH and 1000 kernel weights at 5 percent level ($P<0.05$). The research shows effects of using urban refined wastewater on an increase in all traits. The treatments of urban wastewater, alternate, mixture of 50-50 and subterranean irrigation resulted in an increase of 30.7%, 8.8%, 20.6% and 36.1% of grain yield, 31.1%, 8.6%, 20.5% and 36.4% of water productivity, 8.8%, 6.7%, 7.5% and 9.6% of 1000 kernel weights, respectively. Furthermore, the results of the experiment show that the use of refined sewage water for irrigation of Quinoa crop can increase the yield of Quinoa, positive effects on the chemical properties of the soils of the studied, and decrease the cost of supplying and using fertilizers, and then save the environment.

* **Corresponding Author:** Mahdi Kolahi
Address: Faculty of Natural Resources and Environment, Water and Environment Research Institute, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, PO BOX 9177948974.
Email: MahdiKolahi@um.ac.ir
Tel: +98 51 38805474

1. Introduction

The quinoa plant belongs to the genus Chenopodium and the family Chenopodiaceae (Iqbal, 2015). It is well adapted to arid and semi-arid regions. It can be planted on high land up to 4000 m above sea level. Quinoa is a C3 annual dicot of 0.5 to 2 m height, terminating in a panicle consisting of small flowers, and with only one seed of around 2 mm produced per flower. (Geerts and Garcia, 2012). Quinoa seed has an excellent balance of carbohydrates, lipids, and protein for nutrition (Maradini-Filho et al., 2017). Since the sustainable agriculture field is the main water consumer, using techniques in order to increasing water use efficiency is necessary. An investigation was done to evaluate effects of different regimes of urban wastewater on chemicals properties of soil, yield and water productivity of Quinoa plant (cv. Titicaca).

2. Materials and Methods

The present investigation was carried out at the experimental ggreenhouse of Ferdowsi University of Mashhad, Iran. The research was based on completely randomized design with three replications in greenhouse conditions and in pots. Five applied treatments were urban fresh water, urban wastewater, alternate wastewater and fresh water, mixture of 50-50 percent wastewater and freshwater, and subterranean irrigation with urban wastewater. In this research work, soil samples were collected from each district at the depth of 0-15cm and put into air sealed bags to keep them away from internal and external contamination. Further, they were transmitted to research lab for the analysis of studied chemical properties. The obtained data were analyzed using statistical software of SAS (Ver. 9.4) and the means were compared using LSD test at 5% percent level of significance.

3. Results

The results show that the treatments were significant on K, P, N, and water productivity; grain yield was significant at 1 percent level ($P<0.01$), but on pH and 1000 kernel weights at 5 percent level ($P<0.05$). The research shows effects of using urban refined wastewater on an increase in all traits. The treatments of urban wastewater, alternate, mixture of 50-50 and subterranean irrigation resulted in an increase of 30.7%, 8.8%, 20.6% and 36.1% of grain yield, 31.1%, 8.6%, 20.5% and 36.4% of water productivity, 8.8%, 6.7%, 7.5% and 9.6% of 1000 kernel weights, respectively.

4. Discussion and Conclusion

Furthermore, the results of the experiment show that the use of refined sewage water for irrigation of Quinoa crop can increase the yield of Quinoa, positive effects on the chemical properties of the soils of the studied, and decrease the cost of supplying and using fertilizers, and then save the environment.

5. Six important references

1. Geerts, S., and M. Garcia (2012). Crop yield response to water. Irrigation and drainage paper. FAO 66. Page 230

2. Iqbal, M.A. (2015). An Assessment of Quinoa (Chenopodium quinoa, Willd.) Potential as a Grain Crop on Marginal Lands in Pakistan. American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci., 15 (1): 16-23

3. Maradini-Filho, A.M., M.R. Pirozi, J.T.S. Borges, H.M.P. Santana, J.B.P. Chaves, J.S.D. Reis-Coimbra, (2017). Quinoa: nutritional, functional, and anti-nutritional aspects. Crit. Rev. Food Sci. Nutr., 57: 1618-1630.

4. Rezayan, A. and Rezayan, A. H., (2016). Future studies of water crisis in Iran based on processing scenario. Irainian journal of Ecohydrology, Vol. 3, No. 1, spring 2016.

5. Schacht, K., & Marschner, B. (2015). Treated wastewater irrigation effects on soil hydraulic conductivity and aggregate stability of loamy soils in Israel. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 63(1), 47-54.

6. Willett, I. R., P. Jakobsen, K. W. J. Malafant and W. J. Bond (1984). Effect of land disposal of lime treated sewage sludge on soil properties and plant growth. Division of water and land resources, CSIRO, Canberra. Div. Rep., 84:3, 56

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.