فنآوری تولیدات گیاهی/ جلد بیستم/ شمارهٔ دوم/ صفحات ۱۱۴-۱۰۵/ پاییز و زمستان ۹۹
DOI: 10.22084/PPT.2020.16381.1845

بررسی تأثیر رژیم‌های تلفیقی آبیاری با پساب تصفیه شده شهری بر خواص مورفولوژیکی و بهره‌وری مصرف آب گیاه تربچه

Investigation the Effects of Conjunctive Irrigation Regimes with Treated Wastewater on Morphological Properties and Water Productivity of Radish

صابر جمالی[۱]، حسین بانژاد[۲*]، مریم نظری[۱] و عباس صفری‌زاده ثانی[۱]

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۴/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۰۶
(مقاله پژوهشی)

چکیده

افزایش روزافزون جمعیت همگام با معضل بحران جهانی منابع آب شیرین، استفاده از منابع آب نامتعارف در بخش کشاورزی، به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده‌ی آب شیرین، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک را ضروری می‌سازد. به‌منظور بررسی اثر رژیم‌های مختلف پساب شهری تصفیه شده بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه تربچه رقم Cherry Bell در سال ۱۳۹۶ آزمایشی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا گردید. این تحقیق بر پایه طرح کاملاً تصادفی و با ۳ تکرار در شرایط گلخانه‌ای و در گلدان اجرا گردید. تیمارهای موردبررسی در این پژوهش شامل آب شهری، پساب شهری، نیم در میان و یک‌درمیان پساب شهری و آب شهری بود. نتایج نشان‌دهنده معنی‌داری تیمارهای موردبررسی بر وزن‌تر اندام هوایی و ریشه و بهره‌وری مصرف آب در سطح احتمال یک درصد و بر ارتفاع بوته، طول، قطر، حجم و سطح ریشه در سطح احتمال ۵ درصد بود. هم‌چنین استفاده از پساب تصفیه شده شهری منجر به افزایش کلیه صفات شد. تیمار پساب شهری، متناوب یک‌درمیان و نیم در میان پساب شهری منجر به افزایش عملکرد کل (۷۳/۸، ۵۲/۵ و ۶۰/۸ درصد)، وزن‌تر ریشه (۹۶/۶، ۱۱۷/۲ و ۹۰/۶ درصد)، وزن‌تر اندام هوایی (۱۲/۷، ۴۰/۳ و ۶۳/۵ درصد) و بهره‌وری فیزیکی آب (۴۵/۶، ۷۰/۷ و ۷۴/۰ درصد) و کاهش ۲/۱، ۶/۶ و ۱۴/۶ درصدی در صفت سفتی غده شده است.

واژه‌های کلیدی: آبیاری یک‌درمیان زمانی پساب و آب چاه، پساب شهری، تربچه، رقم Cherry Bell، شرایط گلخانه‌ای

۱ و ۲. به‌ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
*: نویسنده مسئول Email: banejad@um.ac.ir

مقدمه

با توجه به کمبود آب در مناطق خشک و نیمه‌خشکی مانند ایران و افزایش جمعیتی که در سالیان اخیر رخ داده که افزایش فعالیت‌های کشاورزی و استفاده از آب را به همراه دارد، استفاده از پساب فاضلاب‌های کشاورزی، صنعتی و خانگی می‌تواند به‌عنوان منبع آب مطمئنی برای آبیاری موردتوجه قرار گیرد تا بیش از این بر منابع آب با کیفیت فشار وارد نشود و از کیفیت آن‌ها کاسته نشود. ازآنجایی‌که پساب فاضلاب جزء آب‌های کم کیفیت محسوب می‌شود، کاربرد آن در کشاورزی نیازمند مدیریت خاصی است که مخاطرات زیست‌محیطی و بهداشتی را برای انسان، خاک، گیاه و منابع آب به حداقل رساند (ملکیان و همکاران، ۱۳۸۷). کاربرد پساب برای آبیاری باید همیشه با تغییرات مهم در محیط‌زیست، جامعه و فواید آن مقایسه شود. هدف اولیه از استفاده از پساب تأمین آب آبیاری در زمین‌های کشاورزی است و بیش‌تر توجه به سمت استفاده از پساب در اراضی کشاورزی می‌باشد (*استوارت*[1]، 2008).

در تحقیقی رحیمی و همکاران (۱۳۹۴) به‌منظور 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. درحالی‌که کاربرد درصدهای مختلف پساب در مقایسه با تیمار شاهد، سبب کاهش معنی‌دار اسیدیته خاک در سطح احتمال یک درصد شد. نتایج نشان داد که غلظت کل فراهم عناصر سنگین در خاک آبیاری شده با فاضلاب تصفیه شده بیش‌تر از غلظت این عناصر در خاک آبیاری شده با آب معمولی بود، ولی مقدار آن‌ها از حدود بحرانی عناصر سنگین در خاک کم‌تر بود. بدین لحاظ، تأثیر نامناسبی بر کیفیت خاک ایجاد نکرد. به‌علاوه، آبیاری با پساب بر افزایش غلظت عناصر سنگین در غده و اندام هوایی گیاه تربچه مؤثر نبود. نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق امرایی (۱۳۹۱) نشان داد که عملکرد تربچه (وزن خشک و تر) روند منظمی در تیمارهای آزمایشی نداشته و حداکثر عملکرد در تیمار ۵۰ درصد و حداقل عملکرد در تیمار ۱۰۰ درصد به‌دست آمد. آبیاری با پساب روی غلظت عناصر سنگین در گیاه تربچه (غده و اندام هوایی) مؤثر نبود ولی روی غلظت عناصر سدیم، فسفر و پتاسیم تأثیر معنی‌داری داشت. غلظت سدیم در غده و اندام هوایی تربچه در کلیه تیمارهای آزمایشی روند افزایشی نشان داد درحالی‌که غلظت پتاسیم روند کاهشی نشان داد، هم‌چنین غلظت فسفر در تیمارهای آزمایشی روند منظمی نشان نداد و حداکثر غلظت آن در تیمار ۵۰ درصد و حداقل آن در تیمار ۱۰۰ درصد به‌دست آمد. نتایج تحقیق *خان*[2] و همکاران (2014) بر روی گیاه تربچه نشان داد که عملکرد کل گیاه تربچه در اثر افزودن میزان سرب و آبیاری با پساب معنی‌دار نشد ولی در اثر آبیاری با پساب شهری بر روی قطر ریشه دارای معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بود. نتایج تحقیقی دیگر نشان داد که کاربرد لجن فاضلاب در تیمارهای مختلف بر میزان سرب و کادمیوم کل و قابل‌جذب خاک، سرب و کادمیوم ریشه و اندام هوایی کاهو و تربچه معنی‌دار شد. مصرف سه سال مستمر ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار موجب کاهش pH و افزایش EC و OC گردید (رحیمی آلاشتی و همکاران، ۱۳۹۰). *حسن‌لی*[3] و همکاران (2009) با بررسی اثرات پساب شهری بر عملکرد و کارآیی مصرف آب ذرت در مرودشت شیراز گزارش کردند که آبیاری با پساب باعث افزایش بیش‌تر کارایی مصرف آب در مقایسه با آب تازه گردید اما تفاوت آن‌ها معنی‌دار نبود. بر اساس نتایج مطالعه عسگری و همکاران (۱۳۸۷) بر روی گیاه آفتابگردان آبیاری با پساب در مقایسه با آب معمولی تأثیر 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. در تحقیقی دیگر افشون و همکاران (۱۳۹۲) نشان دادند که اثر آب آبیاری و بافت خاک بر صفاتی از قبیل میزان کلروفیل، وزن‌تر و خشک گیاه و ارتفاع بوته معنی‌دار می‌باشد. بیش‌ترین و کم‌ترین ارتفاع چمن به میزان ۱۱/۱ و ۸/۷ سانتی‌متر به‌ترتیب در بافت خاک سیلتی و شنی مشاهده گردید. هم‌چنین ایشان اظهار کردند که آبیاری چمن فستوکا با پساب تصفیه شده فاضلاب شهری و آبیاری متداول به‌صورت یک‌درمیان و بافت خاک سیلتی در فضای سبز شهر یاسوج توصیه می‌گردد. نتایج تحقیق جلالی و همکاران (۱۳۸۹) بر روی سورگوم علوفه‌ای نشان داد که بیشترین عملکرد و اجزای عملکرد علوفه از تیمار آبیاری با پساب و آب معمولی به‌صورت یک‌درمیان و آبیاری با پساب در کل دوره رشد به دست آمد.

تربچه یک گیاه یک‌ساله از خانواده چلیپاییان با دوره رشد کوتاه‌مدت و با سرعت رشد بالا است و قسمت مورداستفاده آن غده بوده که دارای رنگ‌های سفید، سیاه، طلایی، بنفش و قرمز است. عملکرد و کیفیت گیاه تربچه به‌شدت به مواد غذایی در دسترس و آب موجود در ناحیه ریشه وابسته است (جلیلی، ۱۳۹۰). امروزه اکثر کشورهای جهان با مشکل جدی کمبود مقدار و کیفیت آب مواجه هستند که این مشکل در دهه‌های پیش رو با افزایش جمعیت، بیش‌تر نیز خواهد شد. چراکه

1. Stewart

2. Khan

3. Hassanli

پیش‌بینی شده است جمعیت کنونی ۷ میلیاردی تا سال ۲۰۳۰ به ۸ میلیارد و تا سال ۲۰۵۰ به ۹ میلیارد برسد. از سویی دیگر تغییرات آب و هوایی موجب کاهش مقدار و زمان بارندگی‌ها و نیز افزایش تبخیر و تعرق به مرور باعث کاهش منابع آب‌های زیرزمینی شده است. این مسائل موجب می‌شود که منابع دیگری برای آبیاری در بخش کشاورزی و به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مورداستفاده قرار گیرد که تحت عنوان منابع آب‌های نامتعارف شناخته شده‌اند؛ لذا با توجه به اهمیت استفاده از پساب تصفیه شده شهری در کشاورزی و با توجه به وجود منابع پساب تصفیه شده شهری در شهر مشهد و کشت متداول سبزیجات نظیر تربچه در این شهر استفاده از پساب امری اجتناب‌ناپذیر در آبیاری به‌حساب می‌آید. بررسی اثر کاربرد فاضلاب تصفیه شده شهری مشهد بر عملکرد کمی و بهره‌وری مصرف آب گیاه تربچه از اهداف پژوهش حاضر است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در زمستان ۱۳۹۶ در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای بر روی گیاه تربچه (*Raphanus sativus* L.) اجرا شد. دمای محیط حدود ۱۸ درجه سانتی‌گراد در روز و ۲۴ درجه سانتی‌گراد در شب با رطوبت نسبی حدود ۷۵ درصد تنظیم شد. به‌منظور بررسی اثر رژیم‌های تلفیقی استفاده از پساب تصفیه شده شهر مشهد (که از تصفیه‌خانه خین عرب تهیه شده بود) بر خصوصیات رشدی و بهره‌وری مصرف آب گیاه تربچه در ابتدا ظرفیت زراعی خاک تعیین شده و بر اساس آن آبیاری اعمال شد. جهت محاسبه ظرفیت زراعی سه گلدان با وزن و اندازه یکسان (گلدان‌های ۳ کیلویی با قطر دهانه ۱۵ سانتی‌متری) انتخاب و درون تمامی آن‌ها به میزان مساوی ترکیب خاک تهیه شده (حاوی خاک زراعی، ماسه‌بادی و کود به نسبت ۱:۲:۲) برای آزمایش پر شد و با آب شهری اشباع شدند. پس از خارج شدن آب ثقلی و ثابت شدن وزن گلدان‌ها پس از ۴۸ ساعت توزین شده و ظرفیت زراعی تعیین شد و با وزن شدن روزانه گلدان‌ها بر اساس کمبود آب نسبت به سطح مربوطه میزان آب آبیاری تعیین شد (مظفری و همکاران، ۱۳۹۶). خاک مورداستفاده در گلدان‌ها دارای بافت سیلتی لومی (به روش هیدرومتری)، هدایت الکتریکی ۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر (با EC متر) و اسیدیته ۷/۸۵ (با pH متر) بود. حد ظرفیت زراعی در خاک مورداستفاده 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 (جدول ۱).

جدول ۱: برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1: Some of physicochemical properties of soil

بافت خاک Soil texture	شن (درصد) Sand (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	رس (درصد) Clay (%)	حد ظرفیت زراعی (درصد) FC (%)	چگالی ظاهری (گرم بر سانتی‌مترمکعب) Bulk density (gcm^{-3})	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dSm^{-1})	اسیدیته pH	نیتروژن (میلی‌گرم در کیلوگرم) N ($mgKg^{-1}$)	فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم) P ($mgKg^{-1}$)	پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم) K ($mgKg^{-1}$)
سیلتی لومی Silty loam	26	53	21	26	1.34	1.2	7.85	504	5.8	106.5

دور آبیاری در این طرح متغیر و عمق آبیاری ثابت بوده که با استفاده از روش وزنی تعیین شد. تا مرحله استقرار گیاه، آبیاری تمام تیمارها با استفاده از آب شهری و به میزان حد ظرفیت زراعی (FC) انجام شد و سپس اعمال تیمارها صورت پذیرفت. دور آبیاری بر اساس رطوبت موجود در خاک که با استفاده از دستگاه TDR تعیین شد، اعمال گردید. تیمارهای موردبررسی شامل: تیمار شاهد (آبیاری با آب شهری در تمام طول فصل رشد)، پساب تصفیه شده شهری (آبیاری با پساب تصفیه شده شهری در تمام طول فصل رشد)، نیم در میان زمانی (در هر نوبت آبیاری نیمی از آبیاری با پساب تصفیه شده شهری و نیمی دیگر بلافاصله بعد از نفوذ با آب شهری) و تیمار یک‌درمیان زمانی (آبیاری به‌صورت یک‌درمیان، یک‌بار پساب تصفیه شده و بار دیگر با آب شهری) بود. لازم به ذکر است که خصوصیات شیمیایی آب و پساب تصفیه شده مورداستفاده در جدول (۲) و (۳) ارائه شده است.

جدول ۲: خصوصیات شیمیایی آب آبیاری

Table 2: Chemical properties of irrigation water

کیفیت آب Water quality	نسبت سدیم قابل جذب SAR	کلر Cl	سدیم Na	پتاسیم K	کلسیم Ca	منیزیم Mg	سولفات SO_4	بی‌کربنات HCO_3	هدایت الکتریکی EC	اسیدیته pH
	خواص شیمیایی Chemical characteristics									
		میلی‌اکی‌والانت بر لیتر meq/L							دسی‌زیمنس بر متر dSm^{-1}	
آب شهری Tap water	0.14	1.0	0.27	0.48	4.4	2.8	0.7	7.0	0.75	8.2

وجین علف‌های هرز با دست و در طی ۴ مرحله انجام شد. پس از تهیه محیط‌کشت مرکب، آن را به گلدان‌های پلاستیکی انتقال داده و با ترازو وزن گلدان‌ها را بررسی کرده تا شرایط یکسان باشد، لازم به ذکر است که ابتدا در کف گلدان‌ها به‌صورت یکسان لایه‌ای از سنگ‌ریزه به‌عنوان فیلتر جهت بهبود زهکشی و تهویه قرار داده شد و ۳ سانتی‌متر بالایی گلدان‌ها به‌منظور اعمال آبیاری خالی در نظر گرفته شد و بقیه حجم خالی گلدان‌ها از خاک مرکب پر شدند. در ۲۰ دی ۱۳۹۶ بذور گیاه تربچه رقم Cherry Bell در سینی‌های کشت حاوی کوکوپیت و پرلیت کاشته شد. پس از سبز شدن بذرها و رسیدن گیاه به مرحله دوبرگی، در تاریخ ۱ بهمن ۱۳۹۶ نشاها به گلدان‌های مذکور منتقل شده است. لازم به ذکر است که در هر تیمار آزمایشی تعداد تکرارها ۳ گلدان بوده و تراکم بوته در گلدان در ابتدا ۳ عدد بوده که پس از استقرار نشاها در گلدان نشایی که دارای کیفیت بهتری بود در گلدان نگه داشته و تراکم بوته قبل از اعمال تیمارها در گلدان به یک بوته تقلیل یافت.

جدول ۳: خصوصیات شیمیایی پساب تصفیه شده شهری مشهد

Table 3: Chemical properties of Mashhad treated urban wastewater

آب آبیاری Irrigation water	کل مواد جامد معلق TSS	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC	سدیم Na	کلسیم Ca	منیزیم Mg	نیترات NO_3	سولفات SO_4	کلر Cl	مس Cu	کادمیم Cd	سرب Pb	نیکل Ni	روی Zn
	میلی‌گرم در لیتر mg/L		دسی‌زیمنس بر متر dS/m	میلی‌اکی‌والانت بر لیتر meq/L						میلی‌گرم در لیتر mg/L				
پساب تصفیه شده شهری Urban treated wastewater	125	7.9	1.23	47.6	50.4	37.25	1.25	75	59.0	0.0	0.11	0.01	0.0	0.31

در ۲۰ اسفند ۱۳۹۶ (با دوره رشد ۵۰ روز) برداشت شدند. از طرفی پس از برداشت بوته‌ها، آثار تیمارهای موردبررسی بر صفات مورفولوژیک گیاه تربچه با اندازه‌گیری پارامترهای طول ریشه، حجم ریشه، وزن‌تر ریشه و سطح ریشه موردبررسی قرار گرفت. برای این منظور قسمت هوایی بوته‌ها پس از اتمام فصل رشد، قطع و ریشه گیاه با خارج کردن خاک گلدان‌ها به‌صورت یک‌جا خارج شد. ریشه‌های هر گلدان پس از چندین بار شستشو از خاک جدا شدند. در این پژوهش ارتفاع بوته بیانگر میانگین طول برگ در هر بوته می‌باشد. هر ریشه در داخل استوانه مدرج با میزان مشخص آب، گذاشته شد و از روی بالا آمدن آب، حجم ریشه برحسب سانتی‌مترمکعب به‌دست آمد. برای اندازه‌گیری وزن اندام هوایی و ریشه‌ها در حالت تر از روش توزین با ترازوی دیجیتالی دارای دقت ۰/۰۰۱ گرم استفاده شد. برای این منظور ریشه‌ها درون پاکت قرار گرفتند و وزن ریشه‌های تر به‌دست آمد. طول ریشه نیز برحسب سانتی‌متر با استفاده از خط‌کش با دقت ۰/۱ سانتی‌متر در هر تیمار گیاه تربچه تخمین زده شد. قطر ریشه گیاه تربچه نیز با استفاده از کولیس دیجیتالی اندازه‌گیری شد. سطح ریشه‌ها نیز با استفاده از رابطه پیشنهادی اتکسیون (رابطه ۱) برآورد گردید (علیزاده، ۱۳۹۳). که در آن A سطح ریشه (سانتی‌مترمربع)، V حجم ریشه (سانتی‌مترمکعب) و L طول ریشه (سانتی‌متر) می‌باشد. ریشه‌های هر گلدان پس از چندین بار شستشو از

خاک جدا شدند. بهره‌وری آب نیز از رابطه (۲) محاسبه شد که در آن WP، Y و I به ترتیب بیانگر بهره‌وری فیزیکی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، عملکرد کل (کیلوگرم) و کل آب مصرفی (مترمکعب) است.

$$A = 2(V\pi L)^{0.5} \quad (۱)$$

$$WP = \frac{Y}{I} \quad (۲)$$

در پایان بعد از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (ver. 9.0) و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد و رسم نمودار با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مورفولوژیکی و رشدی گیاه تربچه در طول دوره رشد نشان‌دهنده اثر معنی‌دار کیفیت آب آبیاری در سطح یک درصد بر وزن‌تر اندام هوایی و ریشه، سفتی غده و بهره‌وری مصرف آب معنی‌دار بوده، ولی بر صفات ارتفاع بوته، طول ریشه، قطر ریشه، سطح و حجم ریشه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). مطابق جدول ۵ نتایج مقایسه میانگین صفات وزن‌تر اندام هوایی و غده نشان داد که بیش‌ترین میزان وزن‌تر اندام هوایی و غده به‌ترتیب با ۲۷/۲ گرم و ۲۳/۹ گرم مربوط به تیمار آبیاری با پساب تصفیه شده شهری و آبیاری به‌صورت یک‌درمیان پساب شهری بوده و کم‌ترین مقدار آن نیز در تیمار آبیاری با آب شهری به‌ترتیب با ۱۶/۶۴ گرم و ۱۱/۰ گرم مشاهده شد، به‌عبارت‌دیگر نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزودن پساب صفات وزن‌تر اندام هوایی و غده افزایش یافت (جدول ۵). از طرفی آبیاری با پساب تصفیه شده شهری نسبت به تیمار شاهد منجر به افزایش صفات مذکور شده به‌طوری‌که آبیاری با پساب تصفیه شده شهری منجر به افزایش ۶۳/۵ درصدی وزن‌تر اندام هوایی شد. نتایج نشان‌دهنده معنی‌داری مقایسه میانگین‌ها (حروف مشترک نشان‌دهنده عدم معنی‌داری ستون‌ها می‌باشد) در صفات مذکور در سطح احتمال پنج درصد (به‌جز در بین تیمارهای پساب شهری و نیم در میان پساب تصفیه شده شهری) می‌باشد. مطابق جدول ۵ نتایج مقایسه میانگین صفات طول، قطر، سطح و حجم ریشه نشان داد که بیش‌ترین میزان این صفات به‌ترتیب با ۸/۰۱ سانتی‌متر (تیمار آبیاری با پساب شهری)، ۱/۸۹ سانتی‌متر (تیمار آبیاری یک‌درمیان پساب شهری)، ۴۳/۲ سانتی‌مترمربع (تیمار آبیاری نیم در میان پساب شهری) و ۱۸/۳۷ سانتی‌متر مکعب مربوط به تیمار آبیاری نیم در میان پساب تصفیه شده شهری بوده و کم‌ترین مقدار آن نیز در تیمار آبیاری با آب شهری به‌ترتیب با ۶/۷۱ سانتی‌متر، ۱/۲۱ سانتی‌متر، ۳۳/۱ سانتی‌مترمربع و ۱۲/۶۲ سانتی‌مترمکعب مشاهده شد، به‌عبارت‌دیگر نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزودن پساب تمامی صفات افزایش یافت (جدول ۵).

نتایج نشان‌دهنده معنی‌داری مقایسه میانگین‌ها (حروف مشترک نشان‌دهنده عدم معنی‌داری ستون‌ها می‌باشد) در صفات مذکور در سطح احتمال پنج درصد، به‌جز در بین تیمارهای پساب شهری و نیم در میان پساب تصفیه شده شهری در صفت قطر غده، تیمارهای یک‌درمیان و نیم در میان پساب شهری و تیمار پساب تصفیه شده در صفت طول ریشه و یک‌درمیان در صفت حجم ریشه می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کیفیت آب آبیاری بر روی صفت ارتفاع بوته در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها بر اساس جدول ۵ نشان داد که بیش‌ترین میزان ارتفاع بوته مربوط به تیمار آبیاری به‌صورت یک‌درمیان پساب تصفیه شده شهری با ۱۳/۷۶ سانتی‌متر و کم‌ترین مقدار با ۹/۸۵ سانتی‌متر در تیمار آب شهری مشاهده شد. لازم به ذکر است تیمار پساب شهری، یک‌درمیان و نیم در میان پساب تصفیه شده شهری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشت (جدول ۵). مطابق جدول ۵ نتایج مقایسه میانگین صفت بهره‌وری مصرف آب نشان داد که بیش‌ترین میزان این صفت با ۱۰/۷ کیلوگرم در مترمکعب مربوط به تیمار آبیاری با پساب تصفیه شده شهری بوده و کم‌ترین مقدار آن نیز در تیمار آبیاری با آب شهری با ۶/۱۵ کیلوگرم در مترمکعب مشاهده شد، به‌عبارت‌دیگر نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزودن پساب صفت بهره‌وری مصرف آب افزایش یافت (جدول ۵). از طرفی آبیاری با پساب تصفیه شده شهری نسبت به تیمار شاهد منجر به افزایش صفت مذکور شده به‌طوری‌که آبیاری با پساب تصفیه شده شهری منجر به افزایش ۷۳/۹ درصدی این صفت شد. نتایج نشان‌دهنده معنی‌داری مقایسه میانگین‌ها در صفت مذکور در سطح احتمال پنج درصد (به‌جز در بین تیمارهای پساب شهری و یک‌درمیان پساب تصفیه شده شهری) می‌باشد.

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها بیش‌ترین میزان از سفتی غده در تیمار آبیاری با آب چاه و کم‌ترین میزان آن در تیمار آبیاری با پساب در کل فصل رشد به ترتیب با ۹/۳۷ و ۸/۰ کیلوگرم در مترمربع مشاهده شده است، از طرفی مطابق با نتایج جدول (۵) بین تیمارهای آبیاری با آب چاه و استفاده یک‌درمیان از پساب و آب چاه در سطح احتمال ۵ درصد در مقایسه میانگین‌های این صفت، اختلاف معنی‌دار آماری

مشاهده نشد. در جدول ۵ اعداد درون پرانتز بیانگر تغییرات صفات در مقایسه با تیمار آبیاری با آب چاه است، به‌طوری‌که علامت مثبت و منفی به ترتیب بیانگر افزایش و کاهش صفات در شرایط اعمال تیمارها می‌باشد. با توجه به نتایج جدول (۵) استفاده از تیمارهای یک‌درمیان زمانی و نیم در میان زمانی و حجمی پساب تصفیه شده شهری و آب چاه و استفاده از پساب در کل فصل رشد برای آبیاری گیاه تربچه سبب بهبود در صفات وزن‌تر ریشه (۹۶/۶، ۱۱۷/۲ و ۹۰/۶ درصد)، وزن‌تر اندام هوایی (۱۲/۷، ۴۰/۳ و ۶۳/۵ درصد) و بهره‌وری فیزیکی آب (۴۵/۶، ۷۰/۷ و ۷۴/۰ درصد) در مقایسه با استفاده از آب چاه شده است؛ لازم به ذکر است که استفاده از این تیمارها به‌ترتیب سبب کاهش ۲/۱، ۶/۶ و ۱۴/۶ درصدی در صفت سفتی غده شده است.

به‌نظر می‌رسد آبیاری با پساب با تأمین برخی از عناصر غذایی موردنیاز گیاه منجر به افزایش عملکرد تر اندام هوایی شده است، به‌عبارت‌دیگر عناصر موجود (پتاسیم، نیتروژن و فسفر) در پساب نسبت به آب شهری منجر به افزایش عملکرد گیاه شده است. مسلماً تغذیه مناسب‌تر بوته‌ها که توسط عناصر موجود در پساب صورت گرفته است موجب بهبود در عملکرد تر اندام هوایی می‌شود. نتایج گویای این موضوع است که آبیاری با پساب در مقایسه با آب شهری سبب افزایش معنی‌دار عملکرد تر اندام هوایی تربچه گردید. بر اساس ترکیبات شیمیایی موجود در پساب تصفیه شده شهری عناصر ماکرو و میکرو بیش‌تری در آن نسبت به آب موجود بوده و برای رشد غده در شرایط اعمال پساب در آبیاری فراهمی نیترات ساده‌تر است و ازاین‌رو بهبود در عملکرد غده این گیاه در شرایط استفاده از پساب در مقایسه با آب شهری دور از انتظار نیست.

از طرفی استفاده از پساب تصفیه شده در آبیاری منجر به دسترسی راحت‌تر گیاه به عناصر غذایی موردنیاز در پساب شهری و صرف انرژی کم‌تر برای جذب و فراهمی عناصر غذایی توسط ریشه در مقایسه با آب شهری شده و بهبود در عملکرد اندام زیرین و افزایش رشد گیاهان را به همراه دارد. افزایش رشد ریشه درنتیجه آبیاری با فاضلاب در مقایسه با آب چاه در مطالعات شهریاری و همکاران (۱۳۸۹) نیز گزارش شده است. دلیل این امر را می‌توان به رشد سریع‌تر و مطلوب‌تر ریشه درنتیجه ورود تدریجی مواد غذایی موجود در پساب به خاک و بهبود در ساختمان خاک نسبت داد (پوراسماعیل و همکاران، ۱۳۸۶). با توجه به محدود بودن مواد آلی و کربن الی موجود در خاک، استفاده از پساب با توجه به فراهمی عناصر نظیر نیتروژن، پتاسیم و فسفر، منجر به بهبود و اصلاح خاک شده که خود می‌تواند دلیلی برای بهبود در وزن‌تر اندام هوایی و غده باشد. عرفانی و همکاران (۱۳۸۱) بر روی کاهو، رجبی سرخنی و قائمی (۱۳۹۱) بر روی کلم بروکلی و رحیمی و همکاران (۱۳۹۴) بر روی تربچه گزارش کردند که به دلیل غلظت بالای عناصر پرمصرف در پساب وزن‌تر اندام هوایی و ریشه تحت آبیاری با پساب افزایش معنی‌داری داشته است. از طرفی نتایج این تحقیق نشان‌دهنده این موضوع است که استفاده از پساب تصفیه شده شهری مشهد افزون بر تأمین آب موردنیاز گیاه تربچه، سبب افزایش عملکرد تر غده شده است، به‌طوری‌که دلیل این امر می‌تواند بیش‌تر بودن عناصر مغذی در پساب نسبت به آب شهری باشد. نتایج *زاوادیل*[1] (2009) بر روی تربچه، *شهلام*[2] و همکاران (1998) و نیکبخت و رضایی (۱۳۹۶) بر روی ذرت نشان داد که آبیاری با پساب تصفیه شده در مراحل رشد رویشی گیاه باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه می‌گردد، به‌طوری‌که نتایج این تحقیق با محققین ذکرشده مطابقت داشت. کاربرد فاضلاب با ایجاد تغییرات مثبت بر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، و تأمین به‌موقع عناصر موردنیاز گیاه در طی فصل رشد، می‌تواند شرایط بهینه‌ای را برای افزایش وزن گیاه فراهم آورد (*کاسچل*[3] و همکاران، 2002). *کیزل اغلو*[4] و همکاران (2008) گزارش نمودند که عملکرد گل‌کلم با کاربرد فاضلاب (تصفیه نشده و تصفیه شده)، به سبب فراهمی عناصر کودی موردنیاز گیاه، در مقایسه با آب معمولی، به‌طور معنی‌داری بیش‌تر بوده است.

1. Zavadil
2. Shahalam
3. Kaschl
4. Kiziloglu

جدول ۴: تجزیه واریانس صفات مورفولوژیکی و رشدی گیاه تربچه

Table 4: Analysis of variance (mean square) for some of morphologic and growth characteristics of Radish

منابع تغییرات Source of variable	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares									
		ارتفاع بوته Plant height	طول ریشه Root length	سطح ریشه Root area	قطر ریشه Root diameter	وزن‌تر بوته Shoot fresh weight	وزن‌تر ریشه Root fresh weights	حجم ریشه Root volume	تعداد برگ Leaf number	سفتی Firmness	بهره‌وری مصرف آب Water productivity
رژیم آبیاری Irrigation regimes	3	10.1*	8.7*	440.4*	0.4*	67.2**	98.3**	142.5*	0.8ns	1.1**	13.3**
خطا Error	8	2.1	2.6	59.1	0.1	1.0	0.3	27.6	0.3	0.03	0.1
ضریب تغییرات CV		11.3	15.6	18.3	17.1	4.6	3.0	18.6	15.5	2.2	3.3

**، * و ns: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح ۱ درصد، معنی‌داری در سطح ۵ درصد، غیرمعنی‌دار

**, * and ns: Significant at p<0.01, Significant at p<0.05 and none significant, respectively

جدول ۵: اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر خصوصیات رشدی و عملکردی گیاه تربچه

Table 5: Effect of different irrigation regimes on growth and yield characteristics of Radish

ترکیبات تیماری Treatment compounds	وزن‌تر ریشه (گرم) Root fresh weights (g)	وزن‌تر بوته (گرم) Shoot fresh weight (g)	قطر ریشه (سانتی متر) Root diameter (cm)	طول ریشه (سانتی متر) Root length (cm)	حجم ریشه (سانتی مترمکعب) Root volume (cm^3)	سطح ریشه (سانتی‌مترمربع) Root area (cm^2)	ارتفاع بوته (سانتی متر) Plant height (cm)	تعداد برگ Leaf number	سفتی (کیلوگرم بر مترمربع) Firmness (Kgm^{-3})	بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) Water productivity (Kgm^{-3})
آب چاه Fresh water	11.01c	16.64d	1.21c	6.71c	12.62c	33.1c	9.85b	5.67a	9.37a	6.15c
پساب تصفیه شده Treated wastewater	20.98b (90.6)	27.2a (63.5)	1.58b (30.6)	8.01a (19.4)	16.5b (30.7)	37.2b (12.4)	13.66a (38.7)	6.67a (17.6)	8.0c (-14.6)	10.7a (74.0)
نیم در میان Half alternative	23.91a (117.2)	23.35b (40.3)	1.89a (56.2)	7.31b (8.9)	15.94b (26.3)	38.2b (15.4)	13.76a (39.7)	6.67a (17.6)	8.75b (-6.6)	10.5a (70.7)
یک‌درمیان Alternative	21.65b (96.6)	18.75c (12.7)	1.45b (19.8)	6.92bc (3.1)	18.37a (45.6)	43.2a (30.5)	12.89a (30.9)	6.67a (17.6)	9.17a (-2.1)	8.97b (45.6)
LSD (0.05)	1.09	1.86	0.3	0.54	1.7	2.11	2.34	1.09	0.35	0.56

علیزاده[1] و همکاران (2001) گزارش کردند که آبیاری با فاضلاب باعث افزایش معنی‌دار طول گیاه می‌گردد. نتایج این تحقیق با نتایج *بخش*[2] و *حسن*[3] (2005) بر روی تربچه مطابقت نداشت. استفاده از پساب در آبیاری، با توجه به شوری بیش‌تری که نسبت به آب شهری داشته سبب کاهش در صفت سفتی غده شده و بازارپسندی میوه در اثر استفاده از این منبع برای آبیاری کاهش یافته است، اما استفاده یک‌درمیان زمانی از آن نسبت به استفاده توأم سبب بهبود در این شرایط شده است که دلیل آن می‌تواند آبشویی املاح موجود در ناحیه توسعه ریشه باشد.

نتیجه‌گیری کلی

کلیه مشخصه‌های موردبررسی گیاه تربچه در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار داشتند و در تمامی تیمارهایی که از پساب تصفیه شده استفاده شده در مقایسه با آب شهری افزایش عملکرد مشاهده شد. ازآنجایی‌که آب پساب مورداستفاده پساب های تصفیه شده شهری است، غلظت عناصر شیمیایی اندازه گیری شده در آن بیش‌تر از آب چاه می‌باشد و به همین دلیل، وجود برخی عناصر موردنیاز گیاه (نظیر سدیم، پتاسیم، کلسیم، کلر و غیره) در پساب سبب افزایش عملکرد تیمار پساب در مقایسه با تیمار آب شهری شده است. نتایج نشان داد که استفاده از پساب تصفیه شده در آبیاری گیاه تریچه سبب افزایش صفات مرتبط با عملکرد (وزن‌تر اندام هوایی و غده) شد، به‌طوری‌که استفاده از پساب شهری، متناوب یک‌درمیان و نیم در میان پساب شهری منجر به افزایش ۷۳/۸، ۵۲/۵ و ۶۰/۸ درصدی عملکرد کل شد.

منابع

افشون، ن.، فرجی، ه. و حسینی فرهی، م. ۱۳۹۲. میزان جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف در برگ چمن فستوکا تحت تأثیر بافت خاک و آبیاری با پساب تصفیه شده فاضلاب شهری. سومین همایش ملی علوم کشاورزی و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فسا.

امرایی، ل. ۱۳۹۱. بررسی امکان استفاده از پساب صنعتی در اراضی کشاورزی و اثرات آن روی ویژگی‌های خاک و رشد محصول تربچه. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد آبیاری و زهکشی. دانشگاه بوعلی سینا همدان. ۱۵۶ صفحه.

پوراسماعیل، پ.، حبیبی، د. و روشن، ب. ۱۳۸۶. پلیمر سوپرجاذب. نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۵ (۴): ۴۶-۵۳.

رجبی سرخنی، م. و قائمی، ع. ۱۳۹۱. بررسی اثرات کاربرد پساب تصفیه شده و کودهای شیمیایی بر عملکرد کلم بروکلی. مجله مدیریت آب و آبیاری، ۲ (۲): ۲۴-۱۳.

جلالی، ع.، گلوی، م.، قنبری، ا.، رمرودی، م. و یوسف‌الهی، م. ۱۳۸۹. اثر آبیاری با فاضلاب تصفیه شده شهری بر عملکرد و جذب فلزات سنگین در سورگوم علوفه‌ای. علوم آب و خاک، ۵۲: ۱۵-۲۴.

جلیلی، م. ۱۳۹۰. بررسی اثر فاضلاب تصفیه شده کرمانشاه بر روی تجمع فلزات سنگین و ارزش غذایی ریحان و تربچه (در شرایط لایسیمتری). پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه رازی کرمانشاه. ۱۳۲ صفحه.

رحیمی‌آلاشتی، س.، بهمنیار، م. ع. و قاجارسپانلو، م. ۱۳۹۰. نقش لجن فاضلاب بر میزان pH، OC و EC خاک و تجمع سرب و کادمیوم در خاک و گیاه کاهو و تربچه. مجله پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک، ۱۸ (۳): ۱۳۳-۱۴۸.

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. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، ۶ (۴): ۱۱-۲۰.

شهریاری، ع.، نوری، س.، عابدی‌کوپایی، ج. و آصالح، ف، ۱۳۸۹. اثر آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده بر رشد گیاه قره داغ تحت شرایط گلخانه. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، ۴: ۱۳-۲۱.

عرفانی، ع.، حق‌نیا، غ. و علیزاده، ا. ۱۳۸۱. تأثیر آبیاری با فاضلاب بر عملکرد و کیفیت کاهو و برخی ویژگی‌های خاک. مجله علوم آب‌وخاک، ۶ (۱): ۷۱-۹۲.

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.

علیزاده، ا. ۱۳۹۳. رابطه آب، خاک و گیاه. دانشگاه صنعتی سجاد. ۷۲۸ صفحه.

1. Alizadeh
2. Bakhsh
3. Hassan

مظفری، س.، خراسانی‌نژاد، س. و گرگینی شبانکاره، ح. ۱۳۹۶. اثر رژیم‌های آبیاری و کاربرد اسیدهیومیک بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه دارویی خرفه در شرایط گلخانه. مجله به‌زراعی کشاورزی، ۱۹ (۲): ۴۰۱-۴۱۶.

ملکیان، ر.، حیدرپور، م.، مصطفی‌زاده، ب. و عابدی، ج. ۱۳۸۷. تأثیر آبیاری سطحی و زیرسطحی با پساب تصفیه شده بر خصوصیات چمن. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۴: ۲۷-۱۶.

نیکبخت، ج. و رضایی، ا. ۱۳۹۶. تأثیر سطوح مختلف پساب و آب مغناطیسی شده بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در آبیاری ذرت و برخی خصوصیات فیزیکی خاک. مجله تحقیقات آب‌وخاک ایران، ۴۸ (۱): ۷۵-۶۳.

Alizadeh, A., Bazari, M. E., Velayati, S., Hasheminia, M. and Yaghmaei, A. 2001. Irrigation of corn with wastewater. PP. 147-154. In: Ragab, R., Pearce, G., Changkim, J., Nairizi, S. and Hamdy, A. (Eds.), ICID International Workshop on Wastewater Reuse and Management, Seoul, Korea.

Bakhsh, K. and Hassan, S. 2005. Use of sewage water for radish cultivation: A case study of Punjab, Pakistan. journal of Agriculture and Social Science, 4: 322-326.

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. Journal of Agricultural Water Management, 96: 93-99.

Kaschl, A., Römheld, V. and Chen, Y. 2002. The influence of soluble organic matter from municipal solid waste compost on trace metal leaching in calcareous soils, Journal of Science of the Total Environment, 291 (3): 45-57.

Khan, Q., Akhtar, F., Jamil, M., Sayal, O., Mirza, N. and Mubarak, H. 2014. Studies on different concentration of lead (Pb) and sewage water on Pb uptake and growth of Radish (*Raphanus sativus*). Eurasian Journal of Soil Science, 3 (2): 138.

Kiziloglu, FM., Turan, M., Sahin, U., Kuslu, Y. and Dursun, A. 2008. Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica olerecea* L. var. botrytis) and red cabbage (*Brassica olerecea* L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey. Journal of Agricultural Water Management, 95: 716-724.

Shahalam, A., Zahra, B. M. A. and Jaradat, A. 1998. Wastewater irrigation effect on soil, crop and environment: a pilot scale study at Irbid, Jordan. Water, Air, and Soil Pollution, 106 (3-4): 425-445.

Stewart, B. A. 2008. Irrigation sewage effluent use. Encyclopedia of water science, Second Edition, 81: 664-665.

Zavadil, J. 2009. The effect of municipal wastewater irrigation on the yield and quality of vegetables and crops. Soil and Water Research, 4 (3): 91-103.

Investigation the Effects of Conjunctive Irrigation Regimes with Treated Wastewater on Morphological Properties and Water Productivity of Radish

Jamali[1], S., Banejad[2*], H., Nazari[1], M. and Safarizadeh Sani[1], A.

Abstract

Increasing population growth along with the freshwater resources global crisis necessitates the use of unconventional water resources in agriculture, as the largest freshwater consumption, especially in the arid and semiarid areas. In this study, Four Quality of water is evaluated on morphological properties and water productivity of Radish (CV. Cherry Bell). the research was done based on a completely randomized design including 3 replications as pot planting in the Ferdowsi University of Mashhad in Greenhouse conditions, during 2017-2018. In this study, four irrigation regimes existed (freshwater, urban treated wastewater, half alternate, and alternate urban treated wastewater and freshwater). The results showed that effect of different quality of water on a shoot and root fresh weight and Water productivity was significant at 1 percent level ($P<0.01$), but plant height, root length, root volume, root diameter, and root area was significant at 5 percent level ($P<0.05$). in this study, all of this parameter increased significantly with irrigation by urban treated wastewater. Half alternate, alternate of urban treated wastewater and freshwater and wastewater has resulted to increase of yield (12.1, 24.9, and 33.7 percent), tuber fresh weight (117.2, 96.6, and 90.6 percent), shoot fresh weight (40.3, 12.7, and 63.5 percent), physical water productivity (70.7, 45.6, and 74.0 percent), but in this treatment, firmness has a decreased (6.6, 2.1, and 14.6 percent), respectively.

Keywords: Alternate urban treated wastewater and freshwater, Urban treated wastewater, Radish, Cherry Bell cultivar, Greenhouse conditions

1 and 2. PhD Student and Associate Professor, Respectively, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi university of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran

*: Corresponding Author Email: banejad@um.ac.ir