

مقاله علمی-پژوهشی

امکان‌سنجی استفاده مجدد از پساب در آبیاری فضای سبز (مورد مطالعه: فاضلاب شهر تربت-حیدریه)

رضا عباسی کاسکی^۱، محمد کریم زاده^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۸

چکیده

محدودیت‌های منابع آبی در ایران، لزوم استفاده مجدد از پساب و بازچرخانی آب‌های تصفیه‌شده را به‌عنوان یکی از راهکارهای دستیابی به منابع جدید آبی نمایان‌تر کرده است. به‌منظور بررسی تأثیر پساب بر خصوصیات کمی و کیفی بوته بنفشه و مینا در سال آبی ۱۴۰۱، درصدهای مختلف اختلاط آب با پساب شهری (۲۵-۵۰-۷۵ و ۱۰۰ درصد) حاصل از تصفیه‌خانه فاضلاب تربت‌حیدریه به‌عنوان تیمارهای آزمایش در مقایسه با آب شهری به‌عنوان تیمار شاهد، در قالب طرح آماری بلوک کامل تصادفی با پنج تیمار و چهار تکرار اجرا گردید. در طی فصل زراعی شاخص‌های تعداد گل، مساحت سبز، ارتفاع گل و وزن خشک و در پایان فصل کشت، خصوصیات شیمیایی خاک اندازه‌گیری گردید. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام و نتایج حاصل با استفاده از آزمون LSD مقایسه گردید. بر اساس به نتایج به‌دست‌آمده، نسبت‌های مختلف آب و فاضلاب تأثیر معنی‌داری بر تعداد گل و سطح سبز در هر دو گونه بنفشه و مینا داشت. اما کاربرد این تیمارها بر ارتفاع گل تنها در بوته بنفشه تأثیر معنی‌دار نشان داد. با جایگزینی ۷۵ درصد آب آبیاری با پساب (T_۵)، مساحت سطح سبز و تعداد گل در بوته‌ی مینا به‌ترتیب ۱۱ و ۵۴ درصد و در بوته‌ی بنفشه ۲۲ و ۱۰ درصد افزایش یافت. آبیاری با پساب سبب افزایش میزان عناصر Na، Ca، Mg، کاهش Fe و افزایش EC و SAR خاک نسبت به منطقه شاهد شد. توصیه می‌شود به‌منظور دستیابی به نتایج دقیق‌تر اثرات درازمدت آبیاری با پساب بر غلظت عناصر خصوصاً فلزات سنگین در خاک و گیاه بررسی شود.

واژه‌های کلیدی: آب‌های نامتعارف، اختلاط، بنفشه، غلظت پساب، مینا

مقدمه

برنامه توسعه گنجانده شوند. کاهش بارندگی، کمبود و اضافه برداشت از منابع آب شیرین، مدیریت و استفاده از آب‌های نامتعارف را برای کشور به امری ضروری میدل نموده است. در حال حاضر محدودیت‌های منابع آبی در ایران، لزوم استفاده مجدد از پساب و بازچرخانی آب‌های تصفیه‌شده را به‌عنوان یکی از راهکارهای دستیابی به منابع جدید آبی نمایان‌تر کرده است. قدیمی‌ترین کاربرد فاضلاب با پیشینه چند هزار ساله در کشاورزی و آبیاری مزارع بوده است و تنها در قرن اخیر شکل صحیح و بهداشتی آن بر اساس استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده مطرح می‌باشد. در سه دهه گذشته، استفاده از فاضلاب برای آبیاری محصولات به‌ویژه در مناطق خشک کشورهای درحال توسعه افزایش قابل توجهی داشته است (قانعیان و دهواری، ۱۳۹۸). هدف کلی از استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه‌شده در کشاورزی بهینه‌سازی و بهره‌برداری مناسب از منابع آب از طریق برگشت دادن جریان فاضلاب تصفیه‌شده به زمین و استفاده مناسب از منابع آب شیرین است.

استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده جهت آبیاری محصولات کشاورزی

آب به‌عنوان یکی از ضروری‌ترین عوامل توسعه جوامع انسانی محسوب می‌شود و کشور ایران از جمله کشورهایی است که تأمین آب برای مصارف مختلف، از دغدغه‌های مهم در راستای توسعه پایدار در این کشور، محسوب می‌شود. تاکنون حجم قابل توجهی از منابع آبی کشور به دلیل کنترل پایین مورد استفاده قرار نگرفته و یا در استفاده از آن‌ها، ضوابط و معیارهای زیست‌محیطی لحاظ نشده است. با توجه به شرایط موجود، بخشی از این منابع که مشکلات کیفی کمتری داشته یا مشکلات آن با اتخاذ روش‌های کاربردی مناسب قابل اغماض می‌باشد، بایستی در منظور نمودن مسائل محیطی در

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده علوم و

مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده علوم و مهندسی آب، دانشگاه آزاد

اسلامی واحد تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران

(* نویسنده مسئول: Email: Mo.Karimzadeh@iau.ac.ir)

کیفیت پساب و لجن فاضلاب، پارامترهای کیفی برای استفاده جهت مصارف آبیاری فضای سبز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بر اساس رهنمود آیزو و وستکات پارامترهای کیفی پساب تصفیه شده فاضلاب جهت آبیاری سطحی عموماً در رده محدودیت کم تا متوسط قرار داشت، نتایج حاصل از کلاس بندی ویلکاکس، شوری را در کلاس زیاد و گاهی شدید و سدیمی بودن آب را در کلاس کم قرار داد که خطر شوری خاک در درازمدت با همین کیفیت آب را هشدار می‌دهد.

در استفاده مجدد از پساب، ابتدا بایستی به مطالعه میزان سازگاری محصولات کشاورزی مختلف با آب مورد استفاده و سپس به بررسی الگوی مناسب کشاورزی توسط پساب، میزان تولید و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی پساب پرداخت. حسینی شاد و مهدی نژاد (۱۴۰۰) در پژوهشی الگوهای کشاورزی مناسب را جهت آبیاری با پساب شهر سبزوار بررسی کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که بهترین کشت برای ۲۰۰۰ مترمکعب پساب خروجی روزانه با کیفیت نسبتاً خوب و در منطقه سبزوار با اقلیمی گرم و خشک و با خاک سبک و ماسه‌ای کاشت محصولاتی مانند جو، ذرت علوفه‌ای، ارزن، پنبه و یونجه و با احتیاط گندم است. لازم به ذکر است باید از کاشت محصولات صیفی و سبزیجات به‌خاطر وجود آلودگی‌های ویروسی و انگلی و اقلیم منطقه به‌ویژه در فصل گرم که موجب افزایش املاح در سطح خاک می‌شود، اجتناب شود. در این پژوهش مشخص شد که بهترین شیوه آبیاری استفاده از سیستم آبیاری زیرسطحی می‌باشد؛ گسترش پهنه زیر کشت محصولات در این منطقه موجب تثبیت خاک و کاهش اثرات مخرب بادها بر زندگی ساکنان شهر سبزوار خواهد شد. پرتانی و محمودی مظفر (۱۴۰۰) در بررسی اثر آبیاری با پساب شهری بر شاخص‌های رشد دو گونه خزه‌ره و فستوکا به این نتیجه رسیدند که میزان رشد اندام‌های مختلف این گونه‌ها تحت تأثیر شرایط تیمار، رشد محسوس و قابل بررسی در پی دارد، خزه‌ره بیشترین تأثیر را در ارتفاع و قطر تاج پوشش از تیمار پساب پذیرفت در حالی که تأثیر تیمار پساب در فستوکا علاوه بر ارتفاع و تاج پوشش، روی طول برگ نیز بود.

تربت حیدریه یکی از بحرانی‌ترین شهرهای استان خراسان رضوی در زمینه کم‌آبی محسوب می‌شود و در اثر گذشت زمان در این شهر، باغات از بین رفته و به دلیل افزایش جمعیت، کاربری مسکونی یافته است. در این شرایط سرانه فضای سبز در این شهر کاهش یافته است و باتوجه به کمبود آب، نیاز به افزایش فضای سبز وجود دارد. به‌منظور نزدیک شدن به سرانه استاندارد فضای سبز، راه‌حل‌های مختلفی وجود دارد؛ باتوجه به خشکسالی‌های اخیر و همچنین کمبود منابع آب زیرزمینی در سطح شهرستان، استفاده از پساب فاضلاب به‌عنوان منبع آب پایدار در فضای سبز ضرورت دارد. از طرفی با بررسی مطالعات انجام شده مشخص شد که تاکنون تحقیقی در استفاده از پساب تصفیه شده فاضلاب شهری بر گونه‌های بنفشه و مینا به‌عنوان گونه-

و فضای سبز، افزون بر مدیریت منابع آب زمینه‌ساز بهبود کیفیت فیزیکی خاک و تأمین مواد مغذی نیتروژن، فسفر و مواد آلی موردنیاز خاک و گیاه می‌باشد. پس به‌کارگیری پساب و اختلاط آن با سایر منابع آب موجود، می‌تواند زمینه‌ساز ارتقای کیفی زراعی و بازده محصولات گردد. به‌طور کلی استفاده از پساب از سه جنبه تأثیر بر روی خاک، تأثیر بر روی محصولات کشاورزی و احتمال آلوده کردن آب‌های سطحی و زیرزمینی موردتوجه می‌باشد. تأثیر پساب‌ها بر روی خاک شامل ایجاد تغییرات در حاصلخیزی و باروری خاک، فلزات سنگین و آلاینده‌های آلی می‌باشد (نیکوزاده، ۱۳۹۶). تأثیر پساب‌ها بر روی محصولات کشاورزی از جنبه میزان محصول و کیفیت محصول موردتوجه است. افزون بر موارد فوق می‌توان به کاهش فشار بر منابع آب، کاهش هزینه آب کشاورزی، کاهش هزینه کود کشاورزی، افزایش محصولات کشاورزی، کاهش بار آلودگی وارده به محیط زیست، تقویت منابع آب و دسترسی به منابع آب با کیفیت بالاتر جهت مصارف شرب و بهداشت، اشاره نمود. به‌کارگیری پساب در کشاورزی و آبیاری فضای سبز اگر چه با فواید زیادی همراه است، ولی چنانچه این امر بدون برنامه‌ریزی دقیق و مدیریت و نظارت صحیح انجام پذیرد؛ می‌تواند اثرات اجتماعی، اقتصادی و محیط زیستی متعددی را در پی داشته باشد.

تصفیه و بازچرخانی فاضلاب یکی از مهم‌ترین راهکارها در شرایط موجود کشور برای توسعه مدیریت منابع آب و همچنین یکی از عوامل مؤثر و پایدار و همواره در دسترس است که می‌تواند موجب کاهش فشار وارد بر کمیت منابع آب شود. این مسئله ممکن است بر شیوه و بازده تخصیص آب بین بخش‌های مختلف کشاورزی و شرب اثرگذار باشد (Jeong et al., 2016). از طرفی پساب تصفیه شده با در نظر گرفتن ملاحظات خاص زیست‌محیطی بایستی قابلیت استفاده در آبیاری را داشته و با استانداردهای سازمان حفاظت محیط‌زیست و سازمان بهداشت جهانی^۱ (WHO) مطابقت داشته باشد.

ماتوک، انبیر و نوری (۱۳۹۷)، بدلیانس قلیکنندی و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعات خود به ترتیب کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری جردن، اکباتان و شهید محلاتی را برای کاربرد در اراضی کشاورزی و فضای سبز بررسی نمودند. نتایج مطالعات آن‌ها حاکی از قابلیت استفاده پساب تصفیه شده به‌منظور آبیاری فضای سبز و کشاورزی بود (Matouq, 2010). اما پژوهش نعیمی (۱۳۹۳) نشان داد که استفاده از پساب تصفیه‌خانه شهرک قدس در آبیاری فضای سبز در مقایسه با استاندارد سازمان محیط‌زیست با محدودیت روبه‌رو است. نجف پور و همکاران (۱۳۹۳) نیز در پژوهشی، به بررسی استفاده مجدد از پساب و لجن تصفیه‌خانه فاضلاب در فضای سبز شهر اهواز پرداختند. در این پژوهش با در نظر گرفتن استانداردهای

(شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، ۱۳۸۰).

روش انجام پژوهش و ابزار جمع‌آوری اطلاعات

این تحقیق از لحاظ نوع هدف، کاربردی است که باهدف بررسی امکان استفاده از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهرستان تربت حیدریه جهت آبیاری فضای سبز انجام گرفت. روش تحقیق از نوع مقایسه‌ای است که در آن پژوهشگر می‌کوشد یک یا چند متغیر مختلف را بررسی، مقایسه و درک نماید. در این تحقیق دو گونه گیاهی بنفشه و مینا در قالب پنج تیمار و تعداد چهار تکرار کشت شد. تیمارهای آزمایش شامل درصدهای مختلف آبیاری با پساب و آب چاه بود (T_۱): ۱۰۰ درصد پساب، T_۲: ۱۰۰ درصد آب چاه، T_۳: ۵۰ درصد پساب و ۵۰ درصد آب چاه، T_۴: ۲۵ درصد پساب و ۷۵ درصد آب چاه، T_۵: ۷۵ درصد پساب و ۲۵ درصد آب چاه). در این تیمارها وزن ماده خشک، تعداد گل‌های هر بوته، سطح سبز بوته، ارتفاع گل در بوته‌ها در تکرارهای مختلف اندازه‌گیری و نتایج با یکدیگر مقایسه گردید. براساس نتایج به‌دست آمده، امکان استفاده از پساب مورد ارزیابی قرار گرفت. اما به‌منظور کاشت دو گونه گیاهی بنفشه و مینا، زمینی زراعی در مرکز تولیدات گل و گیاه واقع در پارک ثامن شهرستان تربت حیدریه انتخاب گردید. در شکل (۱) تصاویر هوایی از محل انجام آزمایش‌ها واقع در پارک ثامن شهر تربت حیدریه، نمایش داده شده است. براساس تیمارهای تعریف‌شده، طرحی به‌صورت کاملاً تصادفی مطابق با طرح ارائه شده در جدول (۱) در نظر گرفته شد (در کرت‌های این جدول حرف T بیانگر تیمار و S بیانگر شماره تکرار است). و در هر کرت با ابعاد ۱×۱ متر، تعداد ۱۵ بوته نشاء گل بنفشه و تعداد ۱۵ بوته نشاء گل مینا کشت گردید.

همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده است جهت تامین آب فاضلاب، پساب حاصل از تصفیه‌خانه در یک منبع ۲۰۰۰ لیتری تخلیه و به‌منظور برآورد میزان دقیق حجم آب آبیاری، از آپاش‌های ۱۰ لیتری استفاده شد. با استفاده از ظرف‌های مدرج، آبیاری کرت‌های آزمایشی مطابق طرح در کلیه تیمارها به میزان یکسان، مطابق عرف آبیاری فضای سبز توسط شهرداری آبیاری گردید. لازم به ذکر است تاریخ شروع آزمایش و انجام اولین آبیاری ۱۵ اسفندماه ۱۴۰۱ و اتمام آزمایش ۱۰ خردادماه ۱۴۰۲ بود.

های غالب فضای سبز در این منطقه انجام نشده است؛ لذا در این پژوهش تلاش شده است تا امکان استفاده از پساب به‌صورت جایگزین و یا به‌صورت اختلاط با آب، به‌منظور آبیاری این گونه‌ها در سطح شهری شهرستان تربت حیدریه بررسی و ارزیابی شود.

مواد و روش‌ها

یکی از استان‌های کم آب در سطح کشور، استان خراسان رضوی می‌باشد. از میان ۲۸ شهر مستقر در استان خراسان رضوی، تربت حیدریه یکی از بحرانی‌ترین شهرهای استان در زمینه کم‌آبی محسوب می‌شود. شهرستان تربت حیدریه با وسعت ۶۱۷۵ کیلومترمربع در جنوب غربی شهر مشهد قرار دارد. موقعیت جغرافیایی این شهر در مدار ۵۹ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی قرار دارد و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۴۵۰ متر است. بیش از ۹۰ درصد از منابع آبی این شهر در بخش کشاورزی و مابقی در بخش صنعت و مصارف خانگی استفاده می‌شود. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که مجموع فضای سبز شهری تربت حیدریه با احتساب سطوح سبز معادل ۵۵ هکتار است و سرانه موجود معادل ۴/۲ مترمربع به‌ازای هر نفر به دست می‌آید؛ لذا می‌توان نتیجه گرفت، سرانه موجود فضای سبز به میزان ۷/۸ مترمربع از سرانه استاندارد وزارت مسکن و شهرسازی کمتر است (نیکو زاده، ۱۳۹۶). به بیان دیگر باگذشت زمان و افزایش جمعیت و ازبین‌رفتن باغات، کاربری مسکونی در این شهر افزایش و در این شرایط سرانه فضای سبز کاهش یافته است؛ بنابراین در این شهر باتوجه‌به کمبود آب، نیاز به افزایش فضای سبز وجود دارد. به‌منظور نزدیک‌شدن به سرانه استاندارد فضای سبز، پژوهش حاضر به بررسی امکان استفاده از پساب به‌صورت جایگزین و یا اختلاط با آب آبیاری فضای سبز سطح شهری تربت حیدریه می‌پردازد. باتوجه‌به اینکه در فضای سبز شهر تربت حیدریه، گل‌های بنفشه و مینا، به‌عنوان گیاهان غالب یک‌ساله مطرح هستند، به همین دلیل، در این پژوهش، این دو گونه گیاهی مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفته‌اند. باتوجه‌به کمبود آب در شهرستان تربت حیدریه، طرح جداسازی آب شرب از آب فضای سبز و اجرای روش‌های نوین آبیاری در حال انجام است. از طرفی تصفیه‌خانه فاضلاب تربت حیدریه از نوع تصفیه فاضلاب با طرح لجن فعال از نوع هوادهی گسترده است. ظرفیت متوسط و حداکثر ظرفیت آن به ترتیب ۱۵۰ و ۳۰۰ لیتر در ثانیه است

جدول ۱- طرح تصادفی جهت اعمال تیمارها در کرت‌های آزمایش

T _۳ S _۳	T _۱ S _۳	T _۲ S _۲	T _۲ S _۱	T _۱ S _۱
T _۴ S _۴	T _۲ S _۴	T _۳ S _۲	T _۴ S _۱	T _۵ S _۱
T _۵ S _۴	T _۵ S _۳	T _۲ S _۳	T _۵ S _۲	T _۲ S _۱
T _۳ S _۴	T _۱ S _۴	T _۴ S _۳	T _۱ S _۲	T _۴ S _۲



شکل ۱- تصاویر هوایی از محل انجام آزمایش‌ها (پارک ثامن شهر تربت حیدریه)



شکل ۲- نحوه جانمایی و آبیاری کرت‌های آزمایش

به نقطه حداکثری سطح سبز و ارتفاع گل، این شاخص‌ها اندازه‌گیری گردید. جهت اندازه‌گیری سطح سبز، مساحت سایه‌انداز در ظهر شرعی ملاک سطح سایه‌انداز می‌باشد. در اندازه‌گیری ارتفاع بوته فاصله عمودی از سطح زمین تا بالاترین نقطه ارتفاعی بوته یا گل ملاک ارتفاع بوته است. در حین انجام مراحل آبیاری و رشد گیاه، تعداد گل بر روی هر بوته نیز در هر کرت شمارش گردید. مقدار سطح سبز، ارتفاع گل‌های باقی‌مانده اندازه‌گیری و به این صورت که میانگین سطح سبز و ارتفاع سه نمونه از هر کرت انتخاب شد. پس از پایان فصل زراعی از تکرارهای مختلف هر تیمار آزمایش، یک نمونه خاک از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری نمونه‌گیری و پس از

انجام نمونه‌برداری هر ۲۰ روز یکبار از گونه‌های گیاهی، به‌نحوی که از هر کرت سه عدد گل بنفشه و سه عدد گل مینا به صورت تصادفی انتخاب و به صورت کامل همراه ریشه از خاک خارج گردید و پس از شستشوی خاک ریشه وزن تر نمونه‌ها محاسبه شد. پس از اندازه‌گیری وزن تر، نمونه‌ها داخل دستگاه آون در دمای ۱۰۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک و وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد. این فرایند در چهار مرحله به فواصل ۲۰ روز تکرار شد. باتوجه به اینکه در دو گونه گیاهی بنفشه و مینا یکی از شاخص‌های مهم در ایجاد چشم‌انداز و بازارپسندی سطح سبز و ارتفاع بوته می‌باشد؛ در طی فصل کشت بهاره گونه‌های مذکور در زمان رسیدن

به‌منظور بررسی امکان استفاده از پساب به‌صورت جایگزین و یا اختلاط با آب برای آبیاری فضای سبز، داده‌های به‌دست‌آمده از هر تیمار با نتایج به‌دست‌آمده از تیمار دوم (T_۲) به‌عنوان نمونه شاهد مقایسه گردید. پارامترهای بررسی شده شامل تعداد گل، مساحت سطح سبز (mm²)، ارتفاع گیاه (cm) و وزن خشک گل (g) می‌باشند: به‌منظور آزمون مقایسه میانگین‌های هر یک از پارامترهای ذکر شده ابتدا فرضیه‌های خطی‌بودن متغیرها، نرمال بودن توزیع داده‌ها و همگنی واریانس‌ها بررسی شد. در همه موارد (تعداد گل، مساحت سطح سبز، ارتفاع گل و وزن خشک) نتایج حاصل از نمودار پراکنش داده‌ها، آزمون کولموگراف اسمیرنوف و آزمون لوین به ترتیب رابطه خطی بین متغیرها، توزیع نرمال داده‌ها و همگنی واریانس‌ها را تأیید کردند و مشخص شد که تکرارهای تیمارهای مختلف با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشته و نسبتاً همگن هستند.

آزمون مقایسه میانگین‌های متغیر تعداد گل

تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون‌های ANOVA و LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. اثر سطوح مختلف کاربرد پساب بر تعداد گل در هر یک از گونه‌های کشت شده بررسی شد. اختلاف تیمارهای مختلف در جداول (۲) و (۳) نشان داده شده است. با احتمال ۹۵ درصد اطمینان، در گونه مینا بین تیمارهای T_۱ و T_۴ و در گونه بنفشه بین تیمار T_۴ با تیمار شاهد از نظر تعداد گل اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. با توجه به شکل (۳ الف) نیز می‌توان اظهار داشت از بین تیمارهای مختلف در گونه‌های بنفشه و مینا، علاوه بر تیمار T_۲ به ترتیب تیمارهای T_۱ و T_۵ بیشترین اختلاف را با تیمار شاهد از نظر تعداد گل دارند. نتایج آزمون LSD نیز به‌منظور بررسی دقیق اختلاف درون گروهی با اعمال تیمارهای مختلف آب آبیاری برای هر دو گونه بنفشه و مینا در شکل (۳ ب) ارائه شده است.

مخلوط کردن، یک نمونه از هر تیمار به وزن ۱۰۰ گرم تهیه و به آزمایشگاه پژوهشکده زعفران منتقل گردید. عناصر سدیم به روش فلیم فتومتری، کلسیم و منیزیم به روش نیتراسیون و آهن به روش عصاره‌گیر DTPA با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری گردید.

روش آماری و تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این تحقیق روش آماری مورد استفاده، طرح بلوک‌های کامل تصادفی بود و داده‌ها در محیط نرم‌افزار SAS مورد تحلیل قرار گرفت. ابتدا خطی‌بودن متغیرها بررسی و از آزمون کولموگراف اسمیرنوف و آزمون لوین به ترتیب برای تشخیص نرمال بودن توزیع داده‌ها و همگنی واریانس‌ها استفاده شد. برای آنکه مشخص شود تفاوت بین تیمارهای T_۱، T_۲، T_۳، T_۴ و T_۵ از لحاظ آماری معنی‌دار بوده است یا خیر از آزمون تحلیل واریانس ANOVA استفاده و برای بررسی دقیق اختلافات درون گروهی، نتایج حاصل با استفاده از آزمون LSD مقایسه گردید (سطح احتمال به کاررفته در همه تجزیه و تحلیل‌ها پنج درصد بود). داده‌های حاصل از اندازه‌گیری عناصر خاک نیز با استفاده از آمار توصیفی و مقایسه نموداری و آزمون تجزیه کوواریانس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث

در این مزرعه تعداد ۲۳ مرحله آبیاری انجام شد. EC آب چاه و آب فاضلاب در پژوهش حاضر به ترتیب برابر با ۱/۴۹ و ۲/۰۳ دسی زیمنس بر متر و همچنین pH آب چاه و آب فاضلاب نیز به ترتیب برابر با ۷ و ۷/۴۵ اندازه‌گیری شد. بافت خاک هم از نوع لوم شنی می‌باشد.

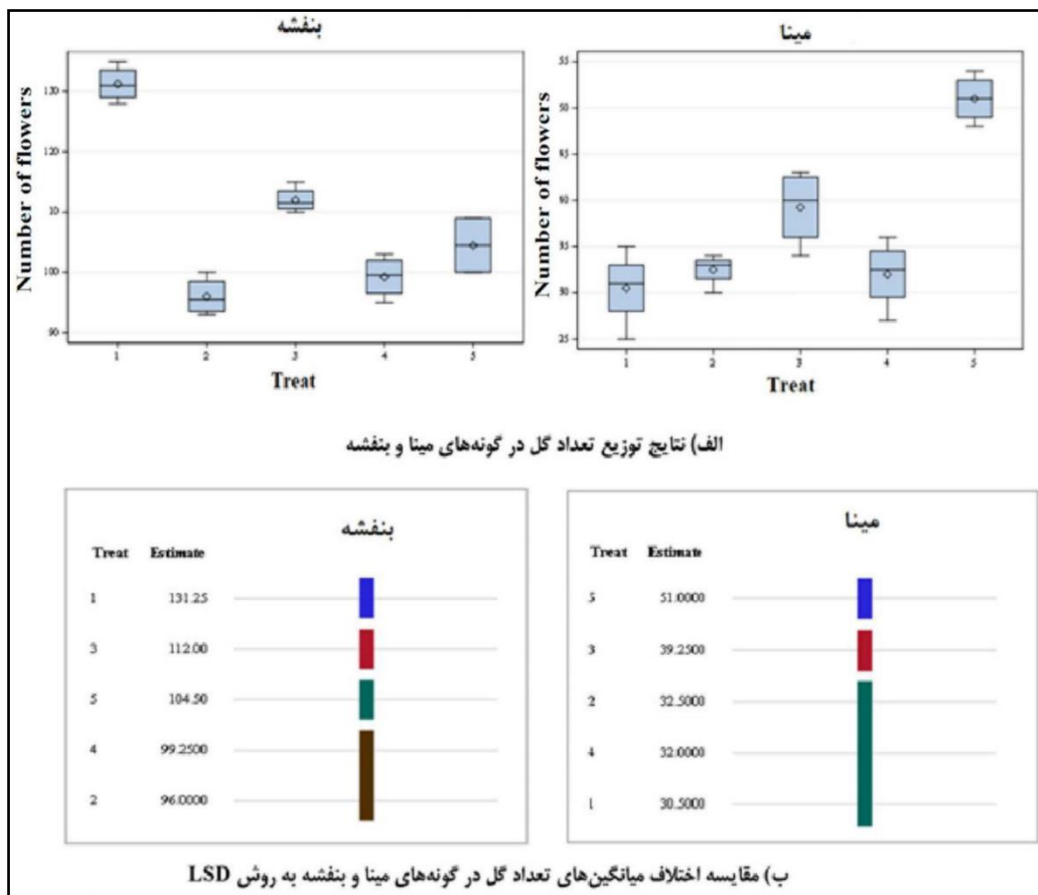
بررسی تأثیر آبیاری با تیمارهای مختلف بر شاخص‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه

جدول ۲- نتایج آنالیز واریانس تأثیر تیمارهای اعمال شده بر تعداد گل در بوته بنفشه

منابع تغییرات	درجه آزادی	انوا	میانگین مربعات	مقدار F	Pr > F
تکرار	۳	۶۱/۲۰	۲۰/۴۰	۱/۹۲	۰/۱۷۹
گروه‌بندی	۴	۳۱۵۰/۳۰	۷۸۷/۵۸	۷۴/۲۴	< ۰/۰۰۰۱

جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس تأثیر تیمارهای اعمال شده بر تعداد گل در بوته مینا

منابع تغییرات	درجه آزادی	انوا	میانگین مربعات	مقدار F	Pr > F
تکرار	۳	۱۲/۵۵	۴/۱۸	۰/۳۱	۰/۸۱۵
گروه‌بندی	۴	۱۱۵۴/۲۰	۲۸۸/۵۵	۲۱/۶۱	< ۰/۰۰۰۱



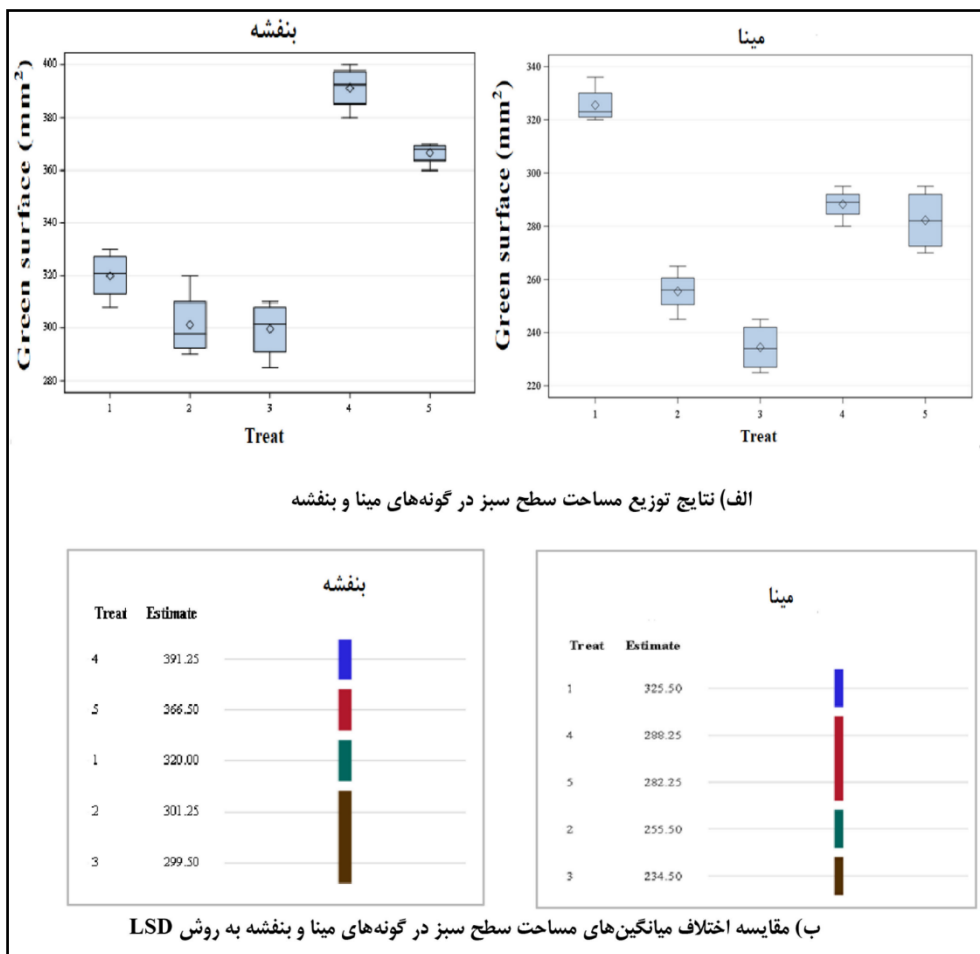
شکل ۳- مقایسه میانگین‌های تعداد گل تحت تاثیر تیمارهای مختلف آبیاری در بوته‌های بنفشه و مینا (میانگین‌های پوشش داده شده توسط نوار یکسان در سطح احتمال ۰/۰۵ تفاوت قابل توجهی ندارند)

پساب شهری به‌مراه آبیاری سطحی بهترین عملکرد را نشان داد.

آزمون بررسی میانگین‌های متغیر مساحت سبز

در بررسی اثر سطوح مختلف کاربرد پساب بر مساحت سبز، با احتمال ۹۵ درصد اطمینان، بین تیمارهای اعمال شده با تیمار شاهد جز تیمار T_۳ در بوته بنفشه اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. با توجه به شکل (۴ الف) نیز می‌توان اظهار داشت از بین تیمارهای مختلف در گل بنفشه تیمارهای T_۴ و T_۵ بیشترین اختلاف را با تیمار شاهد از نظر مساحت سبز دارند. اما در گل مینا علاوه بر تیمارهای مذکور، تیمار T_۱ نیز با تیمار شاهد اختلاف زیادی دارد. نتایج آزمون LSD نیز به‌منظور بررسی دقیق اختلاف درون گروهی با اعمال تیمارهای مختلف آب آبیاری برای هر دو گونه‌ی بنفشه و مینا در شکل (۴ ب) ارائه شده است.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، در گل بنفشه با افزودن پساب به آب آبیاری تعداد گل در مقایسه با آب چاه افزایش نشان داد. بیشترین کمترین تعداد گل در این‌گونه به ترتیب در تیمار T_۱ (۱۰۰ درصد پساب) و تیمار T_۲ (شاهد) مشاهده شد. در گل مینا با افزایش درصد اختلاط فاضلاب از ۲۵ تا ۷۵ درصدی از آب آبیاری تعداد گل افزایش پیدا کرد. در این‌گونه کمترین تعداد گل با کاربرد ۱۰۰ درصدی پساب به‌دست آمد. با جایگزین کردن ۵۰ درصد آب آبیاری با پساب تصفیه-شده شهری افزایش چشمگیری در تعداد گل این‌گونه‌ها مشاهده شد. جمالی و همکاران (۱۳۹۹) نیز دریافتند که رژیم‌های مختلف استفاده از پساب تصفیه‌شده شهری مشهود جهت آبیاری باعث افزایش تعداد شاخه فرعی و تعداد برگ گیاه کینوا در مقایسه با آب شهری می‌شود. البته در پژوهش انجام شده توسط چوپان و همکاران (۱۴۰۰) کاهش تعداد گل تازه زعفران با کاربرد پساب شهری گزارش شده است. در صورتی‌که در همین پژوهش برای صفت شاخص درشتی گل خشک،



شکل ۴- مقایسه میانگین‌های سطح سبز تحت تاثیر تیمارهای مختلف آبیاری در بوته‌های بنفشه و مینا (میانگین‌های پوشش داده شده توسط نوار یکسان در سطح احتمال ۰/۰۵+ تفاوت قابل توجهی ندارند)

بنفشه با افزودن و جایگزین کردن ۲۵ درصد از آب آبیاری با پساب، ارتفاع گل تا حدودی افزایش می‌یابد. اما درصد اختلاط بیشتر از ۲۵ تا ۷۵ درصدی باعث کاهش ارتفاع گل در این گونه نسبت به تیمار شاهد می‌شود. در این گونه تیمار ۱۰۰ درصد پساب نیز اثری تقریباً مشابه با تیمار شاهد بر ارتفاع گل داشت. اما در بوته مینا روند تغییرات ارتفاع گل با کاربرد رژیم‌های مختلف آبیاری متفاوت بود. در این گونه با افزودن پساب تا ۵۰ درصدی آب آبیاری ارتفاع گیاه، کاهش و با افزودن تا ۱۰۰ درصدی آب آبیاری افزایش یافت؛ البته این تغییرات به مقدار جزئی بوده و نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار نیست. با این تفاسیر بیشترین ارتفاع گل، در بوته بنفشه در تیمار T۴ ولی در بوته مینا در تیمار T۵ اتفاق افتاد (که اختلاف معنی‌داری با تیمار T۲ نداشتند). رضوانی مقدم و میرزایی‌نجم‌آبادی (۱۳۸۸) تاثیر نسبت‌های مختلف آب چاه و فاضلاب تصفیه‌شده بر خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت، سورگوم و ارزن علوفه‌ای را بررسی کردند؛ با توجه به نتایج حاصله، نسبت‌های مختلف آب چاه و فاضلاب

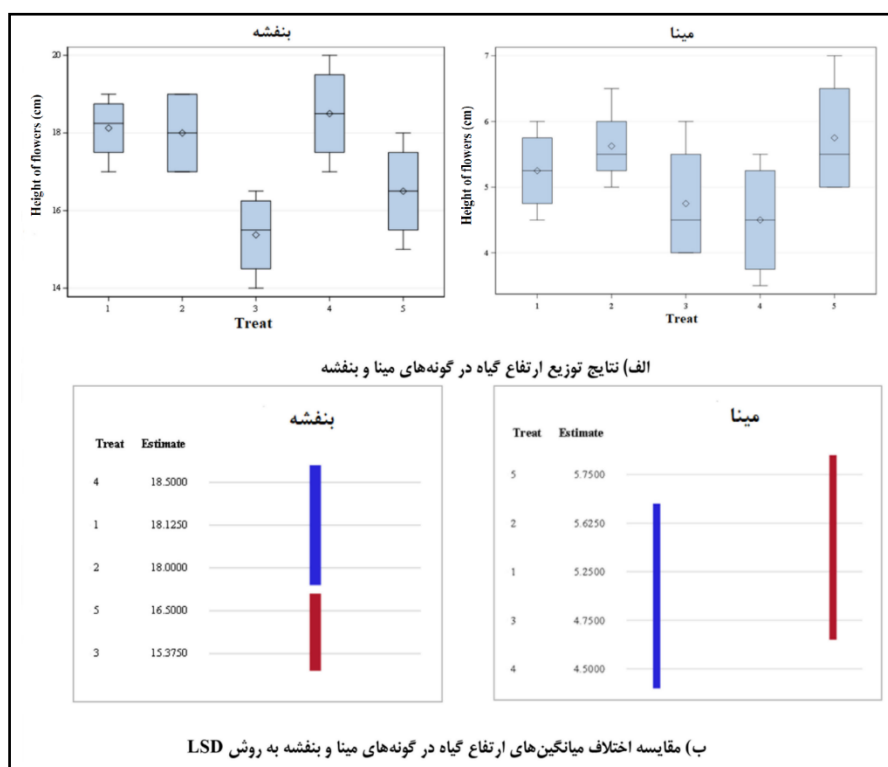
جایگزین و اختلاط فاضلاب با آب چاه در آبیاری هر دو گونه بنفشه و مینا باعث افزایش سطح سبز شد. اما کاربرد درصد‌های مساوی از آب چاه و فاضلاب (T۳) تأثیری تقریباً مشابه با تیمار شاهد (T۲) بر مساحت سبز در گل بنفشه داشت در صورتی که در گل مینا با اعمال تیمار T۳ کمترین میزان مساحت سبز مشاهده شد. یغمایی (۱۳۷۹) در آزمایشی درصد‌های مختلف آبیاری با پساب را بر عملکرد ذرت مورد مطالعه قرار داد. براساس نتایج وی بیشترین عملکرد دانه و بیوماس کل در تیمار ۱۰۰ درصد پساب شهری مشاهده و با کاهش پساب عملکرد نیز کاهش یافت. علیزاده و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی ذرت در تیمار آبیاری با آب فاضلاب در تمام مراحل رشد در مقایسه با آب چاه بیشترین مقدار بود.

آزمون بررسی میانگین‌های متغیر ارتفاع گل

بررسی آزمون مقایسه میانگین‌ها در هر دو گونه نشان داد که رژیم‌های مختلف آب آبیاری بر ارتفاع گل در سطح احتمال پنج درصد همواره معنی‌دار نیست (شکل ۵). لازم به ذکر است که در گونه‌ی

افزایش نسبت آب فاضلاب در آب آبیاری گندم، متوسط طول میانگرمها افزایش یافت. یون و کووان و همچنین جنکینز و همکاران (Yoon and Kwun., 2001; Jenkins et al., 1994). با توجه به اینکه آب فاضلاب سرشار از مواد مغذی خصوصاً نیتروژن و فسفر می‌باشد؛ پس در نسبت‌های بالای فاضلاب افزایش ارتفاع بوته در گیاه منطقی به نظر می‌رسد.

تاثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد پنجه در هر بوته، عملکرد علوفه خشک نشان داد. با افزایش میزان فاضلاب تا سطح ۷۵ درصد، ارتفاع بوته افزایش یافت و با افزایش میزان فاضلاب تا سطح ۱۰۰ درصد، قطر ساقه و عملکرد علوفه خشک افزایش نشان داد. با این وجود بین تیمارهای ۷۵ و ۱۰۰ درصد فاضلاب از نظر ارتفاع بوته، قطر ساقه و عملکرد علوفه خشک گیاهان مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. قنبری و همکاران (۱۳۸۵) نیز نشان دادند با



شکل ۵- مقایسه میانگین‌های ارتفاع گل تحت تاثیر تیمارهای مختلف آبیاری در بوته‌های بنفشه و مینا (میانگین‌های پوشش داده شده توسط نوار یکسان در سطح احتمال ۰/۰۵ تفاوت قابل توجهی ندارند)

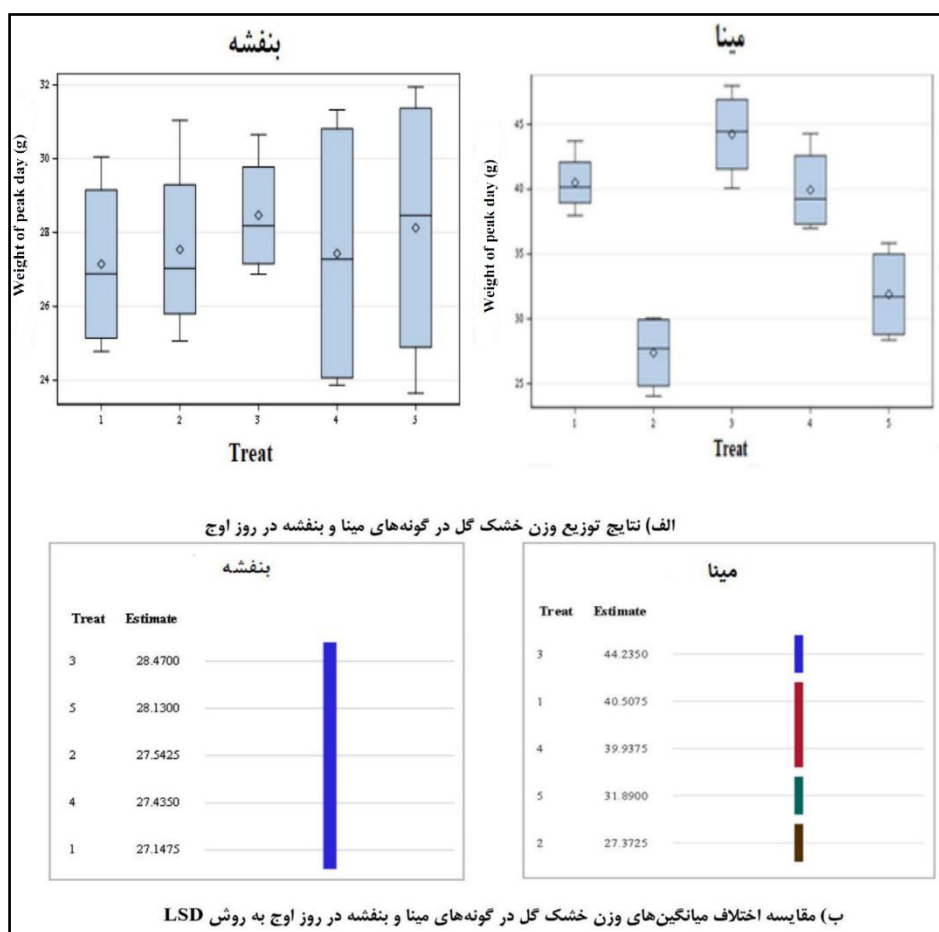
آبیاری با آب چاه بود.

بررسی تاثیر آبیاری با تیمارهای مختلف بر خصوصیات شیمیایی خاک

پارامترهای کیفی آب آبیاری، فاضلاب تصفیه شده شهری و همچنین مقادیر عناصر آهن، سدیم، منیزیم و کلسیم قبل از شروع فصل زراعی و پس از انجام آبیاری، در کلیه تیمارها اندازه‌گیری گردید (جدول (۴)). با توجه به اینکه از هر تیمار نمونه‌ها با یکدیگر مخلوط و فقط یک نمونه از هر تیمار مبنای بررسی آماری قرار گرفت، از آزمون تحلیل کواریانس استفاده شد. نتایج آزمون کواریانس برای مقادیر آهن، سدیم، منیزیم و کلسیم در جدول (۵) آمده است.

آزمون بررسی میانگین‌های متغیر وزن خشک در روز اوج

در تحقیق حاضر بین تیمارهای مختلف آب آبیاری از لحاظ وزن خشک در روز اوج با نمونه شاهد با احتمال ۹۵ درصد اطمینان اختلاف معنی‌داری در بوته‌ی بنفشه مشاهده نشد (شکل (۶)). اما اختلاف بین تیمارهای مختلف مبنی بر اختلاف وزن خشک بوته‌ی مینا در روز اوج با تیمار شاهد با سطح احتمال پنج درصد خطا پذیرفته می‌شود. در بوته‌ی مینا با جایگزینی ۵۰ درصد از آب آبیاری با فاضلاب بیشترین میزان وزن خشک در روز اوج به دست آمد. یون و کووان در مطالعات خود دریافتند که آبیاری با فاضلاب باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی برنج و سورگوم در مقایسه با آب چاه می‌شود (Yoon and Kwun., 2001). قنبری و همکاران (۱۳۸۵) هم نشان دادند عملکرد بیولوژیکی گندم در آبیاری با فاضلاب دو برابر بیشتر از



شکل ۶- مقایسه میانگین‌های وزن خشک در روز اوج تحت تاثیر تیمارهای مختلف آبیاری در بوته‌های بنفشه و مینا (میانگین‌های پوشش داده شده توسط نوار یکسان در سطح احتمال ۰/۰۵ تفاوت قابل توجهی ندارند)

جدول ۴- مقادیر عناصر اندازه‌گیری شده در تیمارهای آزمایش و نمونه اولیه خاک

نمونه خاک تیمار						نمونه اولیه خاک (شاهد)	فاضلاب تصفیه شده	آب آبیاری	واحد	عناصر
T _۵	T _۴	T _۳	T _۲	T _۱						
۵/۷۶	۵/۴۶	۵/۶۱	۵/۹۸	۶/۳۲	۷/۲۸	۰/۳۱	۰/۲۴			Fe
۲۹/۱۶	۲۵/۲۴	۲۷/۲۰	۲۴/۸۰	۳۷/۸۶	۱۴/۳۶	۵/۵۶	۳/۸۷	ppm		Na
۷	۴	۵/۵	۳/۸	۶/۴	۱/۲	۲/۷	۱/۶	meq/L		Mg
۷/۸	۶/۶	۷/۲	۵/۴	۸/۸	۳	۳/۶	۱/۳	meq/L		Ca
۱۰/۷۲	۱۰/۹۷	۱۰/۸۴	۱۱/۵۶	۱۳/۷۱	۹/۹۰	۴/۱۱	۳/۷۱	(meq/L) ^{0.5}		SAR
۴/۰۴	۳/۶۰	۳/۸۲	۳/۱۳	۴/۷۷	۱/۷۷	۲/۰۳	۱/۴۹	ds/m		EC

بیشترین افزایش میزان سدیم را در مقایسه با سایر تیمارها دارند. تیمار T_۲، T_۳ و T_۴ اختلاف معنادار با نمونه شاهد (نمونه اولیه خاک) ندارند. در واقع استفاده از ۱۰۰ درصد فاضلاب باعث بیشترین افزایش مقدار سدیم در خاک گردیده است. در کرت‌های تحت تیمار T_۱ و T_۲ به- ترتیب افزایش ۱۶۴ و ۷۳ درصدی سدیم نسبت به نمونه خاک کشت نشده (شاهد) مشاهده شد. در کرت‌های آبیاری شده با آب و فاضلاب

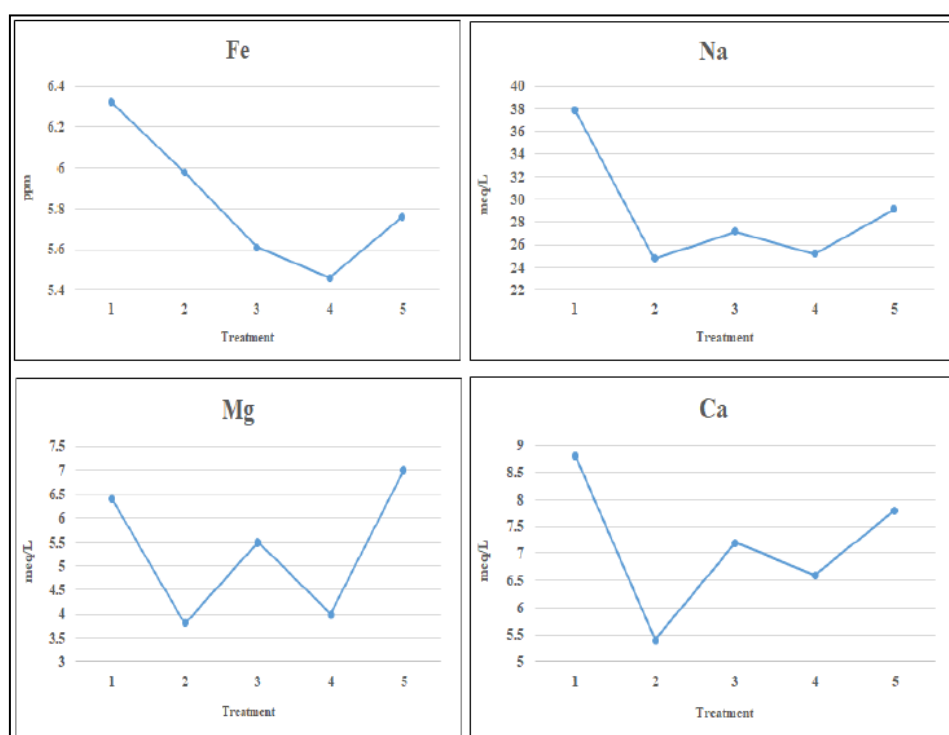
مطابق شکل (۷) تیمار T_۱ بیشترین میزان آهن را در مقابل سایر تیمارها داشته است. در حالی که تیمار T_۲، T_۳، T_۴ و T_۵ میزان آهن کمتری نسبت به نمونه شاهد (نمونه اولیه خاک) بعد از انجام آزمایش داشته است. تیمار T_۴ اختلاف معنی‌دار با نمونه اولیه خاک دارد و استفاده از ۲۵ درصد آب چاه و ۷۵ درصد فاضلاب باعث کاهش معنادار مقدار آهن در خاک گردیده است. تیمار T_۱ و تیمار T_۵

فاضلاب، مقدار یون‌های سدیم، فسفر، نیترات و نیکل افزایش می‌یابد؛ به طوری که بیشترین افزایش در یون سدیم (۸۴ درصد) مشاهده شد.

در تحقیق انجام شده توسط سروش و همکاران (۱۳۸۶) نیز افزایش ۸۰ درصدی سدیم گزارش شده است. یزدانی و همکاران (۱۳۹۳) نیز در مطالعات خود دریافتند که با افزایش تعداد آبیاری با پساب

جدول ۵- نتایج آنالیز کوواریانس تاثیر تیمارهای آزمایش بر عناصر آهن، سدیم، منیزیم و کلسیم در خاک

	اختلاف میانگین	خطای انحراف معیار	سطح معنی‌داری	سطح اطمینان ۹۵٪	
				کران بالا	کران پایین
Fe	۱/۵۴	۰/۱۱	۰/۰۰۱	۱/۱۰	۱/۸۰
Na	۲۲/۸۵	۲/۳۷	۰/۰۰۲	۳۰/۴۱	۱۵/۲۹
Mg	۹/۰۲	۰/۷۲۵	۰/۰۰۱	۱۱/۳۲	۶/۷۱
Ca	۵/۹۶	۰/۶۵	۰/۰۰۳	۸/۰۴	۳/۸۷



شکل ۷- مقایسه عناصر مختلف خاک تحت تاثیر تیمارهای مختلف آبیاری

در کرت‌های تحت تیمار T_1 و T_2 به ترتیب افزایش ۱۹۳ و ۸۰ درصدی کلسیم نسبت به نمونه خاک شاهد مشاهده شد. در واقع با افزایش نسبت اختلاط فاضلاب، مقادیر سدیم، منیزیم و کلسیم در خاک افزایش یافت. البته با کاربرد رژیم‌های مختلف آب آبیاری و سطوح مختلف پساب، مقدار EC خاک نیز در مقایسه با نمونه اولیه افزایش معنی‌داری داشت که این افزایش به علت اضافه شدن عناصر مختلف به خاک در طی فرآیند آبیاری می‌باشد.

استفاده از پساب در زمین‌های زراعی می‌تواند در حفظ حاصلخیزی خاک با کمک بهبود نسبی پارامترهای فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی خاک مؤثر باشد (نادی و همکاران، ۱۳۸۸؛ Sheshma et al.,

تیمار T_1 ، T_3 و T_5 بیشترین افزایش میزان منیزیم را در مقابل سایر تیمارها داشته است. درحالی‌که تیمار T_4 و T_2 اختلاف چشمگیری با نمونه شاهد (نمونه اولیه خاک) ندارد. استفاده از ۷۵ درصد فاضلاب و ۲۵ درصد آب چاه باعث بیشترین افزایش مقدار منیزیم در خاک گردیده است. در کرت‌های تحت تیمار T_1 و T_2 به ترتیب افزایش ۴۳۳ و ۲۱۷ درصدی منیزیم نسبت به نمونه خاک شاهد مشاهده شد. تیمار T_1 ، T_2 ، T_3 و T_4 بیشترین افزایش میزان کلسیم را داشته است. تیمار T_1 ، T_3 ، T_4 و T_5 اختلاف معنی‌دار با نمونه شاهد (نمونه اولیه خاک) دارند و استفاده از تیمار ۱۰۰ درصد فاضلاب باعث بیشترین افزایش مقدار کلسیم در خاک گردیده است.

خشک که نشان‌دهنده حجم بوته تولیدی ناشی از آبیاری با تیمارهای مختلف است به‌عنوان شاخص فیزیولوژیک شناخته می‌شود. در گل بنفشه اگر چه بیشترین و کمترین مقدار وزن خشک مربوط به تیمارهای T_۳ به میزان ۲۸/۴۷ گرم و T_۱ به میزان ۲۷/۱۴ گرم است ولی اختلاف معنی‌دار نیست؛ اما در گل مینا بیشترین و کمترین مقدار وزن خشک مربوط به تیمارهای T_۱ به میزان ۴۰/۵ گرم و T_۵ به میزان ۳۱/۸ گرم مشاهده شد.

از نگاه بازاری‌سندی در گونه‌های بنفشه و مینا سطح سبز در هر دو گونه و تعداد گل در بنفشه و ارتفاع گل در مینا از اهمیت خاصی برخوردار است. نسبت‌های مختلف آب چاه و فاضلاب تأثیر معنی‌داری بر تعداد گل و سطح سبز در هر دو گونه بنفشه و مینا نشان داد. اما کاربرد این تیمارها تنها در بوته بنفشه بر ارتفاع گل تأثیر معنی‌دار نشان داد. بیشترین و کمترین تعداد گل در بوته بنفشه به ترتیب مربوط به تیمارهای T_۱ به تعداد ۱۳۱ عدد و T_۲ به تعداد ۹۶ عدد و در گل مینا مربوط به تیمارهای T_۵ به تعداد ۵۱ عدد و T_۱ به تعداد ۳۱ عدد بود. بیشترین و کمترین سطح سبز در بوته بنفشه به ترتیب مربوط به تیمارهای T_۴ به میزان ۳۹۱ میلی‌مترمربع و T_۳ به میزان ۲۹۹ میلی‌مترمربع و در گل مینا مربوط به تیمارهای T_۱ به میزان ۳۲۵ میلی‌مترمربع و T_۲ به میزان ۲۳۴ میلی‌مترمربع بود. در شاخص ارتفاع بوته در گل بنفشه بیشترین و کمترین مقدار به ترتیب مربوط به تیمارهای T_۴ به میزان ۱۸/۵ سانتی‌متر و T_۳ به میزان ۱۵/۳۷ سانتی‌متر و در گل مینا این مقادیر مربوط به تیمارهای T_۵ به میزان ۵/۷ سانتی‌متر و T_۴ به میزان ۴/۵ سانتی‌متر بود. بنا بر نتایج به‌دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که افزایش در مقادیر شاخص‌های ذکر شده، پساب باشد. پساب خروجی از تصفیه‌خانه دارای مقادیر زیادی از عناصر مغذی مورد نیاز گیاه است که هم می‌تواند منبع تامین کننده مواد غذایی برای گیاهان باشد و هم سبب بهبود حاصلخیزی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شود.

اما در بررسی عناصر خاک بیشترین مقدار آهن، سدیم و کلسیم حتی هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک مربوط به تیمار T_۱ می‌باشد. البته با کاربرد ۱۰۰ درصد پساب به‌عنوان آب آبیاری (T_۱) مقدار منیزیم خاک نیز افزایش چشمگیری نسبت به تیمار شاهد (نمونه خاک قبل از کشت) داشت. در واقع آبیاری با پساب سبب افزایش میزان عناصر کلسیم، سدیم و منیزیم محلول خاک نسبت به منطقه شاهد شده است. با استفاده از پساب، EC خاک افزایش داشت؛ اما چون مقدار EC در محدوده چهار می‌باشد؛ مشکلی از نظر شوری خاک در کوتاه‌مدت ایجاد نخواهد کرد.

باید توجه داشت که تنها تعیین میزان غلظت عناصر در خاک کافی نیست و بایستی میزان جذب عناصر توسط سیستم گیاهی هم مورد بررسی قرار گیرد. توصیه می‌شود به‌منظور دستیابی به نتایج

(2022). استفاده از پساب به دلیل داشتن عناصر غذایی موردنیاز گیاه می‌تواند باعث کاهش مصرف کود شیمیایی و کاهش آلاینده‌ها و همچنین بهبود خواص فیزیکی خاک و محیط‌زیست شود. از طرفی استفاده از آب‌های نامتعارف می‌تواند تأثیرات نامطلوبی بر خواص فیزیکی خاک و مقادیر جذب عناصر داشته باشد. عمدتاً نتایج پژوهش‌های انجام شده، گویای بالا بودن تراکم عناصر مغذی شامل فسفر، نیتروژن، کلسیم، پتاسیم و منیزیم در خاک آبیاری شده با پساب شهری در مقایسه با خاک آبیاری شده با آب چاه است (حسین‌نژادمیر و همکاران، ۱۳۹۷). نتایج تحقیق عابدی و همکاران (۱۳۸۲) مشخص کرد که آبیاری با فاضلاب باعث کم‌شدن هدایت الکتریکی اشباع و بالا رفتن وزن مخصوص ظاهری خاک می‌شود. همچنین امام‌قلی (۱۳۹۱) در بررسی اثرات پساب شهری بر خصوصیات شیمیایی خاک به این نتیجه رسید که آبیاری با فاضلاب باعث کم‌شدن سدیم محلول، هدایت الکتریکی، مجموع کلسیم و منیزیم محلول و پتاسیم و بالا رفتن نیتروژن و فسفر خاک نسبت به مکان شاهد می‌شود. هرچگانی و بنی‌طالبی (۱۳۹۲) به بررسی اثر ۲۳ سال آبیاری با پساب بر انباشت برخی عناصر سنگین در خاک پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از پساب اثرات متفاوتی بر غلظت فلزات سنگین در خاک داشته است به طوری که غلظت سرب و کادمیوم در خاک کاهش و غلظت روی، مس، کروم و نیکل افزایش یافته است.

نسبت جذب سدیم (SAR) به‌عنوان یک شاخص مؤثر در ارزیابی خطر بالقوه سدیم و یک عامل در تعیین مناسب بودن آب آبیاری مطرح است. اگر آب آبیاری با SAR بالا برای مدت‌زمان طولانی به خاک اعمال شود؛ سدیم در آب با کلسیم و منیزیم در خاک جایگزین شده و باعث کاهش نفوذپذیری خاک و کاهش توانایی خاک در تشکیل دانه‌های پایدار و در نهایت منجر به از بین رفتن ساختار خاک می‌شود. در تحقیق حاضر آبیاری با آب چاه و پساب باعث افزایش میزان این پارامتر نسبت به نمونه خاک شاهد شده است. بالاترین مقدار SAR در تیمار T_۱ و آبیاری با ۱۰۰ درصد پساب اتفاق افتاد. این افزایش به دلیل روند ازدیاد بیشتر یون سدیم نسبت به مجموع یون‌های کلسیم و منیزیم طی فرآیند آبیاری می‌باشد. افزایش سدیم باعث پراکندگی ذرات خاک، کاهش میزان نفوذپذیری، تجمع و افزایش میزان تبخیر از سطح خاک می‌شود. بنابراین بایستی در استفاده از آب‌های نامتعارف در کشاورزی به خصوصیات خاک و آب در دراز مدت توجه ویژه‌ای مبذول داشت.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، به بررسی سه دسته شاخص موردنظر در فضای سبز، شامل شاخص فیزیولوژیکی گیاه، شاخص‌های سیما و منظر فضای سبز و شاخص تغییر برخی عناصر خاک پرداخته شد. وزن

حسینی شاد، س.م. و مهدی نژاد، م.ه. ۱۴۰۰. بررسی الگوهای کشاورزی مناسب جهت آبیاری با پساب شهر سبزوار. علوم و تکنولوژی محیط زیست. ۳۳(۱۱): ۲۶۹-۲۷۸.

رضوانی مقدم، پ. و میرزایی نجم آبادی، م. ۱۳۸۸. تأثیر نسبت های مختلف آب چاه و فاضلاب تصفیه شده بر خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت، سورگوم و ارزن علوفه ای. مجله پژوهش های زراعی ایران. ۱۷(۱): ۶۳-۷۵.

سروش، ف.، موسوی، س.ف.، رزمجو، خ. و مصطفی زاده فرد، ب. ۱۳۸۶. تأثیر آبیاری با مقادیر متفاوت پساب تصفیه خانه شهری بر جذب عناصر توسط ارقام چمن ژاپنی (*Zoysia spp*). مجله پژوهش کشاورزی: آب، خاک و گیاه در کشاورزی. ۷(۲): ۷۳-۸۴.

شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس. ۱۳۸۰. طراحی، ساخت، نصب و بهره برداری از تصفیه خانه فاضلاب تربت حیدریه. شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی. ۷۲-۳۴.

صالحی، ا.، طبری کوچکسرایبی، م.، محمدی، ج. و علی عرب، ع. ۱۳۸۷. تأثیر آبیاری با فاضلاب شهری بر خاک و رشد درختان کاج شهر تهران. فصلنامه تحقیقات جنگل و صنوبر ایران. ۱۶(۲): ۱۹۶-۱۸۶.

عابدی کوپایی، ج.، افیونی، م.، مصطفی زاده، ب.، موسوی، س.ف. و باقری، م.ر. ۱۳۸۲. تأثیر آبیاری بارانی و سطحی با پساب تصفیه شده بر شوری خاک. مجله آب و فاضلاب. ۱۱۴(۱): ۱۲-۲.

قانعیان، م.ت.، و دهواری، م. ۱۳۹۸. راهنمای کاربرد آب های بازیافتی در کشاورزی، مرکز تحقیقات کیفیت آب، پژوهشکده محیط زیست دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تهران.

قنبری، ا.، عابدی کوپایی، ج. و طایبی سمیرمی، ج. ۱۳۸۵. اثر آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده شهری روی عملکرد و کیفیت گندم و برخی ویژگی های خاک در منطقه سیستان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۰(۴): ۷۵-۵۹.

نادی، ز.، رئیس، ف. و حسین پور، ا. ۱۳۸۸. تأثیر پساب های صنعتی خام و تصفیه شده بر روی آنزیم فعالیت یک خاک رس سیلتی در شرایط آزمایشگاهی. مجله آب و فاضلاب. ۱: ۹۳-۱۰۰.

نجف پور، ف.، سلیمانی بابرصاد، م. و دناک، ع. ۱۳۹۳. بررسی استفاده مجدد از پساب و لجن تصفیه خانه فاضلاب در فضای سبز شهر (مطالعه موردی تصفیه خانه فاضلاب شهر اهواز). دوفصلنامه تخصصی مهندسی آب. ۱۴۲-۱۳۵.

نعمی، ل. ۱۳۹۳. بررسی تاثیر استفاده مجدد از پساب تصفیه خانه فاضلاب در فضای سبز شهری به منظور توسعه پایدار (مطالعه

دقیق تر اثرات درازمدت آبیاری با پساب بر غلظت عناصر خصوصاً فلزات سنگین در خاک و گیاه بررسی شود. همچنین توصیه می شود باتوجه به خصوصیات خاک و پساب منطقه، اثر کاربرد پساب بر ویژگی های خاک از قبیل چگالی ظاهری، نفوذپذیری، هدایت هیدرولیکی، ظرفیت نگهداری آب و روند تغییرات املاح و مواد جامد معلق در خاک بررسی شود.

منابع

امامقلی، م. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر پساب شهری در احیای اراضی بیابانی بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک و پوشش گیاهی (مطالعه موردی: دشت سگری اصفهان). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

انبیر، ل. و نوری، ز. ۱۳۹۷. بررسی کیفیت پساب خروجی تصفیه خانه فاضلاب شهری اکباتان جهت کاربرد در اراضی کشاورزی و فضای سبز. نشریه مدیریت اراضی. ۱۶(۱): ۹۵-۱۰۲.

بدلیانس قلیکنندی، گ.، ابریشمی، ع.، شویدی، ع. و جمشیدی، ش. ۱۳۹۲. امکان سنجی استفاده مجدد از پساب تصفیه شده برای آبیاری فضای سبز (مطالعه موردی پساب تصفیه خانه فاضلاب شهید محلاتی). همایش ملی بازیافت آب؛ راهبردی اصولی برای مدیریت بحران آب. ۱۵ آبان، اصفهان.

بیگی هرچگانی، ح. و بنی طالبی، گ. ۱۳۹۲. اثر بیست و سه سال آبیاری سطحی با پساب شهری بر انباشت بعضی فلزات سنگین در خاک، انتقال به دانه های گندم و ذرت و خطرات بهداشتی مرتبط. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۷(۳): ۵۸۰-۵۷۰.

پرتانی، ص. و محمودی مظفر، ع. ۱۴۰۰. بررسی اثر آبیاری با پساب شهری بر شاخص های رشد گونه های فضای سبز تهران (خرزهره و فستوکا). نشریه آب و توسعه پایدار. ۱۸(۱): ۷۹-۸۸.

جمالی، ص.، زین الدین، س.م. و کلاهی، م. ۱۳۹۹. اثر تیمارهای تلفیقی پساب تصفیه شده شهری بر عملکرد و اجزای عملکرد کینوا. نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک. ۲۷(۱): ۱۹۵-۱۸۱.

چوپان، ی.، هزارجریبی، ه.، قربانی، خ.، حسام، م. و خاشعی سیوکی، ع. ۱۴۰۰. تأثیر پساب فاضلاب شهری و روش های نوین آبیاری بر خواص زعفران. نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب. ۱۶(۱): ۵۲-۶۰.

حسین نژاد میر، ا.، ملکی، ع. و عالی نژادیان بیدآبادی، ا. ۱۳۹۷. تأثیر سطوح مختلف آبیاری با پساب شهری بر تجمع برخی عناصر شیمیایی در خاک. نشریه مدیریت آب و آبیاری. ۸(۲): ۲۶۵-۲۵۳.

- Cyprus. In: Proceeding of Int. Conf. on Land and Water. Valenzano, Bari. 4-8 Sep, Italy.
- Jeong, H., Kim, H. and Jang, T. 2016. Irrigation water quality standards for indirect wastewater reuse in agriculture: A contribution toward sustainable wastewater reuse in South Korea. MPDI. 8(4): 2-18.
- Matouq, M. 2010. The potential for reusing treated municipal wastewater for irrigation in the Hashemite Kingdom of Jordan. International Journal of Water. 4(1-2): 12-26.
- Ragab, R., Pearce, G., Changkim, J., Nairizi, S. and Hamdy, A. (Eds.). pp. 147-154. ICID International Workshop on Wastewater Reuse and Management. Seoul, South Korea.
- Sheshma, B., Ankita, S., Sharma, S., Kholvar, K., Mandawat, B., Agarwal, V. and Bargotya, Y. 2022. Effect of sewage on soil properties. International journal of Management, Technology and Engineering. 4.
- Yoon, C.G. and Kwun, S.K. 2001. Feasibility study of reclaimed wastewater irrigation to paddy rice culture in Korea. In: Ragab, R., Pearce, G., Changkim, J., Nairizi, S. and Hamdy, A. (Eds.), pp. 127-136. ICID International Workshop on Wastewater Reuse and Management. Seoul, South Korea.
- موردی: شهر اراک). دومین همایش ملی و تخصصی پژوهش‌های محیط زیست ایران. انجمن ارزیابان محیط زیست هگمتانه، همدان.
- نیکوزاده، ع. ۱۳۹۶. ضرورت بهبود و توسعه فضای سبز شهری در تربت حیدریه و چالش محدودیت منابع آبی. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد تربت حیدریه.
- یزدانی، و، قهرمان، ب، داوری، ک. و فاضلی، ا. ۱۳۹۳. تأثیر فاضلاب بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست. ۱۶(۹۳): ۵۴۳-۵۵۸.
- یغمایی، ا. ۱۳۷۹. عملکرد ذرت دانه‌ای در آبیاری با فاضلاب خانگی و پیامدهای حاصل از آن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- 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.
- Jenkins, C.R., Papadopoulos, I. and Stylianou, Y. 1994. Pathogens and wastewater use of irrigation in

Feasibility of reusing wastewater in irrigation of green space (Study case: city wastewater of Torbat Heydarieh)

R. Abbasi kaskaki¹, M. Karimzadeh^{2*}

Received: Aug.08, 2024

Accepted: Feb.06, 2024

Abstract

The limitations of water resources in Iran have highlighted the need to reuse wastewater and recycle purified water as one of the solutions to obtain new water resources. In order to investigate the effect of wastewater on the quantitative and qualitative characteristics of Banafsheh and Mina plants in the water year of 2022, different percentages of mixing water with urban wastewater (25-50-75 and 100 percent) obtained from Torbat Heydarieh wastewater treatment plant as experimental treatments were compared with city water as the control treatment. It was implemented in the form of a complete randomized block statistical design with five treatments and four replications. During the growing season, the indicators of the number of flower, green area, flower height and dry weight were measured, and at the end of the growing season, the chemical properties of the soil were measured. Data analysis was done using SAS software at a confidence level of 95% and the results were compared using the LSD test. Based on the obtained results, different proportions of water and sewage had a significant effect on the number of flowers and green surface in both Banafsheh and Mina species. But the use of these treatments showed a significant effect on the flower height only in the Banafsheh specie. By replacing 75% of irrigation water with wastewater (T₅), the green area and the number of flowers increased by 11% and 54% in the Mina plant and by 22% and 10% in the Banafsheh plant, respectively. Irrigation with wastewater caused an increase in Na, Ca and Mg elements, a decrease in Fe and an increase in soil EC and SAR compared to the control area. It is recommended to investigate the long-term effects of irrigation with wastewater on the concentration of elements, especially heavy metals, in soil and plants in order to achieve more accurate results.

Keywords: Banafsheh, Effluent Concentration, Mina, Mix, Unusual Waters.

1- MSc student in Irrigation and Drainage Engineering, Faculty of Engineering and Water Sciences, Torbat Heydarieh Azad University, Torbat Heydarieh, Iran

2- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Torbat Heydarieh Azad University, Torbat Heydarieh, Iran

(*- Corresponding Author Email: Mo.Karimzadeh@iau.ac.ir)