

تأثیر آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده بر خواص شیمیایی خاک تحت کشت گیاهان پوششی (مطالعه موردی: شهر پرند)

سید محسن کاشی^{۱*}، سعد الله علیزاده اجیرلو^۱ و نصرت اله نجفی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۶)

چکیده

کاهش منابع آب با توجه به مسئله تغییر اقلیم جهانی و رشد جمعیت یکی از بحرانی‌ترین مسائل پیش روی طراحان و برنامه‌ریزان توسعه فضاهای سبز در شهرها است. در برابر این چالش‌ها، نیاز فوری به بهبود کارایی مصرف آب و استفاده زنجیره‌ای از منابع آب با گزینه‌های مناسب وجود دارد. در این راستا با توجه به حجم قابل توجه پساب‌های شهری، استفاده مجدد از آن در آبیاری فضای سبز، از دیدگاه مدیریت منابع آب از نظر زیست‌محیطی و اقتصادی، اهمیت دارد. به همین منظور در این پژوهش تأثیر پساب فاضلاب تصفیه‌خانه شهر پرند بر خصوصیات شیمیایی خاک تحت کشت سه نوع گیاه پوششی (فرانکینیا (FR)، فستوکا آبی (FE)، دایکوندر (DI)) در بستری با خاک لومی شنی بررسی می‌شوند. این مطالعه به صورت یک آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با استفاده از اختلاط آب و پساب در ۴ سطح با تیمارهای آبیاری صفر (شاهد)، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نسبت به آب شیرین و ۳ تکرار مورد بررسی قرار گرفت و سپس خصوصیات شیمیایی خاک مانند pH، EC، OC، Na، Ca، Cl، Mg مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج به دست آمده از پارامترهای آنالیز شیمیایی خاک نشان داد که مقدار pH در تمامی تیمارهای دارای پساب نسبت به شاهد کاهش یافت که این مقدار کاهش در هیچ تیماری معنی‌دار نشد. مقادیر EC و Cl در تمامی گیاهان دارای افزایش بوده که این مقادیر در تیمارهای FR100 به ترتیب با افزایش حدود ۱۹۵ و ۵۶۱ درصدی نسبت به شاهد و در تیمار FE100 به ترتیب با افزایش حدود ۵۴ و ۱۶۲ درصدی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. مقدار OC در تیمار FR100 با افزایش حدود ۴۱ درصدی نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار شد اما در سایر گیاهان این نسبت در هیچ تیماری معنی‌دار نشد. حداکثر مقدار Mg در تیمار FR50 به مقدار ۳۰/۲۷ بوده که دارای اثر معنی‌دار نسبت به سایر تیمارها است. مقدار Na و Ca در تیمار FR100 به ترتیب با افزایش حدود ۳۴۳ درصدی و ۱۳۰ درصدی نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار شد در حالی که در گیاهان FE و DI این نسبت در هیچ تیماری معنی‌دار نشد.

واژه‌های کلیدی: شوری، فضای سبز، فرانکینیا، کلرید، کربن آلی

۱. گروه مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: kashi.phd@yahoo.com

مقدمه

گیاهان پوششی (زمین پوش‌ها) در حاشیه درختچه‌ها، زیر درختان، در میان گیاهان چندساله و نیز برای فرش کردن جایی که امکان استفاده از چمن وجود ندارد و یا روی شیب‌ها و به‌منظور کنترل فرسایش کاشته می‌شوند. در میان مجموعه غنی زمین‌پوش‌ها، گیاهانی یافت می‌شوند که می‌توانند جایگزین چمن شوند و می‌توان آن‌ها را برای جاهایی که کاشت چمن با شکست مواجه شده و یا مراقبت از آن دردسر ساز بوده در نظر گرفت. زمین‌پوش‌ها راه حلی آشکار برای این مکان‌ها است (۸). همچنین آبیاری پوشش‌های گیاهی در فضای سبز یکی از چالش‌های مهم مدیران فضای سبز شهری بخصوص در مناطق گرم و خشک و نقاطی که آب فراوان برای آبیاری در دسترس نیست است. بنابراین استفاده از آب‌های نامتعرف، در جایی که آب با کیفیت مناسب در دسترس نیست، رو به افزایش است. یکی از این منابع، فاضلاب‌های تصفیه شده است که علاوه بر تأمین آب می‌تواند بخشی از نیاز غذایی گیاه را نیز تأمین نماید (۲۰).

آب شیرین یک منبع کمیاب و دارای توزیع غیریکنواخت در جهان است. کمبود/کمیابی آب و تقاضای فزاینده آن بخصوص در کشورهای خشک و نیمه‌خشک فشار زیادی را بر منابع آب به‌ویژه منابع آب زیرزمینی وارد کرده است، به‌طوری که سبب افت شدید سطح آب زیرزمینی در این مناطق شده و این کشورها را با وضعیت وخیم (بحران) آب روبرو کرده است (۲۵).

این پژوهش سعی دارد با توجه به قرارگیری شهر پرنده در منطقه گرم و خشک، و همچنین با توجه به استفاده شهرداری این شهر از پساب فاضلاب تصفیه‌شده جهت آبیاری گیاهان فضای سبز، تغییرات انجام شده بر روی خصوصیات شیمیایی خاک تحت کشت گیاهان پوششی منطقه را مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار دهد. از همین رو فرض می‌شود آبیاری گیاهان فضای سبز با پساب فاضلاب به‌دلیل شوری بالا، شوری خاک تحت کشت را نیز افزایش خواهد داد.

پژوهشگران به ارزیابی خطر اکولوژیکی و تجمع فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی آبیاری شده با پساب تصفیه

فاضلاب، آب رودخانه و آب چاه به‌همراه کودهای شیمیایی پرداختند. نتیجه به‌دست آمده بیانگر این بود که غلظت تمامی فلزات سنگین در منابع مختلف آبیاری از آب چاه بیشتر بود و همچنین وجود عناصر غذایی در پساب فاضلاب تصفیه شده این منبع را به مناسب‌ترین منبع آبیاری تبدیل می‌کند زیرا نیاز کشاورزان به کودهای شیمیایی را از بین می‌برد (۲۷). طی پژوهشی تجربی، ارزیابی تأثیر آبیاری با پساب تصفیه‌شده در نسبت‌های ۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد به‌نسبت آب چاه بر پارامترهای رشدی و نسبت‌های فلزات سنگین در میوه و خاک توت‌فرنگی پرداخته شد. نتیجه به‌دست آمده بیانگر این بود که در نسبت پساب ۲۰ درصد بیشترین مقدار فلزات سنگین و کمترین عملکرد رشد در میوه توت‌فرنگی مشاهده شد. همچنین در این نسبت اثر تجمعی بالای کلر، املاح و فلزات با ظاهر شدن لکه‌های قهوه‌ای رنگ در برگ‌ها مشاهده شد. در نسبت پساب ۶۰ درصد مقدار شوری خاک، حدود ۶۲ درصد بالاتر از آب شاهد و مقدار pH حدود ۳ درصد نسبت آب شاهد کاهش یافت. همچنین در این تیمار رشد بالای گیاه و بالاترین عملکرد میوه توت‌فرنگی به ثبت رسید (۳). پژوهشگران، به بررسی اثر استفاده از پساب تصفیه شده حاصل از تصفیه‌خانه‌های مختلف بر گیاه باقلا و تأثیر آن بر تعامل گیاه و شته پرداختند. نتایج حاصله نشان داد که مقادیر pH، هدایت الکتریکی و کل مواد جامد محلول به‌ترتیب حدود ۲۰، ۸۵ و ۸۷ درصد بین منابع مختلف فاضلاب متفاوت بوده و از آب لوله‌کشی بالاتر است (۲۸). پژوهشگران چینی، به بررسی مدیریت احیای اراضی دریا با استفاده از آبیاری قطره‌ای با پساب تصفیه شده و تأثیر آن بر گل رز چینی با پنج تیمار (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد) به نسبت آب شیرین پرداختند. این مطالعه نشان داد که آبیاری قطره‌ای با نسبت‌های مختلف پساب تصفیه شده می‌تواند آبشویی نمک را افزایش دهد به‌طوری که در تیمارهای با نسبت‌های بالای پساب (۷۵ و ۱۰۰ درصد) افزایش شوری بیش از یک دسی‌زیمنس بر متر در خاک ناحیه ریشه مشاهده شد (۱۲). منگاسی و همکاران (۱۵)، به ارزیابی آبیاری چمن با

مواد و روش‌ها

پساب مورد استفاده در پژوهش حاضر، پساب حاصل از تصفیه‌خانه فاضلاب شهر پرند است. این تصفیه‌خانه در جنوب غربی شهر پرند واقع شده است. شهر پرند شهری در استان تهران و از توابع شهرستان رباط کریم است. این شهر در ۳۳ کیلومتری جنوب غربی شهر تهران و در مسیر آزادراه تهران-ساوه و در مجاورت فرودگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) واقع شده است. اراضی این شهر در حفاصل شرایط اقلیمی شهر تهران و کویر بین ۳۵ درجه و ۲۳ دقیقه و ۵۲ ثانیه تا ۲۵ درجه و ۲۵ دقیقه و ۶ ثانیه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۵۴ دقیقه و ۴۰ ثانیه تا ۵۰ درجه و ۵۸ دقیقه و ۳۳ ثانیه طول شرقی قرار گرفته است. مدول اول تصفیه‌خانه با ظرفیت ۲۹۱۵۰ مترمکعب در شبانه‌روز در سال ۱۳۹۶ به بهره‌برداری رسیده است. طرح احداث تصفیه‌خانه فاضلاب شهر پرند در سه مدول با هدف جمع‌آوری، انتقال و تصفیه روزانه ۸۷ هزار مترمکعب فاضلاب در دستورکار قرار گرفته است که در مدول اول فاضلاب جمعیتی حدود ۱۷۳ هزار نفر در شبانه‌روز را تصفیه خواهد کرد و قادر است سالانه ۱۰ میلیون مترمکعب پساب تصفیه شده با کیفیت مناسب جهت مصارف کشاورزی، صنعت و تغذیه آبخوان تأمین نماید که کمک شایانی به رفع کمبود آب و اشتغال در منطقه خواهد کرد (اداره آب و فاضلاب شهر پرند). شکل ۱، موقعیت تصفیه‌خانه فاضلاب شهر پرند را نشان می‌دهد.

این مطالعه در قالب یک آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار که فاکتور اول نوع گیاه در سه گونه (فرانکینا *Frankenia thymifolia*، دایکوندر *Dichondra repens* و فستوکا آبی *Festuca glauca*) (انتخاب بر اساس گونه گیاهی غالب منطقه) به ترتیب به عنوان گونه‌های مقاوم، نیمه‌مقاوم و حساس در برابر کم‌آبی و شوری، فاکتور دوم استفاده از پساب جهت آبیاری در چهار سطح (۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد) مخلوط با آب لوله‌کشی شهری انجام شده است و سپس خصوصیات خاک شامل pH، EC، Na، Cl، Ca و Mg مورد ارزیابی قرار گرفته است. لازم به ذکر است اندازه‌گیری

پساب تولیدی از صنعت کشتارگاه جهت بررسی متغیرهای وزن تر و خشک و خصوصیات شیمیایی خاک طی آزمایشی در بلوک‌های کاملاً تصادفی با پنج تیمار و چهار تکرار به نسبت آب‌سطحی پرداختند، نتیجه به دست آمده بیانگر این بود که وضعیت تغذیه و رشد چمن آبیاری شده با پساب در مقایسه با آب‌سطحی حفظ شد، همچنین مقادیر سدیم، فسفر و نیتروژن کل موجود در خاک در تیمارهای دارای پساب به ترتیب حدود ۵۷ درصد، ۶ درصد و ۳۳ درصد افزایش یافته است.

در پژوهشی با هدف شناسایی منابع آب پایدار در راستای بازچرخانی حداکثری و آسیب‌شناسی پتانسیل استفاده از پساب شهر تهران جهت پیاده‌سازی اهداف اکولوژی انسانی توسعه پایدار، تأثیر آبیاری با پساب تصفیه شده بر روی خصوصیات خاک تحت کشت دو گونه گیاهی خرزهره (*Nerium oleander*) و فستوکا (*Festuca*)، تحت شرایط تیمار کامل از پساب و آب‌چاه را مورد بررسی قرار گرفت، نتایج به دست آمده بیانگر این بود که میزان املاحی چون سدیم، کلسیم، منگنز، مس، روی و آهن در خاک مورد استفاده افزایش داشته اما عناصری چون کلر، منیزیم و شوری کاهش یافته در حدود ۱۰ درصد نسبت به آب شاهد داشته است (۲۲). در پژوهشی تأثیر پساب صنعتی بر کیفیت خاک اراضی فضای سبز مجتمع فولاد مبارکه استان اصفهان آبیاری شده با آب چاه و پساب صنعتی مورد ارزیابی قرار گرفت، نتایج نشان داد مقدار pH خاک در اراضی آبیاری شده با پساب نسبت به تیمار شاهد حدود ۱۰ درصد کمتر بوده است و همچنین درصد ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و شوری خاک در تیمارهای آبیاری شده با پساب نسبت به تیمار شاهد به ترتیب دارای حدود ۱۲۸، ۶۲ و ۳۷۲ درصد دارای افزایش بوده است (۱۷). طی پژوهشی تجربی در هشت سال آبیاری با پساب تصفیه شده شهرک صنعتی آمل بر زمین‌های شور سدیمی منطقه، نتیجه به دست آمده نشان داد استفاده از پساب تصفیه شده، زمین‌ها را بدون هیچ تیمار دیگری به یک خاک مناسب برای کشاورزی تبدیل می‌کند. همچنین آبیاری با فاضلاب صنعتی توانست غلظت عناصر سنگین در گیاهان منطقه را به مرز زیان‌آوری برساند (۲۶).



مقادیر Na، Ca و Mg به دلیل بررسی میزان سدیمی بودن و متلاشی شدن خاک، EC و Cl به جهت بررسی میزان شوری در خاک، مقدار pH جهت اطمینان از رشد بهینه گیاهان پوششی و مقادیر OC و N جهت بررسی میزان حاصلخیزی خاک تحت کشت، در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در جدول ۱، مشخصات تیمارها و علائم اختصاری مربوط به هر کدام ارائه شده است. آب مورد استفاده جهت آبیاری، پساب فاضلاب تصفیه‌خانه شهر پرند همراه با آب لوله‌کشی است. در بحث کیفی آب، مهم‌ترین و اولین ضابطه‌ای که مورد توجه قرار می‌گیرد، هدایت الکتریکی آب است که شاخص خوبی برای غلظت کل نمک‌های محلول است. این شاخص در واقع تعیین کننده قابلیت جذب و دسترسی آب برای گیاه به شمار می‌آید و هدف اصلی آبیاری هر مزرعه نیز افزایش آب قابل دسترس گیاه است. بنابراین، در تهیه چارچوب طبقه‌بندی

مطالشی شدن خاک، EC و Cl به جهت بررسی میزان شوری در خاک، مقدار pH جهت اطمینان از رشد بهینه گیاهان پوششی و مقادیر OC و N جهت بررسی میزان حاصلخیزی خاک تحت کشت، در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در جدول ۱، مشخصات تیمارها و علائم اختصاری مربوط به هر کدام ارائه شده است. آب مورد استفاده جهت آبیاری، پساب فاضلاب تصفیه‌خانه شهر پزند همراه با آب لوله‌کشی است. در بحث کیفی آب، مهم‌ترین و اولین ضابطه‌ای که مورد توجه قرار می‌گیرد، هدایت الکتریکی آب است که شاخص خوبی برای غلظت کل نمک‌های محلول است. این شاخص در واقع تعیین کننده قابلیت جذب و دسترسی آب برای گیاه به شمار می‌آید و هدف اصلی آبیاری هر مزرعه نیز افزایش آب قابل دسترس گیاه است. بنابراین، در تهیه چارچوب طبقه‌بندی

گیاهان پوششی و مقادیر OC و N جهت بررسی میزان حاصلخیزی خاک تحت کشت، در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در جدول ۱، مشخصات تیمارها و علائم اختصاری مربوط به هرکدام ارائه شده است. آب مورد استفاده جهت آبیاری، پساب فاضلاب تصفیه‌خانه شهر پرند همراه با آب لوله‌کشی است. در بحث کیفی آب، مهم‌ترین و اولین ضابطه‌ای که مورد توجه قرار می‌گیرد، هدایت الکتریکی آب است که شاخص خوبی برای غلظت کل نمک‌های محلول است. این شاخص در واقع تعیین کننده قابلیت جذب و دسترسی آب برای گیاه به شمار می‌آید و هدف اصلی آبیاری هر مزرعه نیز افزایش آب قابل دسترس گیاه است. بنابراین، در تهیه چارچوب طبقه‌بندی

کننده قابلیت جذب و دسترسی آب برای گیاه به شمار می‌آید و هدف اصلی آبیاری هر مزرعه نیز افزایش آب قابل دسترس گیاه است. بنابراین، در تهیه چارچوب طبقه‌بندی

جدول ۱. مشخصات تیمارها و علائم اختصاری مربوط

نوع منبع آبیاری				
صفر (شاهد)	۵۰ درصد	۷۵ درصد	۱۰۰ درصد	
FR0	FR50	FR75	FR100	فرانکینیا (FR)
FE0	FE50	FE75	FE100	فستوک آبی (FE)
DI0	DI50	DI75	DI100	دایکوندر (DI)

جدول ۲. نتایج مربوط به تجزیه شیمیایی پساب

پارامتر	واحد	آب معمولی	اختلاط آب و پساب ۵۰ درصد	اختلاط آب و پساب ۷۵ درصد	پساب ۱۰۰ درصد
pH	—	۷/۹۵	۷/۶۵	۷/۸۰	۷/۴۰
هدایت الکتریکی (ECw)	میکروزیمنس بر سانتی متر	۲۵۵	۷۸۰	۹۲۵	۱۱۰۸
سختی کل	میلی گرم بر لیتر	۲۷۰	۲۶۰	۲۶۵	۲۵۰
منیزیم (Mg)	میلی گرم بر لیتر	۲/۶	۲۵	۳۳	۴۴
کلرید (Cl)	میلی گرم بر لیتر	۳۰	۶۵	۱۰۰	۱۲۴
نیترات (NO ₃)	میلی گرم بر لیتر	—	—	—	۶/۴۳
کربنات (CO ₃)	میلی گرم بر لیتر	—	—	—	۰
بی کربنات (HCO ₃)	میلی گرم بر لیتر	—	—	—	۲۳۵
فسفات (PO ₄)	میلی گرم بر لیتر	—	—	—	۴/۵۲
نیتروژن نیترات (N-NO ₃)	میلی گرم بر لیتر	—	—	—	۶/۴۳
نیتروژن آمونیاکی (N-NH ₄)	میلی گرم بر لیتر	—	—	—	۲/۹
کل مواد جامد معلق (TSS)	میلی گرم بر لیتر	—	—	—	۶۵
کل مواد جامد محلول (TDS)	میلی گرم بر لیتر	—	—	—	۷۳۴
اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD)	میلی گرم بر لیتر	—	—	—	۳
کلی فرم مدفوعی	MPN/100ml	—	—	—	۱۱۰۰
تخم انگل های کرمی گروه نماتود	تعداد در لیتر	—	—	—	۰

جدول ۳. نتایج آنالیز شیمیایی و نوع بافت خاک در شرایط اولیه

ردیف	پارامترهای خاک			روش انجام آزمایش	نتیجه
	عنوان آزمایش	نماد	واحد		
۱	بی اچ	pH	—	Electrometric	۸/۳۲
۲	هدایت الکتریکی	EC	μS/Cm	Platinum Electrode	۲۸۷۰
۳	فسفر قابل جذب	P	mg/L	Olsen	۱۵/۰۵
۴	پتاسیم	K ⁺	mg/L	Direct Air-Acetylene Flame Atomic Emission Spectrometric	۳۵
۵	کل نیتروژن کج‌گلدال	TKN	N%	Macro Kjeldahl	< ۰/۱
۶	کربن آلی	OC	C%	Titrimetric	۰/۲۵۳
۷	درصد مواد خثی شونده	TNV	%	Titrimetric	۱۰/۶۲
۸	کلسیم	Ca ²⁺	mg/L	mg/L Caco3	۱۸۰
۹	منیزیم	Mg ²⁺	mg/L	mg/L Caco3	۴۸
۱۰	بی کربنات	HCO ₃ ⁻	mg/L	mg/L	۲۴۴
۱۱	کربنات	CO ₃ ²⁻	mg/L	mg/L	۶۰
۱۲	بافت خاک			لومی شنی	
۱۳	سیلت	Silt	%	Hydrometric	۲۱/۴۹
۱۴	رس	Clay	%	Hydrometric	۱۱/۷۴
۱۵	شن	Sand	%	Hydrometric	۶۶/۷۶

گیاه فرانکینیا (مقاوم)، با نیاز آبی هفته‌ای دو مرتبه، گیاه فستوکا آبی (حساس)، با نیاز آبی هفته‌ای سه مرتبه و گیاه دایکوندر (نیمه‌مقاوم)، با نیاز آبی یک روز در میان است. تعیین مقدار آب مورد نیاز و زمان آبیاری با انجام آزمایش اندازه‌گیری میزان رطوبت خاک و روش بازدید چشمی که شامل روش‌های مستقیم و غیرمستقیم است، قابل بررسی است. در این پژوهش از رابطه ۱، برای بررسی نیاز آبی گیاهان پوششی استفاده شده است. با توجه به حجم گلدان‌ها (1717cm³) و همچنین رابطه ۱، مقدار آب مورد نیاز برای آبیاری گلدان‌های گیاه فرانکینیا به‌عنوان مثال حدود ۵۰۰ میلی‌لیتر است.

$$CWR_i = ET_i = (ET_{0t} \times K_{ct}) \quad (1)$$

شروع کاشت نشاها ۱۵ فروردین ماه ۱۴۰۲ و پایان دوره آبیاری ۱۵ تیر ماه ۱۴۰۲ بوده است. پس از اتمام دوره آبیاری مورد نظر،

گیاهان جهت اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی موردنظر در محوطه آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات آب و خاک کشور از گلدان‌ها خارج شدند. برای این منظور ابتدا به‌وسیله چکش پلاستیکی ضربات آرامی به گلدان‌ها وارد شد و سپس به‌وسیله کاردک فلزی خاک‌های درون گلدان از گلدان جدا شد و سپس گلدان‌ها به آرامی برگردانده شد تا گیاهان از درون گلدان خارج شوند. لازم به ذکر است بررسی صفات مورفولوژیکی گیاهان از اهداف مقاله حاضر نمی‌باشد. سپس خاک‌های هر گلدان نیز در کیسه‌های نایلونی مجزا ریخته شده و جهت خشک شدن درب‌های آن باز گذاشته شد و به آزمایشگاه خاک منتقل شد. بعد از کوبیدن و الک کردن خاک‌ها از دستگاه آون با دمای ۷۵ درجه سلسیوس و به مدت ۷۲ ساعت جهت خشک شدن کامل استفاده شد. شکل ۲، گلدان‌های تحت کشت گیاهان پوششی را نشان می‌دهد.



شکل ۲. گلدان‌های تحت کشت گیاهان پوششی به ترتیب از راست به چپ: فرانکینیا، فستوک‌آبی، دایکوندر

میزان کلرید (Cl^-) به روش کروماتوگرافی در محلول انجام گرفت. لازم به ذکر است میزان یون کلر عصاره اشباع بر حسب meqL^{-1} گزارش می‌شود. کلرید (Cl^-) شکل یونی است و معمولاً در طبیعت یافت می‌شود و با نمک و سایر یون‌های دارای بار مثبت مانند پتاسیم مرتبط است. این یون غیر سمی است و به راحتی توسط گیاهان جذب می‌شود (۲). اندازه‌گیری کاتیون‌های کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، پتاسیم (K^+) و سدیم (Na^+) در این پژوهش به وسیله دستگاه جذب اتمی انجام گرفت (۹). کاتیون‌های عصاره اشباع بر حسب meqL^{-1} گزارش می‌شوند. لازم به ذکر است در این پژوهش برای ثبت و بررسی داده‌ها از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۹ و برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به منظور بررسی تأثیر تیمارها از نرم‌افزار SAS V9.1 استفاده شد، در نهایت مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن مورد مقایسه قرار گرفتند.

لازم به ذکر است تمامی پارامترهای مورد اندازه‌گیری، در آزمایشگاه تحقیقات آب و خاک کشور تجزیه و تحلیل شده‌اند.

نتایج و بحث

جدول ۴، نتایج تجزیه واریانس در پارامترهای مربوط به آزمایش خاک را نشان می‌دهد. همان‌طور که از اطلاعات موجود در این جدول مشخص است، در اثر متقابل نوع گیاه و نوع منبع آبیاری بجز سدیم، منیزیم و pH بر دیگر خصوصیات مورد اندازه‌گیری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نشد.

برای اندازه‌گیری خصوصیات شیمیایی خاک از روش‌های متفاوتی استفاده شده است. اندازه‌گیری مقدار pH در این پژوهش به روش گل اشباع و با استفاده از وسایل دستگاه pH متر و الکتروود pH انجام گرفت (۱۳). pH خاک یکی از معمول‌ترین و ازجمله شاخص‌ترین اندازه‌گیری‌های خصوصیات شیمیایی خاک است (۱۳). pH خاک نه تنها وضعیت اسیدی یا قلیایی بودن خاک را مشخص می‌نماید، بلکه قابلیت استفاده عناصر غذایی ضروری و سمیت عناصر دیگر نیز از روی روابط مشخص آن‌ها با pH قابل تخمین است (۲۹). اندازه‌گیری میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع (EC_e) به روش گل اشباع و با استفاده از دستگاه EC-متر و مواد آب مقطر عاری از یون و محلول کلرید پتاسیم ۰/۰۱ درصد نرمال انجام گرفت (۲۴). در گذشته طبقه‌بندی خاک‌هایی که تحت تأثیر نمک بودند بر اساس غلظت نمک‌های محلول در عصاره خاک و درصد سدیم تبدیلی (ESP) انجام می‌گرفت اما امروزه طبقه‌بندی خاک‌های شور بر مبنای اندازه‌گیری مقدار هدایت الکتریکی (EC) صورت می‌گیرد. به‌طور کلی خاک‌های حاوی بیش از ۰/۱ درصد نمک یا با $\text{EC} \geq 4 \text{ ds m}^{-1}$ به عنوان خاک شور تعریف شده‌اند (۳۰). اندازه‌گیری میزان کربن آلی خاک (OC) نیز به روش اصلاح شده والکلی - بلک انجام گرفت. درصد کربن آلی بر اساس وزن آون خشک خاک گزارش می‌شود (۲۱). روش والکلی - بلک یک تکنیک سوزاندن تر برای تخمین کربن آلی است (۵). اندازه‌گیری

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس در پارامترهای مربوط به آزمایش خاک در سطح احتمال ۵ درصد

منبع تغییر	درجه آزادی	هدایت الکتریکی	کربن آلی	pH	کلر	منیزیم	سدیم	کلسیم
نوع گیاه	۲	۶۹/۲۶ *	۰/۱۳۴ ns	۰/۱۵۸ *	۱۰۷۵/۷۵ *	۲۸۸/۷۹ *	۷۰۳/۲۴ *	۲۳۴۳/۲۴ *
نوع منبع آبیاری	۳	۴۷/۲۲ *	۰/۰۸۵ ns	۰/۰۵۳ *	۱۴۷۶/۱۴ *	۱۷۶/۱۷ *	۷۹۴/۵۶ *	۵۳۶/۰۶ *
نوع گیاه × نوع منبع آبیاری	۶	۵/۸۰ ns	۰/۰۸۵ ns	۰/۰۵۰ *	۱۶۹/۵۶ ns	۷۵/۹۴ *	۱۳۳/۱۸ *	۱۱۲/۳۰ ns
خطای آزمایش	۲۴	۲/۴۵	۰/۰۸۲	۰/۰۰۸	۸۳/۲۵	۲۵/۴۵	۳۷/۴۲	۷۱/۵۱
ضریب تغییرات (درصد)	—	۲۰/۳۱	۱۷/۶۷	۱/۱۰	۳۳/۷۲	۳۸/۴۶	۲۳/۵۲	۲۴/۹۳

ns و * به ترتیب غیرمعنادار و معنادار در سطح احتمال ۵ درصد

به دست آمده نشان داد میزان شوری تیمارهای پساب نسبت به تیمار شاهد با افزایش ۳۰ درصدی روبرو بود. لازم به ذکر است نتایج حاصله از دو پژوهش بالا با نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر همخوانی کامل دارد.

جدول ۶، رتبه بندی شوری خاک بر اساس EC_e را نشان می دهد. با توجه به نتایج به دست آمده می توان گفت میزان شوری در تیمارهای FR0 و DI0 در سطح شوری کم (کم شور)، در تیمار FE0 و تمامی تیمارهای گیاه DI بجز DI0 در سطح شوری متوسط (نسبتاً شور) و تمامی تیمارهای FR و FE بجز FR0 و FE0 در سطح شوری زیاد (بسیار شور) قرار دارند.

مقدار کربن آلی خاک (OC)، در تیمار FR100 با افزایش حدود ۴۱ درصدی نسبت به تیمار FR0 معنی دار شد اما در سایر گیاهان این نسبت در هیچ تیماری معنی دار نشد. بیگی هرچگانی و بنی طالبی (۴)، به منظور ارزیابی اثرات آبیاری دراز مدت با پساب شهری بر بعضی شاخص های کیفیت خاک چهار مزرعه در منطقه طاقانک، پژوهشی انجام دادند و دریافتند آبیاری با پساب شهری مقدار کربن آلی خاک را حدود ۷۰ درصد نسبت به آب چاه افزایش داده است. نتایج مطالعه رضاپور و همکاران (۲۳)، با عنوان واکنش خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک پس از یک دوره طولانی مدت آبیاری با پساب در مناطق نیمه خشک نشان داد به کارگیری پساب به منظور آبیاری باعث افزایش ۸۰ درصدی هدایت هیدرولیکی، ۳۵۰ درصدی کربن آلی، ۱۰۰ درصدی نیتروژن و ۳۰۰ درصدی پتاسیم شد.

مقایسه اثر متقابل نوع گیاه و نوع منبع آبیاری بر میانگین پارامترهای تجزیه خاک به روش دانکن در جدول ۵ نشان داده شده است. با توجه به داده های به دست آمده از این جدول می توان گفت مقدار هدایت الکتریکی (EC) در تمامی گیاهان دارای افزایش بوده که این مقادیر در تیمارهای FR100 و FE100 نسبت به شاهد، با افزایش حدود ۱۹۵ درصدی و ۵۴ درصدی معنی دار شد اما در گیاه DI این نسبت در هیچ تیماری معنی دار نشد. بالاتر بودن مقدار هدایت الکتریکی خاک در تیمارهایی که با درصد بیشتر پساب آبیاری شدند، ناشی از بالاتر بودن هدایت الکتریکی پساب و بالاتر رفتن غلظت املاح خاک در این تیمارها بود (جدول ۲). فرمانی فرد (۷)، طی یک پژوهش تجربی به بررسی اثرات آبیاری بلند مدت با فاضلاب تصفیه شده شهری در مقایسه با آب چاه به عنوان تیمار شاهد بر خصوصیات شیمیایی خاک و گیاه پرداخت. نتیجه به دست آمده بیانگر این بود که مقدار هدایت الکتریکی اشباع در خاک های تحت آبیاری با پساب نسبت به آب چاه در اعماق مختلف خاک، دارای افزایش بوده است که این مقدار افزایش در لایه های ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی متری خاک آبیاری شده با پساب نسبت به آب چاه به ترتیب ۴۳، ۴۳ و ۳۹ درصد بوده است. چوپان و امامی (۶)، به منظور بررسی اثرات آبیاری با پساب خام صنعتی و پساب فاضلاب تصفیه شده شهری بر خواص شیمیایی خاک، پژوهشی به صورت مقایسه ای در قالب طرح بلوک کامل تصادفی به ترتیب با پنج تیمار و سه تکرار در اراضی کشاورزی شهرستان تربت حیدریه انجام دادند، نتایج

جدول ۵. مقایسه اثر متقابل نوع گیاه و نوع منبع آبیاری بر میانگین پارامترهای تجزیه خاک

نوع گیاه	نوع منبع آبیاری	هدایت الکتریکی	کربن آلی	pH	کلر	منیزیم	سدیم	کلسیم
FR	FR0	۳/۸۴ c	۱/۲۷ b	۸/۰۸abc	۷/۰۰de	۸/۸۰bc	۹/۳۵f	۲۱/۴۰e
	FR50	۱۰/۹۹ a	۱/۲۷ b	۷/۹۵c	۴۷/۰۰a	۳۰/۲۷a	۴۳/۴a	۴۲/۰۵ac
	FR75	۱۰/۷۹ a	۱/۳۳ ab	۸/۰۲cb	۴۲/۸۰a	۱۴/۰۳b	۳۷/۶۵b	۴۸/۴۰ab
	FR100	۱۱/۳۳ a	۱/۸۰ a	۷/۷۳ de	۴۶/۲۰ a	۱۶/۰۰ b	۴۱/۵ a	۴۹/۲۰ ab
FE	FE0	۶/۱۵ bc	۱/۶۷ ab	۷/۸۷ cd	۱۳/۲۰ d	۷/۲۰ c	۱۶/۴۷def	۳۸/۸۰ ac
	FE50	۹/۲۳ a	۱/۶۷ ab	۷/۸۶ cd	۳۱/۴۰ c	۱۷/۰۰ b	۲۷/۱ bcd	۴۳/۴۰ ac
	FE75	۱۰/۹۴ a	۱/۷۰ ab	۷/۷۱ e	۴۴/۸۰ a	۱۶/۲۰ b	۳۶/۴ ab	۴۹/۲۰ ab
	FE100	۹/۴۹ a	۱/۵۳ ab	۷/۸۵ cd	۳۴/۶۰abc	۱۵/۰۰ b	۲۸/۹۷ bc	۵۳/۶۰ a
DI	DI0	۳/۱۵ c	۱/۶۷ ab	۸/۱۷ a	۷/۶۰ de	۶/۲۰ c	۱۰/۴ f	۱۵/۲۰ ef
	DI50	۴/۳۹ bc	۱/۴۷ ab	۸/۰۵ ab	۱۹/۶۰ d	۷/۲۰ c	۱۶/۶ def	۱۶/۴۰ ef
	DI75	۶/۹۴ b	۱/۶۷ ab	۷/۹۶ cde	۲۶/۴۰ cd	۱۰/۸۰ b	۲۳/۳۵ d	۲۷/۲۰ de
	DI100	۵/۲۹ bc	۱/۷۰ ab	۸/۱۵ a	۱۶/۴۰ d	۶/۲۰ c	۲۹/۹ d	۲۱/۴۰ e

اعدادی که در هر ستون دارای حداقل یک حرف مشترک هستند طبق آزمون دانکن دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

جدول ۶. رتبه‌بندی شوری خاک بر اساس ECE (۹)

رتبه‌بندی	هدایت الکتریکی dS/m	تأثیر بر گیاهان
غیرشور	<۲	اثرات شوری اغلب ناچیز است
کم شور	۲-۴	عملکرد گیاهان حساس تحت تأثیر قرار می‌گیرد
نسبتاً شور	۴-۸	عملکرد بسیاری از گیاهان تحت تأثیر قرار می‌گیرد
بسیار شور	۸-۱۶	فقط گیاهان مقاوم عملکرد رضایت بخشی دارند
فوق العاده شور	>۱۶	فقط گیاهان بسیار مقاوم عملکرد رضایت بخشی دارند

معنی‌دار بوده درحالی که در سایر گیاهان این نسبت معنی‌دار نشد. ژو و همکاران (۳۱)، تأثیر بلند مدت ۲۳ ساله پساب فاضلاب تصفیه شده را بر روی خاک‌های کشاورزی بررسی کردند. آن‌ها بیان داشتند که استفاده از پساب موجب کاهش pH نسبت به تیمار شاهد در سطح یک درصد شده است. طی یک پژوهش تجربی، امکان‌سنجی استفاده از پساب‌های شهری برای بررسی میزان رشد و خاک تحت کشت دو نوع چمن مورد بررسی قرار گرفت و نتیجه به‌دست آمده بیانگر این بود که مقدار pH در خاک تحت کشت چمن‌های

ماده آلی خاک اصطلاحی است که معمولاً به معنای وسیع برای توصیف طیف گسترده‌ای از اجزای آلی در خاک از جمله مواد آلی زنده و غیر زنده استفاده می‌شود (۱). رتبه‌بندی کلی سطوح کربن آلی خاک در جدول ۷، نشان داده شده است. سطح کربن آلی موجود در تمامی تیمارهای مورد آزمایش طبق جدول زیر در سطح متوسط است. مقدار pH در تمامی گیاهان در تیمار با پساب ۱۰۰ درصد، نسبت به تیمار شاهد دارای کاهش بوده است که این کاهش در گیاه FR

جدول ۷. رتبه‌بندی کلی سطوح کربن آلی خاک (۹)

تفسیر	رتبه‌بندی	سطح درصد کربن آلی
خاک‌های سطحی به شدت فرسایش یافته و تخریب شده	فوق‌العاده کم	< 0.4
شرایط ساختاری بسیار ضعیف، پایداری ساختاری بسیار کم	بسیار کم	$0.4 - 0.6$
شرایط ساختاری ضعیف یا متوسط، پایداری ساختاری کم تا متوسط	کم	$0.6 - 1.00$
شرایط ساختاری متوسط، پایداری ساختاری متوسط	متوسط	$1.00 - 1.80$
شرایط ساختاری خوب، پایداری ساختاری بالا	بالا	$1.80 - 3.00$
شرایط ساختاری خوب، پایداری ساختاری بالا و خاک‌ها احتمالاً آب گریز هستند.	بسیار بالا	> 3

پساب نسبت به تیمار شاهد در عمق‌های خاک افزایش یافت که به دلیل مقادیر بیشتر این عناصر در پساب مورد استفاده بود. بیشترین مقدار سدیم و کلر به ترتیب ۲۱/۹۵ و ۱۶/۷۸ میلی اکویولان بر لیتر مشاهده شد. مطابق نتایج به دست آمده از پژوهش (۱۱)، مقدار کلرید در خاک‌های آبیاری شده با پساب تصفیه شده فاضلاب نسبت به آب شاهد دارای افزایش بوده است.

کلرید (Cl^-) شکل یونی است و معمولاً در طبیعت یافت می‌شود و با نمک‌ها و سایر یون‌های دارای بار مثبت مانند پتاسیم مرتبط است. این یون غیر سمی است و به راحتی توسط گیاهان جذب می‌شود. خاک در برخی از نقاط جهان دارای کمبود کلرید است و افزودن این عنصر مانند هر ماده غذایی محدود کننده دیگری با واکنش عملکرد و بهبود رشد همراه است. جدول ۹، مقادیر کلر در خاک‌ها بر حسب ppm را نشان می‌دهد (۲).

طبق جدول ۹ و تبدیل مقادیر با استفاده از رابطه ۲، می‌توان گفت غلظت کلرید در تیمارهای مختلف خاک مورد استفاده در پژوهش خیلی زیاد است.

$$\text{mg Cl/L} = 35.5 \times \text{meq Cl/L} \quad (2)$$

حداکثر مقدار منیزیم در تیمار FR50 به مقدار ۳۰/۲۷ بوده که دارای اثر معنی‌دار نسبت به سایر تیمارها است. مقدار منیزیم در تیمار FE100 نسبت به شاهد دارای افزایش معنی‌دار بوده اما در گیاه DI این نسبت در هیچ تیماری معنی‌دار نشد. بر اساس داده‌های به دست آمده از جدول ۵، می‌توان دریافت مقدار سدیم

آبیاری شده با پساب شهری دارای کاهش مختصر بوده‌اند (۱۶). لازم به ذکر است مقدار کاهش در pH در تیمارهای دارای پساب در این پژوهش می‌تواند به دلیل کمتر بودن مقادیر اولیه در پساب نسبت به شاهد باشد.

جدول ۸، تفسیر عمومی مقادیر مختلف pH را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به دست آمده، میانگین pH اندازه‌گیری شده برای تیمار FR100 در محدوده قلیایی خفیف و در سایر تیمارهای آبیاری در محدوده نسبتاً قلیایی قرار دارند. گیاه FE در کلیه تیمارها در محدوده قلیایی خفیف و گیاه DI در محدوده نسبتاً قلیایی ارزیابی می‌شوند. لازم به ذکر است با توجه به نتایج به دست آمده از جدول ۶ می‌توان نتیجه گرفت، با توجه به آن که مقادیر اندازه‌گیری شده pH در تیمار شاهد تمامی گیاهان پوششی با مقادیر به دست آمده در این بخش برابر است، مقادیر pH را می‌توان ناشی از تأثیر نوع خاک تحت کشت دانست.

مقدار کلرید در تمامی تیمارهای دارای پساب نسبت به شاهد دارای افزایش بوده است که این افزایش در تیمارهای FR100 و FE100 نسبت به تیمار شاهد به ترتیب با حدود ۵۶۱ درصدی و ۱۶۲ درصدی معنی‌دار شد اما در گیاه DI این نسبت در هیچ تیماری معنی‌دار نشد. مصطفی‌زاده فرد (۱۸)، اثر استفاده از پساب مغناطیسی بر املح خاک را در عمق‌های مختلف در آبیاری قطره‌ای بررسی کردند و نتیجه گرفتند که مقدار سدیم و کلر در تیمارهای دارای

جدول ۸. تفسیر عمومی مقادیر مختلف pH (۹)

pH	رتبه بندی
>۹	قلیایی بسیار قوی
۸/۵-۹/۵	قلیایی قوی
۷/۹-۸/۴	نسبتاً قلیایی
۷/۴-۷/۸	قلیایی خفیف
۶/۶-۷/۳	خنثی
۶/۱-۶/۵	اسیدی کم
۵/۶-۶/۰	اسیدی متوسط
۵/۱-۵/۵	اسیدی قوی
۴/۵-۵/۰	اسیدی بسیار قوی

جدول ۹. مقادیر کلرید در خاک‌ها (۲)

سطح کلرید در خاک ppm	
۰-۷	خیلی کم
۸-۱۵	کم
۱۶-۲۲	متوسط
۲۳-۳۰	بالا
۳۰+	خیلی بالا

حیدرپور و همکاران (۱۰)، با بررسی اثر استفاده از پساب تصفیه شده بر روی خصوصیات شیمیایی خاک نتیجه گرفتند که استفاده از آبیاری زیرسطحی باعث افزایش هدایت الکتریکی، سدیم، منیزیم، کلسیم و پتاسیم در لایه سطحی خاک می شود، اگرچه تغییرات مشاهده شده در پارامترهای بافت خاک، چگالی حقیقی، تخلخل و نفوذ آب معنی دار نبود.

پنج کاتیون فراوان در خاک‌ها عبارتند از: کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، سدیم (Na^{+})، پتاسیم (K^{+}) و در خاک‌های اسیدی قوی آلومینیوم (Al^{3+}). جدول ۱۰، سطوح کاتیون‌های قابل تعویض را نشان می دهد.

در تیمار FR100 با افزایش حدود ۳۴۳ درصدی نسبت به تیمار شاهد معنی دار شد درحالی که در گیاهان FE و DI این نسبت در هیچ تیماری معنی دار نشد. همچنین نشان می دهد که مقدار کلسیم در تیمار FR100 با افزایش حدود ۱۳۰ درصدی نسبت به شاهد معنی دار شد اما در گیاهان FE و DI این نسبت در هیچ تیماری معنی دار نشد.

مطابق نتایج به دست آمده از پژوهش (۱۱)، مقادیر کاتیون‌های قابل تبادل Ca^{2+} ، Na^{+} و Mg^{2+} در خاک‌های تحت تیمار آبیاری با فاضلاب تصفیه شده به طور قابل توجهی بالاتر از مقدار به دست آمده در خاک‌های تحت تیمار آبیاری با آب شیرین بوده است.

جدول ۱۰. بررسی مقادیر کاتیون‌های قابل تعویض در خاک (۹)

کاتیون	بسیار کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
سدیم	۰-۰/۱	۰/۱-۰/۳	۰/۳-۰/۷	۰/۷-۲/۰	>۲
پتاسیم	۰-۰/۲	۰/۲-۰/۳	۰/۳-۰/۷	۰/۷-۲/۰	>۲
کلسیم	۰-۲	۲-۵	۵-۱۰	۱۰-۲۰	>۲۰
منیزیم	۰-۰/۳	۰/۳-۱/۰	۱-۳	۳-۸	>۸

با توجه به جدول ۱۰، می‌توان گفت متوسط مقادیر کلسیم (Ca^{2+})، و سدیم (Na^+) در تمامی تیمارها به میزان خیلی زیاد است. مقدار منیزیم (Mg^{2+})، در گیاه DI در محدوده زیاد و در سایر گیاهان در محدوده خیلی زیاد قرار دارد.

میزان سدیمی بودن خاک را می‌توان به‌طور غیر مستقیم با اندازه‌گیری غلظت تمام کاتیون‌های موجود در خاک تعیین کرد. از این غلظت‌ها می‌توان برای محاسبه نسبت جذب سدیم استفاده کرد. SAR که فعالیت یون سدیم را نسبت به کلسیم و منیزیم را بیان می‌کند به شرح رابطه ۳، توصیف می‌شود:

$$\text{SAR} = [\text{Na}^+] / \{[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]\}^{1/2} \quad (3)$$

محاسبات مربوط به نتایج به‌دست آمده جهت بررسی مقدار SAR نشان می‌دهد که این مقدار از ۱۳ کمتر بوده و در نتیجه متلاشی شدن خاک رخ نخواهد داد.

نتیجه‌گیری

مطابق با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش می‌توان گفت که آبیاری با پساب تصفیه شده فاضلاب می‌تواند اثرات منفی مانند افزایش مقدار کلرید و شوری به خاک تحت کشت گیاهان پوششی القا کند

که این مقدار در تیمارهای FR100 و FE100 نسبت به شاهد معنی‌دار شد اما در گیاه DI این نسبت معنی‌دار نشد. با توجه به تجمع نمک و شوری بالا در برخی تیمارها، می‌توان از گزینه آبخوبی به‌عنوان یک ابزار مدیریتی مؤثر بهره برد و نمک اضافی را از منطقه رشد ریشه آبخوبی کرد و باعث افزایش کیفیت خاک و بهبود رشد شد چرا که به‌منظور حفظ باروری خاک، بایستی نمک‌های تجمع یافته در خاک از طریق آبخوبی از محدوده رشد ریشه‌ها خارج شود. در مناطق مرطوب و معتدل که آبیاری طی دوره‌های خشک سال انجام می‌شود، بارندگی‌های سالانه برای آبخوبی خاک و جلوگیری از شور شدن آن کفایت می‌کند، اما در مناطق خشک و نیمه‌خشک که بارندگی به حد کافی نیست، در صورت عدم انجام عملیات آبخوبی، این خاک‌ها به تدریج شور و غیر بارور شده که در این راستا آبیاری تناوبی می‌تواند مد نظر قرار گیرد.

نتایج به‌دست آمده از مقدار کربن آلی خاک (OC) در تیمار FR100 نسبت به تیمار شاهد نشان داد که این اثر معنی‌دار بود و به میزان حدود ۴۱ درصد افزایش یافت که این موضوع می‌تواند به‌طور مؤثر مزیت حاصلخیزکنندگی خاک را به همراه داشته باشد.

منابع مورد استفاده

1. Arienzo, M., Christen, E.W., Quayle, W. and Kumar, A., 2009. A review of the fate of potassium in the soil-plant system after land application of wastewaters. J. Hazard. Mater., 164: 415-422.
2. Anonymous. 2013. Chlorine vs. chloride. Fact Sheet No. 547, Revised 2, A & L Canada Laboratories, www.alcanada.com.
3. Bakari, Z., EL-Ghadraoui, A., Boujelben, N., Del Bubba, M., and Elleuch, B. 2022. Assessment of the impact of irrigation with treated wastewater at different dilutions on growth, quality parameters and contamination transfer in strawberry fruits and soil: Health risk assessment. Scientia Horticulturae, Volume 297, 30 April 2022, 110942.

4. Beigi Harchgani, h. and Benitalebi, G. 2012. The effect of twenty-three years of surface irrigation with municipal wastewater on the accumulation of some heavy metals in the soil, transfer to wheat and corn seeds and related health risks. *Water and Soil Journal (Agricultural Sciences and Industries)*, 27, page 570-580. (in Persian).
5. Broadbent, F.E. 1953. The soil organic fraction. *Adv. Agron.* 5:153-183.
6. Choopan, Y. & Emami, S. 2018. Evaluation of Soil Chemical Properties Affected by Irrigation with Industrial and Urban Treated Wastewaters. *Journal of Natural Ecosystems of Iran*, Volume 9, Number 32, 67-80. (in Persian).
7. Farmani-Frad, F. 2016. Investigating the effect of irrigation with Kermanshah treated Effluent wastewater on plant and soil properties. Master's thesis, Agriculture and Natural Resources Campus, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Water engineering department, Razi university. (in Persian).
8. Ghasemi- Qahsare, M, Kafi, M. 2014. Scientific and practical floriculture. Volume 3. First Edition. Massoud Ghasemi-Qahsare publisher. (in Persian).
9. Hazelton, P.A., and Murphy, B.W. 2007. Interpreting Soil Test Result: What Do All the Numbers Mean? CSIRO Publishing, Collingwood VIC, Australia, 152 Pages.
10. Heidarpour, M., Mostafazadeh-Fard, B., Abedi-Koupai, J and 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. (in Persian).
11. Khaskhoussy, K., Kahlaoui, B. and Nefzi, B.M. 2015. Effect of treated wastewater Irrigation on heavy metals distribution in a tunisian soil engineering. *Eng. Technol. Appl. Sci.Res.*, 5(3): 805-810.
12. Li, N., Kang, Y., Li, X. and Wan, S. 2020. Management of sea reclamation land using drip irrigation with treated effluent and its effect on *Rosa chinensis*. *Agricultural Water Management* 228, 105887.
13. McLean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. p. 199-224. In: A.L Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney (eds.) *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
14. Mehlich, A. 1963. The significance of percentage of base saturation and pH in relation to soil differences. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 7:167-174.
15. Menegassi, C.L., Rossi, F., Dominical, D.L., Tommaso, G., Montes, C.R., Gomide, C.A. and Gomes, T.M. 2020. Reuse in the agro-industrial: Irrigation with treated slaughterhouse effluent in grass. *Journal of cleaner Production* 251. 119698.
16. Mozafari-Hashjin,. 2016. Feasibility measurement and comparative studies of reuse of effluent sewage treatment plant of Karaj for green space irrigation. Master's thesis, Agriculture and Natural Resources Campus Department of Horticulture and Green Space Engineering, Tehran university. (in Persian).
17. Moradi-Nasab, Vahid, Shirvani, Mehran, Shamsai, Marzieh, Babaei, Mohammadreza. 2014. Evaluation of some indicators of chemical and biological soil quality of green space lands of Mobarake steel complex irrigated with well water and industrial wastewater. *Journal of Water and Soil Sciences*, 19th year, 74th issue, winter 2014, page 101-111. (in Persian).
18. Mostafazadeh-Fard, B., Khoshrovesh, M., Mousavi, S. F., & Kiani, A. R. 2012. Effects of magnetized water on soil chemical components underneath trickle irrigation. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 138(12), 1075-1081.
19. Muyen, Z., Moore, G.A. and Wrigley, R.J., 2011. Soil salinity and sodicity effects of wastewater irrigation in South East Australia. *Agric. Water Manage.*, 99(1): 33- 41.
20. Narimani, H. Irannejad, P. Kiani, M. and Gharabali, R. 2012. effect of irrigation with treated sewage effluent on the growth of Aldar pine in the forests of Isfahan iron smelting plant. The second national conference on environmental protection and planning. August 24. p. (in Persian).
21. Nelson, D.W., and Somers L.E. 1996. Total Carbon, Organic Carbon and organic Matter of Soil analysis. Part 19. *Chemical Methods*, Madision, Wisconsin, USA.
22. Partani, S, Mahmoudi-Mozafar, A. 2019. Investigating the effect of irrigation with urban sewage on the growth indicators of green space species in Tehran (Khorzereh and Festuca). *Journal of water and sustainable development*, year 8, number 1, 2018, page 88-79. (in Persian).
23. Rezapour, S., A. Samadi, & H. Khodaverdiloo, 2012. Impact of long-term wastewater irrigation on variability of soil attributes along a landscape, semi-arid region of Iran. *Environmental Earth Sciences* 67: 1713-1723. (in Persian).
24. Rhoades J. D. 1996. Salinity: Electrical Conductivity and total dissolved Soils. Pp. 417-434. In: Sparks D.L. (Ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 3-chemical Methods*. Book series No. 5, SSSA and ASA, Madison, WI, USA.
25. Salarian M. et al., 2017. The effect of different levels of salinity and irrigation water on physiological indicators and performance of hot pepper in a smart drip irrigation system. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, year 11, number 3, page 322-334. (in Persian).
26. SayadManesh, S-M, Bahmanyar, M A, Qajarspanlou, M. 2013. The use of industrial wastewater in field irrigation and its effect on the accumulation of heavy elements in soil and rice plants. *Water and Wastewater Journal*, Volume 25, Number 3, August and September 2013, Page 13-20. (in Persian).

27. Soleimani, H., Mansouri, B., Kiani, A., Khalid Omer, A., Tazik, M., Ebrahimzadeh, GH. and Sharafi, K. 2023. Ecological risk assesment and heavy metals accumulation in agriculture soils irrigated with treated wastewater effluent, river water, and wellwater combined with chemical fertilizers. *Helion* 9, e14580.
28. Shannag H.K., Al-Mefleh, N.K. and Freihat, N.M. 2021. Reuse of wastewaters in irrigation of broad bean and their effect on plant-aphid interaction. *Agricultural Water Management* 257, 107156.
29. Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. p. 475-490. In: D.L. Sparks (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. No. 5.* ASA and SSSA, Madison, WI.
30. U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. L.A. Richards (ed.) *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.* USDA Handb. 60. U.S. Govt. Print. Office, Washington, DC.
31. Xu, J., Wu, L., Chang, A C and Zhang, Y. 2010. Impact of long-term reclaimed wastewater irrigation on agricultural soils: A preliminary assessment. *Journal of Hazardous Materials*. 183(1-3): 780-786.