نشریه علوم آب و خاک
سال بیست و هشتم / شماره اول / بهار ۱۴۰۳/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۱۴۵ تا ۱۵۹

تأثیر آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه‌شده 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 باتوجه‌به 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 باتوجه‌به حجم قابل‌توجه 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)، دایکوندرا (DI)) در بستری با خاک لومی شنی بررسی می‌شوند. این مطالعه به‌صورت 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، Cl، Ca، Mg مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج به‌دست‌آمده 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. بیشترین 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، درحالی 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 (زمین‌پوش‌ها) در حاشیه درختچه‌ها، زیر درختان، در میان گیاهان چندساله و نیز برای فرش‌کردن 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 راه‌حلی 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 نامتعارف، در جایی که آب با کیفیت مناسب در دسترس نیست، روبه‌افزایش است. یکی از این منابع، فاضلاب‌های تصفیه‌شده است که علاوه بر تأمین آب، می‌تواند بخشی از نیاز غذایی گیاه را نیز تأمین نماید (۱۸).

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 (۲۳).

این پژوهش سعی دارد باتوجه‌به قرارگیری شهر پرند در منطقه گرم و خشک و همچنین باتوجه‌به استفاده شهرداری این شهر از پساب فاضلاب تصفیه‌شده برای آبیاری گیاهان فضای سبز تغییرات انجام شده بر روی خصوصیات شیمیایی خاک تحت کشت گیاهان پوششی منطقه را مورد بررسی و تجزیه‌وتحلیل قرار دهد. ازاین‌رو فرض می‌شود آبیاری گیاهان فضای سبز با پساب فاضلاب به دلیل شوری زیاد، شوری خاک تحت کشت را نیز افزایش خواهد داد.

پژوهشگران به ارزیابی خطر اکولوژیکی و تجمع فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی آبیاری‌شده با پساب تصفیه فاضلاب، آب رودخانه و آب چاه به همراه کودهای شیمیایی پرداختند. نتیجه به‌دست‌آمده 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 تصفیه‌شده این منبع را به مناسب‌ترین منبع آبیاری تبدیل می‌کند؛ زیرا نیاز کشاورزان به کودهای شیمیایی را از بین می‌برد (۲۵). طی پژوهشی تجربی، ارزیابی تأثیر آبیاری با پساب تصفیه‌شده در نسبت‌های۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد به‌نسبت آب چاه بر پارامترهای رشدی و نسبت‌های فلزات سنگین در میوه و خاک توت‌فرنگی پرداخته شد. نتیجه به‌دست‌آمده بیانگر این بود که در نسبت پساب ۲۰ درصد بیشترین مقدار فلزات سنگین و کمترین عملکرد رشد در میوه توت‌فرنگی دیده شد. همچنین در این نسبت اثر تجمعی زیاد کلر، املاح و فلزات با ظاهر شدن لکه‌های قهوه‌ای رنگ در برگ‌ها دیده شد. در نسبت پساب ۶۰ درصد مقدار شوری خاک، حدود ۶۲ درصد بیشتر از آب شاهد و مقدار pH حدود ۳ درصد نسبت آب شاهد کاهش یافت. همچنین در این تیمار رشد زیاد گیاه و بیشترین عملکرد میوه توت‌فرنگی به ثبت رسید (۳). پژوهشگران به بررسی اثر استفاده از پساب تصفیه‌شده 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 به ترتیب حدود ۲۰، ۸۵ و ۸۷ درصد بین منابع مختلف فاضلاب متفاوت بوده و از آب لوله‌کشی بیشتر است (۲۶). پژوهشگران چینی به بررسی مدیریت احیای اراضی دریا با استفاده از آبیاری قطره‌ای با پساب تصفیه‌شده 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، آبیاری قطره‌ای با نسبت‌های مختلف پساب تصفیه‌شده می‌تواند آبشویی نمک را افزایش دهد؛ به‌طوری که در تیمارهای با نسبت‌های زیاد پساب (۷۵و ۱۰۰ درصد)، افزایش شوری بیش از یک دسی‌زیمنس‌بر متر در خاک ناحیه ریشه دیده شد (۱۲). منگاسی و همکاران (۱۴)، به ارزیابی آبیاری چمن با پساب تولیدی از صنعت

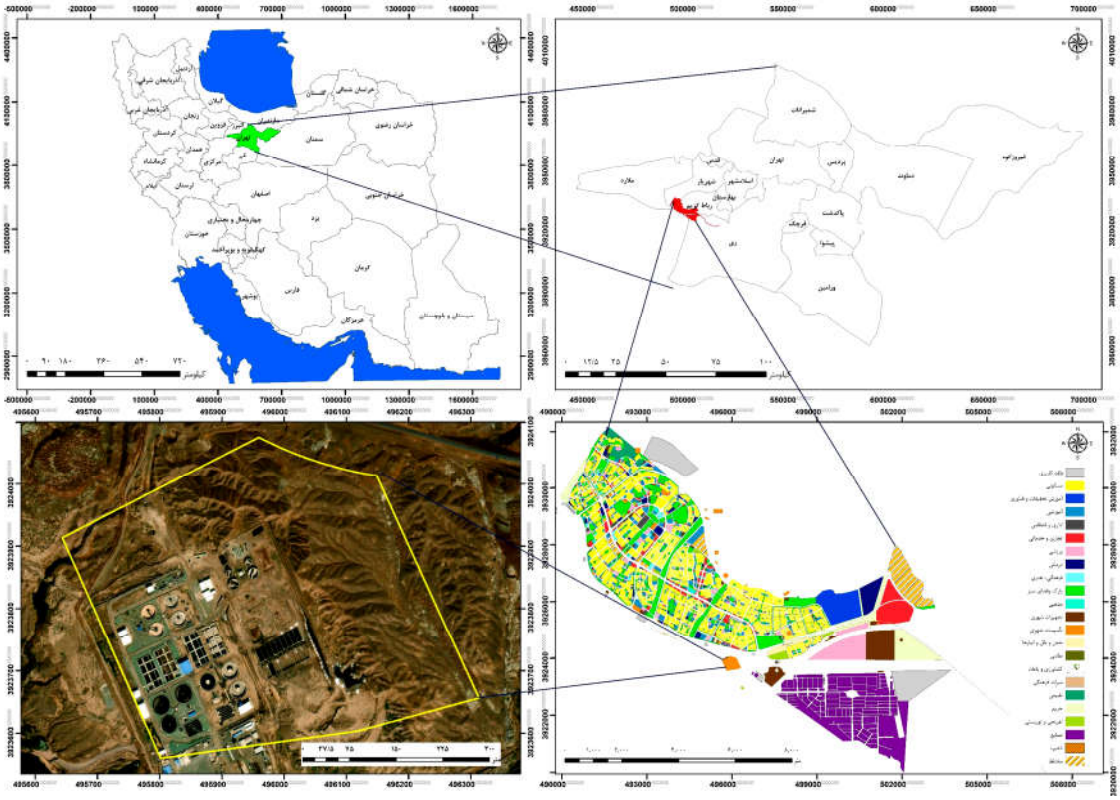
کشتارگاه برای بررسی متغیرهای وزن تر و خشک و خصوصیات شیمیایی خاک طی آزمایشی در بلوک‌های کاملاً تصادفی با پنج تیمار و چهار تکرار به نسبت آب‌سطحی پرداختند. نتیجه به‌دست‌آمده بیانگر این بود که وضعیت تغذیه و رشد چمن آبیاری‌شده با پساب در مقایسه با آب‌سطحی حفظ شد. همچنین مقادیر سدیم، فسفر و نیتروژن کل موجود 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 برای پیاده‌سازی اهداف اکولوژی انسانی توسعه پایدار، تأثیر آبیاری با پساب تصفیه‌شده روی خصوصیات خاک تحت کشت دو گونه گیاهی خرزهره (*Nerium oleander*) و فستوکا (*Festuca*) تحت شرایط تیمار کامل از پساب و آب چاه را مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده بیانگر این بود که میزان املاحی چون سدیم، کلسیم، منگنز، مس، روی و آهن در خاک مورداستفاده افزایش داشته؛ اما عناصری چون کلر، منیزیم و شوری کاهشی در حدود ۱۰ درصد نسبت به آب شاهد داشته است (۲۰). در پژوهشی تأثیر پساب صنعتی بر کیفیت خاک اراضی فضای سبز مجتمع فولاد مبارکه استان اصفهان آبیاری‌شده 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 آبیاری‌شده با پساب نسبت به تیمار شاهد به ترتیب دارای حدود ۱۲۸، ۶۲ و ۳۷۲ درصد دارای افزایش بوده است (۱۶). طی پژوهشی تجربی در هشت سال آبیاری با پساب تصفیه‌شده شهرک صنعتی آمل بر زمین‌های شور سدیمی منطقه، نتیجه به‌دست‌آمده نشان داد استفاده از پساب تصفیه‌شده، زمین‌ها را بدون هیچ تیمار دیگری به یک خاک مناسب برای کشاورزی تبدیل می‌کند. همچنین آبیاری با فاضلاب صنعتی نتوانست غلظت عناصر سنگین در گیاهان منطقه را به مرز زیان‌آوری برساند (۲۴).

مواد و روش‌ها

پساب مورداستفاده در پژوهش حاضر، پساب حاصل از تصفیه‌خانه فاضلاب شهر پرند است. این تصفیه‌خانه در جنوب‌غربی شهر پرند واقع شده است. شهر پرند شهری در استان تهران و از توابع شهرستان رباط‌کریم است. این شهر در ۳۳ کیلومتری جنوب غربی شهر تهران و در مسیر آزادراه تهران–ساوه و در مجاورت فرودگاه بین‌المللی امام‌خمینی (ره) واقع شده است. اراضی این شهر در حدفاصل 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 قرارگرفته 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 تصفیه‌شده با کیفیت مناسب برای 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 (فرانکینیا Frankenia thymifolia، دایکوندرا Dichondra repens و فستوکا آبی Festuca glauca) (انتخاب بر اساس گونه گیاهی غالب منطقه) به ترتیب به‌عنوان گونه‌های مقاوم، نیمه مقاوم و حساس در برابر کم‌آبی و شوری، فاکتور دوم استفاده از پساب برای 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، OC، N، Na، Cl، Ca و Mg مورد ارزیابی قرار گرفته است. گفتنی است اندازه‌گیری



شکل ۱. موقعیت تصفیه‌خانه فاضلاب شهر پرند

مقادیر Na ، Ca و Mg به دلیل بررسی میزان سدیمی‌بودن و متلاشی‌شدن خاک، EC و Cl برای بررسی میزان شوری در خاک، مقدار pH برای اطمینان از رشد بهینه گیاهان پوششی و مقادیر OC و N برای بررسی میزان حاصلخیزی خاک تحت کشت در این پژوهش مورداستفاده قرار گرفته‌اند. در جدول ۱، مشخصات تیمارها و علائم اختصاری مربوط به هرکدام ارائه شده است. آب مورداستفاده برای 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 آب‌ها برای پژوهش حاضر نیز همین شاخص به‌عنوان اولین مبنای گروه‌بندی انتخاب شده است.

کیفیت پساب مورداستفاده در این پژوهش توسط آزمایشگاه آب‌وخاک دانشگاه شهید بهشتی تهران مورد آزمایش قرار گرفته که نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است. (خاطر نشان می‌شود در اختلاط آب و پساب برای جلوگیری از هزینه اضافی، فقط ۵ مورد از پارامترها مورد آزمایش قرار گرفته است).

در این پژوهش برای کاشت نشاء گیاهان پوششی، از گلدان‌های پلاستیکی به قطر بالا ۱۵ سانتی‌متر، قطر پایین ۱۲ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۳ سانتی‌متر همراه با ۲ کیلوگرم خاک لومی شنی استفاده شده است. جدول ۳، شرایط اولیه و نوع بافت خاک آزمایش شده توسط آزمایشگاه آب‌وخاک دانشگاه شهید بهشتی تهران در دی‌ماه ۱۴۰۱ را نشان می‌دهد.

گفتنی است زمان آبیاری برای گونه‌های اشاره شده به دلیل نوع مقاومت آن‌ها متفاوت خواهد بود؛ به این صورت که

جدول۱. مشخصات تیمارها و علائم اختصاری مربوط

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

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 ۱۰۰درصد
pH	—	۷/۹۵	۷/۶۵	۷/۸۰	۷/۴۰
هدایت الکتریکی (EC_W)	میکروزیمنس بر سانتی‌متر	۲۵۵	۷۸۰	۹۲۵	۱۱۰۸
سختی کل	میلی‌گرم بر لیتر	۲۷۰	۲۶۰	۲۶۵	۲۵۰
منیزیم (Mg)	میلی‌گرم بر لیتر	۲/۶	۲۵	۳۳	۴۴
کلرید (Cl)	میلی‌گرم بر لیتر	۳۰	۶۵	۱۰۰	۱۲۴
نیترات (NO_3)	میلی‌گرم بر لیتر	—	—	—	۶/۴۳
کربنات (CO_3)	میلی‌گرم بر لیتر	—	—	—	۰
بی‌کربنات (HCO_3)	میلی‌گرم بر لیتر	—	—	—	۲۳۵
فسفات (PO_4)	میلی‌گرم بر لیتر	—	—	—	۴/۵۲
نیتروژن نیترات ($N\text{-}NO_3$)	میلی‌گرم بر لیتر	—	—	—	۶/۴۳
نیتروژن آمونیاکی ($N\text{-}NH_4$)	میلی‌گرم بر لیتر	—	—	—	۲/۹
کل مواد جامد معلق (TSS)	میلی‌گرم بر لیتر	—	—	—	۶۵
کل مواد جامد محلول (TDS)	میلی‌گرم بر لیتر	—	—	—	۷۳۴
اکسیژن موردنیاز بیوشیمیایی (BOD)	میلی‌گرم بر لیتر	—	—	—	۳
کلی‌فرم مدفوعی	MPN/100ml	—	—	—	۱۱۰۰
تخم انگل‌های کرمی گروه نماتود	تعداد در لیتر	—	—	—	۰

جدول۳. نتایج آنالیز شیمیایی و نوع بافت خاک در شرایط اولیه

ردیف	پارامترهای خاک			روش انجام آزمایش	نتیجه
	عنوان آزمایش	نماد	واحد		
۱	پی‌اچ	pH	—	Electrometric	۸/۳۲
۲	هدایت الکتریکی	EC	µS/Cm	Platinum Electrode	۲۸۷۰
۳	فسفر قابل‌جذب	P	mg/L	Olsen	۱۵/۰۵
۴	پتاسیم	K^+	mg/L	Direct Air-Acetylene Flame Atomic Emission Spectrometric	۳۵
۵	کل نیتروژن کجلدال	TKN	N%	Macro Kjeldahl	< ۰/۱
۶	کربن آلی	OC	C%	Titrimetric	۰/۲۵۳
۷	درصد مواد خنثی 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	بی‌کربنات	HCO^-_3	mg/L	mg/L	۲۴۴
۱۱	کربنات	CO^{2-}_3	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 دایکوندرا (نیمه مقاوم) با نیاز آبی یک روز در میان است. تعیین مقدار آب موردنیاز و زمان آبیاری با انجام آزمایش اندازه‌گیری میزان رطوبت خاک و روش بازدید چشمی که شامل روش‌های مستقیم و غیرمستقیم است، قابل‌بررسی است. در این پژوهش از رابطه ۱، برای بررسی نیاز آبی گیاهان پوششی استفاده شده است. باتوجه‌به حجم گلدان‌ها ($1717cm^3$) و همچنین رابطه ۱، مقدار آب موردنیاز برای آبیاری گلدان‌های گیاه فرانکینیا برای نمونه 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 مد نظر، گیاهان برای اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی مدنظر در محوطه آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات آب‌وخاک 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. گفتنی است بررسی صفات مورفولوژیکی گیاهان از اهداف مقاله حاضر نمی‌باشد. سپس خاک‌های هر گلدان نیز در کیسه‌های نایلونی مجزا ریخته شده و برای 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 برای خشک شدن کامل استفاده شد. شکل ۲ گلدان‌های تحت کشت گیاهان پوششی را نشان می‌دهد.

شکل۲. گلدان‌های تحت کشت گیاهان پوششی به ترتیب از راست به چپ: فرانکینیا، فستوکاآبی، دایکوندرا

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 الکترود 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 (۲۷). اندازه‌گیری میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع (EC_s) 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 (۲۲). در گذشته طبقه‌بندی خاک‌هایی که تحت‌تأثیر نمک بودند، بر اساس غلظت نمک‌های محلول در عصاره خاک و درصد سدیم تبادلی (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 $EC\geq 4ds\ m^{-1}$ به‌عنوان خاک شور تعریف شده‌اند (۲۸). 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 (۱۹). روش والکلی- بلک یک تکنیک سوزاندن تر برای تخمین کربن آلی است (۵). اندازه‌گیری میزان کلرید (Cl^-) به روش کروماتوگرافی در محلول انجام گرفت. گفتنی است میزان یون کلر عصاره اشباع بر حسب $meqL^{-1}$ گزارش می‌شود. کلرید (Cl^-) شکل یونی است و به طور معمول در طبیعت یافت می‌شود و با نمک و سایر یون‌های دارای بار مثبت مانند پتاسیم مرتبط است. این یون غیرسمی است و به‌راحتی توسط گیاهان جذب می‌شود (۲). اندازه‌گیری کاتیون‌های کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، پتاسیم (K^+) و سدیم (Na^+) در این پژوهش به‌وسیله دستگاه جذب اتمی انجام گرفت (۹). کاتیون‌های عصاره اشباع بر حسب $meqL^{-1}$ گزارش می‌شوند. گفتنی است در این پژوهش برای ثبت و بررسی داده‌ها از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۹ و برای تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها به‌منظور بررسی تأثیر تیمارها از نرم‌افزار SAS V9.1 استفاده شد، در نهایت مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن مورد مقایسه قرار گرفتند.

گفتنی است تمامی پارامترهای مورد اندازه‌گیری در آزمایشگاه تحقیقات آب‌وخاک کشور تجزیه‌وتحلیل 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 به جز سدیم، منیزیم و pH بر دیگر خصوصیات مورد اندازه‌گیری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نشد.

جدول۴. 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*	۱۶۹/۵۶ns	۷۵/۹۴*	۱۳۳/۱۸*	۱۱۲/۳۰ns
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

مقایسه اثر متقابل نوع گیاه و نوع منبع آبیاری بر میانگین پارامترهای تجزیه خاک به روش دانکن در جدول ۵ نشان داده شده است. باتوجه‌به داده‌های به‌دست‌آمده از این جدول می‌توان 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 معنی‌دار شد؛ اما در گیاه DI این نسبت در هیچ تیماری معنی‌دار نشد. بیشتر بودن مقدار هدایت الکتریکی خاک در تیمارهایی که با درصد بیشتر پساب آبیاری شدند، ناشی از بیشتر بودن هدایت الکتریکی پساب و افزایش غلظت املاح خاک در این تیمارها بود (جدول ۲). فرمانی‌فرد (۷)، طی یک پژوهش تجربی به بررسی اثرات آبیاری بلندمدت با فاضلاب تصفیه‌شده شهری در مقایسه با آب چاه به‌عنوان تیمار شاهد بر خصوصیات شیمیایی خاک و گیاه پرداخت. نتیجه به‌دست‌آمده بیانگر این بود که مقدار هدایت الکتریکی اشباع در خاک‌های تحت آبیاری با پساب نسبت به آب چاه در اعماق مختلف خاک، دارای افزایش بوده است که این مقدار افزایش در لایه‌های ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متری خاک آبیاری شده با پساب نسبت به آب چاه به ترتیب ۴۳، ۴۳ و ۳۹ درصد بوده است. چوپان و امامی (۶)، به‌منظور بررسی اثرات آبیاری با پساب خام صنعتی و پساب فاضلاب تصفیه‌شده شهری بر خواص شیمیایی خاک، پژوهشی به‌صورت مقایسه‌ای در قالب طرح بلوک کامل تصادفی به ترتیب با پنج تیمار و سه تکرار در اراضی کشاورزی شهرستان تربت‌حیدریه انجام دادند، نتایج به‌دست‌آمده نشان داد میزان شوری تیمارهای پساب نسبت به تیمار شاهد با افزایش ۳۰ درصدی روبرو بود. گفتنی است نتایج حاصله از دو پژوهش یادشده با نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه حاضر همخوانی کامل دارد.

جدول ۶، رتبه‌بندی شوری خاک بر اساس Ec_e را نشان می‌دهد. باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان 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 به جز 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 معنی‌دار شد؛ اما در سایر گیاهان این نسبت در هیچ تیماری معنی‌دار نشد. بیگی هرچگانی و بنی طالبی (۴)، به‌منظور ارزیابی اثرات آبیاری درازمدت با پساب شهری بر بعضی شاخص‌های 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 (۲۱)، با عنوان واکنش خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک پس از یک دوره طولانی‌مدت آبیاری با پساب در مناطق نیمه‌خشک نشان داد، به‌کارگیری پساب به‌منظور آبیاری باعث افزایش ۸۰ درصدی هدایت هیدرولیکی، ۳۵۰ درصدی کربن آلی، ۱۰۰ درصدی نیتروژن و ۳۰۰ درصدی پتاسیم شد.

جدول۵. 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
غیر شور	<۲	اثرات شوری اغلب ناچیز است
کم شور	۲-۴	عملکرد گیاهان حساس تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد
نسبتاً شور	۴-۸	عملکرد بسیاری از گیاهان تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد
بسیار شور	۸-۱۶	فقط گیاهان مقاوم عملکرد رضایت‌بخشی دارند
فوق‌العاده شور	>۱۶	فقط گیاهان بسیار مقاوم عملکرد رضایت‌بخشی دارند

ماده آلی خاک اصطلاحی است که به طور معمول به معنای وسیع برای توصیف طیف گسترده‌ای از اجزای آلی در خاک از جمله مواد آلی زنده و غیرزنده 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 ۷ 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 درگیاه FR معنی‌دار بوده، درحالی که در سایر گیاهان این نسبت معنی‌دار نشد. ژو و همکاران (۲۹)، تأثیر بلندمدت ۲۳ ساله پساب فاضلاب تصفیه‌شده را 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 به‌دست‌آمده بیانگر این بود که مقدار pH در خاک تحت کشت

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

تفسیر	رتبه‌بندی	سطح درصد کربن آلی
خاک‌های سطحی به‌شدت فرسایش یافته و تخریب شده	فوق‌العاده کم	<۰/۴
شرایط ساختاری بسیار ضعیف، پایداری ساختاری بسیار کم	بسیار کم	۰/۴-۰/۶
شرایط ساختاری ضعیف یا متوسط، پایداری ساختاری کم تا متوسط	کم	۰/۶-۱/۰۰
شرایط ساختاری متوسط، پایداری ساختاری متوسط	متوسط	۱/۰۰-۱/۸۰
شرایط ساختاری خوب، پایداری ساختاری بالا	بالا	۱/۸۰-۳/۰۰
شرایط ساختاری خوب، پایداری ساختاری بالا و خاک‌ها احتمالاً آب‌گریز هستند.	بسیار بالا	>۳

چمن‌های آبیاری‌شده با پساب شهری دارای کاهش مختصر بوده‌اند (۱۵). گفتنی 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. باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده، میانگین pH اندازه‌گیری‌شده 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. گفتنی است باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده از جدول ۶ می‌توان نتیجه گرفت، باتوجه‌به آن که مقادیر اندازه‌گیری‌شده pH در تیمار شاهد تمامی گیاهان پوششی با مقادیر به‌دست‌آمده 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 (۱۷)، اثر استفاده از پساب مغناطیسی بر املاح خاک را در عمق‌های مختلف در آبیاری قطره‌ای بررسی کردند و نتیجه گرفتند که مقدار سدیم و کلر در تیمارهای دارای پساب نسبت به تیمار شاهد در عمق‌های خاک افزایش یافت که به دلیل مقادیر بیشتر این عناصر در پساب مورداستفاده بود. بیشترین مقدار سدیم و کلر به ترتیب ۲۱/۹۵ و ۱۶/۷۸ میلی اکی والان بر لیتر مشاهده شد. مطابق نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش (۱۱)، مقدار کلرید در خاک‌های آبیاری شده با پساب تصفیه‌شده فاضلاب نسبت به آب شاهد دارای افزایش بوده است.

کلرید (Cl^-) شکل یونی است و به طور معمول در طبیعت یافت می‌شود و با نمک‌ها و سایر یون‌های دارای با مثبت مانند پتاسیم مرتبط است. این یون غیرسمی است و به‌راحتی توسط گیاهان جذب می‌شود. خاک در برخی از نقاط جهان دارای کمبود کلرید است و افزودن این عنصر مانند هر ماده غذایی محدودکننده 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 مورداستفاده در پژوهش خیلی زیاد است.

$$mg\ Cl/L = 35.5 \times meq\ Cl\ /L \qquad (۲)$$

بیشترین 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

جدول ۸. تفسیر عمومی مقادیر مختلف pH (۹)

pH	رتبه‌بندی
>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	
خیلی کم	۰-۷
کم	۸-۱۵
متوسط	۱۶-۲۲
بالا	۲۳-۳۰
خیلی بالا	۳۰+

داده‌های به‌دست‌آمده از جدول ۵، می‌توان دریافت مقدار سدیم در تیمار FR100 با افزایش حدود ۳۴۳ درصدی نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار شد، درحالی که در گیاهان FE و DI این نسبت در هیچ تیماری معنی‌دار نشد. همچنین نشان می‌دهد که مقدار کلسیم در تیمار FR100 با افزایش حدود ۱۳۰ درصدی نسبت به شاهد معنی‌دار شد؛ اما در گیاهان FE و DI این نسبت در هیچ تیماری معنی‌دار نشد.

مطابق نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش (۱۱)، مقادیر کاتیون‌های قابل تبادل Ca^{2+}، Na^{+} و Mg^{2+} در خاک‌های تحت تیمار آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده به‌طور قابل توجهی بیشتر از مقدار به‌دست‌آمده در خاک‌های تحت تیمار آبیاری با آب شیرین بوده است. حیدرپور و همکاران (۱۰)، با بررسی اثر استفاده از پساب تصفیه‌شده روی خصوصیات شیمیایی خاک نتیجه گرفتند، استفاده از آبیاری زیرسطحی باعث افزایش هدایت الکتریکی، سدیم، منیزیم، کلسیم و پتاسیم در لایه سطحی خاک می‌شود، اگرچه تغییرات دیده‌شده در پارامترهای بافت خاک، چگالی حقیقی، تخلخل و نفوذ آب معنی‌دار نبود.

پنج کاتیون فراوان در خاک‌ها عبارت‌اند 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

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

را نشان می‌دهد. باتوجه‌به 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 به طور غیرمستقیم 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:

$$SAR=[Na^{+}]/\{[Ca^{2+}]+[Mg^{2+}]\}^{1/} \quad (۳)$$

محاسبات مربوط به نتایج به‌دست‌آمده برای بررسی مقدار SAR نشان می‌دهد که این مقدار از ۱۳ کمتر بوده و در نتیجه متلاشی‌شدن خاک رخ نخواهد داد.

نتیجه‌گیری

مطابق با نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش می‌توان گفت، آبیاری با پساب تصفیه‌شده 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. باتوجه‌به تجمع نمک و شوری زیاد در برخی تیمارها، می‌توان از گزینه آبشویی به‌عنوان یک ابزار مدیریتی مؤثر بهره برد و نمک اضافی را از منطقه رشد ریشه آبشویی کرد و باعث افزایش کیفیت خاک و بهبود رشد شد، چرا که به‌منظور حفظ باروری خاک، بایستی نمک‌های تجمع یافته در خاک از طریق آبشویی از محدوده رشد ریشه‌ها خارج شود. در مناطق مرطوب و معتدل که آبیاری طی دوره‌های خشک سال انجام می‌شود، بارندگی‌های سالانه برای آبشویی خاک و جلوگیری از شورشدن آن کفایت می‌کند؛ اما در مناطق خشک و نیمه‌خشک که بارندگی به حد کافی نیست، در صورت عدم انجام عملیات آبشویی، این خاک‌ها به‌تدریج شور و غیر بارور شده که در این راستا آبیاری تناوبی می‌تواند مدنظر قرار گیرد.

نتایج به‌دست‌آمده 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 مورداستفاده

1. Arienzo, M., E. W. Christen, W. Quayle and A. Kumar. 2009. A review of the fate of potassium in the soil–plant system after land application of wastewaters. *Journal of Hazardous Materials*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., A. EL-Ghadraoui, N. Boujelben, M. Del Bubba and B. Elleuch. 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* 297:110942.

4. Beigi Harchgani, h. and G. Benitalebi. 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: 570-580. (in Farsi).
5. Broadbent, F. E. 1953. The soil organic fraction. *Advances in agronomy* 5:153-183.
6. Choopan, Y. and S. Emami. 2018. Evaluation of Soil Chemical Properties Affected by Irrigation with Industrial and Urban Treated Wastewaters. *Journal of Natural Ecosystems of Iran* 9(32): 67-80 (in Farsi).
7. Farmani-Frad, F. 2016. Investigating the effect of irrigation with Kermanshah treated Effluent wastewater on plant and soil properties. Master thesis, Razi university, Kermanshah, I.R. Iran (in Farsi).
8. Ghasemi- Qahsare, M and M. Kafi. 2014. Scientific and practical floriculture. Volume 3. First Edition. Massoud Ghasemi-Qahsare publisher, Tehran (in Farsi).
9. Hazelton, P. A. and B. W. Murphy. 2007. Interpreting Soil Test Result: What Do All the Numbers Mean? CSIRO Publishing, Collingwood VIC, Australia, PP. 152.
10. Heidarpour, M., B. Mostafazadeh-Fard, J. Abedi-Koupai and R. Malekian. 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 Farsi).
11. Khaskhoussy, K., B. Kahlaoui and B. M. Nefzi. 2015. Effect of treated wastewater Irrigation on heavy metals distribution in a tunisian soil engineering. *Engineering, Technology and Applied Science Research* 5(3): 805-810.
12. Li, N., Y. Kang, X. Li and S. Wan. 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. PP. 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, USA.
14. Menegassi, C. L., F. Rossi, D. L. Dominical, G. Tommaso, C. R. Montes, C. A. Gomide and T. M. Gomes. 2020. Reuse in the agro-industrial: Irrigation with treated slaughterhouse effluent in grass. *Journal of Cleaner Production* 251: 119698.
15. Mozafari-Hashjin, E. 2016. Feasibility measurement and comparative studies of reuse of effluent sewage treatment plant of Karaj for green space irrigation. Master thesis, Tehran university, Tehran, I.R. Iran (in Farsi).
16. Moradi-Nasab, V., M. Shirvani, M. Shamsai, M. R. Babaei. 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*, 19(74) :101-111 (in Farsi).
17. Mostafazadeh-Fard, B., M. Khoshravesh, S. F. Mousavi and A. R. Kiani. 2012. Effects of magnetized water on soil chemical components underneath trickle irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 138(12): 1075-1081.
18. Narimani, H. P. Irannejad, M. Kiani and R. Gharabali. 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 (in Farsi).
19. Nelson, D. W. and L. E. Somers. 1996. Total Carbon, Organic Carbon and organic Matter of Soil analysis. Part 19. Chemical Methods, Madision, Wisconsin, USA.
20. Partani, S. and A. Mahmoudi-Mozafar. 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* 8(1) 88-79 (in Farsi).
21. Rezapour, S., A. Samadi and 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 Farsi).
22. Rhoades J. D. 1996. Salinity: Electrical Conductivity and total dissolved Soils. Pp. 417-434. In: Sparks D.L. (Eds.) Methods of Soil Analysis. Part 3-chemical Methods. Book series No. 5, SSSA and ASA, Madison, WI, USA.
23. Salarian, M., A. Alizadeh, K. Davari and H. Ansari and 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* 11(3): 322-334 (in Farsi).
24. SayadManesh, S-M., M. A. Bahmanyar and M. Qajarspanlou. 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* 25 (3)13-20 (in Farsi).
25. Soleimani, H., B. Mansouri, A. Kiani, A. Khalid Omer, M. Tazik, G. H. Ebrahimzadeh and K. Sharafi. 2023. Ecological risk assessement and heavy metals accumulation in agriculture soils irrigated with treated wastewater effluent, river water, and wellwater combined with chemical fertilizers. Helion 9: e14580.
26. Shannag H. K., N. K. Al-Mefleh and N. M. Freihat. 2021. Reuse of wastewaters in irrigation of broad bean and their effect on plant-aphid interaction. *Agricultural Water Management* 257: 107156.

27. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. PP. 475-490. In: D. L. Sparks (Ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. No. 5. ASA and SSSA, Madison, WI, USA.
28. Salinity Laboratory Staff, U. S. 1954. L.A. Richards (Ed.) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Handb. 60. U.S. Govt. Print. Office, Washington, DC.
29. Xu, J., L. Wu, A. C. Chang and Y. Zhang. 2010. Impact of long-term reclaimed wastewater irrigation on agricultural soils: A preliminary assessment. *Journal of Hazardous Materials* 183(1-3): 780-786.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 28, No. 1, Spring 2024, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Effects of Irrigation with Treated Sewage Effluent on the Chemical Characterstics of Soil under the Cultivation of Ground Cover Plants (Case Study: Parand City)

S. M. Kashi[1*], S. Alizadeh Ajirlo[1] and N. Najafi[2]

(Received: October 24-2023 ; Accepted: January 6-2024)

Abstract

The reduction of water resources due to the issue of global climate change and population growth is one of the most critical issues facing the designers and planners of the development of green spaces in cities. Against these challenges, there is an urgent need to improve the efficiency of water consumption and chain use of water resources with suitable options. Due to the significant volume of urban wastewater Effluent, its reuse in green space irrigation is important from the point of view of water resource management from an ecological and economic point of view. The effect of the Parand city wastewater treatment plant on the chemical properties of soil under the cultivation of three types of cover crops (Frankinia (FR), Festuca (FE), Dichondra (DI)) in a bed with sandy loam soil is investigated. This study was conducted as a factorial experiment based on a completely randomized design using mixing of water and Effluent at 4 levels with irrigation treatments of zero (control), 50, 75, and 100% compared to fresh water and 3 replications, and then the soil chemistry characteristics such as pH, EC, OC, Na, Cl, Ca, and Mg were evaluated. The results obtained from the soil chemical analysis parameters showed that the pH value decreased in all the treatments with effluent compared to the control, and this decrease was not significant in any treatment. The values of EC and Cl have increased in all plants, and these values were significant in the FR100 treatments with an increase of about 195 and 561% compared to the control, and in the FE100 treatment with an increase of about 54 and 162%, respectively, at the 5% probability level. The amount of OC in the FR100 treatment was significant with an increase of about 41% compared to the control treatment, but in other plants, this ratio was not significant in any treatment. The maximum amount of Mg in the FR50 treatment was 30.27, which has a significant effect compared to other treatments. The amount of Na and Ca in the FR100 treatment was significant with an increase of about 343% and 130%, respectively, compared to the control treatment, while in FE and DI plants, this ratio was not significant in any treatment.

Keywords: Salinity, Green space, Frankenia, Chloride, Organic carbon

1. Department of Landscape Architecture Engineering, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran.
2. Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran.
*: Corresponding author, Email: kashi.phd@yahoo.com