

آثار پساب بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

در پروژه‌های بیولوژیکی احیای مراتع

(مطالعه موردی شرق اصفهان)

- ❖ حسین بشری*؛ استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان
- ❖ مصطفی ترکش اصفهانی؛ استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان
- ❖ طیبه شاه‌آبادی؛ کارشناس ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان
- ❖ محمدرضا مصدقی؛ دانشیار گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

پژوهش حاضر به منظور بررسی پیامدهای کاربرد پساب شهری بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در مراتع منطقه سگری واقع در شرق اصفهان انجام شد. شش سایت مطالعاتی با توجه به نوع پوشش گیاهی دست‌کاشت (گونه‌های تاغ، قره‌داغ) و روش آبیاری (شیاری، غرقابی، و بدون آبیاری) انتخاب شد و در هر سایت حداقل چهار و حداکثر دوازده تکرار انتخاب شد و از لایه‌های ۰-۱۰ و ۱۰-۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری شد. بافت، مقدار ماده آلی، اسیدیته، رسانایی الکتریکی، میزان سدیم، کلسیم، و منیزیم محلول، و پایداری ساختمان خاک (رس قابل پراکنش) برای ۹۴ نمونه خاک بررسی و با استفاده از تجزیه واریانس و تجزیه مؤلفه‌های اصلی تحلیل شد. بر اساس نتایج، استفاده از پساب با شست‌وشوی نمک‌های محلول خاک و انتقال آن‌ها به عمق خاک و افزودن مواد آلی و معدنی تغییراتی در خاک ایجاد کرد. رسانایی الکتریکی خاک در سایت‌های بدون آبیاری (۰-۱۰ سانتی‌متری) یا آبیاری به شیوه شیاری (۱۰-۳۰ سانتی‌متری) به طور معنی‌داری ($\alpha=0.05$) بیش از سایت‌هایی با آبیاری غرقابی بود. کاربرد پساب موجب افزایش میزان ماده آلی خاک، نسبت به مناطق بدون آبیاری، شد و میزان پایداری خاک‌دانه‌ها نیز به طور معنی‌داری ($\alpha=0.05$) افزایش یافت. استفاده از پساب به کاهش سدیم محلول خاک منجر شد و، در نتیجه، میزان رس قابل پراکنش کاهش یافت و بر پایداری ساختمان خاک افزوده شد. در مجموع، استفاده از پساب در پروژه‌های احیای مراتع، با توجه به اینکه خطرهای زیست‌محیطی کمتری نسبت به کاربرد آن در عرصه‌های کشاورزی دارد، توصیه می‌شود.

واژگان کلیدی: احیا، پایداری خاک‌دانه‌ها، پساب شهری، رس قابل پراکنش، شوری خاک.

مقدمه

کمبود آب یکی از چالش‌های اساسی مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران است. این وضعیت در سال‌های اخیر به دلیل تکرار پدیده خشک‌سالی حادث شده است. بنابراین، کاربرد آب‌های نامتعارف، مانند پساب‌های شهری، در جایی که آب با کیفیت مناسب در دسترس نیست، رو به فزونی است [۲۲، ۲۴]. کاربرد این منابع آبی در کشاورزی سابقه‌ای دیرینه دارد و به چند دهه پیش از قرن نوزدهم برمی‌گردد. امروزه، در کشور چین بیش از ۱/۳۳ میلیون هکتار از زمین‌های کشاورزی تحت آبیاری با فاضلاب تصفیه می‌شود [۲، ۱۵].

یکی از راه‌های جلوگیری از گسترش عرصه‌های بیابانی و نیز جلوگیری از وقوع گرد و غبارهای شدید تثبیت بیولوژیکی این عرصه‌هاست. در این میان، بهره‌گیری از پساب فاضلاب شهری برای آبیاری، توأم با طرح‌های بیابان‌زدایی از مواردی است که درخور بررسی و مطالعه است. اثری که این‌گونه آب‌ها بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک برجا می‌گذارند، در مقایسه با تأثیری که بر استقرار گیاهان و نیز میزان فرسایش خاک می‌گذارند، اهمیت فراوانی دارد. خاک، محیطی است پویا که پیوسته تحت تأثیر تغییرات فیزیکی، شیمیایی، و زیستی قرار می‌گیرد. بدیهی است که کاربرد فاضلاب شهری بر ویژگی‌های گوناگون خاک، از جمله ویژگی‌های شیمیایی آن، تأثیر می‌گذارد. بنابراین، باید در مناطق مختلف درباره ارزیابی کاربرد پساب برای آبیاری بررسی‌های دقیق انجام شود.

در منابع موجود، کاربرد پساب فاضلاب شهری بیشتر از دیدگاه کشاورزی بررسی شده است، ولی از

دیدگاه منابع طبیعی پژوهش‌های چندانی درباره آن انجام نگرفته است. در یک مطالعه گلخانه‌ای، کاربرد پساب موجب افزایش معنی‌دار رسانایی الکتریکی و گنجایش نگه‌داشت آب خاک شد، ولی بر چگالی حقیقی و نفوذپذیری خاک تأثیر چندانی نداشت [۲۵]. کاربرد مداوم فاضلاب‌ها، به منزله آب آبیاری، میزان شوری، نسبت جذب سدیم (SAR)، نیتروژن-نیتراتی، فسفر-فسفاتی، کربن آلی کل، و همچنین دو فلز سنگین نیکل و کادمیم خاک را افزایش داد و همچنین باعث کاهش اسیدیته در اعماق مختلف نیم‌رخ خاک شد [۴، ۱۲، ۲۰]. با بررسی تأثیر انواع فاضلاب بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک نیز مشخص شد که میانگین مقدار شوری، نیتروژن-نیتراتی، SAR، فسفر-فسفاتی، و نیکل خاک در تیمار فاضلاب خام به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار پساب است، زیرا برخی از مواد معلق موجود در فاضلاب خام طی مرحله پیش-تصفیه تا حدودی حذف می‌شود [۴، ۱۲، ۲۰]. بنا بر گزارش‌ها، بیش از ۳۳ درصد از لجن فاضلاب تولیدی در امریکا برای اصلاح و افزایش حاصل‌خیزی خاک به‌کار می‌رود [۲۷]. اگرچه لجن فاضلاب دارای مواد مغذی گیاهی مفید است و می‌تواند باعث اصلاح و بهبود خاک شود، ممکن است دارای باکتری‌ها، ویروس‌ها، پروتوزئرها (جانداران تک‌سلولی)، و فلزهای سنگین نیز باشد [۱۷، ۲۶]. حدود ۹۹/۹ درصد از وزن فاضلاب را آب و ۰/۱ درصد بقیه را مواد خارجی، شامل مواد آلی و معدنی، تشکیل داده است [۱]. مواد آلی تقریباً ۵۰ درصد از بخش جامد لجن فاضلاب را تشکیل می‌دهند و عموماً باعث بهبود وضعیت فیزیکی خاک می‌شوند [۱۳]. لجن فاضلاب باعث

که در این منطقه برای آبیاری محصولات کشاورزی از پساب شهری استفاده می‌شود، اما در محدوده‌ای که اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان پروژه‌های بیولوژیکی بیابان‌زدایی انجام داده است، مدت ۶ سال است که از پساب فاضلاب شهری برای آبیاری گونه‌های دست‌کاشت (زردتاغ و قره‌داغ) نیز استفاده می‌شود. روش آبیاری در این منطقه نیز به دو روش شیاری و غرقابی است. بنابراین، پژوهش حاضر به منظور بررسی تأثیر کاربرد پساب شهری بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در این منطقه انجام شد.

روش شناسی

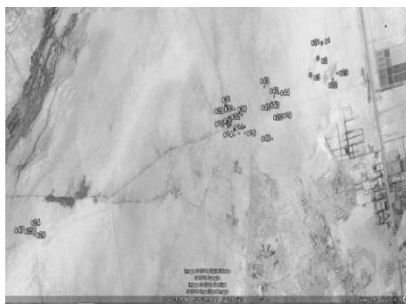
مکان نمونه برداری

منطقه مورد بررسی در ایستگاه بیابان‌زدایی سگری واقع در دشت سگری با طول جغرافیایی $49^{\circ} 16'$ تا $51^{\circ} 09' 14''$ و عرض جغرافیایی $28^{\circ} 21'$ تا $32^{\circ} 52' 43''$ در جنوب جاده اصفهان-نابین و شمال رودخانه زاینده‌رود قرار دارد. این منطقه با وسعت 112167 هکتار دارای میانگین شیب برابر با 1.08 درصد است. بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی شرق اصفهان، میانگین بارش سالیانه منطقه 106 میلی‌متر، میانگین دمای سالیانه 15.2 درجه سانتی‌گراد، و میانگین تبخیر پتانسیل سالیانه در منطقه 2201.5 میلی‌متر است. میانگین سرعت وزش باد در منطقه 8 متر بر ثانیه و جهت باد غالب شرقی-غربی است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، اقلیم منطقه از نوع خشک و بر طبق تقسیم‌بندی آمبرژه از نوع خشک و سرد است.

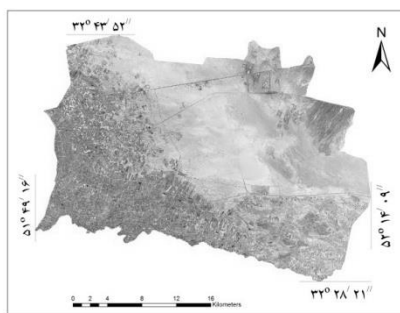
کاهش چگالی ظاهری، افزایش پایداری خاک‌دانه‌ها، افزایش گنجایش نگه‌داشت آب، و نفوذپذیری خاک می‌شود. افزودن لجن فاضلاب به خاک ریزبافت باعث افزایش ماده آلی و نفوذپذیری و بهبود تخلخل و وضعیت تهویه خاک می‌شود [۲۱]. همچنین، کاربرد لجن فاضلاب موجب کاهش مقاومت مکانیکی خاک در برابر نفوذ ریشه و افزایش نسبت حجم ریشه به ساقه می‌شود [۶].

لجن فاضلاب بر ویژگی‌های شیمیایی خاک، مانند اسیدیته، رسانایی الکتریکی، گنجایش تبادل کاتیونی (CEC)، و غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها و غلظت عناصر پرمصرف و کم‌مصرف و عناصر سنگین تأثیر می‌گذارد. پژوهش‌ها نشان داد در اثر مصرف لجن بسته به ترکیب و منبع لجن-اسیدیته خاک تغییر می‌کند، و برخی منابع نیز کاهش pH خاک را گزارش کردند [۸]، که علت آن تولید اسید در هنگام تجزیه لجن گزارش شده است [۱۴]. افزایش لجن فاضلاب باعث افزایش رسانایی الکتریکی و کاهش pH خاک می‌شود [۱۵]. افزایش رسانایی الکتریکی خاک در نتیجه مصرف لجن فاضلاب نیز بیانگر افزایش غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های خاک است [۱۱، ۲۳، ۲۷]. لجن فاضلاب می‌تواند باعث افزایش جمعیت جانداران خاک‌زی، مانند کرم‌خاکی و نماتدها، شود، که، بالطبع، فعالیت آن‌ها باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک می‌شود [۹].

منطقه سگری، واقع در شرق اصفهان، یکی از کانون‌های بیابان‌زایی و گرد و غبار در مقیاس محلی در اطراف شهر اصفهان است و اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان در مراتع این منطقه ایستگاه بیابان‌زدایی احداث نموده است. مدت مدیدی است



ج



ب



الف

شکل ۱. الف) موقعیت محدوده مورد مطالعه در استان اصفهان؛ ب) موقعیت جغرافیایی دشت سگزی؛ ج) تصویر ماهواره‌ای منطقه سگزی اصفهان به همراه محل سایت‌های نمونه‌برداری (نقاط گرد روی تصویر)

کشتزارهای قدیمی که رها شده‌اند، نمک به صورتی گسترده در سطح خاک تجمع یافته است. به طور کلی، خاک‌های این منطقه از نظر مواد آلی فقیر و غالباً ریزبافت است و در دو رده انتی‌سولز^۱ و اریدی‌سولز^۲ طبقه‌بندی می‌شوند.

تیمارهای انتخابی و روش کار

به منظور بررسی تأثیر آبیاری با فاضلاب بر ویژگی‌های خاک، ۶ سایت مطالعاتی، با توجه به ترکیب تیمارهای نوع پوشش گیاهی دست‌کاشت (گونه‌های تاغ و قره‌داغ) و روش آبیاری (شیاری، غرقابی، و بدون آبیاری)، تعیین شد و در هر سایت حداقل ۴ و حداکثر ۱۲ تکرار، بسته به وسعت سایت مطالعاتی، انتخاب شد (جدول ۱).

در طرح بیابان‌زدایی دشت سگزی، از درختچه‌های گز، آتریپلکس، تاغ و قره‌داغ (به صورت دست‌کاشت) استفاده شده است. در این ایستگاه به مدت ۶ سال است که از پساب فاضلاب شهری برای آبیاری بخشی از پوشش گیاهی دست‌کاشت استفاده می‌شود. به دلیل شرایط نامساعد محیطی، مانند شوری و قلیائیت زیاد در منطقه مورد مطالعه، بخش‌های زیادی از منطقه عاری از پوشش گیاهی است و در بخش‌هایی برخی از گیاهان مقاوم، مانند *aphylla camelorum*, *Peganum harmala*, *Anabasis Alhaji* و *Salsola tomentosa*، با سطح پوشش کمتر از ۱۰ درصد دیده می‌شود. بخش وسیعی از خاک‌های این منطقه به صورت سله‌بسته با شکاف‌های عمیق یا سله‌های پف‌کرده و چسبندگی زیاد است. علاوه بر این، در بسیاری از مناطق، به ویژه

جدول ۱. تیمارهای انتخابی (سایت‌ها) برای استقرار پلات‌ها

شماره سایت‌های مطالعاتی	نام گونه دست‌کاشت	روش آبیاری	تعداد تکرار
۱	تاغ	شیاری	۷
۲	تاغ	غرقابی	۴
۳	تاغ	بدون آبیاری	۱۲
۴	تاغ و قره‌داغ	شیاری	۴
۵	تاغ و قره‌داغ	غرقابی	۸
۶	تاغ و قره‌داغ	بدون آبیاری	۱۲

در عصاره اشباع خاک با استفاده از دستگاه فلیم‌فتمتر^۲ اندازه‌گیری شد.

همچنین، پایداری ساختمان خاک در تیمارهای انتخابی با اندازه‌گیری رس قابل پراکنش خودبه‌خودی^۳ و مکانیکی^۴ خاک ارزیابی شد. مقدار رس قابل پراکنش (DC) یکی از شاخص‌های ناپایداری ساختمان خاک است؛ به عبارت دیگر، ناپایداری واحدهای ساختمانی (خاک‌دانه‌ها) سبب افزایش مقدار DC می‌شود. برای اندازه‌گیری میزان رس قابل پراکنش مکانیکی (MDC) مقدار ۵۰ گرم خاک (نمونه با حداقل آسیب به خاک‌دانه‌ها) توزین شد و به یک بشر منتقل گردید. به هر بشر مقدار کافی آب مقطر به آرامی افزوده شد و سوسپانسیون به مدت دوازده ساعت (یک شب) برای تعادل به حال خود رها شد. سپس، سوسپانسیون آماده‌شده به مدت ۱ ساعت با استفاده از دستگاه شیکر تکان داده شد. پس از گذشت این مدت زمان، سوسپانسیون به مزور یک لیتری منتقل شد و به حجم رسانده شد. پس از گذشت زمان کافی (حدود سه تا سه‌ونیم ساعت) برای ته‌نشینی ذرات شن و سیلت (بر اساس قانون استوکز) به وسیله پیت از عمق ۵ سانتی‌متری سوسپانسیون حجم ۲۵ میلی‌لیتر برداشت شد و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شد. سپس، میزان رس قابل پراکنش مکانیکی (MDC) بر اساس وزن کل خاک و وزن رس خاک محاسبه شد. برای اندازه‌گیری مقدار رس قابل پراکنش خودبه‌خودی (SDC) نیز همه این مراحل عیناً تکرار شد. تنها تفاوت آن با روش اندازه‌گیری

سایت مطالعاتی ۳ به عنوان شاهد برای سایت‌های ۱ و ۲ و همچنین سایت مطالعاتی ۶ به عنوان شاهد برای سایت‌های ۴ و ۵ در نظر گرفته شد. در مجموع، ۴۷ سایت مطالعاتی بررسی شد و در هر سایت یک پلات ۱۰ در ۱۰ متری به شکل تصادفی مستقر شد و از چهار گوشه این پلات‌ها از دو لایه ۰-۱۰ و ۱۰-۳۰ سانتی‌متری سطح خاک نمونه‌برداری شد. سپس، نمونه‌های خاک هر لایه به عنوان نمونه‌های مرکب ترکیب شد. در مجموع، ۹۴ نمونه خاک برداشت شد، در هوای آزاد خشک شد، و به آزمایشگاه منتقل گردید. نمونه‌برداری از لایه‌های رویین خاک به دو دلیل انجام شد: ۱. هدف از این مطالعه بررسی تغییرات ویژگی‌های لایه رویین خاک در تیمارهای مختلف است؛ ۲. اگر شرایط فیزیکی و شیمیایی لایه‌های رویین خاک مناسب باشد، می‌توان در صورت مهیا بودن سایر شرایط محیطی و مدیریتی به استقرار نهال‌های کاشته‌شده در منطقه امید داشت.

اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک

نمونه‌های خاک کوبیده شد و از الک ۲ میلی‌متری گذرانده شد. نمونه‌های خاک تهیه‌شده برای آزمون پایداری خاک‌دانه (رس قابل پراکنش)، با حداقل ضربه و آسیب و بدون کوبیدن، از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شد. درصد ذرات اولیه (بافت) خاک به روش هیدرومتر، مقدار ماده آلی خاک به روش والکی و بلاک^۱ (اکسیداسیون تر)، اسیدیته خاک با استفاده از دستگاه pH متر، رسانایی الکتریکی توسط دستگاه EC متر، میزان کلسیم و منیزیم محلول در عصاره اشباع خاک به روش کمپلکسومتری، و میزان سدیم

2. Flame photometer
3. spontaneously dispersible clay
4. mechanically dispersible clay

1. Walkley and Black

می‌دهد که اثر تیمارها (ترکیب گونه گیاهی و روش آبیاری) بر رسانایی الکتریکی خاک در لایه ۰-۱۰ سانتی‌متر معنی‌دار است. میزان رسانایی الکتریکی لایه رویین (۰-۱۰ سانتی‌متر) خاک در تیمارهای بدون آبیاری بیشتر از تیمارهایی با آبیاری است، در حالی که در لایه زیرین (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) خاک بیشترین رسانایی الکتریکی خاک متعلق به تیمار تاغ و قره‌داغ تحت آبیاری شیاری بوده است.

همچنین، تجزیه واریانس داده‌های مربوطه و آزمون مقایسه میانگین توکی لایه زیرین خاک (۱۰-۳۰ سانتی‌متری) نشان می‌دهد که سایت‌های ۲ (تاغ، آبیاری غرقابی)، ۶ (تاغ و قره‌داغ، بدون آبیاری)، و ۵ (تاغ و قره‌داغ، آبیاری غرقابی) در یک گروه قرار می‌گیرند و سایت‌های ۱ (تاغ، آبیاری شیاری) و ۳ (تاغ، بدون آبیاری) در گروه دیگر قرار می‌گیرند. اختلاف سایت ۴ (تاغ و قره‌داغ، آبیاری شیاری) با سایر سایت‌ها در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس یک‌طرفه و مقایسه میانگین توکی در هر دو لایه رویین و زیرین اختلاف معنی‌داری از لحاظ میزان اسیدیته بین سایت‌های مورد بررسی نشان نمی‌دهد. میزان ماده آلی در لایه رویین خاک بین تیمارهای مورد بررسی اختلاف معنی‌داری ($\alpha=0.01$) دارد، در حالی که در لایه زیرین این اختلاف معنی‌دار نیست. کمترین مقدار ماده آلی خاک در لایه رویین در تیمار آبیاری شیاری و تحت پوشش کشت مخلوط تاغ و قره‌داغ دیده شد. بر اساس تجزیه و تحلیل صورت‌گرفته، پساب مورد استفاده تأثیر معنی‌داری در میزان کلسیم و منیزیم محلول خاک نداشت.

MDC در این بود که سوسپانسیون خاک با شیکر تکان داده نمی‌شد [۱۶].

روش تجزیه و تحلیل

به منظور بررسی تأثیر پساب بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از تجزیه واریانس و تجزیه داده‌های چندمتغیره استفاده شد. تفاوت سایت‌های انتخاب‌شده از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با استفاده از تجزیه واریانس یک‌طرفه^۱ بررسی شد. پیش‌شرط استفاده از آزمون تجزیه واریانس نرمال بودن داده‌های هر گروه و واریانس برابر گروه‌هاست؛ با استفاده از آزمون اندرسون-دارلینگ^۲ نرمال بودن داده‌ها و با استفاده از آزمون بارتلت^۳ همگنی واریانس بین گروه‌ها کنترل شد. برای تجزیه واریانس و آزمون مقایسه میانگین توکی از نرم‌افزار Minitab استفاده شد. برای انتخاب مناسب‌ترین روش رج‌بندی، نخست داده‌ها با استفاده از تجزیه DCA^۴ بررسی شد و با توجه به طول گرادیان محاسبه‌شده (کمتر از ۳) روش رج‌بندی خطی تجزیه مؤلفه‌های اصلی^۵ (PCA) انتخاب شد. بدین منظور، از نرم‌افزار Canoco برای تجزیه رج‌بندی استفاده شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد

بررسی بر ویژگی‌های خاک

نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه (جدول ۲) نشان

1. One-way analysis of variance
2. Anderson-Darling Test
3. Bartlett's Test
4. Detrended Correspondence Analysis
5. Principal Component Analysis

نتایج تجزیه آماری داده‌های MDC است (جدول ۲). در لایه ۱۰-۳۰ سانتی‌متری نیز نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس یک طرفه و آزمون مقایسه میانگین توکی (جدول ۲) نشان می‌دهد که آبیاری و نوع پوشش ایجاد شده در منطقه بر میزان SDC خاک تأثیر دارد، به طوری که سایت‌های ۳ (تاغ، بدون آبیاری) و ۶ (تاغ و قره‌داغ، بدون آبیاری) در یک گروه، سایت‌های ۲ (تاغ، آبیاری غرقابی) و ۴ (تاغ و قره‌داغ، آبیاری شیاری) در گروه دوم، و سایت‌های ۱ (تاغ، آبیاری شیاری) و ۵ (تاغ و قره‌داغ، آبیاری غرقابی) در گروه سوم طبقه‌بندی می‌شوند (جدول ۲).

نتایج تجزیه چندمتغیره بر ویژگی‌های خاک

نتایج به دست آمده از تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) بیانگر آن است که نوع آبیاری و نیز نوع گونه‌های کشت شده تأثیر بسزایی در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک داشت. بر اساس PCA، ۶ سایت مورد مطالعه به خوبی در فضای رج‌بندی از یکدیگر مجزا شدند و بردارها بیانگر چگونگی تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در سایت‌های مختلف است (شکل ۲). در لایه رویین خاک، رسانایی الکتریکی بیشترین عامل اثرگذار در تفکیک سایت‌های مطالعاتی بود و در سایت‌هایی که بدون آبیاری بودند بیشترین میزان رسانایی الکتریکی در لایه رویین دیده شد. این یافته با نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس (جدول ۲) هماهنگی دارد. همچنین، بیشترین میزان مواد آلی در لایه‌های رویین و زیرین خاک متعلق به تیمار تاغ و قره‌داغ تحت آبیاری غرقابی است. همچنین، بیشترین میزان رسانایی الکتریکی خاک در لایه ۱۰-۳۰ سانتی‌متری متعلق به تیمار تاغ و قره‌داغ تحت آبیاری شیاری است.

میزان رس قابل پراکنش مکانیکی (MDC) و خودبه‌خودی (SDC) خاک در لایه‌های رویین و زیرین اختلاف معنی‌داری نشان می‌دهد (جدول ۲). به طور کلی، مقادیر MDC بیشتر از مقادیر SDC است، زیرا اعمال انرژی مکانیکی در هنگام اندازه‌گیری آن باعث تخریب بیشتر خاک‌دانه‌ها و آزاد شدن رس می‌شود. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس برای MDC (جدول ۲)، در سایت‌های ۶ (تاغ و قره‌داغ، بدون آبیاری)، ۱ (تاغ، آبیاری شیاری)، و ۳ (تاغ، بدون آبیاری) اختلاف معنی‌داری دیده نمی‌شود و در یک گروه طبقه‌بندی می‌شوند. و سایت‌های ۴ (تاغ و قره‌داغ، آبیاری شیاری) و ۲ (تاغ، آبیاری غرقابی) نیز در یک گروه قرار می‌گیرند. ولی سایت ۵ (تاغ و قره‌داغ، آبیاری غرقابی) اختلاف معنی‌داری با سایر سایت‌ها نشان می‌دهد و در یک گروه طبقه‌بندی می‌شود. در لایه ۱۰-۳۰ سانتی‌متری، نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین توکی (جدول ۲) نشان می‌دهد که سایت‌ها از نظر مقدار MDC در سه گروه طبقه‌بندی می‌شوند. نتایج تجزیه واریانس و آزمون مقایسه میانگین توکی در مورد میزان SDC در لایه ۰-۱۰ سانتی‌متر (جدول ۲) نشان می‌دهد که بین سایت‌های ۱ (تاغ، آبیاری شیاری)، ۲ (تاغ، آبیاری غرقابی)، ۳ (تاغ، بدون آبیاری)، و ۶ (تاغ و قره‌داغ، بدون آبیاری) اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و به ترتیب با میانگین ۳۸۹، ۲۳۷، ۲۵۳، و ۳۲۹ درصد در یک گروه، سایت ۴ (تاغ و قره‌داغ، آبیاری شیاری) به صورت یک سایت حد واسط در گروه دوم، و سایت ۵ (تاغ و قره‌داغ، آبیاری غرقابی) در گروه سوم طبقه‌بندی می‌شوند. نتایج تجزیه این داده‌های SDC نیز مشابه

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد بررسی و مقایسه مکانیک توکی و ویژگی‌های خاک در سایت‌های مختلف

آماره F	تیمار	تیمار (آبیاری)	تیمار (غرقایی)	تیمار (آبیاری)	تیمار (غرقایی)	تیمار (آبیاری)	تیمار (غرقایی)	تیمار (آبیاری)	تیمار (غرقایی)	تیمار (آبیاری)	تیمار (غرقایی)	تیمار (آبیاری)	تیمار (غرقایی)	تیمار (آبیاری)	تیمار (غرقایی)	تیمار (آبیاری)	تیمار (غرقایی)	تیمار (آبیاری)	تیمار (غرقایی)
۱۶۵۸ ^{***}	۸۶۷ ^a	۱۲۹ ^b	۱۳۳ ^b	۷۱۷ ^a	۱۷۷ ^b	۶۷۵ ^a	۱۷۷ ^b	۶۷۵ ^a	۱۷۷ ^b	۶۷۵ ^a	۱۷۷ ^b	۶۷۵ ^a	۱۷۷ ^b	۶۷۵ ^a	۱۷۷ ^b	۶۷۵ ^a	۱۷۷ ^b	۶۷۵ ^a	۱۷۷ ^b
۴۱۷ ^{***}	۷۲۳ ^a	۷۴۳ ^a	۱۱۰۰ ^c	۵۵۶ ^b	۷۰۱ ^a	۵۲۲ ^b	۷۰۱ ^a	۵۲۲ ^b	۷۰۱ ^a	۵۲۲ ^b	۷۰۱ ^a	۵۲۲ ^b	۷۰۱ ^a	۵۲۲ ^b	۷۰۱ ^a	۵۲۲ ^b	۷۰۱ ^a	۵۲۲ ^b	۷۰۱ ^a
۱۲۴ ^{***}	۸۴۲	۸۳۷	۸۲۳	۸۳۷	۸۱۷	۸۴۶	۸۱۷	۸۴۶	۸۱۷	۸۴۶	۸۱۷	۸۴۶	۸۱۷	۸۴۶	۸۱۷	۸۴۶	۸۱۷	۸۴۶	۸۱۷
۱۷۷ ^{***}	۸۳۳	۸۲۷	۸۲۸	۸۳۶	۸۴۳	۸۵۴	۸۴۳	۸۵۴	۸۴۳	۸۵۴	۸۴۳	۸۵۴	۸۴۳	۸۵۴	۸۴۳	۸۵۴	۸۴۳	۸۵۴	۸۴۳
۴۶۱ ^{***}	۰.۳۳ ^b	۰.۷۵ ^a	۰.۱۱ ^c	۰.۳۳ ^b	۰.۴۰ ^b	۰.۷۰ ^a	۰.۴۰ ^b	۰.۷۰ ^a	۰.۴۰ ^b	۰.۷۰ ^a	۰.۴۰ ^b	۰.۷۰ ^a	۰.۴۰ ^b	۰.۷۰ ^a	۰.۴۰ ^b	۰.۷۰ ^a	۰.۴۰ ^b	۰.۷۰ ^a	۰.۴۰ ^b
۱۲۰ ^{***}	۰.۵۱	۰.۶۱	۰.۵۵	۰.۳۸	۰.۳۶	۰.۶۴	۰.۳۶	۰.۶۴	۰.۳۶	۰.۶۴	۰.۳۶	۰.۶۴	۰.۳۶	۰.۶۴	۰.۳۶	۰.۶۴	۰.۳۶	۰.۶۴	۰.۳۶
۱۴۵ ^{***}	۱۱۲.۳	۱۱۱.۸	۱۱۱.۸	۱۳۱.۰	۹۳.۸	۱۷۶.۰	۹۳.۸	۱۷۶.۰	۹۳.۸	۱۷۶.۰	۹۳.۸	۱۷۶.۰	۹۳.۸	۱۷۶.۰	۹۳.۸	۱۷۶.۰	۹۳.۸	۱۷۶.۰	۹۳.۸
۰.۸۴ ^{***}	۱۱۴.۰	۸۳.۹	۱۵۰.۸	۱۲۹.۷	۱۰۳.۸	۱۱۸.۲	۱۰۳.۸	۱۱۸.۲	۱۰۳.۸	۱۱۸.۲	۱۰۳.۸	۱۱۸.۲	۱۰۳.۸	۱۱۸.۲	۱۰۳.۸	۱۱۸.۲	۱۰۳.۸	۱۱۸.۲	۱۰۳.۸
۴۷۹ ^{***}	۵۴۶ ^a	۰.۵۴ ^c	۱۷۷ ^b	۴۱۳ ^a	۲۴۹ ^b	۴۳۸ ^a	۲۴۹ ^b	۴۳۸ ^a	۲۴۹ ^b	۴۳۸ ^a	۲۴۹ ^b	۴۳۸ ^a	۲۴۹ ^b	۴۳۸ ^a	۲۴۹ ^b	۴۳۸ ^a	۲۴۹ ^b	۴۳۸ ^a	۲۴۹ ^b
۱۲۸۶ ^{***}	۲.۰۲ ^a	۰.۱۸ ^c	۰.۹۸ ^b	۱.۲۲ ^a	۰.۵۳ ^b	۰.۴۲ ^b	۰.۵۳ ^b	۰.۴۲ ^b	۰.۵۳ ^b	۰.۴۲ ^b	۰.۵۳ ^b	۰.۴۲ ^b	۰.۵۳ ^b	۰.۴۲ ^b	۰.۵۳ ^b	۰.۴۲ ^b	۰.۵۳ ^b	۰.۴۲ ^b	۰.۵۳ ^b
۳۲۰ ^{**}	۳۲۹ ^a	۰.۳۹ ^b	۱.۳۷ ^{ab}	۲۵۳ ^a	۲۳۷ ^a	۳۸۹ ^a	۲۳۷ ^a	۳۸۹ ^a	۲۳۷ ^a	۳۸۹ ^a	۲۳۷ ^a	۳۸۹ ^a	۲۳۷ ^a	۳۸۹ ^a	۲۳۷ ^a	۳۸۹ ^a	۲۳۷ ^a	۳۸۹ ^a	۲۳۷ ^a
۸۹۰ ^{***}	۱.۲۴ ^a	۰.۱۲ ^c	۰.۵۶ ^b	۰.۸۳ ^a	۰.۵۴ ^b	۰.۲۸ ^c	۰.۵۴ ^b	۰.۲۸ ^c	۰.۵۴ ^b	۰.۲۸ ^c	۰.۵۴ ^b	۰.۲۸ ^c	۰.۵۴ ^b	۰.۲۸ ^c	۰.۵۴ ^b	۰.۲۸ ^c	۰.۵۴ ^b	۰.۲۸ ^c	۰.۵۴ ^b

علایم: * پانکگ اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد؛ ** پانکگ اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد؛ *** نشان‌دهنده تفاوت اثر معنی‌داری در تیمارهای مورد بررسی است.

کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)

کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)

کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)

کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)

کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)

کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)

کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)

کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)

کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)

کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)

کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)

کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)

کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)

کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)

کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)

کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)

کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)

کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)

کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)

کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)

کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)

کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)

کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)

کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)

کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)

کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)

کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)

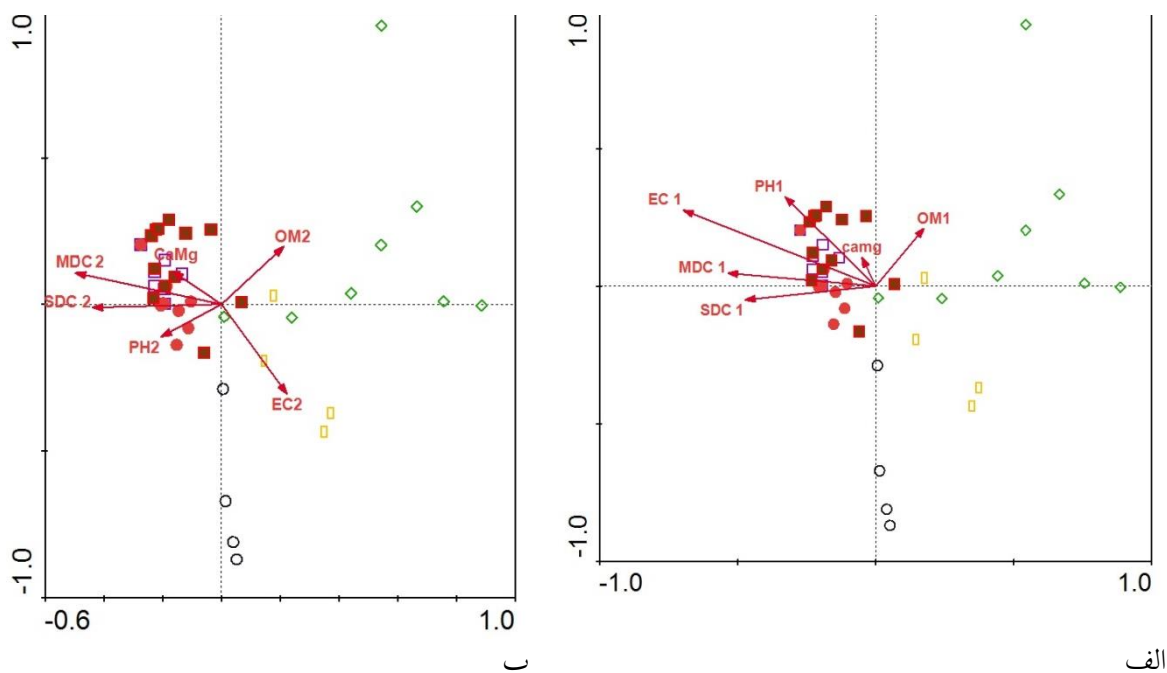
کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)

کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)

کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)

کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)

کلسیم و منیزیم محلول (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بر حسب (mg l⁻¹)



شکل ۲. تصویر نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) بر روی عوامل اداپتیکی و فضای نمونه: الف) لایه ۰-۱۰ سانتی‌متر؛ ب) لایه ۱۰-۳۰ سانتی‌متر؛ اشکال هندسی داخل تصویر پلات‌های مختلف مربوط به سایت‌های مورد مطالعه است؛ لوزی توخالی (سایت ۵)، مستطیل توخالی (سایت ۴)، دایره توخالی (سایت ۲)، دایره توپر (سایت ۳)، مربع توخالی (سایت ۱)، مربع توپر (سایت ۶)، فلش‌ها ویژگی‌های خاک را معرفی می‌کنند (EC رسانایی الکتریکی، pH اسیدیته، OM درصد ماده آلی، Ca+Mg مجموع منیزیم و کلسیم محلول، MDC درصد رس قابل پراکنش مکانیکی، و SDC درصد رس قابل پراکنش خودبه‌خودی است).

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده از بررسی‌های صحرائی و بررسی‌های آزمایشگاهی نمونه‌های خاک و تجزیه آماری داده‌های به‌دست‌آمده (تجزیه واریانس و تجزیه PCA) نشان داد که استفاده از پساب شهری برای آبیاری نهال‌های کشت‌شده در منطقه سگری (تاغ و قره‌داغ) به تغییرات معنی‌دار در برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی (به‌ویژه در ویژگی‌های پویا) لایه‌های روئین و زیرین خاک منجر شد. این تغییرات ناشی از آبیاری با پساب بود که با شست‌وشوی برخی نمک‌های محلول در خاک و انتقال آن‌ها به عمق خاک و با افزودن مواد آلی و معدنی به خاک باعث ایجاد تغییراتی شد. بر اساس یافته‌های این

پژوهش، آبیاری اثر معنی‌داری در رسانایی الکتریکی خاک داشت و در سایت‌هایی که بدون آبیاری بودند (در لایه روئین) یا آبیاری به شیوه شیار بود (در لایه زیرین) رسانایی الکتریکی خاک به میزان قابل توجهی بیش از سایت‌هایی بود که در آن‌ها آبیاری غرقابی انجام شد. علت این کاهش رسانایی الکتریکی خاک در سایت‌هایی که آب بیشتری دریافت کرده بودند آب‌شویی نمک‌های محلول از خاک است. از آنجا که خاک این سایت‌ها اشباع شده و جریان آب در خاک زیاد بوده است، شسته‌شدن نمک‌ها بیش‌تر بود، بنابراین، رسانایی الکتریکی در لایه روئین خاک کاهش یافت؛ در برخی تحقیقات دیگر نیز همین دلیل برای کاهش رسانایی الکتریکی لایه روئین خاک ذکر

شده است [۱۹]. در مطالعه دیگری نیز نشان داده شد که آبیاری با فاضلاب باعث کاهش رسانایی الکتریکی خاک شور - سدیمی می‌شود [۲]. در مطالعه‌ای در منطقه بُرخوار اصفهان نیز، نشان داده شد که آبیاری با فاضلاب نه تنها هیچ مشکلی از لحاظ شوری و سدیمی شدن خاک ایجاد نمی‌کند، بلکه از میزان شوری خاک نیز می‌کاهد [۱۸].

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که الگوهای مختلف آبیاری و گونه‌های گیاهی کشت شده در میزان ماده آلی خاک سایت‌های مختلف تأثیر دارد و در جایی که آبیاری انجام شده است، به علت شرایط مناسب رطوبتی خاک، درصد تاج پوشش گیاهان بیشتر شده و به همین دلیل میزان بقایای برگشتی به خاک و در نتیجه ماده آلی خاک نیز افزایش یافته است. با قرارگرفتن آب کافی در دسترس گیاه، که یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر و محدودکننده رشد گیاهان در مناطق خشک است، گیاهان قادر به رشد و استقرار و تولید زی‌توده می‌شوند و به این ترتیب بر میزان ماده آلی خاک افزوده می‌شود. حدود نیمی از مواد جامد موجود در پساب مواد آلی است. عمده این مواد از نوع ناپایدار و دارای منشأ انسانی، حیوانی، و گیاهی است و در صورت آبیاری با فاضلاب به خاک افزوده می‌شود. در این حالت خاک مثل یک صافی یا فیلتر عمل می‌نماید و قادر است بخش اعظمی از مواد آلی قابل تجزیه محلول و معلق در فاضلاب و پساب را از آن جدا کند. این عمل در نهایت باعث بهبود شرایط خاک به منظور رشد بهتر گیاهان می‌شود [۷، ۱۹].

علت کمبود مقدار ماده آلی خاک در تیمار آبیاری شیاری و پوشش کشت مخلوط تاغ و قره‌داغ را

می‌توان تا حدی به پوشش تاجی کم در این تیمار نسبت داد. به علت ورود فاضلاب به منطقه و نیز ریزش اندام‌های هوایی تاغ و قره‌داغ - که درصد زیادی از نمک‌ها را از اعماق خاک به سطح انتقال می‌دهند - در این سایت شوری خاک نسبتاً بیشتر است. بنابراین، به علت افزایش شوری خاک در این سایت پوشش گیاهی جدید استقرار نمی‌یابد.

اگرچه تیمارهای مورد بررسی از لحاظ آماری اختلافی از نظر اسیدیته خاک نشان ندادند، بیشترین pH خاک در سایت‌های آبیاری شده با پساب به صورت شیاری تحت کشت تاغ دیده شد، و کمترین مقدار pH خاک در سایت‌هایی با آبیاری غرقابی دیده شد. کاهش میانگین pH خاک با گذشت زمان می‌تواند به دلیل ورود مقادیر بیشتر فاضلاب باشد، زیرا میانگین pH فاضلاب کمتر از pH خاک است. علاوه بر آن، تجزیه مواد آلی موجود در فاضلاب و خاک با گذشت زمان و نیز مساعد بودن شرایط برای پدیده نیتراتی شدن از جمله عواملی است که می‌تواند باعث کاهش pH خاک شود. میزان pH خاک در همه موارد در سطحی است که نه تنها برای کشت گونه‌های بیابانی مناسب، بلکه برای کشاورزی نیز مجاز است [۱۹]. البته، باید به این نکته نیز توجه کرد که آب استفاده شده در پژوهش حاضر (در دشت سگزی) آب فاضلاب خام و بدون هیچ‌گونه تصفیه‌ای است، اما در برخی پژوهش‌ها، آزمایش‌ها کنترل شده و گلخانه‌ای است و در آن‌ها از پساب تصفیه شده برای آبیاری استفاده شده است. برخی از پژوهش‌ها نیز حاکی از کاهش pH خاک در اثر آبیاری با پساب در برخی از شرایط است [۲، ۵، ۷].

آبیاری با فاضلاب، علاوه بر اینکه آب فاضلاب

می‌نگرند. با توجه به نتایج این پژوهش، به نظر می‌رسد استفاده از پساب در ایستگاه بیابان‌زدایی منطقه سگری باعث بهبود اکثر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مورد بررسی خاک شد. ولی، به هر حال، بررسی جنبه‌های دیگر موضوع، مانند اثر کاربرد پساب بر غلظت عناصر سنگین و سمی و آلاینده‌های میکروبی در خاک، ضروری است. همچنین، پیشنهاد می‌شود، برای بررسی دقیق‌تر رابطه بین میزان تأثیر آبیاری با پساب و ویژگی‌های خاک و همچنین بررسی اثر نوع گونه‌های کشت‌شده بر وضعیت پوشش گیاهی، کرت‌های پژوهشی دائمی در منطقه مورد مطالعه ایجاد شود و در قالب یک طرح آزمایشی تحت شرایط کنترل‌شده اثر مقادیر مختلف پساب نیز بررسی شود.

سپاسگزاری

از مهندس کوشیار مختاری به جهت همکاری در زمینه تجزیه نمونه‌های خاک در آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان، مهندس خبات امامقلی به جهت کمک در برداشت‌های میدانی، و آقای مهندس مرادی، کارشناس محترم اداره منابع طبیعی اصفهان، برای همکاری در اجرای این پروژه صمیمانه قدردانی می‌شود.

دارای مقادیر قابل توجهی مواد آلی و عناصر غذایی است، با رفع محدودیت رطوبت برای رشد گیاه در مناطق خشک، موجب رشد بهتر و بیشتر گیاهان می‌شود؛ این امر به افزایش ماده آلی خاک نیز منجر می‌شود. ماده آلی یکی از عوامل مهم خاک‌دانه‌سازی و پایداری ساختمان خاک است. از آنجایی که رس قابل پراکنش شاخصی از ناپایداری ساختمانی خاک است، کاربرد فاضلاب با افزایش ماده آلی خاک سبب افزایش پایداری ساختمان (یا کاهش مقدار رس قابل پراکنش) خاک شده است (جدول ۲). اکثر خاک‌های مناطق خشک ماده آلی کمتر از یک درصد دارند؛ این امر باعث کیفیت نامناسب فیزیکی (به‌ویژه از نظر پایداری ساختمان خاک) این خاک‌ها شده است. بنابراین، با افزایش ماده آلی خاک‌های مناطق خشک بر میزان پایداری ساختمان آن‌ها افزوده می‌شود. از دیگر عوامل مؤثر در میزان رس قابل پراکنش، مقدار سدیم محلول خاک است. سدیم موجب پراکنندگی خاک‌دانه‌ها و افزایش رس قابل پراکنش خاک می‌شود. استفاده از پساب به کاهش میزان این کاتیون منجر می‌شود، در نتیجه، میزان رس قابل پراکنش کاهش می‌یابد و بر پایداری ساختمان خاک افزوده می‌شود [۱۰، ۱۷]. به طور کلی، هر قدر میزان رس قابل پراکنش خاک کمتر باشد، خاک از پایداری بیشتری برخوردار است. کاهش یون‌هایی چون سدیم و افزایش مواد آلی خاک به افزایش پایداری ساختمان خاک منجر می‌شود.

امروزه، به دلیل کمبود شدید آب، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، دیدگاه متولیان و مسئولان منابع آبی و پژوهشگران به آب فاضلاب تغییر کرده و به آن به منزله منبع آبی با ارزش

References

- [1] Abedi, M.J. and Najafi, P. (2001). *Using treated wastewater in agriculture*, Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID), 248 p.
- [2] Abedi-Koupai, J., Afyuni, M., Mousavi, S.F., Mostafazadeh, B. and Bagheri, M.R. (2003). The effect of sprinkler and surface irrigation with treated wastewater on soil salinity, *Journal of Water & Wastewater*, 45, 2-12.
- [3] Abedi-Koupai, J., Bagheri, M., Afyuni, M. and Mostafazadeh, B. (2001). Groundwater pollution for Shahinshahr wastewater treatment plan region, *The 3th Hydraulic Conference of Iran, University of Tehran, Tehran, Iran*. pp. 633-640.
- [4] Aghabarati, A., Hosseini, S.M., Esmaili, A. and Maralian, H. (2009). The effect of irrigation with municipal effluent on physico-chemical characteristics of soil, accumulation of nutrient and Cd in olive trees (*Olea europaea* L.), *Environmental Sciences*, 6, 1-10.
- [5] Arabzadeh, N., Khavarinejad, R.A., Emadian, S.F. and Sharifabad, H.H. (2009). A study of the impact of pruning on the growth and vigourity of the hand-planted- Haloxylon trees in Kerman, Iran, *Asian Journal Plant Science*, 8, 474-482.
- [6] Barton, A.M. (1984). Neotropical pioneer and shade-tolerant tree species, do they partition tree fall gaps?. *Journal of Tropical Ecology*, 25, 196-202.
- [7] Belsky, A.J. and Canham, C.D. (1994). Forest gaps and isolated savanna trees, an application of patch dynamics in two ecosystems, *Bioscience*, 44, 77-84.
- [8] Chirino, E., Bonet, A., Bellot, J. and Sanchez, J. (2006). Effects of 30-year-old Aleppo pine plantations on runoff, soil erosion, and plant diversity in a semi-arid landscape in south eastern Spain, *Journal of Arid Environments*, 65, 627-646.
- [9] Cunningham, J.D. (1975). Yield and metal composition of corn and rye grown on wastewater sludge-amended soil, *Journal of Environmental Quality*, 4, 448-454.
- [10] Eskandari, Z. (1995). Study of pedologic factors on growth and establishment of *Atriplex* in Habib Abad-E- Esfahan, *Pajouhesh Sazandegi*, 29, 16-21.
- [11] Feigin, A., Ravina, I. and Shalhevet, J. (1991). *Irrigation with treated wastewater effluent: management for environmental protection*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, 224p.
- [12] Hosseinpour, A., Haghnia, G.H., Alizadeh, A. and Fotovat, A. (2007). Effect of irrigation with raw and treated wastewaters on chemical characteristic of soil in different depths under continuously and intermittent flood conditions, *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 2, 73-85.
- [13] Kass, A., Gavrieli, I., Yechieli, Y., Vengosh, A. and Starinsky, A. (2005). The impact of freshwater and wastewater irrigation on the chemistry of shallow ground water: a case study from the Israeli Coastal Aquifer, *Journal of Hydrology*, 300, 314-331.
- [14] McGhee, T.J. (1991). *Water Supply and Sewerage*, McGraw-Hill Inc, 602 p.
- [15] Panahpoor, E., Afyuni, M., Homae, M. and Hoodaji, M. (2008). Cd, Cr, and Co motion in soil treated with sewage sludge and salts of the metals and their uptake by vegetable crops case study in east Isfahan, *Journal of Water and Wastewater*, 67, 9-17.
- [16] Rengasamy, P. and Asust, J. (1984). Dispersion of calcium clay, *Soil Research*, 20, 7- 153.
- [17] Reynolds, W.D., Bowman, B.T., Drury, C.F., Tan, C.S. and Lu, X. (2002). Indicators of soil physical quality: density and storage parameters, *Geoderma*, 110, 131-146.

- [18] Safari, A.A. and Haj-Rasuliha, SH. (2001). Effects of irrigation with secondary emuent of north Isfahan sewage refinery on some chemical properties of Borkhar region soils, *Iranian Journal of Agricultural Science*, 32, 79-88.
- [19] Shahriari, A., Noori, S., Abedi Koupai, J. and Asaleh, F. (2011). Effect of irrigation with treated municipal wastewater on yield of *Nitraria schoberi* under greenhouse conditions, *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 1, 13-22.
- [20] Sharma, R., Agrawal, M. and Marshall, F. (2007). Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi, India, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 66, 258-266.
- [21] Skousen, J. and Clinger, C. (1993). Wastewater sludge land application program in West Virginia, *Journal of Soil and Water Conservation*, 48, 145-151.
- [22] Soroush, F., Mousavi, F., Razmjoo, KH. and Mostafazadeh-Fard, B. (2008). Effect of treated wastewater on uptake of some elements by Turf grass in different soil textures, *Journal of Water and Soil*, 22, 285-294.
- [23] Sweeney, D. and Pierzynski, G.M. (1995). *Land application of municipal soil waste compost: Nutrient uptake*, American society of Agronomy, Madison, WI, 338p.
- [24] Tabari, M. and Salehi, A. (2009). The use of municipal wastewater in afforestation: effects on soil properties and Eldar Pine trees, *Polish Journal of Environment Study*, 18, 1113-1121.
- [25] Taghvaeian, A., Alizadeh, A. and Danesh, S.H. (2007). Effects of irrigation with sewage on physical and some properties of soil, *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 1, 49-61.
- [26] Tessier, A., Campbell, P.G.C. and Bisson, M. (1979). Sequential extraction procedure for the speciation of particulate traces metals, *Analytical Chemistry*, 51, 844-851.
- [27] Tester, C.F., Sikora, L.J., Taylor, J.M. and Parr, J.F. (1973). Decomposition of wastewater sludge compost in soil: III. carbon, nitrogen, phosphorous transformation in different size fractions, *Journal of Environmental Quality*, 8, 79-82.

