نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۸، ص. ۳۱۶-۳۰۵

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 2, May-Jun. 2019, p. 305-316

کاربرد تجزیه مؤلفه‌های اصلی برای شناسایی تغییرات ویژگی‌های خاک ناشی از آبیاری با پساب در اراضی حاشیه رودخانه کشف‌رود

سامان حاجی نمکی[۱]- حجت امامی[۲*]- امیر فتوت[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۳۰

چکیده

با توجه به بحران کمبود منابع آب و لزوم بهره‌برداری از منابع آب نامتعارف، بهره‌گیری مطلوب و بهینه از پساب فاضلاب شهری یکی از مباحث مهم پژوهش‌ها می‌باشد. در اراضی حاشیه رودخانه کشف‌رود مشهد از پساب تصفیه‌خانه پرکندآباد به عنوان منبع جایگزین آب آبیاری استفاده می‌شود. در این مطالعه برخی از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در دو گروه خاک‌های آبیاری شده با پساب به مدت ۱۰ سال و آب چاه مورد بررسی قرار گرفتند. اراضی به شکلی انتخاب شدند که همگی بافت یکسان (لومی) داشتند. کیفیت خاک منطقه مورد مطالعه با پارامترهای جرم مخصوص ظاهری (BD)، درصد رس، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)، شاخص پایداری ساختمان خاک (SI)، pH، نسبت جذب سدیم (SAR)، نیتروژن کل، پتاسیم، فسفر، کربن آلی، زیست توده (MBC) و تنفس میکروبی (BR) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد آبیاری با پساب سبب افزایش معنی‌دار پارامترهای SI، SAR، فسفر قابل دسترس، MBC، BR و کربن آلی نسبت به خاک‌های شاهد شد و پارامترهای BD و درصد رس در خاک‌های آبیاری شده با پساب نسبت به آب چاه کاهش معنی‌داری داشتند. همچنین در مورد pH، MWD، نیترژن کل و پتاسیم تفاوت معنی‌داری ایجاد نشد. همچنین نتایج آنالیز مؤلفه‌های اصلی نشان داد کربن آلی، نسبت جذب سدیم، نیتروژن، pH، جرم مخصوص ظاهری، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، تنفس میکروبی و پتاسیم قابل دسترس بیشترین تغییرات را در اثر آبیاری با پساب تصفیه خانه پرکندآباد در زمین‌های حاشیه رودخانه کشف رود نشان دادند؛ به طوری‌که بر اساس تغییر این ویژگی‌ها، خاک‌های آبیاری شده با پساب و آب چاه را در دو گروه مجزا قرار گرفتند که نشان می‌دهد آبیاری با پساب بر خاک‌های مورد مطالعه تأثیر قابل توجهی داشته است.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، پرکندآباد، پساب تصفیه شده، کیفیت خاک

مقدمه

کمبود منابع آب یکی از مسائل مهم در بخش کشاورزی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، از جمله ایران است. عواملی مانند بهره‌برداری بیش از حد آب زیرزمینی در کشاورزی، صنعت و مصارف خانگی منجر به تشدید کمبود آب می‌شوند. بنابراین، چالش پیش‌روی بخش کشاورزی در این مناطق پیدا کردن منابع جدید آب برای آبیاری است. یکی از راه‌هایی که در سال‌های اخیر بیشتر رایج شده، استفاده مجدد از فاضلاب به عنوان منبع ثانویه و جایگزین آب آشامیدنی می‌باشد (۲۲). استفاده از پساب خانگی در بخش کشاورزی نه‌تنها منابع آب شیرین را کاهش نمی‌دهد بلکه عناصر غذایی موجود در فاضلاب موجب افزایش سریع رشد محصولات کشاورزی می‌شوند و از طرفی در کاهش مصرف کودهای شیمیایی نقش دارند (۳۰). اثرات آبیاری با پساب بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک توسط بسیاری از محققان مورد مطالعه قرار گرفته است که بسیاری از این مطالعات بر اساس استفاده مستقیم از فاضلاب تصفیه نشده در آبیاری اراضی کشاورزی می‌باشد. در واقع مقدار زیادی از پساب که در بخش کشاورزی استفاده می‌شود به‌صورت غیرمستقیم وارد رودخانه‌ها، و از آنجا در بخش کشاورزی استفاده می‌شود. آبیاری با پساب ممکن است تأثیراتی بر پارامترهای خاک از قبیل pH، هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی، قدرت بافری، آلاینده‌های سمی و عناصر پرمصرف و کم‌مصرف و همچنین گیاه داشته باشد (۲). سپاسخواه و سکوت (۳۴) گزارش کردند در اثر کاربرد پساب جرم مخصوص

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشیار و استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: hemami@um.ac.ir
DOI: 10.22067/jsw.v33i2.74937

ظاهری خاک کاهش و پایداری خاکدانه‌ها و نفوذپذیری آب در خاک افزایش یافت. روحانی مهدوی و همکاران (۳۲) نیز گزارش کردند آبیاری با پساب سبب کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شود. همچنین آبیاری طولانی مدت با پساب اثرات منفی بر ویژگی‌های خاک دارد. شور شدن، تخریب ساختمان خاک و تجمع فلزات سنگین نمونه بارز تأثیرات نامطلوب استفاده از پساب می‌باشند (۲۷). راسان و همکاران (۳۱) گزارش کردند آبیاری با پساب سبب افزایش مقدار سدیم محلول خاک می‌شود که به نوبه خود سبب کاهش پایداری خاکدانه‌ها و هدایت هیدرولیکی می‌شود. افزایش سدیم اثرات نامطلوبی بر ویژگی‌های خاک دارد ولی در خاک‌های غنی از کلسیم و منیزیم این نقش مخرب کمتر است (۱۶). شیپر و همکاران (۳۳) گزارش کردند آبیاری با پساب به مدت سه سال بر ویژگی‌های شیمیایی و زیستی اثر معنی‌داری نداشت؛ در حالی‌که چن و همکاران (۵) افزایش فعالیت آنزیمی را پس از ده سال آبیاری با پساب گزارش کردند. با توجه به اینکه کیفیت پساب تصفیه شده در تصفیه خانه‌های مختلف متفاوت است و کاربرد پساب‌های مختلف تصفیه شده بر ویژگی‌های خاک نیز متفاوت است و تاکنون در مورد امکان استفاده از پساب تصفیه خانه پرکندآباد بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک پژوهشی صورت نگرفته است. از سوی دیگر تکیه کردن به تجارب سایر کشورها (بدون توجه به شرایط بومی هر منطقه) ممکن است باعث تخریب خاک و کاهش عملکرد محصولات کشاورزی شود. بنابراین هدف از انجام این مطالعه: ۱- بررسی امکان استفاده از پساب به عنوان جایگزینی در آبیاری اراضی کشاورزی در منطقه پرکندآباد، ۲- ارزیابی شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی کیفیت خاک و ۳- انتخاب حداقل ویژگی‌های مؤثر (MDS)[1] بر کیفیت خاک در منطقه مورد مطالعه پس از ۱۰ سال آبیاری با پساب تصفیه شده بود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر آبیاری با پساب بر ویژگی‌های خاک در اردیبهشت ۱۳۹۴ از چندین نقطه اراضی حاشیه رودخانه کشف‌رود واقع در شمال شهر مشهد و بین ′۳۶ °۵۹ تا ′۴۱ °۵۹ طول شرقی و ′۱۹ °۳۶ تا ′۲۲ °۳۶ عرض شمالی قرار داشتند و با پساب تصفیه خانه پرکندآباد به مدت ۱۰ سال آبیاری می‌شدند، نمونه‌برداری صورت گرفت. این منطقه دارای متوسط بارندگی سالیانه ۲۰۹ میلی‌متر (کمتر از میانگین بارش سالیانه کشور، ۲۵۰ میلی‌متر)، درجه حرارت سالیانه ۱۵/۶ درجه سانتی‌گراد و میزان تبخیر سالانه ۲۲۲۵ میلی‌متر است.

نمونه‌ها به صورت مرکب و از هر نقطه سه تکرار با فاصله یک کیلومتر از یکدیگر و از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری برداشته شد. به طور کلی ۱۵ نقطه که به مدت ۱۰ سال با پساب آبیاری شده بودند انتخاب شد، علاوه بر این از نقاط مجاور آن‌ها که با آب چاه آبیاری شده بودند، به عنوان خاک شاهد نمونه‌برداری انجام گرفت. اراضی طوری انتخاب شدند که همگی دارای بافت یکسان و لومی بودند. تمامی نقاط تحت کشت رایج منطقه و الگوی کشت تناوب گندم و صیفی‌جات بودند. نمونه‌ها پس از جمع آوری به آزمایشگاه انتقال داده شدند و جهت آنالیزهای شیمیایی قسمتی از خاک هوا خشک و از الک ۲ میلی متری عبور داده شد. همچنین برای اندازه‌گیری تنفس و زیست توده میکروبی مقداری خاک از الک ۲ میلی‌متری عبور و تا زمان اندازه‌گیری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

pH خاک با دستگاه pH متر در گل اشباع، بافت خاک به روش پیپت، جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه و پوشش دادن با پارافین، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (رابطه ۱) به روش کمپر و روزنا (۱۵)، نسبت جذب سدیم به روش پاگ و همکاران و شاخص پایداری ساختمان خاک (SI) که خطر تخریب ساختمان خاک در اثر کشت و کار را نشان می‌دهد بر اساس رابطه ۲ تعیین شد (۲۵).

$$MWD = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i \bar{x}_i} \qquad (۱)$$

$$SI = \frac{1.724\ OC}{(Silt + Clay)} \times 100 \qquad 0 \le SI \le \infty \qquad (۲)$$

در این روابط، w_i نسبت وزنی خاکدانه‌های باقی مانده روی هر الک (mm)، $\bar{x}_i$ میانگین قطر دو الک متوالی (mm)، OC درصد کربن آلی خاک و (Silt+ Clay) مجموع درصد رس و سیلت در خاک است. کربن آلی خاک به روش والکلی و بلک، فسفر قابل دسترس به روش استخراج با بیکربنات سدیم (۲۴)، پتاسیم قابل دسترس به روش استخراج با استات آمونیوم، نیتروژن کل به روش کجلدال، اندازه‌گیری زیست‌توده میکروبی به روش تدخین- استخراج (۳۶) و تنفس میکروبی پایه به روش ایزرمایر (۱۳) انجام شد.

برای آنالیز داده‌های به‌دست آمده از خاک‌های آبیاری شده با پساب نسبت به آب چاه ابتدا از آزمون‌های شاپیرو-ویلک[2] و کولموگروف اسمیرونوف[3] برای نرمال بودن داده‌ها استفاده شد و داده‌هایی که توزیع نرمال نداشتند با روش باکس-کاکس نرمال شدند و از مقایسه میانگین به روش توکی در سطح معنی‌داری ۵ درصد استفاده شد.

انتخاب ویژگی‌هایی از خاک که به بهترین شکل نشان‌دهنده وضعیت کیفیت خاک هستند، اهمیتی کلیدی در ارزیابی کیفیت خاک

1- Minimum data set

2- Shapiro-Wilk

3- Kolmogorov–Smirnov

دارد. ویژگی‌های انتخاب‌شده باید محدوده‌ی گسترده‌ای از مشخصات خاک را پوشش دهند و با این حال هر یک به‌طور مستقیم بر کیفیت خاک اثر داشته باشد (۲۶). در اغلب موارد، تعداد زیادی از متغیرها با یکدیگر همبستگی دارند. در چنین شرایطی به دلیل وجود افزایش اثر چند هم خطی[1] کاربرد این متغیرها به عنوان ورودی روابط رگرسیونی چندمتغیره موجب ایجاد خطاهایی در تفسیر نتایج می‌شود. بنابراین نتایج حاصل از برآورد ضرایب و تفسیر حاصل از این روابط چندان کاربردی نمی باشد (۲۳). روش های آنالیز چند متغیره مثل آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) با حذف اثر هم‌خطی، چارچوبی منطقی را برای مطالعه اثر متغیرهای موثر با همبستگی متقابل فراهم می‌آورد. هدف اصلی این آنالیز فشرده‌سازی اطلاعات موجود در متغیرهای اصلی است (۲۱). این روش توصیف ساختار واریانس یا کوواریانس مجموعه‌ای از پارامترهای مختلف را از طریق روابط خطی متغیرهای اولیه میسر می‌سازد. آنالیز مؤلفه‌های اصلی تعداد متغیرها را به متغیرهای جدید غیرهمبسته به عنوان مؤلفه‌های اصلی دربرگیرنده واریانس کل مجموعه داده‌ها کاهش می‌دهد (۱۴). در این پژوهش ۱۲ ویژگی فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک که در منابع مختلف به‌عنوان ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک معرفی شده‌اند به‌عنوان مجموعه کل ویژگی‌ها (TDS) در نظر گرفته شدند. برای انتخاب MDS، از روش PCA استفاده شد (۹). روش PCA برای کاهش حجم داده‌ها، به‌صورت انتخاب ویژگی‌هایی که بیشترین تأثیر را بر کیفیت خاک منطقه دارند، به‌صورت زیرمجموعه‌ای از کل ویژگی‌های مورد بررسی خاک استفاده شد (۲۶).

طبق روش لیو و چن (۱۸) برای انتخاب MDS، مولفه‌های اصلی (PC) با ارزش ویژه[2] بزرگتر از یک با استفاده از روش PCA به‌عنوان MDS انتخاب شدند. در هر مؤلفه پارامترهایی با ضریب ویژه بیشتر از ۰/۴ انتخاب می‌شوند و اگر در مؤلفه‌ای ضریب ویژه بالاتر از ۰/۴ نبود، بیشترین ضریب ویژه در آن مولفه و همچنین ۱۰ درصد تغییرات بیشترین ضریب ویژه انتخاب می‌شوند و در نهایت همبستگی بین پارامترها بررسی می‌شود، و پارامترهایی که همبستگی بالای ۰/۶ با پارامتری که بیشترین ضریب ویژه را دارند حذف می‌شوند و اگر همبستگی کمتر از ۰/۶ باشد به عنوان مهم‌ترین پارامترها انتخاب می‌شوند (۱۸). علاوه‌بر این آزمون کرویت بارتلت برای بررسی همبستگی بین متغیرها انجام شد. تمامی آنالیزها با استفاده از نرم‌افزار SPSS Statistics22 انجام گرفت.

نتایج و بحث

در جدول ۱ ویژگی‌های آب چاه و پساب ارائه شده است، که بر اساس آن تنها EC دو نوع آب مورد استفاده تفاوت معنی‌داری داشت و مقدار pH در دو نوع آب آبیاری مورد استفاده بین ۶/۴۱ تا ۷/۱۸ بود (جدول۱). همچنین غلظت عناصر سنگین قابل اندازه‌گیری با دستگاه جذب اتمی نبود.

تمامی خاک‌های مورد مطالعه دارای بافت یکسان (لوم) بودند، نتایج نشان داد آبیاری با پساب سبب افزایش زیست‌توده و تنفس میکروبی، کربن آلی، نسبت جذب سدیم، فسفر و شاخص پایداری ساختمان خاک شده است (شکل ۱)، که با نتایج برخی از پژوهشگران هم‌خوانی دارد. به عنوان مثال، آدروور و همکاران (۱) دریافتند آبیاری با پساب طی دوره‌های ۱۵، ۲۰ و ۸۰ ساله باعث افزایش در مقدار ماده آلی خاک می‌شود. همچنین آلوارز- برنال و همکاران (۲) گزارش کردند آبیاری با پساب به مدت ۲۵ سال افزایش معنی‌داری در مقدار ماده آلی خاک سطحی داشته است. دمارآلگوسیل و همکاران (۷) گزارش کردند آبیاری با پساب سبب افزایش در مقدار فسفر و ماده آلی خاک شد که در نهایت منجر به افزایش زیست‌توده میکروبی شد.

چن و همکاران (۵) گزارش کردند آبیاری با پساب بر فعالیت و زیست توده میکروبی اثرات مثبتی دارد که به علت تجزیه راحت مواد آلی و عناصر غذایی می‌باشد. فرینک و همکاران (۱۰) گزارش کردند زیست‌توده میکروبی خاک‌های آبیاری شده با پساب نسبت به شاهد افزایش داشت. شاخص پایداری پارامتری است که از نسبت ماده آلی به مجموع درصد رس و سیلت بدست می‌آید و چون با کربن آلی رابطه مستقیم دارد افزایش در ماده آلی سبب افزایش در مقدار SI هم می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که درصد رس خاک‌های شاهد بیشتر از خاک‌های آبیاری شده با پساب (احتمالا به دلیل آبشویی و نفوذ عمقی از لایه سطحی به زیرین) بود، که از نظر آماری معنی‌دار شده است، این افزایش در مخرج کسر سبب کاهش در مقدار شاخص پایداری در خاک‌های شاهد شده است (شکل ۱). همچنین کاهش در مقدار جرم مخصوص ظاهری مشاهده شد (شکل ۱)؛ که با نتایج مهیدا (۱۹) در مورد تخلخل و اسفنجی شدن خاک‌های آبیاری شده با پساب هم‌خوانی دارد. تغییرات جرم مخصوص ظاهری در اثر آبیاری با پساب به کیفیت پساب بستگی دارد. وگلر (۳۷) نشان داد که کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک در اثر افزایش ماده آلی موجود در پساب می‌باشد. پارامترهای پتاسیم قابل دسترس، نیتروژن، pH و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نسبت به شاهد افزایش نشان دادند، اما از نظر آماری معنی‌دار نبودند (شکل ۱). تغییرات pH خاک به علت خاصیت بافری بالای خاک به ویژه در خاک‌های آهکی به آسانی امکان‌پذیر نمی‌باشد.

1- Multi-linearity
2- Eigen value

جدول ۱- آنالیز آماری ویژگی‌های شیمیایی پساب و آب چاه

Table 1- Statistical analysis of chemical properties of wastewater and well

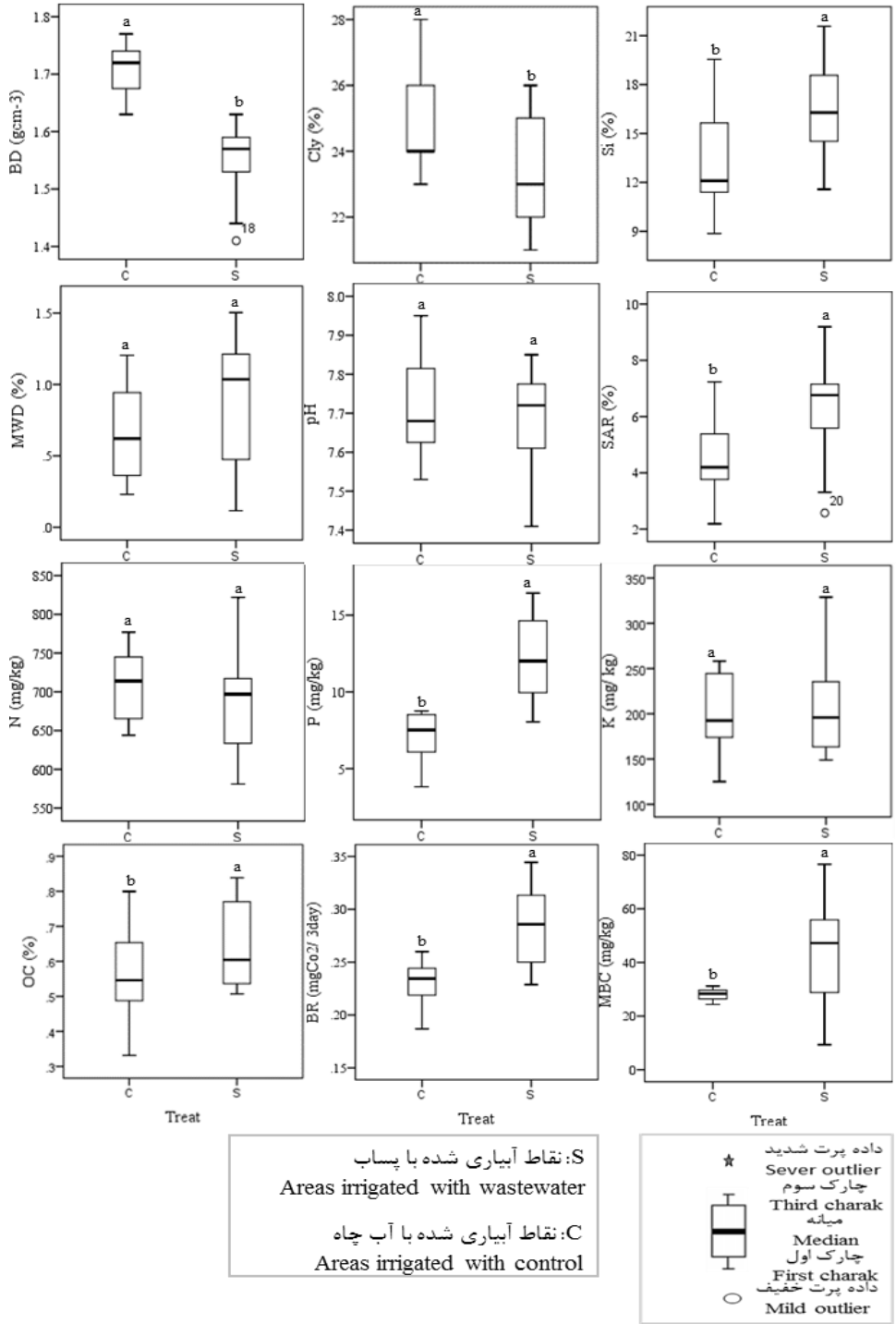
ویژگی‌ها Properties	تیمار Treatment	تعداد Number	حداقل Min	حداکثر Max	میانگین Mean	انحراف معیار SD	معنی‌داری Sig
هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	S	15	1.58	1.79	1.66	0.067	***
	C	15	0.59	1.31	0.82	0.018	-
نسبت جذب سدیم SAR	S	15	4.11	14.03	8.52	3.49	-
	C	15	1.82	7.32	4.53	1.85	-
پ هاش pH	S	15	6.41	7.16	6.8	0.07	-
	C	15	6.61	7.18	6.87	0.07	-
آهن Fe	S	15	nd	nd	Nd	-	-
	C	15	nd	nd	Nd	-	-
روی Zn	S	15	nd	nd	Nd	-	-
	C	15	nd	nd	Nd	-	-
مس Cu	S	15	nd	nd	Nd	-	-
	C	15	nd	nd	Nd	-	-
کادمیوم Cd	S	15	nd	nd	Nd	-	-
	C	15	nd	nd	Nd	-	-
نیکل Ni	S	15	nd	nd	Nd	-	-
	C	15	nd	nd	Nd	-	-
سرب Pb	S	15	nd	nd	Nd	-	-
	C	15	nd	nd	Nd	-	

: معنی‌داری در سطح ۱٪؛ nd: غیرقابل تشخیص؛ S: پساب؛ C: آب چاه (: Significant P < 0.01; nd: Not detected; S: Wastewater; C: Well).

روسان و همکاران (۳۱) گزارش کردند آبیاری با پساب نسبت به خاک شاهد سبب افزایش معنی‌دار در مقدار فسفر و پتاسیم خاک شده است. هاینز و همکاران (۱۲) گزارش کردند آبیاری با پساب بر مقدار نیتروژن خاک اثری نداشته است. افزایش سدیم در اثر آبیاری با پساب سبب افزایش معنی‌دار نسبت جذب سدیم در خاک‌های آبیاری شده با پساب شده است. اگرچه مقدار زیاد سدیم محلول در خاک سبب پراکنش ذرات رس و تخریب ساختمان خاک می‌شود که بر خصوصیات فیزیکی خاک از جمله نفوذ و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها اثر می‌گذارد (۳). همچنین افزایش نسبت جذب سدیم در انواع خاک‌ها باعث پراکندگی و تخریب می‌شود که بسته به نوع خاک فرق می‌کند (۳۵)، اما به نظر می‌رسد افزایش مقدار ماده آلی همزمان با افزایش معنی‌دار نسبت جذب سدیم مانع از تخریب خاکدانه‌ها شده در نتیجه تغییر معنی‌داری در میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها مشاهده نشد. پایداری خاکدانه‌ها عامل مهمی است که در نفوذ آب به خاک نقش مهمی دارد، و تحت تأثیر ماده آلی و غلظت املاح (سدیم) است (۳۷).

با توجه به اینکه بسیاری از ویژگی‌های خاک مورد بررسی در این پژوهش در اثر آبیاری با پساب تغییر یافتند و اندازه‌گیری و بررسی تمام این ویژگی‌ها از یک سو وقت‌گیر و هزینه‌بر و از سوی دیگر بررسی تمامی آنها ضروری نیست، بنابراین با استفاده از روش‌هایی مانند PCA برای کاهش تعداد داده‌ها استفاده می‌شود (۲۶، ۱۱ و ۲۸) با استفاده از PCA پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی در مؤلفه‌های اصلی مختلفی قرار گرفتند. مؤلفه‌هایی با مقدار ویژه کمتر از یک بیانگر توصیف بخش کمتری از واریانس توسط آن مولفه نسبت به هر یک از متغیرهای مورد مطالعه است، بنابراین مؤلفه‌های اصلی با مقادیر ویژه بزرگتر از یک برای تفسیر انتخاب شدند پنج مؤلفه اصلی (PC) به دست آمد که PC1 و PC2 با ارزش ویژه ۵۰/۶

درصد به عنوان مهم‌ترین مؤلفه‌های اصلی بودند. مؤلفه اصلی اول با بیشترین مقدار ویژه (۷/۵۶) جدول ۲ دربرگیرنده تعداد پارامترهای بیشتر با ضرایب ویژه بزرگتر نسبت به سایر مولفه‌ها می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود PC1 با ۳۰ درصد واریانس داده‌ها دارای دامنه اطلاعات وسیع‌تری نسبت به سایر مؤلفه‌ها می‌باشد (جدول ۲).



شکل ۱- مقایسه میانگین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خک‌های آبیاری شده با پساب و آب چاه (معنی‌دار بودن در سطح ۵٪)

Figure 1- Mean comparison of physicochemical properties of soil irrigated with Wastewater and control (Significant at 5% probability level)

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مؤلفه‌های پایین‌تر در توضیح میزان تغییرات نقش کمتری دارند (۵). نتایج حاصل از آنالیز مؤلفه‌های اصلی نشان داد که پنج مؤلفه اصلی با مقدار ویژه بزرگتر از یک در برگیرنده ۸۶/۱ درصد تغییرات داده‌های اندازه‌گیری شده بودند (جدول ۲)، و طبق نظر منلی (۲۱) می‌توان گفت پنج مؤلفه اول در این آنالیز دارای بیشترین حجم اطلاعات مجموعه‌ی متغیرهای مورد مطالعه هستند. جهت انتخاب MDS از روش PCA استفاده شد که نتایج آن در جدول ۲ گزارش شده است. در هر مؤلفه پارامتر با ضریب ویژه بالاتر و پارامترهایی با ۱۰ درصد تغییرات بیشترین ضریب ویژه انتخاب شدند (۱۸)، و همبستگی بین پارامترها با پنج مؤلفه اصلی مورد بررسی قرار گرفت و پارامترهایی که همبستگی بالایی با یکدیگر داشتند حذف شدند و تنها یکی از آنها انتخاب شد. بنابراین پارامترهای کربن آلی، نسبت جذب سدیم، نیتروژن، pH، جرم مخصوص ظاهری، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، تنفس میکروبی و پتاسیم قابل دسترس مهم‌ترین پارامترهایی بودند که در نتیجه آبیاری با پساب تغییر یافته‌اند (جدول ۲).

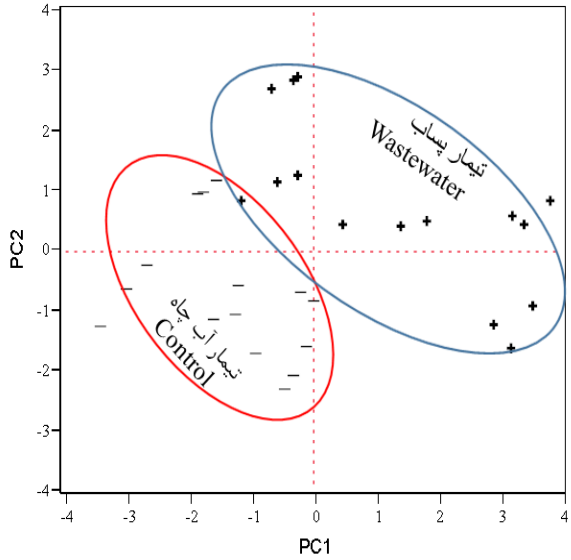
جدول ۲- انتخاب مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر خاک‌های مورد مطالعه

Table 2- Select the most important parameters in the studied soils

متغیرها Variables	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
مقدار ویژه Eigenvalue	4.07	2.01	1.64	1.43	1.17
سهم واریانس Variance (%)	33.9	16.7	13.7	11.9	9.7
واریانس تجمعی Cumulative variance (%)	33.9	50.6	64.5	76.4	86.1
مقدار ویژه متغیرها Eigen value variables					
پ هاش pH	0.029	0.070	**0.651**	0.197	0.072
زیست توده میکروبی MBC (mg/kg)	0.381	-0.148	0.362	0.012	-0.187
تنفس میکروبی BR ($mgCO_2$/3 day)	0.377	0.021	0.252	-0.064	**-0.404**
جرم مخصوص ظاهری BD (g/cm^3)	-0.377	-0.177	0.028	**0.496**	0.175
رس Clay	-0.298	-0.242	0.072	-0.261	-0.303
نسبت جذب سدیم SAR	0.103	**0.554**	0.264	0.169	0.020
شاخص پایداری SI (%)	0.409	-0.043	-0.212	0.294	0.153
میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها MWD (%)	0.012	0.337	-0.353	**0.434**	-0.273
کربن آلی OC (%)	**0.420**	-0.159	-0.146	0.222	0.257
فسفر P (mg/kg)	0.289	0.206	-0.328	-0.359	-0.209
پتاسیم K (mg/kg)	0.093	0.219	0.062	-0.397	**0.677**
نیتروژن TN (%)	0.244	**-0.588**	-0.032	0.030	0.074

در هر مؤلفه اعدادی که زیر آن‌ها خط کشیده و پررنگ هستند به عنوان MDS انتخاب شدند

In each PC, underline and highlighted values were selected as MDS.



شکل ۲- قرارگیری پارامترهای خاک در دو گروه خاک‌های آبیاری شده با پساب و آب چاه با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی

+: نقاط آبیاری شده با پساب؛ -: نقاط آبیاری شده با آب چاه

Figure 2- The soil parameters in both soils irrigated with wastewater and control with using principal component analysis

+:Soil samples irrigated with wastewater; -: Soil samples irrigated with cotrol

نموگراف PC1 و PC2 پارامترهای اندازه‌گیری شده را در دو گروه مجزا قرار داد (شکل ۲). زینگ و همکاران (۳۸) گزارش کردند مقایسه دو نوع خاک با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی، در دو قسمت مجزا از نظر PC1 قرار گرفتند که نشان می‌دهد از نظر ویژگی‌ها با هم تفاوت دارند. بیشتر نقاط آبیاری شده با پساب در PC1 قسمت سمت راست و از نظر PC2 در قسمت بالا قرار داشتند، به عبارتی در قسمت مثبت مؤلفه‌های اصلی قرار دارند و نقاط آبیاری شده با آب چاه در سمت چپ PC1 و از نظر PC2 در قسمت پایین PC قرار داشتند یا به عبارتی در قسمت منفی مؤلفه‌های اصلی قرار دارند. همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است نقاط آبیاری شده با پساب و آب چاه در دو گروه مجزا قرار دارند که نشان می‌دهد آبیاری با پساب بر ویژگی‌های خاک نقش داشته است.

پس از انتخاب مهم‌ترین پارامترها همبستگی بین این پارامترها در دو گروه خاک‌های آبیاری شده با پساب و آب چاه مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۳). کربن آلی در هر دو گروه خاک‌ها بیشترین همبستگی را با شاخص پایداری ساختمان خاک داشت. کربن آلی در خاک‌های آبیاری شده با پساب با تنفس و زیست توده میکروبی، نیتروژن و شاخص پایداری ساختمان خاک همبستگی مثبت بالا و معنی‌داری داشت (۱و ۲۰). در خاک‌های آبیاری شده با آب چاه کربن آلی با شاخص پایداری ساختمان خاک، نیتروژن، تنفس و زیست توده میکروبی همبستگی مثبت و بالایی داشت جدول ۳ که این همبستگی به علت معدنی شدن عناصر غذایی و ماده آلی در خاک‌های آبیاری با آب چاه بود (۱). نسبت جذب سدیم در هر دو گروه خاک‌ها با نیتروژن و فسفر قابل دسترس همبستگی منفی داشت. نیتروژن با کربن آلی، زیست توده و تنفس میکروبی همبستگی بالا و معنی‌دار داشت (۲۰)، که این افزایش به علت منبع نیتروژن و عناصر غذایی (پساب) می‌باشد و باعث بهبود این شرایط شده است. این در حالی است که در خاک‌های آبیاری شده با آب چاه همبستگی منفی با تنفس میکروبی داشت که به علت نبود منبع تغذیه (آب چاه) و مصرف نیتروژن توسط ریزجاندران خاک است (۱)، از طرفی نیتروژن در خاک‌های آبیاری شده با آب چاه با شاخص پایداری ساختمان خاک و کربن آلی همبستگی مثبت داشت. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به عنوان پارامتری بود که در هر دو گروه خاک‌ها به طور کلی با هیچ پارامتری همبستگی نداشت، که نشان می‌دهد تحت تأثیر آبیاری با پساب نبوده و در شکل ۱ هم نشان داده شده است که آبیاری با پساب بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها اثر نداشته است. مشابه با پژوهش دای‌بن و همکارن (۸) pH در خاک‌های آبیاری شده با پساب فقط با زیست توده میکروبی و کربن آلی همبستگی مثبت و در خاک‌های آبیاری شده با آب چاه با تنفس میکروبی، نیتروژن و نسبت جذب سدیم همبستگی مثبت بالا و با شاخص پایداری ساختمان خاک و فسفر همبستگی منفی داشت. به نظر می‌رسد دلیل همبستگی بین pH با کربن آلی و زیست توده میکروبی در خاک‌های آبیاری شده با پساب این است که با افزودن پساب به خاک، سدیم و در نتیجه pH افزایش یافته و همزمان با آن ماده آلی و در نتیجه زیست توده میکروبی نیز افزایش یافته است.

جرم مخصوص ظاهری در خاک‌های آبیاری با پساب با پتاسیم

همبستگی بالای منفی به علت همبستگی بالای پتاسیم با سدیم محلول (۴) و با میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها همبستگی بالای مثبت داشت، در حالی که در خاک‌های آبیاری با آب چاه فقط با تنفس میکروبی همبستگی برابر با ۰/۶ داشته، و می‌توان گفت که کاهش در مقدار جرم مخصوص ظاهری در خاک‌های آبیاری شده با پساب ناشی از افزایش پتاسیم و پراکنش رس‌ها و قرار گرفتن آن‌ها در فضای خالی منافذ بوده است. پتاسیم در خاک‌های آبیاری شده با پساب با پارامترهای کربن آلی، شاخص پایداری ساختمان خاک، جرم مخصوص ظاهری و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها همبستگی منفی و معنی‌دار داشت و با نتایج رنگاسمی (۲۹) که گزارش کردند پتاسیم نقشی مشابه با سدیم در خاک دارد و باعث تخریب ساختمان خاک می‌شود مطابقت دارد زیرا در خاک‌های آبیاری شده با پساب مقدار پتاسیم بالا بود و باعث کاهش شاخص پایدرای ساختمان خاک و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک شده است، در حالی که در خاک‌های آبیاری شده با آب چاه با فسفر و شاخص پایداری ساختمان خاک همبستگی مثبت و با درصد رس و زیست توده میکروبی همبستگی منفی بالا و معنی‌داری داشت. تنفس میکروبی در خاک‌های آبیاری شده با پساب با پارامترهای شاخص پایداری ساختمان خاک، کربن آلی و نیتروژن همبستگی مثبت بالا داشت، که این افزایش به علت کربن و نیتروژن موجود در پساب بوده و سبب افزایش در مقدار آن نسبت به شاهد شده است (شکل ۱).

چنگ و همکاران (۶) رابطه منفی بین فسفر و تنفس خاک را گزارش کردند. لاگو مارسینو و همکاران (۱۷) گزارش کردند که بین تنفس و زیست توده میکروبی در خاک‌های آبیاری شده با پساب همبستگی مثبت و بالایی وجود دارد.

جدول ۳- همبستگی بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در خاک‌های آبیاری شده با پساب و آب چاه

Table 3- The correlation between measured parameters in soils irrigated with wastewater and control

	پ‌هاش pH	زیست توده میکروبی MBC	تنفس میکروبی BR	جرم مخصوص ظاهری BD	رس Clay	نسبت جذب سدیم SAR	شاخص پایداری ساختمان SI	میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها MWD	کربن آلی OC	فسفر P	پتاسیم K	نیتروژن N
پ هاش pH	1	0.55*	0.48	-0.14	-0.3	0.17	0.47	-0.38	0.51*	0.03	0.04	0.35
زیست توده میکروبی MBC	0.1	1	0.8***	-0.36	-0.1	0.08	0.7**	-0.49	0.86***	-0.36	-0.04	0.74***
تنفس میکروبی BR	0.6**	0.29	1	-0.38	-0.17	-0.4	0.62**	-0.3	0.84***	0.02	-0.2	0.96***
جرم مخصوص ظاهری BD	0.19	-0.15	0.66**	1	-0.25	0.39	0.3	0.72***	-0.04	-0.2	-0.75***	-0.4
رس Clay	-0.21	0.55*	-0.1	-0.33	1	-0.14	-0.48	-0.16	-0.42	-0.36	0.09	-0.08
نسبت جذب سدیم SAR	0.63**	-0.24	0.2	0.19	-0.3	1	0.27	-0.1	0.03	-0.57**	-0.01	-0.56*
شاخص پایداری ساختمان SI	-0.55*	-0.64**	-0.7**	-0.23	-0.4	-0.33	1	0.09	0.93***	-0.27	-0.57**	0.49*
میانگین وزنی قطر خاکدانه-هMWD	0.15	-0.26	-0.1	0.11	-0.1	0.48	0.02	1	-0.11	0.03	-0.69**	-0.23
کربن آلی OC	-0.4	0.62*	0.66**	-0.29	-0.5*	-0.3	0.97***	0.01	1	-0.16	-0.37	0.74***
فسفر P	-0.72**	-0.01	-0.52*	-0.46	0.18	-0.62*	0.46	-0.47	0.4	1	0.24	0.1
پتاسیم K	0.19	-0.84***	-0.25	0.17	-0.7**	0.41	0.59*	0.41	0.63**	-0.29	1	-0.17
نیتروژن N	0.62*	-0.23	-0.6**	-0.36	-0.2	-0.73**	0.82***	-0.3	0.82***	0.66**	0.18	1

*، ** و ***: به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵، ۱ و ۰/۱ درصد. *,**and ***: Significant at P < 0.05, 0.01, and 0.001, respectively.

اعدادی که زیر آن خط کشیده شده است نشان دهنده خاک‌های آبیاری شده با پساب می‌باشند.

Underline numbers represent soil samples irrigated with wastewater.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهد آبیاری به مدت ۱۰ سال با پساب اثرات منفی بر ویژگی‌های خاک نداشته است. نتایج نشان داد که آبیاری با پساب سبب افزایش معنی‌دار پارامترهای SI، SAR، فسفر قابل دسترس، MBC، BR و کربن آلی در خاک‌های آبیاری شده با پساب نسبت به شاهد و کاهش معنی‌دار پارامترهای BD و درصد رس در خاک‌های آبیاری شده با پساب نسبت به آب چاه شد و در مورد pH، MWD، نیتروژن و پتاسیم تفاوت معنی‌داری ایجاد نشد. از طرفی مقایسه آنالیز مؤلفه‌های اصلی دو گروه خاک‌های آبیاری شده با پساب و آب چاه را دو گروه مجزا قرار داد که نشان می‌دهد آبیاری با پساب بر خاک‌های مورد مطالعه تأثیر قابل توجهی داشته است. با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی هشت ویژگی کربن آلی، نسبت جذب سدیم، نیتروژن، pH، BD، MWD، BR و پتاسیم قابل دسترس به عنوان مهم‌ترین پارامترها جهت بررسی اثرات آبیاری با پساب انتخاب شدند و برای مقایسه مورد استفاده قرار گرفتند. به طور کلی استفاده از پساب تصفیه خانه پرکند آباد مشهد برای آبیاری در مدت ۱۰ سال، به جز نسبت جذب سدیم بر بیشتر ویژگی‌های خاک تأثیر مثبت داشته است، بنابراین به نظر می‌رسد با توجه به کمبود آب برای آبیاری در مناطق نیمه خشک مثل مشهد، می‌توان با ترکیب این پساب تصفیه شده با آب چاه ضمن تأمین آب آبیاری به بهبود ویژگی‌های خاک نیز کمک نمود.

منابع

1- Adrover M., Farrús E., Moyà G., and Vadell J. 2012. Chemical properties and biological activity in soils of Mallorca following twenty years of treated wastewater irrigation. Journal of Environmental Management 95: S188-S192.

2- Alvarez-Bernal D., Contreras-Ramos S.M., Trujillo-Tapia N., Olalde-Portugal V., Frías-Hernández J.T., and Dendooven L. 2006. Effects of tanneries wastewater on chemical and biological soil characteristics. Applied Soil Ecology 33(3): 269-277.

3- Bond W.J. 1998. Effluent irrigation-an environmental challenge for soil science. Australian Journal of Soil Research 36(4): 543-556.

4- Bourazanis G., Katsileros A., Kosmas C., and Kerkides P. 2016. The Effect of Treated Municipal Wastewater and Fresh Water on Saturated Hydraulic Conductivity of a Clay-Loamy Soil. Water Resources Management 30(8): 2867-2880.

5- Chen W., Wu L., Frankenberger W.T., and Chang, A.C. 2008. Soil enzyme activities of long-term reclaimed wastewater-irrigated soils. Journal of Environmental Quality 37(5): S-36.

6- Cheng Q., Guo Y., Wang W., and Hao S. 2014. Spatial variation of soil quality and pollution assessment of heavy metals in cultivated soils of Henan Province, China. Chemical Speciation and Bioavailability 26(3): 184-190.

7- del Mar Alguacil M., Torrecillas E., Torres P., García-Orenes F., and Roldán A. 2012. Long-term effects of irrigation with waste water on soil AM fungi diversity and microbial activities: The Implications for Agro-Ecosystem Resilience 7(10): e47680.

8- Di Bene C., Pellegrino E., Debolini M., Silvestri N., and Bonari E. 2013. Short-and long-term effects of olive mill wastewater land spreading on soil chemical and biological properties. Soil Biology and Biochemistry 56: 21-30.

9- Doran J.W., and Parkin T.B. 1994. Defining and assessing soil quality. Defining soil quality for a sustainable environment, (definingsoilqua), 1-21.

10- Frenk S., Hadar Y., and Minz D. 2014. Resilience of soil bacterial community to irrigation with water of different qualities under Mediterranean climate. Environmental Microbiology 16(2): 559-569.

11- Ghaemi M., Astaraei A.R., Emami H., Nassiri Mahallati M., and Sanaei Nejad S.H. 2014. Determining soil indicators for soil sustainability assessment using principal component analysis of Astan Quds- east of Mashhad-Iran. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 14: 987-1004.

12- Heinze S., Chen Y., El-Nahhal Y., Hadar Y., Jung R., Safi J., and Marschner B. 2014. Small scale stratification of microbial activity parameters in Mediterranean soils under freshwater and treated wastewater irrigation. Soil Biology and Biochemistry 70: 193-204.

13- Isermeyer H. 1952. Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden. Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 56(1-3): 26-38.

14- Johnson R.A., and Wichern D.W. 2002. Applied multivariate statistical analysis. 5th ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.15- Kemper W.D., and Rosenau R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. In: Klute A. (ed), Methods of soil analysis. Part1. Agronomy monographs, 9. America Society of Agronomy, Madison, WI.

16- Lado M., and Ben-Hur M. 2009. Treated domestic sewage irrigation effects on soil hydraulic properties in arid and

semiarid zones: A review. Soil and Tillage Research 106(1): 152-163.
17- Lagomarsino A., Moscatelli M.C., Di Tizio A., Mancinelli R., Grego S., and Marinari S. 2009. Soil biochemical indicators as a tool to assess the short-term impact of agricultural management on changes in organic C in a Mediterranean environment. Ecological Indicators 9(3): 518-527.
18- Lyu S., and Chen W. 2016. Soil quality assessment of urban green space under long-term reclaimed water irrigation. Environmental Science and Pollution Research 23(5): 4639-4649.
19- Mahida U.N. 1981. Water Pollution and Disposal of Wastewater on Land. Mc Growhill pub. New Delhi. 323p.
20- Masto R.E., Chhonkar P.K., Singh D., and Patra A.K. 2009. Changes in soil quality indicators under long-term sewage irrigation in a sub-tropical environment. Environmental Geology 56(6): 1237-1243.
21- Manly B.F.J. 1994. Multivariate statistical methods (Second edition). Chapman and Hall.
22- Morugán-Coronado A., García-Orenes F., Mataix-Solera J., Arcenegui V., and Mataix-Beneyto J. 2011. Short-term effects of treated wastewater irrigation on mediterranean calcareous soil. Soil and Tillage Research 112(1): 18-26.
23- Neter J., Kutne M.H., Nachtsheim C.J., and Wasserman W. 1996. Applied linear statistical models (4th ed.). Irwin Series in Statistics. Irwin Publ., Chicago, IL.
24- Olsen S.R. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate.
25- Pieri C.J.M.G. 1992. Fertility of Soils: A Future for Farming in the West African Savannah. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
26- Qi Y., Darilek J.L., Huang B., Zhao Y., Sun W., and Gu Z. 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. Geoderma 149(3): 325-334.
27- Qishlaqi A., Moore F., and Forghani G. 2008. Impact of untreated wastewater irrigation on soils and crops in Shiraz suburban area, SW Iran. Environmental monitoring and assessment, 141: 257-273.
28- Ranjbar A., Emami H., Khorassani R., and Karimi Karouyeh A. 2016. Soil quality assessments in some iranian saffron fields. Journal of Agricultural Science and Technology 18: 865-878. (In Persian)
29- Rengasamy P. 2010. Soil processes affecting crop production in salt-affected soils. Functional Plant Biology 37(7): 613-620.
30- Rhee H.P., Yoon C.G., Son Y.K., and Jang J.H. 2011. Quantitative risk assessment for reclaimed wastewater irrigation on paddy rice field in Korea. Paddy and Water Environment 9(2): 183-191.
31- Rusan M.J., Albalasmeh A.A., and Malkawi H.I. 2016. Treated olive mill wastewater effects on soil Properties and plant growth. Water, Air, and Soil Pollution 227(5): 1-10.
32- Rohani Shahraki F., Mahdavi R., and Rezaee M. 2005. Effect of Irrigation with Wastewater on Certain Soil Physical and Chemical properties. Journal of Water and Sewage 16 (1): 23- 29. (In Persian)
33- Schipper L.A., Williamson J.C., Kettles H.A., and Speir T.W. 1996. Impact of land-applied tertiary-treated effluent on soil biochemical properties. Journal of Environmental Quality 25(5): 1073-1077.
34- Sepaskhah A.R., and Karizi A. 2011. Effects of alternate use of wastewater and fresh water on soil saturated hydraulic conductivity. Archives of Agronomy and Soil Science 57: 149-158.
35- Sumner M.E. 1995. Sodic soils: New perspectives. In Australian Sodic Soils: Distribution, Properties and Management, pp. 1–34. CSIRO Publications, Melbourne, Victoria.
36- Vance E.D., Brookes P.C., and Jenkinson D.S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass Carbon. Soil biology and Biochemistry 19(6): 703-707.
37- Vogeler I. 2009. Effect of long-term wastewater application on physical soil properties. Water, air, and soil pollution 196(1-4): 385-392.
38- Xing Z., Du C., Zeng Y., Ma F., and Zhou J. 2016. Characterizing typical farmland soils in China using Raman spectroscopy. Geoderma 268: 147-155.

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 2, May-Jun. 2019, p. 305-316

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۸، ص. ۳۱۶-۳۰۵

Application of Principle Component Analysis to Identify the Changes of Soil Properties due to Wastewater Irrigation in Margin Lands of Kashafrood River

S. Hajinamaki[1]- H. Emami[2]*- A. Fotovat[3]

Received: 10-09-2018
Accepted: 20-05-2019

Introduction: Water scarcity is one of the important issues in agriculture, especially in arid and semi-arid regions of Iran. Therefore, the challenge for the agriculture in these areas is to find new sources of water for irrigation. One of the ways that has become more common in recent years is the reuse of wastewater as a secondary source and replaces drinking water. The effects of irrigation with wastewater on physical, chemical and biological properties of soil have been studied by many researchers, which most of them are based on the direct use of untreated wastewater in agricultural land irrigation. In fact, a large amount of wastewater used in the agriculture is indirectly entered into the rivers, and used in the agriculture lands. Irrigation with wastewater may have effects on soil properties such as pH, EC, nutrient content, sodicity, pollutants and etc.

Materials and Methods: In order to determine the effect of irrigation by wastewater on soil properties in May 2015, several points of the Kashafrood River in the north of Mashhad were selected. The studied points were located between 59˚36′- 59˚41′ E and 36˚19′- 36˚22′ N geographical position. The wastewater is refined in Parkandabad station, and used for irrigation. The samples were taken from a depth of 0-30 cm in each point and three replications were regarded for them. Sampling distance was one kilometer from each other. In general, 15 points were irrigated with wastewater were selected. 12 physical, chemical and biological properties including pH, soil texture, bulk density (BD), dispersible clay (DC), mean weight diameter of aggregates (MWD), sodium adsorption ratio (SAR), organic carbon (OC), available phosphorous (P), available potassium (k), total nitrogen (TN), microbial biomass and base respiration (BR) were measured as a total data set (TDS). According to Liu and Chen the main component with an Eigen value greater than one using the PCA method were chosen as minimum data set (MDS). Within each PC, highly weighted properties were defined as those with absolute values within 10% of the highest weighted loading. When more than one variable was retained in a PC, each was considered important and was retained in the MDS if they were not correlated ($r < 0.60$). Among well-correlated variables within a PC, the variable having the highest correlation sum was selected for the MDS. Data analysis were performed using SPSS Statistics22 software.

Results and Discussion: The results showed that irrigation with wastewater increased biomass and BR, OC, SAR, K and stability index of soil structure. The parameters of K, TN, pH and MWD have been increased compared to the control, but were not statistically significant. Using PCA, five PCs were obtained, which PC1 and PC2 with Eigen value of 50.6 % were the most important components. The parameters of OC, SAR, TN, pH, BD, MWD, BR and K were chosen as MDS due to be changed as a result of irrigation with wastewater. Then, the correlations between these parameters in two groups of irrigated soils with wastewater and control were investigated. Organic carbon in both soil groups had the highest correlation with the SI. The SAR in both soil groups was negatively correlated with nitrogen and phosphorus. Nitrogen in irrigated soils with control was positively correlated with the SI and OC. The MWD was not correlated with any parameter. PH had shown positive correlation with microbial biomass and OC was positively correlated with BR, TN and SAR in soil controls. Potassium in the irrigated soils with wastewater had the negative and significant correlation with OC, SI, BD and MWD. Microbial respiration had a high positive correlation with SI, OC and TN in irrigated soils, which is due to carbon and nitrogen in the wastewater and causes an increase in its amount compared with the control.

Conclusion: The results showed that irrigation with wastewater caused a significant increase in parameters SI, SAR, P, BR, MBC and organic carbon in irrigated soil with wastewater and pH, MWD, TN and K had no a significant difference. On the other hand, the principal component analysis of the two groups of irrigated soils with wastewater and control had two distinct groups indicating that the irrigation with wastewater had a

1, 2 and 3- Former M.Sc. Student, Associate Professor and Professor of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Respectively
(*- Corrseponding Athour Email: hemami@um.ac.ir)

significant impact on the soil properties. According to the principal components analysis, eight parameters including OC, SAR, TN, MWD, BD, pH, BR and K were selected as the most important parameters to study the effects of irrigation by wastewater.

Keywords: Irrigation, Parkandabad, Refinery wastewater, Soil quality