نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۱، ص. ۵۷۴-۵۶۳

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 3, Jul-Aug 2012, p. 563-574

تأثیر کاربرد فاضلاب‌های شهری بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک شور و کیفیت شیمیایی زه‌آب‌های خروجی از ستون‌های خاک

اعظم حسین پور بوری آبادی[۱*] – غلامحسین حق نیا [۲] – امین علیزاده [۳] – امیر فتوت [٤]

تاریخ دریافت: ۸۹/۴/۳
تاریخ پذیرش: ۹۱/۲/۲۴

چکیده

افزایش جمعیت، محدودیت منابع آب و همچنین حجم عظیم فاضلاب‌های شهری و لزوم دفع مناسب آن‌ها، ضرورت بهره‌گیری مجدد از فاضلاب را افزایش داده است. دفع فاضلاب در خاک یکی از باصرفه‌ترین روش‌های تخلیه است. خصوصیات مختلف خاک، نوع فاضلاب و روش کاربرد آن از جمله مواردی هستند که بر کارائی خاک در تصفیه فاضلاب تاثیر می‌گذارند. به این منظور آزمایشی در ۱۲ ستون پلی‌اتیلنی در ۷ دوره ۱۵ روزه در قالب فاکتوریل در دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. فاضلاب‌خام و تصفیه‌شده تصفیه‌خانه پرکند آباد مشهد به ستون‌های پر شده از خاک لوم‌سیلتی در دو شرایط غرقاب پیوسته و متناوب بکار برده شدند. در پایان آزمایش نیز ستون‌های خاک برش داده شدند و نمونه‌های خاک از اعماق ۲۵–۰، ۵۰–۲۵ و ۱۰۰–۵۰ سانتی‌متری هر ستون جمع‌آوری گردیدند. ویژگی‌هایی مانند اسیدیته، شوری، غلظت نیترات، فسفات، کربن‌آلی‌کل، نیکل و کادمیم در نمونه‌های بخش محلول خاک و همچنین زه‌آب‌های جمع‌آوری شده در هر دوره آزمایش اندازه‌گیری شدند. نتایج به دست آمده بیانگر آن است که میانگین مقدار تمام پارامترهای فوق (به جز اسیدیته و شوری) در زه‌آب‌های خروجی، همواره کمتر از میانگین مقدار آن در فاضلاب‌های ورودی به خاک است اما با استمرار کاربرد فاضلاب‌ها در طول زمان بر مقدار آن‌ها (به جز شوری و نیکل) افزوده شده است. مقدار کادمیم در نمونه‌های زه‌آب در هیچ دوره قابل تشخیص نبود. در بررسی تأثیر کاربرد فاضلاب‌ها بر خصوصیات شیمیایی خاک نیز مشخص گردید که مقدار تمامی ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری (به جز شوری) در مقایسه با مقدار اولیه آن‌ها در محلول خاک افزایش یافته‌اند. بنابراین با توجه نتایج به دست آمده، تخلیه فاضلاب‌های مورد استفاده به ویژه فاضلاب‌خام باید با مدیریت صحیحی صورت گیرد تا بتوان ضمن بهره‌گیری مطلوب از آن‌ها، خطرات زیست محیطی ناشی از تخلیه آن‌ها در محیط پیرامون را نیز به حداقل ممکن کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: ستون‌های خاک، فاضلاب خام و تصفیه شده، غرقاب پیوسته و متناوب، کیفیت شیمیایی زه‌آب‌ها، ویژگی‌های شیمیایی خاک

مقدمه

رشد روز افزون جمعیت جهان، کمبود آب و تقاضای فزاینده آن و همچنین حجم عظیم فاضلاب‌های تولیدی در مناطق مختلف جهان، ضرورت استفاده مجدد از فاضلاب‌ها را افزایش داده است (۲۵). پژوهش‌ها نشان می‌دهند که تخلیه فاضلاب‌خام در محیط زیست خطرات بهداشتی و زیست محیطی زیادی را به دنبال دارد. این در حالی است که به رغم تصویب قوانین مختلف در لزوم تصفیه فاضلاب و سپس رها سازی آن در محیط زیست، استفاده از فاضلاب خام و یا بسیار جزئی تصفیه شده در کشورهای در حال توسعه روند رو به رشدی دارد (۱۶، ۱۹ و ۲۵). در ایران نیز به دلیل حاکم بودن اقلیم خشک و نیمه خشک و فشارهای شدید وارد شده بر منابع آب تجدیدپذیر در نتیجه وقوع خشکسالی‌های چند ساله اخیر و توسعه روز افزون شهرنشینی و به تبع آن، تولید حجم انبوهی از فاضلاب‌های شهری، استفاده از این فاضلاب‌ها برای مصارف کشاورزی روز به روز در حال افزایش است. این در حالی است که خاک بیش از ۵۰ درصد از اراضی زیر کشت آبی کشور، شور است که سطح کلی آن‌ها در حدود ۲۵ میلیون هکتار می‌باشد. بنابراین به بررسی استفاده از فاضلاب در این خاک‌ها نیز باید به طور جدی پرداخته شود. از طرفی بررسی‌ها نشان می‌دهند تخلیه فاضلاب در خاک یکی از متداول‌ترین شیوه‌های دفع فاضلاب است (۱۹ و ۲۸). مقدار زیاد ماده آلی و عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در فاضلاب، تاثیر مثبت این مواد آلی بر

۱، ۲ و ۴- به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استاد و دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: azamhoseinpour@yahoo.com)
۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

خصوصیات مختلف خاک و نیز در دسترس بودن خاک از جمله مهمترین دلایل ضرورت تخلیه فاضلاب در خاک می‌باشند (۱۹). بدیهی است که کاربرد فاضلاب شهری به ویژه پس از مدت طولانی، بر ویژگی‌های گوناگون خاک از جمله ویژگی‌های شیمیایی آن تأثیر می‌گذارد که برای ارزیابی موفق فاضلاب باید مورد بررسی قرار گیرند. عدم مدیریت صحیح تخلیه فاضلاب به اهداف گوناگون در خاک پیامدهای ناگواری مانند آلودگی منابع آب به ویژه آب‌های زیرزمینی، خاک و گیاه را به دنبال دارد. پژوهش‌های زیادی درباره تغییر خصوصیات خاک بر اثر کاربرد فاضلاب انجام شده است که از آن جمله می‌توان به پژوهش حسین و همکاران (۱۶) اشاره کرد به طوری که آن‌ها افزایش عناصر غذایی مانند نیتروژن و فسفر، افزایش شوری و نیز مقدار فلزات سنگین را در خاک پس از کاربرد فاضلاب تصفیه شده گزارش کردند. کیزیلوگلو و همکاران (۱۹) به بررسی تأثیر آبیاری با فاضلاب خام و تصفیه شده بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک آهکی در کشور ترکیه پرداختند و دریافتند که آبیاری با فاضلاب به طور معنی داری ویژگی‌های شیمیایی خاک را در عمق (۳۰-۰ سانتی متری) تحت تأثیر قرار داده است. به طوری که آبیاری با فاضلاب سبب افزایش شوری، میزان مواد آلی خاک، کاتیون‌های سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم تبادلی خاک، فسفر قابل دسترس گیاه و کاهش اسیدیته خاک شده است. اگر چه کاربرد فاضلاب اثرات سوئی همچون آلودگی خاک به فلزات سنگین را در بر نداشته است. آنها همچنین گزارش کردند که از فاضلاب خام (با احتیاط) می‌توان برای زمین‌های کشاورزی در کوتاه مدت استفاده نمود در حالی که از فاضلاب تصفیه شده می‌توان برای مدت طولانی استفاده نمود. کلی و همکاران (۲۰) در تحقیقی به بررسی تأثیر آبیاری با فاضلاب تصفیه شده بر ویژگی‌های شیمیایی (همچون شوری، میزان کربن آلی خاک، نیتروژن و فلزات سنگین)، هفت پروفیل مختلف خاک پرداختند و دریافتند که طی آبیاری مکرر با فاضلاب دارای شوری بالا، شوری خاک و میزان فلزات سنگینی چون کادمیم و سرب افزایش یافته است. پروان (۴) نیز گزارش کرد که استفاده از فاضلاب تصفیه شده، کاهش اسیدیته، افزایش شوری، افزایش عناصری چون سدیم، کلسیم، منیزیم، کلر در بخش محلول خاک و افزایش نیتروژن کل، فسفر قابل جذب و افزایش عناصر سنگینی مانند نیکل، کادمیم و کرم را به دنبال داشته است. آقابراتی و همکاران (۲) نیز گزارش کردند که آبیاری با فاضلاب شهری جنوب تهران، سبب افزایش معنی‌دار غلظت کاتیون‌های محلول چون سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم، نیتروژن، فسفر و همچنین فلز سنگینی چون کادمیم در خاک می‌شود. بدیهی است علاوه بر تأثیراتی که استفاده از فاضلاب‌ها بر خصوصیات مختلف خاک می‌گذارد، خاک‌ها نیز با دارا بودن خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی پیچیده، توانایی زیادی در بهبود کیفیت آب‌های آلوده‌ای نظیر فاضلاب‌ها دارند. خصوصیات مختلف خاک، نوع فاضلاب و درجه تصفیه آن و همچنین روش کاربرد فاضلاب از جمله مواردی هستند که بر کارائی خاک در تصفیه فاضلاب تاثیر می‌گذارند (۱۲). برای آگاهی از کارایی خاک در تصفیه فاضلاب، نیاز به روشی است تا بتوان از طریق آن اطلاعاتی را در مورد مکانیسم‌های موضعی انتقال و تجمع املاح و آلاینده‌ها به دست آورد. بدین منظور از مطالعات ستونی استفاده می‌گردد. این مطالعات در مقایسه با سایر روش‌های آزمایشگاهی از مزایایی زیادی برخوردارند که از مهمترین آن‌ها می‌توان استفاده از نسبت‌های کم خاک به محلول، عدم نیاز به جداسازی محلول از خاک، عدم نیاز به تکان دادن برای ترکیب خاک با محلول، شبیه سازی بهتر شرایط مزرعه‌ای و ارائه داده کافی برای مدل‌های پیش بینی با هزینه نسبتاً کم را نام برد (۲۴). مطالعات ستونی طی دهه‌های اخیر در کشورهای مختلف جهان از جمله ایران توجه زیادی را به خود معطوف داشته‌اند که از آن جمله می‌توان به بررسی تغییرات غلظت نیکل و روی فاضلاب خام و پساب شهری در اثر عبور از ستون‌های خاک توسط پارسافر و همکاران (۳) اشاره کرد که گزارش کردند میانگین غلظت دو فلز نیکل و روی در زه‌آب‌های خروجی، کمتر از میانگین غلظت آنها در فاضلاب‌های ورودی به ستون‌های خاک است. همچنین مقدار این دو فلز در زه‌آب خروجی در ستون‌های آبیاری شده با فاضلاب خام بیشتر از سایر تیمارها می باشند. احمدی شاپورآبادی و همکاران (۱) نیز در تحقیقی به بررسی تاثیر پساب فاضلاب بر اصلاح خاک‌های شور و سدیمی اراضی جنوب تهران از طریق ستون‌های خاک پرداختند و دریافتند که که استفاده از ۱۰۰ سانتی متر پساب برای آبشویی، باعث کاهش شوری در کل نیمرخ خاک به میزان ۵۶ درصد شده است. جلالی و همکاران (۱۷) در آزمایشی که از طریق ستون‌های خاک انجام شد، به بررسی تأثیر آبیاری با فاضلاب بر سدیمی‌شدن و آبشویی عناصر غذایی در خاک‌های آهکی پرداختند و دریافتند که آبیاری با فاضلاب‌هایی که شور و سدیمی‌تر از آب‌های زیرزمینی منطقه هستند، سبب افزایش سرعت سدیمی‌شدن آب‌های زیرزمینی کم عمق می‌گردد. بنابراین تخلیه مناسب فاضلاب در خاک به هر هدفی که باشد، نیازمند مدیریت خاص و آگاهی از قابلیت تصفیه اجزاء مختلف فاضلاب توسط خاک و همچنین تأثیرکاربرد فاضلاب بر خصوصیات مختلف خاک از جمله خصوصیات شیمیایی آن است. به طوری که ضمن بهره‌گیری مطلوب از فاضلاب، مخاطرات زیست محیطی و بهداشتی به حداقل ممکن کاهش یابد. به همین منظور در این پژوهش، تغییر کیفیت شیمیایی فاضلاب خام و تصفیه شده شهری در اثر عبور از ستون های خاکی شور با گذشت زمان (از طریق بررسی کیفیت زه‌آب‌های خروجی از ستون‌های خاک) و همچنین تأثیر کاربرد فاضلاب‌ها بر برخی خصوصیات شیمیایی این خاک، مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و رو ش‌ها

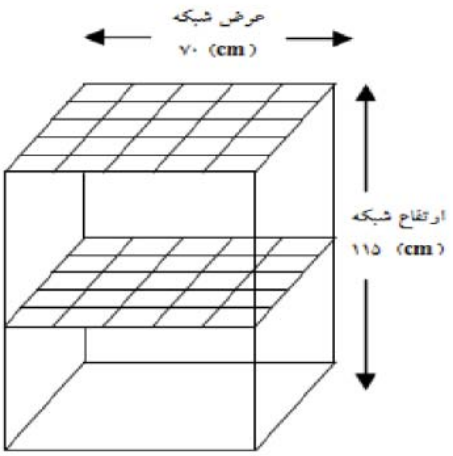
این پژوهش با دو تیمار نوع فاضلاب (فاضلاب خام و فاضلاب تصفیه شده) و نحوه کاربرد فاضلاب (غرقاب پیوسته و متناوب) در قالب طرح آماری فاکتوریل در ۳ تکرار به صورت تصادفی در مدت ۱۰۵ روز در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی مشهد انجام گردید. برای اجرای آزمایش در مجموع ۱۲ عدد ستون از پلی‌اتیلن در نظر گرفته شد. ارتفاع ستون‌ها ۱۵۰ و قطر داخلی آن‌ها ۱۱ سانتی‌متر بود. پس از انتخاب ستون‌ها، اولین و ضروری‌ترین نکته قابل پیش بینی استقرار ستون‌ها به منظور عدم حرکت آنها بود. به این منظور شبکه‌ای فلزی پیش‌بینی شد. ارتفاع شبکه فلزی در حدود ۱۱۵ و عرض آن ۷۰ سانتی‌متر بود. شبکه طوری طراحی شد تا ضمن استقرار کامل ستون‌ها، شیب خاصی در آن وجود نداشته باشد. فاصله ۲۵ سانتی‌متر انتهای شبکه تا زمین طوری طراحی شد که کشویی فلزی در داخل آن قرار می‌گرفت که محل قرار گرفتن ظروف جمع‌آوری زه‌آب‌ها بود. در شکل ۱ تصویر شماتیکی از شبکه فلزی آورده شده است و در شکل ۲ شکل کلی مجموعه شبکه فلزی و ستون‌های خاک مشخص می‌باشد. به منظور انسداد بخش انتهایی ستون‌ها و در عین حال برقراری امکان خروج زه‌آب‌ها، از پارچه متقال، یک لایه پلاستیک و توری پلاستیکی استفاده شد. نحوه انسداد انتهای ستون‌ها به این ترتیب بود که ابتدا یک لایه پارچه متقال که قبلا شسته شده بود، به انتهای ستون‌ها پیچیده شد. سپس یک لایه پلاستیک ضخیم که روزنه‌ای به قطر ۵ سانتی‌متر در وسط آن ایجاد شده بود به انتهای ستون‌ها پیچیده شد. استفاده از این لایه جهت کاهش حرکت جانبی آب در انتهای ستون‌ها در نظر گرفته شد تا آبی به خارج ظروف در نظرگرفته شده برای جمع آوری زه‌آب‌ها ریخته نشود و علاوه بر آن شبکه فلزی به طور مستقیم در تماس با زه‌آب‌های خروجی نباشد. سپس یک لایه توری پلاستیکی با قطر روزنه‌های یک میلی‌متری به منظور استحکام کافی بخش انتهایی کشیده شد. در این تحقیق به منظور پر نمودن ستون‌ها از خاک؛ پس از نمونه‌برداری از عمق سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متری) خاکی با بافت لوم‌سیلتی، نمونه هوا خشک شده و از الک با قطر روزنه‌های یک سانتی‌متری عبور داده شد. جداسازی ذرات بیش از حد درشت امکان یکنواختی بیشتر خاک را فراهم می‌آورد. وجود منافذ بیش از حد بزرگ سبب ایجاد جریان ترجیحی در ستون‌های خاک می‌گردد. در مطالعات آزمایشگاهی آبشویی معمولا به خاک به صورت یک مخلوط یکنواخت می‌نگرند که آب از میان تمام ماتریکس خاک عبور می‌کند بنابراین احتمال اینکه آب و املاح بتوانند از طریق مسیرهای ترجیحی عبور کنند نادیده گرفته می‌شود (۸). بررسی منحنی دانه‌بندی خاک نشان داد که مقدار ذرات بزرگتر از دو میلی‌متر در آن برابر ۰/۰۵ درصد نمونه اولیه خاک می‌باشد که براساس طبقه‌بندی کشاورزی (USDA)، این خاک به صورت لوم سیلتی بدون ریگ طبقه بندی می‌شود. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد نظر در جدول ۱ آورده شده است. پر شدن ستون‌ها با خاک طی مراحل زیر صورت پذیرفت. بدین ترتیب که ابتدا ستون‌ها به ارتفاعی حدود ۱۵ سانتی‌متر با ذرات ریگ در اندازه‌های مختلف پر شدند. مایول و همکاران (۲۳) به منظور زهکشی بهتر آب و املاح از ستون‌های خاک از ذرات ریگ استفاده کردند و بیان داشتند که ذرات ریگ در برابر جریان مقاومت ناچیزی دارند و همچنین سطح ویژه آنها برای جذب املاح بسیار کم است. بنابراین استفاده از آنها در این تحقیق نیز به منظور زهکشی بهتر ستون‌های خاک بود. سپس مقدار خاک لازم برای پر نمودن ستون‌ها به ارتفاعی برابر با ۹۵ سانتی‌متر با توجه به جرم مخصوص ظاهری خاک محاسبه و به صورت تدریجی در طی چند مرحله بدون هیچگونه عملیات تراکمی خاصی اضافه گردید. اساس پر کردن ستون‌ها با خاک بر اساس روش ارائه شده توسط فولر و واریک (۱۱) انجام شد. در انتها ارتفاعی حدود ۵ سانتی‌متر شن ریز ریخته شد. ارتفاع نهایی خاک ۱۰۰ سانتی‌متر بود. حسن اقلی (۶) نیز در آماده سازی ستون‌های خاک از شن بسیار ریز استفاده کرد و بیان کرد که استفاده از شن ریز در سطح خاک به دلایل متعددی می‌باشد که از جمله آنها می‌توان ایجاد یکنواختی بیشتر و تهیه بستری مناسب برای نفوذ آب در لایه سطحی، جلوگیری از تشکیل سله و درز و ترکهای احتمالی در سطح خاک اشاره نمود. فضای فوقانی ستون‌ها به ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر به صورت عمق آزاد جهت افزودن فاضلاب در نظر گرفته شد. از فاضلاب خام و فاضلاب تصفیه شده، تصفیه خانه پرکند آباد به عنوان منبع آب استفاده گردید. سیستم تصفیه در این تصفیه خانه از نوع لاگون هوادهی با اختلاط کامل می باشد. این تصفیه‌خانه در حاشیه جنوبی رودخانه فصلی کشف رود در شمال غرب مشهد به فاصله ۱۰ کیلومتری از میدان آزادی قرار گرفته است. فاضلاب جمع‌آوری شده از مناطق غربی مشهد که شامل فاضلاب انسانی و بخشی از فاضلاب شهرک صنعتی توس می‌باشد به این تصفیه‌خانه هدایت می‌شود. این تصفیه‌خانه از واحدهای مختلفی تشکیل شده است که شامل آشغالگیری، لاگون هوادهی، ته‌نشینی، جلادهی و کلرزنی می‌باشد. نمونه برداری از فاضلاب‌خام از خروجی آشغال‌گیری اولیه و فاضلاب تصفیه شده به دلیل فعال نبودن واحد کلرزنی از خروجی استخر جلادهی انجام گرفت. با توجه به این که نگهداری فاضلاب‌ها به دلیل مشکلات متعدد از قبیل تغییر کیفیت آن در نتیجه تجزیه مواد توسط باکتری‌ها (تصفیه بی‌هوازی) و ایجاد بوی نامطلوب عملا امکانپذیر نبود، در هر مرحله استفاده اقدام به تهیه و انتقال فاضلاب تازه به محل آزمایش گردید. با توجه به درصد تخلخل (۵۴/۷ درصد) و حجم کل خاک (۹۴۹۸/۵ سانتی‌متر مکعب)، حجم فاضلاب لازم برای غرقاب نمودن خاک حدود ۵/۲ لیتر محاسبه گردید که در عمل حجم فاضلاب مورد استفاده، ۶ لیتر در هر دوره در نظر گرفته شد. با توجه به تبخیر

فاضلاب از سطح خاک و همچنین لزوم عبور حجم یکسانی از فاضلاب از تمام ستون‌ها، لذا افزایش میزان عبور فاضلاب به عنوان یک ضریب اطمینان عمل می‌کند. به طوری که اگر در این شرایط نتایج قابل قبولی از نظر میزان انتقال مواد موجود در فاضلاب‌ها به عمق خاک حاصل شود، در شرایط طبیعی به دلیل یکپارچگی و پیوستگی خاک و اراضی نتایج بهتری به دست می‌آید. در حقیقت با این کار سعی شد تا در اجرای آزمایش، عملا بدترین و بحرانی‌ترین شرایط ممکن در نظر گرفته شود. نحوه کاربرد فاضلاب‌ها به این صورت بود که در شرایط کاربرد پیوسته، ۶ لیتر فاضلاب در سطح ستون‌های خاک به یکباره به کار برده می‌شد و در انتهای ۱۵ روز زه‌آب‌ها جمع‌آوری می‌گردیدند.

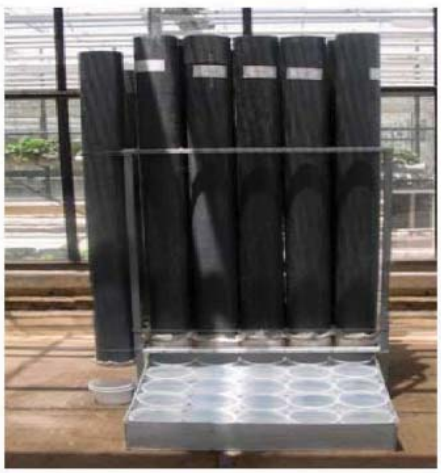
جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

پارامتر	واحد	مقدار در خاک
شن	٪	۱۵/۷۰
سیلت	٪	۶۰/۴۲
رس	٪	۲۳/۸۸
جرم مخصوص ظاهری	g/cm^3	۱/۲۰
جرم مخصوص حقیقی	g/cm^3	۲/۶۵
آهک	٪	۱۱/۵۲
اسیدیته	--	۷/۳۵
شوری	dS/m	۶/۹۸
سدیم	meq/l	۳۱/۲۹
پتاسیم	meq/l	۰/۱۵
کلسیم	meq/l	۱۶/۰۰
منیزیم	meq/l	۱۷/۰۰
نسبت جذب سدیم	$(meq/l)^{0.5}$	۷/۷۰
نیتروژن- نیتراتی	mg/l	۰/۷۹
فسفر- فسفاتی	mg/l	۰/۰۲۳
کربن آلی کل	mg/l	۹/۵۰
نیکل	mg/l	۰/۰۲۴
کادمیم	mg/l	ناچیز

در اعمال کاربرد متناوب فاضلاب‌ها، همان مقدار فاضلاب درنظر گرفته شده (۶ لیتر) به ۳ قسمت تقسیم شده و هر ۵ روز به کار برده می شد و مانند شرایط قبلی زه‌آب‌ها جمع‌آوری می‌گردیدند به طوری که در انتهای ۱۵روز حجم ثابتی از فاضلاب از تمامی ستون‌ها عبور می‌کرد. آزمایش در ۷ دوره ۱۵ روزه انجام شد و در هر دوره نمونه‌های زه‌آب‌ها جمع‌آوری و برای تجزیه شیمیایی به آزمایشگاه انتقال داده شدند. در پایان آزمایش، ستون‌های خاک برش داده شدند و نمونه‌های خاک از اعماق ۲۵-۰، ۵۰-۲۵و ۱۰۰-۵۰ سانتی‌متری هر ستون جمع‌آوری گردیدند. سپس نمونه‌های خاک هوا خشک شده و از الک با قطر روزنه‌های دو میلی‌متری عبور داده شدند.



شکل ۱- تصویر شماتیک از شبکه فلزی



شکل ۲- نمای کلی مجموعه ستون های خاک

پس از آن از نمونه‌های خاک گل اشباع تهیه شد و برای استخراج بخش محلول خاک از دستگاه عصاره‌گیر خلاء استفاده شد. پارامترهایی مانند اسیدیته (pH)، شوری، غلظت کاتیون‌های محلول (سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم)، نیتروژن-نیتراتی، فسفر-فسفاتی، کربن‌آلی‌کل (TOC)[1] و دو فلز سنگین نیکل و کادمیم در بخش محلول نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شدند. در فاضلاب خام، فاضلاب تصفیه‌شده و نمونه‌های زه‌آب جمع‌آوری شده، این پارامترها در هر دوره انجام آزمایش اندازه‌گیری شدند. به طوری که pH توسط دستگاه pH متر الکترونیکی، شوری توسط هدایت سنج الکترونیکی، کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون با EDTA ۰/۰۱ نرمال، سدیم و پتاسیم با دستگاه فلایم فتومتر مدل (Jenway-PFP7)، نسبت جذب سدیم (SAR)[2] از طریق محاسبه، نیترات با استفاده از دستگاه کجلدال، فسفر محلول با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر به روش اولسن، TOC توسط دستگاه مدل (Shimadzu TOC-V_{CPH})، و غلظت دو فلز سنگین نیکل و کادمیم به وسیله دستگاه جذب اتمی مجهز به کوره گرافیتی[3] اندازه‌گیری شدند. غلظت نیکل و کادمیم در فاضلاب خام و پساب به دلیل وجود ذرات شناور ابتدا با تیزاب سلطانی[4] (نسبت ۳ اسید کلریدریک غلیظ به ۱ اسید نیتریک غلیظ) هضم و سپس خوانده شدند.

نتایج و بحث

نتایج میانگین ویژگی‌های فاضلاب‌خام و تصفیه شده در طی سال‌های (۸۷-۸۳) و مقایسه آنها با استانداردهای جهانی و سازمان حفاظت محیط زیست ایران در جدول ۲ ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می‌گردد مقدار بسیاری از عناصر موجود در فاضلاب‌خام در طول تصفیه کاهش یافته است که مقدار کربن‌آلی‌کل و دو فلز سنگین نیکل و کادمیم کاهش بیشتری را نشان می‌دهند. در طول تصفیه فاضلاب، مقدار نیتروژن-نیتراتی افزایش یافته است. علاوه بر آن مقدار اسیدیته نیز اندکی کاهش یافته است. افزایش نیتروژن-نیتراتی در فاضلاب تصفیه شده می‌تواند به علت هوادهی گسترده فاضلاب باشد (با توجه به این که سیستم تصفیه در این تصفیه‌خانه از نوع لاگون هوادهی با اختلاط کامل می‌باشد). کاهش مقدار اسیدیته احتمالاً به دلیل تولید گازهای اسیدی در طول تصفیه فاضلاب است که در اثر تجزیه بخشی از مواد آلی آزاد شده‌اند.

از مقایسه نتایج تجزیه شیمیایی فاضلاب‌خام و تصفیه شده با استانداردهای ارائه شده می‌توان چنین نتیجه گرفت که مقدار نیکل و کادمیم در فاضلاب‌خام و تصفیه شده و همچنین مقدار نیتروژن-نیتراتی در فاضلاب تصفیه شده بیشتر از مقدار مجاز ارائه شده توسط استاندارد فائو می‌باشند. کیفیت شیمیایی فاضلاب‌خام و پساب از لحاظ همه پارامترها در مقایسه با استاندارد ایران در حد مجاز قرار می‌گیرد، به جز نیتروژن-نیتراتی که برای تخلیه به چاه‌های جاذب که خود نوعی تغذیه مصنوعی به شمار می‌رود بسیار بالاتر از حد مجاز می‌باشد. به منظور تعیین و بررسی میزان تغییرات به وجود آمده در اجزای مختلف موجود در فاضلاب خام و تصفیه شده در نتیجه عبور از نیمرخ خاک در طول دوره کاربرد فاضلاب، میانگین مقدار برخی از آن‌ها در زه‌آب‌های خروجی از ستون‌های خاک بررسی شد. علاوه بر آن تأثیر نوع و نحوه کاربرد فاضلاب بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک در سه عمق ۲۵-۰، ۵۰-۲۵ و ۱۰۰-۵۰ سانتی‌متری نیز مورد بررسی گرفت. که نتایج به دست آمده در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرند.

بررسی تغییرات کیفیت شیمیایی فاضلاب‌های مورد استفاده پس از عبور از ستون‌های خاک

با توجه به کیفیت زه‌آب‌های خروجی (شکل ۳)، می‌توان دریافت که اگر چه با استمرار کاربرد فاضلاب بر مقدار هر یک از پارامترهای مورد اندازه‌گیری در زه‌آب‌های خروجی (به جز نیکل و شوری از زمان ۶۰روز به بعد) افزوده شده است، با این حال خاک نقش بسیار مؤثری در بهبود کیفیت فاضلاب‌ها ایفاء نموده، به طوری که میانگین مقدار تمام پارامترهای فوق (به جز اسیدیته و شوری) در زه آب ستون‌ها، همواره کمتر از میانگین مقدار آن در فاضلاب‌های ورودی به ستون‌های خاک است. در این پژوهش، مقدار کادمیم در بسیاری از نمونه‌های زه‌آب قابل تشخیص نبود. به‌رغم این که مقدار اسیدیته خاک اندکی کمتر از میانگین مقدار اسیدیته فاضلاب‌های ورودی است، افزایش اسیدیته زه‌آب‌ها می‌تواند به دلیل اثر رقت باشد. اسنکین و همکاران (۲۶) بیان کردند که در خاک‌های شور به دلیل مقدار زیاد نمک در محلول خاک، با رقیق شدن محلول خاک مقدار اسیدیته به نحو چشمگیری افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه مقدار شوری این خاک ۶/۹۸ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد، با کاربرد مداوم فاضلاب و رقیق شدن بیشتر محیط محلول خاک، این تاثیر بیشتر گردیده است و مقدار اسیدیته زه‌آب‌های خروجی از این خاک افزایش یافته است. حسن اقلی (۶) نیز افزایش اسیدیته زه‌آب‌های خروجی از خاک را به دلیل آبشویی املاح به دنبال کاربرد فاضلاب‌خام و پساب گزارش کرد.

1- Total Organic Carbon
2- Sodium Adsorption Ratio
3- Graphite Furnace
4- Aqua Regia

جدول ۲- کیفیت شیمیایی فاضلاب خام و تصفیه‌شده تصفیه‌خانه پرکندآباد و مقایسه آن‌ها با استانداردهای موجود

پارامتر	واحد	نوع فاضلاب		مرز استاندارد آلاینده‌ها در پساب برای [1]		استاندارد ارائه شده جهت آبیاری با فاضلاب [2]
		خام	تصفیه شده	بهره گیری در آبیاری و کشاورزی	تخلیه به چاههای جاذب	
اسیدیته	—	۷/۶۰	۷/۴۰	۶- ۸/۵	۶/۵- ۸/۵	۶/۳ — ۸/۴
شوری	dS/m	۱/۶۸	۱/۵۴	--	--	<۳
سدیم	meq/l	۱۳/۲۰	۱۲/۰۰	--	--	۳- ۹
پتاسیم	meq/l	۰/۷۸	۰/۷۵	--	--	--
کلسیم	meq/l	۳/۰۰	۲/۵۰	--	--	--
منیزیم	meq/l	۲/۵۰	۲/۰۰	۴/۱	۴/۱	--
نسبت جذب سدیم	$(meq/l)^{0.5}$	۷/۹۶	۸	--	--	--
نیتروژن -نیتراتی	mg/l	۲۶/۳۷	۳۳/۷۵	--	۱۰	۵- ۳۰
فسفر -فسفاتی	mg/l	۲/۳۱	۱/۷۵	--	--	--
کربن آلی کل	mg/l	۱۸۶/۵۰	۴۴/۴۷	--	--	--
نیکل	mg/l	۱/۵۳۱	۰/۱۸۷	۲	۲	۰/۰۶
کادمیم	mg/l	۰/۰۳۵	۰/۰۱۱	۰/۰۵	۰/۱	۰/۰۱

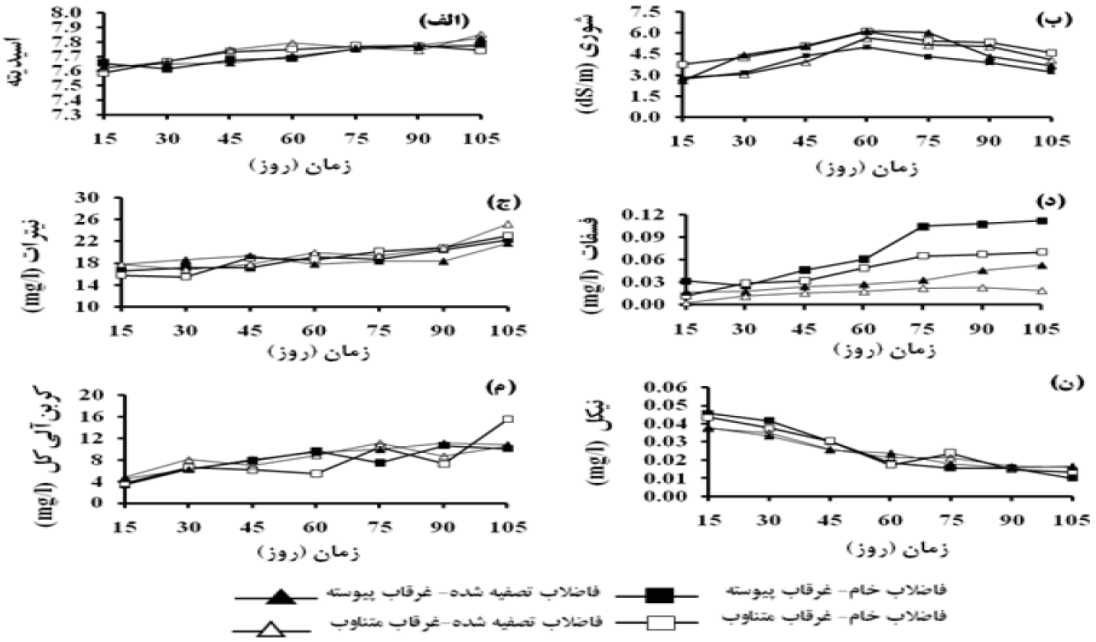
۱- برگرفته از سازمان حفاظت محیط زیست ایران (به نقل از ۵) ۲- برگرفته از فائو (۱۰)

از مشاهده روند تغییرات شوری (شکل ۳، قسمت ب) نیز چنین استنباط می‌گردد که با توجه به مقدار شوری کمتر فاضلاب‌های ورودی در مقایسه با مقدار آن در خاک که برابر ۶/۹۸ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد، بخش زیادی از نمک‌های محلول در اوایل کاربرد فاضلاب‌ها به عمق خاک منتقل شده و با استمرار کاربرد فاضلاب، از مقدار انتقال املاح به عمق خاک کاسته شده است. همان طور که در (شکل ۳، قسمت ج) مشاهده می‌گردد روند تغییرات نیترات در زه‌آب ستون‌ها در طول زمان نیز افزایشی است. با توجه به این که در پژوهش‌های مختلف مشخص شده است که در نتیجه تخلیه فاضلاب، مقادیر قابل توجهی نیتروژن به خاک افزوده می‌شود که میزان آن بستگی به مقدار نیتروژن موجود در فاضلاب و همچنین حجم آب کاربردی دارد و از طرفی، یکی از شکل‌های بسیار پویا و خطرناک نیتروژن، نیترات است، افزایش میانگین مقدار نیترات در زه آب‌های خروجی با گذشت زمان دور از انتظار نمی‌باشد. یون نیترات به دلیل داشتن بار منفی از پویایی بسیار زیادی برخوردار است و حرکت آن همانند حرکت آب در خاک است و اگر به وسیله گیاهان و یا میکروارگانیسم‌ها جذب نگردد، به سرعت وارد آب شده که خطرات بهداشتی زیادی را به دنبال خواهد داشت. هاروی (۱۵) گزارش کرد که مقدار آبشویی نیتروژن از خاک پس از کاربرد فاضلاب، به مقدار آن در فاضلاب و مقدار جذب گیاه بستگی دارد. فسفر نیز به عنوان یک عامل تغذیه‌ای مؤثر در وقوع پدیده اوتریفیکاسیون[1] به شمار می‌رود که انتقال آن به آب‌های سطحی و زیرزمینی، کاهش کیفیت آن‌ها را به دنبال دارد. همان طور که در (شکل ۳، قسمت د) مشاهده می‌گردد، به رغم افزایش میانگین انتقال فسفر به عمق خاک با گذشت زمان و کاربرد مداوم هر دو نوع فاضلاب مورد استفاده، با این حال مقدار زیادی از آن در خاک نگهداری شده است. سوزوکی و همکاران (۲۷) بیان کردند، خاک‌ها توان زیادی در تصفیه و نگهداری فسفر پساب‌ها دارند، به طوری که بخش زیادی از فسفر پساب‌ها در اعماق سطحی خاک انباشته می‌گردد و کمتر از یک درصد آن (بسته به نوع خاک) به اعماق بیشتر از ۱۲۰ سانتی متری خاک می‌رسد. این یافته‌ها با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. از طرفی به رغم فوائد بی‌شمار مواد آلی، وجود مواد آلی در محلول خاک و در نتیجه انتقال آن به زه آب‌های خروجی می‌تواند بیانگر حضور ترکیبات میکروبی و همچنین ترکیبات آلی مقاوم به تجزیه باشد که در خاک تجزیه نشده‌اند (۱۰). ترکیب‌های آلی مقاوم به تجزیه، خاصیت انباشتگی زیستی دارند که برای میکروارگانیسم‌های خاک و گیاهان سمی‌بوده و در انسان اثرات سرطان‌زایی دارند. علاوه بر آن وجود مواد آلی محلول (DOC[2]) در خاک می‌توانند سبب افزایش پویایی فلزات سنگین در اعماق زیرین خاک (۱۴) و افزایش پراکندگی ذرات خاک به دلیل تشکیل پیوند با کلسیم و منیزیم خاک (۱۳) گردند. صرف نظر از روند افزایشی میانگین مقدار TOC در زه آب خروجی از خاک مورد مطالعه (شکل ۳، قسمت م)، مشاهده می‌گردد که میانگین مقدار TOC خروجی از

1- Eutrophication

2- Dissolved Organic Carbon

خاک در طول زمان همواره بیشتر از یک میلی‌گرم بر لیتر است. براساس قوانین طرح شده توسط گروه بهداشت و سلامت ایالت کالیفرنیا (DHS[1])، مقدار TOC در زه‌آب ناشی از عبور پساب از خاک در طی تغذیه آبخوان‌ها نباید از یک میلی‌گرم بر لیتر تجاوز کند، زیرا TOC به عنوان یک فاکتور خطرناک، انتقال بسیاری از فلزات سنگین و همچنین آلاینده‌های آلی به آب‌های زیرزمینی را به همراه دارد (۹). از مشاهده (شکل ۲، قسمت ن) نیز می‌توان دریافت که به‌رغم اسیدیته قلیایی خاک، نیکل در زه‌آب‌های خروجی مشاهده می‌گردد که مقدار آن با گذشت زمان کاهش یافته است. یکی از عوامل مؤثر در انتقال نیکل در چنین شرایطی می‌تواند تشکیل پیوند نیکل با مواد آلی محلول باشد. کاسچل و همکاران (۱۸) افزایش تحرک فلزات سنگین در خاک‌های با اسیدیته قلیایی را به علت پیوند آن‌ها با مواد آلی محلول گزارش کردند. عواملی مانند افزایش تدریجی اسیدیته، تاثیر پذیری بیشتر نیکل از خاک به دلیل کوچکی منافذ خاک و همچنین مقدار شوری خاک و در نتیجه وجود کاتیون‌های کلسیم و منیزیم در محلول این خاک می‌توانند در کاهش مقدار نیکل زه‌آب‌های خروجی از این خاک تاثیر بگذارند. وجود رقابت بین کلسیم و منیزیم با نیکل برای تشکیل پیوند با مواد آلی می‌تواند سبب گردد مقدار پیوند نیکل با مواد آلی محلول کاهش یابد و فرصت بیشتری برای جذب آن بر سطوح خاک فراهم گردد. در بررسی تاثیر نوع فاضلاب بر میانگین مقدار انتقال اجزاء مختلف فاضلاب‌ها به زه آب‌های خروجی نیز مشخص گردید که اثر آن تنها بر میانگین مقدار فسفر- فسفاتی و نیکل از لحاظ آماری در سطح یک درصد معنی‌دار است به طوری که میانگین مقدار انتقال این دو پارامتر در فاضلاب‌خام بیشتر از فاضلاب تصفیه شده گردید (جدول ۳). انتقال بیشتر فسفر از ستون‌هایی که در آن‌ها فاضلاب‌خام به کار برده شده، می‌تواند به دلیل مقدار بیشتر آن در فاضلاب‌خام و همچنین آزاد شدن بخشی از فسفر آلی در اثر تجزیه مواد آلی باشد. از طرفی با توجه به مقدار بیشتر نیکل در فاضلاب‌خام نیز، نتیجه گرفته شده قابل توجیه است. اما به رغم مقدار بیشتر TOC در فاضلاب‌خام، عدم مشاهده تفاوت معنی دار انتقال TOC بین فاضلاب‌خام و فاضلاب تصفیه‌شده می‌تواند به این دلیل باشد که احتمالاً بخش زیادی از TOC موجود در فاضلاب‌خام به صورت ذرات جامد و شناور است که این بخش عمدتاً در خاک تجمع کرده و کمتر به عمق خاک منتقل شده است که مطابق با یافته‌های مهیدا (۲۲) است که گزارش کرد نزدیک ۸۰ درصد مواد آلی موجود در فاضلاب‌خام نامحلول و به شکل شناور است. در این خاک تأثیر نحوه کاربرد فاضلاب تنها بر میانگین مقدار فسفر- فسفاتی زه آب‌ها در سطح یک درصد معنی دار گردید به طوری که مقدار بیشتری از آن در شرایط غرقاب پیوسته منتقل شدند (جدول ۳). ون‌کوئیک و همکاران (۲۹) بیان کردند در طی کاربرد متناوب فاضلاب، تماس بیشتری بین اجزاء فاضلاب با ذرات خاک صورت می‌گیرد. به نظر می‌رسد در این شرایط به دلیل جذب بیشتر، میزان انتقال فسفات به عمق خاک کاهش یافته است.

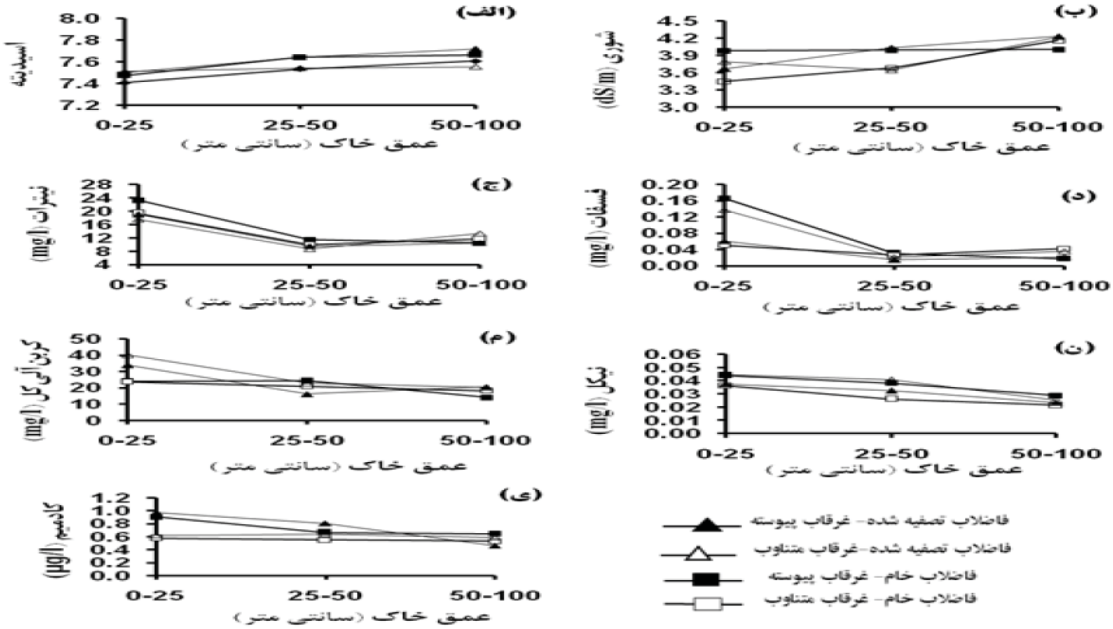


شکل ۳- تغییرات میانگین مقدار پارامترهای مختلف در زه آب خروجی از ستون‌های خاک در طول زمان

1- The State of California, Department of Health Services

بررسی تأثیر کاربرد فاضلاب بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک در اعماق مختلف

نتایج به دست آمده از بررسی میانگین مقدار پارامترهای مختلف در سه عمق ۲۵-۰، ۵۰-۲۵ و ۱۰۰-۵۰ سانتی‌متری نشان می‌دهد که به جز شوری، مقادیر سایر پارامترهای اندازه‌گیری شده در اعماق مختلف خاک در مقایسه با مقدار اولیه آن‌ها در محلول خاک افزایش یافته است (شکل ۴). کاهش شوری، سودمندترین پیامد بهره‌گیری از فاضلاب در این خاک می‌باشد. قلی کندی و همکاران (۷) نیز در تحقیقی به بررسی قابلیت استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده شهری استان سیستان و بلوچستان و تاثیر آن بر کیفیت خاک‌های کشاورزی منطقه در دوره زمانی ۱۲ ماهه پرداختند. برای این منظور دو پایلوت در شهرهای زاهدان و زابل با سطح ۲۰۰۰ متر مربع احداث شدند. در پایان آزمایش این نتیجه بدست آمد که در پایلوت زاهدان و زابل مقدار شوری خاک به ترتیب به میزان ۷۵/۸۷ و ۲۵/۴۹ درصد کاهش یافته است. همان طور که در (قسمت‌های ج و د شکل ۴) مشاهده می‌گردد، میانگین مقدار نیتروژن-نیتراتی و فسفر-فسفاتی محلول خاک در لایه سطحی (۲۵-۰ سانتی متری) به طور معنی‌داری بیشتر از دو عمق دیگر است. با توجه به این که تجمع مواد آلی در لایه سطحی خاک بیشتر از اعماق دیگر است، احتمال می‌رود بخشی از افزایش نیترات در سطح به دلیل تجزیه موادآلی و آزاد شدن یون‌های مورد نظر باشد. در بررسی تغییرات میانگین مقادیر دو فلز سنگین نیکل و کادمیم نسبت به عمق خاک (شکل ۴، قسمت‌های ن و ی) نیز مشخص می‌گردد که مقدار نیکل در دو عمق ۲۵-۰ و ۱۰۰-۵۰ سانتی‌متری، اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهند به طوری که میانگین مقدار نیکل در عمق ۲۵-۰ بیشترین است اما اختلاف مقدار آن در این دو عمق با عمق ۵۰-۲۵ معنی‌دار نگردید و مقدار کادمیم در اعماق مختلف، تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد. به طوری که مقدار آن از سطح به عمق کاهش چشمگیری یافته است. لو و فانگ (۲۱) با آزمایش هشت خاکرخ در هنگ کنگ که با فاضلاب‌های شهری آبیاری شده بودند، دریافتند که مقدار فلزات سنگینی چون سرب، کادمیم، نیکل، روی در اعماق سطحی خاک بیشتر از اعماق زیرین است. از طرفی مشخص گردید که میانگین مقدار شوری و کربن‌آلی‌کل (شکل ۴، قسمت‌های ب و م) نیز در اعماق مختلف متفاوت است که البته این اختلاف میانگین از لحاظ آماری معنی‌دار نگردید. پژوهش‌گران متعدد از جمله ایکسو و همکاران (۳۰) گزارش کردند که با کاربرد طولانی مدت فاضلاب تصفیه شده، میزان کربن‌آلی به نحو چشمگیری در عمق سطحی خاک (۱۰-۰ سانتی متری) تجمع می‌یابد که با یافته‌های این پژوهش همخوانی ندارد. با توجه به این که اکثر این محققان، میزان کربن‌آلی‌کل خاک را اندازه‌گیری کرده‌اند ولی در تحقیق حاضر تنها میزان کربن آلی کل موجود در بخش محلول خاک اندازه‌گیری شده، مشاهده عدم تطابق نتایج دور از انتظار نمی‌باشد.



شکل ٤- تاثیر عبور فاضلاب‌ها از ستون‌های خاک بر مقدار برخی پارامترهای شیمیایی در اعماق مختلف خاک

در خاک تاثیر نوع فاضلاب تنها بر میانگین مقدار فسفر- فسفاتی و کادمیم محلول در خاک در سطح آماری یک درصد معنی‌دار گردید، به طوری که میانگین مقدار فسفر- فسفاتی در تیمار فاضلاب خام بیشتر از فاضلاب تصفیه شده گردید. در مورد کادمیم عکس این تأثیر مشاهده شد (جدول ۴).

با توجه به مقدار بیشتر فسفر- فسفاتی در فاضلاب خام این تاثیر قابل پیش‌بینی است. اما در مورد فلز سنگین کادمیم، نتایج بیانگر آن است که با افزودن فاضلاب خام به خاک، بخش زیادی از فلزات سنگین همراه با مواد آلی در بخش جامد خاک تجمع می‌کنند. به‌رغم مقدار TOC بیشتر در فاضلاب‌خام، تاثیر یکسان فاضلاب‌خام و تصفیه‌شده بر میانگین مقدار آن نیز می‌تواند به دلیل تجمع بخش زیادی از TOC افزوده شده توسط فاضلاب‌خام در بخش جامد خاک باشد.

در بررسی تأثیر نحوه کاربرد فاضلاب‌ها (غرقاب پیوسته و متناوب) بر تغییر ویژگی‌های خاک مورد مطالعه نیز مشخص گردید که تأثیر آن تنها بر میانگین مقدار کادمیم محلول خاک در سطح آماری یک درصد معنی دار است (جدول ۴)، به طوری که میانگین مقدار این فلز سنگین در شرایط کاربرد متناوب، کمتر از شرایط کاربرد پیوسته گردید. کاهش مقدار این فلز درمحلول خاک در شرایط کاربرد متناوب فاضلاب بیانگر آن است که در این شرایط به دلیل تماس بیشتر فاضلاب با خاک مقدار فلز بیشتری جذب خاک شده است (۲۹).

نتیجه گیری

نتایج به دست آمده بیانگر آن است که میانگین مقدار تمام پارامترهای فوق (به جز اسیدیته و شوری) در زه‌آب‌های خروجی، همواره کمتر از میانگین مقدار آن در فاضلاب‌های ورودی به خاک است اما با استمرار کاربرد فاضلاب‌ها در طول زمان بر مقدار آن‌ها (به جز شوری (از زمان ۶۰ به بعد) و نیکل) افزوده شده است. مقدار کادمیم در نمونه‌های زه‌آب در هیچ دوره قابل تشخیص نبود.

جدول ۳- تأثیر نوع و نحوه کاربرد فاضلاب بر کیفیت شیمیایی زه‌آب‌های خروجی از ستون‌های خاک

پارامتر	واحد	نوع فاضلاب		نحوه کاربرد فاضلاب	
		فاضلاب خام	فاضلاب تصفیه شده	غرقاب پیوسته	غرقاب متناوب
اسیدیته	--	۷/۷۱ ns	۷/۶۹ ns	۷/۷۰ ns	۷/۶۹ ns
شوری	dS/m	۴/۳۶ ns	۴/۴۳ ns	۴/۲۰ ns	۴/۵۹ ns
نیتروژن-نیتراتی	mg/l	۱۸/۸۸ ns	۱۹/۲۷ ns	۱۸/۸۴ ns	۱۹/۳۱ ns
فسفر-فسفاتی	mg/l	۰/۰۵۷*	۰/۰۲۳*	۰/۰۵۰*	۰/۰۳۱*
کربن‌آلی‌کل	mg/l	۷/۸۶ ns	۸/۵۱ ns	۸/۲۴ ns	۸/۱۳ ns
نیکل	mg/l	۰/۰۲۵*	۰/۰۲۴*	۰/۰۲۴ ns	۰/۰۲۵ ns

* نشان دهنده معنی داری در سطح ۰/۰۱ درصد ** نشان دهنده معنی داری در سطح ۰/۰۵ درصد ns نشان دهنده عدم معنی داری

جدول ٤- تأثیر نوع و نحوه کاربرد فاضلاب بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک

پارامتر	واحد	نوع فاضلاب		نحوه کاربرد فاضلاب	
		فاضلاب خام	فاضلاب تصفیه شده	غرقاب پیوسته	غرقاب متناوب
اسیدیته	--	۷/۵۵ ns	۷/۵۷ ns	۷/۵۶ ns	۷/۵۶ ns
شوری	dS/m	۳/۸۷ ns	۳/۹۳ ns	۳/۹۸ ns	۳/۸۲ ns
نیتروژن-نیتراتی	mg/l	۱۴/۳۹ ns	۱۳/۰۵ ns	۱۴/۰۱ ns	۱۳/۴۳ ns
فسفر-فسفاتی	mg/l	۰/۰۵۵*	۰/۰۴۸*	۰/۰۵۱ns	۰/۰۵۲ ns
کربن‌آلی‌کل	mg/l	۲۰/۸۱ ns	۲۵/۵۹ ns	۲۲/۰۸ ns	۲۴/۳۱ ns
نیکل	mg/l	۰/۰۱۶ ns	۰/۰۱۶ ns	۰/۰۱۶ ns	۰/۰۱۶ ns
کادمیم	µg/l	۰/۶۴*	۰/۶۸*	۰/۷۴*	۰/۵۸*

* نشان دهنده معنی داری در سطح ۰/۰۱ درصد ** نشان دهنده معنی داری در سطح ۰/۰۵ درصد ns نشان دهنده عدم معنی داری

در بررسی تأثیر فاضلاب‌ها بر پارامترهای مذکور در اعماق مختلف خاک نیز مشخص گردید که مقدار تمامی ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری (به جز شوری) در مقایسه با مقدار اولیه آن‌ها در خاک افزایش یافته است. در مقایسه تاثیر نوع فاضلاب‌ها نیز مشخص گردید که تاثیر آن تنها بر مقدار فسفات و نیکل در زه‌آب‌های خروجی، و فسفات و کادمیم خاک معنی‌دار است به طوری که مقدار هر یک از آن‌ها (به جز کادمیم) در فاضلاب‌خام بیشتر از فاضلاب تصفیه شده بود. در بررسی تاثیر نحوه کاربرد فاضلاب‌ها نیز مشخص گردید که تاثیر آن تنها بر مقدار فسفات در زه‌آب‌های خروجی، و کادمیم در خاک معنی‌دار است به طوری که مقدار هر دو آن‌ها در شرایط غرقاب پیوسته بیشتر از غرقاب متناوب بود. به طور کلی با توجه به نتایج بدست آمده چنین استنباط می‌گردد که استفاده از چنین فاضلاب‌هایی سبب افزایش عناصرغذایی مورد نیاز گیاهان به ویژه نیتروژن می‌گردد علاوه بر آن تجمع فلزات سنگین در لایه سطحی خاک افزایش می‌یابد که به موجب آن امکان انتقال این عناصر به گیاهان وجود خواهد داشت. اگر چه سودمندترین پیامد تخلیه فاضلاب‌ها در این خاک شور، کاهش شوری خاک است. در حالی که با توجه به کیفیت زه‌آب‌های خروجی می‌توان دریافت که با استمرار کاربرد فاضلاب بر مقدار هر یک از ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری در زه‌آب‌های خروجی از خاک (به جز نیکل و شوری از زمان ۶۰ به بعد) افزوده می‌گردد که البته انتقال فسفر-فسفاتی و دو فلز سنگین نیکل و کادمیم به عمق خاک بسیار کم است. با توجه به میانگین مقدار انتقال نیتروژن-نیتراتی و کربن‌آلی‌کل، اگر زه‌آب‌های خروجی از این خاک به آب‌های زیرزمینی تأمین کننده آب شرب شهرها نفوذ کند، سلامتی افراد به خطر می افتد. تخلیه چنین فاضلاب‌هایی با توجه به مقدار شوری خاک و امکان افزایش چشمگیر شوری آب‌های زیرزمینی توصیه نمی‌گردد. با توجه به اینکه در بررسی تاثیر نوع فاضلاب بر میانگین مقدار اجزاء مختلف در زه‌آب‌ها و اعماق مختلف خاک، در خیلی از موارد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، با این وجود به دلیل این که استفاده از فاضلاب خام خطرات زیست محیطی و بهداشتی زیادی را به دنبال دارد (از جمله مقدار زیاد فلزات سنگین و همچنین کربن‌آلی‌کل موجود در آن) و در اکثر مواقع استفاده از آن‌ها در زمین ممنوع است، باید دقت ویژه‌ای در استفاده از فاضلاب‌خام مبذول گردد چرا که با گذشت زمان و تجزیه مواد آلی، مقدار فلزات سنگین متصل به مواد آلی و همچنین کربن‌آلی‌کل در محلول خاک افزایش می‌یابد. در بررسی تاثیر نحوه کاربرد فاضلاب‌ها نیز در بسیاری از موارد تفاوت چشمگیری بین کاربرد پیوسته و متناوب فاضلاب‌ها مشاهده نشد اما برای افزایش کارایی آبشویی به ویژه کاهش شوری خاک و همچنین کاهش تحرک فلزات سنگین، کاربرد متناوب فاضلاب‌ها پیشنهاد می‌گردد. به طور کلی باید با دید دقیق‌تری به موضوع تخلیه فاضلاب‌ها پرداخته شود تا بتوان در حد امکان هم از فوائد استفاده مجدد از فاضلاب بهره برد و هم خطرات زیست محیطی ناشی از تخلیه آن‌ها در محیط پیرامون را کاهش داد.

منابع:

۱- احمدی شاپور آبادی ح.، میرلطیفی م. و مهدیان م.ح. ۱۳۸۹. بررسی تاثیر پساب فاضلاب بر اصلاح خاکهای شور و سدیمی، مطالعه موردیک اراضی جنوب تهران. دومین سمینار ملی جایگاه آبهای بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب. برگرفته از سایت http://www.civilica.com

۲- آقابراتی ا.، حسینی م. اسماعیلی ع. و مارالیان ح. ۱۳۸۸. اثر آبیاری با فاضلاب شهری بر خصوصیات فیزیکی -شیمیایی خاک، تجمع عناصر غذایی و کادمیم در درختان زیتون (*Olea europaea* L.). مجله علوم محیطی، سال ششم، شماره سوم، ۱۰-۱.

۳- پارسافر ن.، معروفی ص.، دشتی ف. و رحیمی ق. ۱۳۸۹. بررسی تغییرات غلظت نیکل و روی فاضلاب خام و پساب شهری در اثر عبور از ستون‌های خاک. چهارمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست. برگرفته از سایت http://www.civilica.com

۴- پروان م. ۱۳۸۳. اثرات آبیاری با فاضلاب تصفیه شده بر روی خصوصیات خاک. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

۵- توکلی م. و طباطبایی م. ۱۳۷۸. آبیاری با فاضلاب تصفیه شده. نشریه کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۲۸ ، ص ۲۶-۱.

۶- حسن اقلی ع. ۱۳۸۱. استفاده از فاضلاب‌های خانگی و پساب تصفیه‌خانه‌ها در آبیاری محصولات کشاورزی و تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی. رساله دکتری، دانشگاه تهران.

۷- قلی کندی گ.ب.، دلنواز م. و لشکری م. ۱۳۸۸. مدیریت مصرف آب در نواحی خشک شور با استفاده مجدد از فاضلاب شهری تصفیه شده، مطالعه موردی: استان سیستان و بلوچستان. سومین همایش ملی آب و فاضلاب با رویکرد بهره برداری. برگرفته از سایت http://www.civilica.com

8- Camobreco J.V., Richards B.K., Steenhuis T.S., Peverly J.H., and McBride M.B. 1996. Movement of heavy metals through undisturbed and homogenized soil columns. Soil Science. 161: 740-750.

9- EPA. 2001. Investigation on soil-aquifer treatment for sustainable water reuse. National Center for Sustainable Water Supply NCSWS, Arizona Stable University. http:// www.eas.asu.edu/~civil/ncsws/NCSWS.html

10- FAO. 1992. Wastewater treatment and use in agriculture. Food and Agriculture Organization of United Nations, Rome, FAO 47.
11- Fuller W.H., and Warrick A.W. 1985. Soils in waste treatment and utilization. Volume 2, Pollutant Containment, Monitoring, and Closure. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida.
12- Gohil M.B. 2000. Land treatment of wastewater. New Age International (P) Ltd., Publishers, New Dehli.
13- Halliwell D.J., Barlow K.M., and Nash D.M. 2001. A review of the effects of wastewater sodium on soil physical properties and their implications for irrigation systems. Australian Journal of Soil Research. 39: 1259-1267.
14- Han N., and Thompson M.L. 1999. Copper-binding ability of dissolved organic matter derived from anaerobically digested biosolids. Journal of Environmental Quality. 28:939–944.
15- Haruvy N. 1998. Wastewater reuse-regional and economic considerations. Resource, Conservation and Recycling. 23: 57-66.
16- Hussain I., Rachid L., Hanjra M.A., Marikar F., and Vander Hoek W. 2002. Wastewater use in agriculture: Review of impacts and methodological issues in valuing impacts. With an extended list of bibliographical refrences- Working Paper 37. Colombo, Sri Lanka, International Water Management Institute.
17- Jalali M., Merikhpour H., Kaledhonkar M.J., and Van Der Zee S.E.A.T.M. 2008. Effects of wastewater irrigation on soil sodicity and nutrient leaching in calcareous soils. Agricultural Water Management. 95: 143-153.
18- Kaschl A., Romheld V., and Chen Y. 2002. The influence of soluble organic matter from municipal solid waste compost on trace metal leaching in calcareous soils. The Science of the Total Environment. 291: 45-57.
19- Kiziloglu F.M., Turan M., Sahin U., Kuslu Y., and Dursun A. 2008. Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica olerecea* L. var. botrytis) and red cabbage (*Brassica olerecea* L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey. Agricultural Water Management. 95:716-724.
20- Klay S., Charef A., Ayed L., Houman B., and Rezgui F. 2010. Effect of irrigation with treated wastewater on geochemical properties (saltiness, C, N and heavy metals) of isohumic soils (Zaouit Sousse perimeter, Oriental Tunisia). Desalination. 253: 180–187.
21- Lo C.K., and Fung Y.S. 1992. Heavy metal pollution profiles of dated sediment cores from Hebe Haven, Hong Kong. Water Research. 26: 1602-1619.
22- Mahida U.N. 1981.Water pollution and disposal of wastewater on land. Tata McGrow-Hill Publishing Company Limited New Dehli. pp: 323.
23- Maule C.P., Fonstad T.A., Vanapalli S.K., and Majumdar G. 2000. Hydaraulic conductivity reduction due to ponded hog manure. Canadian Agriculture Engineering. 42: 157-163.
24- McLean J.E., and Bledsoe B.E. 1992. Ground Water Issue: Behavior of Metals in Soils. United States Environmental Protection Agency, EPA/ 540/ S-92/ 018.
25- Murtaza G., Ghafoor A., Qadir M., Owens G., Aziz M.A., and Zia M.H. 2010. Disposal and use of sewage on agricultural lands in Pakistan: a review. Pedosphere. 20(1): 23–34.
26- Snakin V.V., Prisyazhanaya A.A., and Kovasc-Lang E. 2001. Soil liquid phase composition. Elsevier Science B. V., Amesterdam, Netherlands. pp: 88.
27- Suzuki T., Katsuno K., and Yamaura G. 1992. Land application of wastewater using three types of trenches set in lysimeters and its mass balance of nitrogen. Water Research. 26: 1433-1444.
28- Tillaman R.W., and Surapaneni A. 2002. Some soil-related issues in the disposal of effluent on land. Australian Journal of Experimental Agriculture. 42: 225-235.
29- Van Cuyk S., Siegrist R., Logan A., Masson S., Fischer E., and Figueroa L. 2001. Hydraulic and purification behaviors and their interactions during wastewater treatment in soil infiltration systems. Water Research. 35: 953-964.
30- Xu J., Wu L., Chang A.C., and Zhang Y. 2010. Impact of long-term reclaimed wastewater irrigation on agricultural soils: A preliminary assessment. Journal of Hazardous Materials 183: 780–786.

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 3, Jul-Aug 2012, p. 563-574

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۱، ص. ۵۷۴-۵۶۳

The Effects of Municipal Wastewaters Application on some Chemical Properties of a Saline Soil and Chemical Quality of Soil Columns Leachates

A. Hosseinpour Buri Abadi[*1]- Gh. Haghnia[2]- A. Alizadeh[3]- A. Fotovat[4]

Received: 24-6-2010
Accepted: 13-5-2012

Abstract

Increasing population, limitation of water resources, and also enormous volume of municipal wastewater and need to dispose of these wastewaters safety, has been increased of necessity of reuse of wastewater. Disposal of wastewater in soil is one of the most economical methods of their disposal. Different soil characteristics, type of wastewater and method of its application are issues that affect wastewater treatment efficiency in the soil. For this purpose, an experiment was carried out in 12 polyethylene columns during 7 periods of 15 days in Ferdowsi University of Mashhad. A statistical "factorial design" was used. Raw and treated wastewaters from Parkandabad Treatment Plant were applied under continuous and intermittent flood conditions in columns filled with silty loam soil. At the end of experiment, soil columns were divided and soil samples from depths of 0-25, 25-50 and 50-100 cm each column were collected. Properties such as pH, salinity, concentration of NO_3, PO_4, TOC, Ni and Cd were measured in soil solution samples and also Leachates were taken in each period of experiment. The result showed that the mean values of each of the above mentioned parameters, with exception of pH and salinity, were lower in leachate compared to the wastewaters entering the soil. However, with continuous application of wastewaters increase in the amount of these components (with exception of salinity and Ni) were observed. The amount of Cd in leachate samples of any periods was undetected. Considering the effect of wastewater application on soil chemical properties, value of all parameters (except salinity) in comparison to their initial values have increased in the soil solution. Based on the above results, disposal of wastewaters (especially raw wastewater) on soil should be managed carefully. So that by sound usage of wastewaters, environmental risks resulting from disposal of them are reducing to the lowest level in nature.

Keywords: Soil columns, Raw wastewater, Treated wastewater, Continuous and intermittent flood Conditions, Chemical quality of leachates, Chemical characteristics of soil

1,2,4- Former MSc Student, Professor and Associate Professor Department of Soil Science, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Respectively
(*- Corresponding Author Email: azamhoseinpour@yahoo.com)
3- Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad