

بررسی انتقال برخی عناصر به عمق خاک پس از آبیاری با فاضلاب خام و پساب شهری در دو شرایط غرقاب پیوسته و متناوب

اعظم حسین پور* - غلامحسین حق نیا - امین عزیزاده - امیر فتوت^۱

تاریخ دریافت: ۸۶/۵/۲۹

تاریخ پذیرش: ۸۷/۴/۱

چکیده

با توجه به لزوم استفاده مجدد از فاضلاب در مناطق خشک و همچنین اهمیت تحقیقات در زمینه سرنوشت مواد اضافه شده به خاک توسط فاضلاب از نظر انتقال به عمق خاک، آزمایشی در ستون‌های پلی‌اتیلنی به ارتفاع ۱۵۰ و قطر ۱۱ سانتی‌متر در ۷ دوره ۱۵ روزه در قالب طرح فاکتوریل انجام شد. فاضلاب خام و پساب تصفیه‌خانه پرکندآباد به ستون‌های پر شده از خاک لوم‌شنی در دو شرایط غرقاب پیوسته و متناوب به کار برده شدند. نتایج به دست آمده بیانگر توانایی خوب خاک در نگهداری دو عنصر فسفر و کادمیم است اما درصد زیادی از کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول، نیتروژن-نیتراتی، کربن‌آلی‌کل و همچنین بخشی از نیکل به زه‌آب‌های خروجی انتقال یافتند. نوع فاضلاب نیز تأثیر معنی‌داری بر درصد انتقال تمام پارامترها (بجز پتاسیم و منیزیم) گذاشت به طوری که درصد انتقال هر یک از آن‌ها (بجز نیتروژن-نیتراتی و فسفر-فسفاتی) در اثر کاربرد پساب بیشتر از فاضلاب خام گردید. نحوه کاربرد فاضلاب نیز تنها بر درصد انتقال کلسیم، بی‌کربنات و نیکل اثر معنی‌داری داشت. به طوری که کلسیم بیشتری در شرایط غرقاب متناوب منتقل شد و برای بی‌کربنات و نیکل عکس این حالت مشاهده شد. با توجه به درصد نسبتاً زیاد آبشویی کاتیون‌های محلول به ویژه کلسیم و منیزیم، نیتروژن-نیتراتی و کربن‌آلی‌کل از خاک، تخلیه فاضلاب‌ها از لحاظ پارامترهای فوق با مدیریت صحیحی باید صورت گیرد. از طرفی با توجه به مقدار زیاد فلزات سنگین و همچنین کربن‌آلی‌کل در فاضلاب خام و خطرانی که انتقال آن‌ها به دنبال دارد باید در دراز مدت دقت ویژه‌ای در استفاده از فاضلاب خام مبذول گردد.

واژه‌های کلیدی: مطالعه ستونی، فاضلاب خام، پساب، غرقاب پیوسته، غرقاب متناوب و درصد انتقال

مقدمه

افت شدید سطح آب‌زیرزمینی در این مناطق گردیده و این کشورها را با بحران آب روبرو کرده است. از طرف دیگر توسعه شهرنشینی و صنعتی شدن سبب گردیده همه ساله بخش قابل توجهی از منابع آب محدود به علت تغییر کیفیت از چرخه مصرف خارج شوند که نمونه بارز آن فاضلاب‌های شهری است. با توجه به حجم عظیم فاضلاب‌های تولیدی، تلاش برای دست‌یابی به نحوه دفع مناسب فاضلاب در محیط زیست ضرورت می‌یابد.

کمبود آب و تقاضای فزاینده آن به خصوص در کشورهای خشک و نیمه خشک فشار زیادی را بر منابع آب به ویژه منابع زیرزمینی وارد کرده است به طوری که سبب

۱- به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استادگروه علوم خاک، استادگروه علوم و مهندسی آب و استادیار علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

* - نویسنده مسئول Email: azamhoseinpour@yahoo.com

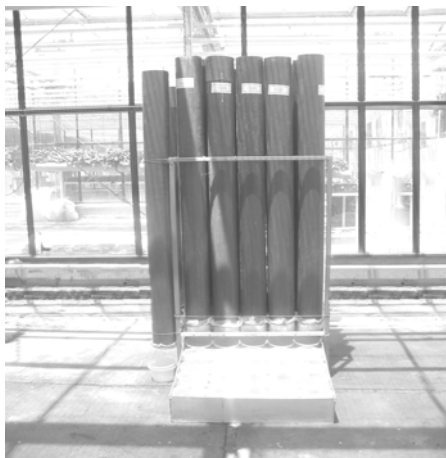
روزنه‌ای به قطر ۵ سانتی‌متر در وسط آن ایجاد شده بود به انتهای ستون‌ها پیچیده شد. استفاده از این لایه جهت کاهش حرکت جانبی آب در انتهای ستون‌ها در نظر گرفته شد تا آبی به خارج ظروف در نظر گرفته شده برای جمع‌آوری زه‌آب‌ها ریخته نشود و علاوه بر آن فلزها در تماس با زه‌آب‌های خروجی نباشند. سپس یک لایه توری پلاستیکی به منظور استحکام کافی بخش انتهایی کشیده شد. در این مطالعه به منظور پر نمودن ستون‌ها از خاک؛ پس از نمونه‌برداری از عمق سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متری) یک خاک لوم‌شنی، نمونه هواخشک شده و از الک با قطر روزنه‌های ۱ 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. بررسی منحنی دانه‌بندی خاک نشان داد که مقدار ذرات بزرگتر از ۲ میلی‌متر در آن برابر ۱۴ درصد نمونه اولیه خاک می‌باشد که براساس طبقه‌بندی کشاورزی (USDA)، این خاک به صورت لوم‌شنی ریگ‌دار طبقه‌بندی گردید. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد نظر در (جدول ۱) آورده شده است. پر شدن ستون‌ها با خاک طی مراحل زیر صورت پذیرفت. ابتدا ستون‌ها به ارتفاعی حدود ۱۵ سانتی‌متر با ذرات ریگ در اندازه‌های مختلف پر شدند. سپس مقدار خاک لازم برای پر نمودن ستون‌ها با توجه به جرم مخصوص ظاهری خاک محاسبه و به صورت تدریجی در طی چند مرحله بدون هیچگونه عملیات تراکمی خاصی اضافه گردید. در انتها ارتفاعی حدود ۵ سانتی‌متر شن‌ریز ریخته شد. ارتفاع نهایی خاک ۱۰۰ سانتی‌متر بود. فضای فوقانی ستون‌ها به ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر به صورت عمق آزاد جهت افزودن فاضلاب در نظر گرفته شد. از فاضلاب خام و فاضلاب تصفیه‌شده (پساب) تصفیه‌خانه پر کندآباد به عنوان منبع آب

مواد و روش‌ها

این پژوهش با دو تیمار نوع فاضلاب (فاضلاب خام و پساب) 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. به منظور استقرار و عدم حرکت ستون‌ها، از شبکه فلزی استفاده گردید. نمای کلی مجموعه شبکه فلزی و ستون‌های خاک در شکل (۱) مشخص می‌باشد. به منظور جلوگیری از انسداد بخش انتهایی ستون‌ها، از پارچه متقال، یک لایه پلاستیکی و توری پلاستیکی با قطر روزنه‌های یک میلی‌متری استفاده شد. نحوه انسداد انتهای ستون‌ها به این ترتیب بود که ابتدا یک لایه پارچه متقال که قبلاً شسته شده بود، به انتهای ستون‌ها پیچیده شد. سپس یک لایه پلاستیک ضخیم که

نتایج و بحث:

کیفیت شیمیایی فاضلاب خام و پساب از نظر پارامترهای مورد بررسی و نیز مقادیر مجاز آن‌ها بر طبق استانداردهای موجود در (جدول ۲) آمده است. همان گونه که ملاحظه می‌گردد مقدار بسیاری از ترکیبات موجود در فاضلاب خام در طول دوره تصفیه کاهش یافته است که مقدار کربن آلی کل و دو فلز سنگین نیکل و کادمیم کاهش بیشتری را نشان می‌دهند.



(شکل ۱) نمای کلی مجموعه شبکه فلزی و ستون‌های خاک

(جدول ۱) - برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک مورد استفاده

پارامتر	واحد	مقدار
شن	%	۵۸/۷۲
سیلت	%	۲۲/۰۹
رس	%	۱۹/۱۹
جرم مخصوص ظاهری	g/cm ³	۱/۵۲
جرم مخصوص حقیقی	g/cm ³	۲/۵۰
تخلخل	%	۳۹/۲۰
آهک	%	۱۱/۰۰
pH	--	۷/۹۰
شوری	dS/m	۰/۸۵
سدیم	meq/l	۲/۱۷
پتاسیم	meq/l	۰/۱۸
کلسیم	meq/l	۵/۰۰
منیزیم	meq/l	۳/۱۰
کلر	meq/l	۶/۰۰
بی‌کربنات	meq/l	۴/۰۰
سولفات	meq/l	۲/۰۸
نیترژن-نیتراتی	mg/l	۱/۸۹
فسفر-فسفاتی	mg/l	۰/۰۱۱۵
کربن آلی کل	mg/l	۲۵/۰۰
نیکل	mg/l	۰/۰۰۵
کادمیم	mg/l	۰/۰۰

(جدول ۲) - کیفیت شیمیایی فاضلاب خام و پساب و مقایسه آن‌ها با استانداردهای ارایه شده

پارامتر	واحد	نوع فاضلاب		میزان مجاز استاندارد
		پساب	فاضلاب خام	
pH	--	۷/۴۰	۷/۶۰	۶/۳ - ۸/۴
شوری	dS/m	۱/۵۴	۱/۶۸	<۳
سدیم	meq/l	۱۲/۰۰	۱۳/۲۰	۳ - ۹
پتاسیم	meq/l	۰/۷۵	۰/۷۸	--
کلسیم	meq/l	۲/۵۰	۳/۰۰	--
منیزیم	meq/l	۲/۰۰	۲/۵۰	۴/۱
کلر	meq/l	۶/۰۰	۷/۶۰	۴ - ۱۰
بی‌کربنات	meq/l	۸/۹۱	۱۰/۱۶	۰/۱۴
سولفات	meq/l	۳/۴۸	۳/۲۸	--
نیترژن-نیتراتی	mg/l	۳۳/۷۵	۲۶/۳۷	۵ - ۳۰
فسفر-فسفاتی	mg/l	۱/۷۵	۲/۳۱	--
کربن آلی کل	mg/l	۴۴/۴۷	۱۸۶/۵۰	--
نیکل	mg/l	۰/۱۸۷	۱/۵۳۱	۰/۰۶
کادمیم	mg/l	۰/۰۱۱	۰/۰۳۵	۰/۰۱

۱- برگرفته از سازمان محیط زیست ایران (به نقل از ۲)

۲- برگرفته از فائو (۱۰)

در طول دوره تصفیه فاضلاب مقدار نیتروژن-نیتراتی افزایش یافته است. افزون بر آن در طول مدت تصفیه فاضلاب مقدار اسیدیته نیز اندکی کاهش یافته است. افزایش مقدار نیتروژن-نیتراتی در پساب می تواند به علت هوادهی گسترده فاضلاب باشد. کاهش مقدار اسیدیته نیز احتمالاً به دلیل تولید گازهای اسیدی در طول تصفیه فاضلاب است که در اثر تجزیه بخشی از مواد آلی آزاد شده اند. کاربرد فاضلاب خام در مصارف مختلف به ویژه در کشاورزی و تغذیه مصنوعی آبخوانها معمول نیست، لذا استاندارد برای آن ارایه نشده است. برای آگاهی از کیفیت فاضلاب خام، مقادیر اجزای مختلف موجود در آن با استانداردهای ارایه شده برای پساب مقایسه شده است. از مقایسه نتایج تجزیه شیمیایی فاضلاب خام و پساب با استانداردهای ارایه شده می توان چنین نتیجه گرفت که مقدار سدیم، بی کربنات، نیکل و کادمیم در فاضلاب خام و پساب و همچنین مقدار نیتروژن-نیتراتی در پساب بیشتر از مقدار مجاز ارایه شده توسط استاندارد فائو می باشند. کیفیت شیمیایی فاضلاب خام و پساب از لحاظ همه پارامترها بجز نیتروژن-نیتراتی که برای تخلیه به چاههای جاذب که خود نوعی تغذیه مصنوعی به شمار می رود بسیار بالاتر از حد مجاز می باشد، در مقایسه با استاندارد ایران در حد مجاز قرار می گیرد. همان طور که در قسمت بالا ذکر شد به منظور تعیین و بررسی میزان تغییرات به وجود آمده در انتقال اجزای مختلف موجود در فاضلاب خام و پساب به عمق خاک در طول دوره کاربرد فاضلاب، از فاکتور درصد انتقال استفاده گردید. درصد انتقال کمتر عناصر نشان دهنده توانایی زیاد خاک در نگهداری آن عنصر است. مقادیر زیاد درصد انتقال برای هر عنصر، بر پویایی زیاد و یا توانایی کم خاک در نگهداری آن عنصر به دلیل ورود مقادیر زیادی از آن به

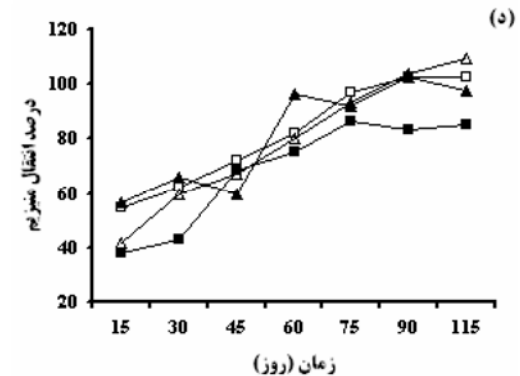
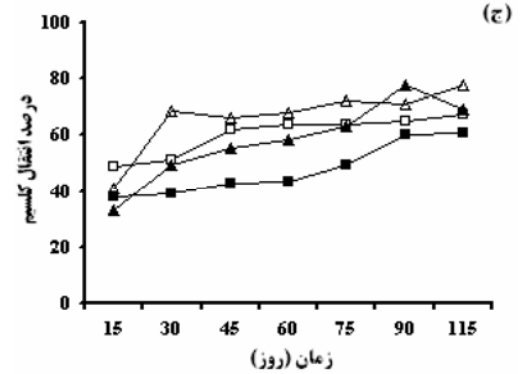
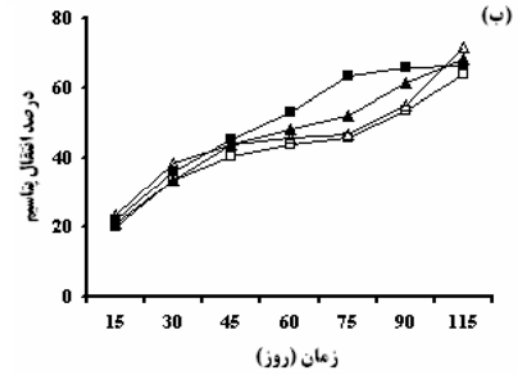
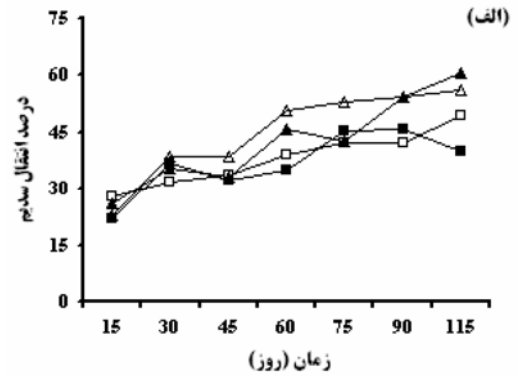
خاک دلالت دارد. در ادامه، روند تغییرات درصد انتقال کاتیونهای محلول مانند سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم، آنیونهای محلول مانند کلر، بی کربنات و سولفات، نیتروژن-نیتراتی، فسفر-فسفاتی، کربن آلی کل و دو فلز سنگین نیکل و کادمیم از ستونهای خاک در طول دوره آزمایش مورد بررسی قرار می گیرد.

بررسی تغییرات درصد انتقال کاتیونهای محلول (سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم) از ستونهای خاک:

اگر چه کاتیونهایی مانند کلسیم، منیزیم و پتاسیم به طور مستقیم تهدیدی برای سلامتی افراد و یا محیط زیست نیستند، آبتجویی آنها از خاک می تواند نشان دهنده خروج عناصر مفید از خاک باشد. همچنین با توجه به نقش مثبت کاتیونهای دوظرفیتی در خاک، خروج آنها از خاک می تواند خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک را زیر تأثیر قرار دهد (۲۳). اگر چه خروج سدیم از خاک نقش بسیار موثری در کاهش قلیایی بودن خاک ایفاء می کند. (شکل ۲- قسمت های الف، ب، ج و د) درصد انتقال هر یک از کاتیونهای محلول از ستونهای خاک را در طول زمان آزمایش نشان می دهد. با گذشت زمان و کاربرد مقدار بیشتر فاضلاب بر درصد انتقال آنها در زه آبهای خروجی خاک افزوده شده است به طوری که روند تغییر مقدار آنها در طول زمان همواره افزایشی است. فوین نیز افزایش غلظت کاتیونهای محلول در آبهای زیرزمینی مناطق شهری را به علت نفوذ مستمر فاضلاب به آنها گزارش کرد (۱۲). در بررسی تأثیر نوع فاضلاب بر درصد انتقال کاتیونهای محلول نیز مشاهده می گردد که میانگین درصد انتقال کاتیونهای محلول در زه آب ستونهایی که در آنها از پساب استفاده شده بیشتر از فاضلاب خام است که این تأثیر

بررسی تغییرات درصد انتقال آنیون‌های محلول (کلر، بی‌کربنات و سولفات) از ستون‌های خاک:

به‌طور کلی پایش مقدار آنیون‌ها در فاضلاب ضروری است زیرا مقادیر زیاد آن‌ها سبب کاهش کیفیت خاک و همچنین افت کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌گردد. به‌طوری که واکنش کربنات و بی‌کربنات با کلسیم و منیزیم محلول سبب افزایش SAR^۱ و سدیم تبادلی در خاک گشته و کاهش نفوذپذیری خاک را به دنبال دارد (۷). آنیون‌های غیر آلی موجود در محلول خاک همچنین با تشکیل پیوند با فلزات سنگین جذب آن‌ها در خاک را زیر تأثیر قرار می‌دهند (۸). همان‌طور که در (شکل ۳ - قسمت‌های الف، ب و ج) مشاهده می‌گردد روند تغییر درصد انتقال آنیون‌های محلول در زه‌آب‌های خروجی از خاک لوم‌شنی در طول زمان همواره افزایشی است. در این خاک، شیب تغییرات درصد انتقال دو آنیون کلر و سولفات در طول زمان زیاد است ولی برای آنیون بی‌کربنات تا زمان ۶۰ روز، شیب خاصی وجود ندارد و درصد افزایش بسیار جزئی است اما پس از آن درصد افزایش بی‌کربنات در زه‌آب‌ها با شدت بیشتری ادامه یافته است. در مقایسه اثر نوع فاضلاب بر درصد انتقال هر یک از آنیون‌های محلول نیز مشخص گردید (جدول ۳) که درصد انتقال آن‌ها مانند کاتیون‌های محلول در ستون‌هایی که از پساب استفاده شده به‌طور معنی‌داری بیشتر از فاضلاب خام است که می‌تواند به همان دلیلی باشد که در قسمت کاتیون‌های محلول در مورد آن بحث شد. تأثیر نحوه کاربرد فاضلاب تنها بر درصد انتقال بی‌کربنات معنی‌دار گردید (جدول ۳) به‌طوری که درصد بیشتری از آن در شرایط کاربرد پیوسته منتقل شد. بدون در نظر گرفتن نوع و نحوه کاربرد فاضلاب، میانگین درصد انتقال آنیون‌های کلر، بی‌کربنات و سولفات از ستون‌های



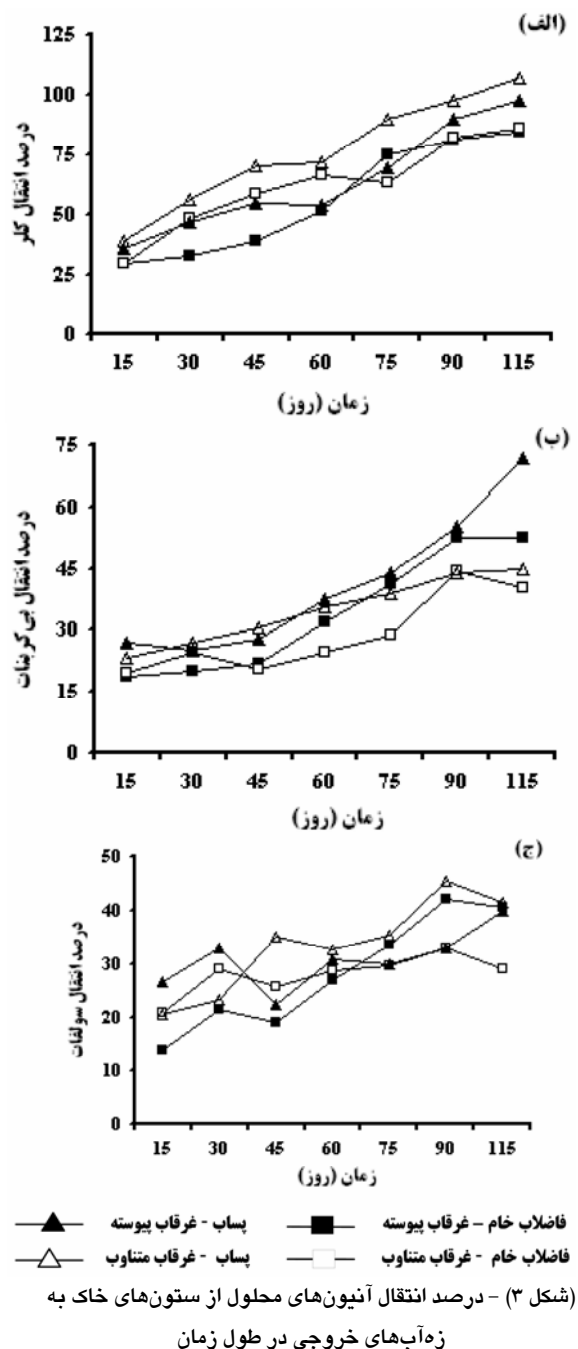
(شکل ۲) - درصد انتقال کاتیون‌های محلول از ستون‌های خاک به زه‌آب‌های خروجی در طول زمان

فاضلاب خام - غرقاب پیوسته (filled square) پساب - غرقاب پیوسته (filled triangle)
 فاضلاب خام - غرقاب متناوب (open square) پساب - غرقاب متناوب (open triangle)

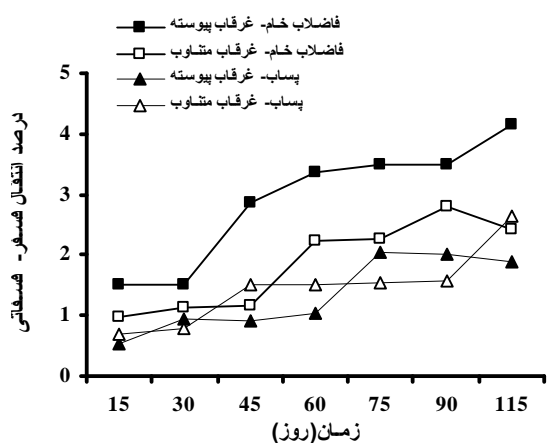
1 - Sodium Adsorption Ratio

بررسی تغییرات درصد انتقال نیتروژن- نیتراتی از ستون‌های خاک

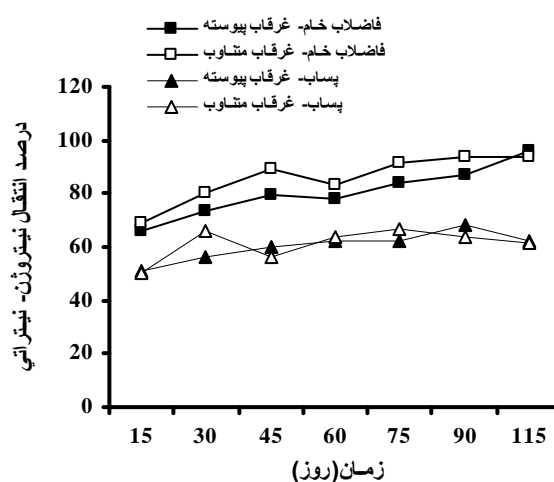
در نتیجه تخلیه فاضلاب، مقادیر قابل توجهی نیتروژن به خاک افزوده می‌شود که میزان آن بستگی به مقدار نیتروژن موجود در فاضلاب و پساب و همچنین حجم آب کاربردی دارد. یکی از شکل‌های نیتروژن، نیترات است. یون نیترات به دلیل داشتن بار منفی از پویایی بسیار زیادی برخوردار است و حرکت آن همانند حرکت آب در خاک است و اگر به وسیله گیاهان و یا میکروارگانیسم‌ها جذب نگردد به سرعت وارد آب‌ها شده و خطرات بهداشتی را به دنبال خواهد داشت. (شکل ۴)، بیانگر درصد انتقال نیتروژن- نیتراتی است. مطابق شکل، درصد انتقال آن از خاک به تدریج با گذشت زمان افزایش یافته است. هارووی گزارش کرد که درصد آبشویی نیتروژن از خاک پس از کاربرد فاضلاب، به مقدار آن در فاضلاب و مقدار جذب گیاه بستگی دارد (۱۷). بنابراین با توجه به عدم پوشش گیاهی در سطح خاک و همچنین مقدار زیاد نیتروژن- نیتراتی در فاضلاب‌های ورودی، درصد آبشویی نیتروژن- نیتراتی در طول آزمایش زیاد می‌باشد. در مقایسه تأثیر نوع فاضلاب نیز مشاهده می‌گردد که درصد انتقال آن به‌طور مشخصی در ستون‌هایی که فاضلاب خام نفوذ کرده است بیشتر از پساب می‌باشد (جدول ۳). افزایش درصد انتقال نیتروژن- نیتراتی در زه آب ستون‌های آبیاری شده با فاضلاب خام، به‌رغم مقدار کمتر آن در مقایسه با پساب می‌تواند به علت پدیده نیتراتی شدن باشد که به موجب آن نیترات بیشتری وارد سیستم خاک شده است. در بررسی تأثیر نحوه کاربرد فاضلاب بر درصد انتقال نیز مشخص می‌گردد که میانگین درصد انتقال در شرایط کاربرد متناوب بیشتر از کاربرد پیوسته است که البته تأثیر آن از لحاظ آماری معنی‌دار نگردید (جدول ۳). افزایش انتقال نیتروژن- نیتراتی در شرایط کاربرد متناوب می‌تواند به علت تجزیه بیشتر مواد آلی در



تأثیر زمان بر درصد انتقال مشاهده نمی‌گردد. افزون بر آن مشاهده می‌گردد که به‌طور کلی درصد انتقال فسفر به زه‌آب‌های خروجی از خاک بسیار ناچیز است به‌طوری‌که میانگین درصد انتقال فسفر از ستون‌های خاک برابر ۱/۸۹ به‌دست آمد. این نتیجه بیانگر آن است که خاک نقش مهمی در نگهداری فسفر فاضلاب‌ها ایفا کرده است. سوزوکی و همکاران گزارش کردند خاک‌ها توان زیادی در تصفیه و نگهداری فسفر پساب‌ها دارند به‌طوری‌که ستون خاکی به عمق ۲۵ سانتی‌متر می‌تواند فسفر پساب را تا ۹۰ درصد کاهش دهد (۲۸). در مقایسه تأثیر نوع فاضلاب بر درصد انتقال فسفر، تفاوت مشخصی بین فاضلاب‌خام و پساب مشاهده گردید (جدول ۳). انتقال بیشتر فسفر از ستون‌هایی که در آن‌ها فاضلاب‌خام به کار برده شده است می‌تواند به دلیل مقدار بیشتر آن در فاضلاب‌خام و همچنین آزاد شدن بخشی از فسفر آلی در اثر تجزیه مواد آلی باشد. در بررسی تأثیر نحوه کاربرد فاضلاب بر درصد انتقال فسفر نیز مشخص گردید که مقدار فسفر بیشتری در شرایط کاربرد پیوسته فاضلاب منتقل گردیده است، که تأثیر آن از لحاظ آماری معنی‌دار نگردید (جدول ۳). درصد انتقال بیشتر فسفر در شرایط کاربرد پیوسته دلالت بر تماس کمتر فاضلاب با ذرات خاک در این شرایط دارد.



(شکل ۵) - درصد انتقال فسفر-فسفاتی از ستون‌های خاک به زه‌آب‌های خروجی در طول زمان



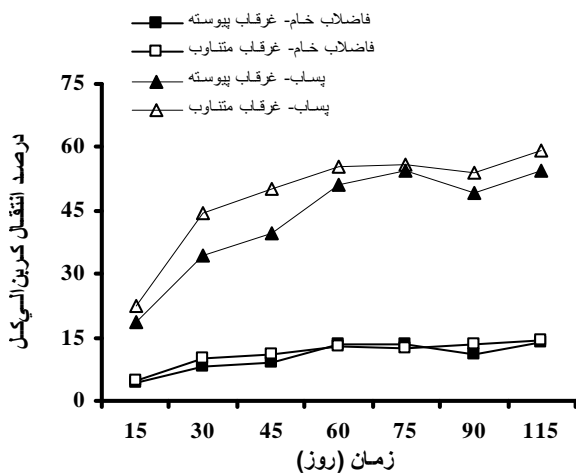
(شکل ۴) - درصد انتقال نیتروژن-نیتراتی از ستون‌های خاک به زه‌آب‌های خروجی در طول زمان

بررسی تغییرات درصد انتقال فسفر- فسفاتی از ستون‌های خاک

فسفر به عنوان یک عامل تغذیه‌ای مؤثر در وقوع پدیده اوتروفیکاسیون^۱ به شمار می‌رود که انتقال آن به آب‌های سطحی و زیرزمینی کاهش کیفیت آن‌ها را به دنبال دارد. (شکل ۵)، بیانگر روند تغییرات درصد انتقال فسفر-فسفاتی به زه‌آب‌های خروجی از خاک در طول زمان است. مطابق شکل به جز در تیمار فاضلاب‌خام در شرایط غرقاب پیوسته که در زمان ۳۰ و ۴۵ روز تفاوت مشخصی در درصد انتقال را نشان می‌دهد، در سایر موارد تفاوت مشخصی از لحاظ

1 - Eutrophication

در پساب به صورت DOC (کربن آلی محلول) بوده است که به سرعت به عمق خاک منتقل شده است. پژوهشگران متعددی از جمله مهیدا گزارش کردند که بخش زیادی از مواد آلی موجود در فاضلاب خام نامحلول و به شکل شناور است (۲۲). از طرفی الیوت و استیونسون گزارش کردند که در طول تصفیه زیستی مقدار مواد آلی فاضلاب به طور قابل توجهی کاهش می یابد (۹). بنابراین با توجه به مطالب فوق چنین استنباط می گردد که احتمالاً مقدار DOC در فاضلاب خام و پساب بسیار نزدیک به یکدیگر بوده است که در فاضلاب خام به نسبت مقدار TOC خروجی، درصد انتقال کاهش یافته است. بدون توجه به نوع فاضلاب و نحوه کاربرد فاضلاب، میانگین درصد انتقال TOC از خاک برابر ۲۸/۳۶ به دست آمد که این عدد گواه بر درصد انتقال تقریباً زیاد آن می باشد. به نظر می رسد بافت خاک نقش مؤثری در درصد انتقال زیاد TOC ایفا کرده است. به طوری که کوانراد و همکاران گزارش کردند انتقال مواد آلی به عمق در خاک های با بافت سبک بیشتر از خاک های با بافت سنگین است (۲۵).



(شکل ۶) - درصد انتقال کربن آلی کل از ستون های خاک به زه آب های خروجی در طول زمان

بررسی تغییرات درصد انتقال کربن آلی کل (TOC) از ستون های خاک

وجود مواد آلی محلول در خاک می تواند بیانگر حضور ترکیبات میکروبی و همچنین ترکیبات آلی مقاوم به تجزیه باشد که در خاک تجزیه نشده اند. ترکیب های آلی مقاوم به تجزیه خاصیت انباشتگی زیستی دارند که برای میکروارگانیسم های خاک و گیاهان سمی بوده و در انسان اثرات سرطان زایی دارند. با توجه به فواید بی شمار مواد آلی، وجود TOC در محلول خاک می تواند سبب افزایش پویایی فلزات سنگین در اعماق زیرین خاک و همچنین تغییر در پتانسیل اکسایش و کاهش خاک گردد (۱۱). افزون بر آن پیوند ترجیحی ترکیبات آلی محلول با کلسیم و منیزیم، افزایش پراکنندگی ذرات خاک را به دنبال دارد (۱۴). شکل (۶)، بیانگر درصد انتقال TOC از ستون های خاک در طول زمان است. همان گونه که مشاهده می گردد با گذشت زمان بر درصد انتقال TOC به زه آب های خروجی افزوده شده است که این افزایش در شرایط استفاده از پساب به طور چشمگیری بیشتر از فاضلاب خام است. افزون بر آن تفاوت مشخصی از لحاظ نحوه کاربرد فاضلاب ها بر درصد انتقال TOC مشاهده نمی گردد. کوانراد و همکاران معتقدند که توانایی حذف مواد آلی موجود در فاضلاب با گذشت زمان یا به دلیل تخریب زیستی مواد آلی و یا افزایش توانایی جذب آنها توسط خاک بر اثر انباشتگی مواد آلی، افزایش می یابد (۲۵). بنابراین افزایش مقدار TOC در طول زمان می تواند به علت زمان کوتاه تجزیه و همچنین خروج مواد آلی مقاوم به تجزیه باشد. در خاک با توجه به مقدار بیشتر TOC در فاضلاب خام، تفاوت بسیار چشمگیری در درصد انتقال TOC به زه آب های خروجی بین فاضلاب ها می تواند بیانگر آن باشد که احتمالاً بخش زیادی از TOC موجود

بررسی تغییرات درصد انتقال فلزات سنگین از ستون‌های خاک:

فلزات سنگین در عرصه‌های مختلف فعالیت‌های شهری، خدماتی، کشاورزی و صنعتی دارای مصرف روزافزون می‌باشند و در فرآیند مصرف آب این مواد می‌توانند وارد فاضلاب گردند. فلزات سنگین در طبیعت اثرات سوئی بر کیفیت محصولات کشاورزی، حاصلخیزی خاک و آب‌های زیرزمینی می‌گذارند (۳). گالکوز و همکاران دریافته‌اند که خصوصیات مختلف خاک، ترکیب و درجه تصفیه فاضلاب و روش آبیاری نقش مهمی بر انتقال فلزات سنگین به آب‌های زیرزمینی ایفا می‌کنند (۱۳). با توجه به اینکه مقدار دو فلز سنگین نیکل و کادمیم در فاضلاب خام و پساب ورودی بیشتر از حد مجاز استاندارد فائو می‌باشد، تأثیر این فاکتورها بر درصد انتقال دو فلز فوق از خاک مورد بررسی قرار گرفته است.

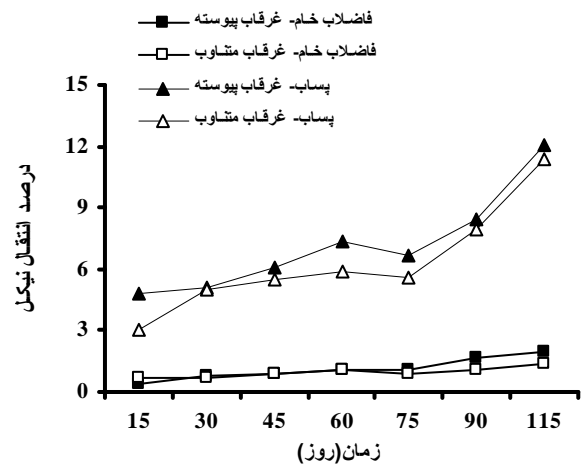
نیکل:

(شکل ۷)، درصد انتقال نیکل به زه‌آب‌های خروجی از خاک و روند تغییرات آن را با گذشت زمان نشان می‌دهد. از مشاهده این شکل می‌توان دریافت که با توجه به pH قلیایی خاک، نیکل به عمق خاک انتقال یافته است و همچنین درصد انتقال آن به زه‌آب‌های خروجی با گذشت زمان افزایش یافته است که این افزایش در شرایط کاربرد پساب بسیار چشمگیر است. نوع بافت خاک و وجود منافذ بزرگ در این خاک (همان‌طور که ذکر شد ۱۴ درصد نمونه اولیه خاک از ذرات بزرگتر از ۲ میلی‌متر تشکیل شده‌اند)، می‌تواند یکی از عوامل مؤثر بر افزایش درصد انتقال نیکل به زه‌آب‌های خروجی از خاک با افزایش کاربرد فاضلاب در طول زمان باشد. به طوری که آلووی دریافت حرکت فلزات سنگین در خاک‌هایی که منافذ

بزرگ دارند، به علت حرکت بخشی از رسوبات کلونیدی و ذرات رس همراه با حرکت محلول خاک، سبب انتقال فلزات سنگین متصل به این ذرات می‌گردد (۵). از سوی دیگر انتقال TOC و روند افزایش درصد انتقال آن به عمق خاک در طول زمان، نیز می‌تواند یکی دیگر از عوامل مؤثر بر انتقال باشد. به طوری که کاسچل و همکاران، افزایش پویایی فلزات سنگین در خاک‌های با pH قلیایی را به علت پیوند آن‌ها با مواد آلی محلول گزارش کردند (۱۹). سیبه و فیسچر نیز افزایش انتقال فلزات سنگین به عمق خاک را به دنبال کاربرد پساب گزارش کردند و دریافتند که علت افزایش تحرک فلزات سنگین، افزایش مقدار TOC و DOC در اعماق سطحی خاک بوده است (۲۷). در بررسی تأثیر نوع فاضلاب بر درصد انتقال مشخص می‌گردد که تأثیر نوع فاضلاب بر درصد انتقال نیکل مانند TOC است (جدول ۳). به گونه‌ای که درصد انتقال نیکل در شرایط کاربرد پساب به طور چشمگیری بیشتر از فاضلاب خام است که نشان می‌دهد بخش زیادی از نیکل موجود در پساب در اثر پیوند با مواد آلی منتقل شده است. در بررسی تأثیر نحوه کاربرد فاضلاب نیز مشخص می‌گردد که درصد انتقال نیکل در وضعیت حرکت متناوب فاضلاب‌ها کمتر از شرایط پیوسته است که این تأثیر از لحاظ آماری معنی‌دار گردید (جدول ۳). ون کوئیک و همکاران بیان کردند در طی کاربرد متناوب فاضلاب، تماس بیشتری بین اجزاء فاضلاب با ذرات خاک صورت می‌گیرد (۳۰). به نظر می‌رسد این شرایط در کاهش میزان انتقال نیکل به عمق خاک مؤثر بوده است. به طور کلی با توجه به میانگین درصد انتقال نیکل از ستون‌های خاک در دو تیمار آبیاری با فاضلاب خام و پساب که به ترتیب برابر ۱/۰۳ و ۶/۷۸ درصد می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که بخش زیادی از نیکل افزوده شده توسط فاضلاب‌ها در خاک انباشته شده است.

کادمیم:

در پژوهش حاضر مقدار کادمیم در بسیاری از نمونه‌های زه آب قابل تشخیص نبود که می‌تواند نشان‌دهنده جذب زیاد این فلز توسط ذرات خاک باشد. علاوه بر آن عامل دیگری که می‌تواند در این خصوص مؤثر باشد اینکه ممکن است بخشی از کادمیم با مواد آلی محلول پیوند تشکیل داده باشد ولی ثابت پایداری پیوند کم بوده است و مقدار بسیار ناچیزی از آن انتقال یافته است که قابل تشخیص نبوده است. آشورد و آلووی نیز ثابت پایداری کم پیوند کادمیم با مواد آلی را علت انتقال ناچیز کادمیم از ستون‌های خاک آمیخته به لجن فاضلاب گزارش کردند (۶).



(شکل ۷) - درصد انتقال نیکل از ستون‌های خاک به زه آب‌های خروجی در طول زمان

(جدول ۳) - تأثیر نوع و نحوه کاربرد فاضلاب بر درصد انتقال عناصر

پارامتر	نوع فاضلاب		نحوه کاربرد فاضلاب
	فاضلاب خام	پساب	
سدیم	۳۷/۴۳*	۴۳/۷۱*	غرقاب پیوسته ۳۹/۶۵ ^{ns}
پتاسیم	۴۶/۶۹ ^{ns}	۴۶/۷۹ ^{ns}	غرقاب متناوب ۴۴/۸۲ ^{ns}
کلسیم	۵۳/۹۶*	۶۲/۲۷*	غرقاب پیوسته ۵۲/۹۱**
منیزیم	۷۵/۲۲ ^{ns}	۸۰/۵۶ ^{ns}	غرقاب متناوب ۸۰/۷۳ ^{ns}
کلر	۵۹/۱۵**	۷۰/۰۹**	غرقاب پیوسته ۶۰/۱۳ ^{ns}
بی‌کربنات	۳۱/۶۷*	۳۸/۱۴*	غرقاب متناوب ۳۲/۰۰*
سولفات	۲۸/۱۸*	۳۲/۱۷*	غرقاب پیوسته ۲۹/۵۴ ^{ns}
نیتروژن-نیتراتی	۸۳/۲۸*	۶۰/۷۰*	غرقاب متناوب ۷۳/۴۹ ^{ns}
فسفر-فسفاتی	۲/۳۸*	۱/۴۰*	غرقاب پیوسته ۲/۱۳ ^{ns}
کربن آلی کل	۱۰/۸۳*	۴۵/۹۰*	غرقاب متناوب ۲۹/۹۷ ^{ns}
نیکل	۱/۰۳*	۶/۷۸*	غرقاب پیوسته ۴/۱۷*

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

نتیجه

از بررسی مقادیر درصد انتقال پارامترهای مورد بررسی می‌توان دریافت که با استمرار کاربرد فاضلاب بر درصد انتقال هر یک از آنان (بجز کادمیم و فسفر) به عمق خاک افزوده گردیده است. به‌طور کلی خاک توانایی خوبی در نگهداری فسفر و کادمیم نشان داده است اما درصد زیادی از

کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول، نیتروژن-نیتراتی، کربن آلی کل و همچنین بخشی از نیکل به زه آب‌های خروجی انتقال یافته است. با توجه به درصد زیاد انتقال نیتروژن-نیتراتی و TOC، اگر زه آب‌های خروجی از این خاک به آب‌های زیرزمینی به‌ویژه آب‌های زیرزمینی تأمین کننده آب شرب شهرها نفوذ کنند سلامتی افراد به خطر

سپاسگزاری

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد، مسئولان محترم تصفیه‌خانه پرکندآباد، گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و همچنین آزمایشگاه خاک‌شناسی برای در اختیار قرار دادن امکانات انجام پژوهش سپاسگزاری می‌شود.

منابع

- ۱- امامی، ح. ۱۳۸۲. بررسی روند حرکت عناصر سنگین کادمیم، سرب و روی در ستونهای خاک دست نخورده و دست خورده و تأثیر مواد آلی در نمونه‌های دست خورده. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- ۲- توکلی، م. و م. طباطبایی. ۱۳۷۸. آبیاری با فاضلاب تصفیه شده. نشریه کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۲۸، ص ۲۶-۱.
- ۳- 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.
- ۴- شایگان، ج. و ع. افشاری. ۱۳۸۳. بررسی وضعیت فاضلاب‌های شهری و صنعتی در ایران. مجله آب و فاضلاب. شماره ۴۹، ص ۶۹-۵۸.
- 5- Alloway, B.J. 1990. Heavy Metal in Soil. Blackie and Son Ltd. Glasgow and London.
- 6- Ashworth, D.J., and B.J. Alloway. 2004. Soil mobility of sewage sludge-derived dissolved organic matter, copper, nickel and zinc. Environmental Pollution. 127: 137-144.
- 7- Beltran, J.M. 1999. Irrigation with saline water: benefits and environmental impact. Agriculture Water Management. 40: 183-194.
- 8- Bolan, N.S., M.A.R. Khan, R. Naidu, R.W. Tillaman, and J.K. Syers. 1998. The effects of anion sorption on sorption and leaching cadmium. Australian Journal of Soil Research. 37: 445-460.
- 9- Elliott, L.F., and F.J. Stevenson. 1986. Soils for management of organic wastes and wastewaters. Second printing. Soil Sci. Soc. Am, Inc, Publisher. Madison, Wisconsin, USA.
- 10- FAO. 1992. Wastewater treatment and use in agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nation, Rome, FAO 47.
- 11- Fine, P., A. Hass, R. Prost and N. Atzmon. 2002. Organic carbon leaching from effluent irrigated lysimeters as affected by residence time. Soil Science of American Journal. 66:1531-1539.
- 12- Foppen, J.W.A. 2002. Impact of high-strength wastewater infiltration on groundwater and drinking water supply: the case of Sanaa, Yemen. Journal of Hydrology. 263: 198-216.

- 13- Gallegos, E., A. Warren, E. Robles, E. Campoy, A. Calderon, Ma. G. Sainz, P. Bonilla, and O. Escolero. 1999. The effects of wastewater irrigation on groundwater quality in Mexico. *Water Science and Technology*. 40: 45-52.
- 14- Gohil, M.B. 2000. *Land Treatment of Wastewater*. New Age International Ltd., Publishers, New Dehli.
- 15- Gong, C., and R.J. Donahoe. 1997. An experimental study of heavy metal attenuation and mobility in sandy loam soils. *Applied Geochemistry*. 12: 243-254.
- 16- Halliwell, D.J., K.M. Barlow, and D.M. Nash. 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.
- 17- Haruvy, N. 1998. Wastewater reuse-regional and economic considerations. *Resource, Conservation and Recycling*. 23: 57-66.
- 18- Hussain, I., L. Rachid, M.A. Hanjra, F. Marikar, and W. Vander Hoek . 2002. Wastewater use in agriculture: Review of impacts and methodological issues in valuing impacts. With an extended list of bibliographical references- Working Paper 37. Colombo, Sri Lanka, International Water Management Institute.
- 19- Kaschl, A., V. Romheld, and Y. Chen. 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.
- 20- Kass, A., I. Gavrieli, Y. Yechieli, A. Vengosh, and A. Starinsky. 2004. 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*. 1-18.
- 21- Magesan, G.N., J.C. Williamson, G.W. Yeates, and A.Rh. Lloyd-Jones. 2000. Wastewater C:N ratio effects on soil hydraulic conductivity and potential mechanisms for recovery. *Bioresource Technology*. 71: 21-27.
- 22- Mahida, U.N., 1981. *Water Pollution and Disposal of Wastewater on Land*. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited New Dehli.
- 23- McLaren, R.G., L.M. Clucas, M.D. Taylor, and T. Hendry. 2003. Leaching of macronutrients and metals from undisturbed soils treated with metal-spiked sewage sludge. 1- Leaching of macronutrients. *Australian Journal of Soil Research*. 41: 571-588.
- 24- McLean, J.E., and B.E. Bledsoe. 1992. *Ground Water Issue: Behavior of Metals in Soils*. United States Environmental Protection Agency, EPA/ 540/ S-92/ 018.
- 25- Quanrud, D.M., R.G. Arnold, L.G. Wilson, and M.H. Conklin. 1996. Effect of soil type on water quality improvement during soil aquifer treatment. *Water Science and Technology*. 33: 419-431.
- 26- Shen, Y., G.H. Jones, and J. Olsen. 1980. Soil as a medium for dairy liquid waste disposal. *Journal of Environmental Quality*. 9: 370-372.
- 27- Sibe, C., and W.P. Fischer. 1996. Effect of long-term irrigation with untreated effluent on soil properties and heavy metal absorption of Leptosols and Vertisols in Central Mexico. In: *Organic carbon leaching from effluent irrigated lysimeters as affected by residence time*. Ed: P. Fine, A.Hass, R. Prost, and N. Atzmon. 2002. *Soil Science Society of America Journal*. 66:1531-1539.
- 28- Suzuki, T., k. katsuno, and G. Yamaura. 1992. Land application of wastewater using three types of trenches set in lysimeters and its mass balance of nitrogen. *Water Research*. 26: 1433-1444.
- 29- Tillaman, R.W., and A.Surapaneni. 2002 Some soil-related issues in the disposal of effluent on land. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 42: 225-235.
- 30- VanCuyk, S., R. Siegrist, A. Logan, S .Masson, E .Fischer, and L. Figueroa. 2001. Hydraulic and purification behaviors and their interactions during wastewater treatment in soil infiltration systems. *Water Research*. 35: 953-964.
- 31- White, R.E., L.K. Heng, and R.W. Tillaman. 1999. Anion and cation leaching through undisturbed soil cores under different flow regimes. 1. Experimental results. *Australian Journal of Soil Research*. 37: 711-726.

Transport of some elements to depth of a soil following irrigation with raw and treated municipal wastewaters under continuous and intermittent flood conditions

A. Hosseinpour* - G.H. Haghnia - A. Alizadeh- A. Fotovat¹

Abstract

Due to the necessity of wastewater reuse in arid regions and the necessity of investigation on the fate of added materials into the soil, a greenhouse experiment was carried out with polyethylene columns (150 cm in length and 11 cm in diameter) filled with a sandy loam soil during 7 periods of 15 days. A statistical factorial design was used. Raw and treated wastewaters from Parkandabad treatment plant were applied to the columns under continuous and intermittent flood irrigations. The results showed that $\text{PO}_4\text{-P}$ and Cd were retained by the soil while a large portion of soluble cations and anions, $\text{NO}_3\text{-N}$ and TOC as well as a part of Ni were leached out. The type of wastewater had a significant effect on transport percentage of elements except K and Mg. The transport percentage of all elements (with the exception of $\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{PO}_4\text{-P}$) was higher for treated as compared to raw wastewater. Ca, HCO_3 and Ni were significantly affected by the mode of application. For the intermittent flood conditions more Ca was leached out, while a reverse case was observed for the other two elements. Due to relatively rapid leaching of soluble cations especially Ca and Mg, $\text{NO}_3\text{-N}$ and TOC from the soil, and also high amount of heavy metals and TOC in raw wastewater, disposal of wastewaters (especially raw wastewater) should be managed carefully.

Key words: Column study, Raw and treated wastewater, Continuous flooding, Intermittent flooding, Transport percentage

*- Corresponding Author Email: azamhoseinpour@yahoo.com

1 - College of Agriculture Ferdowsi University