نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و سوم، شماره پنجم، ۱۳۹۵
http://jwsc.gau.ac.ir

تأثیر فاضلاب بر انتقال فلزات سنگین و ترکیبات شیمیایی در ستون خاک با پوشش ریحان

مسعود شاکرمی[۱]، *صفر معروفی[۲] و قاسم رحیمی[۳]

[۱]دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشگاه بوعلی‌سینا، [۲]استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بوعلی‌سینا،
[۳]استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه بوعلی‌سینا

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/٦ ؛ تاریخ پذیرش: ۹٤/۱۱/۲۸

چکیده

سابقه و هدف: به‌کارگیری فاضلاب در بخش کشاورزی هر چند با مزایای زیادی توأم است، اما به‌دلیل این‌که این گونه آب‌ها، حاوی میکروارگانیزم‌های بیماری‌زا و در برخی از شرایط فلزات سنگین و یا ترکیبات آلی و معدنی مضر دیگری می‌باشند، می‌توانند اثرات زیست‌محیطی بسیار نامطلوبی مانند آلودگی منابع آب (به‌ویژه آب‌های زیرزمینی)، خاک و گیاه را به بار آورند. بنابراین تلاش برای دستیابی به نحوه دفع مناسب فاضلاب در محیط زیست ضروری است. بنابراین هدف از این پژوهش، تأثیر نوع فاضلاب بر انتقال فلزات سنگین و ترکیبات شیمیایی در یک ستون خاک با پوشش گیاه ریحان می‌باشد.

مواد و روش‌ها: پژوهش حاضر در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار آبیاری و سه تکرار در شرایط لایسیمتری انجام گرفت. تیمارهای به‌کار برده شده شامل فاضلاب خام (W_1)، پساب تصفیه‌شده (W_2) و ترکیب ۵۰ درصد فاضلاب خام و آب معمولی (W_3) بودند. برای اجرای طرح از نه عدد لایسیمتر حجمی (۱۲٦×۳۰ ×۳۰ سانتی‌متر) که دارای سه لایه خاک بودند، استفاده شد. تغییرات بافت خاک از قسمت فوقانی به سمت پایین به‌ترتیب رسی، لوم رسی و لوم رسی شنی بود. پس از طراحی و آماده‌سازی لایسیمترها، گیاه ریحان در آن‌ها کشت و در پایان هر دوره آبیاری، میزان فلزات سرب، نیکل، مس، روی و همچنین میزان ترکیبات شیمیایی نیتروژن- نیتراتی، فسفر- فسفاتی و پتاسیم در تیمارهای مختلف محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج این پژوهش بیانگر آن است که ستون‌های خاک (تحت شرایط کشت گیاه ریحان) مورد استفاده توانایی خوبی در نگهداری نیکل، سرب، روی، مس، نیتروژن- نیتراتی، فسفر- فسفاتی و پتاسیم موجود در فاضلاب را دارند. به‌طوری‌که میانگین مقدار تمام پارامترهای فوق همواره کم‌تر از میانگین مقدار آن‌ها در فاضلاب‌های ورودی به لایسیمتر است. اگرچه با استمرار کاربرد فاضلاب مقادیر نیکل، سرب، روی، مس، نیتروژن- نیتراتی، فسفر- فسفاتی و پتاسیم موجود در آب‌های مصرفی رو به فزونی نهاد اما میزان این پارامترها بسیار پایین‌تر از حدود مجاز ارائه شده می‌باشد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که نوع آب آبیاری بر میزان تمام پارامترهای فوق (به‌جز نیکل و سرب) اثر معنی‌دار داشت. از لحاظ بزرگی و معنی‌داری، الگوی روی، پتاسیم، نیتروژن نیتراتی و فسفر- فسفاتی به‌صورت $W_1 > W_3 > W_2$ و الگوی مس به‌صورت $W_1 > W_2 = W_3$ است. در طول ۱۱ دوره آبیاری و در بین تمامی تیمارها،

* مسئول مکاتبه: smarofi@yahoo.com

دامنه تغییرات میانگین فلزات و ترکیبات شیمیایی زه‌آب عبارت بود از: سرب (۰/۰۳ – ۰/۰۱)، نیکل (۰/۰۳ – ۰/۰۱)، مس (۰/۰۳ – ۰)، روی (۱– ۰)، نیتروژن- نیتراتی (۱۰/۵٤ – ۳/۰۵)، فسفر- فسفاتی (۰/۰۸ – ۰/۰۳) و پتاسیم (۱۱/۱۳– ۵/۲۵ میلی‌گرم در لیتر).

نتیجه‌گیری: با توجه به روند صعودی فلزات سنگین و همچنین نیترات موجود در زه‌آب، باید دقت ویژه‌ای در استفاده از فاضلاب به‌ویژه فاضلاب خام مبذول گردد، زیرا با گذشت زمان و تجزیه مواد آلی، این عناصر می‌توانند وارد آب‌های زیرزمینی شده و برای انسان و محیط زیست خطرآفرین باشند.

واژه‌های کلیدی: فاضلاب خام، پساب تصفیه‌شده، لایسیمتر، فلزات سنگین

مقدمه

فاضلاب، تنها منبع آبی با دبی مداوم و پیوسته است که با رشد جمعیت افزایش یافته و کم‌تر تحت‌تأثیر خشکسالی قرار می‌گیرد (۱۷). امروزه استفاده از فاضلاب در بخش کشاورزی به‌عنوان منبع آبی ارزان و سرشار از مواد مغذی در کشورهای خشک و نیمه‌خشک مورد توجه ویژه قرارگرفته است (۲۳، ٤۳). استفاده از فاضلاب برای آبیاری دارای مزایای متعددی از جمله فراهم نمودن یک منبع آب ارزان و دائمی، افزایش کربن آلی خاک، فراهم نمودن عناصر کودی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) مورد نیاز گیاه، افزایش عملکرد محصول، بهبود خصوصیات فیزیکی خاک و افزایش در فعالیت‌های میکروبی خاک می‌باشد (۱، ۲۹، ۳٦، ۳۷، ۳۹).

به‌کارگیری فاضلاب در بخش کشاورزی هر چند با مزایای زیادی توأم است، اما به‌دلیل این‌که این گونه آب‌ها، حاوی موادی مانند املاح، سدیم، کلر، بر، میکروارگانیزم‌های بیماری‌زا و در برخی از شرایط فلزات سنگین و یا ترکیبات آلی و معدنی مضر دیگری می‌باشند، می‌توانند اثرات زیست‌محیطی بسیار نامطلوبی مانند آلودگی منابع آب (به‌ویژه آب‌های زیرزمینی)، خاک و گیاه را به بار آورند (۱۲، ۲٤، ۳۷). (بنابراین تلاش برای دستیابی به نحوه دفع مناسب فاضلاب در محیط زیست ضروری است.

آبیاری و تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها از مهم‌ترین شیوه‌های دفع فاضلاب در خاک و استفاده مجدد از فاضلاب می‌باشند (۱۵). با عبور فاضلاب از منطقه غیراشباع زمین (حدفاصل آب زیرزمینی و سطح خاک) امکان جداشدن ذرات جامد شناور، مواد قابل‌تجزیه و میکروارگانیسم‌ها به‌صورت تقریباً کامل فراهم گردیده و به مقدار قابل‌توجهی غلظت آلاینده‌ها در آن کاهش می‌یابد (۱۸). البته کارایی خاک در حذف آلاینده‌ها به عواملی مانند نوع خاک، خصوصیات فاضلاب، پوشش گیاهی و میزان کاربرد فاضلاب دارد. هان و همکاران (۱۹۹۷) بافت خاک را از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر انتقال و آبشویی نیترات ذکر می‌کنند (۱۳). نتایج پژوهش نیکعمل لاریجانی و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که خاک لوم، نیترات بیش‌تری در مقایسه با خاک لوم سیلتی انتقال می‌دهد.

میزان آبشویی نیترات و فسفات، در طول فصل زراعی در مقایسه با فصل غیرزراعی، بسیار پایین‌تر است (٦، ٤۹). ممو و همکاران (۲۰۰۵) گزارش نمودند، زمانی که فاضلاب حاوی فسفر کم (۱/۱ میلی‌گرم در لیتر) و فاضلاب حاوی فسفر بالا (۲۱ میلی‌گرم در لیتر) در ستونی از خاک با بافت لوم شنی به‌کار برده شدند، در تیمار حاوی فاضلاب با غلظت کم فسفر، خاک به‌عنوان منبعی از فسفر و در تیمار حاوی فاضلاب با غلظت بالای فسفر، خاک به‌عنوان

مخزن فسفر عمل می‌نماید (۲۷). رایج‌ترین روش برای تعیین اطلاعات مربوط به مکانسیم‌های موضعی و انتقال آلاینده‌ها، مطالعات ستونی می‌باشند. مزایای استفاده از این روش عبارتند از عدم نیاز به جداسازی محلول از خاک، عدم نیاز به تکان دادن برای ترکیب خاک با محلول، شبیه‌سازی بهتر شرایط مزرعه‌ای و ارایه داده کافی برای مدل‌های پیش‌بینی با هزینه نسبتاً کم (۳۱).

به‌منظور بررسی اثرات آبیاری با فاضلاب بر شستشوی نمک‌ها و آلاینده‌ها به اعماق خاک، تاکنون تحقیقاتی در ایران و برخی دیگر از کشورها انجام گرفته است. معروفی و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی اثر تیمارهای مختلف فاضلاب بر میزان انتقال فلزات سنگین به اعماق خاک، گزارش نمودند که اثر تیمارهای آبیاری بر درصد انتقال فلزات سنگین معنی‌دار است. این پژوهشگران کم‌ترین میانگین فلزات سنگین را در تیمار فاضلاب خام مشاهده نمودند (۲۸). نتایج به‌دست آمده از مطالعه حسین‌پور و همکاران (۲۰۰۹) بیانگر توانایی خوب خاک در نگهداری دو عنصر فسفر و کادمیم موجود در فاصلاب است. اما این پژوهشگران گزارش نمودند که درصد زیادی از کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول، نیتروژن-نیتراتی، کربن آلی و همچنین بخشی از نیکل به زه‌آب‌های خروجی انتقال یافته است (۱۸). حسن‌اقلی و همکاران (۲۰۰۹) با کاربرد پساب تصفیه‌خانه شهر اکباتان در ستون‌های استوانه‌ای شکل به ارتفاع ۲۰۰ سانتی‌متر، نشان دادند که عملکرد ستون خاک در حذف آلاینده‌های مهمی هم‌چون BOD[1]، COD[2]، نیتروژن و فسفر به‌ترتیب ۹۳/۵، ۷۹/۵، ۴۰/۴ و ۷۵ درصد می‌باشد. اما مقدار حذف عوامل بیماری‌زای بیولوژیک (کلیفرم و کلیفرم مدفوعی) در دامنه ۹۹-۹۷ درصد قرار دارد (۱۶). به‌طور مشابه، در مطالعه دیگر با کاربرد فاضلاب کارخانه گوجه فرنگی فلوریدا در لایسیمترهای استوانه (۳۰ سانتی‌متر قطر و ۵۰ سانتی‌متر ارتفاع) مشخص شد که قسمت عمده فسفر و کاتیون‌های پتاسیم و سدیم موجود در فاضلاب کارخانه گوجه فرنگی فلوریدا توسط خاک جذب می‌شود (۸). بارتن و همکاران (۲۰۰۵) گزارش نمودند که ستون خاک لوم رسی به عمق ۷۰ سانتی‌متر، ۸۴ درصد از فسفر موجود در فاضلاب را جذب و فقط ۱۶ درصد از فسفر موجود در فاضلاب ورودی آبشویی می‌شود (۵).

به‌نظر می‌رسد گیاهان دارویی از جمله ریحان یک ایده خوب برای گیاه پالایی باشند، چون این گونه‌های گیاهی اغلب برای تولید اسانس (مقاصد ثانویه) به‌کار می‌روند. این گیاهان همچنین توانایی خوبی برای تجمع عناصر سنگین را دارند و خیلی از گونه‌های گیاهان دارویی می‌توانند در خاک‌های آلوده بدون هیچ‌گونه کاهش عملکردی رشد کنند. پژوهشگران زیادی نشان داده‌اند که فلزات سنگین جذب‌شده توسط گیاه در اسانس ظاهر نخواهد شد (۴۱، ۴۸).

با عنایت به جمیع موارد فوق، اجرای پژوهش‌های محلی برای یافتن راهبردهای مدیریتی مناسب و قابل توصیه جهت استفاده بهینه از فاضلاب ضروری می‌باشد. بنابراین باید سرنوشت مواد اضافه شده به خاک توسط فاضلاب و همچنین آبشویی و انتقال این مواد به عمق خاک را در نظر گرفت. بنابراین هدف از این پژوهش، تأثیر نوع فاضلاب بر انتقال فلزات سنگین و ترکیبات شیمیایی در یک ستون خاک با پوشش گیاه ریحان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در طی سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینا همدان

1- Biological Oxygen Demand (BOD)
2- Chemical Oxygen Demand (COD)

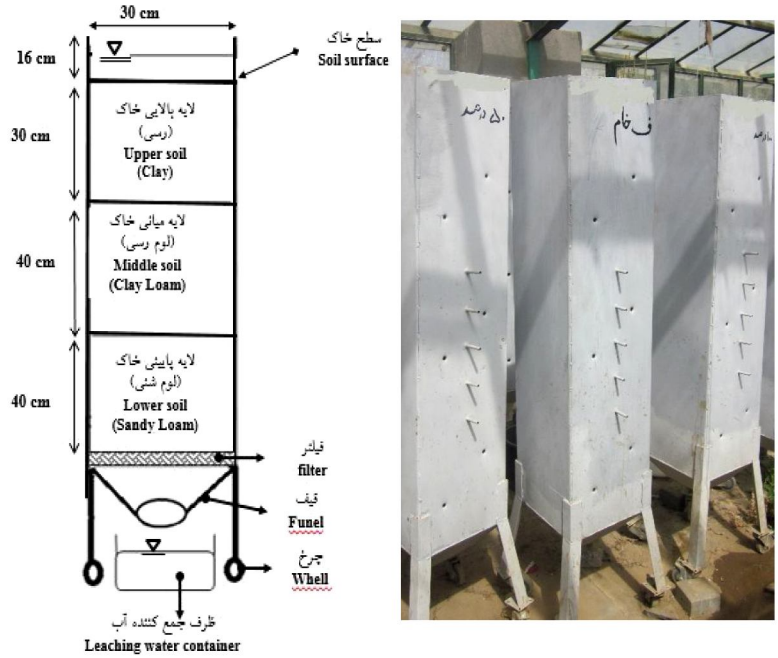
و در شرایط لایسیمتری در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار آبیاری و سه تکرار انجام گرفت. تیمارها عبارت بودند از فاضلاب خام (W_1)، فاضلاب تصفیه شده (W_2) و ترکیب ۵۰ درصد فاضلاب خام و آب معمولی (W_3). در اجرای این پژوهش، به‌منظور کنترل هرچه مطلوب‌تر همه عوامل مؤثر، از تعداد ۹ عدد لایسیمتر فلزی حجمی با ابعاد ۱۲۶×۳۰×۳۰ سانتیمتر، استفاده گردید. پس از طراحی، ساخت و قرار دادن لایسیمترها در داخل گلخانه، جهت نیل به شرایط واقعی خاک (از نظر تراکم)، پر نمودن آن‌ها طی چند مرحله و به‌تدریج در طی یک دوره زمانی پنج‌ماهه با انجام آبیاری‌های متناوب و بدون کشت صورت گرفت. به‌منظور ایجاد شرایط یکنواخت در خاک مورد نظر و جداسازی ذرات درشت‌دانه، از الک با قطر روزنه‌های یک سانتی‌متر استفاده شد (۲۹).

الگوی پروفیل خاک لایسیمترها، بر اساس الگوی پروفیل خاک مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینا همدان و همچنین غالب خاک‌های منطقه همدان انتخاب شد. بر این اساس، خاک لایسیمترها دارای سه لایه: لایه فوقانی (صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) از جنس رسی، لایه میانی (۳۰ تا ۷۰ سانتی‌متر) از جنس لوم رسی و لایه زیرین (۷۰ تا ۱۱۰ سانتی‌متر) از جنس لوم رسی شنی در نظر گرفته شد. در نهایت، همه لایسیمترها تا ارتفاع ۱۱۰ سانتی‌متری، از خاک پر شدند و جهت تامین فضای لازم برای آب آبیاری، عمقی معادل ۱۶ سانتی‌متر در بالای خاک روئین، در نظر گرفته شد. پس از آماده‌سازی بستر کشت، بذر ریحان (رقم سفید[1]) در دو ردیف و عمق یک سانتی‌متر کشت گردید. پس از جوانه‌زنی، رشد و تنک نمودن آن‌ها، در مجموع ۱۲ بوته در هر لایسیمتر (در دو ردیف) در نظر گرفته شد. در شکل ۱، نمونه‌ای از لایسیمترهای به‌کار برده شده در پژوهش ارائه شده است.

با توجه به نبود تصفیه‌خانه فعال در همدان، از فاضلاب خام و پساب تصفیه‌شده تصفیه‌خانه فاضلاب کرمانشاه استفاده گردید. نمونه‌برداری از فاضلاب خام از خروجی آشغال‌گیری اولیه و فاضلاب تصفیه‌شده به‌دلیل فعال نبودن واحد کلرزنی از خروجی تصفیه‌خانه انجام گرفت. با توجه به این‌که نگهداری فاضلاب به‌دلیل مشکلات متعدد عملاً امکان‌پذیر نبود، در هر مرحله آبیاری اقدام به تهیه و انتقال فاضلاب تازه به محل آزمایش گردید. در مجموع تعداد یازده دوره آبیاری (بر اساس تیمارهای آب ذکر شده) صورت گرفت. در ابتدا فواصل آبیاری در دوره‌های ۱۴ روزه و به‌میزان ۸ لیتر صورت پذیرفت. سپس با رشد گیاه و گرم شدن هوا، دوره آبیاری به ۷ روز کاهش و میزان آبیاری نیز به ۱۲ لیتر افزایش یافت. گیاه ریحان نیز سه نوبت (در مرحله گلدهی کامل) برداشت گردید.

پس از هر دوره آبیاری، نمونه‌هایی از فاضلاب خام و پساب تصفیه‌شده و همچنین زه‌آب خروجی از لایسیمترها تهیه و پس از صاف نمودن با کاغذ صافی واتمن ۴۲، مقادیر نیتروژن- نیتراتی، فسفر- فسفاتی، پتاسیم، هدایت الکتریکی، pH، کلسیم، منیزیم و برخی از فلزات سنگین آن‌ها تعیین گردید. نیترژون- نیتراتی و فسفر- فسفاتی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر، سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر، کلسیم و منیزیم با استفاده از تیتراسیون و غلظت فلزات سنگین وسیله دستگاه جذب اتمی (به روش شعله) اندازه‌گیری شد. آنالیز همه پارامترهای موجود در فاضلاب‌های خام و تصفیه‌شده ورودی به لایسیمترها و همچنین زه‌آب خروجی از لایسیمترها، مطابق با کتاب استاندارد متد (۱۹۹۵)، انجام گرفت.

1- Ocimum Basilicum



شکل ۱- نمای و ابعاد لایسیمترهای به‌کار برده شده در پژوهش.

Figure 1. Schematic and dimensions of lysimeter.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک (قبل از کشت).

Table 1. Some physicals properties of soil (before planting).

لایه (layer)	بافت خاک (Soil texture)	شن (Sand)	سیلت (Silt)	رس (Clay)	جرم مخصوص (density)		تخلخل (Porosity)	هدایت هیدرولیکی (Hydraulic Conductivity)
		(%)			ظاهری (Bulk)	حقیقی (Particle)	(%)	mmh^{-1}
					($grcm^{-3}$)			
بالایی (Upper)	رسی (Clay)	22	21	57	1.41	2.51	44.17	26.1
میانی (Middle)	لوم رسی شنی (Sandy Clay Loam)	52.56	21.92	25.52	-	-	-	-
زیرین (Lower)	لوم شنی (Sandy Loam)	60.77	20.66	18.97	-	-	-	-

برای تعیین ویژگی‌های (شیمیایی) اولیه خاک، ابتدا نمونه‌های خاک مورد استفاده، هوا خشک و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند، سپس مقادیر pH و EC (سسپانسیون نسبت ۱ به ۵ خاک به آب) به‌ترتیب با استفاده از دستگاه‌های pHمتر و ECسنج اندازه‌گیری شد (۳۸). نیترژون کل با استفاده از دستگاه کجلدال (۳۸)، فسفر قابل‌جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (۳۵)، سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر (۳۸)، کلسیم و منیزیم با استفاده از تیتراسیون (۳۸) و بافت خاک نیز به روش هیدرومتری (۱۹) تعیین گردید.

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک مصرفی.

Table 2. Some chemicals properties of soil and compost used.

لایه‌های خاک (Soil layers)			واحد (Unit)	پارامتر (Parameter)
سوم (Lower)	دوم (Middle)	اول (Upper)		
7.43	7.42	7.43	-	pH
0.508	0.528	0.72	dSm^{-1}	EC
97.21	159.61	201.38	$mgkg^{-1}$	Na
52.19	72.61	115.13	$mgkg^{-1}$	Ca
15.62	21.16	32.16	$mgkg^{-1}$	Mg
5.15	6.01	8.11	$mgkg^{-1}$	$N\text{-}NO_3$
6.23	7.11	10.55	$mgkg^{-1}$	$P\text{-}P_2O_4$
197.41	252.46	314.24	$mgkg^{-1}$	K
4.35	6.38	10.3	$mgkg^{-1}$	Pb
0.98	1.21	1.5	$mgkg^{-1}$	Ni
0.82	1.01	1.2	$mgkg^{-1}$	Zn
0.82	1.21	1.6	$mgkg^{-1}$	Cu

جدول ۳- برخی از ویژگی‌های شیمیایی فاضلاب‌های خام و تصفیه‌شده مصرفی.

Table 3. Some chemicals properties of Fresh water raw and treated wastewater used.

آب معمولی (Fresh water)	فاضلاب (Wastewater)		پارامتر (Parameter)	
	پساب (Treated)	خام (Raw)		
7.77	7.55	7.57	-	pH
0.74	0.605	1.65	dSm^{-1}	EC
109.9	197.58	211	mgL^{-1}	Na
24.6	52.19	60.65	mgL^{-1}	Ca
36.6	41.12	50.23	mgL^{-1}	Mg
3.28	4.94	4.82	$(meql^{-1})^{0.5}$	SAR
0.08	27.23	20.22	mgL^{-1}	$N\text{-}NO_3$
0.09	1.70	1.98	mgL^{-1}	$P\text{-}P_2O_4$
9	24.28	30.42	mgL^{-1}	K
0.01	0.03	0.07	mgL^{-1}	Pb
*	0.04	0.07	mgL^{-1}	Ni
0.01	0.12	0.14	mgL^{-1}	Zn
*	0.03	0.06	mgL^{-1}	Cu

* غیرقابل تشخیص برای دستگاه

* Undetected for device

دیگر خصوصیات خاک نظیر هدایت هیدرولیکی با استفاده از روش بار ثابت (۲۱)، چگالی ظاهری آن با استفاده از سیلندرهای استوانه و چگالی حقیقی نیز با استفاده از پیکنومتر اندازه‌گیری گردید (۱۹). تخلخل کل با استفاده از مقادیر چگالی حقیقی و چگالی ظاهری خاک و با استفاده از رابطه زیر به‌دست آمد:

$$n = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_s}$$

در همه آزمایش‌ها pH با استفاده از دستگاه pH متر (Metrohm model 744) و EC با استفاده از دستگاه EC سنج (Metrohm model 712) اندازه‌گیری شدند. نیتروژن کل به روش کجلدال، نیتروژن- نیتراتی و فسفر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Varian model Cary-100)، سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر (model 405 G)، اندازه‌گیری شدند. در جدول ۱ برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های مورد استفاده ارائه شده است. همچنین برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک و فاضلاب نیز در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده‌اند.

در پژوهش حاضر، علاوه بر تجزیه و تحلیل داده‌های فلزات سرب، نیکل، مس، روی و همچنین میزان ترکیبات شیمیایی نیتروژن- نیتراتی، فسفر- فسفاتی و پتاسیم موجود در زه‌آب لایسیمترهای آبیاری شده با تیمارهای مختلف، فاکتور درصد انتقال پارامترهای فوق به عمق ستون خاک در طی دوره کشت، نیز محاسبه گردید. درصد انتقال بیانگر نسبت میانگین غلظت خروجی عنصر از ستون خاک به میانگین غلظت ورودی آن عنصر به آن می‌باشد (۱۸، ۲۸). تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (9.1) انجام گرفت. میانگین داده‌ها به‌وسیله آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد مقایسه شدند. برای ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel 2007 استفاده گردید.

نتایج و بحث

ویژگی‌های شیمیایی فاضلاب: میزان پارامترهای شیمیایی فاضلاب خام و تصفیه شده در جدول ۳ ارائه گردیده است. مطابق استاندارد سازمان جهانی خواروبار و کشاورزی (فائو[1]، ۱۹۹۲)، بیشینه مجاز قابلیت هدایت الکتریکی آب آبیاری با محدودیتی کم تا متوسط برای آبیاری، برابر ۳ دسی‌زیمنس بر متر است و مقادیر کم‌تر از ۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر، بدون محدودیت اعلام شده است (حسن‌اقلی و همکاران، ۲۰۰۹). قابلیت هدایت الکتریکی در فاضلاب تصفیه‌شده کم‌تر از ۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر بود و بنابراین هیچ‌گونه محدودیتی جهت استفاده در آبیاری نداشت. اما قابلیت هدایت الکتریکی فاضلاب خام تقریباً دو برابر میزان مجاز بود. ملاحظه مقادیر SAR انواع آب‌های آبیاری مورد استفاده در پژوهش و مقایسه آن‌ها با مقادیر مجاز ارائه شده، دلالت بر محدودیت، به‌وسیله این پارامتر برای خاک و آبیاری گیاهان داشت. کمیت SAR در فاضلاب‌های خام، تصفیه‌شده و آب معمولی به‌طور متوسط برابر با ٤/٨٢، ٤/٩٤ و ٣/٢٨ $(meq/L)^{0.5}$ بود که مقدار استاندارد تعیین‌شده از نظر آبیاری بدون محدودیت میزان SAR بین صفر تا سه را شامل می‌گردد که در مرحله تکمیلی EC آب آبیاری نیز باید مورد نظر باشد (۲). متوسط EC در فاضلاب خام، پساب تصفیه ثانویه و آب معمولی به‌کار برده شده در این پژوهش به‌ترتیب برابر ١/٦٥، ٠/٦٠٥ و ۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر بوده است. بنابراین در ارتباط با ارقام SAR و EC، انواع آب آبیاری مورد

1- FAO

استفاده، می‌توان چنین استنباط نمود که کاربرد فاضلاب خام دارای کیفیت خوب ولی پساب تصفیه‌شده و آب معمولی دارای کیفیت متوسط می‌باشند.

با توجه به جدول ۳ ملاحظه می‌گردد که مقدار بسیاری از عناصر مورد بررسی در فاضلاب خام، در طول دوره تصفیه کاهش یافته است. اما کاهش مقدار اسیدیته و نیتروژن نیتراتی در پساب تصفیه‌شده نسبت به فاضلاب خام احتمالاً به‌دلیل تولید گازهای اسیدی در طول عملیات تصفیه است که در اثر تجزیه‌بخشی از مواد آلی آزاد شده‌اند (۲۶). کیفیت شیمیایی فاضلاب‌های خام و تصفیه‌شده از لحاظ همه پارامترهای مورد بررسی در مقایسه با استاندارد ایران در حد مجاز قرار می‌گیرد.

میزان فلزات سنگین و عناصر مغذی موجود در زه‌آب

نتایج تجزیه و تحلیل میزان فلزات سنگین و عناصر مغذی موجود در زه‌آب: تجزیه آماری میزان فلزات سنگین و عناصر مغذی انتقال‌یافته به عمق ستون خاک در جدول ٤ ارائه گردیده است. با توجه به نتایج این جدول مشاهده می‌گردد که اثر نوع آب آبیاری بر میزان تمامی فلزات سنگین (به‌جزء نیکل و سرب) و همچنین تمامی عناصر مغذی اندازه‌گیری شده در زه‌آب خروجی از ستون‌های خاک معنی‌دار است.

جدول ٤- نتایج تجزیه و تحلیل آماری میزان عناصر مغذی و فلزات سنگین موجود در زه‌آب.

Table 4. Analysis of variance for nutrients and heavy metals in the leachate.

منبع پراکنش (Source of variation)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (Means of square)						
		عناصر سنگین (Heavy metals)				عناصر مغذی		
		نیکل (Ni)	سرب (Pb)	روی (Zn)	مس (Cu)	پتاسیم (K)	نیتروژن- نیتراتی ($N-NO_3$)	فسفر- فسفاتی ($P-P_2O_4$)
نوع آب مصرفی (Type watering)	2	0.00^{ns}	0.00^{ns}	0.02**	0.00**	3.29*	3.12**	0.00**
خطا (Error)	6	0.00	0.00	0.01	0.00	0.47	0.02	0.01
کل (Total)	8							-

** و ^{ns} به‌ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد و غیرمعنی‌دار.

** and ^{ns} significant at P<0.01 and not significant, respectively.

مقایسه میانگین اثر نوع آب آبیاری بر میزان فلزات سنگین و عناصر مغذی موجود در زه‌آب: میانگین فلزات سنگین و عناصر مغذی موجود در زه‌آب در اثر تیمارهای آبیاری در جدول ۵ ارائه گردیده است. با توجه به نتایج این جدول مشاهده می‌گردد که از لحاظ بزرگی و معنی‌داری، الگوی روی، پتاسیم، نیتروژن نیتراتی و فسفر- فسفاتی به صورت $W_1 > W_2 = W_3$ و الگوی مس به‌صورت $W_1 > W_2 > W_3$ است. اما بین تیمارهای مختلف از لحاظ نیکل و سرب اختلاف آماری معنی‌داری وجود ندارد. روند تغییرات فلزات

نیکل، سرب، روی و مس زه‌آب در طول زمان‌های آبیاری در تیمارهای مختلف در شکل ۲ ارائه شده است. هر چند بین تیمارهای مختلف از لحاظ نیکل و سرب موجود در زه‌آب اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نگردید، اما نتایج شکل ۲ بیانگر انتقال این دو فلز به عمق ستون خاک می‌باشد. با توجه به این شکل، در تمامی تیمارها، غلظت روی و مس زه‌آب تا آبیاری چهارم، قابل تشخیص نمی‌باشد و از آبیاری پنجم به بعد، نوسانات نامنظم افزایشی و کاهشی وجود دارد، ولی در تمام موارد، مقدار روی و مس کم‌تر از مقدار مجاز ارائه شده در استانداردهای FAO و EPA (به‌ترتیب ۲ و ۰/۲ میلی‌گرم در لیتر) می‌باشد. اما بررسی میانگین مقادیر سرب و نیکل در نمونه‌های زه‌آب جمع‌آوری شده (شکل ۲)، بیانگر آن است که میانگین مقدار سرب و نیکل با وجود روند افزایشی تدریجی، در تمام موارد کم‌تر از مقدار مجاز ذکر شده توسط استانداردهای FAO و EPA (به‌ترتیب ۱ و ۰/۲ میلی‌گرم در لیتر) می‌باشد (شکل ۲).

جدول ۵- اثر نوع آب آبیاری بر میانگین عناصر مغذی و فلزات سنگین موجود در زه‌آب.

Table 5. Effect of type watering on nutrients and heavy metals in the leachate.

تیمار (Treatment)	نیکل* (Ni)	سرب (Pb)	روی (Zn)	مس (Cu)	پتاسیم (K)	نیتروژن- نیتراتی ($N-NO_3$)	فسفر- فسفاتی ($P-P_2O_4$)
W_1	0.03^a	0.02^a	0.33^a	0.02^a	8.87^a	6.25^a	0.07^a
W_2	0.02^a	0.02^a	0.19^b	0.00^c	7.01^b	4.37^b	0.06^b
W_3	0.02^a	0.02^a	0.22^b	0.01^b	7.11^b	4.63^b	0.06^b

W_1: فاضلاب خام، W_2: فاضلاب تصفیه‌شده، W_3: ترکیب ۵۰ درصد فاضلاب خام و آب معمولی.

* میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

W_1: Raw wastewater, W_2: Treated wastewater and W_2: composition of 50% raw wastewater and 50% fresh water.
In each column, means with same letter/s are not significantly different ($P<0.05$).

از دلایل افزایش مقدار فلزات زه‌آب در تیمارهای حاوی فاضلاب خام نسبت به دیگر تیمارها می‌توان به محتوی بالاتر فلزات در فاضلاب خام ورودی به لایسیمترها و همچنین کاهش pH خاک اشاره کرد. مورتودت و همکاران (۱۹۹۱) گزارش نمودند که به‌ازای کاهش هر واحد pH خاک، غلظت روی قابل‌جذب صد بار افزایش می‌یابد (۳۳). یودو و همکاران (۱۹۷۰) همبستگی زیادی بین روی خاک و مقدار مواد آلی مشاهده کردند (٤٦). بالعکس برخی پژوهشگران دیگر پایداری کم‌تری را برای کمپلکس‌های روی با مواد آلی ذکر کرده‌اند (٤٠).

معروفی و همکاران (۲۰۱۲) با کاربرد فاضلاب خام و تصفیه‌شده در کشت سیب‌زمینی گزارش نمودند که کاربرد فاضلاب خام و تصفیه‌شده سبب انتقال سرب، نیکل، روی و مس به عمق ستون خاک می‌شود (۲۸). ذامیادی و همکاران (۲۰۰۲) حرکت سریع آب در خاک و همچنین حرکت ترجیحی سرب به همراه آب که از فاصله بین خاک و دیواره لایسیمترها ممکن است صورت گرفته باشد را از دلایل انتقال سرب به عمق لایسیمترهایی با قطر ٦٠ سانتی‌متر و ارتفاع یک متر ذکر کردند (٤٧). عواملی مانند کاهش تدریجی اسیدیته خاک، نوع بافت خاک،

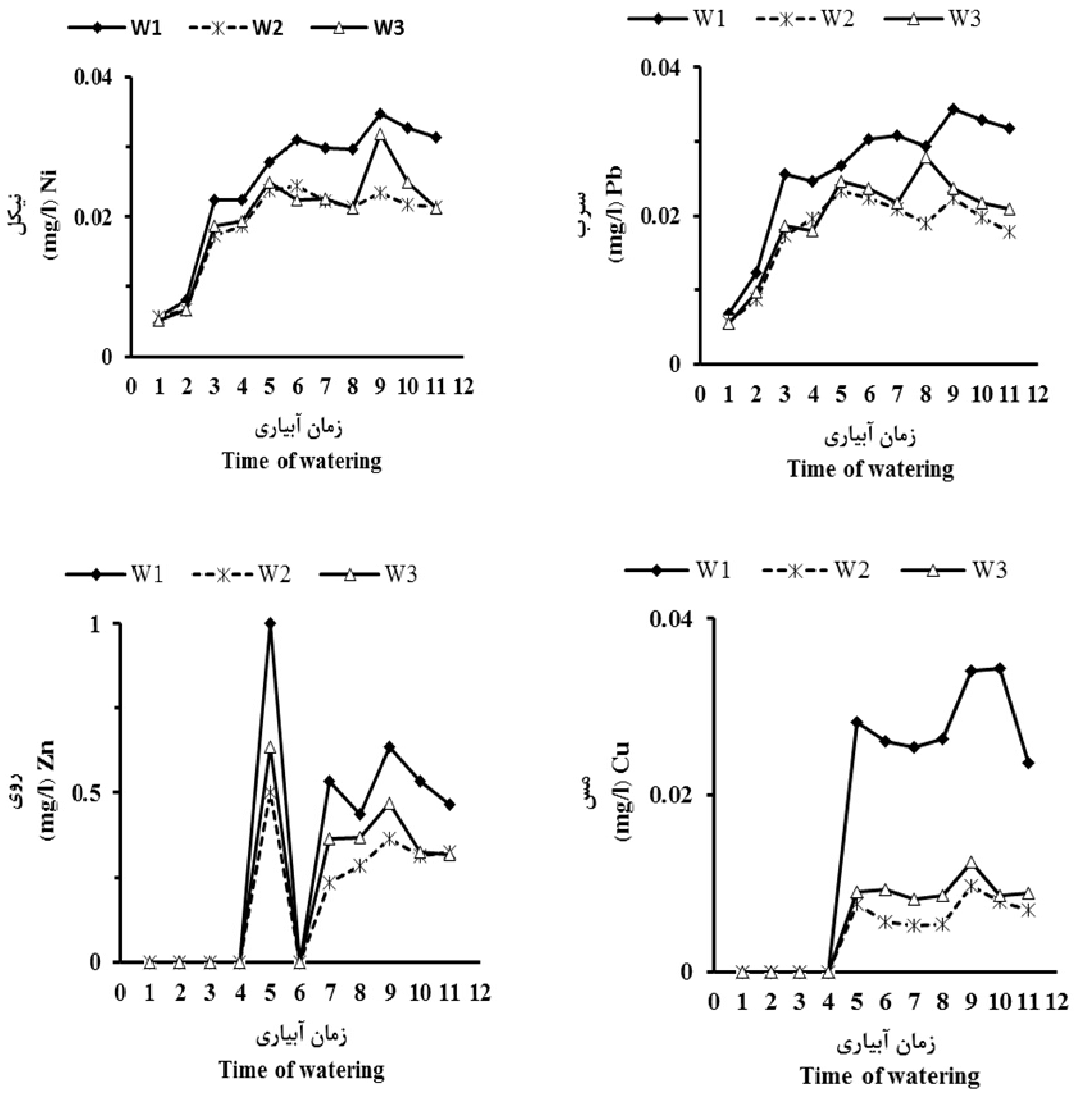
درصد ذرات بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر و همچنین روند افزایش انتقال TOC به عمق خاک، از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر افزایش مقدار نیکل در زه‌آب ستون‌های حاوی فاضلاب (خام و تصفیه‌شده) می‌باشند (۱۸).

کاسچل و همکاران (۲۰۰۲) افزایش پویایی فلزات سنگین در خاک‌های با اسیدیته قلیایی را به‌علت پیوند آن‌ها با مواد آلی محلول گزارش کردند (۲۲). سیبه و فیشر (۱۹۹٦) نیز افزایش انتقال فلزات سنگین به عمق خاک را به دنبال کاربرد فاضلاب تصفیه‌شده گزارش نمودند. بنا به گزارش پژوهشگران اخیر، علت افزایش تحرک فلزات سنگین، افزایش مقدار TOC در اعماق سطحی خاک بوده است (٤۲). فاضلاب به‌دلیل محتوی ماده آلی، سبب افزایش ماده آلی خاک می‌گردد. تجزیه مواد آلی به‌دست آمده از افزودن فاضلاب‌ها و تشکیل اسیدهای آلی، موجب تولید گاز دی‌اکسیدکربن و همچنین افزایش اسید کربنیک خاک می‌گردد و نهایتاً کاهش pH خاک را به همراه دارد. در اثر کاهش pH، یون‌های H^+ تولید می‌شود که این یون‌ها با مکان‌های جذب تبادل یونی ناشی از رس رقابت می‌کنند و در نتیجه آن فلزات در خاک جذب نشده و نشت می‌یابند. کاهش تدریجی اسیدیته خاک، افزایش انتقال TOC در طی آبیاری‌های بیش‌تر با فاضلاب، می‌توانند از جمله مهم‌ترین عوامل مؤثر بر افزایش مقدار فلزات در زه‌آب‌های خروجی تیمارهای حاوی فاضلاب باشد (۱۸). کاهش pH خاک، اثر مثبتی بر حلالیت عناصر به‌ویژه آهن، روی و مس می‌شود (۲۵).

بررسی میانگین مقادیر پتاسیم، نیتروژن- نیتراتی و فسفر- فسفاتی در نمونه‌های زه‌آب (جدول ۵) بیانگر آن است که میانگین مقدار این ترکیبات در زه‌آب کم‌تر از میانگین مقدار آن در فاضلاب‌های مورد استفاده است. در توجیه شرایط فوق می‌توان بیان داشت که احتمالاً بخشی از این ترکیبات در خاک تجمع یافته یا جذب گیاه شده است.

نیترات در غلظت‌های زیاد باعث بروز سرطان معده، بیماری متاموگلوبینامیا در نوزادن و نیز سقط جنین در انسان و دام می‌شود (٦). بنابراین دانستن میزان غلظت این عنصر در منابع آب و خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نیترات به‌طور متوسط ۷۸ درصد ترکیبات نیتروژنه موجود در پساب را تشکیل می‌دهد. به‌دلیل بار منفی نیترات، قابلیت تحرک‌پذیری آن در خاک بالا (تقریباً ٦۰ درصد) می‌باشد (١٦).

نیتروژن انتقال‌یافته به عمق خاک متأثر از مقدار نیتروژن ورودی توسط فاضلاب به داخل خاک است. مقدار نیترات بیش‌تر در زه‌آب لایسیمترهای حاوی فاضلاب خام به‌رغم مقدار کم‌تر آن در مقایسه با پساب می‌تواند به‌علت پدیده نیتراتی شدن باشد که به موجب آن نیترات بیش‌تری وارد سیستم خاک شده است. همچنین فعالیت‌های بیولوژیک بیش‌تر به سبب محتوی ماده آلی بیش‌تر در لایسیمترهای آبیاری شد با فاضلاب خام سبب آزاد شدن آمونیوم و به دنبال آن تولید نیترات در خاک می‌شود (۱۸).

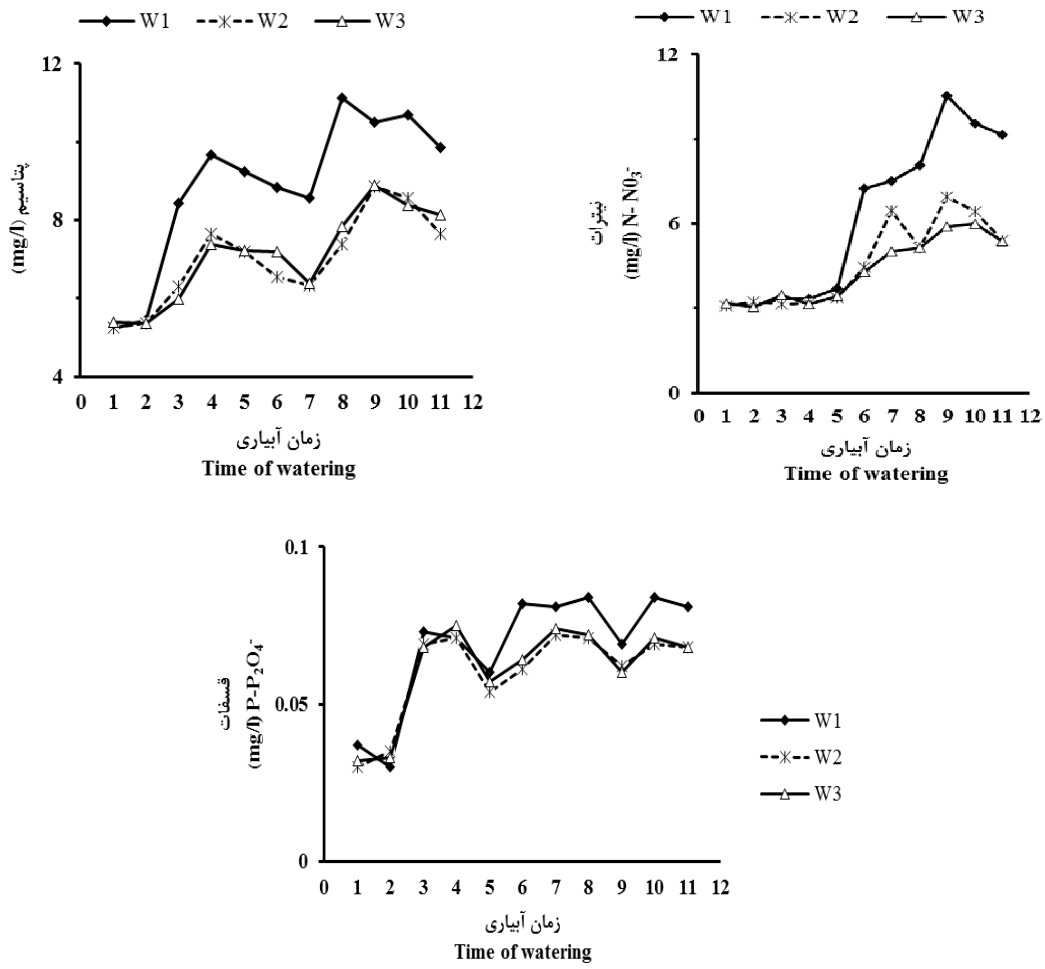


شکل ۲- روند تغییرات نیکل، سرب، روی و مس زه‌آب‌های خروجی از لایسیمترها در طول دوره‌های آبیاری.

Figure 2. Trend of Pb, Ni, Cu and Zn concentration in lechate after each watering.

W_1: فاضلاب خام، W_2: فاضلاب تصفیه‌شده، W_3: ترکیب ۵۰ درصد فاضلاب خام و آب معمولی.

W_1: Raw wastewater, W_2: Treated wastewater and W_2: composition of 50% raw wastewater and 50% fresh water.



شکل ۳- روند تغییرات نیتروژن- نیتراتی، فسفر- فسفاتی و پتاسیم زه‌آب‌های خروجی از لایسیمترها در طول دوره‌های آبیاری.

Figure 3. Trend Nitrate, phosphate and potassium concentration in lechate after each watering.

W_1: فاضلاب خام، W_2: فاضلاب تصفیه‌شده، W_3: ترکیب ۵۰ درصد فاضلاب خام و آب معمولی.

W_1: Raw wastewater, W_2: Treated wastewater and W_2: composition of 50% raw wastewater and 50% fresh water.

روش‌های آبیاری نیز در میزان انتقال نیترات در خاک نقش دارند. میرجات و همکاران (۳۲) با کاربرد ٤ روش آبیاری مشتمل بر دو روش سنتی (کرتی و نواری) و دو روش تحت فشار (بارانی و قطره‌ای)، به‌منظور آنالیز نیترات در اعماق خاک، گزارش نمودند که تجمع نیترات در همه عمق‌ها در آبیاری سنتی بالا بوده و در آبیاری تحت فشار فقط در عمق‌های اولیه تجمع یافته است. از آن‌جا که در پژوهش حاضر استفاده از فاضلاب در سطح ستون‌های خاک به‌صورت یک‌باره (آبیاری پیوسته) صورت گرفت، بنابراین آبشویی نیترات می‌تواند متأثر از حرکت سریع آب در خاک از طریق جریان ترجیحی و همچنین انتقال آن از فاصله بین خاک و دیواره لایسیمتر باشد.

فسفر یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در تغذیه باکتری‌ها و گیاهان است و پس از ازت، دومین عنصر کودی با اهمیت فاضلاب به‌شمار می‌رود. اثر مقادیر زیاد فسفر در خاک در مقایسه با عناصر دیگر، تأثیر کم‌تری را بر رفتار خاک از خود بر جای می‌گذارد.

خاک‌های ریزبافت‌تر، مقدار فسفر بیش‌تری در مقایسه با خاک‌های درشت‌دانه‌تر حفظ می‌کنند (١٦). اثر فاضلاب بر مقادیر فسفر در خاک در مقایسه با عناصر دیگر، تأثیر کم‌تری را بر رفتار خاک از خود بر جای می‌گذارد، زیرا در نتیجه جذب سطحی فسفر توسط ذرات خاک (به‌خصوص رس) و انجام واکنش‌های ترسیبی با آهن، آلومینیم، کلسیم و کربنات‌ها و ایجاد نمک‌های نامحلول، میزان فسفر موجود در محلول خاک به سرعت کاهش می‌یابد. همچنین جذب گیاهی نیز مقدار فسفر موجود در خاک را (البته با سرعت کم‌تری در مقابل واکنش‌های شیمیایی) کاهش می‌دهد (١١). کاربرد طولانی‌مدت فاضلاب برای آبیاری، سمیتی از نظر فسفر ایجاد ننموده و فسفر موجود در فاضلاب برای گیاه مضر نخواهد بود. علیزاده (١٩٩٤) نشان دادند که معمولاً کم‌تر از ٣ درصد کل فسفری که سالانه به خاک افزوده می‌شود، به آب‌های زهکشی راه می‌یابد (٢).

حسین‌پور و همکاران (٢٠٠٩) گزارش نمودند اگرچه با گذشت زمان و کاربرد مداوم فاضلاب‌های خام بر مقدار فسفر- فسفاتی زه‌آب‌های خروجی افزوده شده است، با این وجود تنها مقدار بسیار کمی از فسفر افزوده شده توسط فاضلاب‌ها به زه‌آب‌ها منتقل شده و مقدار زیادی از آن در خاک نگهداری شده است (١٨). کاردوس و هوک (١٩٩٤) بیان کردند که خاک‌ها از توان بالایی در تصفیه و نگهداری فسفر فاضلاب برخوردار می‌باشند، به‌طوری‌که بخش زیادی از فسفر فاضلاب تصفیه‌شده در لایه‌های سطحی خاک انباشته می‌گردد و کم‌تر از یک درصد آن، بسته به نوع خاک به اعماق بیش‌تر از ١٢٠ سانتی‌متری خاک می‌رسد (٢٠).

اگرچه پتاسیم به‌طور مستقیم تهدیدی برای سلامتی افراد و یا محیط زیست نمی‌باشد، اما آبشویی آن از خاک می‌تواند نشان‌دهنده خروج عناصر مفید از خاک باشد. بررسی میانگین مقادیر پتاسیم در نمونه‌های زه‌آب جمع‌آوری شده (جدول ٥) بیانگر آن است که میانگین مقدار پتاسیم در زه‌آب‌های خروجی کم‌تر از میانگین مقدار آن در فاضلاب‌های خام و تصفیه‌شده مورد استفاده است. میانگین مقدار پتاسیم در فاضلاب‌های خام و تصفیه‌شده ورودی به لایسیمترها به‌ترتیب ٣٠/٤٢ و ٢٤/٢٨ میلی‌گرم در لیتر و میانگین مقدار پتاسیم در زه‌آب لایسیمترهای آبیاری شده با فاضلاب‌های خام و تصفیه‌شده به‌ترتیب ٨/٨٧ و ٧/٠١ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. حیدرپور و همکاران (٢٠٠٧) گزارش نمودند که کاربرد فاضلاب تصفیه‌شده (نسبت به آب معمولی) سبب افزایش میزان پتاسیم خاک می‌شود (١٧). در مطالعه دیگر، چاهال و همکاران (٢٠١١) گزارش نمودند که میزان پتاسیم زه‌آب در لایسیمترهای آبیاری شده با فاضلاب کارخانه گوجه‌فرنگی نسبت به لایسیمترهای آبیاری شده با آب معمولی به‌طور معنی‌داری ($P<0/01$) بیش‌تر بود (٨).

روند تغییرات نیتروژن- نیتراتی، فسفر- فسفاتی و پتاسیم زه‌آب در طول زمان‌های آبیاری در تیمارهای مختلف در شکل ٣ ارائه شده است. مطابق این شکل، اگرچه با گذشت زمان و کاربرد مداوم انواع فاضلاب، بر مقدار نیتروژن- نیتراتی، فسفر- فسفاتی و پتاسیم زه‌آب‌های خروجی افزوده شده است، با این وجود میانگین مقادیر پارامترهای فوق در زه‌آب‌های خروجی از خاک همواره کم‌تر از میانگین مقدار آن‌ها در فاضلاب‌های ورودی می‌باشد.

درصد انتقال فلزات سنگین و مغذی به عمق خاک: جدول تجزیه واریانس درصد انتقال فلزات سنگین و مغذی به عمق خاک در جدول ٦ ارائه گردیده است. با توجه به نتایج این جدول مشاهده می‌گردد که اثر نوع آب آبیاری بر درصد انتقال همه عناصر انتقال

یافته به عمق خاک (به‌جزء روی و پتاسیم) اثر معنی‌داری ($P<0/01$) را دارد. همچنین اثر نوع آب آبیاری بر میانگین درصد انتقال فلزات سنگین و عناصر مغذی به عمق ستون خاک در جدول ۷ ارائه گردیده است.

جدول ٦- نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده‌های درصد انتقال عناصر مغذی و فلزات سنگین به عمق ستون خاک.

Table 6. Analysis of variance for transport percentage of nutrients and heavy metals transfered to leachate.

منبع پراکنش (Source of variation)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (Means of square)						
		عناصر سنگین (Heavy metals)				عناصر مغذی (nutrients)		
		نیکل (Ni)	سرب (Pb)	روی (Zn)	مس (Cu)	پتاسیم (K)	نیتروژن- نیتراتی ($N-N0_3^-$)	فسفر- فسفاتی ($P-p_2O_4^-$)
نوع آب مصرفی (Watering)	2	145.59**	27.92^{ns}		162.75*	0.77^{ns}	227.17**	15.52**
خطا (Error)	6	0.26	39.30	39.30	11.87	6.22	0.37	0.01
کل (Total)	8	-	-	-	-	-	-	-

^{ns}، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

^{ns}, *, ** Not significant and significant at P<0.05, P<0.01, respectively.

بررسی درصد انتقال فلزات سنگین به عمق خاک:

شکل ٤ روند تغییرات درصد انتقال فلزات سنگین (نیکل، سرب، روی و مس) به عمق خاک را در طول ۱۱ دوره آبیاری نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که در طی فصل کشت، فلزات سنگین به عمق خاک انتقال یافته و درصد انتقال آن‌ها به عمق خاک در تیمارهای مختلف آبیاری متفاوت بوده است، به‌طوری‌که در خصوص عناصر نیکل، سرب و روی، فاضلاب خام و در مورد مس، تیمار ترکیب ۵۰ درصد فاضلاب خام و آب معمولی کم‌ترین درصد انتقال را دارا بودند.

جریان ترجیحی نقش مهمی در انتقال فلزات از نیمرخ خاک دارد. نتایج کامبرکو و همکاران (۱۹۹٦) نشان داد که همهٔ فلزات اضافه شده به ستون‌های خاک دست‌خورده، جذب محیط شدند. در حالی‌که در ستون‌های خاک دست‌نخورده، بخشی از فلزات از خاک عبور نمودند (۷). همچنین امامی و همکاران (۲۰۰۲) در بررسی تأثیر جریان ترجیحی، ساختمان خاک و کمپلکس‌های آلی بر تحرک و آبشویی فلزات سرب و روی را گزارش نمودند (۹). بر اساس گزارش اخیر غلظت این دو عنصر در تیمارهای خاک حاوی ۳ درصد ماده آلی (اعم از دست‌خورده و نخورده)، بیش‌تر از تیمار خاک دست‌خورده بدون ماده آلی بوده است.

جدول ۷- اثر نوع آب آبیاری بر میانگین درصد انتقال فلزات سنگین و عناصر مغذی به عمق ستون خاک.

Table 7. Effects of type watering on transport percentage of nutrients and heavy metals transfered to leachate.

فسفر- فسفاتی ($P\text{-}P_2O_4^-$)	نیتروژن- نیتراتی ($N\text{-}N0_3^-$)	پتاسیم (K)	مس (Cu)	روی (Zn)	سرب (Pb)	نیکل (Ni)	تیمار (Treatment)
3.68^b	30.58^b	29.36^a	27.68^a	21.49^a	3.57^b	37^b	$W_۱$
3.64^c	17.40^c	29.20^a	13.88^b	27.32^a	6.05^a	48.51^a	$W_۲$
7.6^a	33.83^a	28.42^a	16.32^b	25.96^a	5.59^a	49.56^a	$W_۳$

$W_۱$: فاضلاب خام، $W_۲$: فاضلاب تصفیه‌شده، $W_۳$: ترکیب ۵۰ درصد فاضلاب خام و آب معمولی.

* میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

W_1: Raw wastewater, W_2: Treated wastewater and W_2: composition of 50% raw wastewater and 50% fresh water.
In each column, means with same letter/s are not significantly different ($P<0.05$).

به‌نظر می‌رسد وجود بافت‌های نیمه‌سبک (در لایه میانی) و سبک (در لایه زیرین) خاک یکی از دلایل دیگر انتقال فلزات سنگین می‌باشد. الوی (۱۹۹۰) گزارش نمود که حرکت فلزات سنگین در خاک‌هایی که منافذ بزرگ دارند، می‌تواند به‌علت جابجایی بخشی از رسوبات کلوئیدی و ذرات رس باشد که به سبب آن، فلزات سنگین متصل به این ذرات نیز بهتر منتقل می‌گردند (۳). همچنین حرکت سریع و ترجیحی عنصر به همراه آب که از فاصله بین خاک و دیواره لایسیمتر ممکن است صورت گرفته باشد، نیز می‌تواند از دلایل افزایش درصد انتقال عناصر به عمق خاک باشند.

کاربرد فاضلاب خام نسبت به دو تیمار پساب تصفیه‌شده و ترکیب ۵۰ درصد فاضلاب خام و آب معمولی، سبب افزایش ماده آلی خاک شد (نتایج نشان داده نشده است). با توجه به نتایج جدول ۷ کم‌ترین درصد انتقال عناصر نیکل، سرب و روی به عمق خاک مربوط به تیمار فاضلاب خام می‌باشد. به‌نظر می‌رسد بخشی از فلزات سنگین موجود در فاضلاب خام با تشکیل کمپلکس با ماده آلی در ستون خاک کم‌تحرک شده باشند. تیلر و مک‌براید (۱۹۸۲) نیز گزارش نمودند که فلزات در خاک با مواد آلی کم‌تر، با سهولت بیش‌تری حرکت می‌کنند (٤٥). اما سیبه و فیشر (۱۹۹٦) علت افزایش تحرک فلزات سنگین به عمق خاک را افزایش مقدار TOC (کل کربن آلی) در اعماق سطحی خاک گزارش کردند که با نتایج پژوهش حاضر از نظر درصد انتقال عناصر به عمق خاک مغایرت دارد (٤٢). همچنین مک‌براید و همکاران (۱۹۹۹) همبستگی بین مقدار مواد آلی محلول و غلظت‌های جیوه، آرسنیک، مس، کادمیوم، روی و کروم در زه‌آب را گزارش نمودند (۳۰). پژوهشگران اخیر افزایش پویایی فلزات سنگین را به‌علت پیوند آن‌ها با مواد آلی محلول ذکر نمودند. معروفی و همکاران (۲۰۱۲) نیز بیان کردند که بخشی از فلزات سنگین موجود در فاضلاب تصفیه‌شده در اثر پیوند با مواد آلی به زه‌آب به‌دست آمده از ستون‌های خاک

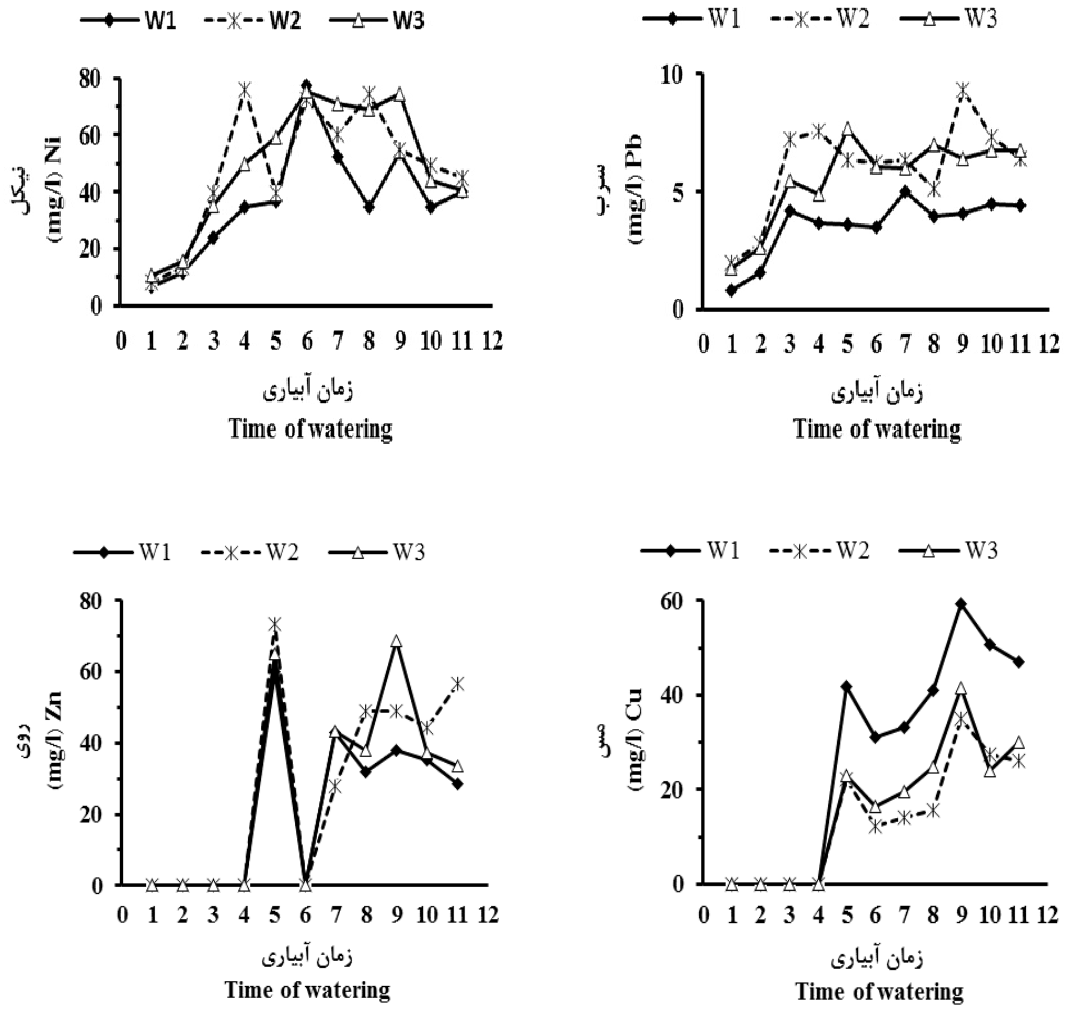
منتقل شده است (۲۸). از دلایل دیگر کاهش درصد انتقال فلزات سنگین در تیمار فاضلاب خام، می‌تواند تأثیر جذب گیاه بر روی محلول خاک باشد. به سبب عملکرد بیش‌تر محصولات آبیاری شده با فاضلاب خام، آب و عناصر بیش‌تری جذب و در نتیجه تعرق بیش‌تری صورت می‌گیرد. بنابراین میزان آب نفوذیافته از بخش‌های بالایی کم‌تر شده و میزان شستشو املاح کاهش می‌یابد.

با توجه به شکل ٤ ملاحظه می‌گردد که روند تغییرات درصد انتقال همه عناصر به زه‌آب‌های خروجی در طول زمان ثابت نبوده و دارای نوساناتی می‌باشد. از عمده‌ترین دلایل این روند نوسانی می‌توان به تغییرات در میزان عناصر ورودی به لایسیمترها در زمان‌های مختلف آبیاری و همچنین برداشت گیاه اشاره نمود. از آن‌جا که اولین آبیاری در بهمن‌ماه و آخرین آبیاری در خردادماه انجام گرفت، بنابراین میزان عناصر موجود در تیمارهای آبیاری، به‌ویژه فاضلاب خام می‌تواند تحت‌تأثیر روان‌آب‌های شهری ناشی از ریزش‌های جوی قرار گیرد. به‌عبارت دیگر بارندگی‌های شهری، با توجه به زمان وقوع آن‌ها و تاخیری که بین دو بارندگی مجاور وجود داشته است، ممکن است از نظر آلاینده‌هایی که به همراه خواهد داشت، عملکردی متفاوت داشته باشند، مقایسه بین فاضلاب خام بهمن‌ماه که در یک دوره پرآبی وجود داشته است و فاضلاب خردادماه که در یک دوره نسبتاً خشک ثبت گردیده است، دارای اختلاف قابل‌توجهی از نظر غلظت عناصر و املاح محلول داشتند.

دامنه تغییرات عناصر نیکل، سرب، روی و مس موجود در فاضلاب خام ورودی به لایسیمترها به‌ترتیب ۰/۰۹-۰/۰٤، ۰/۸٦-۰/٦۱، ۱/٦۷-۱/۲٤ و ۰/۰۸-۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر بوده است. این دامنه در خصوص عناصر موجود در پساب تصفیه‌شده ورودی به لایسیمترها نیز به‌ترتیب ۰/۰۷-۰/۰۲، ۰/۳۷-۰/۲٤، ۰/۸٤-۰/٤۱ و ۰/۰۵-۰/۰۲ میلی‌گرم در لیتر ثبت گردید. همچنین با توجه به این‌که اولین و دومین برداشت گیاه ریحان به‌ترتیب قبل از آبیاری‌های پنجم و نهم صورت گرفت، بنابراین به سبب نیاز آبی کم‌تر گیاه در این زمان‌های آبیاری، میزان آب بیش‌تری از پروفیل خاک عبور نموده که باعث افزایش در میزان درصد انتقال عناصر روی و مس در این زمان‌های آبیاری نسبت به آبیاری‌های قبل و بعد از خود شد.

بررسی درصد انتقال عناصر مغذی به عمق خاک: روند تغییرات درصد انتقال عناصر پتاسیم، نیتروژن- نیتراتی و فسفر- فسفاتی به عمق خاک در طول ۱۱ دوره آبیاری در شکل ۵ نشان داده شده است. از مشاهده این شکل ملاحظه می‌گردد که این عناصر به عمق خاک انتقال یافته و همچنین درصد انتقال آن به خاک در تیمارهای مختلف آبیاری متفاوت است. در مورد پتاسیم، تیمار فاضلاب خام و همچنین در مورد عناصر نیتروژن- نیتراتی و فسفر- فسفاتی به‌ترتیب تیمارهای ترکیب ۵۰ درصد فاضلاب خام و آب معمولی بیش‌ترین درصد انتقال را دارند. روند تغییرات درصد انتقال عناصر پتاسیم، نیتروژن- نیتراتی و فسفر- فسفاتی به زه‌آب‌های خروجی در طول زمان نیز ثابت نبوده و دارای نوساناتی می‌باشد. چاهال و همکاران (۲۰۱۱) با کاربرد فاضلاب کارخانه گوجه‌فرنگی فلوریدا در لایسیمترهای استوانه، گزارش کردند که قسمت عمده فسفر و پتاسیم موجود در فاضلاب توسط خاک جذب می‌شود و درصد کمی از آن به عمق خاک انتقال

می‌یابد (۸). این پژوهشگران نیز گزارش نمودند که با تداوم آبیاری، روند تغییرات پتاسیم و فسفر موجود در فاضلاب دارای روند مشخصی نبوده و حالت نوسانی دارد.

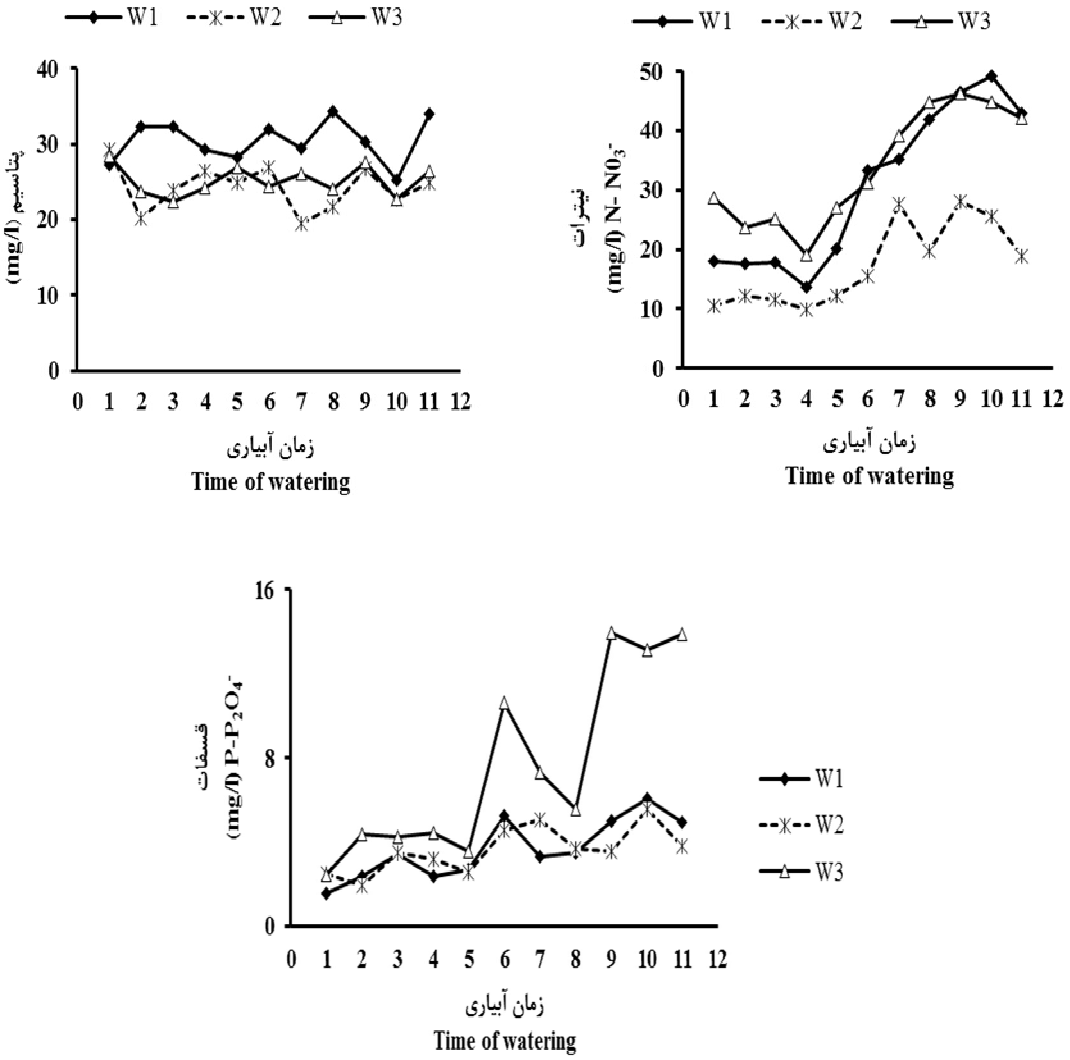


شکل ٤- روند تغییرات درصد انتقال نیکل، سرب، روی و مس از ستون خاک به زه‌آب‌های خروجی در طول دوره‌های آبیاری.

Figure 4. Trend of transport percentage of Pb, Ni, Cu and Zn transfered to lechate after each watering.

W_1: فاضلاب خام، W_2: فاضلاب تصفیه‌شده، W_3: ترکیب ۵۰ درصد فاضلاب خام و آب معمولی.

W_1: Raw wastewater, W_2: Treated wastewater and W_2: composition of 50% raw wastewater and 50% fresh water.



شکل ۵- روند تغییرات درصد انتقال نیتروژن- نیتراتی، فسفر- فسفاتی و پتاسیم از ستون خاک به زه‌آب‌های خروجی در طول دوره‌های آبیاری.

Figure 5. Trend of transport percentage of Nitrate, phosphate and potassium transfered to lechate after each watering.

W_1: فاضلاب خام، W_2: فاضلاب تصفیه‌شده، W_3: ترکیب ۵۰ درصد فاضلاب خام و آب معمولی.

W_1: Raw wastewater, W_2: Treated wastewater and W_2: composition of 50% raw wastewater and 50% fresh water.

ممو و همکاران (۲۰۰۵) گزارش نمودند چنان‌چه میزان فسفر خاک از میزان فسفر موجود در فاضلاب بیش‌تر باشد، خاک به‌عنوان منبعی از فسفر و چنان‌چه میزان فسفر موجود در فاضلاب از میزان فسفر موجود در خاک بیش‌تر باشد، خاک به‌عنوان مخزن فسفر عمل می‌نماید (۲۷).

به‌طورکلی درصد انتقال فسفر به زه‌آب‌های خروجی از خاک بسیار ناچیز است، به‌طوری‌که میانگین درصد انتقال فسفر از ستون‌های خاک برابر ۵ درصد به‌دست آمد. این نتیجه بیانگر آن است که خاک نقش مهمی در نگهداری فسفر موجود در

فاضلاب‌ها ایفا کرده است. سوزوکی و همکاران (۱۹۹۲) 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 (٤٤). حسن‌اقلی و همکاران (۲۰۰۷) میزان انتقال فسفر به عمق ۱۰۰ سانتی‌متری خاک، در شرایط آبیاری با فاضلاب خام را بین ۳/٥٦-۰/۹ درصد و در صورت کاربرد پساب تصفیه‌شده، بین ٤/۱٥-۱/۰۳ درصد میزان فسفر ورودی گزارش نمودند که نشان از انتقال مقدار بسیار ناچیزی از انتقال فسفر دارد (١٦).

از عمده‌ترین دلایل روند نوسانی تغییرات درصد انتقال عناصر، نیز می‌توان به تغییرات در میزان عناصر ورودی به لایسیمترها در زمان‌های مختلف آبیاری و همچنین برداشت گیاه اشاره نمود. حسین‌پور و همکاران (۲۰۰۹) با کاربرد فاضلاب خام و پساب تصفیه‌شده در ستون‌های خاک، گزارش نمودند که درصد انتقال پتاسیم و فسفات به زه‌آب خروجی در ستون‌های حاوی فاضلاب خام بیش‌تر از پساب تصفیه‌شده می‌باشد، اما در ستون‌های حاوی پساب تصفیه‌شده، درصد انتقال نیترات بیش‌تر بوده است. این پژوهشگران همچنین گزارش نمودند که با تداوم عملیات آبیاری، میزان درصد انتقال این عناصر روند صعودی دارد (۱۸). یادآور می‌شود که پژوهش اخیر در ستون‌های بدون پوشش گیاهی صورت گرفته بود. پوشش گیاهی به‌ویژه در اوج مراحل رشدی، به‌خاطر جذب آب و املاح بیش‌تر، تأثیر قابل‌توجهی در کاهش میزان آب مصرفی جهت آبشویی دارد (٦، ٤۹). به‌نظر می‌رسد عدم تشابه نتایج این پژوهش، با نتایج پژوهش حسین‌پور و همکاران (۲۰۰۹) صرفاً به‌دلیل وجود پوشش گیاهی باشد (۱۸).

هاروی (۱۹۹۸) گزارش کرد که درصد آبشویی نیتروژن از خاک پس از کاربرد فاضلاب، به مقدار آن (در فاضلاب) و مقدار جذب گیاه بستگی دارد (١٤). انتقال نیتروژن از خاک می‌تواند به‌دلیل بافت سبک و وجود منافذ بزرگ خاک باشد که به موجب آن مقدار بیش‌تری فاضلاب به عمق خاک انتقال می‌یابد. همچنین بافت سبک خاک، شرایط را برای نفوذ بیش‌تر اکسیژن به خاک و رخداد پدیده نیتراتی‌شدن مساعدتر می‌کند (۱۸).

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج این پژوهش بیانگر آن است که ستون‌های خاک (تحت شرایط کشت گیاه ریحان) مورد استفاده توانایی خوبی در نگهداری نیکل، سرب، روی، مس، نیتروژن- نیتراتی، فسفر- فسفاتی و پتاسیم موجود در فاضلاب را دارد. به‌طوری‌که میانگین مقدار تمام پارامترهای فوق همواره کم‌تر از میانگین مقدار آن‌ها در فاضلاب‌های ورودی به لایسیمتر است. اگرچه با استمرار کاربرد فاضلاب مقادیر نیکل، سرب، روی، مس، نیتروژن- نیتراتی، فسفر- فسفاتی و پتاسیم موجود در آب‌های مصرفی رو به فزونی نهاد اما میزان این پارامترها بسیار پایین‌تر از حدود مجاز ارائه شده می‌باشد. همچنین نتایج به‌دست آمده نشان داد که از لحاظ بزرگی و معنی‌داری، الگوی روی، پتاسیم، نیتروژن نیتراتی و فسفر- فسفاتی به‌صورت $W_۱ > W_۲ = W_۳$ و الگوی مس به‌صورت $W_۱ > W_۳ > W_۲$ است. در طول ۱۱ دوره آبیاری و در بین تمامی تیمارها، دامنه تغییرات میانگین فلزات و ترکیبات شیمیایی زه‌آب عبارت بود از: سرب (۰/۰۳-۰/۰۱)، نیکل (۰/۰۳-۰/۰۱، مس (۰/۰۳-۰)، روی (۱-۰)، نیتروژن- نیتراتی (۱۰/٥٤-۳/۰٥)، فسفر- فسفاتی (۰/۰۸-۰/۰۳) و

پتاسیم (۱۱/۱۳-۵/۲۵). به‌طورکلی با توجه به روند صعودی فلزات سنگین و همچنین نیترات موجود در زه‌آب، باید دقت ویژه‌ای در استفاده از فاضلاب به‌ویژه فاضلاب خام مبذول گردد، زیرا با گذشت زمان و تجزیه مواد آلی، این عناصر می‌توانند وارد آب‌های زیرزمینی شده و برای انسان و محیط زیست خطرآفرین باشند.

منابع

1.Aghtape, A.A., Ghanbari, A., Sirousmehr, A., Siahsar, B., Asgharipour, M., and Tavssoli, A. 2011. Effect of irrigation with waste water and foliar fertilizer application on some forage characteristics of foxtail millet (Setaria italica). Plant Physiol. Biochem. J. 3: 3. 34-42.

2.Alizadeh, A. 2011. Relationship between water, soil and plant. Emam Reza University Press, 470p. (In Persian)

3.Alloway, B.J. 1990. Heavy Metal in Soil, Blackie and Son Ltd., London, 339p.

4.APHA. 1995. Standard methods for examination of water and wastewater. APHA (American Public Health Association), WWA (American Water Works Association), WPCF (Water Pollution Control Federation), Washington D.C., USA.

5.Barton, L., Schipper, L.A., Barkle, G.F., McLeod, M., Speir, T.W., Taylor, M.D., McGill, A.C., Van Schaik, A.P., Fitzgerald, N.B., and Pandey, S.P. 2005. Land application of domestic effluent on to four soil types: Plant uptake and nutrient leaching. Environ. Qual. J. 34: 635-643.

6.Basso, B., and Ritchie, T. 2005. Impact of compost, manure and inorganic fertilizer on nitrate leaching and yield for a 6-year maize–alfalfa rotation in Michigan. Agric. Ecosyst. Environ. J. 108: 329-341.

7.Camobreco, V.J., 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 Sci. J. 161: 740-750.

8.Chahal, M.K., Toor, G.S., Nkedi-Kizza, P., and Santos, B.M. 2011. Effect of Tomato Packinghouse Wastewater Properties on Phosphorus and Cation Leaching in a Spodosol. Environ. Qual. J. 40: 999-1009.

9.Emami, H., Savaghebi Firoozabadi, G.H., and Shorafa, M. 2005. The Study of Preferential Flow and Organic Matter on Cadmium, Lead, and Zinc Movement in a Calcareous Loamy Soil. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. 9: 2. 63-74. (In Persian)

10.FAO. 1992. Wastewater treatment and use in agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nation, Rome, FAO 47.

11.Gohil, M.B. 2005. Land Treatment of Wastewater. New Age International Pub., New Delhi.

12.Gong, C., and Donahoe, R.J. 1997. An experimental study of heavy metal attenuation and mobility in sandy loam soils. Appl. Geochem. J. 12: 243-254.

13.Hahne, H.C., Kroontze, H.W., and Lutz, J.A. 1997. Nitrogen fertilization nitrate accumulation and losses under continuous corn cropping. Soil Sci. Soc. Am. J. 41: 562-567.

14.Haruvy, N. 1998. Wastewater reuse regional and economic considerations. Resource, Cons. Rec. J. 23: 57-66.

15.Hassanoghli, A., and Liaghat, A. 2009. Effect of recharge practices with treated domestic wastewater of Ekbatan complex on mineral and biological pollutants transfer to shallow aquifer. Mashhad. J. Water Soil. 23: 1. 143-151. (In Persian)

16.Hassanoghli, A., Liaghat, A., and Mirabzadeh, M. 2007. Effect of Irrigation with treated domestic wastewater of Ekbatan on transfer of phosphorus in deep roots. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. 10: 4. 29-42. (In Persian)

17.Heidarpour, M., Mostafazadeh, B., Abedi Koupai, J., and Malekian, R. 2007. The effects of treated wastewater on soil chemical properties using subsurface and surface irrigation methods. Agric. Water Manage. J. 90: 87-94.

18.Hosseinpour, A., Haghnia, G.H., Alizadeh, A., and Fotovat, A. 2009. Changes in chemical quality of percolating raw and treated municipal wastewaters through soil columns. Mashhad J. Water Soil. 22: 2. 45-56. (In Persian)
19.Jacob, H., and Clarke, G. 2002. Methods of Soil Analysis, Part 4, Physical Method. Soil Science Society of America Inc., Madison, Wisconsin, USA.
20.Kardos, L.T., and Hook, J.E. 1974. Phosphorous balance in sewage effluent treated soil. Environ. Qual. J. 5: 87-90.
21.Karimzadeh, M., Alizadeh, A., and Mohammady Arya, M. 2012. Effect of Irrigation with Waste Water on Soil Saturated Hydraulic Conductivity. Water Soil J. 26: 6. 1547-1553. (In Persian)
22.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. Sci. Total Environ. J. 291: 45-57.
23.Kiziloglu, F.M., Turan, M., Sahin, U., Angin, I., Anapali, O., and Okuroglu, M. 2007. Effects of wastewater irrigation on soil and cabbage plant chemical properties. Plant Nutr. Soil Sci. J. 170: 166-172.
24.Kiziloglum, 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. Agri. Water Manage. J. 95: 716-724.
25.Lindsay, W.L. 1992. Chemical equilibration in soils. John Wiley and Sons, New York.
26.Mahida, U.N. 1981. Water pollution and disposal of wastewater on land. Tata McGraw-Hill Publishing Co. Itd., New Delhi, 323p.
27.Mamo, M., Gupta, S.C., Rosen, C.J., and Singh, U.B. 2005. Phosphorus leaching at cold temperatures as affected by wastewater application and soil phosphorus levels. Envir. Qual. J. 34: 1243-1250.
28.Marofi, S., Parsafar, N., Rahim, G.H., and Dashti, F. 2012. The effects of wastewater reuse on transport of heavy metal to depth of soil under potato cultivar. Isfahan, J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. Soil and Water Sciences. 16: 61. 71-80. (In Persian)
29.Marofi, S., Parsafar, N., Rahim, G.H., Dashti, F., and Marofi, H. 2013. The effects of wastewater reuse on potato growth properties under greenhouse lysimeteric condition. Environ. Sci. Technol. J. 10: 133-140.
30.McBride, M.B., Richards, B.K., Steenhuis, T., and Spiers, G. 1999. Long term leaching of trace elements in a heavy sludge amended silty clay loam soil. Soil Sci. J. 164: 613-623.
31.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.
32.Mirjat, M.S., Chandio, A.S., Memon, S.A., and Mirjat, M.U. 2008. Nitrate movement in the soil profile under irrigation agriculture: a case study. Agriculture Engineering International: the CIGR e-journal. Manuscript LW 07 024. Vol. X. Feb.
33.Mortvedt, J.J., Cox, F.R., Shuman, L.M., and Welch, R.M. 1991. Micronutrient in Agriculture number 4. Soil Sci. Soc. Am. Book Series, Madison, WI.
34.Nikamal Larijani, N., Hassanoghli, A., Mashal, M., and Liaghat, A. 2011. Investigation of Nitrate Leaching through two Different Soil Textures via Application of three Organic Manures (Poultry, Cow and Sewage Sludge). Mashhad J. Water Soil. 25: 4. 708-718. (In Persian)
35.Olsen, S.R., and Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. P 403-430, In: A.L. Page, R.H. Miller D.R. Keeney (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Monograph No. 9, ASA-SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
36.Rai, S., Chopra, A.K., Pathak, C., Sharma, D.K., Sharma, R., and Gupta, P.M. 2011. Comparative study of some physicochemical parameters of soil irrigated with sewage water and canal water of Dehradun city. India Arc. App. Sci. Res. J. 3: 2. 318-325.

37.Ramirez-Fuentes, E., Lucho, C.C., Escamilla, S.E., and Dendooven, L. 2002. Characteristics, and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with waste water for different lengths of time. Bioresour. Technol. J. 85: 179-187.
38.Rowell, D.L. 1994. Soil Science: Methods and Applications. Longman Group, Harlow, 350p.
39.Rusan, M.J.M., Hinnawi, S., and Rousan, L. 2007. Long-term effect of waste water irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. Desalination J. 215: 143-152.
40.Scokart, P.O., Meeus-Verdinne, K., and DeBorger, R. 1983. Mobility of heavy metals in polluted soils near zinc smelters. Water, Air, Soil Poll. J. 20: 451-463.
41.Scora, R.W., and Chang, A.C. 1997. Heavy metals and seed germination in some medicinal and aromatic plants. Environ. Qual. J. 26: 975-79.
42.Sibe, C., and Fischer, W.P. 1996. Effect of long-term irrigation with untreated effluent on soil properties and heavy metal absorption of Leptosols and Vertisols in Central Mexico. Z. Pflan-zenernaehr. Bodenkd J. 159: 357-364.
43.Singh, A., and Agrawal, M. 2012. Effects of Waste Water Irrigation on Physical and Biochemical Characteristics of Soil and Metal Partitioning in *Beta vulgaris* L. Agric. Res. J. 1: 4. 379-391.
44.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 Res. J. 26: 1433-1444.
45.Tyler, L.D., and McBride, M.B. 1982. Mobility and extractability of cadmium, copper, nickel, and zinc in organic mineral soil columns. Soil Sci. J. 134: 3. 198-205.
46.Udo, E.J., Bohn, H.L., and Tucker, T.C. 1970. Zinc adsorption by calcareous soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. J. 34: 405-407.
47.Zamyadi, A., Liaqhat, A.M., and Hassanoghli, A. 2002. The possibility treating of water contaminated with zinc (Zn) by soil cultivated Sunflower, Oats and Straw (remediation). Water Wastewater J. 48: 3-11.
48.Zheljazkov, V.D., and Nielsen, N. 1996. Effect of heavy metals on peppermint and cornmint. Plant Soil J. 426: 309-328.
49.Zvomuya, F., Gupta, S.C., and Rosen, C.J. 2005. Phosphorus Leaching in Sandy Outwash Soils following Potato-Processing wastewater application. Environ. Qual. J. 34: 1277-1285.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(5), 2017
http://jwsc.gau.ac.ir

Effect of wastewater on transfer of heavy metals and chemical compounds in soil column under basil

M. Shakarami[1], *S. Marofi[2] and Gh. Rahimi[3]
[1]Ph.D. Student, Dept. of Water Engineering, Bu-Ali Sina University,
[2]Professor, Dept. of Water Science and Engineering, Bu-Ali Sina University,
[3]Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Bu-Ali Sina University
Received: 12/27/2014; Accepted: 02/17/2016

Abstract
Background and Objectives: Although using of wastewater in agriculture have advantages, but these waters may contain pathogenic microorganisms, heavy metals or other harmful organic and inorganic compounds. Therefore these elements can have undesirable environmental impacts such as pollution of water sources (especially groundwater), soil and plants. Therefore efforts for obtain proper disposal of wastewater in the environment is essential. Therefore the purpose of this study is to investigate the effect of wastewater on transfer of heavy metals and chemical compounds in soil column under basil cultivation.
Materials and Methods: This study was conducted based on a completely randomized designe with three treatment watering and triplicates under lysimeter condition. The applied treatments consisted of watering included raw wastewater (W_1), treated wastewater (W_2) and a composition of 50% raw wastewater and 50% fresh water (W_3). For this purpose, 9 cubic (30 cm × 30 cm × 126 cm) metal lysimeters containing a three-layer soil were used. The soil texture from top to bottom of lysimeters were clay, clay loam and 40 cm sandy loam, respectively. After lysimeters preparing, basil was planted in the lysimeter. Pb, Ni, Cu, Zn, Nitrate, phosphate and potassium concentration in leachate were measured after each watering.
Results: The results indicate that soil columns (under basil cultivation) ability to keep Pb, Ni, Cu, Zn, Nitrate, phosphate and potassium concentration in wastewater. So Mean values of each of the above mentioned parameters were lower in the leachate compared to the wastewaters entering the lysimeter. Although during the use of wastewater, amounts of Pb, Ni, Cu, Zn, Nitrate, phosphate and potassium concentration in drainage increased but the value of this parameter is below the limits. The results showed the effect of type watering on mean values of all parameters (exception of Pb and Ni) was significantly. In terms of magnitude and significant, pattern of Zn, potassium, nitrate and phosphate were $W_3 = W_2 < W_1$ and pattern of Cu were $W_2 < W_3 < W_1$. During 11 irrigation period and between all treatments, the range of metals and chemical compounds in leachate were: Pb (0.01-0.03), Ni (0.01-0.03), Cu (0-0.03), Zn (0-1), Nitrate (3.05-10.54), phosphate (0.03-0.08) and potassium (5.25-11.13 mg/l).
Conclusion: According to the upward trend of heavy metals and nitrates in leachate, special care must be taken in using of wastewater (especially in raw wastewater). Because in future, with decomposition of organic matter, these elements can be entered in groundwater and environment and be dangerous to humans.

Keywords: Raw wastewater, Treated wastewater, Lysimeters, Heavy metals

* Corresponding Author; Email: smarofi@yahoo.com