توزیع گونه‌های شیمیایی کادمیم، روی و سرب در اثر کاربرد آب فاضلاب در خاک

زهرا وارسته خانلری[1*] و محسن جلالی

دانشجوی سابق کارشناسی ارشد خاکشناسی دانشگاه بوعلی سینا؛ varasteh_1355@yahoo.com
دانشیار گروه خاکشناسی دانشگاه بوعلی سینا؛jalali@basu.ac.ir

چکیده

توزیع گونه‌های شیمیایی عناصر کادمیم، روی و سرب در دو خاک رسی و شنی به وسیله آزمایش ستون‌های آبشویی مورد بررسی قرار گرفت. ستون‌های آبشویی از جنس شیشه پیرکس به قطر 4/8 و طول 40 سانتی متر و تا ارتفاع 30 سانتی‌متر از خاک پر شدند. ستون‌ها به طور متوسط به مدت 30 روز با فاضلابی که محتوی 8/5 میلی گرم بر لیتر روی و کادمیم و 170 میلی گرم بر لیتر سرب بود (فاضلاب غنی شده)، آبیاری شدند. در آزمایش دیگری تحت همین شرایط خاک شنی با فاضلاب خام آبیاری گردید. بعد از پایان آبشویی لایه سطحی ستون‌های خاک تا عمق 3 سانتی متری به ارتفاع 1 سانتی متر بریده شدند. جزبندی عناصر فوق در عمق‌های 1-0، 2-1 و 3-2 سانتی متری به وسیله عصاره‌گیری جزء به جزء انجام شد. عناصر فوق با استفاده از روش عصاره‌گیری جزء به جزء به اجزاء قابل تبادل (F_1)، پیوند با کربناتها (F_2)، پیوند با اکسید منگنز (F_3)، پیوند با اکسید آهن (F_4)، پیوند با مواد آلی (F_5) و باقی‌مانده (F_6) تقسیم شدند. افزودن فاضلاب غنی شده به خاک باعث افزایش معنی‌دار غلظت عناصر کادمیم، روی و سرب در لایه 1-0 سانتی متری گردید. جزبندی کادمیم در سه عمق نشان داد که در هر دو خاک کادمیم عمدتاً در جزء F_2 می‌باشد. در هر دو خاک روی عمدتاً در جزء F_6 یافت شد و جزء F_1 کمترین بود. سرب عمدتاً در خاک شنی در جزء F_2 و در خاک رسی در جزء F_4 یافت شد. جزبندی عناصر فوق نشان داد که بخش عمده‌ایی از این عناصر در جزیی از خاک قرار دارند که تحرک کمی دارند و لذا احتمال حرکت و آلودگی آب‌های زیرزمینی در کوتاه مدت وجود ندارد.

واژه های کلیدی: عناصر سنگین، عصاره‌گیری جزء به جزء، فاضلاب

مقدمه

کاربرد فاضلاب از دو جنبه زراعی و محیطی حائز اهمیت است. اولاً مواد آلی را برای خاک مهیا می کند و ثانیاً سبب چرخه عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در خاک می‌شود. به هر حال میزان عناصر سنگین در فاضلاب‌ها ممکن است تا حدی نامعلوم باشد ولی میزان تجمع عناصر سنگین در داخل خاک سبب افزایش غلظت عناصر سنگین در گیاهانی شده، که از این خاک‌ها تغذیه می‌کنند. اگر چه برخی از فلزهای سنگین برای رشد بیولوژیک لازم‌اند ولی غلظت کمی بیش از حد آستانه آن‌ها می‌تواند برای حیات گیاهی و جانوری خطرآفرین باشد.

افزایش عناصر سمی به خاک هنگام ورود آلاینده‌ها، یکی از مسائل مهم زیست محیطی است (Chang و همکاران، 1984). چند دهه است که از هرز آب و لجن فاضلاب در اراضی کشاورزی به عنوان یک منبع مکمل آب آبیاری، کود و اصلاح کننده خاک استفاده می‌شود. استفاده از آنها در کوتاه مدت ممکن است سمیتی در گیاه ایجاد نکند (Page، 1974) ولی مصرف طولانی مدت این فاضلاب‌ها یا بعبارتی ورود کنترل نشده عناصر سنگین به خاک‌ها سبب افزایش این عناصر در خاک شده و گیاهان کشت شده در این خاک‌ها این عناصر را جذب کرده و به آسانی وارد زنجیره غذایی می‌گردند. همچنین ورود آن‌ها به آب‌های زیرزمینی ممکن است باعث آلودگی این منابع گردد.

1- نویسنده مسئول، آدرس: همدان، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.
* دریافت: 84/8/14 و پذیرش: 85/12/16

به طور کلی برای ارزیابی میزان آلودگی عناصر سنگین و تعیین شاخص آلودگی از یک هضم کننده اسیدی قوی استفاده می‌شود (Miller و همکاران، 1986). اما این شاخص چیزی از قابلیت جذب بیولوژیکی و تحرک این عناصر در خاک‌ها نشان نمی‌دهد. عصاره‌گیری جزء به جزء برای جداسازی جزهای مختلف عناصر جهت پیشگویی قابلیت جذب بیولوژیکی، میزان آبشویی آن‌ها و تغییر شکل اجزاء شیمیایی این عناصر در خاک‌های کشاورزی و آلوده مفید است (McBride، 1995؛ Tsadilas و همکاران، 1995). روش عصاره‌گیری جزء به جزء برای جداسازی جزهای مختلف به کار می‌رود. با این تکنیک نمونه‌های خاک پی در پی با عصاره‌گیرهای مختلف برای آزاد کردن عناصر پیوند یافته با فازهای مختلف تیمار می‌شود. عناصر در خاک در شش فاز مختلف قرار دارند که عبارتند از: فازهای قابل تبادل (شامل فاز محلول نیز می گردد)، پیوند با کربناتها، پیوند با اکسید منگنز، پیوند با اکسید آهن، پیوند با مواد آلی و باقی‌مانده (Shuman، 1991). بعضی از این جزها از قبیل محلول و قابل تبادل قابلیت تحرک دارند و به سهولت برای گیاه قابل جذب می‌باشند و به عنوان بزرگترین تهدید برای کیفیت آب‌های زیرزمینی مطرح هستند. در صورتی که عناصری که در ساختمان کلوئیدها قرار می‌گیرند نسبتاً غیر متحرک و غیر قابل جذب برای گیاه می‌باشند (Tsadilas و همکاران، 1995).

Siebe (1996) قابلیت دسترسی مس، سرب و روی برای گیاهان در خاک‌هایی که با فاضلاب‌های شهر مکزیکوسیتی آبیاری شدند را مورد مطالعه قرار داده و به این نتیجه رسید که با افزایش مدت زمان آبیاری با فاضلاب مقدار عناصر سنگین در خاک افزایش یافته ولی تنها مس و آن هم به صورت بسیار جزیی از حد مجاز تجاوز نمود. همچنین افزایش سرب و روی در جزء قابل تحرک با افزایش سرب و روی در گیاه یونجه معنی‌دار بود ولی با این حال از حد مجاز خود تجاوز نکرد. Walter و همکاران (1999) گونه های شیمیایی عناصر روی، کادمیم، مس، نیکل، سرب و کروم را در خاک‌هایی که در آن‌ها فاضلاب مصرف شده بود را تعیین کردند و به این نتیجه رسیدند که تمام مواد در جزهایی که تحرک کمی دارند، یافت می‌شوند.

در همدان فاضلاب شهری به عنوان آب آبیاری در بعضی از زمین‌های کشاورزی، خصوصاً در سبزی‌کاری‌های این منطقه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این منطقه مطالعات اندکی در رابطه با تأثیر مصرف فاضلاب بر تجمع عناصر سنگین در خاک صورت گرفته است. هدف از این مطالعه بررسی تأثیر فاضلاب غنی شده در توزیع گونه‌های شیمیایی عناصر کادمیم، روی و سرب در دو خاک شنی و رسی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

- نمونه برداری از خاک

دو نمونه از خاک‌های زراعی استان همدان (سری بهار و پاماس) از عمق 30-0 سانتی متری به نحوی انتخاب شدند، که بافت و کربنات کلسیم معادل در آن‌ها متفاوت باشد. نمونه‌ها پس از هوا خشک شدن کوبیده، از الک 2 میلی متری گذرانده و جهت انجام آزمایشات نگه‌داری شدند.

- نمونه برداری از فاضلاب

درطول دوره آزمایش، فاضلاب خام از نهری در حصار امام اطراف شهر همدان برداشت گردید. فاضلاب را پس از انتقال به آزمایشگاه صاف کرده به آن 8/5 میلی گرم بر لیتر روی و کادمیم و 170 میلی گرم بر لیتر سرب به ترتیب از نمک های $ZnCl_2$، $CdCl_2$-H_2O و $PbCl_2$ اضافه گردید (فاضلاب غنی شده). از این فاضلاب برای آبیاری خاک ها در طول آزمایش استفاده گردید.

- ستون‌های آبشویی

به منظور انجام آبیاری نمونه‌های خاک، ستون‌های آبشویی با مشخصات زیر آماده شدند: ستون‌های آبشویی از جنس شیشه پیرکس به قطر 4/8 و طول 40 سانتی متر بوده و تا ارتفاع 30 سانتی متر با وزن مخصوص 1/4 و 1/54 گرم بر سانتی متر مکعب به ترتیب از خاک رسی و شنی پر گردیدند. خاک‌ها با فاضلاب غنی شده و خاک شنی نیز با فاضلاب خام آبیاری شدند. طول مدت آبیاری 30 روز و در این مدت 5/5 لیتر (3041 میلی متر) فاضلاب غنی شده (52/4 میلی گرم بر کیلوگرم روی و کادمیم و 1048 میلی گرم بر کیلوگرم سرب به خاک رسی و 51/9 میلی گرم بر کیلوگرم روی و کادمیم و 1039 میلی گرم بر کیلوگرم سرب به خاک شنی) و خام به خاک‌ها اضافه گردید. در طول آزمایش فاضلاب در 5 سانتی متری سطح ستون خاک نگه‌داری شد. آزمایش در دو تکرار صورت گرفت. بعد از پایان آزمایش لایه سطحی ستون‌ها تا عمق 3 سانتی متر، به ارتفاع 1 سانتی متر بریده شدند. نمونه‌ها هوا خشک شده و برای اندازه‌گیری مقادیرکادمیم، روی و سرب موجود درآن‌ها نگه‌داری شدند.

- آنالیز خاک و فاضلاب

غلظت کل عناصر سنگین کادمیم، روی و سرب در عمق های 1-0، 2-1 و 3-2 سانتی متری تعیین شد. برای انجام آزمایش 2 گرم از خاک را در ارلن درب دار ریخته به آن 15 میلی لیتر اسید نیتریک 4 نرمال اضافه شد

(Sposito و همکاران، 1982). بعد ارلن ها را به مدت 12 ساعت در دمای 80 درجه سانتی گراد حمام آبگرم قرار داده، بعد از گذشت زمان فوق نمونه ها را صاف کرده برای اندازه‌گیری غلظت کل عناصر کادمیم، روی و سرب نگه داری گردیدند. همچنین غلظت عناصر فوق در فاضلاب خام اندازه‌گیری گردید. با استفاده از روش عصاره‌گیری جزء به جزء (Tsai، 1998) جزهای قابل تبادل، پیوند با کربناتها، پیوند با اکسید منگنز، پیوند با اکسید آهن، پیوند با مواد آلی و باقی‌مانده مربوط به عمق های 1-0، 2-1 و 3-2 سانتی‌متری تعیین گردیدند:

1- قابل تبادل (F_1): 2 گرم خاک در ارلن درب دار ریخته شد. 20 میلی لیتر عصاره‌گیر استات آمونیوم یک مولار با (pH=7) به آن اضافه شد و به مدت 30 دقیقه در دمای (20-25) درجه سانتی‌گراد شیکر گردید.

2- پیوند با کربناتها (F_2): به باقی‌مانده از جزء قابل تبادل 20 میلی لیتر استات سدیم یک مولار با (pH=5) اضافه گردید و برای 5 ساعت در دمای اتاق شیکر گردید.

3- پیوند با اکسید منگنز (F_3): به باقی‌مانده از جزء کربناتها حدود 20 میلی لیتر NH_2OH-Hcl یک دهم مولار در محیط HNO_3 یک دهم مولار اضافه شد و به مدت 30 دقیقه شیکر گردید.

4- پیوند با اکسید آهن (F_4): به باقی‌مانده از جزء اکسیدهای منگنز حدود 20 میلی لیتر از NH_2OH-Hcl 0/04 مولار در 25 درصد حجمی اسید استیک اضافه شد و برای 6 ساعت در حمام آبگرم در دمای 96 درجه سانتی‌گراد قرار داده شد.

5- پیوند با مواد آلی (F_5): به باقی‌مانده از جزء اکسیدهای آهن 5 میلی لیتر HNO_3 یک صدم مولار و 10 میلی لیتر آب اکسیژنه 30 درصد اضافه شد و برای مدت 5 ساعت در حمام آبگرم در دمای 85 درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. بعد از سپری شدن این مدت و خنک شدن نمونه ها 15 میلی لیتر استات آمونیوم 3/2 مولار در 20 درصد HNO_3 به آن ها اضافه شد و مدت 30 دقیقه در دمای اتاق شیکر شد.

6- باقی‌مانده (F_6): پنج جزء قبلی را با هم جمع کرده و آن را از غلظت کل اندازه گیری شده کم می‌کنیم آنچه بدست می آید مربوط به جزء باقی‌مانده است.

غلظت عناصر کادمیم، روی و سرب با استفاده از دستگاه جذب اتمی تعیین گردید. برای تجزیه های آماری از نرم افزار SAS استفاده گردید.

- محاسبه فاکتور تحرک

فاکتور تحرک شامل جزهای محلول، تبادل (که در اینجا با هم اندازه گیری شده) و کربناته است که از طریق فرمول زیر محاسبه می گردد (Salbu و همکاران، 1998):

مجموع کلیه اجزاء / مجموع اجزاء محلول، تبادلی و کربناته = فاکتور تحرک

نتایج و بحث

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های نمونه‌برداری شده، در جدول (1) ارائه گردیده است. همانطور که این جدول نشان می‌دهد خاک‌های مورد استفاده در این بررسی از لحاظ برخی ویژگی‌ها متفاوتند. درصد کربنات کلسیم در خاک رسی 9/4 بوده، در حالیکه در خاک لومی شنی درصد کربنات کلسیم برابر با 5/3 می‌باشد. غلظت کادمیم، روی و سرب به ترتیب در فاضلاب خام 0/002، 0/03 و 0/1 میلی گرم در لیتر می‌باشد.

- غلظت کل عناصر سنگین در خاک‌ها

در هر دو خاک تجمع عناصر سنگین در لایه سطحی (1-0) سانتی متر دیده شد (جداول2 تا 7) و در تمام ستون‌های آبشویی غلظت عناصر سنگین با افزایش عمق کاهش یافت و تقریباً در عمق 3 سانتی متری هر سه عنصر به غلظت اولیه خود در خاک رسیدند بدین جهت تا 3 سانتیمتری از سطح برای جزبندی انتخاب گردید. Tam و Wong (1997) با مطالعه روی خاک‌های جنگلی مانگرو که مصنوعاً در آزمایشگاه فاضلاب دریافت کرده بودند به این نتیجه رسیدند که بیشترین تجمع این مواد در لایه سطحی (1-0) سانتی متر بود و با عمق کاهش یافت. در خاک‌هایی که فاضلاب دریافت کرده بودند، در عمق (1-0) سانتی متری غلظت کل عناصر سنگین مس، روی و کادمیم به صورت معنی‌داری نسبت به خاک‌های شاهد افزایش نشان داد.

- توزیع اجزاء مختلف کادمیم، روی و سرب در خاک‌های مورد آزمایش

- اجزاء کادمیم در خاک‌های مورد آزمایش

توزیع جزهای مختلف عناصر فوق در سه عمق 1-0، 2-1 و 3-2 سانتی متری ستون‌های آبشویی صورت گرفت. جداول 2 و3 جزهای مختلف کادمیم در دو خاک مورد مطالعه را نشان می‌دهند. غلظت کادمیم در تمام اجزای خاک با افزایش عمق کاهش می‌یابد. در هر دو خاک آبشویی شده با فاضلاب غنی شده غلظت کادمیم در جزء F_2 بالا بود. درصد بالای کادمیم در جزء معدنی این خاک‌ها احتمالاً به دلیل pH بالای این خاک‌ها است. توزیع

نسبی جزهای مختلف کادمیم در خاک رسی (میانگین سه عمق) از روند زیر پیروی می‌کند:

$F_2 > F_6 > F_4 > F_1 > F_3 > F_5$

و در خاک شنی از روند زیر پیروی می‌کند:

$F_2 > F_6 > F_1 > F_3 > F_4 > F_5$

در مقایسه خاک آبشویی شده با فاضلاب غنی شده و خاکی که فاضلاب خام دریافت کرده بود، توزیع نسبی کادمیم در تمام جزها (به استثنای جزء F_5 و F_6) در خاک تیمار شده با فاضلاب غنی شده نسبت به فاضلاب خام افزایش یافته ولی افزایش در جزء F_1 از سایر اجزا محسوس تر بوده است (جدول 2). جزء F_1 از 13/9 درصد در خاک تیمار شده با فاضلاب خام به 19/4 درصد در خاک تیمار شده با فاضلاب غنی شده رسیده است. اما در جزء F_5 از 6/6 درصد در خاک تیمار شده با فاضلاب خام به 1 درصد در خاک تیمار شده با فاضلاب غنی شده کاهش یافته است.

Berti و Jacobs (1996) و Sims و Kline (1991) در آزمایش تعیین گونه‌های شیمیایی عناصر سنگین و قابلیت جذب این عناصر در خاک‌های اصلاح شده با لجن فاضلاب دریافتند که بیشترین درصد کادمیم در جزء F_1 یافت شده و در بقیه جزها تغیرات چندان محسوس نبوده است. Harrison و همکاران (1981) و Chlopecka و همکاران (1996) گزارش کردند که کادمیم نسبت به سایر عناصر سنگین در خاک متحرک‌تر بوده و عمده به جزهای F_2 و F_1 می‌پیوندد.

Tam و Wong (1997) با مطالعه بر روی خاک‌های جنگلی مانگرو که فاضلاب دریافت کرده بودند به این نتیجه رسیدند که در خاک‌های شاهد که فاضلاب دریافت نکرده‌اند، عمده این عنصر در جزء F_6 یافت شد و کمتر به صورت F_1 بود. ولی با افزایش فاضلاب به خاک جزء F_1 افزایش نشان داد.

- اجزاء روی در خاک های مورد آزمایش

جداول 4 و 5 غلظت روی در اجزای مختلف خاک‌ها را نشان می‌دهند. غلظت روی در تمام اجزای خاک‌ها با افزایش عمق به طور معنی‌داری کاهش داشته است. در هر دو خاک آبشویی شده با فاضلاب غنی شده غلظت روی در جزء F_6 بالا بود. غلظت روی در جزء F_1 در این خاک‌ها بسیار اندک بود. توزیع نسبی روی در خاک رسی و شنی به صورت زیر بود:

$F_6 > F_4 > F_5 > F_2 > F_3 > F_1$

غلظت روی در خاک شنی آبشویی شده با فاضلاب خام در اجزای مختلف به غیر از جزء F_5 و F_6 کمتر از خاک آبشویی شده با فاضلاب غنی شده می باشد و با افزایش عمق کاهش می‌یابد (جدول4). مقایسه توزیع نسبی این تیمار (جدول4) با تیمار فاضلاب غنی شده نشان می‌دهد که جزء F_4 از 12/3 درصد در خاک تیمار شده با فاضلاب خام به 20 درصد در خاک تیمار شده با فاضلاب غنی شده رسیده است. ولی جزء F_5 از 19/3 درصد در خاک تیمار شده با فاضلاب خام به 12/1 درصد در خاک تیمار شده با فاضلاب غنی شده رسیده است. Ma و Rao (1997) گزارش کردند که روی عمدتاً در جزء F_6 قرار دارد. Obrador و همکاران (2003) دریافتند که در حدود 92 درصد روی در یک خاک آهکی در جزء F_6 قرار دارد. Lu و همکاران (2003) با مطالعه بر روی گونه‌های شیمیایی مس، روی، سرب و کروم در خاک‌های منطقه ناینجینگ چین دریافتند عمده مس، روی، سرب و کروم در جزء F_6 وجود داشته و حداقل میزان این عناصر در جزء F_1 بود. در مطالعه آنها میزان روی در هر جزء به ترتیب به صورت زیر بود: $F_1 < F_5 < F_2 < (F_3+F_4) < F_6$. یثربی و کریمیان (1378) در بررسی شکل‌های شیمیایی روی در خاک‌های آهکی نشان دادند بیشترین مقدار روی در جزء F_6 قرار دارد. بر اساس نتایج نجفی و توفیقی (1380) در تعیین اشکال مختلف روی در خاک به روش عصاره‌گیری جزء به جزء، روی در اجزاء F_3 و F_4 بیشترین درصد را داشت.

- اجزاء سرب در خاک های مورد آزمایش

جداول 6 و 7 غلظت سرب در اجزای مختلف خاک‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهند. غلظت سرب در هر دو خاک با افزایش عمق کاهش معنی‌داری را نشان می‌دهد. سرب عمدتاً در خاک شنی در جزء F_2 و در خاک رسی در جزء F_4 مشاهده شد. توزیع نسبی سرب در خاک رسی به صورت زیر بود:

$F_4 > F_2 > F_6 > F_3 > F_5 > F_1$

و در خاک شنی از روند زیر پیروی می کرد:

$F_2 > F_4 > F_6 > F_3 > F_5 > F_1$

این مسئله احتمالاً به دلیل بالا بودن میزان اکسیدهای آهن در خاک رسی می باشد.

Sposito و همکاران (1982) نشان دادند که سرب عمدتاً در جزهای F_3، F_4 و F_6 قرار دارد. بررسی‌های انجام یافته (McBride، 1995) نشان می‌دهد که اکسیدهای فلزات تمایل زیادی برای جذب سرب نسبت به سایر فلزات سنگین از خود نشان می دهند. Blume و Brummer (1987) سرب را جزو دسته عناصری آورده‌اند که بطور قوی توسط اکسیدهای فلزات جذب می‌شوند. طبق گزارشات رحمانی و همکاران (1378) در خاک‌های حاشیه برخی بزرگراه‌های ایران، سرب وابسته به ماده آلی کم بوده، اجزاء F_6، F_2 و F_3 اجزای غالب می‌باشند.

جدول 1- برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاکهای مورد مطالعه

نام سری	رده بندی خاک	رس	سیلت	شن	پ هاش	هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	ماده آلی (%)	ظرفیت تبادل کاتیونی $cmol_c\ kg^{-1}$	کربنات کلسیم معادل (%)	غلظت کل ($mg\ kg^{-1}$)		
		$g\ kg^{-1}$								کادمیم	روی	سرب
بهار	Typic Xerofluvents	172	200	628	6/90	0/55	1/48	13/90	5/30	1/41	50/00	28/00
پاماس	Typic Xerofluvents	374	292	334	7/40	0/32	1/22	12/00	9/40	2/30	71/00	70/00

جدول 2- غلظت کادمیم در اجزای مختلف خاک بهار

بهار	عمق (cm)	تفکیک اجزای خاک					
		قابل تبادل	پیوند با کربناتها	پیوند با اکسید منگنز	پیوند با اکسید آهن	پیوند با موادآلی	باقی مانده
		mg kg^{-1}					
فاضلاب غنی شده	0-1	10/89a[1]	20/64a	5/09a	5/18a	0/30a	11/44a
	1-2	0/32b	1/73b	0/58b	0/12b	0/16a	0/02b
	2-3	0/18b	0/56c	0/44b	0/09b	0/10a	0/82c
فاضلاب خام	0-1	0/33a	0/64a	0/24a	0/18a	0/11a	0/007c
	1-2	0/18b	0/55b	0/11b	0/10b	0/10ab	0/41b
	2-3	0/10b	0/50b	0/09b	0/09b	0/08b	0/56a
طبیعی	-	0/25	0/48	0/14	0/09	0/08	0/002

1- حروف متفاوت در هر ستون، اختلاف معنی دار را در سطح احتمال 5% آماری بر اساس آزمون دانکن نشان می دهد.

جدول3- غلظت کادمیم در اجزای مختلف خاک پاماس

پاماس	عمق (cm)	تفکیک اجزای خاک					
		قابل تبادل	پیوند با کربناتها	پیوند با اکسید منگنز	پیوند با اکسید آهن	پیوند با موادآلی	باقی مانده
		mg kg^{-1}					
فاضلاب غنی شده	0-1	6/29a[1]	19/66a	5/67a	6/66a	0/58a	7/13a
	1-2	0/59b	1/99b	0/36b	0/67b	0/19b	1/69b
	2-3	0/17c	1/76b	0/02c	0/31b	0/06b	0/07c
طبیعی	-	0/24	1/01	0/28	0/21	0/16	0/01

1- حروف متفاوت در هر ستون، اختلاف معنی دار را در سطح احتمال 5% آماری بر اساس آزمون دانکن نشان می دهد.

جدول 4- غلظت روی در اجزای مختلف خاک بهار

بهار	عمق (cm)	تفکیک اجزای خاک					
		قابل تبادل	پیوند با کربناتها	پیوند با اکسید منگنز	پیوند با اکسید آهن	پیوند با موادآلی	باقی مانده
		mg kg^{-1}					
فاضلاب غنی شده	0-1	2/78a[1]	9/84a	7/58a	26/65a	10/47a	31/70c
	1-2	0/24b	5/17b	4/57b	8/45b	7/54b	35/01a
	2-3	0/07c	3/65c	3/10b	5/45c	6/47c	33/09b
فاضلاب خام	0-1	0/40a	1/70a	4/12a	7/12a	11/02a	27/02c
	1-2	0/36b	1/55b	3/19b	6/06b	9/79b	28/65b
	2-3	0/34b	1/32c	2/56c	5/47c	8/42c	31/78a
طبیعی	-	0/37	0/81	4/79	6/12	8/52	29/12

1- حروف متفاوت در هر ستون، اختلاف معنی دار را در سطح احتمال 5% آماری بر اساس آزمون دانکن نشان می دهد.

جدول 5- غلظت روی در اجزای مختلف خاک پاماس

پاماس	عمق (cm)	تفکیک اجزای خاک					
		قابل تبادل	پیوند با کربناتها	پیوند با اکسید منگنز	پیوند با اکسید آهن	پیوند با موادآلی	باقی مانده
		mg kg^{-1}					
فاضلاب غنی شده	0-1	4/02a[1]	10/39a	8/77a	18/38a	12/25a	59/14a
	1-2	1/98b	2/39b	1/39b	6/10b	5/28b	62/66a
	2-3	0/28c	2/25c	0/95b	5/57c	3/91c	61/04a
طبیعی	-	0/26	1/67	2/76	5/72	8/61	52/09

1- حروف متفاوت در هر ستون، اختلاف معنی دار را در سطح احتمال 5% آماری بر اساس آزمون دانکن نشان می دهد.

جدول 6- غلظت سرب در اجزای مختلف خاک بهار

بهار	عمق (cm)	تفکیک اجزای خاک					
		قابل تبادل	پیوند با کربناتها	پیوند با اکسید منگنز	پیوند با اکسید آهن	پیوند با موادآلی	باقی مانده
		mg kg^{-1}					
فاضلاب غنی شده	0-1	41/77a[1]	410/35a	33/33a	183/42a	34/21a	159/30a
	1-2	9/72b	33/03b	18/41b	29/38b	18/72b	25/28b
	2-3	2/62c	12/32c	8/48c	10/29c	6/34c	3/44c
فاضلاب خام	0-1	0/20a	8/94a	6/24a	5/83a	8/05a	0/82c
	1-2	0/10b	7/85b	5/21b	5/21b	7/58b	3/21b
	2-3	0/04c	7/10c	4/93c	4/01c	7/01c	5/31a
طبیعی	-	0/12	7/94	6/24	5/83	7/05	0/82

1- حروف متفاوت درهر ستون، اختلاف معنی دار را در سطح احتمال 5% آماری بر اساس آزمون دانکن نشان می دهد.

جدول 7- غلظت سرب در اجزای مختلف خاک پاماس

پاماس	عمق (cm)	تفکیک اجزای خاک					
		قابل تبادل	پیوند با کربناتها	پیوند با اکسید منگنز	پیوند با اکسید آهن	پیوند با موادآلی	باقی مانده
		mg kg^{-1}					
فاضلاب غنی شده	0-1	21/25a[1]	322/55a	46/97a	437/20a	39/83a	96/14a
	1-2	6/87b	24/61b	20/93b	38/22b	19/71b	23/33b
	2-3	2/82c	16/73c	13/66c	22/27c	10/33c	12/18c
طبیعی	-	0/74	8/59	7/54	12/54	15/45	25/14

1- حروف متفاوت در هر ستون، اختلاف معنی دار را در سطح احتمال 5% آماری بر اساس آزمون دانکن نشان می دهد.

غلظت سرب در تمام اجزاء در خاک آبشویی شده با فاضلاب خام کمتر از خاک آبیاری شده با فاضلاب غنی شده می‌باشد (جدول6). در تیمار آبشویی شده با فاضلاب غنی شده اجزاء F_1 و F_2 افزایش نشان می‌دهند. جزء F_1 و F_2 به ترتیب از 0/4 و 27/2 درصد در خاک آبشویی شده با فاضلاب خام به 5/2 و 44 درصد در خاک آبشویی شده با فاضلاب غنی شده رسیده‌اند.

- فاکتور تحرک

بر اساس مقدار عناصر در اجزاء متحرک (F_1 و F_2) تحرک و قابلیت حل عناصر مورد مطالعه به صورت زیر بود:

کادمیم > سرب > روی

نتیجه گیری

افزودن فاضلاب غنی شده به خاک باعث افزایش معنی دار غلظت عناصر کادمیم، روی و سرب در لایه سطحی (1-0) سانتی‌متری خاک‌ها شد و در تمام ستون‌های آبشویی غلظت عناصر سنگین با افزایش عمق کاهش یافت. در هر دو خاک تیمار شده با فاضلاب غنی شده غلظت کادمیم در جزء F_2 بالا بود. درصد بالای کادمیم در جزء معدنی این خاک‌ها شاید به علت pH بالای این خاک‌ها باشد. در هر دو خاک تیمار شده با فاضلاب غنی شده غلظت روی در جزء F_6 بالا بود. سرب عمدتاً در خاک شنی در جزء F_2 و در خاک رسی در جزء F_4 یافت شد. بنابراین تجمع عناصر سنگین کادمیم، روی و سرب به طور عمده در سطح خاک بوده و بنابراین بخش عمده‌ایی از عناصر فوق در جزیی از خاک قرار دارند که تحرک کمی در خاک دارند و احتمال حرکت و پیوستن به آب‌های زیرزمینی کم می‌باشد.

فهرست منابع:

1. رحمانی، ح. ر، ش. حاج رسولیها و م. کلباسی. 1378. فرم های شیمیایی سرب در خاک‌های حاشیه برخی بزرگراههای ایران. ششمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.
2. نجفی، ن و ح. توفیقی.1380. تعیین شکل‌های مختلف روی و رابطه آن‌ها با روی قابل استفاده و تغیرات آن‌ها پس از غرقاب در چند خاک شالیزاری شمال ایران. هفتمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه شهرکرد.
3. یثربی، ج و ن.ع. کریمیان. 1378. رابطه بین روی قابل استفاده گیاه و شکل‌های شیمیایی آن در خاک‌های آهکی. ششمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.
4. Berti, W.R., and L.W. Jacobs. 1996. Chemistry and phytotoxicity of soil trace element from repeated sewage sludge applications. J. Environ. Qual. 25:1025-1032
5. Blume, H.P., and G. Brummer. 1987. Prognose desvenhaltens von schwermetallenin Boden miteinfachea feldmethoden. Mitt. Dtsh. Boden Kundl. Ges. 53:111-120.
6. Chang, A.C., A.L. Page., J.E. Warneke., and E. Grgurevic. 1984. Sequential extraction of soil heavy metals following a sludge application. J. Environ. Qual. 13:33-38.
7. Chlopecka, A., J.R. Bacon., M.J. Wilson., and J. Kay. 1996. Forms of cadmium, lead and zinc in contaminated soils from southwest Poland. J. Environ. Qual. 25:69-79.
8. Harrison, R.M., D.P.H. Laxen., and S.J. Wilson. 1981. Chemical associations of lead, cadmium, copper and zinc in street dusts and roadside soils,. Environ Sci Tech. 15:1378-1383.
9. Lu, Y., Z. Gong., G. Zhang., and W. Burghardt. 2003. Concentrations and chemical speciations of Cu, Zn, Pb and Cr of urban soils in Nanjing, China. Geoderma. 115: 101-111.
10. Ma, L.Q., and G.N. Rao. 1997. Chemical fractionation of cadmium, copper, nickel and zinc in contaminated soils. J. Environ. Qual. 26:259-264.
11. McBride, M.B. 1995. Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: Are USEPA Regulations protective? J. Environ. Qual. 24:5-18
12. Miller, W.P., D.C. Martins., and L.W. Zelazny. 1986. Effect of seguence in extraction of trace metals from soil. Soil Sci. Soc. Am J. 50:598-601.
13. Obrador, A., J. Novillo., and J.M. Alvarez. 2003. Mobility and availability to plants of two zinc sources applied to calcareous soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 67:564-572.
14. Page, A.L. 1974. Fate and effects of trace elements in sewage sludge when applied to agricultural land use. Environ. Prot. Ageney. Cincinnati. Ohio.
15. Salbu, B., T. Krekling., and D.H. Oughton. 1998. Characterization of radioactive particles in the environment. Analyst. 123: 843-849.

16. Shuman, L.M. 1991. Chemical froms of micronutrients in soil In J. J. Mortvedt et al. (Eds). Micronutrients in agriculture. 2nd ed. SSSA. Madison. WI. PP.
17. Siebe, C. 1996. Heavy metal availability to plants in soils irrigated with wastewater from Mexico City. Water. Sci. Tech. 12:29-34 pp.
18. Sims, J.T., and J.S. Kline. 1991. Chemical fractionation and plant uptake of heavy metals in soils amended with Co-composted sewage sludge. J. Environ. Qual. 20:387-395.
19. Sposito, G., J. Lund., and A.C. Chang. 1982. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in soild phases. Soil Sci. Soc. Am. J. 46: 260-264.
20. Tam, N.F.Y., and Y.S. Wong. 1997. Retention and distribution of heavy metals in mangrove soils receiving wastewater. Environ. Pollut. 3: 283-291.
21. Tsadilas, C.D., T. Matsi., N. Barbayiannis., and D. Dimoyiannis. 1995. Influence of sewage sludge application on soil properties and on the distribution and availability of heavy metals fraction. Common. Soil Sci Plant Anal. 26: 2603-2619.
22. Tsai, L.J., K.C. Yu., J.S. Chang., S.T. Ho. 1998. Fractionation of heavy metals in sediment cores from the ELL-REN River, Taiwan. Wat. Sci. Tech. 37: 217-224.
23. Walter, I., and G. Cuevas. 1999. Chemical fractionation of heavy metals in a soil amended with repeated sewage sludge application. Sci. Total Environ. 226:113-119.