ORIGINAL ARTICLE

Accumulation of Heavy Metals in Agricultural Soil Irrigated by Sewage Sludge and Industrial Effluent (Case Study: Agh ghallah Industrial Estate

Ali Zafarzadeh[1],
Mohammadhadi Mehdinejad[2],
Nazak Amanidaz[3]

[1] Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, Research Center for Environmental Sciences, Faculty of Health, Golestan University of Medical Sciences, Gorgan, Iran
[2]Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, Research Center for Environmental Sciences, Faculty of Health, Golestan University of Medical Sciences, Gorgan, Iran
[3] MSc in Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Golestan University of Medical Sciences, Gorgan, Iran

(Received July 28, 2014 ; Accepted February 4, 2015)

Abstract

Background and purpose: Industrial effluent and sewage sludge are used as fertilizer since they contain high levels of nutrient. The main pollutant in industrial effluent is heavy metals. In this study an assessment was made on the impact of industrial wastewater effluent and sewage sludge on accumulation of heavy metals in agricultural soil at Agh ghallah industrial Estate.

Materials and methods: In a descriptive-analytic study, 72 samples (sewage sludge, effluent and soil) were collected from the Industrial state. All sampling and tests were performed according to standard methods and concentration of heavy metals was determined using polarography method. To analyze the data, SPSS was used and 95% confidence intervals ($P<0.05$) were applied.

Results: The mean concentrations of Cd, Cu. Pb and Zn in sewage sludge were 0.53, 15.9, 1.44 and 692.7 mg/kg dw, respectively which were found to be lower than EPA standard. The concentrations of investigated heavy metals were within normal range in wastewater effluent that was discharged into surface water. The mean concentrations of metals in soil irrigated by wastewater were higher than those of the control soil. In a 10-year period, the concentration of lead and zinc increased 130 and 4 fold and cadmium and copper concentrations increased less than two-fold. There was a significant correlation between Zn and Pb in soil, sewage sludge and control soil ($P<0.05$). However, the concentration of Cd and Cu were not affected ($P> 0.05$).

Conclusion: The concentrations of heavy metal were found lower than the maximum allowable level. Therefore, in this area, wastewater and sewage sludge could be used to irrigate agricultural lands and greenspaces in shortage of water, however, environmental regulations should be taken into account.

Keywords: Sludge, industrial effluent, heavy metals

J Mazandaran Univ Med Sci 2015; 25(121): 217-226 (Persian).

پژوهشی

مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران
دوره بیست و چهارم شماره ۱۲۱ بهمن سال ۱۳۹۳ (۲۲۶-۲۱۷)

تجمع میزان فلزات سنگین خاک زراعی با کاربرد لجن و پساب شهرک صنعتی آق قلا

علی ظفرزاده[1]
محمدهادی مهدی نژاد[2]
نازک امانی داز[3]

چکیده

سابقه و هدف: لجن و پساب فاضلاب‌های صنعتی به دلیل دارا بودن مقادیر زیادی از عناصر غذائی، به‌عنوان کود مورد استفاده قرار می‌گیرند. فلزات سنگین آلاینده‌های اصلی یافت شده در لجن و پساب‌های صنعتی هستند. هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر لجن دفعی و پساب تصفیه خانه فاضلاب شهرک صنعتی آق قلا بر غلظت فلزات سنگین خاک می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه توصیفی- تحلیلی، تعداد ۷۲ نمونه پساب، خاک و لجن طبق روش‌های استاندارد، جمع‌آوری و هضم شد. سپس غلظت فلزات سنگین در نمونه‌ها با پولاروگراف تعیین مقدار شد. کلیه داده‌ها با سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که میانگین غلظت Cd، Cu ، Pb و Zn (mg/kd dw) در لجن دفعی به ترتیب ۰/۵۳، ۱۵/۹، ۱/۴۴ و ۶۹۲/۷ و کم‌تر از حداکثر مجاز EPA بوده است. غلظت آن‌ها در پساب خروجی جهت تخلیه به آب‌های سطحی غالباً در محدودهٔ استاندارد بوده است. میانگین غلظت این فلزات در خاک آبیاری شده با پساب بیش‌تر از خاک شاهد بوده به طوری که غلظت سرب و روی به ترتیب بیش از ۱۳۰ و ۴ برابر و کادمیوم و مس کم‌تر از ۲ برابر در یک دوره ۱۰ ساله افزایش داشته اند. با توجه به آزمون آنالیز واریانس یک طرفه غلظت Zn و Pb در نمونه‌های خاک، لجن و خاک شاهد با اطمینان ۹۵درصد دارای اختلاف معنی‌داری بوده است ($p < ۰/۰۵$). اما برغلظت Cd و Cu تاثیرگذار نبوده است ($p > ۰/۰۵$).

استنتاج: با توجه به اینکه غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه کم‌تر از حداکثر مجاز می‌باشد، استفاده از پساب و لجن دفعی در زمین‌های کشاورزی و فضای سبز با توجه به کمبود آب در این مناطق با رعایت ضوابط زیست محیطی امکان‌پذیر می‌باشد.

واژه های کلیدی: لجن، پساب صنعتی، فلزات سنگین

مقدمه

منابع اصلی آلودگی فلزات سنگین شامل منابع انسان ساز و منابع طبیعی می‌باشند. یکی از اساسی‌ترین مسائل در ارتباط با فلزات سنگین، عدم متابولیزه شدن آن‌ها در بدن می‌باشد. در واقع فلزات سنگین پس از ورود به بدن دفع نشده بلکه در بافت‌هایی مثل چربی، عضلات، استخوان‌ها و مفاصل رسوب کرده که همین امر موجب بروز بیماری‌ها و عوارض متعددی در بدن می‌شود(۱).

علاوه براینرشد روز افزون جمعیت و ارتقای سطح

مولف مسئول: علی ظفرزاده- گرگان: ابتدای جاده شصت کلا، مجموعه آموزش عالی فلسفی، دانشکده بهداشت E-mail: alizafarzadeh@yahoo.com
۱. استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گلستان، گرگان، ایران
۲. دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گلستان، گرگان،ایران
۳. کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی گلستان، گرگان، ایران
تاریخ دریافت : ۱۳۹۳/۵/۵ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات : ۱۳۹۳/۱۰/۲۳ تاریخ تصویب : ۱۳۹۳/۱۱/۱۵

زندگی و توسعه صنایع و انتقال تکنولوژی عواملی هستند که افزایش مصرف آب و تولید فاضلاب در اجتماعات و آلودگی محیط زیست را باعث شده است و امروزه چنان مشکلی ایجاد کرده‌اند که سرمایه‌گذاری جهت تصفیه و دفع بهداشتی را اجباری نموده است(۳،۲). تاثیرات نامطلوب زیست محیطی ناشی از دفع نادرست فاضلاب صنعتی درحدی است که امروزه اجرای طرح‌های فاضلاب در مناطق شهری و شهرک‌های صنعتی امری ضروری و بنیادی تلقی می‌گردد(۴). آلودگی خاک و تجمع فلزات سنگین در محصولات کشاورزی در مناطق صنعتی یکی از مهم‌ترین مسایل زیست محیطی است که زندگی گیاهان، حیوانات و انسان را تهدید می‌نماید(۵). در حال حاضر آلودگی عمومی به فلزات سنگین رو به افزایش بوده و به دنبال آن تجمع این فلزات در گیاهان و حیوانات علاوه بر آسیب‌های جدی بر سلامت این موجودات مصرف فراورده‌های آن‌ها برای مصرف‌کنندگان نهایی یعنی انسان را مخاطره‌آمیز کرده است(۶). جذب فلزات سنگین توسط گیاه و ورود آن‌ها به زنجیره غذایی انسان و حیوان ممکن است باعث بیماری‌های متعددی در آن‌ها شود. برای مثال می‌توان بروز بیماری‌های متعددی ناشی از مصرف زیاد کادمیوم در گیاه برنج را در کشور ژاپن نام برد(۷). سرب یک ماده سمی است که در استخوان تجمع می‌یابد. سرب در متابولیسم کلسیم به طور مستقیم و از طریق اختلال در متابولیسم ویتامین D مزاحمت ایجاد می‌کند(۸). اختلال یادگیری و رفتاری در کودکان، صدمه به اندام‌های کبد،کلیه و قلب و اختلال در سیستم ایمنی از پیامدهای آلودگی به سرب است(۹).

کادمیوم به مقدار ۰/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم در پوسته زمین و نیز روی به مقدار ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک و رسوبات جزء فلزات سنگین می‌باشند(۱۰). کادمیوم باعث آسیب‌های کبدی و ریوی و فشارخون و از کار افتادن کلیه، نقص جنینی، سرطان‌زایی وجهش‌زایی می‌شود(۱۱). علاوه بر این کادمیوم در صنایع ذوب فلزات غیرآهنی، احتراق سوخت‌های فسیلی و سوزاندن زباله‌های شهری وارد محیط زیست می‌شود(۱۰) و درصنایع مختلف از جمله صنایع الکتریکی، ارتباطات، هوا فضا،آب کاری، پلاستیک‌سازی، باطری‌سازی، آلیاژسازی، رنگرزی و ساخت رآکتورهای هسته‌ای کاربرد دارد(۱۳،۱۲). آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC)، کادمیوم را به عنوان عامل کارسینوژنیک معرفی نموده است و این فلز عامل مهمی در نارسایی کلیه معرفی شده است(۱۴). خاک‌ها به دلیل سطح ویژه زیاد و حضور گروه‌های عامل سطحی، عوامل موثری در جذب فلزات سنگین هستند(۱۵). به طور کلی با افزایش PH، به دلیل کاهش پویایی فلزات سنگین، ظرفیت خاک‌ها برای جذب یون‌های فلزی زیاد می‌شود(۱۶).

ترابیان و همکاران که بر روی سبزیجات آبیاری شده با فاضلاب‌های تهران مطالعه‌ای انجام دادند، غلظت برخی فلزات را در سبزیجات و خاک بیش از حد مجاز تشخیص دادند(۱۷). هم‌چنین در تحقیقی که Burchett و همکاران در کشور بلژیک انجام دادند، اعلام نمودند که تجمع کادمیوم در سبزیجات و خاک منطقه صورت گرفته است(۱۸).

برای پیشگیری از جذب بیش از حد فلزات سمی توسط گیاه و ورود این فلزات به زنجیره غذایی انسان و دام، برخی از کشورها قوانینی برای اضافه کردن لجن فاضلاب به زمین‌های کشاورزی وضع کرده‌اند(۲). برای مثال، سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا حدمجاز کادمیوم، سرب، روی و مس را در لجن فاضلاب که به عنوان کود در زمین‌های کشاورزی مصرف می‌شود، به ترتیب ۸۵، ۸۴۰، ۷۵۰، ۴۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین کرده است(۲). شهرک صنعتی آق قلا در حال حاضر دارای ۱۲۰ واحد فعال شامل: واحدهای خدماتی در زمینه‌های غذایی، فلزی، شیمیایی، سلولزی، برق و الکترونیک، کانی‌های غیر فلزی در مرحله تولید و بهره‌برداری می‌باشند که فاضلاب آن‌ها مورد تصفیه بیولوژیکی قرار می‌گیرد. با توجه به این که شهرستان آق قلا از نظر تامین آب کشاورزی در مضیغه می‌باشد و از طرفی به دلیل این که آب‌های زیر سطحی این مناطق

دارای هدایت الکتریکی (EC) بالا هستند، برای آبیاری مناسب نبوده و باید زهکشی و دفع شوند. لذا در همین راستا جهت تعیین قابلیت استفاده از پساب و لجن دفعی در زمین‌های کشاورزی، این مطالعه با هدف بررسی اثر لجن دفعی و پساب تصفیه خانه فاضلاب شهرک صنعتی آق قلا بر غلظت فلزات سنگین (سرب، روی، کادمیوم و مس) خاک و مقایسه آن با استاندارد موجود کشور انجام شده است.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر از نوع توصیفی- تحلیلی بوده است که جهت بررسی وضعیت غلظت فلزات سنگین در خاک آبیاری شده با پساب، لجن دفعی و پساب خروجی تصفیه خانه فاضلاب شهرک صنعتی آق قلا- گلستان تعداد ۷۲ نمونه در طی مدت ۷ ماه در فاصله اردیبهشت تا آبان سال ۹۰ جمع‌آوری و در آزمایشگاه دانشکده بهداشت گرگان آنالیز شد.

برداشت نمونه خاک از محل‌های انتخابی به صورت تصادفی از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متر زمین مورد نظر به صورت ترکیبی به وزن حدود ۲ تا ۳ کیلوگرم انجام شد و هم‌چنین لجن نیز از محل فیلتر پرس در کیسه‌های پلاستیکی مخصوص جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌های خاک شاهد از زمین بایر مجاور منطقهٔ مورد مطالعه که تاکنون کشاورزی و آبیاری نشده است، از عمق ۱۰تا۲۰ سانتی‌متری زمین برداشته شد. نمونه‌های خاک و لجن پس از خشک شدن در هوای آزاد در فور (memmert) با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت قرار داده شد و با آسیاب در حد ۲۰۰ مش آسیاب گردید. پس از این مرحله، مقدار ۱گرم از نمونه‌های خاک و لجن با اسید نیتریک ۶۵ درصد مرک در دمای حدود ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد هضم و با افزودن چند قطره پراکسید هیدروژن، بیرنگ شدند. پس از صاف نمودن نمونه‌ها توسط فیلتر واتمن شماره ۴۱ و به حجم رساندن آن‌ها با آب مقطر، دو بار تقطیر و آماده قرائت و آنالیز شدند(۱۹،۲۰). نمونه‌های پساب نیز در طول مدت نمونه‌برداری در ظروف پلی اتیلنی مخصوص جمع‌آوری، هضم و مورد آنالیز قرار گرفتند. کلیه مراحل جمع‌آوری، آماده‌سازی، هضم و آنالیز نمونه‌ها طبق روش‌های استاندارد آنالیز آب و فاضلاب(۱۹) و دستورالعمل دستگاه پلاروگراف مدل ۷۹۷ متروم سوئیس به روش ولتامتری انجام شد. سر انجام داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS شماره ۱۸ و آزمون آنالیز واریانس یک طرفه با سطح اطمینان ۹۵ درصد و Tukey مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

یافته ها

آنالیز نمونه‌های برداشت شده از لجن دفعی تصفیه خانه شهرک صنعتی آق‌قلا نشان داد که مقدار میانگین Cd، Cu ، Pb و Zn به ترتیب برابر ۰/۵۳، ۱۵/۹، ۱/۴۴ و ۶۹۲/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک لجن بوده است (جدول شماره ۱ و نمودار شماره ۱). میانگین Cd، Cu، Pb و Zn برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک نمونه در خاک محل تخلیه پساب به ترتیب ۰/۲۶، ۱۶/۴، ۱۱/۸ و ۱۹۹/۹۷ محاسبه شد که بالاتر از مقادیر آن‌ها در خاک شاهد (به ترتیب ۰/۱۴، ۱۰/۱، ۰/۰۹ و ۴۳/۳ بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک نمونه) بوده است که این افزایش در مورد سرب و روی به ترتیب بیش از ۱۳۰ و ۴ برابر و کادمیوم و مس کم‌تر از ۲ برابر نسبت به خاک شاهد در یک دوره ۱۰ ساله افزایش داشته‌اند (جدول شماره۱).

جدول شماره۱: میانگین غلظت فلزات سنگین در لجن، خاک آبیاری شده با پساب، خاک شاهد بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک

عنوان	Zn انحراف معیار±میانگین حداقل-حداکثر	Cd انحراف معیار±میانگین حداقل-حداکثر	Pb انحراف معیار±میانگین حداقل-حداکثر	Cu انحراف معیار±میانگین حداقل-حداکثر
لجن	۶۹۳±۵۱۷	۰.۵۳±۰.۲۲	۱.۴۴±۱.۴۹	۱۵.۹±۱۷.۷
	۲۰۱۶-۲۲۰	۰.۸۵-۰.۱۲	۵.۱-۰.۱۷	۶۶.۳-۲.۳
خاک	۱۹۲±۹۲.۴	۰.۲۶±۰.۲۷	۱۱.۸±۴.۷	۱۶.۴±۵.۷
	۳۴۱.۸-۷۲.۷	۱.۱-۰.۰۱	۱۸.۹-۴	۲۹.۱-۸.۹
خاک شاهد	۸۴.۶±۳۸	۰.۱۴±۰.۱	۸.۸±۲.۴	۱۰±۴.۴۵
	۱۳۱.۵-۴۵.۸	۰.۲۹-۰.۰۷	۱۱.۹-۶.۲	۱۴.۷-۴.۶

جدول شماره ۲ استاندارد EPA ، چین و استاندارد ملی ایران را در خصوص غلظت فلزات سنگین در لجن، خاک و آبهای سطحی نشان می دهد.

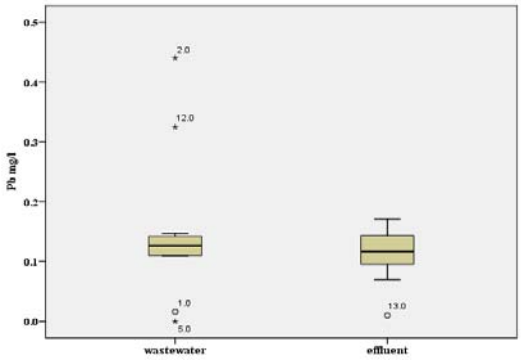
جدول شماره۲: استاندارد فلزات سنگین در لجن، خاک، آب های سطحی و کشاورزی بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک

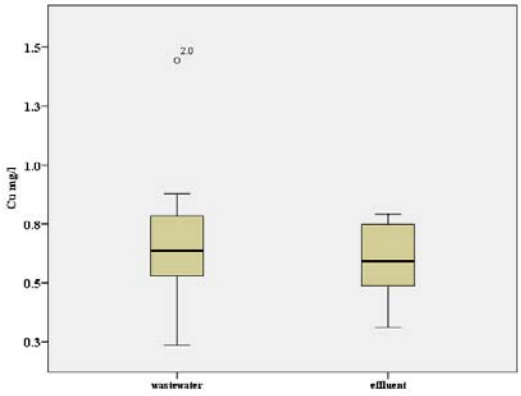
عنوان	استاندارد لجن		استاندارد	استاندارد ملی ایران (۳۰)	
	EPA (۲۱)	چین (۲۶)	خاک (۲۹)	تخلیه به آب های سطحی	مصارف کشاورزی و آبیاری
Cd	۳۹	۲۰	< ۰.۱	۰/۱	۰/۰۵
Cu	۱۵۰۰	۵۰۰	۵-۵.۶	۱	۰/۲
Pb	۳۰۰	---	۲-۱۳.۴	۱	۱
Zn	۲۸۰۰	۱۰۰۰	۶۰-۷۸۰	۲	۲

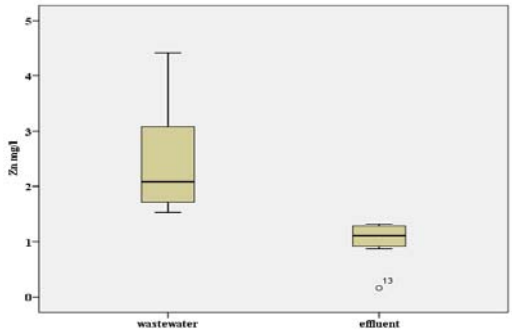
مطابق جدول شماره ۳ مقدار غلظت فلزات سنگین در فاضلاب ورودی و پساب خروجی به ترتیب بر اساس غلظت بیش‌تر به Zn، Cu، Pb و Cd تعلق می گیرد.

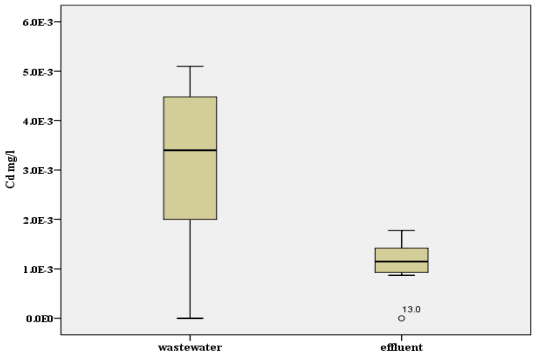
جدول شماره۳: میانگین غلظت فلزات سنگین در فاضلاب ورودی، پساب خروجی بر حسب میلی گرم در لیتر

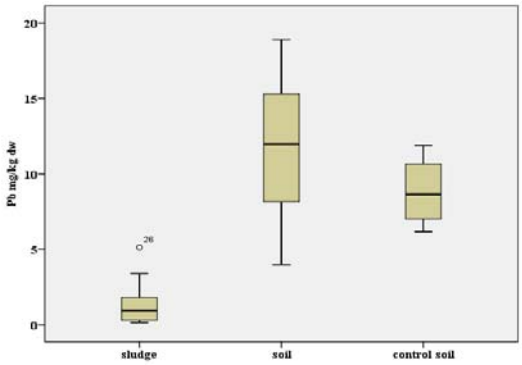
عنوان	فاضلاب ورودی	پساب خروجی
Cd	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱
Cu	۰/۷	۰/۶
Pb	۰/۱۵	۰/۱۱
Zn	۲/۴	۱/۰۳

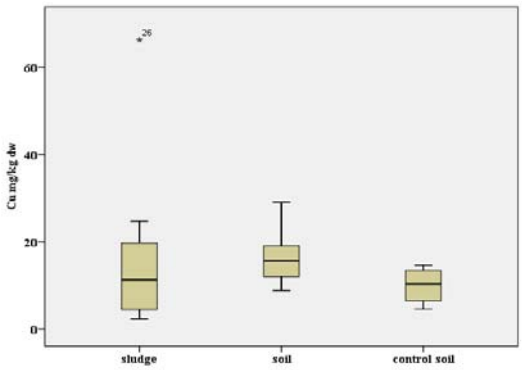


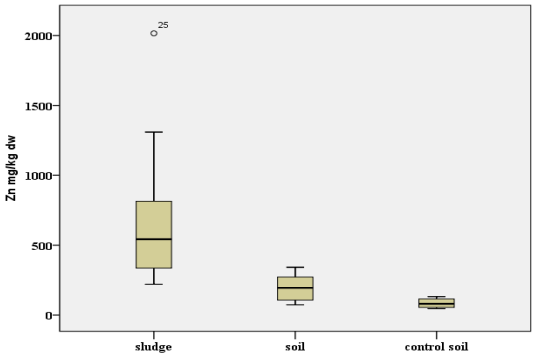


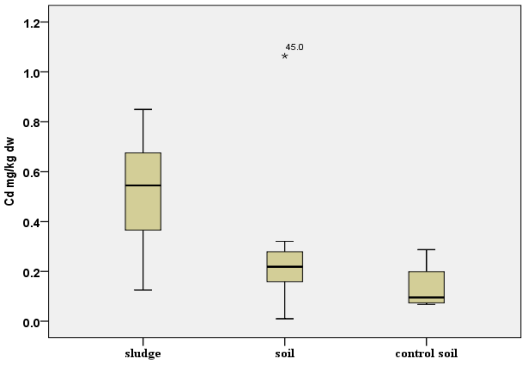












نمودارشماره ۱: میانگین غلظت فلزات سنگین در نمونه های فاضلاب، پساب، لجن، خاک آبیاری شده با پساب و خاک شاهد

بحث

با توجه به داده‌های جدول شماره۱ و نمودار شماره۱ میانگین غلظت این عناصر در نمونه‌های لجن تصفیه خانه شهرک صنعتی آق قلا کم‌تر از مقادیر استاندارد وضع شده EPA (حداکثر مجاز) بوده است(۲۱) و لذا با توجه به این که بر اثر استفاده از پساب و لجن دفعی در فضای سبز و زمین‌های کشاورزی اطراف تصفیه خانه، غلظت فلزات سنگین افزایش یافته است اما هنوز به حدی نرسیده است که بر روی عملکرد محصولات کشاورزی اثرگذار باشد. بنابراین، کاربرد پساب و لجن برای زمین‌های کشاورزی این مناطق و تحت شرایط کنترل شده و در صورت ترقیق با سایر منابع آب، برای دوره‌های مشخص و گیاهان مختلف ممکن است برای غالب مصارف از جمله کشاورزی، به ویژه فضای سبز، جنگل‌ها و مراتع قابل قبول باشد. مقدار روی در لجن دفعی با وجود بالاتر بودن نسبت به سرب و کادمیوم، از حد استاندارد پایین تر بوده و به نظر می‌رسد محدودیتی در خصوص تخلیه لجن به زمین‌های کشاورزی در دوره‌های کوتاه مدت از لحاظ سه فلز اندازه گیری شده وجود نداشته باشد.

در مطالعه‌ای که نظری و همکاران(۲۲) و Wolejko و همکاران(۲۳) بر روی اثرات لجن در تجمع فلزات سنگین در خاک و گیاهان انجام دادند ، علت این امر را بالا بودن غلظت مواد آلی در پساب، لجن و تاثیر pH خاک ذکر نمودند. علاوه بر این با افزایش pH خاک، حلالیت فلزات سنگین در خاک کاهش یافته و موجب افزایش قابلیت جذب آن‌ها در خاک شده و نهایتاً تشکیل کمپلکس با مواد آلی محلول، موجب تجمع آن‌ها در لایه‌های فوقانی خاک می‌شود(۲۴،۲۳). اما در این ارتباط، توجه به دو مطلب ضروری می‌باشد: اول این که این عناصر خاصیت تجمع‌پذیری داشته و بنابر این در مقدار و دفعات کاربرد این لجن در یک خاک مشخص، در هر نوبت، در طول سال و در طی سال‌های متوالی، بایستی دقت بیش‌تری به عمل آید و مقدار استفاده از لجن به عنوان یک پارامتر مهم در طراحی، و نیز سایر پارامترها از جمله شرایط مشخصات خاک، حتماً در نظر گرفته شود(۲۶،۲۵). به عبارت دیگر ملاک قضاوت، بیش‌تر باید بر روی غلظت فلزات سنگین در خاک باشد تا غلظت آن‌ها در لجن. مطلب دوم در راستای تحقیقات انجام شده در مورد وضع استانداردهای EPA برای فلزات سنگین می‌باشد که به موارد مهمی از جمله تفاوت‌های شیمی خاک و لجن، اثرات مواد معدنی و آلی بر روی غیر محلول نگه داشتن فلزات سمی، ثابت فرض کردن اثرات حفاظتی لجن با گذشت زمان، کم بودن مقادیر اکسیدهای منگنز در بیش‌تر خاک ها به عنوان خنثی‌کننده اثرات سمی و ... کم‌تر مورد توجه قرار می‌گیرد(۲۷،۲۵). بنابراین اثرات طولانی مدت کاربرد لجن حاوی فلزات سنگین در بارگذاری‌های تعیین شده توسط EPA هنوز نامشخص است و اثرات حفاظتی لازم را ندارد و نهایتاً این که در کاربرد آن‌ها در خاک‌های کشاورزی باید احتیاط شود تا از آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی، خاک ها و گیاهان و قرار گرفتن در زنجیره غذایی و در نتیجه آلودگی حیوانات و انسان‌ها اجتناب گردد(۲۹،۲۸). اما مصرف این لجن‌ها برای سایر کاربردهای پیش گفته لجن بلامانع است. با توجه به آزمون آنالیز واریانس یک طرفه و Tukey میانگین غلظت Zn و Pb در نمونه‌های خاک آبیاری شده با پساب، لجن دفعی و خاک شاهد با اطمینان ۹۵درصد دارای اختلاف معنی‌داری بوده است

(p <۰/۰۵). به عبارت دیگر، آبیاری خاک با پساب و لجن دفعی بر روی غلظت Zn و Pb از نظر آماری تاثیرگذار بوده است و باعث افزایش غلظت این عناصر در خاک آبیاری شده با پساب شده است اما بر روی غلظت Cd و Cu در خاک آبیاری شده با پساب و اختلاط لجن با خاک کشاورزی ازنظر آماری تاثیرگذار نبوده است (p >۰/۰۵). به عبارت دیگر آبیاری خاک کشاورزی با پساب تصفیه خانه موجب افزایش معنی‌دار این عناصر نشده است. با توجه به داده‌های جدول شماره ۳ می‌توان اظهار نمود که غلظت Zn، Cd و Pb در پساب خروجی غالباً در محدودهٔ استاندارد بوده است و صرفاً غلظت Cu در پساب خروجی جهت مصارف کشاورزی و آبیاری، بیش از حد استاندارد ملی کشور (۰/۶ میلی‌گرم در لیتر) بوده اما غلظت آن جهت تخلیه به آب‌های سطحی مناسب می‌باشد (۱ میلی‌گرم در لیتر)(۳۱،۳۰). افزایش سطح فلزات سنگین خاک در اثر کاربرد فاضلاب، pH، ظرفیت تبادل کاتیونی، مواد آلی، پویایی و تحرک عناصر معدنی خاک را شدیداً تحت تاثیر قرار می‌دهد(۳۲). تاثیر آبیاری با فاضلاب روی تجمع فلزات سنگین خاک، بستگی به عوامل متعددی چون غلظت فلزات سنگین موجود در فاضلاب، طول مدت آبیاری، pH، بافت و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک دارد(۵). در واقع ۵ تا ۱۰ سال وقت لازم است تا سطح فلزات سنگین خاک آبیاری شده با فاضلاب به بیش از حد مجاز برسد(۳۳). نتایج مطالعات Rattan و همکاران نشان داد که آبیاری با فاضلاب به مدت ۵ سال فقط غلظت آهن موجود در خاک، به مدت ۱۰ سال غلظت فلزات سنگین روی، آهن، نیکل و سرب و به مدت ۲۰ سال غلظت فلزات سنگین آهن، روی، مس، منگنز، نیکل و سرب خاک را افزایش می‌دهد(۳۴).

این نتایج با گزارشات Streck و همکاران و Mc Bride و همکاران مطابقت دارد(۳۶،۳۵). هم‌چنین Keller و همکاران نیز گزارش کردندکه افزودن لجن به خاک، باعث افزایش غلظت کادمیوم، سرب، روی و مس در خاک شده است(۳۷).

در مطالعه‌ای که شبانیان بروجنی و همکاران بر روی اثر پساب و لجن فاضلاب کارخانه پلی اکریل ایران بر روی غلظت عناصر در چمن، میمون و قرنفل انجام دادند، اعلام نمودند که رشد، ارتفاع و تعداد گلچه در گل آذین میمون افزایش یافته است. علاوه براین، لجن فاضلاب باعث افزایش میزان کلروفیل در گیاهان شده است(۳۸). هم‌چنین در مطالعه‌ای که Behbahaninia و همکاران در خصوص تاثیر لجن فاضلاب بر فلزات سنگین در خاک و آب‌های زیرزمینی انجام دادند، به نتایج مشابهی دست یافتند واعلام نمودند که استفاده از لجن و پساب برای آبیاری غلات مناسب بوده است اما آب‌های زیرزمینی باید مورد پایش قرار گیرند(۳۹).

در مطالعه حاضر، غلظت فلزات سنگین Cd ، Pb ، Cu و Zn در پساب خروجی تصفیه خانه فاضلاب شهرک صنعتی آق قلا کم تر از حد استاندارد EPA بوده است و احتمالاً کاربرد آن برای مصارف کشاورزی و فضای سبز با توجه به کیفیت خاک با رعایت ضوابط زیست محیطی و دفعات آبیاری برای دوره‌ای مشخص مناسب می‌باشد. غلظت فلزات سنگین در پساب خروجی کم تر از غلظت آنان در فاضلاب ورودی بوده است و غلظت همه آن‌ها به جز Cu کم تر از استاندارد خروجی کشور بوده است.

در پایان می‌توان نتیجه‌گیری کرد که با استفاده از یک مدیریت صحیح تطبیق خصوصیات فیزیکی- شیمیایی پساب خروجی با استانداردهای ملی و بین‌المللی و در نهایت براساس ویژگی‌های آب، خاک، گیاه و محیط هر محل، احتمالاً به عنوان آبیاری زمین‌های کشاورزی و فضاهای سبز و تحت شرایط کنترل شده و در صورت عدم اضافه شدن صنایعی دارای فاضلاب‌های آلوده به فلزات سنگین از لجن دفعی نیز می‌توان تحت شرایط خاص و برای گیاهان مشخص به عنوان بهبود دهندهٔ خاک، با توجه به کمبود شدید آب در استان و فقر مواد مغذی در خاک، مورد بهره‌برداری قرار داد.

سپاسگزاری

این طرح پژوهشی به شماره ۱۵۱۵ با همکاری و حمایت مالی معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی گلستان به انجام رسید که بدین وسیله تشکر و قدردانی می گردد.

References

1. Sharma RK, Agrawal M, Marshall F. Heavy metal contaminationof soil and vegetables in suburbanareas of Varanasi, India. Ecotoxical Environ Safe 2007; 66(2): 258-266.
2. Torkian A, Jafarzadeh MT. Industrial water pollution control. 1st ed. Tehran: Haft aseman; 1997. (Persian)
3. Zafarzadeh A, Rezaei E, Aghahossini F, Charmsaz S. Evaluating the Performance of Wastewater Treatment in Nitrogen Compound Removal Phosphorus and Chemical Oxygen Demand. Health System Research (HSR). 2012; 8(7): 1197-1205 (Persian).
4. Metcalf E, Tchobanoglous G, Franklin L, Stensel D. Wastewater engineering: treatment and reuse. Metcalf and eddy. 4th ed. New York: McGraw-hill; 2003.
5. Hoodaji M, Jalalian A. Distribution of Nickel, Manganese and Cadmium in Soil and Crops in the Mobarakeh Steel Plant Region. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 2004; 8(3): 55-67 (Persian).
6. Shukla SR, Pai RS.Adsorption of Cu(II), Ni(II) and Zn(II) on modified jute fibres. Bioresour Technol 2005; 96(13): 1430-1438.
7. Afyuni M, Rezainejad Y, Khayambashi B. Effect of Sewage Sludge on Yield and Heavy Metal Uptake of Lettuce and Spinach. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 1998; 2(1): 19-30 (Persian).
8. Banerjee D, Kuila P, Ganguli A, Das D, Mukherjee S, Ray L. Heavy metal concentration in vegetables collected from market sites of Kolkata, India. EJEAFChe 2011; 10(4): 2160-2165.
9. Sreejalekshmi KG, Krishnan KA, Anirudhan TS. Adsorption of Pb(II) and Pb(II)-citric acidon sawdust activated carbon: Kinetic and equilibrium isotherm studies. J Hazard Mater 2009; 161(2-3): 1506-1513.
10. Farmer JG. Heavy Metals in the Environment (ICHMET). International Conference. Consultants. 1991, Scotland, Edinburgh.
11. Davis TA, Volesky B, Vieira RHSF. Sargassum seaweed as biosorbent for heavy metals. Water Res 2000; 34(17): 4270-4278.
12. Cruz CC, da Costa AC, Henriques CA, Luna AS. Kinetic modeling and equilibriumstudles during cadmium biosorption by dead *Sargassum Sp*. Biomass. Bioresour Technol 2004; 91(3): 249-257.
13. Yin J, Blanch HW. Abio-mimetic Cadmium adsorbet: design, synthesis, and characterization. Biotechnol Bioeng 1989; 34(2): 180-188.
14. Zazouli MA, Mohseni Bandpei A, Maleki A, Saberian M, Izanloo H. determination of cadmium and lead contents in black tea and tea liquor from Iran. Asian J Chem 2010; 22(2): 1387-1393.
15. Changrui G, Donahoe RJ. An experimental study of heavy metal attenuation and mobility insandy loam soils. Appl Geochem 1997; 12(3): 243-254.
16. Elzahabi M, Yong RN. pH influence on sorption characteristics of heavy metal in vadose zone. Eng Geol 2001; 60(1-4): 61-68.

17. Torabian A, Mahjoori M. Effect of sewage irrigation on heavy metal uptake by leaf vegetables south of Tehran. Soil and Water J 2002; 16(2): 188-196 (Persian).
18. Burchett H. Increasing fruit & vegetable consumption among british primary schoolchildren: areview. Health Educ 2003; 103(2): 99-109.
19. APHA, AWWA, WEF. Andrew D. Eaton, Mary Ann H. Franson (edirors). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. New York: American Public Health Association; 2005.
20. Iyaka YA. Concentration of Cu and Zn in some fruits and vegetables commonly available in north-central zone of Nigeria. EJEAF Che 2007; 6(6): 2150-2154.
21. U.S. EPA. CRF Part 503 Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge- Electronic Code of Federal Regulations (e-CFR) [e-CFR Data is current as of March 20, 2007] Title 40: Protection of Environment. 2007.
22. Nazari MA, Shariatmadari H, Afyuni M, Mobli M, Rahili Sh. Effect of Industrial Sewage-Sludge and Effluents Application on Concentration of Some Elements and Dry Matter Yield of Wheat, Barley and Corn. JWSS-Isfahan University of Technology 2006; 10(3): 97-110.
23. Wolejko E, Wydro U, Butarewicz A, Łoboda T. Effects of sewage sludge on the accumulation of heavy metals in soil and in mixtures of Lawan grasses. Environ Prot Eng 2013; 39(2): 67-76.
24. Shafieepour Sh, Ayati B, Ganjidoust H. Reuse of Sewage Sludge for Agricultural Soil Improvement (Case Study: Kish Island. Water and Wastewater 2011; 22(2): 85-93 (Persian).
25. Alloway BJ. Heavy metal in soil. New York: John Wiley and sonsInc; 2001.
26. Nazemi S, Khosravi A. A Study of Heavy Metals in Soil, Water and Vegetables. Knowledge & Health 2011; 5(4): 27-31 (Persian).
27. Wei B, Yong E. Soil Accumulation and Soybean Uptake of Heavy MetalsInfluenced by Sewage Sludge Amendment. International Conference on Agricultural and Biosystems Engineering. Adv Biomed Eng 2011; 1-2: 432-437.
28. Nan ZLi, Zhang J, Cheng G. Cadmium and zinc interaction andtheir transfer in soil-Crop systemunder actual field conditions. Sci Total Environ 2002; 285(1-3): 187-195.
29. Toze S, Reuse of effluentwater-benefits and risks. Agr Water Manage 2006; 80(1-3): 147-159.
30. Kurdogan MK, Kilicel F, Kala K, Tuncer I, Ugan I. Heavy metals in soil, vegetables and fruits in theendemic cupper gastrointestinal cancer region of Turkey. Environ Toxicol Pharmacol 2003; 13(3): 175-179.
31. Zafarzadeh A, Rezaei E, Aghahossini F, Charmsaz S. Evaluating the Performance ofWastewater Treatment in Nitrogen Compound Removal, Phosphorus and Chemical OxygenDemand. J Health Syst Res 2013; 8(7): 1197-1205.
32. Singh RP, Agrawal M. Potential benefits and risks of landapplication of sewage sludge. Waste Manag 2008; 28(2): 347-358.
33. Smith CJ, Hopmans P, Cook FJ. Accumulation of Cr, Pb, Cu, Ni, Zn and Cd in soil following irrigation with treated urban effluent in Australia. Environ Pollut 1996; 94(3): 317-323.
34. Rattan RK, Datta SP, Chhonkar PK, Suribabu K, Singh AK. Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater-A case study. Agr Ecosyst Environ 2005; 109(3-4): 310-322.

35. Streck T, Richter J. Heavy metal displacement in a sandy soil at the field scale: modeling. J Environ Qual 1997; 26(1): 56-62.
36. Mc Bride MB, Richards BK, Steenhuis T, Russo JJ, Sauve S. Mobility and solubility of toxic metals and nutrients in soil fifteen years after sludge application. Soil Sci 1997; 162(7): 487-500.
37. Keller C, McGrath SP, Dunham SJ. Trace metal leaching through a soilgrassland system after sewage sludge application. J Environ Qual 2002; 31(5): 1550-1560.
38. Shabanian Borojeni H, Hajabbasi MA, Mobli M, Afyuni M. Effects of wastewater and sewage sludge of Iran Polyacrile factory on some morphological characteristics and Ion concentration of Lawn, Snapdragon of Lawn, Snapdragon and Sweet Williams. Iranian J Horticul Sci Technol 2005; 6(3): 135-148.
39. Behbahaninia A, Mirbagheri SA, Nouri J. Effect of sludge from wastewater treatment plants heavy metals transport to soil and groundwater. Iran. J Environ Health Sci Eng 2010; 7(5): 401-406.