Archive of SID

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره سه، خرداد ماه ۹۹

تأثیر آبیاری با فاضلاب تصفیه نشده شهری بر تجمع فلزات سنگین در خاک سطحی و زیرسطحی

عیسی سلگی[۱]*

E.solgi@yahoo.com

مهدی شاهوردی نیک[۲]

مهدی رمضانی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۵/۹/۸ تاریخ پذیرش:۹۵/۱۲/۹

چکیده

زمینه و هدف: به دلیل کمبود آب شیرین برای آبیاری، فاضلاب به عنوان یک مکمل مهم و منبع آب جایگزین در دهه‌های اخیر در آبیاری زمین‌های کشاورزی های استفاده شده است. آبیاری مزارع با فاضلاب سبب آلودگی فلزات سنگین در خاک، محصولات کشاورزی و آب‌های زیرزمینی می شود، در نتیجه تهدیدی برای سلامت انسان و امنیت غذایی است. هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر آبیاری با فاضلاب تصفیه نشده شهری بر تجمع سرب، کادمیوم مس و روی در خاک سطحی و زیرسطحی و ویژگی های خاک سطحی بود.

روش بررسی : در تحقیق حاضر به منظور برداشت نمونه‌های خاک سطحی (۰-۲۰ سانتی‌متر) و زیر سطحی (۲۰-۴۰ سانتی‌متر) از اراضی کشاورزی جنوب شهر بروجرد، ۱۳ مزرعه آبیاری شده با فاضلاب تصفیه نشده شهری و ۷ مزرعه آبیاری شده با آب چاه که بافت خاک مشابهی داشتند انتخاب شدند. نمونه‌های خاک برای اندازه‌گیری سرب، کادمیوم، مس ، روی، pH، EC و مواد آلی خاک طبق روش‌های استاندارد آنالیز شدند.

یافته ها: نتایج بدست آمده نشان داد که میانگین غلظت همه فلزات سنگین در خاک سطحی (بجز مس) و زیرسطحی آبیاری شده با فاضلاب تصفیه نشده شهری در مقایسه با خاک آبیاری شده با آب چاه بیشتر بود. روند تغییرات عمقی فلزات در خاک آبیاری شده به این شکل بود: ۱-با فاضلاب شهری: سرب و مس خاک زیرسطحی>خاک سطحی ؛ کادمیوم و روی خاک سطحی>خاک زیرسطحی و ۲-با آب چاه: سرب و مس خاک سطحی>خاک زیرسطحی ؛ کادمیوم و روی خاک زیرسطحی > خاک سطحی.

بحث و نتیجه گیری: به نظر می رسد بافت سبک خاک سبب انتقال این فلزات به لایه‌های پایین خاک شده است. به طور کلی، غلظت سرب، مس و روی پایین‌تر از استاندار FAO/WHO و کادمیوم بالاتر از آن بود. بنابراین، به منظور حصول اطمینان از ایمنی غذایی و استفاده از فاضلاب برای آبیاری، نظارت مستمر و کنترل آلودگی مورد نیاز است. در ضمن چنانچه تصفیه فاضلاب به طور مناسب انجام شود، تجمع فلزات سنگین در خاک و محصولات کشاورزی کمتر اتفاق خواهد افتاد.

واژه های کلیدی: آبیاری با فاضلاب، فلزات سنگین، خاک، تغییرات عمقی.

۱- دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۱- کارشناسی ارشد محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست و انرژی، دانشگاه آزاداسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.

۳- استادیاردانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاداسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.

www.SID.ir

Archive of SID

J. Env. Sci. Tech., Vol 22, No.3, May, 2020

Impact of Untreated Municipal Wastewater Irrigation on Heavy Metal Accumulation in Topsoil and Subsoil

Eisa Solgi [1*]
e.solgi@yahoo.com
Mahdi Shahverdi Nik [2]
Mahdi Ramezani [3]

Admission Date:February 27, 2017 Date Received: November 28, 2016

Abstract

Background and Objective: Due to the shortage of freshwater for irrigation, wastewater has been used in agricultural irrigation as an important supplement and alternative water resources in recent decades. Irrigation of fields with wastewater can cause potential contamination with heavy metals to soil crops and groundwater, therefore pose a threat to human health and food safety. The aim of this research was to evaluate the effect of irrigation with untreated municipal wastewater on the accumulation of cadmium lead (Pb), (Cd), copper (Cu) and Zinc (Zn) in topsoil and subsoil and top soil properties.

Method: In the present study in order to collection of topsoil (0-20 cm) and subsoil (0-40 cm) samples from south of the Borujerd city, 13 fields irrigated with untreated wastewater and 7 fields irrigated with well water were selected with same soil texture. Soil samples were analyzed by the standard methods for Pb, Cd, Cu, Zn, pH, electrical conductivity (EC), organic matter (OM).

Findings: Findings indicated that untreated wastewater irrigated soil contained higher concentrations of all heavy metals in topsoil (with the exception of Cu) and in subsoil, compared to well water irrigated soil. Trend of depth variations of metals in irrigated soil followed this form: 1-With wastewater: Pb and Cu in subsoil>topsoil; Cd and Zn in topsoil > subsoil and 2-With well water: Pb and Cu in topsoil > subsoil; Cd and Zn in subsoil > topsoil.

Discussion and Conclusion: It seems that light soil texture has been resulted to transport of the metals to deeper soil layers. Overall, the concentrations of Pb, Cu, and Zn were lower than the FAO/WHO standards in soil, while Cd higher than this. Thus, in order to ensure food safety and use of wastewater for irrigation, continuous monitoring and pollution control is required. Besides, if treatment of wastewater is done appropriately, accumulation of heavy metals in soils and crops will occur less.

Keywords: Wastewater Irrigation, Heavy Metals, Soil, Depth Variations.

1- Associate Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Hamedan, Iran. *(Corresponding Author)
2- Master of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.
3- Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

در میان تهدیدات منابع خاک، آلودگی خاک یکی از بزرگترین نگرانی‌ها در جهان است (۱). آلودگی ناشی از منابع انسانی شامل استفاده بیش از حد از کودها و آفت کش‌ها، رسوب اتمسفری و آبیاری با فاضلاب از منابع اصلی فلزات سنگین در خاک های کشاورزی هستند (۲). بر اساس برخی پژوهش‌ها، فاضلاب‌ها حاوی غلظت بالایی از مواد پاک کننده، چربی ها، روغن و فلزات کمیاب هستند که خاک را تحت تاثیر قرار می-دهند. مشکل غلظت‌های بالای فلزات سنگین مانند سرب، نیکل کادمیوم در خاک و فاضلاب مورد استفاده برای آبیاری، به طور عمده در این واقعیت است که آنها می توانند در این سیستم‌ها انباشته شده و برای کشاورزی بحرانی و خطرناک هستند زیرا فلزات سنگین غیر قابل تجزیه زیستی بوده و برای محصولات مختلف قابل دسترسی و سمی هستند. از جمله این فلزات سنگین سرب، کادمیوم، جیوه، آرسنیک و کروم می‌باشند (۳). بر خلاف آلاینده‌های آلی، فلزات سنگین زیست تخریب ناپذیر بوده و معمولا تحرک کمی دارند، بنابراین خاک به منزله مخزنی بلند مدت برای فلزات سنگین است که بسته به عنصر و خواص فیزیکی وشیمیایی خاک زمان ماند آنها از صدها تا هزاران سال متغیر است (۴). فلزات سنگین در اثر آبیاری با فاضلاب به مرور زمان در خاک و گیاهان انباشته شده و مواد معدنی جذب شده نیز در بافت خوراکی سبزیجات ته نشست می‌کنند. همچنین فلزات سنگین به طور بالقوه برای گیاهان سمی هستند: سمیت گیاهی سبب کلروز، کاهش رشد گیاه، کاهش محصول و حتی کاهش جذب مواد غذایی همراه با اختلالات در متابولیسم گیاه، کاهش توانایی تثبیت نیتروژن مولکولی می شود. فلزات سنگین نه تنها مانع رشد ریشه می‌شوند بلکه می توانند از بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیکی از جمله جذب مواد مغذی ممانعت کنند (۵). کیفیت آب آبیاری در دسترس تاثیر قابل توجهی روی نوع گیاهان قابل رشد، تولید گیاهان، نفوذ آب و سایر شرایط فیزیکی خاک دارد. اولین گام در درک چگونی تاثیر یک منبع آب آبیاری روی سیستم خاک-گیاه، تجزیه و تحلیل در آزمایشگاه است. آبیاری با پساب به میزان قابل توجهی سبب افزایش فلزات سنگین در خاک می‌شود (۶). استفاده از پساب شهری در کشاورزی، به عنوان یک عمل قدیمی، تحت شرایط کمبود منابع آب شیرین در بسیاری از کشورها خشک و نیمه خشک جهان، از جمله ایران صورت می‌گیرد. استفاده از فاضلاب شهری در کشاورزی مزایای مستقیم و غیر مستقیم دارد. مزایای مستقیم آن حفاظت از منابع آب و بازیافت مواد مغذی است. بنابراین سبب کاهش نیاز به کودهای شیمیایی و همچنین به عنوان یک آب قابل اعتماد برای کشاورزان در مناطق خشک کم درآمد است. نیتروژن و فسفر موجود در فاضلاب های شهری و صنعتی غنی از مواد مغذی برای گیاهان است (۷). از جمله مزایای غیر مستقیم مهم آن پیشگیری از آلودگی رودخانه ها، کانال و دیگر آب‌های سطحی است که در غیر این صورت پساب فاضلاب بایستی دفع شود که در واقع یک روش بهداشتی و کم هزینه برای دفع فاضلاب است. یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده استفاده از پساب کشاورزی حضور فلزات سنگین است که در اثر استفاده مکرر از فاضلاب در خاک زمین‌های کشاورزی انباشته می‌شوند (۸). تجمع بیش از حد فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی از طریق آبیاری با فاضلاب، نه تنها سبب آلودگی خاک می شود، بلکه منجر به جذب فلزات سنگین توسط محصولات زراعی شده و در نتیجه بر کیفیت و ایمنی مواد غذایی تاثیر می‌گذارد (۹). در این زمینه پژوهش های بسیاری انجام شده است. طبری و صالحی (۱۰) در پژوهشی تاثیر آبیاری با فاضلاب شهری را بر تجمع فلزات سنگین (آهن، منگنز، کروم، سرب و کادمیم) درخاک دو توده دست کاشت کاج تهران (۱- آبیاری شده با فاضلاب شهری و ۲- آبیاری شده با آب چاه)، در حومه شهر تهران، بررسی نمودند. یافته ها نشان داد که فاضلاب شهری به طور معنی‌داری مقادیر بیشتری از فلزات سنگین را در مقایسه با آب چاه دارا بود. بنی‌طالبی و بیگی‌هرچگانی (۱۱) اثر بیست وسه سال آبیاری سطحی با پساب شهری بر انباشت برخی فلزات سنگین در خاک و انتقال به محصولات را بررسی نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که غلظت سـرب و کادمیوم در خاک کاهش و غلظت روی، مس،

www.SID.ir

Arch

کروم و نیکل افزایش یافته است. کریمی و همکاران در سال ۱۳۹۵ تحقیقی با عنوا تأثیر کاربرد فاضلاب تصفیه شده شهری بر میزان و الگوی تجمع برخی از فلزات سنگین در نیمرخ خاک زیر کشت ذرت و گوجه فرنگی انجام دادند نتایج حاکی از آن بود که نوع گیاه نیز تأثیر معنی داری بر تجمع فلزات منگنز، روی و آرسنیک در خاک دارد (۱۲). Meng و همکاران در سال ۲۰۱۶ فلزات سنگین را در خاک و گیاهان پس از آبیاری طولانی مدت با فاضلاب در تیانجین چین بررسی کردند. به طور کلی، غلظت کادمیوم، سرب، نیکل، کروم پایین تر از حدود ایمنی مجاز ملی در خاک بودند. فلزات سنگین (کادمیوم، روی و جیوه) در خاک نواحی که با استفاده از فاضلاب تصفیه نشده آبیاری شده بودند آلودگی قابل توجهی داشتند (۷). Christou و همکاران در سال ۲۰۱۴ اثرات آبیاری طولانی مدت با فاضلاب را بر خواص ژئوشیمیایی خاک و تجمع فلزات سنگین در محصولات کشاورزی ارزیابی کردند (۱۳). Li و همکاران در سال ۲۰۰۹ به ارزیابی ریسک فلزات سنگین در خاکی که قبلا با پساب صنعتی آبیاری شده بود پرداختند. نتایج نشان که غلظت فلزات به ویژه کادمیوم در خاک بیش از استاندارد کیفیت محیط زیست است. بنابراین برای جلوگیری از آلودگی کادمیوم در زنجیره غذایی و خطرات مرتبط با سلامت انسان باید از مصرف محصولات کشت شده خودداری شود (۱۴).

همان طور که اشاره شد تا به امروز پژوهش‌های بسیاری با هدف ارزیابی اثر فاضلاب بر غلظت فلزات سنگین در خاک در داخل و خارج کشور انجام شده است. بیشتر این پژوهش‌ها در خاک سطحی انجام شده‌اند ولی اثر آبیاری با فاضلاب بر غلظت فلزات سنگین در خاک زیرسطحی در کشورهای گوناگون از جمله ایران کمتر مطالعه شده است. بنابراین اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین روی، سرب، کادمیوم، و مس در خاک سطحی و زیرسطحی در مزارع یونجه آبیاری شده با آب چاه و فاضلاب در دشت بروجرد مطالعه شده است.

مواد وروش‌ها

منطه مورد مطالعه

بروجرد دارای آب و هوای سرد کوهستانی با زمستانهای پر برف و سرد و تابستان های معتدل است. تعداد روزهای یخبندان در برخی از نقاط این ناحیه به بیش از ۷۰ روز می‌رسد. بیشترین درجه حرارت در تابستان‌ها ۳۸ درجه و کم‌ترین آن در زمستان ۱۸ درجه زیر صفر برآورد شده است. میزان باران سالیانه شهرستان بروجرد حدود ۵۰۰ میلی‌متر است که بیشتر در فصل بهار انجام می‌گیرد و میانگین دمای سالانه ۶/۱۴ است. در زمستان بارش ها بیشتر به صورت برف است. مساحت اراضی کشاورزی زیر کشت محصولات سالانه ۵۷۰۵۹ هکتار بوده و ۳۴٪ بهره برداری های کشاورزی مربوط به زراعت می باشد. محصولات قالب کشت شده ، گندم با سطح کاشت ۳۵۳۵۷۲ هکتار و جو با ۱۹۲۴۲۳ هکتار می باشد.گیاه علوفه ای یونجه نیز با سطح کاشت ۸۳۲۸ هکتار سهم عمده ای از اراضی زیر کشت را به خود اختصاص داده است (۱۵). بروجرد از نظر زمین شناسی در ارتفاعات شرقی دارای دو تیپ سازندهای دگرگونی و آذرین و در ارتفاعات غربی بیشتر متشکل از سنگ-های رسوبی است. آبرفت های دشت بروجرد بیشتر از خرد شدن سنگ های آذرین ، آهکی و شیستی به وجود آمده اند که در نواحی شمالی بیشتر از قلوه سنگ و شن و در نواحی جنوبی (منطقه مورد مطالعه) از شن ، ماسه و رس تشکیل شده‌اند (۱۶). منطقه مورد مطالعه در این تحقیق اراضی کشاورزی جنوب و جنوب غربی شهر بروجرد به مساحت ۲۰۰ هکتار می-باشد که علی رغم کشت محصولات متنوع از قبیل گندم، جو، شبدر، برنج، ذرت، لوبیا، باقلا، انواع سبزیجات و... ، گیاهانی مثل یونجه از محصولات غالب کشت شده در این منطقه می‌باشند. آبیاری بیشتر این اراضی توسط کشاورزان با فاضلاب خام شهری رها شده در این منطقه به صورت سطحی انجام می‌گیرد و این روند بیش از ۳۰ سال است که اراضی مذکور را تحت تاثیر قرار داده است.

نمونه برداری خاک

طی بازدیدهای میدانی از اراضی مذکور، ابتدا نمونه‌هایی از خاک کل منطقه مورد مطالعه جهت تعیین بافت خاک برداشت

www.SID.ir

Archive of SID

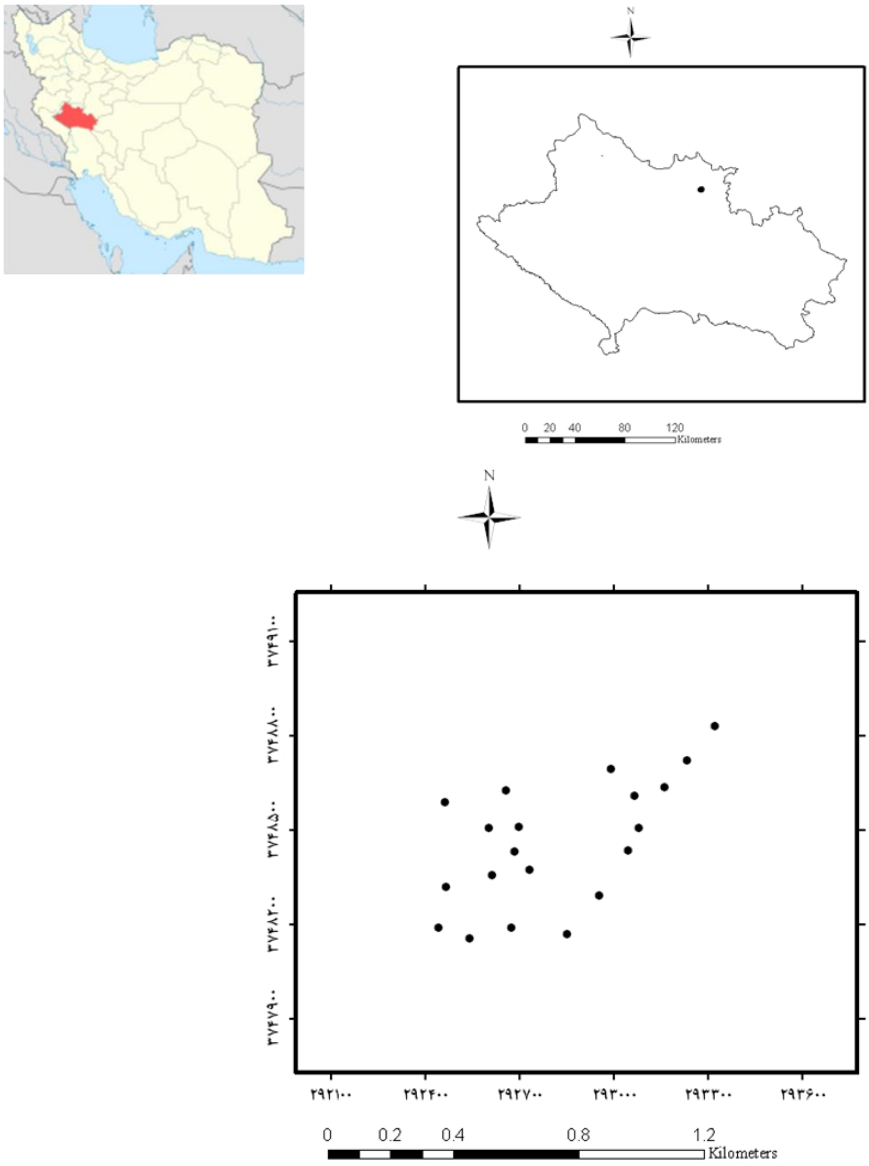
گردید. پس از تعیین بافت خاک (لومی رسی شنی) بر اساس مشابهت بافت خاک دو منطقه آبیاری شده با فاضلاب تصفیه نشده شهری و آبیاری شده با آب چاه انتخاب شدند.

به منظور ارزیابی اثر فاضلاب خام شهری بر انباشت فلزات سنگین خاک اراضی زیر کشت یونجه، ۲۰ مزرعه در جنوب شهر بروجرد انتخاب شد. ۱۳ مزرعه سالیان متمادی است که با فاضلاب آبیاری شده و ۷ مزرعه نیز با چاه آبیاری می‌شدند. جمع آوری نمونه های خاک از مزارع آبیاری شده با آب فاضلاب به عنوان نمونه‌های تیمار و مزارع آبیاری شده با آب چاه به عنوان نمونه شاهد، صورت گرفت. نمونه‌برداری از هر مزرعه به صورت تصادفی و به روش مرکب در دو عمق سطحی (۰-۲۰) و زیرسطحی (۰-۲۰) صورت گرفت. موقعیت مکانی هر نقطه با دستگاه GPS مشخص شد (شکل ۱). در این پژوهش روی هم رفته تعداد ۴۰ نمونه مرکب از هر دو عمق سطحی۲۰ -۰ و زیر سطحی۴۰-۲۰ سانتی متری شامل ۲۶ نمونه از منطقه آبیاری شده با فاضلاب و ۱۴ نمونه از منطقه آبیاری شده با آب چاه برداشت شد. تمام نمونه‌های خاک پس از برداشت برچسب گذاری شده و در داخل کیسه های پلی اتیلنی قرار گرفتند و برای آنالیزهای بعدی به آزمایشگاه منتقل شدند.

تجزیه ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک

نمونه های خاک جهت تعیین برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن ها و همچنین آنالیز فلزات سنگین در دو گروه تقسیم بندی شدند. برای هضم نمونه‌های خاک، مقدار یک گرم از نمونه های خاک با اندازه ۰/۱۴۹ میلی‌متر با مخلوطی از ۲۰ میلی لیتر اسید کلریدریک (۱۲ میلی لیتر) ، اسید نیتریک (۴میلی لیتر) و اسید پرکلریک (۴ میلی لیتر) به مدت ۶ ساعت در دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد در زیر هود درون دستگاه هیتینگ بلاک هضم شدند. در پایان نمونه‌ها با کاغذ صافی واتمن ۴۲ میکرون فیلتر شده و به حجم ۲۵ سی سی رسیدند. برای تعیین غلظت فلزات سنگین در خاک از دستگاه اسپکتروفتومتری جذب اتمی مدل Yunglin AAS 8020 به روش کوره گرافیتی و شعله استفاده شد. در مطالعه حاضر pH خاک، قابلیت هدایت الکتریکی خاک (EC)، بافت خاک و مواد آلی خاک اندازه‌گیری شد. برای اندازه گیری pH از دستگاه pH متر و اندازه‌گیری EC از EC متر استفاده شد. درصد ماده آلی به روش سوختن در کوره (Loss On Ignition, *LOI*) تعیین شد و برای تعیین بافت خاک از روش هیدرومتری استفاده شد.

www.SID.ir



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان لرستان و نقاط نمونه برداری

Figure 1. Location of the study area in Lorestan province and sampling points

آنالیز آماری

داده های به دست آمده از مطالعه با استفاده از نرم افزار SPSS مورد آنالیز و پردازش قرار گرفتند. جهت ترسیم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد. ابتدا توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون توزیع نرمال Shapiro-Wilk بررسی شد. به منظور مقایسه میانگین فلزات سنگین در خاک آبیاری شده با فاضلاب و آب چاه و مقایسه غلظت فلزات سنگین در دو عمق مختلف خاک از آزمون تی مستقل و من ویتنی یو بر حسب نرمالیتی داده‌ها استفاده شد. جهت مقایسه مقدار فلزات سنگین در خاک با حد استاندارد آنها از آزمون One- Sample T-Test استفاده شد

نتایج

ویژگی های خاک

در جدول ۱ چکیده‌ای از وضعیت آماری برخی ویژگی‌های خاک، از جمله pH، EC و موادآلی (OM) در خاک سطحی مزارع آبیاری شده با آب چاه آورده شده است و در جدول ۲ همین خصوصیات برای خاک آبیاری شده با فاضلاب مشاهده می‌شود. خاک منطقه مورد مطالعه از نوع اسیدی با میانگین pH برابر ۶/۸۱ و۶/۵۱، هدایت الکتریکی (EC) کم حدود ۰/۱۹ و ۰/۲۷ دسی زیمنس بر متر و ماده آلی۰/۵۶و

www.SID.ir

Archive of SID

۰/۸۵ به ترتیب برای خاک آبیاری شده با آب چاه و فاضلاب می‌باشد. محتوای OM در نتیجه استفاده شدید از این خاک‌ها و معدنی شدن سریع OM در شرایط نیمه خشک کم بود. همانطور که یافته‌ها نشان می‌دهد آبیاری با فاضلاب شهری سبب افزایش میزان EC و ماده آلی و کاهش pH خاک شده است.

جدول ۱- خلاصه‌ای از وضعیت آماری برخی ویژگی های خاک سطحی مزارع آبیاری شده با آب چاه

Table 1. Statistical summary of some properties of surface soil in farms irrigated with well water

پارامترهای خاک	واحد	کمترین مقدار	بیشترین مقدار	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
pH	-	۶/۴۵	۶/۹۹	۶/۸۱	۰/۱۷	-۱/۸۵	۳/۸۴
EC	dS/m	۰/۰۶	۰/۳۶	۰/۱۹	۰/۱۰	۰/۲۷	-۰/۶۴
OM	درصد	۰/۱۸	۰/۸۸	۰/۵۶	۰/۲۴	-۰/۵۹	-۰/۵۶

جدول ۲- خلاصه ای از وضعیت آماری برخی ویژگی های خاک سطحی مزارع آبیاری شده با فاضلاب شهری

Table 2. Statistical summary of some properties of surface soil in farms irrigated with wastewater

پارامترهای خاک	واحد	کمترین مقدار	بیشترین مقدار	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
pH	-	۶/۰۸	۶/۹۰	۶/۵۵	۰/۳۲	-۰/۲۹	-۱/۸۸
EC	dS/m	۰/۱۶	۰/۶۳	۰/۲۷	۰/۱۳	۱/۹۹	۳/۹۴
OM	درصد	۰/۲۷	۱/۳۶	۰/۸۵	۰/۲۹	-۰/۶۷	۰/۸۵

آلودگی خاک در مزارع آبیاری شده با آب چاه

سطوح فلزات سنگین در نمونه‌های خاک آبیاری شده با آب چاه در جدول ۳ ارائه شده است. مقادیر سرب در محدوده ۵۰- ۶۱/۲۳، کادمیوم ۵/۴۶-۸/۱۲؛ مس از ۱۱/۰۷- ۳۱/۷۱؛ و روی۳۰/۱۴- ۴۴/۷۳ با میانگین ۵۳/۹۰، ۶/۲۹، ۲۱/۸۱ و ۵/۶۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب هستند. در دفتر آب و خاک معاونت محیط زیست انسانی، حد مجاز غلظت فلزاتی چون سرب، کادمیوم مس و روی در استاندارد کیفیت منابع خاک ایران به ترتیب برابر با ۷۵، ۵ ، ۲۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم درکیلوگرم وزن خاک خشک گزارش شده است (۱۷). غلظت همه فلزات بجز کادمیوم در مطالعه حاضر در اراضی آبیاری شده با آب چاه کمتر از محدوده مجاز استاندارد ملی ایران (خاک‌های کشاورزی با pH بالاتر از ۷) بود (۱۷). همچنین مقادیر غلظت سرب، مس و روی کمتر از حداکثر غلظت مجاز توصیه (Pb;100, Cd;5, Cu:100, Zn:300 mg/kg) شده توسط برخی کشورهای اروپایی (۱۸) بود. اما در مورد کادمیوم این مقادیر بالاتر بود. همچنین در جدول ۴ میانگین این عناصر یعنی سرب، کادمیوم، مس و روی برحسب میلی گرم بر کیلوگرم در خاک زیر سطحی به ترتیب ۲۹/۹۷، ۹/۷۰۴/۲۳و ۶۶/۴۴ قابل مشاهده است.

جدول ۳-خلاصه ای از وضعیت آماری غلظت کل فلزات سنگین در خاک سطحی مزارع آبیاری شده با آب چاه

Table 3. Statistical summary of total heavy metals of surface soil in farms irrigated with well water

فلزات (ppm)	کمترین مقدار	بیشترین مقدار	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
سرب	۵۰/۰۰	۶۱/۲۳	۵۳/۹۰	۴/۰۰	۰/۹۴	۰/۷۵
کادمیوم	۵/۴۶	۸/۱۲	۶/۲۹	۰/۹۶	۱/۴۱	۱/۲۶
مس	۱۱/۰۷	۳۱/۷۱	۲۱/۸۱	۸/۰۷	-۰/۴۳	-۱/۶۱
روی	۳۰/۱۴	۴۴/۷۳	۳۵/۲۸	۵/۶۹	۰/۹۵	-۰/۵۹

www.SID.ir

جدول ۴- خلاصه ای از وضعیت آماری غلظت کل فلزات سنگین در خاک زیرسطحی مزارع آبیاری شده با آب چاه

Table 4. Statistical summary of total heavy metals of subsoil in farms irrigated with well water

فلزات (ppm)	کمترین مقدار	بیشترین مقدار	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
سرب	۱۶/۶۲	۵۵/۴۴	۲۹/۹۷	۱۲/۰۶	۱/۸۵	۴/۵۹
کادمیوم	۵/۹۸	۸/۸۶	۷/۲۳	۱/۱۴	۰/۳۵	-۱/۶۳
مس	۶/۷۴	۱۲/۸۶	۹/۰۴	۲/۲۴	۰/۹۲	-۰/۲۲
روی	۴۷/۹۶	۸۶/۱۱	۶۶/۴۴	۱۴/۰۶	-۰/۲۳	-۰/۸۵

آلودگی خاک در مزارع آبیاری شده با فاضلاب

آنالیز نمونه‌های خاک آبیاری شده با فاضلاب نشان داد که مقدار میانگین سرب، کادمیوم، مس و روی به ترتیب ۱۰/۶۴،۱۸/۳۲، ۷/۹۲ و ۹۲/۰۴ میلی گرم بر کیلوگرم بوده است (جدول ۵). همچنین در جدول ۶ میانگین این عناصر یعنی سرب، کادمیوم، مس و روی برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک زیر سطحی به ترتیب ۹۷/۱۷، ۲۰/۹،۶/۷۰و ۷۱/۶۶ قابل مشاهده است.

جدول۵- خلاصه ای از وضعیت آماری غلظت کل فلزات سنگین در خاک سطحی مزارع آبیاری شده با فاضلاب شهری

Table 5. Statistical summary of total heavy metals of surface soil in farms irrigated with wastewater

فلزات (ppm)	کمترین مقدار	بیشترین مقدار	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
سرب	۳۱/۷۰	۸۲/۸۹	۶۴/۳۲	۱۱/۸۹	-۱/۵۳	۴/۸۷
کادمیوم	۸/۳۲	۲۱/۱۰	۱۰/۱۸	۳/۳۲	۳/۴۲	۱۲/۰۳
مس	۱/۷۹	۱۷/۵۹	۷/۹۲	۴/۸۳	۰/۸۱	-۰/۲۹
روی	۶۷/۴۲	۱۶۶/۹۰	۹۲/۰۴	۲۵/۴۷	۲/۲۶	۶/۶۶

جدول ۶- خلاصه ای از وضعیت آماری غلظت کل فلزات سنگین در خاک زیرسطحی مزارع آبیاری شده با فاضلاب شهری

Table 6. Statistical summary of total heavy metals of subsoil in farms irrigated with wastewater

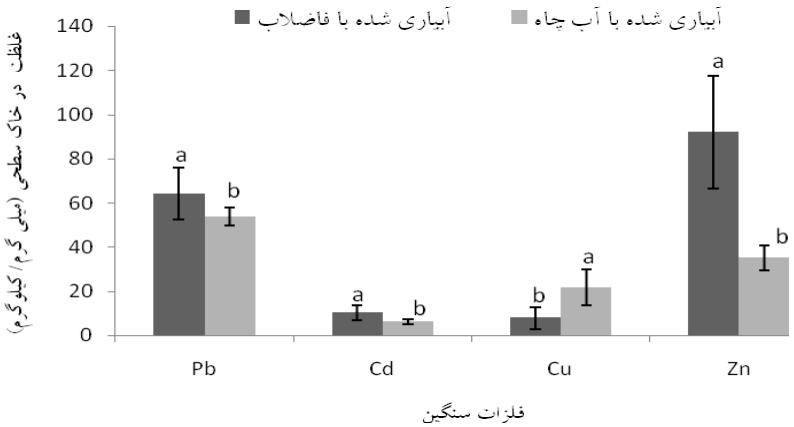
فلزات(ppm)	کمترین مقدار	بیشترین مقدار	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
سرب	۶۱/۱۳	۱۶۲/۰۲	۹۷/۱۷	۴۰/۴۳	۰/۶۰	-۱/۷۷
کادمیوم	۷/۸۰	۱۱/۵۴	۹/۷۰	۱/۳۰	۰/۲۲	-۱/۶۲
مس	۱۴/۲۰	۳۰/۵۶	۲۰/۶۰	۴/۸۸	۰/۶۷	-۰/۱۳۶
روی	۴۹/۹۴	۸۷/۶۸	۷۱/۶۶	۱۰/۲۶	-۰/۵۰	۰/۱۸

مقایسه غلظت فلزات سنگین در خاک‌های آبیاری شده با فاضلاب با آب چاه

در شکل‌های ۲ و ۳ غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی و زیر سطحی خاک‌های آبیاری شده با فاضلاب و آب چاه مقایسه شده است. نتایج به دست آمده از آزمون‌های تی مستقل و من ویتنی یو در شکل ۱ نشان می‌دهد که میانگین غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیوم و روی در نمونه‌های مورد بررسی خاک سطحی (۰- ۲۰ سانتی متر) در مزارع آبیاری شده با فاضلاب به طور معنی داری بیشتر از مقادیر حاصله از مزارع آبیاری شده با آب چاه است و فقط در مورد عنصر مس این استثنا وجود دارد. مقایسه غلظت همه این عناصر در خاک زیر سطحی در مزارع آبیاری شده با فاضلاب به طور معنی داری بیشتر از مقادیر حاصله از مزارع آبیاری شده با آب چاه است (شکل ۲).

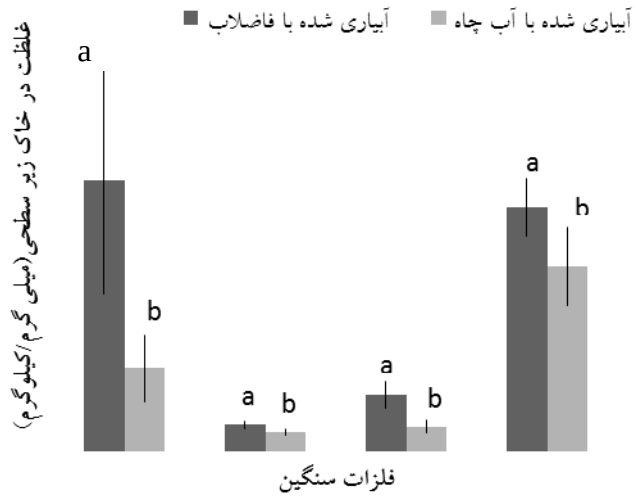
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی مناطق آبیاری شده با فاضلاب و آب چاه

Figure 2. Mean Comparison of heavy metals concentration in surface soil of areas irrigated with wastewater and well water



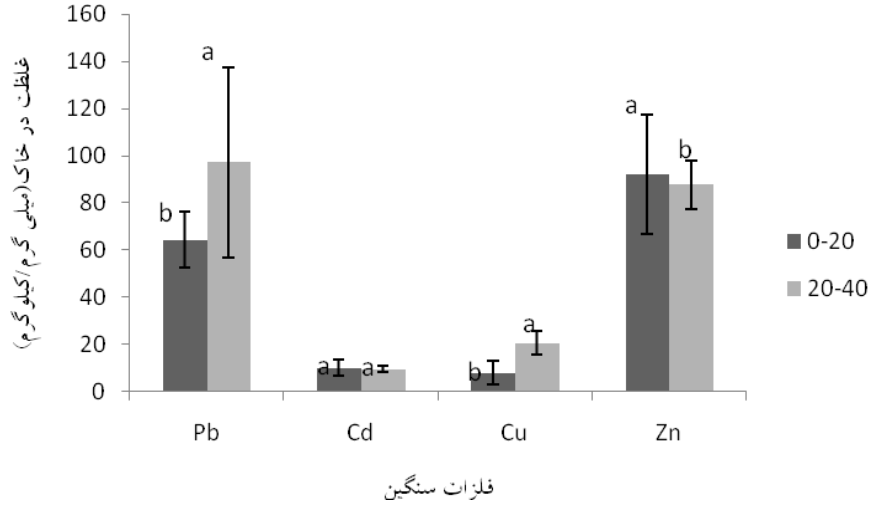
شکل ۳- مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در خاک زیر سطحی مناطق آبیاری شده با فاضلاب و آب چاه

Figure 3. Mean comparison of heavy metals concentration in subsoil of areas irrigated with wastewater and well water

تغییرات عمقی فلزات سنگین

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، در خاک آبیاری شده با فاضلاب شهری غلظت سرب و مس در خاک زیر سطحی بیشتر از خاک سطحی هستند که این مقایسه از نظر آماری هم معنی دار است ($p<۰/۰۵$). در مورد فلز کادمیوم این مقایسه با وجود بالاتر بودن در خاک زیرسطحی ولی معنی دار نبود و در مورد عنصر روی مقادیر در خاک سطحی بیشتر از خاک زیرسطحی است و این اختلاف معنی دار بود ($p<۰/۰۵$).

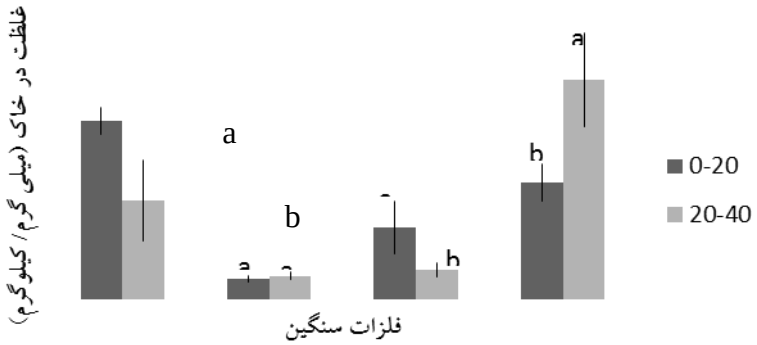
www.SID.ir



شکل ۴-مقایسه غلظت فلزات سنگین در عمق سطحی و زیرسطحی خاک آبیاری شده با فاضلاب شهری

Figure 4. Comparison of heavy metals concentration in surface and subsurface depth of soils irrigated with wastewater

شکل ۵ نشان می دهد که در خاک آبیاری شده با آب چاه غلظت سرب و مس در خاک سطحی بیشتر از خاک زیر سطحی هستند که این مقایسه از نظر آماری هم معنی دار است (۰/۰۵ >p). در مورد فلز کادمیوم این مقایسه با وجود بالاتر بودن در خاک زیرسطحی ولی معنی دار نبود. و در مورد عنصر روی مقادیر در خاک زیرسطحی بیشتر از خاک سطحی است و این اختلاف معنی دار بود (p<۰/۰۵).



شکل ۵-مقایسه غلظت فلزات سنگین در عمق سطحی و زیرسطحی خاک آبیاری شده با آب چاه

Figure 5. Comparison of heavy metals concentration in surface and subsurface depth of soils irrigated with well water

مقایسه با استاندارد FAO/ WHO

مقایسه آماری نتایج میانگین غلظت فلزات سنگین در خاک با استاندارد FAO/ WHO (۱۹) در جدول ۷ نشان می‌دهد که غلظت هیچ یک از فلزات سرب، مس و روی در خاک مزارع نمونه برداری شده از این استاندارد بیشتر نبوده و از نظر آماری نیز معنی دار هستند (p<۰/۰۱). غلظت به دست آمده برای کادمیوم در مقایسه با استاندارد بالاتر بود و مقایسه آماری آن نیز معنی دار بود.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷- مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین با حدود استاندارد FAO/ WHO درخاک با استفاده از آزمون تی تک نمونه ای

Table 7. Comparison the mean concentration of heavy metals in soil with FAO/WHO standard limits using one sample t-test test

فلز سرب	FAO/ WHO (حد استاندارد= ۵۰۰ میلی گرم/کیلوگرم)				
	t	df	سطح معنی داری	اختلاف میانگین	میانگین غلظت سرب
خاک سطحی تیمار	-۱۲۳/۰۵	۱۲	۰/۰۰	-۴۳۵/۶۷	۶۴/۳۲
خاک سطحی شاهد	-۲۹۴/۵۸	۶	۰/۰۰	-۴۴۶/۱۰	۵۳/۹۰
فلز کادمیوم	**FAO/ WHO (حد استاندارد= ۵ میلی گرم/کیلوگرم)**				
	t	df	سطح معنی داری	اختلاف میانگین	میانگین غلظت کادمیوم
خاک سطحی تیمار	۵/۶۲	۱۲	۰/۰۰	۵/۱۸	۱۰/۱۸
خاک سطحی شاهد	۳/۵۳	۶	۰/۰۱	۱/۲۹	۶/۲۹
فلز مس	**FAO/ WHO (حد استاندارد= ۲۰۰ میلی گرم/کیلوگرم)**				
	t	df	سطح معنی داری	اختلاف میانگین	میانگین غلظت مس
خاک سطحی تیمار	-۱۴۳/۰۹	۱۲	۰/۰۰	-۱۹۲/۰۷	۷/۹۲
خاک سطحی شاهد	۵۸/۴۱	۶	۰/۰۰	-۱۷۸/۱۸	۲۱/۸۱
فلز روی	**FAO/ WHO (حد استاندارد= ۶۰۰ میلی گرم/کیلوگرم)**				
	t	df	سطح معنی داری	اختلاف میانگین	میانگین غلظت روی
خاک سطحی تیمار	-۷۱/۸۸	۱۲	۰/۰۰	-۵۰۷/۹۵	۹۲/۰۴
خاک سطحی شاهد	-۲۶۲/۵۵	۶	۰/۰۰	-۵۶۴/۷۱	۳۵/۲۸

تیمار:خاک آبیاری شده با فاضلاب شاهد: خاک آبیاری شده با آب چاه

بحث و نتیجه‌گیری

ویژگی های خاک

در جنوب شهر بروجرد فاضلاب شهری سالهاست که به عنوان منبع آبیاری اراضی کشاورزی استفاده می شود. تأثیر آبیاری با فاضلاب بر تجمع فلزات سنگین خاک، بستگی به عوامل متعددی چون غلظت فلزات سنگین موجود در فاضلاب pH، طول مدت آبیاری، بافت و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک دارد (۲۰). استفاده از فاضلاب شهری منجر به تغییر در برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک و جذب فلزات سنگین توسط محصولات غذایی می شود. تغییرات pH خاک به تغییرات pH پساب مورد استفاده برای آبیاری بستگی دارد و pH خاک تاثیر زیادی روی تحرک و دستیابی زیستی فلزت سنگین دارد (۹). نتایج این مطالعه نشان داد که کاربرد فاضلاب pH خاک را تا حدوری در مقایسه با خاک‌های آبیاری شده با آب چاه کاهش داده است. نتایج مطالعه Christou و همکاران در سال۲۰۱۴ نیز نشان داد که آبیاری طولانی مدت با فاضلاب pH خاک را کاهش می دهد (۱۳). همچنین در این راستا تحقیقات دیگر نیز موید نتایج تحقیق حاضر است مانند تحقیق Rattan و همکاران در سال ۲۰۰۵ (۲۱) ، Xu و همکاران در سال ۲۰۱۰ (۲۲) و Khan و همکاران در سال ۲۰۰۸ (۹). دلیل کاهش pH در خاک‌های آبیاری شده با فاضلاب ممکن است به دلیل به تجزیه مواد آلی و تولید اسیدهای آلی باشد (۶). در این پژوهش مقادیر EC هم به دلیل کاربرد فاضلاب افزایش یافت که هم راستا با نتایج Mojiri و همکارن در سال ۲۰۱۱(۲۳)، Rusan و همکاران در سال ۲۰۰۷ (۲۴) و Jahantigh در سال ۲۰۰۸ (۲۵) است. مقادیر بالای کاتیون‌های Na و K منجر به افزایش هدایت الکتریکی خاک آبیاری شده با پساب می‌شود (۲۶). Friedel و همکاران در سال (۲۰۰۰) گزارش دادند که ۸۰ سال آبیاری با فاضلاب منجر به افزایش شوری

www.SID.ir

خاک شده است (۲۷). همچنین نتیجه حاصل از پژوهش حاضر شبیه به نتایج محققان دیگر برای EC است (۲۸، ۲۹،۳۰) که نشان دادند آبیاری با فاضلاب منجر به افزایش هدایت الکتریکی خاک نسبت به شاهد شده است. تجمع OM در زمین های آبیاری شده با پساب می تواند باروری خاک و تولید محصول را افزایش دهد . تجمع ماده آلی در مزارع آبیاری شده با فاضلاب حاصلخیزی خاک و تولید محصول را افزایش دهد. ماده آلی فاضلاب خواص ساختاری خاک را بهبود می بخشد و به عنوان ذخیره مواد مغذی عمل می‌کند و اثرات شوری خاک را بی اثر می کند. همچنین گزارش شده است که OM خاک قادر به ترسیب فلزات کمیاب، کاهش تحرک و خطر شویش آنهاست. بدون شک، کاربرد دراز مدت فاضلاب باعث افزایش قابل ملاحظه OM در خاک می شود که کیفیت خاک را بهبود می بخشد (۲۲).

فلزات سنگین خاک

غلظت فلزات سرب، کامیوم و روی در عمق سطحی و غلظت همه این فلزات در دو عمق سطحی و زیر سطحی در خاک آبیاری شده با فاضلاب شهری به طور معنی‌داری بیشتر از خاک آبیاری شده با آب چاه بود . فقط در مورد مس در خاک سطحی این مقادیر برعکس بود. پژوهش‌های انجام شده در این زمینه نشان می‌دهند که کاربرد فاضلاب به عنوان آب آبیاری سبب افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک می‌شود و همسو با نتایج پژوهش حاضر می باشند. از جمله Chen و همکاران در سال ۲۰۰۹ گزارش کردند که در منطقه مورد مطالعه‌شان تجمع فلزات سنگین در خاک های آبیاری شده با فاضلاب اتفاق افتاده است به نحوی که غلظت کروم، روی و مس بیشتر از حد پیشنهاد شده توسط سازمان بهداشت جهانی، اتحادیه اروپا (EU) و انگلستان است(۳۱). Massaquoi و همکاران در سال ۲۰۱۵ در مطالعه روی خاک مناطقی که در گذشته با آب فاضلاب آبیاری می‌شده‌اند و در حال حاضر با آب چاه آبیاری می شود به این نتیجه رسیدند که تجمع فلزات سنگین در خاک و گیاهان مزارعی که قبلا با فاضلاب آبیاری می‌شود تداوم دارد. علاوه بر این، خاک‌هایی که قبلا آبیاری شده با فاضلاب به شدت با کادمیوم آلوده شده اند (۳۲). Meng و همکاران در سال ۲۰۱۶ نشان دادند که خاک های آبیاری شده با فاضلاب در مقایسه با خاک آبیاری شده با آب پاک حاوی غلظت های بالایی از کادمیوم، مس، سرب، روی، نیکل، کروم، آرسنیک و جیوه هستند (۷). یافته های Khan و همکاران در سال ۲۰۰۸ نیز حاکی از افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک و محصولات غذایی در نتیجه آبیاری بلند مدت با فاضلاب بود به طوری که مقادیر غلظت فلزات به نحو قابل ملاحظه ای بیشتر از فلزات سنگین در خاک مرجع بود (۹). در مقایسه با مطالعه حاضر، مقادیر بالاتری از کادمیوم (۲۲/۲-۵۱ میلی‌گرم/کیلوگرم) در نمونه‌های خاک آبیاری شده با فاضلاب در تیتگره، هند، به دست آمد (۲۹). در حالی که غلظت های پایین‌تر (۰/۴۱-۱/۷۱ میلی‌گرم/کیلوگرم) در خاک آبیاری شده با فاضلاب پکن چین (۹) و سطوح بسیار پایین‌تری از کادمیوم (۳/۴ میلی-گرم/کیلوگرم) در زیمبابوه (۳۳) مشاهده شد.

تغییرات عمقی فلزات سنگین

تغییرات عمقی فلزات سنگین در خاک آبیاری شده با آب چاه

در این مطالعه به بررسی غلظت فلزات سنگین با عمق خاک نیز پرداخته شد. با توجه به مشاهدات به دست آمده و مقایسه میانگین‌ها در دو عمق سطحی و زیر سطحی خاک آبیاری شده با آب چاه، غلظت فلزات سنگین سرب و مس در خاک سطحی (۰-۲۰ سانتی متر) به طور کلی بالاتر از خاک زیر سطحی بود. سایر محققان نیز از جمله Meng و همکاران در سال ۲۰۱۶ (۷)، Wali و همکاران در سال ۲۰۱۴ (۳۴)، Adeyi وTorto در سال ۲۰۱۴ (۳۵) و Etim و همکاران در سال ۲۰۱۶ (۳۶) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که فلزات سنگین در عمق سطحی مقادیر بیشتری دارند. غلظت کمتر فلزات سنگین در عمق‌های پایین‌تر خاک، به علت پویایی کم این فلزات و در نتیجه حرکت ضعیف آنها به سمت لایه‌های پایینی خاک و آبیاری سطحی فاضلاب شهری می‌باشد (۱۰). در مورد کادمیوم اختلاف معنی دار نبود و در مورد روی هم مقادیر در خاک زیر سطحی به طور معنی داری بیشتر از خاک سطحی بود.

www.SID.ir

Archive of SID

تغییرات عمقی فلزات سنگین در خاک آبیاری شده با فاضلاب

غلظت سرب و مس در خاک زیر سطحی به طور قابل توجهی بالاتر از غلظت آن‌ها در خاک سطحی بودند. اگر چه غلظت کادمیوم و روی در خاک سطحی بالاتر از خاک سطحی زیر سطحی بودند ولی برای کادمیوم این تفاوت از نظر آماری معنی دار نبود. Duan و همکاران در سال ۲۰۱۵ نیز در پژوهش خود این چنین روندی را برای فلزات مشاهده کردند (۳۷). در مطالعات Bansal و همکاران در سال ۱۹۹۲ و Singh و همکاران در سال ۲۰۰۵ نیز غلظت فلزات سگین در خاک زیرسطحی در مقایسه با خاک سطحی بیشتر بود (۳۸، ۳۹). این مسئله ممکن است به دلیل ماهیت شنی، کربن آلی کم خاک و ظرفیت نگهداری کم آب در خاک باشد (۳۹). بافت خاک اثر مهمی بر حرکت فلزات سنگین به سمت لایه های پایین تر دارد. تمایل سرب و فلزات دیگر به جزء رس به صورت رس> سیلت> شن و ماسه است. رس اهمیت زیادی در در غیرمتحرک سازی فلزات در خاک دارد (۴۰) در واقع بافت خاک سنگین‌تر میزان نفوذپذیری فلزات در خاک را کاهش می-دهد و احتمال انتقال این فلزات به لایه‌های پایین خاک کم می شود (۴۱). وجود بافت سبک خاک یکی از دلایل درصد زیاد انتقال زیاد عناصر باشد. به علت غلظت زیاد عناصر سنگین در فاضلاب وجود این عناصر در خاک نیز قابل انتظار است و هرچه بافت سنگین تر باشد میزان نفوذ پذیری این عناصر در خاک نیز کاهش می یابد.

در خاک سطحی، مواد مادری، انتقال رسوب و استراتژی‌های مدیریت کشاورزی بر غلظت فلزات سنگین تاثیرگذار است. با این حال، در خاک زیرسطحی، غلظت فلزات سنگین ممکن است به طور عمده توسط مواد مادری تحت تاثیر قرار گیرد (۳۷). نمونه های خاک زیرسطحی نماینده مقایر زمینه طبیعی یا پدوژئوشیمیایی است، در حالی که نمونه های خاک سطحی برای پی بردن به مقایر زمینه معمولی است (۴۲).

مقایسه با استانداردها

چون در کشور ما استانداردهای خاصی برای فلزات سنگین در خاک وجود ندارد بنابراین از استانداردهای موجود در دیگر کشورها یا استانداردهای جهانی استفاده می شود. محدوده مجاز فلزات سنگین در خاک براساس استاندارد اتحادیه اروپا ۳ (کادمیوم)، ۳۰۰ (سرب)،۳۰۰ (روی) و ۱۴۰ (مس) میلی گرم/کیلوگرم است (۴۳). در بین فلزات مورد مطالعه، غلظت کادمیوم بیش از حد مجاز تعیین شده توسط اتحادیه اروپا بود. کادمیوم دارای ظرفیت تبادل بیشتری است و به راحتی در دسترس و قابل حل در خاک شده و قابل دستیابی زیستی است و در بخش‌های خوراکی گیاهان تجمع می یابد (۴۴). مقایسه غلظت کل فلزات سنگین در خاک سطحی با مقادیر استاندارد FAO/WHO نشان داد که خاک ارضی کشورزی جنوب بروجرد به فلزات سنگین مختلف آلوده شده‌اند و در مورد عنصر کادمیوم مقادیر بالاتر از این استاندارد بود. این یافته‌ها نشان داد که آب کشاورزی مورد استفاده برای آبیاری که از فاضلاب شهر بروجرد تامین می‌شود حاوی مقادیر بالایی از فلزات سنگین به ویژه کادمیوم است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کاربرد فاضلاب تصفیه نشده به عنوان آب آبیاری میزان غلظت فلزات سنگین خاک را نسبت به خاک‌های آبیاری شده با آب چاه افزایش می‌دهد. از این رو استفاده بلند مدت از فاضلاب شهری برای آبیاری محصولات کشاورزی افزون بر آلودگی خاک، گیاه و حتی منابع آب، به دلیل خطر انتقال فلزات سنگین از طریق زنجیره غذایی به انسان می‌تواند منجر به بیماری‌های جهش زا و سرطان زا شود. از مطالعه حاضر می-توان نتیجه‌گیری نمود که عمل آبیاری با فاضلاب برای کشت محصولات و سبزیجات خوراکی به خصوص آنهایی که به طور منظم مصرف می‌شوند مناسب نیست. به منظور به حداقل رساندن خطرات ناشی از کاربرد فاضلاب برای کشاورزان و محصولات آبیاری شده با فاضلاب در اراضی کشاورزی بایستی تمهیداتی در نظر گرفته شود. در پژوهش حاضر غلظت سرب،

www.SID.ir

مس و روی در خاک مزارع نمونه‌برداری شده پایین‌تر از حد استاندارد بین المللیFAO/WHO و غلظت کادمیوم از این استاندارد بالاتر بود. بنابراین، توصیه می‌شود که برای آبیاری از آب شیرین و فاضلاب تصفیه شده استفاده شود. از طرفی از آنجا که نتایج به دست آمده از پژوهش‌های مختلف حاکی از آن است که استفاده بلند مدت از فاضلاب برای آبیاری سبب انباشت فلزات سنگین در خاک و تجمع در گیاهان فراتر از حداکثر حد مجاز برای انسان و مصرف دام می شود، بنابراین برنامه پایشی مستمر به منظور کنترل آلودگی خاک و حفظ کیفیت خاک و محصولات ضروری است. افزون بر این آگاهی به کشاورزان در مورد مضرات استفاده از فاضلاب، احداث تصفیه خانه فاضلاب در منطقه، اندازه‌گیری فلزات سنگین در فرآورده-های دامی (گوشت و شیر) از جمله های برنامه‌های پیشنهادی است. به منظور بهبود کیفیت فاضلاب شهری می توان از ساخت تالاب‌های مصنوعی که عملکردی شبیه تالاب‌های طبیعی در حذف آلاینده‌ها دارند استفاده نمود. همچنین استفاده از فناوری نانو با بهبود کیفیت فاضلاب تصفیه شده قابلیت استفاده از فاضلاب را برای استفاده مجدد در کشاورزی، کشت آبی، مصارف صنعتی یا حتی شرب و شستشو فراهم می‌آورد. از موارد استفاده از فاضلاب که آلودگی مربوط به آن کمتر حایز اهمیت است آبیاری فاضلاب برای پرورش گیاهان غیر مثمر از جمله گیاهان زینتی در فضاهای سبز، درختان غیرمثمر در حاشیه جاده ها و فضاهای سبز بین راهی است. همچنین استفاده مجدد از فاضلاب جهت مصارف صنعتی مانند خنک کنندگی آن در کارخانجات ذوب آهن اشاره نمود.

Reference

1. Tóth, G., Hermann, T., Szatmári, G., Pásztor, L. 2016.Maps of heavy metals in the soils of the European Union and proposed priority areas for detailed assessment. Science of the Total Environment 565 (2016): 1054–1062.
2. Liu, Y., Wang, H., Li, X., Li, J. 2015. Heavy Metal Contamination of Agricultural Soils in Taiyuan, China. Pedosphere 25(6): 901–909, 2015.
3. Flores-Magdaleno, H., Mancilla-Villa, O. R., Mejía-Saenz, E, Bautista-Olivas, A.L. 2011.Heavy metals in agricultural soils and Irrigation wastewater of Mixquiahuala, Hidalgo, Mexico. African Journal of Agricultural Research 6(24): 5505-5511.
4. Pourang, N., Noori, A.S. 2014. Heavy Metals Contamination in Soil, Surface Water and Groundwater of an Agricultural Area Adjacent to Tehran oil Refinery, Iran. Int. J. Environ. Res., 8(4):871-886.
5. Ibrahim, A.K., Yakubu, H., Askira, M.S. 2014. Assessment of Heavy Metals Accumulated in Wastewater Irrigated Soils and Lettuce (*Lactuca sativa*) in Kwadon, Gombe State Nigeria. American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci., 14 (6): 502-508.
6. Alghobar, M.A., Suresha, S. 2017. Evaluation of metal accumulation in soil and tomatoes irrigated with sewage water from Mysore city, Karnataka, India. Journal of the Saudi Society of Agricultural. 16(1) 2017: 49-59.
7. 7-Meng, W., Wang, Z., Hu, Beibei, Z., Hongyuan Lic, W., Goodman, R.C. 2016. Heavy metals in soil and plants after long-term sewage irrigation at Tianjin China: A case study assessment. Agricultural Water Management 171:153–161.
8. Bashir, F., Kashmiri, M.A., Shafiqa, T., Tariqa, M. 2009. Heavy metals uptake by vegetables growing in sewage irrigated soil: relationship with heavy metal fractionation in

www.SID.ir

Archive of SID

soil.Chemical Speciation and Bioavailability 21(4):199-209.

9. Khan, S., Cao, Q., Zheng, Y.M. , Huang, Y.Z., Zhu, Y.G. 2008.Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. Environmental Pollution 152: 686-692.
10. Tabari, M., Salehi, A. 2012. Impact of irrigation by municipal sewage on accumulation of heavy metals in soil. Journal of Environmental Science and Technology. 13(4): 49-60 (In Persian).
11. Beigi Harchegani, H., Banitalebi, G. 2013. The Effect of twenty-three years of surface irrigation with treated municipality wastewater on soil loadings, transfer to wheat and corn grains, and related health risks of some heavy metals. Journal of Water and Soil. 27(3):570-580 (In Persian).
12. Karimi, B., Abdi, CH., Fathi- Tilko, Z., Gavilian, H. 2016. Effect of Irrigation with Treated Urban Wastewater on Heavy Metals Accumulation and Distribution in Soil Profile under Corn and Tomato. Water Research in Agriculture 30(1):89-101 (In Persian).
13. Christou, A., Eliadou, E., Michael, C., Hapeshi, E., Fatta-Kassinos, D. 2014 Assessment of long-term wastewater irrigation impacts on the soil geochemical properties and the bioaccumulation of heavy metals to the agricultural products. Environmental Monitoring and Assessment 186(8):4857–4870.
14. Li, P., Wang, X., Allinson, G., Li, X., Xiong, X. 2009. Risk assessment of heavy metals in soil previously irrigated with industrial wastewater in Shenyang, China. Journal of Hazardous Materials 161(1): 516–521.
15. Statistical yearbook of Lorestan Province. 2011. 522 pages (In Persian).
16. Maleki Rad, Z., Baharvand, S., Nouryazdan, A., Amini Kia, A. 2011. Geological study of Lorestan plains and its impact on the quality and quantity of water resources using satellite data. Regional Conference on Geology of Iran Plateau. Islamic Azad University of Zarand (In Persian).
17. Tabandeh, L., Taheri, M., 2016. Assessment of pollution and relationship between heavy metals Concentration in soil and leafy vegetables in Zanjan Province. Iranian Journal of Soil Research. 30(1):49-60 (In Persian).
18. Kabata-pendias, A., Pendias, H., 2001. Trace elements in soils and plants. 3rd edition. CRC Press, Boca Raton, Florida, 413 pp.
19. FAO/WHO. 2001. Food additives and contaminants, Joint Codex Alimentarius Commission, FAO/WHO. Food standards Programme, ALINORM 01/12A.
20. Zafarzadeh, A., Mehdinejad M.H., Amani, N. 2015. Accumulation of heavy metals in agricultural soil irrigated by sewage sludge and industrial effluent (case study: Agh ghallah Industrial Estate. J Mazandaran Univ Med Sci. 25(121): 217-226 (In Persian).
21. Rattan, R. K., Datta, S. P., Chhonkar, P. K., Suribabu, K., & Singh, A. K. 2005. Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater-a case study. Agriculture,

www.SID.ir

Ecosystems & Environment, 109 (3 – 4): 310 – 322.

22. Xu, J., Wu, L., Chang, A. C., Zhang, Y. 2010. Impact of long- term reclaimed wastewater irrigation on agricultural soils: a preliminary assessment. Journal of Hazardous Materials, 183 (1 – 3): 780 – 786
23. Mojiri, A. 2011. Effects of Municipal Wastewater on Physical and Chemical Properties of Saline Soil. J. Biol. Environ. Sci., 5(14): 71-76.
24. Rusan, M, Hinnawi, S, Rousan, L. 2007. Long term effect soil and plant quality parameters. Desalination. 215: 143-152.
25. Jahantigh, M .2008. Impact of Recycled Wastewater Irrigation on Soil Chemical Properties in an Arid Region. Pakistanian Journa l of Biological Sciences. 11(18): 2264-2268.
26. Khai, N.M., Tuan, P.T, Vinh, C.N., Oborn, I. 2008. Effects of using wastewater as nutrien t sources on soil chemical properties in p eri- urban agricultural systems. VNU Journal of Science, Earth Sciences. 24: 87-95.
27. Friedel, J.K., Langer, T., Siebe, C., Stahr, K. 2000. Effects of long-term waste water irrigation on soil organic matter, soil microbial biomass and its activities in central Mexico, Biol. Fertil. Soils 31:414–421.
28. Tunc, T., Sahin, U. 2015. The changes in the physical and hydraulic properties of a loamy soil under irrigation with simplerreclaimed wastewaters. Agricultural Water Management 158:213-224.
29. Gupta, N., Khan, D.K., Sandra, S.C. 2008. An assessment of heavy metal contamination in vegetables grown in wastewater-irrigated areas of Titagarh, West Bengal, India. Bull. Environ. Cont. Toxicol. 80, 115–118.
30. Kumar, V., Chopra A. K., Srivastava, S. 2014. Distribution, enrichment and accumulation of heavy metals in soil and Vigna Mungo L. Hepper (Black Gram) after irrigation with distillery Wastewater. J Environ Health Sci 1(1): 1-8.
31. 31-Chen, Z.F., Zhao, Y., Zhu, Y., Yang, X., Qiao, J., Tianc, Q., Zhang Q. 2009. Health risks of heavy metals in sewage-irrigated soils and edible seeds in Langfang of Hebei province, China. Journal of Science Food Agriculture, 90:314-320.
32. Massaquoi, L.D., Ma, H., Liu, X.H., Han, P.Y., Zuo, S.M., Hua, Z.X., Liu, D.W. 2015. Heavy metal accumulation in soils, plants, and hair samples: an assessment of heavy metal exposure risks from the consumption of vegetables grown on soils previously irrigated with wastewater. Environ Sci Pollut Res Int. 22(23):18456-68.
33. Mapanda, F., Mangwayana, E.N., Nyamangara, J., Giller, K.E., 2005. The effect of longterm irrigation using wastewater on heavy metal contents of soils under vegetables in Harare, Zimbabwe. Agric. Ecosyst. Environ. 107:151–165.
34. Wali, A., Colinet, G., Ksibi, M. 2014. Speciation of Heavy Metals by Modified BCR Sequential Extraction in Soils Contaminated by Phosphogypsum in Sfax, Tunisia. Environmental Research, Engineering and Management 4(70): 14–26.
35. Adeyi A., Torto, N. 2014. Profiling heavy metal distribution and contamination in soil of old power generation station in Lagos, Nigeria. 1(1): 1-10.

www.SID.ir

Archive of SID

36. Etim, A. O. Ekpo, F. E., Okeke, A. I. 2016. Assessment of Heavy Metals Concentrations in Soils and Edible Vegetables Grown in Core Crude Oil Producing Communities of Ibeno, Akwa Ibom State, Nigeria. 4(1): 1-6.
37. Duan, X., Zhang, G., Rong, L., Fang, H., He, D., Feng, D. 2015. Spatial distribution and environmental factors of catchment-scale soil heavy metal contamination in the dry-hot valley of Upper Red River in southwestern China. Catena 135: 59–69.
38. Bansal, R.L., Nayyar, V.K., Takkar, P.N. 1992. Accumulation and bioavailablity of Zn, Cu, Mn, and Fe in soils polluted with industrial wastewater. J. Ind. Soc. Soil. Sci. 40:796–799.
39. Singh, G., Bhati, M. 2005. Growth of Dalbergia sissoo in desert regions of western India using municipal effluent and the subsequent changes in soil and plant chemistry. Bioresource Technology, 96 (9): 1019-1028.
40. Rieuwerts, J. S., Thornton, I., Farago, M. E., Ashmore, M. R. 1998. Factors influencing metal bioavailability in soils: preliminary investigations for the development of a critical loads approach for metals. Chemical Speciation and Bioavailability, 10(2): 61-75(15).
41. Salehi, A., Tabari, M., Mohammadi, J., Ali Arab, A. 2008. Accumulation of Ni, Cu, Zn and Pb in soil and leaf of Robinia under the influence of urban sewage. Pajouhesh and Sazandegi, 92-100.
42. Ungaro, F., Ragazzi, F., Cappellin, R., Giandon, P. 2008. Arsenic concentration in the soils of the Brenta Plain (Northern Italy): Mapping the probability of exceeding contamination thresholds. Journal of Geochemical Exploration 96(2–3):117–131.
43. European Union, 2002. Heavy Metals in Wastes, European Commission on Environment.http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/heavy metalsreport.Pdf> (accessed 12.06.12)
44. Luo, C., Liu, C., Wang, Y., Liu, X., Li, F., Zhang, G.G., Li, X. 2011. Heavy metal contamination in soils and vegetables near an e-waste processing site, south China. J. Hazard. Mater. 186:481–490.

www.SID.ir