نشریه دانش آب و خاک / جلد۲۵ شماره۱ صفحه‌های ۱ تا ۱۲/ سال ۱۳۹۴

ارزیابی میزان شاخص آلودگی (PI) کادمیوم، روی، مس و سرب در خاک آبیاری شده با فاضلاب شهری

نصرالدین پارسافر[۱]، صفر معروفی[۲*]، قاسم رحیمی[۳] و حسین معروفی[۴]

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۵/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۶/۰۱

[۱]- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

[۲]- استاد گروه مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

[۳]- استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

[۴]- فارغ‌التحصیل کارشناسی مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

[*]مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: smarofi@yahoo.com

چکیده

آلودگی محیط زیست با فلزات سنگین و انتقال آن به محصولات زراعی به عنوان یک مشکل جهانی در حال گسترش مطرح می‌باشد. در این پژوهش از فاضلاب خام و تصفیه‌شده به منظور کشت سیب‌زمینی در شرایط لایسیمتری استفاده شد. بدین منظور یک طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار آبیاری و سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای آبیاری شامل: فاضلاب خام (T_1)، فاضلاب تصفیه‌شده (T_2)، ترکیب فاضلاب خام و آب معمولی به نسبت ۵۰ درصد (T_3) و ترکیب فاضلاب تصفیه‌شده و آب معمولی به نسبت ۵۰ درصد (T_4) بود. خاک تحت هر تیمار به منظور ارزیابی آلودگی کادمیوم، روی، مس و سرب بر مبنای شاخص آلودگی (PI) و بررسی همبستگی بین این فلزات در دو عمق خاک، نمونه‌برداری گردید. نتایج نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری بر شاخص آلودگی (PI) کادمیوم، سرب ($p \leq 0.05$)، روی و مس ($p \leq 0.01$) معنی‌دار می‌باشد. بیشترین مقدار این شاخص در تیمار T_1 و کمترین در تیمار T_4 مشاهده گردید. ترتیب بزرگی میزان PI، در تیمارهای آبیاری به صورت $T_1 > T_3 > T_2 > T_4$ بود. همچنین به جز مس میزان PI در عمق ۰-۱۰ بیشتر از مقدار آن در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری می‌باشد. در این پژوهش بیشترین مقدار ضریب همبستگی پیرسون بین سرب و مس مشاهده گردید. همچنین میزان مقادیر این ضریب در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری بیشتر از مقدار آن در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری (به جز ضریب همبستگی بین روی و سرب و ضریب همبستگی بین مس و کادمیوم) می‌باشد. در این پژوهش مقادیر PI برای فلزات سرب، روی و مس کمتر از یک و در مورد کادمیوم بین دو و سه بودند.

واژه‌های کلیدی: خاک، شاخص آلودگی، فاضلاب، فلزات سنگین، لایسیمتر

Assessment of Pollution Index (PI) of Cd, Zn, Cu and Pb in the Soil Irrigated with Municipal Wastewater

N Parsafar[1], S Marofi[2*], Gh Rahimi[3] and H Marofi[4]

Received: 3 August 2013 Accepted: 12 September 2014
1- Ph.D. Student, Dept. of Water Resource Eng., Faculty of Agric., Bu-Ali Sina Univ., Hamedan, Iran
2- Prof., Dept. of Water Resource Eng., Faculty of Agric., Bu-Ali Sina Univ, Hamedan, Iran
3- Assistant Prof., Dept. of Soil Science., Faculty of Agric., Bu-Ali Sina Univ, Hamedan, Iran
4- Former B.Sc. Student, Dept. of Water Eng., Faculty of Agric., Bu-Ali Sina Univ, Hamedan, Iran
* Corresponding Author, Email: smarofi@yahoo.com

Abstract

Environmental pollution with heavy metals and their transfer to plants is an increasing universal problem. In this study, raw and treated wastewaters were reused for potato cultivation under lysimetric condition. Consequently, a completely randomized test was designed, with four irrigation treatments and three replications. The irrigation treatments were categorized as follows: irrigation with raw wastewater (T_1), treated wastewater (T_2), a combination of 50% raw wastewater and 50% fresh water (T_3), and a combination of 50% treated wastewater and 50% fresh water (T_4). The soil of each treatment was sampled in order to assess the Cd, Zn, Cu and Pb pollutions on the basis of the Pollution Index (PI) and to analyze the correlation between the mentioned metals in two soil depths. The results showed that the effects of irrigation treatments on PI of Cd, Pb ($p \leq 0.05$), Zn and Cu ($p \leq 0.01$) amounts were significant. The maximum and minimum values of this index were observed in the T_1 and T_4 treatments, respectively. The ranking of PI magnitude in all treatments was $T_1 > T_3 > T_2 > T_4$. Also, the results showed that the PI values of the mentioned metals except Cu in the soil depth of 0-10 cm was lower than those in the soil depth of 10-20 cm. The maximum Pearson's correlation coefficient value was observed between Pb and Cu. Also, the values of this coefficient in soil depth of 0-10 cm were more than those in the depth of 10-20 cm (except the values between Pb and Zn and between Cu and Cd). In this study, the PI values of Pb, Zn and Cu, were lower than 1 and the PI values of Cd were between 2 and 3.

Keywords: Heavy metals, Lysimeter, Pollution Index, Soil, Wastewater

مقدمه

در شرایطی که کشور به شدت از لحاظ کمبود آب شیرین رنج می‌برد و مسئله بحران آب به صورت یک مسئله جدی مطرح می‌باشد، توجه به منابع نامتعارف آب (آب‌های با کیفیت نامطلوب) یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است. از سوی دیگر، تمرکز مراکز جمعیتی و صنعتی در نقاط مختلف، باعث شکل‌گیری حجم زیادی از پساب می‌گردد که عدم توجه به یافتن بهترین شیوه‌های دفع آن، دشواری‌های زیست محیطی زیادی در اطراف این مناطق به همراه خواهد آورد. بررسی‌ها

نشان داده است که کاربرد پساب در کشاورزی، بهترین شیوه دفع آن است (عابدی و نجفی ۱۳۸۰). چنانچه غلظت برخی فلزات موجود در پساب از میزان استاندارد بیشتر باشد، غلظت این فلزات در خاک نیز به تدریج افزایش یافته و از حد آستانه تحمل گیاه فراتر خواهد رفت. در عین حال ممکن است موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی و بروز مشکلات زیست محیطی شوند. تجمع بیش از حد برخی فلزات می‌تواند برای گیاهان ایجاد مسمومیت کند (مارتینز ۱۹۹۹).

فارکوئی و همکاران (۲۰۰۲) بیان کردند که در داکار سنگال، بیش از ۶۰ درصد سبزیجات مصرفی در شهر، با استفاده از مخلوط آب زیرزمینی و فاضلاب تصفیه نشده رشد داده شده‌اند. اسمیت و نصر (۱۹۹۲) گزارش کردند که یک دهم یا بیشتر جمعیت جهان، غذایی که با فاضلاب آبیاری شده است را مصرف می‌کنند، در استفاده از فاضلاب، ظاهراً مسائل روانی از مهمترین عوامل محدود کننده است.

در زمینه آلودگی خاک‌ها در اثر کاربرد فاضلاب‌ها مطالعاتی در سطح دنیا صورت گرفته است که از جمله سیبه (۱۹۹۸) افزایش غلظت سرب و کادمیوم در لایه افقی خاک (۳۰-۰ سانتی‌متر) را تحت آبیاری با فاضلاب در مقایسه با آب چاه برای دوره بیش از ۸۰ سال گزارش نمود. برار و همکاران (۲۰۰۲) نیز نتایج مشابهی را به دست آوردند. محمد و مظهره (۲۰۰۳) بیان کردند که غلظت سرب و کادمیوم خاک به طور معنی‌دار تحت تأثیر آبیاری با فاضلاب قرار نگرفتند. همچنین گزارش کردند که آبیاری فاضلاب غلظت منگنز و آهن را در خاک افزایش داده و هیچ واکنشی نسبت به غلظت روی و مس خاک نداشته است. استرک و ریچر (۱۹۹۷) گزارش کردند که حرکت فلزات سنگین در خاک آبیاری شده با فاضلاب بسیار کند بوده به طوری که بیش از ۹۰ درصد تجمع غلظت فلزات سنگین نیکل، کادمیوم و سرب در عمق ۱۵-۱۰ سانتی-متری خاک مشاهده گردید. همچنین صابر (۱۹۸۶) نشان داد که کاربرد هفت سال آبیاری فاضلاب اثر معنی‌داری روی غلظت مس در خاک نداشته است. بول و همکاران (۱۹۸۶) نیز گزارش کردند که کاربرد ۱۶ سال آبیاری فاضلاب غلظت روی را در خاک تا حد سمیت افزایش داده است.

عابدی کوپایی و همکاران (۲۰۰۶) در بررسی اثرات آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده روی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک در یک منطقه خشک نتیجه گرفتند که سیستم‌های آبیاری اثر معنی‌داری روی استخراج فلزات سنگین در خاک نداشته است. تجمع سرب، منگنز، نیکل و کبالت در خاک به طور معنی‌دار در تیمار فاضلاب در مقایسه با تیمار آب زیرزمینی افزایش یافته است. تجمع سرب، منگنز، نیکل، کبالت، مس و روی با عمق خاک کاهش یافته است. نتایج آلهم و همکاران (۲۰۰۷) یک افزایش در غلظت مس، منگنز و آهن در خاک را در ارتباط با غلظت‌های بالای موجود در فاضلاب نشان داد. بهمنیار (۱۳۸۶) تأثیر مصرف فاضلاب در آبیاری گیاهان زراعی بر میزان برخی از فلزات سنگین در خاک و گیاهان را مورد بررسی قرار داد. نتایج وی نشان داد که استفاده از فاضلاب شهری برای کمک در آبیاری اراضی، میزان کادمیوم، نیکل، سرب و کروم در خاک افزایش یافت. با افزایش مقدار آهک و مواد آلی خاک، میزان سرب کل تجمع یافته در خاک افزایش معنی‌داری نشان داد و سایر فلزات با مقدار آهک و مواد آلی همبستگی معنی‌داری نشان نداده‌اند.

مرادمند و بیگی هرچگانی (۱۳۸۷) در بررسی اثر آبیاری با پساب تصفیه‌شده شهری بر توزیع سرب در اندام فلفل سبز و خاک نتیجه گرفتند که علی‌رغم غلظت کمتر از حد مجاز فلزات سنگین در پساب تصفیه شده شهری شهرکرد، غلظت فلزات سنگین در خاک و گیاه نسبت به شاهد افزایش نشان داده است. که بیانگر تجمع فلزات سنگین در خاک و گیاه با گذشت زمان است. نتایج این پژوهش به یک فصل رشد محدود بوده لذا با ادامه کاربرد پساب شهری شهرکرد ممکن است غلظت سرب در خاک و سپس در گیاه افزایش یابد. کلی و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی اثر آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده نشان دادند که محتوی فلزات سنگین به خصوص برای سرب و کادمیوم با دوره آبیاری افزایش یافته است. غلظت فلزات سنگین در خاک نشان داد که تحرک و جذب سطحی آنها وابسته به محتوی (مقدار) فلزی

فاضلاب تصفیه‌شده، حرکات کربن آلی، درصد بخش رس و زمان آبیاری است. آبیاری با فاضلاب تصفیه-شده می‌تواند شوری و محتوی فلزات سنگین خاک را افزایش دهد.

با توجه به بحران کمبود منابع آب و لزوم بهره-برداری از منابع آب نامتعارف، بهره‌گیری مطلوب و بهینه از پساب فاضلاب شهری یکی از مباحث مهم پژوهش‌ها است. در ایران تاکنون در مورد امکان بهره-برداری از این منبع، پژوهش‌های چندان وسیعی صورت نگرفته است، ولی به نظر می‌رسد که در زمینه اعمال مدیریت صحیح در بهره‌برداری از پساب فاضلاب تصفیه‌شده و خام در راستای حفظ شرایط زیست محیطی، لازم است که پژوهش‌های جامع‌تری صورت گیرد. زیرا تکیه کردن بر تجارب سایر کشورها (بدون توجه به شرایط بومی هر منطقه) ممکن است صدمات جبران‌ناپذیری بر خاک و کشاورزی وارد نماید. جمع-بندی پژوهش‌های قبلی در زمینه انتقال فلزات سنگین از آب آلوده به خاک نشان می‌دهد که پژوهش‌های قبلی انجام شده عمدتاً اثر فاضلاب‌های تصفیه‌شده و تا حدی خام بررسی گردیده است و با توجه به اینکه در حاشیه برخی شهرهای کشور، از فاضلاب خام به صورت غیر اصولی و بدون در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی در امر آبیاری استفاده می‌گردد. در این پژوهش سعی گردید که تیمارهای مورد استفاده حتی‌المقدور از گستردگی بیشتری برخوردار باشند. بنابراین ترکیب این فاضلاب‌ها با آب معمولی نیز در نظر گرفته شد. همچنین در این پژوهش بر خلاف پژوهش‌های مختلف در زمینه اثرات فاضلاب‌ها بر آلودگی خاک، به منظور اطلاع دقیق از مقدار آلودگی فلزات سنگین در خاک از شاخص آلودگی استفاده گردید. لذا در این راستا پژوهش حاضر با هدف بررسی آلودگی کادمیوم، روی، مس و سرب بر اساس شاخص آلودگی[1] (PI) در خاک آبیاری شده با فاضلاب شهری اجراء گردید. همچنین همبستگی بین فلزات مذکور در دو عمق خاک نیز بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

آماده سازی بستر کشت

در اجرای این پژوهش به منظور کنترل هر چه مطلوب‌تر کلیه عوامل موثر، از لایسیمتر استفاده گردید. تعداد ۱۲ عدد لایسیمتر استوانه‌ای فلزی حجمی (عایق-بندی شده) با ظرفیت ۲۲۰ لیتر (قطر ۶۰ و ارتفاع ۹۰ سانتی‌متر) استفاده شد.

علت انتخاب سیب‌زمینی بدلیل اهمیت آن در استان همدان و سطح وسیع زیر کشت آن در این استان و کشور می‌باشد. جهت زهکشی آب موجود در قسمت پائین لایسیمترها، از یک سیستم زهکشی ویژه‌ای استفاده شد و زه‌آب‌ها در محفظه مخصوصی که بدین منظور تعبیه شده بود، جمع‌آوری گردید. برای جلوگیری از خروج خاک و سایر مواد به همراه زه‌آب خروجی، از یک فیلتر فلزی ضد زنگ سه لایه (بترتیب با شبکه‌بندی ۴×۴، ۲×۲ و ۱×۱ میلی‌متر) که به وسیله یک پارچه ضخیم برزنتی آب‌بندی شده بود، استفاده گردید. در شکل ۱ شمای کلی از لایسیمتر مورد استفاده نشان داده شده است.

پس از طراحی، ساخت و استقرار لایسیمترها در محل مورد نظر، جهت حصول به شرایط واقعی خاک، پر نمودن آنها در طی چند مرحله و به تدریج توأم با آبیاری صورت گرفت، تا تراکم خاک لایسیمترها در حد شرایط طبیعی خاک‌های منطقه صورت گیرد. به منظور ایجاد شرایط یکنواخت در خاک مورد نظر و جداسازی ذرات درشت دانه آن، از الک با قطر روزنه‌های یک سانتی‌متر استفاده گردید (حسین پور و همکاران ۱۳۸۶). ضمناً با توجه به خاک‌های منطقه، از یک خاک دو لایه که لایه فوقانی (۰-۳۰ سانتی‌متر) با کلاس بافت لومی شنی و لایه زیرین (۳۰-۷۰ سانتی‌متر) با کلاس بافت لوم رسی شنی بود، استفاده گردید. در نهایت کلیه لایسیمترها تا ارتفاع تقریبی ۱۰ سانتی‌متر پایین‌تر از قسمت فوقانی خود، بر اساس جرم مخصوص ظاهری (که برابر ۱/۴۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود) از دو لایه مذکور خاک پر شدند. در جدول ۱ برخی ویژگی‌های خاک مورد بررسی، در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۷۰ سانتی-متری ارائه شده است. شایان ذکر است که بافت خاک

[1]- Pollution Index

مورد استفاده به روش هیدرومتری تعیین گردید (بویوکوس ۱۹۶۲).

پس از پر شدن لایسیمترها در مهر ماه ۱۳۸۸، جهت جلوگیری از شستشوی خاک، عملیات آبیاری به روش آبیاری سطحی و با استفاده از یک آبپاش دستی در شرایط بدون کشت گیاه، بطور منظم و پیوسته (هفتگی) در طی یک بازه زمانی پنج ماهه صورت گرفت تا شرایط طبیعی و ایجاد مجاری رخنه و ترجیحی در خاک انجام گیرد. در اسفند ۱۳۸۸ غده‌های سیب‌زمینی (رقم مارفونا) به فاصله مساوی از هم و در عمق ۱۰ سانتی‌متری در هر لایسیمتر کشت گردیدند. بدین منظور، غده‌ها چند روز قبل از کشت در یک محیط گرم و بدون نور مستقیم خورشید نگهداری شدند تا جوانه زده و آماده کشت شوند. پس از کشت گیاه عملیات آبیاری لایسیمترها با توجه به شرایط رطوبتی خاک به وسیله بلوک‌های گچی کنترل شد. محدوده رطوبتی مربوطه با توجه به نتایج اندازه‌گیری انجام شده حدهای رطوبتی (FC و PWP) خاک لایه فوقانی که به ترتیب ۱۸/۶ و ۶/۶ درصد حجمی بودند، تعیین گردید و به طور متوسط در رطوبت ۱۰ درصد آبیاری صورت گرفت. بر این اساس، در ابتدای فصل رشد، آبیاری در فواصل زمانی ۱۳ روزه صورت گرفت ولی در انتهای فصل با توجه به بالا رفتن دما و نیاز گیاه، فواصل مربوطه به ۹ روز تقلیل یافت و به طور متوسط دور آبیاری ۱۱ روزه بوده است. به همین منظور، برای هر دوره آبیاری، فاضلاب تصفیه‌خانه شهر سرکان (بصورت خام و تصفیه‌شده و بطور جداگانه از فاصله ۸۵ کیلومتری همدان) به محل اجرای پژوهش (گلخانه دانشکده کشاورزی) حمل گردید و بلافاصله عملیات آبیاری صورت گرفت. حجم آب استفاده‌شده در هر مرحله در حدود ۳۰ الی ۳۵ لیتر بود و در مجموع هشت آبیاری برای همه تیمارها صورت گرفت.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های خاک پژوهش حاضر.

کلاس بافت خاک	عمق خاک (cm)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	pH	EC (µmohs/cm)
لوم شنی	۳۰-۰	۶۰/۷۷	۲۰/۲۶	۱۸/۹۷	۷/۴	۳۰۸
لوم رسی شنی	۷۰-۳۰	۵۲/۵۶	۲۱/۹۲	۲۵/۵۲	۷/۳	۲۹۴

اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در خاک

به منظور تعیین غلظت فلزات سنگین در خاک در اثر کاربرد فاضلاب، نمونه‌های خاک هر تیمار از دو عمق ۱۰-۰ و۲۰-۱۰ سانتی‌متری جمع‌آوری و در آزمایشگاه در محل سرپوشیده و در هوای آزاد خشک شدند. نمونه‌ها پس از خرد شدن مکانیکی از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند و سپس پنج گرم از آن در ظرف پلی اتیلنی ریخته و برای تهیه عصاره خاک از مخلوط دو اسید (اسید سولفوریک ۰/۰۲۵ نرمال و اسید کلریدریک ۰/۰۵ نرمال) استفاده گردید. و عصاره جمع-آوری شده و فلزات سنگین اندازه‌گیری گردیدند (آلووی ۱۹۹۰، علیزاده و همکاران ۱۳۸۷). برای تعیین غلظت فلزات سنگین در خاک از دستگاه اسپکتروفتومتری جذب اتمی مدل AAS Varian 220 ساخت استرالیا استفاده شد.

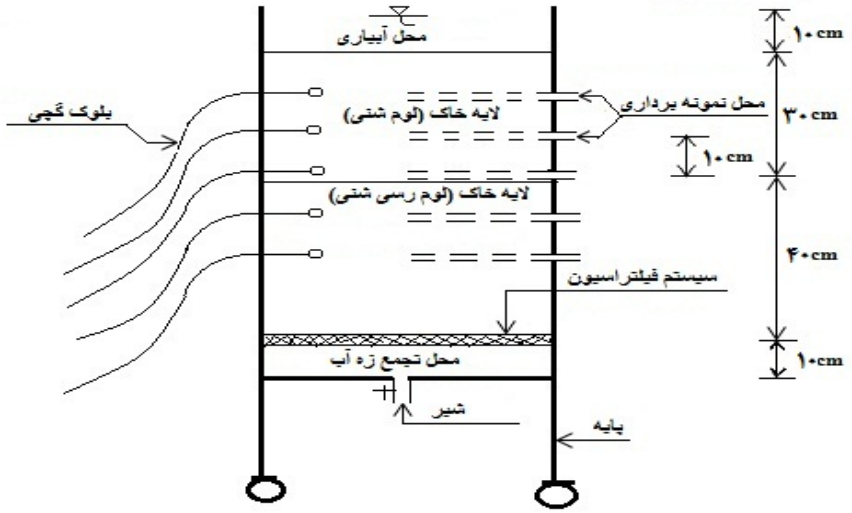
شاخص آلودگی (PI)

در این پژوهش به منظور تعیین میزان آلودگی فلزات سنگین در خاک (تحت تاثیر تیمارهای مختلف فاضلاب) از شاخص آلودگی استفاده گردید. مقدار PI به صورت زیر تعریف شده است (یو و همکاران ۲۰۰۴).

$$PI=C/X_a \qquad C\leq X_a$$
$$PI=1+(C-X_a)/(X_c-X_a) \qquad X_a<C\leq X_c$$
$$PI=2+(C-X_c)/(X_p-X_c) \qquad X_c<C\leq X_p$$
$$PI=3+(C-X_p)/(X_p-X_c) \qquad C>X_p$$

در معادلات فوق، C غلظت هر یک از فلزات سنگین (کادمیوم، روی، مس و سرب)، X_a آستانه غلظت غنی فلزات سنگین، X_C آستانه غلظت سطح کم آلودگی، X_P آستانه غلظت سطح بالای آلودگی می‌باشند. مقادیر X_a،

X_C و X_P که توسط یو و همکاران (۲۰۰۴) و استاندارد کیفیت محیطی برای خاک (بی‌نام ۱۹۹۵) تعریف شده‌اند در جدول ۲ ارائه گردیده‌اند. مقادیر PI برای هر فلز در چهار دسته به صورت: غیر آلوده (PI≤ 1)، سطح کم آلودگی (2 ≥PI> 1)، سطح محدود (متوسط) آلودگی (2 3 ≥PI>) و سطح بالای آلودگی (3 <PI) کلاس بندی شده‌اند (یو و همکاران ۲۰۰۴).



شکل۱- شمایی از لایسیمتر و لایه‌های خاک در پژوهش حاضر.

جدول ۲- آستانه غلظت‌های هر سطح آلودگی برای هر فلز سنگین (mg/kg).

فلزات	X_a	X_c	X_p
کادمیوم	۰/۱۵	۰/۳۰	۱
روی	۸۵	۲۰۰	۵۰۰
مس	۳۰	۵۰	۴۰۰
سرب	۳۵	۲۵۰	۵۰۰

طرح آماری

این پژوهش به صورت طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار آبیاری و سه تکرار (در شرایط کشت گلخانه‌ای) به اجراء در آمد. جهت اجرای این پژوهش چهار تیمار آبیاری شامل: فاضلاب خام (T_1)، فاضلاب تصفیه‌شده (T_2)، ترکیب ۵۰ درصد فاضلاب خام و آب معمولی (T_3) و ترکیب ۵۰ درصد فاضلاب تصفیه‌شده و آب معمولی (T_4) به کار گرفته شد.

در این پژوهش مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون دانکن و در محیط نرم‌افزار SAS 9.1 صورت گرفت. ضمناً معنی‌داری در سطح پنج درصد ($p \leq 0.05$) در نظر گرفته شد. همچنین به منظور نشان دادن ارتباط بین فلزات سنگین و ارائه پیشنهادهایی درباره منابع کلی آلودگی آنها از ضریب همبستگی پیرسون در محیط نرم‌افزار SPSS17 استفاده گردید.

نتایج و بحث

غلظت فلزات سنگین در فاضلاب خام و تصفیه‌شده

در جدول ۳ غلظت فلزات سنگین در خاک در ابتدای آزمایش، فاضلاب خام و پساب تصفیه‌شده همراه با مقادیر مجاز (با توجه به استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایران و سازمان فائو) ارائه گردیده است (پسکود ۱۹۹۲). همانطور که مشاهده می‌شود در فاضلاب تصفیه‌شده کلیه فلزات و در فاضلاب خام نیز تمامی فلزات سنگین (به جزء کادمیوم) در حد مجاز قرار دارند.

جدول ۳- غلظت فلزات سنگین در خاک (mg/kg)، فاضلاب‌های خام و تصفیه‌شده (mg/L) و غلظت مجاز.

فلزات	خاک سطحی	نوع فاضلاب		غلظت مجاز برای آب آبیاری	
		خام	تصفیه شده	سازمان محیط زیست[×]	فائو[××]
مس	۰۷/۵	۰/۰۷۰	۰/۰۵۲	۰/۲	۰/۲
روی	۶۳/۴	۰/۶۱۵	۰/۳۷۵	۲	۲
کادمیوم	۶۶/۰	۰/۰۱۴	۰/۰۱۰	۰/۰۵	۰/۰۱
سرب	۸/۲۲	۰/۰۶۴	۰/۰۳۴	۱	۵

[×] استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست (برای کشاورزی)، [××] بر اساس پسکود (۱۹۹۲).

شاخص PI و همبستگی بین فلزات در عمق ۰-۱۰ سانتی-متری خاک

الف- کادمیوم: نتایج بدست آمده نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری بر میزان PI در مورد فلز کادمیوم معنی‌دار (در سطح پنج درصد) می‌باشد (جدول ۴). بیشترین مقدار این شاخص در تیمار T_1 و کمترین در تیمار T_4 مشاهده گردید. ترتیب بزرگی میزان PI در مورد کادمیوم، در تیمارهای آبیاری به صورت $T_1 > T_3 > T_2 > T_4$ بوده و اختلاف معنی‌داری بین تیمار T_1 و تیمارهای T_3 و T_4 در سطح پنج درصد مشاهده گردید (جدول ۵). همچنین مقادیر PI در مورد کادمیوم بین ۲ و ۳ مشاهده گردید. که نشان دهنده آلودگی متوسط می-باشد

ب- سرب: اثر تیمارهای آبیاری بر میزان PI در مورد فلز سرب معنی‌دار (در سطح پنج درصد) بود (جدول ۴). بیشترین مقدار این شاخص در تیمار T_1 و کمترین در تیمار T_4 مشاهده گردید. ترتیب بزرگی میزان PI در مورد سرب، در تیمارهای آبیاری به صورت $T_1 > T_3 > T_2 > T_4$ بوده و اختلاف معنی‌داری بین تیمار T_1 با سایر تیمارها در سطح پنج درصد مشاهده گردید. همچنین بین تیمارهای T_2، T_3 و T_4 اختلاف معنی‌داری نبود (جدول ۵). در این پژوهش در مورد سرب، مقادیر PI کمتر از یک مشاهده گردید که نشان دهنده غیر آلوده بودن خاک در تیمارها می‌باشد.

د- روی: نتایج بدست آمده نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری بر میزان PI در مورد فلز روی معنی-دار (در سطح یک درصد) می‌باشد (جدول ۴). بیشترین مقدار این شاخص در تیمار T_1 و کمترین در تیمار T_4 مشاهده گردید. ترتیب بزرگی میزان PI در مورد روی، در تیمارهای آبیاری به صورت $T_1 > T_3 > T_2 > T_4$ بوده و اختلاف معنی‌داری بین تیمار T_1 با سایر تیمارها در سطح پنج درصد مشاهده گردید (جدول ۵). در این پژوهش در مورد روی، مقادیر PI کمتر از یک بود که نشان‌دهنده غیر آلوده بودن خاک در تیمارها می‌باشد

ه- مس: اثر تیمارهای آبیاری بر میزان PI در مورد فلز مس معنی‌دار (در سطح یک درصد) بود (جدول ۴). بیشترین مقدار این شاخص در تیمار T_1 و کمترین در تیمار T_4 مشاهده گردید. ترتیب بزرگی میزان PI در مورد مس، در تیمارهای آبیاری به صورت $T_1 > T_3 > T_2 > T_4$ بوده و اختلاف معنی‌داری بین تیمار T_1 با سایر تیمارها در سطح ۵ درصد مشاهده گردید و بین تیمارهای T_2 و T_3 در سطح پنج درصد اختلاف معنی-داری مشاهده نگردید (جدول ۵). در این پژوهش در مورد مس، مقادیر PI کمتر از یک مشاهده گردید که نشان دهنده غیر آلوده بودن خاک در تیمارها می‌باشد.

جدول ۴- تجزیه واریانس PI در مورد غلظت فلزات سنگین در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری خاک.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کادمیوم	روی	سرب	مس
تیمار	۳	۰/۰۱۳۷*	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۳۳*	۰/۰۰۱۳**
ضریب تغییرات		۱/۹۴۸	۲/۶۵۵	۲/۵۰۲	۳/۷۳۳

** معنی‌داری در سطح یک درصد، * معنی‌داری در سطح ۵ درصد

جدول۵- مقایسه میانگین PI در مورد غلظت فلزات سنگین (mg/kg) در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری خاک.

فلزات	تیمارهای آبیاری			
	T_1	T_2	T_3	T_4
کادمیوم	۲/۹۱۰$^{a\times}$	۲/۷۸۱^{b}	۲/۸۳۳^{ab}	۲/۷۵۷^{b}
روی	۰/۱۱۹^{a}	۰/۱۰۹^{b}	۰/۱۱۱^{b}	۰/۱۰۷^{b}
سرب	۰/۸۸۲^{a}	۰/۸۱۳^{b}	۰/۸۴۰^{b}	۰/۸۱۱^{b}
مس	۰/۲۹۹^{a}	۰/۲۶۸^{b}	۰/۲۷۸^{b}	۰/۲۴۸^{c}

× میانگین‌هایی که در هر سطر دارای حروف مشترک می‌باشند در سطح ۵٪ آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

نتایج ضریب همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری نشان داد که بیشترین مقدار این ضریب بین سرب و مس می‌باشد. که در سطح یک درصد معنی‌دار بود. همچنین کمترین مقدار نیز بین دو فلز روی و سرب مشاهده گردید که در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۶).

جدول ۶- ضریب همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری خاک.

فلزات	سرب	کادمیوم	روی	مس
سرب	۱			
کادمیوم	۰/۸۰۷**	۱		
روی	۰/۶۵۶*	۰/۸۰۳**	۱	
مس	۰/۸۴۰**	۰/۷۷۶**	۰/۷۸۶**	۱

** معنی‌داری در سطح یک درصد، * معنی‌داری در سطح ۵ درصد

شاخص PI و همبستگی بین فلزات در عمق ۱۰-۲۰ سانتی-متری خاک

الف- کادمیوم: نتایج بدست آمده نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری بر میزان PI در مورد فلز کادمیوم معنی‌دار (در سطح پنج درصد) می‌باشد (جدول ۷). بیشترین مقدار این شاخص در تیمار T_1 و کمترین در تیمار T_4 مشاهده گردید. ترتیب بزرگی میزان PI در مورد کادمیوم، در تیمارهای آبیاری به صورت $T_1 > T_3 > T_2 > T_4$ بوده و اختلاف معنی‌داری بین تیمار T_1 با سایر تیمارها در سطح پنج درصد مشاهده گردید (جدول ۸). مقایسه بین دو عمق نشان داد که میزان شاخص PI در عمق ۰-۱۰ بیشتر از مقدار آن در عمق ۱۰-۲۰ سانتی-متری می‌باشد. همچنین نتایج نشان دهنده قرار گرفتن خاک در کلاس آلودگی متوسط بر اساس این شاخص از نظر غلظت کادمیوم می‌باشد ($2 < PI \leq 3$).

ب- سرب: اثر تیمارهای آبیاری بر میزان PI در مورد فلز سرب معنی‌دار (در سطح یک درصد) می‌باشد (جدول ۷). بیشترین مقدار این شاخص در تیمار T_1 و کمترین در تیمار T_4 مشاهده گردید. ترتیب بزرگی میزان PI در مورد سرب، در تیمارهای آبیاری به صورت $T_1 > T_3 > T_2 > T_4$ بوده و اختلاف معنی‌داری بین تیمار T_1 با سایر تیمار در سطح پنج درصد بود. بین تیمارهای T_2 و T_3 در سطح پنج درصداختلاف معنی‌داری نبود (جدول ۸). مقایسه بین دو عمق از نظر PI نشان داد که میزان این شاخص در عمق ۰-۱۰ بیشتر از مقدار آن در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری می‌باشد. نتایج نشان‌دهنده قرار گرفتن خاک در کلاس غیرآلودگی بر اساس این شاخص از نظر غلظت سرب می‌باشد.

د- روی: نتایج بدست آمده نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری بر میزان PI در مورد روی معنی‌دار (در سطح پنج درصد) می‌باشد (جدول ۷). بیشترین مقدار این شاخص در تیمار T_1 و کمترین در تیمار T_4 مشاهده گردید. ترتیب بزرگی میزان PI در مورد روی، در تیمارهای آبیاری به صورت $T_1 > T_3 > T_2 > T_4$ بوده و اختلاف معنی‌داری بین تیمار T_1 با تیمارهای T_2 و T_3 در سطح پنج درصد مشاهده گردید (جدول ۸). مقایسه بین

دو عمق از نظر میزان PI نشان داد که میزان این شاخص در عمق ۰-۱۰ بیشتر از مقدار آن در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری می‌باشد. همچنین نتایج نشان دهنده قرار گرفتن خاک در کلاس غیر آلوده بر اساس این شاخص از نظر غلظت روی می‌باشد.

۵- مس: اثر تیمارهای آبیاری بر میزان PI در مورد مس معنی‌دار (در سطح یک درصد) می‌باشد (جدول ۷). بیشترین و کمترین مقدار این شاخص به ترتیب در تیمارهای T_1 و T_4 مشاهده گردید. ترتیب بزرگی میزان PI در مورد مس، در تیمارهای آبیاری به صورت $T_1 > T_3 > T_2 > T_4$ بوده و اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای T_2 و T_3 و بین تیمارهای T_2 و T_4 در سطح پنج درصد مشاهده نگردید (جدول ۸). مقایسه بین دو عمق نشان داد که میزان شاخص PI در عمق ۰-۱۰ کمتر از مقدار آن در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری می‌باشد. همچنین نتایج نشان‌دهنده قرار گرفتن خاک در کلاس غیر آلوده بر اساس این شاخص از نظر غلظت مس می‌باشد.

جدول ۷- تجزیه واریانس میزان PI در مورد غلظت فلزات سنگین (mg/kg) در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری خاک.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کادمیوم	روی	سرب	مس
تیمار	۳	۰/۰۵۱۰*	۰/۰۰۰۲*	۰/۰۰۴۳**	۰/۰۰۲۳**
ضریب تغییرات		۳/۳۴۳۵	۲/۲۷۷۶	۱/۵۹۱۵	۳/۱۵۳۰

** معنی‌داری در سطح یک درصد، * معنی‌داری در سطح ۵ درصد

جدول ۸- مقایسه میانگین میزان PI در مورد غلظت فلزات سنگین (mg/kg) در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری خاک.

فلزات	تیمارهای آبیاری			
	T_1	T_2	T_3	T_4
کادمیوم	۲/۹۰۰$^{a\times}$	۲/۶۹۵^{b}	۲/۷۱۴^{ab}	۲/۵۸۶^{b}
روی	۰/۱۰۹^{a}	۰/۰۹۳^{b}	۰/۰۹۸^{ab}	۰/۰۸۸^{b}
سرب	۰/۸۶۲^{a}	۰/۷۹۸^{b}	۰/۸۱۶^{b}	۰/۷۷۱^{c}
مس	۰/۳۴۸^{a}	۰/۲۹۲^{bc}	۰/۳۰۸^{b}	۰/۲۸۷^{c}

$^{\times}$ میانگین‌هایی که در هر سطر دارای حروف مشترک می‌باشند در سطح ۵٪ آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

نتایج ضریب همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری نشان داد که در این پژوهش بیشترین مقدار این ضریب بین سرب و مس در سطح معنی‌داری یک درصد بود. همچنین کمترین مقدار این ضریب نیز بین دو فلز روی و کادمیوم مشاهده گردید که غیر معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه بین دو عمق از نظر ضریب همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین نشان داد که میزان این ضریب در عمق ۰-۱۰ بیشتر از مقدار آن در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری (به جزء ضریب همبستگی بین روی و سرب و ضریب همبستگی بین مس و کادمیوم) است. همچنین نتایج نشان دهنده قرار گرفتن خاک در کلاس آلودگی متوسط بر اساس این شاخص از نظر غلظت کادمیوم می‌باشد.

جدول ۹- ضریب همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری خاک.

فلزات	سرب	کادمیوم	روی	مس
سرب	۱			
کادمیوم	۰/۷۲۷**	۱		
روی	۰/۷۱۲**	۰/۵۵۸ns	۱	
مس	۰/۸۱۱**	۰/۸۰۴**	۰/۷۶۶**	۱

** معنی‌داری در سطح یک درصد، ns غیر معنی‌دار

نتایج این پژوهش نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری بر میزان PI در مورد کادمیوم، روی، مس و سرب معنی‌دار می‌باشد. بیشترین مقدار این شاخص در تیمار T_1 و کمترین در تیمار T_4 مشاهده گردید. ترتیب بزرگی میزان PI در مورد این فلزات، در تیمارهای آبیاری به صورت $T_1> T_3> T_2> T_4$ بوده است. بالا بودن این شاخص نشان دهنده آلودگی بیشتر در آن تیمار می‌باشد که در این پژوهش بیشترین آلودگی در خاک آبیاری شده با فاضلاب خام به دلیل بالا بودن مقدار این شاخص مشاهده گردید. وجود غلظت زیاد این فلزات در فاضلاب خام ورودی نسبت به سایر تیمارها باعث ورود بیشتر این فلزات به سطح خاک می‌گردد. براساس نتایج پارسافر و معروفی (۱۳۹۲a) بیشترین ضریب انتقال فلزات کادمیوم، سرب، روی و مس در تیمار فاضلاب خام مشاهده گردید. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین ضریب انتقال از خاک به گیاه سیب‌زمینی به ترتیب مربوط به کادمیوم و سرب بود. عابدی کوپایی و همکاران(۲۰۰۶) در بررسی اثرات آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده نشان دادند که تجمع سرب، منگنز، نیکل و کبالت در خاک به طور معنی‌دار در تیمار فاضلاب افزایش یافته است.

آلهم و همکاران (۲۰۰۷) یک افزایش در غلظت مس، منگنز و آهن در خاک را در ارتباط با غلظت‌های بالای موجود در فاضلاب نشان دادند. بهمنیار (۱۳۸۶) نشان داد که استفاده از فاضلاب شهری برای کمک در آبیاری اراضی، میزان کادمیوم، نیکل، سرب و کروم در خاک را افزایش داد. همچنین صابر (۱۹۸۶) نشان داد که کاربرد هفت سال آبیاری فاضلاب اثر معنی‌داری روی غلظت مس در خاک نداشته است. بول و همکاران (۱۹۸۶) نیز گزارش کردند که کاربرد ۱۶ سال آبیاری فاضلاب غلظت روی را در خاک تا حد سمیت افزایش داده است. کلی و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که محتوی فلزات سنگین به خصوص برای سرب و کادمیوم با دوره آبیاری (با فاضلاب تصفیه‌شده) افزایش یافته است.

نتایج پژوهش حاضر نشان دهنده قرار گرفتن خاک در کلاس غیر آلوده بر اساس PI از نظر غلظت فلزات مورد بررسی (به جز کادمیوم) می‌باشد. یانگ و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که مقدار PI در خاک‌های سطحی شهر چانگ چون در چین بالا نبوده است.

مقایسه بین دو عمق از نظر میزان PI نشان داد که به جز فلز مس میزان این شاخص در عمق ۰-۱۰ بیشتر از مقدار آن در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری می‌باشد. آلوده بودن خاک در لایه بالایی در مقایسه با لایه پایین و تحرک کم این فلزات در ستون خاک از دلایل تجمع این فلزات در لایه‌های سطحی می‌باشد. پارسافر و معروفی (۱۳۹۲b) نشان دادند که غلظت کادمیوم، سرب و نیکل با افزایش عمق خاک کاهش می‌یابند و بیشترین غلظت این فلزات در خاک آبیاری شده با فاضلاب خام مشاهده گردید. در پژوهشی دیگر معروفی و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که بیشترین تجمع فلزات سنگین در گیاه سیب‌زمینی مربوط به تیمار آبیاری شده با فاضلاب خام می‌باشد. عابدی کوپایی و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که تجمع سرب، منگنز، نیکل، کبالت، مس و روی با عمق خاک کاهش یافته است. بهبهانی‌نیا و همکاران (۲۰۰۹) نیز نشان داد که تجمع بیشتر فلزات سنگین در لایه سطحی خاک است. سیبه (۱۹۹۸) افزایش غلظت سرب و کادمیوم در لایه افقی خاک (۳۰-۰ سانتی‌متر) را تحت آبیاری با فاضلاب در مقایسه با آب چاه برای دوره بیش از ۸۰ سال گزارش نمود. استرک و ریچر (۱۹۹۷) گزارش کردند که حرکت فلزات سنگین در خاک آبیاری شده با فاضلاب بسیار کند بوده به طوری‌که بیش از ۹۰ درصد تجمع غلظت فلزات نیکل، کادمیوم و سرب در عمق ۱۵-۱۰ سانتی‌متری خاک مشاهده گردید.

نتایج ضریب همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین در دو عمق نشان داد که در این پژوهش بیشترین مقدار این ضریب بین سرب و مس مشاهده گردید که در سطح یک درصد معنی‌دار بود. همچنین کمترین مقدار این ضریب نیز بین دو فلز روی و سرب برای عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری و بین دو فلز روی و

کادمیوم برای عمق ۱۰-۲۰ مشاهده گردید. مقایسه بین دو عمق از نظر ضریب همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین نشان داد که میزان این ضریب در عمق ۰-۱۰ بیشتر از مقدار آن در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری (به جزء ضریب همبستگی بین روی و سرب و ضریب همبستگی بین مس و کادمیوم) می‌باشد. یانگ و همکاران (۲۰۱۱) ضریب همبستگی مثبت معنی‌داری بین فلزات سنگین با همدیگر در خاک سطحی را گزارش کردند این ضریب همبستگی بین سه فلز روی، مس و سرب دارای همبستگی بالایی مشاهده گردید. با توجه به همبستگی بالا بین فلزات مورد بررسی، می‌توان پیشنهادهایی را در ارتباط با منابع آلودگی این فلزات ارائه نمود. از آنجایی‌که در پژوهش حاضر از فاضلاب استفاده شده بود لذا می‌توان نتیجه‌گیری کرد که یکی از منابع کلی آلودگی این فلزات، فعالیت‌های صنعتی (فاضلاب ناشی از آن) می‌باشند. که با توجه به وجود این فلزات در فاضلاب‌های صنعتی این همبستگی بالا قابل انتظار بود.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش آلودگی خاک در اثر کاربرد تیمارهای فاضلاب بر اساس میزان شاخص آلودگی (PI) نشان داد که مقدار این شاخص در حد پایین می-باشد (به جز کادمیوم). تیمار فاضلاب خام دارای بیشترین مقدار این شاخص می‌باشد. وجود آلودگی در خاک در ارتباط با منبع آلودگی می‌باشد. هر چه میزان این فلزات در آب آبیاری ورودی بیشتر باشد خاک بیشتر در معرض آلودگی قرار خواهد گرفت. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش عمق، مقدار این شاخص کاهش نشان داد (به جز مس). بر اساس پژوهش‌های اشاره شده حرکت فلزات سنگین در خاک آبیاری شده با فاضلاب کند بوده به طوری که سبب تجمع بیشتر فلزات در لایه سطحی خاک می‌گردد. کاهش غلظت این فلزات با افزایش عمق گزارش شده است که می‌تواند به دلیل نگه داشتن این فلزات با قدرت زیاد توسط ذرات خاک باشد. بررسی ضریب همبستگی بین فلزات نشان-دهنده ضریب همبستگی مثبت بالایی بین این فلزات در دو عمق مورد بررسی بود.

منابع مورد استفاده

بهمنیار مع، ۱۳۸۶. تأثیر مصرف فاضلاب در آبیاری گیاهان زراعی بر میزان برخی از عناصر سنگین خاک و گیاهان. مجله محیط شناسی، سال سی و سوم، شمارهٔ ۴۴، صفحه‌های ۱۹ تا ۲۶.

پارسافر ن و معروفی ص، ۱۳۹۲a. بررسی ضریب انتقال کادمیوم، روی، مس و سرب از خاک به گیاه سیب‌زمینی تحت تأثیر کاربرد فاضلاب. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال ۱۷، شماره ۶۶، صفحه-های ۱۹۹ تا ۲۰۹.

پارسافر ن و معروفی ص، ۱۳۹۲b. اثر کاربرد فاضلاب بر تجمع عناصر سنگین در نیمرخ خاک تحت شرایط گلخانه‌ای – لایسیمتری. موسسه تحقیقات آب و خاک، مجله پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۲۷، شماره ۲، صفحه‌های ۲۲۹ تا ۲۳۹.

حسین پور ا، حق نیا غ، علیزاده ا و فتوت ا، ۱۳۸۶. تأثیر آبیاری با فاضلاب خام و پساب شهری بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک در اعماق مختلف در دو شرایط غرقاب پیوسته و متناوب. مجله آبیاری و زهکشی ایران، سال اول، شماره ۲، صفحه‌های ۷۳ تا ۸۵.

عابدی مج و نجفی پ، ۱۳۸۰. استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده در کشاورزی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۲۴۸ صفحه.

علیزاده م، فتحی ف و ترابیان ع، ۱۳۸۷. بررسی مقدار تجمع فلزات سنگین در گیاهان علوفه‌ای تحت آبیاری با فاضلاب در جنوب تهران مطالعه موردی ذرت و یونجه. مجلهٔ محیط شناسی، جلد ۳۴، شمارهٔ ۴۸، صفحه‌های ۱۳۷ تا ۱۴۸.

مرادمند م و بیگی هرچگانی، ح ا، ۱۳۸۷. اثر آبیاری با پساب تصفیه‌شده شهری بر توزیع سرب در اندام فلفل سبز و خاک. دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

Abedi-Koupai J, Mostafazadeh-Fard B, Afyuni M and Bagheri MR, 2006. Effect of treated wastewater on soil chemical and physical properties in an arid region. Plant Soil and Environment 52(8): 335-344.

Al-Lahham O, El Assi NM and Fayyad M, 2007. Translocation of heavy metals to tomato (Solanum lycopersicom L.) fruit irrigated with treated wastewater. Scientia Horticulturae 113: 250-254.

Alloway BJ, 1990. Heavy Metal in Soil. Blackie and Son Ltd., Lonodon, 339P.

Anonumous, 1995. Environmental quality standard for soils (GB 15618-1995). NEPA (National Environmental Protection Agency of China), Standards press of China, Beijing. (In Chinese).

Behbahaninia A, Mirbagheri SA, Khorasani N, Nouri J and Javid AH, 2009. Heavy metal contamination of municipal effluent in soil and plants. Journal of Food Agriculture and Environment 7(3 & 4): 851-856.

Boll R, Dernbach H and Kayser R, 1986. Aspects of land disposal of wastewater as experienced in Germany. Journal of Water Science and Technology 18: 383-390.

Bouyoucos GJ, 1962. Hydrometer method for making particle analysis of soil. Agronomy Journal 54: 464-465.

Brar MS, Khurana MPS and Kansal BD, 2002. Effect of Irrigation by Untreated Sewage Effluents on the Micro and Potentially Toxic Elements in Soils and Plants, Department of Soils, Punjab Agricultural University, Ludhiana, Punjab, India.

Faruqui N, Niang S and Redwood M, 2002. Untreated wastewater reuse in market gardens: A Case-Study of Dakar, Senegal. Paper presented at the International Water Management Institute Workshop on Wastewater Reuse in Irrigated Agriculture: Confronting the Livehood and nvironmental Realities, International Water Management Institute, Hyderabad, India.

Klay S, Charef A, Ayed A, Houman B and Rezgu F, 2010. Effect of irrigation with treated wastewater on geochemical properties (saltiness, C, N and heavy metals) of isohumic soils (Zaouit Sousse perimeter, Oriental Tunisia). Desalination 253: 180-187.

Marofi S, Parsafar N, Rahim GH, Dashti F and Marofi H, 2013. The effects of wastewater reuse on potato growth properties under greenhouse-lysimeteric condition. International Journal of Environmental Science and Technology 10: 133-140.

Martinez J, 1999. Irrigation with saline water. Agricultural Water Management 40: 213-225.

Mohammad M and Mazahreh N, 2003. Changes in soil fertility parameters in response to irrigation of forage crops with secondary treated wastewater, Communications in Soil Science and Plant Analalysis 34 (9&10):1281-1294.

Pescod MB, 1992. Wastewater treatment and use in agriculture. FAO, Irrigation and Drainage paper. 47. Pp. 113.

Saber MSM, 1986. Prolonged effect of land disposal of human wastes on soil conditions. Journal of Water Science and Technology 18: 371-374.

Siebe C, 1998. Nutrient Inputs to Soils and Their Uptake by Alfalfa Through Long-Term Irrigation with Untreated Sewage Effluent in Mexico, Soil-Use-Manage, CAB International, Oxford.

Smit J and nasr J, 1992. Urban agriculture for sustainable cities: using wastes and idle land and water bodies as resources. Environmental Urban 4(2): 141-152.

Streck T and Richter J, 1997. Heavy metal displacement in a sandy soil at the field scale: I. Measurements and parameterization of sorption. Journal of Environmental Quality. 26: 49-56.

Yang ZH, Lu W, Long Y, Bao X and Yang Q, 2011. Assessment of heavy metals contamination in urban topsoil from Changchun City, China. Journal of Geochemical Exploration 108: 27-38.

Yu L, Zhang B and Zhang SQ, 2004. Heavy metal elements pollution evaluation on the ecological environment of the Sanjiang Plain based on GIS. Chinese Journal of Soil Science 35 (5): 529-532 (In Chinese).