مدیریت آب و آبیاری
دوره ۹ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۸
صفحه‌های ۳۳۲-۳۲۱

اثر آبیاری با فاضلاب بر انباشت فلزات سرب و کادمیوم در خاک و دانه‌های گندم و جو

لیلا حاتمیان[۱]، مریم رفعتی[۲]، فروغ فرساد[۳]
۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
۲. استادیار، گروه محیط‌زیست، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران.
۳. استادیار، گروه علوم محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۳۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۱۴

چکیده

نظر به کمبود منابع آب با کیفیت، استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده به‌عنوان یکی از منابع آبی در دسترس، می‌تواند تا حدی از چالش تقاضای آب در بخش کشاورزی در کشور بکاهد. هدف از این پژوهش، بررسی تجمع سرب و کادمیوم در خاک و محصولات زراعی گندم (با کاربرد فاضلاب تصفیه‌شده برای آبیاری) و جو (آبیاری با ترکیبی از فاضلاب تصفیه‌نشده و آب چاه)، در شهرستان قدس می‌باشد. به این منظور، طی سه ماه رویشی (نیمه اسفندماه تا نیمه خردادماه ۱۳۹۶) هر ۱۰ روز یک نمونه از هر تیمار آبیاری جهت بررسی خصوصیات آب‌های ورودی آزمایش شد (مجموعاً ۹ نمونه از هر تیمار). ۶۰ نمونه گیاه گندم و جو (۳۰ نمونه از هر گیاه) و ۳۰ نمونه خاک در پای هر گیاه نیز در خردادماه ۱۳۹۶ به‌صورت تصادفی برداشت شد. نتایج نشان داد که مقادیر pH، هدایت الکتریکی، اکسیژن‌خواهی زیستی و شیمیایی و غلظت‌های کادمیوم و سرب در تیمار ترکیبی فاضلاب تصفیه‌نشده و آب چاه بیش‌تر از تیمار فاضلاب تصفیه‌شده بود. میانگین غلظت کادمیوم در دانه‌های دو گیاه دارای اختلاف معنی‌داری نبود، هرچند غلظت سرب در دانه جو به‌صورت معنی‌داری بیش‌تر از گندم بود. میانگین هر دو فلز در خاک مزارع گندم با جو دارای اختلاف معنی‌داری نیست. ضریب تجمع زیستی در دانه‌های گندم و جو نشان داد که هیچ‌کدام توانایی استخراج فلزات مذکور را ندارند. تنها غلظت فلز سنگین سرب در دانه جو بیش‌تر از استاندارد سازمان جهانی بهداشت بود که نشان می‌دهد دانه جو تولیدشده در این مزرعه برای مصرف انسان مضر می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: استخراج گیاهی، زمین‌های کشاورزی، شهر قدس، ضریب تجمع زیستی، منابع آب.

Effect of Irrigation with Wastewater on Lead and Cadmium Accumulations in the Soils and Plants of Wheat and Barley

Leila Hatamian[1], Maryam Rafati[2*], Forough Farsad[3]
1. Former M.Sc. Student of Environment, Natural Resources and Environment Faculty, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Environment, Technical and Engineering Faculty, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Environmental Science, Natural Resources and Environment Faculty, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
Received: September 21, 2019 Accepted: February 03, 2020

Abstract

By considering the lack of high-quality water resources, the use of refined sewage as cheaply available water resources can reduce the challenge for water demand in Iran. This research aimed to investigate the accumulation of lead and cadmium in soil and seed of wheat and barley crops that are irrigated by refined sewage and a mixture of unrefined sewage and well water, respectively, in Qods city. During two growth months (March and May 2017), every ten days, one sample of each treatment was investigated to evaluate the physical and chemical properties of incoming water (totally nine samples per treatment). Sixty samples (30 samples from each plant) were randomly harvested. For soil measurement, 30 samples were randomly sampled in each filed (May 2017). The results showed that the values of EC, biological and chemical oxygen demands, lead and cadmium concentrations were more in the mixture of well water and unrefined water than refined water. There was no significant difference between the cadmium concentrations in the seeds of the two plants; however, the lead concentration in the seeds of barely was significantly more than wheat. The differences in the mean of lead and cadmium concentrations in the soil of two plants were not significant. The results of the bioconcentration factor i showed that none of the plant's ability to extract lead and cadmium. Only the concentration of lead metal in barley is higher than the World Health Organization standard, which indicates that the grain produced in this field is harmful to human consumption.

Keywords: Bioconcentration factor, Farmlands, Phytoextracting, Qods city, Water resources.

* نویسنده مسئول Email: m_rafati@iau-tnb.ac.ir

مقدمه

رشد روزافزون جمعیت جهان، همگام با گسترش فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی از یک‌سو و خشک‌سالی‌های پی‌درپی در بیش‌تر کشورهای واقع در کمربند خشک جهان از سوی دیگر، موجب شده است در سال‌های اخیر تقاضا برای آب افزایش یابد و در نتیجه فشار بیش از اندازه به منابع آب وارد گردد (۲۰ و ۳). ازاین‌رو استفاده از آب‌های نامتعارف به‌طوری‌که هم از جنبه اقتصادی و هم در توسعه کشاورزی مؤثر باشد، در سالیان اخیر موردتوجه قرار گرفته است. روش‌های جایگزین رایج برای منابع آب کشاورزی شامل نمک‌زدایی از آب‌های شور و هم‌چنین استفاده مجدد از فاضلاب‌های شهری و صنعتی است (۹ و ٤).

بررسی‌ها نشان‌گر آن است که فاضلاب تولیدی کشور در سال ۱٤۰۰ خورشیدی، به رقمی برابر با ۵۱ درصد آب مصرفی می‌رسد. بنابراین، کاربرد مجدد آن در کشاورزی به‌علت نیاز روزافزون به این ماده حیاتی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، می‌تواند تا حدودی کمبود آب را در این مناطق جبران کرده و درعین‌حال به‌عنوان یک روش تقریباً دفع ایمن محیط‌زیستی برای فاضلاب به کار رود (٤ و ۱۰). علاوه بر این، وجود عناصر غذایی در فاضلاب که برای گیاهان قابل‌استفاده هستند، سبب کاهش مصرف کودهای شیمیایی و به‌دنبال آن کاهش اثرات منفی محیط‌زیستی استفاده از آن‌ها می‌شود. از سویی دیگر، استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده شاید بتواند تا حدودی کمبود آب را جبران کند، ولی آثار منفی احتمالی این آب‌ها در آلودگی محیط‌زیست می‌باید در نظر گرفته شود (۲۱، ۱۲). وجود عناصر سنگین در فاضلاب و تجمع آن‌ها در خاک و دانه‌های گیاهان ازجمله موارد مهم محیط‌زیستی است. هرچند غلظت عناصر سنگین در فاضلاب ممکن است ناچیز باشد، ولی تجمع آن‌ها در خاک می‌تواند سبب افزایش غلظت این عناصر در گیاهان کشت‌شده و ورود آنها به زنجیره غذایی گردد که نتیجه آن بروز آثار نامطلوب بر سلامت مصرف‌کنندگان است. هم‌چنین باید توجه داشت که نوع و مقدار فلزات سنگین از مکانی به مکانی دیگر و حتی در یک مکان خاص، در طول زمان متفاوت است (۱۸).

تاکنون مطالعات مختلفی درباره تأثیر آبیاری با فاضلاب بر تغییرات فلزات سنگین در خاک و گیاه انجام شده است. برای نمونه، با مقایسه خصوصیات آبیاری با پساب تصفیه‌خانه فاضلاب اولنگ مشهد نسبت به آبیاری با آب چاه‌های منطقه مشخص شد که کیفیت پساب از نظر تمامی پارامترهای مورد سنجش با استانداردهای آبیاری کشاورزی مطابقت داشته و حتی تأثیر بهتری بر عملکرد محصول گندم دارد (۲). در پژوهشی دیگر، تأثیرآبیاری با آب آلوده رودخانه قره‌سو کرمانشاه بر تجمع فلزات سنگین مس، آهن، روی، کادمیوم و منگنز در گندم و جعفری در فرامان کرمانشاه مورد مطالعه قرار گرفته که نتایج گویای غلظت زیاد همه عناصر (به‌جز مس) در اندام‌های مختلف گیاهی تحت تأثیر آبیاری با فاضلاب تصفیه‌نشده در مقایسه با آبیاری با آب چاه بود (۸). نتایج تحقیقی درباره آبیاری درازمدت با پساب تصفیه‌نشده در منطقه طاقانک شهرکرد نشان داد که آبیاری با پساب تصفیه‌نشده منجر به افزایش غلظت روی، مس، کروم و نیکل در خاک و کاهش تجمع کادمیوم و سرب شده است که غلظت کادمیوم، کروم و سرب در دانه گندم و ذرت، از حد استانداردهای مجاز بالاتر بود (۱). مطالعه تجمع فلزات سنگین مس، آهن، روی، کادمیوم و منگنز در محصولات مختلف گیاهانی هم‌چون جو، ذرت و جعفری تحت تأثیر آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده شهری کرمانشاه نشان داد که آبیاری با فاضلاب به‌طور معنی‌داری موجب تجمع فلزات سنگین در گیاهان می‌شود (٦). نتایج مطالعات بر تأثیر استفاده

از فاضلاب بر واکنش برخی محصولات کشاورزی مانند گوجه و کاهو و سمیت خاک در تونس، گویای غلظت بیش از استاندارد کادمیوم و نیکل در گیاهان بود و بر رشد و فتوسنتز این محصولات تأثیرات زیان‌باری داشت (١٦). آبیاری درازمدت با پساب خانگی در ایالت کارناتاکای هند باعث آلودگی خاک و گیاه گندم به فلزات سنگین سرب، نیکل، کروم و کادمیوم شد؛ هرچند که مقدار اندازه‌گیری‌شده آنها زیر حد مجاز سازمان بهداشت جهانی بوده است (٢٧). بنابراین می‌توان گفت که در مناطق مختلف برای گیاهان مختلف، نتایج متفاوتی در مورد انباشت فلزات سنگین در خاک و گیاهان گزارش شده و نیاز است مطالعات بیش‌تری در این زمینه انجام گیرد. نظر به کمبود منابع آب با کیفیت، استفاده بهینه از فاضلاب به‌عنوان منبع آبی در دسترس می‌تواند تا حدی از چالش تقاضای آب در کشور بکاهد. از سویی دیگر گرچه بدن انسان به عناصری از قبیل روی، مس، نیکل و کروم در مقادیر بسیار کم نیازمند است، ولی مقادیر جزئی عناصری مانند کادمیوم و سرب برای سلامتی انسان خطرناک است. به‌عنوان مثال تجمع کادمیوم در بدن انسان منجر به عملکرد نادرست کلیه و ایجاد سرطان و تجمع سرب باعث اختلال در سیستم عصبی، کم‌خونی و آسیب کلیوی می‌شود (١). در همین راستا، پژوهش حاضر با هدف بررسی مقدار تجمع فلزات سنگین سرب و کادمیوم در خاک و دانه‌های گندم (رقم پیشکار) که با فاضلاب تصفیه‌شده و دانه‌های جو (رقم یوسف) که با ترکیبی از فاضلاب تصفیه‌نشده و آب چاه آبیاری می‌شوند، در شهرستان قدس بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در اراضی کشاورزی نزدیک به تصفیه‌خانه فاضلاب شهر قدس انجام شد. شهر قدس یکی از شهرهای قدیمی استان تهران است که با قرارگرفتن در کنار جاده قدیم تهران- کرج و هوای خوب کوهپایه‌ای، در چند سال اخیر میزبان سکونت مهاجرین بسیاری از سایر شهرهای کشور بوده است. این شهرستان در عرض جغرافیایی ٣٥ درجه و ٤٣ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ٥١ درجه و ٧ دقیقه شرقی و در ارتفاع متوسط ١١٥٠ متر از سطح دریاهای آزاد قرار دارد که دارای باغ‌ها، مزارع و زمین‌های کشاورزی فراوان است و در آنها محصولات مختلفی از جمله گندم و جو کشت می‌شود. کشت گیاهان گندم و جو در آبان ١٣٩٥ انجام گرفته بود. در این بررسی، زمین‌هایی که توسط فاضلاب تصفیه‌شده (برای گندم) و زمین‌هایی که با ترکیب تقریباً برابر فاضلاب تصفیه‌نشده و آب چاه (برای جو) آبیاری می‌شدند، به‌عنوان منطقه مورد پژوهش انتخاب شدند. این اراضی توسط تیمارهای یادشده از سال ١٣٩٤ مورد آبیاری قرار گرفتند. فرآیند تصفیه در تصفیه‌خانه قدس (ظرفیت تصفیه‌خانه: ٢٨ هزارو ٦٥٠ مترمکعب؛ عرض جغرافیایی: ٣٥ درجه و ٤١ دقیقه و ٦ ثانیه شمالی و طول جغرافیایی: ٥١ درجه و ٧ دقیقه و ٥٧ ثانیه شرقی) به‌روش لجن فعال از نوع بیولاک و شامل مراحل تصفیه مقدماتی، اولیه و ثانویه و نهایتاً گندزدایی آن است که از سال ١٣٨٦ خورشیدی، این تصفیه‌خانه شروع به‌کار کرده است. این تصفیه‌خانه در مجاورت زمین‌های زیر کشت گندم قرار دارد. وجود فلزات سنگین مانند سرب و کادمیوم در فاضلاب‌های این منطقه به‌دلیل وجود کارخانجات صنعتی در نزدیکی تصفیه‌خانه قدس بود.

در دوره پژوهش، آبیاری این اراضی به‌صورت هفتگی انجام می‌شد. نمونه‌های آب موردمطالعه از آب‌های ورودی که شامل تیمار فاضلاب تصفیه‌شده و تیمار ترکیب فاضلاب تصفیه‌نشده و آب چاه به مزارع بود، در سه ماه رویشی (هفته دوم اسفندماه تا هفته دوم خردادماه ١٣٩٦) هر ١٠ روز به‌صورت متوالی برداشت شد (نه

نمونه از هر تیمار با سه تکرار). فاصلاب تصفیه‌نشده قبل از ورود به تصفیه‌خانه به سمت مزارع هدایت و با آب چاه ترکیب می‌شدند (با نسبت تقریباً برابر). برای نمونه‌برداری‌ها از ظروف پلی‌اتیلینی درب‌دار استفاده شد. ظروف نمونه‌برداری چند بار با آب مورد نمونه‌برداری شسته شدند و سپس در محل نمونه‌برداری pH نمونه‌ها با اسید نیتریک غلیظ به زیر دو رسانده شد و به آزمایشگاه فرستاده شدند (آزمایشگاه مرکز تحقیقات آب و خاک استان تهران). جهت بررسی میزان تجمع فلزات سنگین در خاک و گیاهان گندم و جو، ابتدا نقشه اراضی کشاورزی منطقه تهیه (قسمتی که با آب فاضلاب تصفیه‌شده و ترکیب آب چاه به‌همراه فاضلاب تصفیه‌نشده آبیاری گردیده بود) و تعداد ۱۰۰ نقطه برای نمونه‌گیری در هر مزرعه (وسعت هر مزرعه ٤ هکتار) به‌صورت تصادفی منظم، نقاط به فواصل تقریباً ۲۵ متر پیاده شدند و از بین آن‌ها، ۳۰ نقطه برای نمونه‌گیری به‌صورت تصادفی در هر مزرعه گیاهی انتخاب شد. مزارع موردمطالعه تحت مدیریت کشاورزان محلی قرار داشت که بنابر گفته آنها در طول دوره پژوهش و تا ۷ سال قبل از آن، از کودهای شیمیایی در مزارع خود استفاده نکرده‌اند. نمونه‌های گیاهی موردمطالعه، دانه‌های گندم و جو بودند. زیرا تنها این بخش از گیاه به‌طور مستقیم وارد بدن انسان می‌شود. به‌علاوه این دانه‌ها به‌عنوان محصولات کشاورزی استراتژیک در کشور شناخته می‌شوند (۱) که در مجموع ۳۰ نمونه گیاه گندم و ۳۰ نمونه گیاه جو، به‌صورت تصادفی در زمان رسیدگی فیزیولوژیک دانه‌ها در خردادماه سال ۱۳۹٦ برداشت شدند (گیاه گندم در ۱٦ خردادماه ۱۳۹٦ و گیاه جو در ۳۰ خردادماه ۱۳۹٦ برداشت شدند). سپس در پایان فصل رویش در پای هر گیاه، از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری نیز یک نمونه خاک جمع‌آوری‌شده و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک برداشت‌شده پس از انتقال به آزمایشگاه اندازه‌گیری شد (۸). نمونه‌های خاک در آون به‌مدت ۲٤ ساعت در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد و سپس از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. جهت اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در خاک، از روش هضم اسیدی با اضافه‌کردن اسید نیتریک استفاده شد (۲٦). دانه‌های گندم و جو پس از شست‌وشو با آب مقطر، به‌مدت ٤۸ ساعت در دمای اتاق خشک شدند. سپس دانه‌های خشک‌شده، خُرد و به‌مدت ۲٤ ساعت در آون (با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفتند. برای اندازه‌گیری فلزات سنگین از روش عصاره-گیری خاکستر خشک استفاده شد (۱۷، ۲۸). در نهایت غلظت سرب و کادمیوم در عصاره‌های صاف‌شده خاک و دانه‌های گندم و جو با استفاده از دستگاه جذب اتمی گرافیتی (مدل SpectrAA- 200 ساخت کمپانی *VARIAN* استرالیا) اندازه‌گیری شد.

در این پژوهش، عامل تجمع زیستی (BCF)[1] که از تقسیم غلظت فلز در گیاه بر غلظت فلز در خاک به‌دست می‌آید، محاسبه شد. مقدار بیش‌تر از یک این عامل در اندام دانه، نشان‌دهنده قدرت انتقال فلز از خاک و تجمع فلز در اندام دانه است که انباشت فلزات در اندام‌های هوایی (مانند دانه)، نشان‌دهنده قابلیت استخراج فلز سنگین از خاک توسط گیاه است (۲٦).

برای تجزیه و تحلیل آماری، از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف جهت بررسی نرمال‌بودن داده‌ها و آزمون لون برای بررسی همگن‌بودن داده‌ها استفاده شد. با استفاده از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه (ANOVA)، مقایسه میانگین‌ها انجام شد و در صورت معنی‌داربودن اختلافات، از آزمون دانکن بهره گرفته شد. هم‌چنین از آزمون t مستقل به‌منظور بررسی اختلاف غلظت فلزات سنگین در

1. Bio-concentration factor

خاک هر دو گیاه و بین دانه‌های دو گیاه استفاده شد. به‌منظور بررسی این مسئله که آیا غلظت کادمیوم در گیاهان متأثر از غلظت کادمیوم در خاک گیاهان است، از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. کلیه آنالیزهای آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد و با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۲) صورت گرفت.

نتایج و بحث

جدول‌های (۱) و (۲) به‌ترتیب ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و تیمارهای آبیاری مورداستفاده در هر مزرعه را نشان می‌دهد. براساس جدول (۱)، بافت غالب خاک در هر دو منطقه لومی است و مقدار pH آنها در محدوده خنثی قرار دارد که برای رشد گیاهان مناسب است. میانگین ماده آلی در خاک گندم ۰/۹٤ درصد و درخاک جو ۱/۲۲ درصد اندازه‌گیری شد که در محدوده مجاز مواد آلی در خاک‌هایی که با آب فاضلاب آبیاری شدند (محدوده صفر تا ۱/۷۵ درصد) است (۲۵). براساس جدول (۲)، مقادیر pH، هدایت الکتریکی (EC)، اکسیژن‌خواهی زیستی (BOD)، اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD) و غلظت‌های کادمیوم و سرب در تیمار ترکیبی فاضلاب تصفیه‌نشده و آب چاه بیش‌تر از تیمار فاضلاب تصفیه‌شده بود. هم‌چنین مقایسه این پارامترها با مقادیر استاندارد نشان داد که متوسط pH و EC در هر دو تیمار آبیاری در دامنه استاندارد تعیین‌شده FAO برای کاربرد فاضلاب در مصارف کشاورزی و آبیاری (۸/۵-٦/۵ برای pH و ۳ دسی‌زیمنس بر متر برای EC) قرار گرفته است (۱۹). pH یک پارامتر تأثیرگذار بر مقدار حلالیت نسبی مواد مغذی و فلزات سنگین بوده که بر رشد و عملکرد گیاه اثرگذار است (۱۵). مقدار BOD در فاضلاب تصفیه‌شده غیرقابل تشخیص اندازه‌گیری شد که نشان می‌دهد تصفیه‌خانه به‌خوبی BOD را از بین می‌برد و بنابراین مقدار BOD در فاضلاب تصفیه‌شده از استاندارد سازمان حفاظت از محیط‌زیست ایران (۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) پایین‌تر است، اما در ترکیب فاضلاب تصفیه‌نشده و آب چاه، ۱۹۰ میلی‌گرم بر لیتر حاصل شد که بالاتر از استاندارد مذکور قرار دارد. مقدار COD تنها در ترکیب آب چاه و فاضلاب تصفیه‌نشده، بالاتر از حد استاندارد (۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر: سازمان حفاظت محیط‌زیست کشور) بود (۲). هم‌چنین مقدار کادمیوم (۰/٤۲ میلی‌گرم بر لیتر) در ترکیب آب چاه و فاضلاب تصفیه‌نشده از استانداردهای سازمان جهانی بهداشت و FAO که حدمجاز مقدار این عنصر را ۰/۰۱ میلی‌گرم در لیتر می‌دانند، بیش‌تر است، اما در فاصلاب تصفیه‌شده، مقدار آن برابر با ۰/۰۰۵ میلی‌گرم در لیتر بوده که زیر حد مجاز قرار دارد (۱۹، ۳۰). در مورد سرب، غلظت آن در هر دو تیمار آبیاری کم‌تر از حد استاندارد سازمان حفاظت از محیط‌زیست کشور (یک میلی‌گرم بر لیتر)، سازمان جهانی بهداشت و FAO (پنج میلی‌گرم بر لیتر) است (۱۹، ۳۰). به‌علاوه، نتایج این پژوهش نشان داد که محدودیتی برای استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده جهت آبیاری مزارع، با توجه به پارامترهای موردبررسی یادشده وجود ندارد که با نتایج دیگر پژوهش‌گران در مورد تأیید استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده در آبیاری محصولات ذرت، جو، بامیه و جعفری در اراضی کشاورزی کرمانشاه (٦)، گیاهان صنعتی و علوفه‌ای در اراضی کشاورزی شهرکرد (۵) و جو در اراضی کشاورزی شهر یزد (۱۰) هم‌خوانی دارد. اما آبیاری با ترکیب آب چاه و فاضلاب تصفیه‌نشده در این منطقه می‌تواند در درازمدت باعث بروز مشکلاتی در خاک و محصولات کشاورزی شود که با مطالعه تأثیر آبیاری با پساب آلوده در فرامان کرمانشاه بر تجمع برخی فلزات سنگین در خاک و محصولات زراعی گندم و جعفری همسو است (۸).

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

نوع	بافت	pH	مواد آلی (درصد)	هدایت الکتریکی (dS/m)	ظرفیت تبادل کاتیونی (meq/100g)	ازت کل (mg/kg)
خاک آبیاری‌شده با فاضلاب تصفیه‌شده	لوم	۷/٤٦	۰/۹٤	٤/٤۰	۱٤/۵	۷۰۰
خاک آبیاری‌شده با فاضلاب و آب چاه	لوم	۷/٦۵	۱/۲۲	۵/٦۰	۱٦/٤۲	۱۲۰۰

جدول ۲. میانگین برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی فاضلاب تصفیه‌شده و ترکیب فاضلاب تصفیه‌نشده و آب چاه مورداستفاده در آبیاری

تیمار	pH	هدایت الکتریکی (dS/m)	اکسیژن‌خواهی زیستی (mg/l)	اکسیژن‌خواهی شیمیایی (mg/l)	غلظت کادمیوم (mg/l)	غلظت سرب (mg/l)
فاضلاب تصفیه‌شده	۷/۵۸	۱/۳٤	غیرقابل تشخیص	۲۷/۳۸	۰/۰۰۵	غیرقابل تشخیص
ترکیب فاضلاب تصفیه‌نشده و آب چاه	٦/۹۷	۱/٦۵	۱۹۰	۳۷۲	۰/٤۲	۰/۳۳

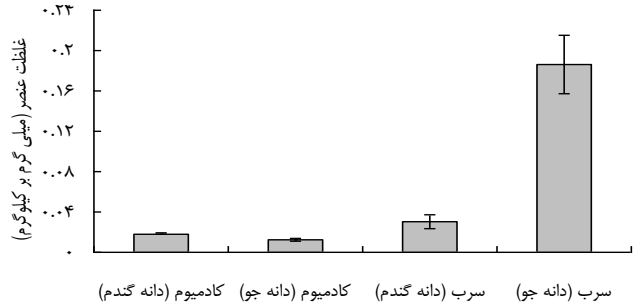
نتایج آزمون ANOVA نشان داد که میانگین غلظت سرب و کادمیوم در دانه گندم و دانه جو دارای اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر است (P =۰/۰۱٦؛ F= ۳/۲۱۱) که مقادیر کادمیوم (۰/۰۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در گندم و ۰/۰۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم در جو) از استاندارد ارائه‌شده سازمان جهانی بهداشت برای دانه غلات (۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) کم‌تر است. هرچند درباره سرب، مقدار این عنصر در دانه جو (۰/۱۸٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و در دانه گندم (۰/۰۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به‌ترتیب بیش‌تر و کم‌تر از استاندارد ارائه‌شده سازمان جهانی بهداشت برای دانه غلات (۰/۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) است (۳۰). با مقایسه غلظت دو عنصر در دو گیاه و براساس آزمون دانکن، میانگین غلظت سرب در دانه جو به‌صورت معنی‌داری بیش‌تر از غلظت سرب در دانه گندم و غلظت کادمیوم در دانه‌های گندم و جو است (شکل ۱). هم‌چنین نتایج آزمون t مستقل حاکی از این است که اختلاف میانگین غلظت کادمیوم در دانه‌های گندم با جو از لحاظ آماری معنی‌دار نیست (P=۰/۰۵۹؛ t= ۲/۰۷۱)؛ هرچند میانگین غلظت سرب در دانه جو به‌صورت معنی‌داری بیش‌تر از دانه گندم است (P=۰/۰۰۷؛ t= ۳/۱۹٦). دیگر محققین نیز افزایش غلظت فلزات سنگین را در گیاهان جو و گندم که اولی با پساب شهری تصفیه‌شده و دومی با پساب تصفیه‌نشده، آبیاری شده بودند را کم‌تر از حد استاندارد سازمان بهداشت جهانی گزارش کردند که از این حیث با تحقیق حاضر همخوانی دارد (۲۷، ۱۰). به‌علاوه، بررسی مقدار تجمع فلزات سنگین در غده و اندام هوایی گیاه تربچه در یک آزمایش گلدانی تحت آبیاری با پساب تصفیه نشده (٤) و لوبیا سبز و ترب سفید در زمین‌های کشاورزی کشور عمان تحت آبیاری با پساب تصفیه‌شده (۲٤) نشان داده است که سرب و کادمیوم در این محصولات کم‌تر از حد استاندارد سازمان بهداشت جهانی است؛ هرچند که در بررسی آبیاری با پساب تصفیه‌نشده بر روی تجمع فلزات سنگین در محصولات کشاورزی، تجمع کادمیوم و سرب در دانه‌های گندم و ذرت طی آبیاری در دوره ۲۳ ساله در منطقه طاقانک (۱) و تجمع کادمیوم و نیکل در کشت

گلخانه‌ای کاهو و گوجه در کشور تونس (۱۶) بالاتراز حد مجاز گزارش شد که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی ندارد. جذب فلزات سنگین توسط گیاهان علاوه بر نوع و سن گیاه، به دامنه وسیعی از عوامل در خاک مثل pH، موادآلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و شرایط اکسیداسیون و احیا بستگی دارد. pH یک پارامتر تأثیرگذار بر میزان حلالیت نسبی مواد مغذی و فلزات سنگین است که می‌تواند رشد گیاه و عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار دهد (۱۵) که کاهش آن، باعث تحرک بیش‌تر فلزات برای دسترس‌پذیری بیش‌تر در خاک و در نتیجه، جذب بیش‌تر توسط گیاه می‌شود. از سویی دیگر مواد آلی خاک نیز موجب محصورکردن فلزات و کاهش قدرت جذب آنها توسط گیاه می‌شود (۱۳). بنابراین تجمع کم‌تر فلزات سنگین در دانه‌های گندم و جو را می‌توان به pH قلیایی و مقدار مواد آلی خاک‌های مورد مطالعه که موجب جذب کم‌تر آنها شده و هم‌چنین تجمع احتمالی بیش‌تر فلزات سنگین در اندام ریشه این گیاهان در مقایسه با اندام دانه‌های آنها (۲۷، ۸) نسبت داد. براساس نتایج دیگر تحقیقات، خطر آلودگی فلزات سنگین و جذب به توسط گیاهان پس از ورود آنها به خاک به‌دلیل تشکیل ترکیبات نامحلول نظیر کربنات و سولفات می‌تواند کاهش یابد (۷، ۱۱).

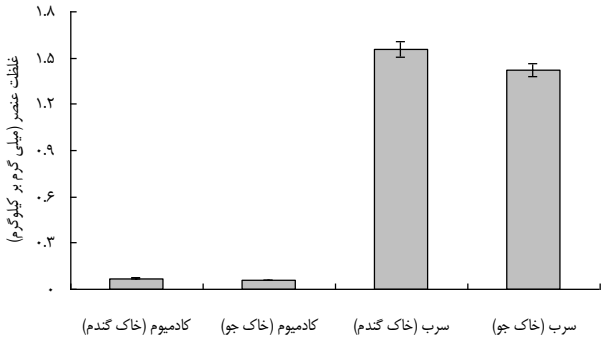
با توجه به آزمون ANOVA مشخص شد که میانگین غلظت عناصر سنگین سرب و کادمیوم در خاک‌های دو گیاه دارای اختلاف آماری معنی‌داری است (P =۰/۰۱۲؛ F= ۱/۵۷٤). آزمون دانکن نشان داد که میانگین غلظت سرب در خاک مزارع گندم و جو به‌صورت معنی‌داری بیش‌تر از غلظت کادمیوم در خاک این مزارع است (شکل ۲). هم‌چنین نتایج آزمون t مستقل حاکی از این است که میانگین غلظت کادمیوم در خاک مزارع گندم با جو (P =۰/۰٦۰؛ t= ۱/۹۲۸) و میانگین غلظت سرب در خاک این مزارع (P =۰/۰۷۲؛ t= ۲/۱۵٤) با یکدیگر دارای اختلاف معنی‌داری نیست. غلظت سرب در خاک گندم (۱/۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و خاک جو (۱/٤۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بسیار کم‌تر از استاندارد سازمان جهانی بهداشت برای خاک غلات (٤۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) حاصل شد (۳۰). به‌علاوه با توجه به استاندارد جهانی ارائه‌شده برای کادمیوم که در آن حد مجاز این عنصر در خاک کشاورزی ۱ تا ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و میانگین جهانی غلظت آن در خاک‌های غیرآلوده برابر با ۰/۷ تا ۱/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (۲۳)، غلظت کادمیوم در خاک‌های مزارع جو (۰/۰۷۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و گندم (۰/۰۵۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در شهرستان قدس از استانداردهای ارائه‌شده برای خاک‌های کشاورزی پایین‌تر است. در تأیید یافته‌های این پژوهش، برخی محققین نیز به این نتیجه رسیدند که آبیاری با فاضلاب اثرات نامطلوبی بر خاک زیر کشت لوبیا سبز و ترب سفید در زمین‌های کشاورزی کشور عمان(۲٤)، خاک کشت گیاه تربچه در آزمایش گلدانی (٤) و خاک کشت برنج در شرایط گلخانه‌ای (۲۲) نداشته است، هرچند که نتایج عکس آن نیز توسط برخی پژوهشگران درباره تأثیر آبیاری با آب‌های آلوده که موجب صدمه به خاک و تجمع برخی فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی شهر بورسای ترکیه (۱٤) و خاک‌های زیر کشت محصولات گلخانه‌ای در کشور تونس (۱٦) حاصل شده است که این نتایج متناقض، لزوم بررسی اثر آبیاری با فاضلاب در هر منطقه را نشان می‌دهد.

جدول‌های (۲) و (۳) به‌ترتیب به‌بررسی اثرات آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده بر غلظت‌های سرب و کادمیوم در خاک گندم و آبیاری با ترکیب فاضلاب تصفیه‌نشده و آب چاه بر غلظت این فلزات در خاک مزرعه جو می‌پردازد که براساس جدول (۲)، اثر آبیاری بر غلظت سرب (F= ۰/۲۳۳ ؛P= ۰/٦٤٦ ؛F= ۸/۷۲۵ ؛P= ۰/۸۲۰) و کادمیوم

معنی‌دار نیست. در واقع این یافته نشان می‌دهد که آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده نتوانسته است غلظت سرب و کادمیوم خاک را افزایش معنی‌داری دهد که با مطالعات دیگر پژوهش‌گران در این زمینه همسو است (۲٤، ٤). جدول (۳) نیز نشان‌دهنده افزایش معنی‌دار غلظت سرب در خاک مزرعه جو (P= ۰/۰۲۵؛ F= ۰/۰۵۷) در اثر آبیاری با ترکیب فاضلاب تصفیه‌نشده و آب چاه است، هرچند که این نوع آبیاری، سبب افزایش معنی‌دار در غلظت کادمیوم خاک (P= ۰/۱۳۰؛ F= ۳/۰۸۱) نشده است.



شکل ۱. میانگین غلظت فلزات سرب و کادمیوم در دانه‌های گندم و جو. بارها دلالت بر خطای معیار میانگین دارند.
(حروف متفاوت حاکی از اختلاف آماری معنی‌دار (p< ۰/۰۵) بین گروه‌ها است.)



شکل ۲. میانگین غلظت فلزات سرب و کادمیوم در خاک مزارع گندم و جو. بارها دلالت بر خطای معیار میانگین دارند.
(حروف متفاوت حاکی از اختلاف آماری معنی‌دار (p< ۰/۰۵) بین گروه‌ها است.)

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده بر غلظت عناصر سنگین در خاک گندم

منابع تغییرات	SS	درجه آزادی (d_f)	میانگین مربعات (MS)	F	Sig.
مدل تصحیح‌شده	۳/۷۹۲	۲	۱/۸۹٦	۵/۱۵۱	۰/۰۵
عرض از مبدأ	۱/۳۰٤	۱	۱/۳۰٤	۳/۸۱۱	۰/۰۹۹
سرب	۳/۲۱۱	۱	۳/۲۱۱	۸/۷۲۵	۰/۸۲۰
کادمیوم	۰/۰۸٦	۱	۰/۰۸٦	۰/۲۳۳	۰/٦٤٦
خطا	۲/۲۰۸	٦	۰/۳٦۸	–	–
کل	٤۲/۰۰۰	۹	–	–	–
مجموع تصحیح‌شده	٦/۰۰۰	۸	–	–	–

ضریب تبیین: ۰/٦۳۲ (ضریب تبیین تعدیل‌شده: ۰/۵۰۹)

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده بر غلظت عناصر سنگین در خاک جو

منابع تغییرات	SS	درجه آزادی (d_f)	میانگین مربعات (MS)	F	Sig.
مدل تصحیح‌شده	۳/۳۳٤	۲	۱/٦٦۷	۳/۷۵۲	۰/۰۸۸
عرض از مبدأ	۲/٤۹۷	۱	۲/٤۹۷	۵/٦۲۰	۰/۰۵۵
سرب	۰/۰۲۵	۱	۰/۰۲۵	۰/۰۵۷	۰/۰۲۵
کادمیوم	۱/۳٦۹	۱	۱/۳٦۹	۳/۰۸۱	۰/۱۳۰
خطا	۲/٦٦٦	٦	۰/٤٤٤	–	–
کل	٤۲/۰۰۰	۹	–	–	–
مجموع تصحیح‌شده	٦/۰۰۰	۸	–	–	–

ضریب تبیین: ۰/۵۵٦ (ضریب تبیین تعدیل‌شده: ۰/٤۰۸)

براساس نتایج جدول (٤)، غلظت سرب و کادمیوم در دانه گندم متأثر از غلظت این عناصر در خاک پای گیاه گندم نبوده و می‌تواند منابع دیگری مانند ته نشست اتمسفری ذرات حاوی سرب و کادمیوم بر روی خاک داشته باشد که با توجه به نزدیکی زمین‌های کشاورزی موردنظر به جاده قدیم تهران- کرج بعید به‌نظر نمی‌رسد. این نتایج با یافته‌های دیگر محققین درباره عدم تأثیر فلزات سنگین موجود در دانه گندم از غلظت آنها در خاک‌های اراضی کشاورزی ایالت کارناتاکای کشور هند و محصولات سیر، کلم و تربچه قرمز در یک آزمایش گلخانه‌ای در چین که به‌ترتیب با فاضلاب تصفیه‌نشده شهری و آب آلوده رودخانه لی آن آبیاری شده بودند، همخوانی دارد (۲۱، ۲۷). سطح آماره بتا نشان می‌دهد که افزایش یک واحدی در غلظت هر عنصر در خاک، به چه مقدار سبب افزایش غلظت آن عنصر در دانه آن گیاه شده است و آیا این افزایش معنی‌دار است؟ با توجه به جدول (٤)، سطح آماره بتا در گیاه گندم برای عنصر سرب ۰/۱۲۸ و در عنصر کادمیوم ۰/۰۵۳ حاصل شد که مقادیر آن معنی‌دار نیست.

در ادامه با توجه به جدول (۵)، در سطح اطمینان ۵ درصد، غلظت سرب و کادمیوم در گیاه جو متأثر از غلظت سرب و کادمیوم در خاک نیست. هم‌چنین سطح آماره بتا در گیاه جو برای عنصر سرب ۰/۱۱۳ و در عنصر کادمیوم ۰/۱۱۸ بوده که این آماره در هر دو گونه‌ی گیاهی معنی‌دار نیست (جدول ۵).

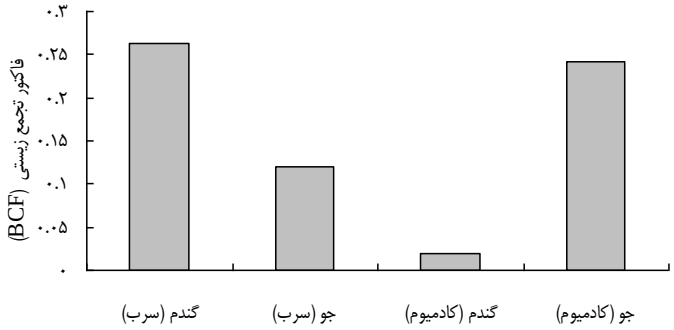
شکل ۳ نشان‌دهنده میانگین عامل تجمع زیستی عناصر سنگین سرب و کادمیوم در محصولات گندم و جو است که این فاکتور برای عنصر سرب در دانه گندم بیش‌تر از جو بوده، ولی برای عنصر کادمیوم، در دانه جو بیش‌تر از گندم است. ازآنجایی‌که مقدار فاکتور تجمع زیستی برای هر دو عنصر در دانه‌های گندم و جو، کم‌تر از یک است، بنابراین هیچ‌کدام از دو گونه توانایی استخراج گیاهی عناصر مذکور از خاک و انباشت آنها در دانه‌ها را ندارند که این موضوع می‌تواند گواهی بر عدم ورود این عناصر به زنجیره غذایی از طریق مصرف دانه‌های آنها باشد. برخی پژوهش‌گران علت پایین‌بودن ضریب تجمع زیستی فلزات سنگین در دانه‌های گندم را انباشت بیش‌تر این عناصر در ریشه و انتقال کم‌تر آن را به اندام‌های هوایی می‌دانند (۲۸، ۸). براساس نتایج تحقیقات، سرب به‌راحتی به‌وسیله ریشه‌های گیاه جذب‌شده، به بخش‌های بیرونی ریشه، آپوپلاست و دیواره سلولی متصل شده و بنابراین کم‌تر در اختیار اندام هوایی قرار می‌گیرد (۲۹، ۷). تشکیل ترکیبات غیرآلی کریستاله کادمیوم در خاک نیز می‌تواند از جذب آن توسط گیاه جلوگیری کند (۱۱).

جدول ٤. ضریب تأثیر رگرسیونی در سنجش تأثیرپذیری غلظت کادمیوم و سرب در خاک بر غلظت هر فلز در گیاه گندم

عنصر	مدل	ضرایب استانداردنشده		ضرایب استانداردشده	T	Sig.
		بتا	خطای معیار	بتا		
سرب	ثابت	۰/۰۵۸	۰/۰۵۷	–	-۱/۱۰۳	۰/۳۳۰
	سرب در خاک گندم	۰/۰۱۷	۰/۰۳٦	۰/۱۲۸	۰/٤٦٥	۰/٦٥۰
کادمیوم	ثابت	۰/۰۲۰	۰/۰۱۰	–	۱/۹٦۰	۰/۰۷۲
	کادمیوم در خاک گندم	۰/۰۲۷	۰/۱٤٤	۰/۰۵۳	۰/۱۹۰	۰/۸۵۲

جدول ۵. ضریب تأثیر رگرسیونی در سنجش تأثیرپذیری غلظت کادمیوم و سرب در خاک بر غلظت هر فلز در گیاه جو

عنصر	مدل	ضرایب استانداردنشده		ضرایب استانداردشده	T	Sig.
		بتا	خطای معیار	بتا		
سرب	ثابت	۰/۳۲٤	۰/۳۸۷	–	۰/۸۳۸	۰/٤۱۷
	سرب در خاک جو	۰/٦۸۹	۰/٤۱۰	۰/۱۱۳	۰/٤۱۰	۰/٦۸۹
کادمیوم	ثابت	۰/۰۱۸	۰/۰۱۲	–	۱/۵۸۳	۰/۱۳۷
	کادمیوم در خاک جو	۰/۰۸٤	۰/۱۹٦	۰/۱۱۸	۰/٤۲۷	۰/٦۷٦



شکل ۳. میانگین فاکتور تجمع زیستی عناصر سنگین سرب و کادمیوم در محصولات موردمطالعه

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که ترکیب آب چاه و فاضلاب تصفیه‌نشده دارای مقادیر بیش‌تر از حد استانداردهای مجاز اکسیژن‌خواهی زیستی، اکسیژن‌خواهی شیمیایی و غلظت کادمیوم بود که لزوم تجدیدنظر در استفاده از این ترکیب برای آبیاری در منطقه موردمطالعه را نشان می‌دهد؛ هرچند بایستی اذعان داشت که براساس توصیه‌های فنی، کاربرد فاضلاب تصفیه‌نشده قابل توصیه نمی‌باشد، ولی در موارد ضروری با احتیاط می‌تواند استفاده شود. غلظت فلز سنگین سرب در دانه گندم کم‌تر و در دانه جو بیش‌تر از استاندارد سازمان جهانی بهداشت برای دانه غلات حاصل شد که نشان می‌دهد دانه جو تولیدشده در این مزرعه برای مصرف انسان قابل توصیه نیست. هرچند که غلظت کادمیوم در دانه‌های گندم و جو کم‌تر از استاندارد ارائه‌شده سازمان جهانی بهداشت برای دانه غلات حاصل شد. هم‌چنین مقدار فاکتور تجمع زیستی کم‌تر از یک در

دانه‌های گندم و جو برای عناصر سرب و کادمیوم نشان‌دهنده توانایی اندک این گیاهان برای انتقال این فلزات از خاک و انباشت آنها در دانه‌ها است. در صورت پایش مستمر پساب تصفیه‌شده و به حداقل رساندن فلزات سنگین در آن، استفاده از این پساب می‌تواند جایگزین مناسبی برای آب چاه به‌منظور آبیاری به‌خصوص در مناطق خشک و کم‌آب و هم‌چنین کاهش مصرف کود شیمیایی در زمین‌های کشاورزی باشد. پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های بعدی، مقادیر عناصر سنگین در کاه و کلش جو و گندم بررسی شود، زیرا این قسمت‌های گیاه توسط دام‌های اهلی مصرف می‌شود و با تغذیه انسان از گوشت و شیر آن‌ها، می‌تواند به‌صورت غیرمستقیم بر سلامت انسان اثرگذار باشد.

منابع

۱. بیگی هرچگانی ح. و بنی طالبی گ (۱۳۹۲) اثر بیست‌وسه سال آبیاری سطحی با پساب شهری بر انباشت بعضی فلزات سنگین در خاک، انتقال به دانه‌های گندم و ذرت و خطرات بهداشتی مرتبط. آب و خاک. ۲۷ (۳). ۵۷۰- ۵۸۰.

۲. پیرصاحب م.، شرفی ک. و دوگوهر ک (۱۳۹۰) مقایسه کیفیت پساب تصفیه‌خانه اولنگ مشهد با آب چاه‌های منطقه برای آبیاری. آب و فاضلاب. ٤۲: ۳٦-٤٦.

۳. خانبلوکی گ.، میرسید حسینی ح. و متشرع‌زاده ب (۱۳۹٤) تأثیر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفری و کادمیم خاک در جذب کادمیم توسط گندم و سورگوم. مدیریت خاک و تولید پایدار. ۵(٤): ۱۱۳-۹۷.

٤. رحیمی ق.، امرایی ل. و کیمیایی‌طلب ع. ر (۱۳۹٤) اثر آبیاری با پساب صنعتی بر روند تغییرات برخی فلزات سنگین در خاک و گیاه تربچه (*Raphanus sativus*). علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. ٦(۲٤): ۳۰-۱۱.

۵. عسگری ع. و الباجی م (۱۳۹٦) بررسی امکان استفاده از پساب در کشاورزی (مطالعه موردی: پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهری شهرکرد). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲٤(۲): ۳۰۸-۳۰۳.

٦. فرمانی‌فرد م.، قمرنیا ه.، پیرصاحب م. و فتاحی ن (۱۳۹۵) مطالعه تجمع فلزات سنگین در محصولات مختلف تحت تأثیر آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده شهری کرمانشاه. مدیریت آب و آبیاری. ٦(۲): ۳٦۵-۳٤۷.

۷. ملکی ع.، حسین‌نژاد ا. و عالی‌نژادیان بیدآبادی ا (۱۳۹۵) تجزیه و تحلیل غلظت فلزات سنگین در خاک آبیاری‌شده با پساب شهری در کشت فلفل دلمه‌ای. مدیریت آب و آبیاری. ٦(۱): ۱۰۱-۱۱۵.

۸. میرزایی تختگاهی ح.، قمر نیا ه.، پیرصاحب م. و فتاحی ن (۱۳۹۵) بررسی تأثیر آبیاری با آب آلوده بر تجمع فلزات سنگین در گندم و جعفری. مدیریت آب و آبیاری. ٦(۲): ۳۱۵-۳۲۹.

۹. ناصری س.، صادقی ط.، واعظی ف. و ندافی ک (۱۳۹۱) بررسی کیفیت پساب تصفیه‌خانه فاضلاب اردبیل به‌منظور استفاده مجدد در کشاورزی. سلامت و بهداشت. ۳(۳): ۸۰- ۷۳.

۱۰. یزدانی ع.، صفاری م. و رنجبر غ (۱۳۹٦) اثر آبیاری با فاضلاب شهری تصفیه‌شده بر عملکرد دانه و تجمع فلزات سنگین در دانه ژنوتیپ‌های جو. علوم زراعی ایران. ۱۹(٤): ۲۹٦-۲۸٤.

11. Agraval, S.K. (2002). Pollution management: water pollution. A.P.H. publication A.P.H. Publishing Corporation, New Delhi. 384 p.
12. Ahmed, D.A. & Slima, D.F. (2018). Heavy metal accumulation by *Corchorus olitorius* L. irrigated with wastewater. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(15): 14996-15005.
13. Alghobar, M.A. & Suresha, S. (2015). Evaluation of nutrients and trace metals and their enrichment factors in soil and sugarcane crop irrigated with wastewater. *Geoscience and Environment Protection*. 3: 46-56.

14. Aydinalp, C., Fitzpatric, E.A. & Cresser, M.S. (2005). Heavy metal pollution in some soil and water resources of Bursa Province, Turkey. *Communications of Soil Science*, 36: 1691-1716.
15. Ayers, R.S. & Westcot, D.W. (1985). Water quality for agriculture 29th Ed. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, USA, 174p.
16. Belhaj, B., Jerbi, B., Medhioub, M., Zhou, J., Kallel, M. & Ayadi, H. (2016). Impact oftTreated urban wastewater for reuse in agriculture on crop response and soil ecotoxicity. *Environment Science and Pollution Research*, 23(16): 15877-15887.
17. Campbell, C.R. & Plank, C.O. (1998). Preparation of plant tissue for laboratory analysis. *In*: Kalra YP (Ed.), Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. CRC Press, Taylor & Francis Group, pp. 37-50
18. Dotaniya, M.L., Rajendiran, S., Meena, V.D., Coumar, M.V., Saha, J.K., Kundu, S. & Patra, A.K. (2018). Impact of Long-Term Application of Sewage on Soil and Crop Quality in Vertisols of Central India. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 101: 779-786.
19. FAO. (1992). Wastewater treatment and use in agriculture-FAO irrigation and drainage paper 47. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 169 p.
20. Hakimi, L., Sadeghi, S.M., Van Stan, J.T., Pypker, T.G. & Khosropour, E. (2018). Management of pomegranate (*Punica granatum*) orchards alters the supply and pathway of rain water reaching soils in an arid agricultural landscape. Agriculture, *Ecosystems and Environemnt*, 259: 77-85.
21. Ji, Y., Wu, P., Zhang, J., Zhang, J., Zhou, Y., Peng, Y., Zhang, S., Cai, G. & Gao, G. (2018). Heavy metal accumulation, risk assessment and integrated biomarker responses of local vegetables: A case study along the Le'an river. *Chemosphere*, 199: 361-371.
22. Jung, K., Jang, T., Jeong, H. & Park, S. (2014). Assessment of growth and yield components of rice irrigated with reclaimed wastewater. *Agricultural Water Management*, 138: 17-25.
23. Kabata-Pendias, A. & Mukherjee, A.B. (2007). Trace Elements from Soil to Human, Springer Science & Business Media, 550 p.
24. Khaliq, S.J., Al-Busaidi, A., Ahmed, M., Al-Wardy, M., Agrama, H. & Choudri, B.S. (2017). The effect of municipal sewage sludge on the quality of soil and crops. *Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 6(4): 289-299.
25. Pedrero, F. Alarcon, J. (2009). Effects of treated wastewater irrigation on lemon trees. *Desalination*, 246: 631-639.
26. Golrizkhatami, F., Farsad, F. & Rafati, M. (2018). The Combined Effect of EDTA and Vermicompost on Removal of Lead from Soil by *Ocimum basilicum*. *Water, Environment and Pollution*, 15(4): 41-45.
27. Salakinkop, S.R. & Hunshal, C.S. (2014) Domestic sewage irrigation on dynamics of nutrients and heavy metals in soil and wheat (Triticum aestivum L.) production. *Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 3(3): 1-11.
28. Shaw, J. (1989). Heavy Metal Tolerance in Plants: Evolutionary Aspects. CRC Press. Taylor & Francis Group, 286 p.
29. Vazquez, S., Goldsbrough, P. & Carpena, R.O. (2009). Comparative analysis of the contribution of phytochelatins to cadmium and arsenic tolerance in soybean and white lupen. *Plant Physioly and Biochemistry*, 47: 63-67.
30. WHO. (2011). Joint FAO/WHO food standards programme, codex committee on contaminants in foods. Fifth session. The Hague, the Netherlands. CF/5 INF/1.