

## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۶ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۵

صفحه‌های ۳۴۷-۳۶۵

# مطالعه تجمع فلزات سنگین در محصولات مختلف تحت تأثیر آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده شهری کرمانشاه

میلاذ فرمانی فرد<sup>۱</sup>، هوشنگ قمرنیا<sup>۲\*</sup>، مقداد پیرصاحب<sup>۳</sup> و نظیر فتاحی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۲. استاد، گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۳. استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران
۴. استادیار، گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۲۲

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۰۲

### چکیده

در این تحقیق به بررسی تجمع فلزات سنگین شامل مس، آهن، روی، کادمیم و منگنز در اندام‌های مختلف (ریشه، اندام هوایی، میوه یا دانه) ذرت، جو، بامیه و جعفری در شرایط واقعی تحت آبیاری با دو تیمار فاضلاب تصفیه‌شده شهری خروجی تصفیه‌خانه کرمانشاه (TW) و آب چاه موجود در اراضی همان منطقه (WEW) در سه تکرار و قالب طرح کاملاً تصادفی کرت‌های خردشده برای هر محصول (در سال زراعی ۱۳۹۳) پرداخته شده است. نتایج تحلیل‌های آماری نشان داد که اثر آبیاری با پساب بر تجمع فلزات سنگین در تمامی محصولات در سطح ۵ درصد معنادار بود. همچنین، تجمع آهن، روی و کادمیم در اندام‌های محصولات مورد بررسی تحت تیمار پساب بیش از تیمارهای آب چاه و از نظر آماری نیز معنادار بود و در بیشتر موارد بالاتر از حدود استانداردها نیز قرار داشت، ولی از نظر تجمع مس و منگنز، علی‌رغم مشاهده اختلاف معنادار آماری و مقداری بین تیمارهای مختلف، میزان تجمع این دو فلز در اندام‌های مختلف محصولات در اکثر موارد پایین‌تر از حدود مجاز قرار داشت. دامنه تغییرات فلزات سنگین در محصولات مختلف تحت تیمارهای آبیاری با پساب، ۱۴/۱-۳۷/۷، ۷۱/۱-۱۱۶۵، ۲۴/۳-۹۸/۶، ۰/۱۰-۲/۳۰ و ۱۵/۸-۲۶۹ میلی‌گرم در کیلوگرم به ترتیب برای مس، آهن، روی، کادمیم و منگنز اندازه‌گیری شد. علاوه بر این، تجمع فلزات مختلف در ریشه بیش از اندام‌های دیگر به دست آمد.

کلیدواژه‌ها: بامیه، پساب شهری تصفیه‌شده، جعفری، جو، ذرت، فلزات سنگین.

## مقدمه

سنگین باعث کاهش جذب مواد مغذی ضروری گیاه و در نتیجه کاهش کیفیت سبزیجات می‌شود (۳۱). با این حال، جذب این فلزات و آثار آن بر سبزیجات، به‌طور قابل توجهی در گونه‌های گیاهی مختلف متنوع است (۵۱). گزارش‌های متعددی مبنی بر غلظت‌های بالای فلزات سنگین در سبزیجات برگی آبیاری شده با آب آلوده به فلزات یا رشد کرده در خاک آلوده در مقایسه با دیگر سبزیجات ارائه شده است (۳۱، ۳۴). این فرضیه وجود دارد که ممکن است سبزیجات برگی فلزات سنگین سمی دریافت شده از آب آبیاری را در بخش‌های خوراکی انباشت کند و از طریق زنجیره غذایی به انسان انتقال دهد. همچنین، نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که غلظت فلزات سنگین در گیاهان آبیاری شده با فاضلاب، به‌طور قابل توجهی بالاتر از گیاهان آبیاری شده با آب شیرین بوده است (۲۶). با این حال، نرخ انباشت فلزات سمی در گیاهان بستگی به غلظت این فلزات در خاک و آب آبیاری دارد. مطالعه تجمع مس، نیکل، روی، کروم، آهن، منگنز، کبالت و سرب در سبزی‌های خوراکی شامل پیاز، سیر، گوجه‌فرنگی و بادمجان نشان داد، تجمع فلزات در سبزیجات آبیاری شده با فاضلاب به‌طور معناداری بیش از آب چاه است که فراتر از مقادیر سازمان بهداشت جهانی و فائو بود (۴۲).

بررسی مقدار تجمع فلزات سنگین در گیاهان علفه‌ای تحت آبیاری با فاضلاب در جنوب تهران نشان داد که مقدار تجمع در بوته ذرت آبیاری شده با فاضلاب ۱/۵ برابر بوته ذرت آبیاری شده با آب چاه است. به‌غیر از منگنز و روی تجمع سایر عناصر در بوته ذرت بیش از حد مجاز و در بلال و دانه ذرت مقادیر نیکل، کروم، سرب و روی کمتر از حد مجاز و منگنز و کادمیم بیشتر از حد مجاز درون گیاه مشاهده شد (۵). همچنین، با مطالعه و مقایسه پساب تصفیه‌خانه فاضلاب اولنگ مشهد و آب چاه‌های منطقه برای آبیاری و تأثیر آبیاری با آن در عملکرد محصول گندم،

در سال‌های اخیر، با توجه به خشکسالی‌ها، کمبود بارش و کاهش منابع آب شیرین، آبیاری با فاضلاب و پساب تصفیه‌شده به عملی رایج تبدیل شده است (۴۶) تا جایی که قریب به ۲۰ میلیون هکتار از اراضی در سطح جهان با فاضلاب و پساب آبیاری می‌شود که تحت کشت سبزیجات و محصولات مختلف قرار دارد. از این‌رو، با توجه به تشدید تنش و بحران منابع آب در آینده این احتمال وجود دارد تا گرایش به استفاده از آن افزایش یابد (۱۱). آبیاری با فاضلاب، از یک سو جایگزینی برای منابع آب شیرین به‌شمار می‌رود و از سوی دیگر، حاوی مواد مغذی متعددی است که برای رشد گیاه ضروری است (۳۵). علی‌رغم اینکه استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده برای آبیاری راهکاری ارزشمند برای بالابردن منابع آب در دسترس محسوب می‌شود، کیفیت و شرایط این آب چالش‌هایی را در کشاورزی ایجاد می‌کند (۲۷).

فاضلاب آلوده به عناصر کمیابی مانند سرب، مس، روی، بر، کبالت، کروم، کادمیم، آرسنیک و منگنز است که بسیاری از این عناصر غیرضروری است (۴۰). استفاده بلندمدت از فاضلاب و پساب تصفیه‌شده منجر به تجمع مقدار قابل توجهی از فلزات سنگین در خاک (۲۴)، سبزیجات و غلات می‌شود و انتقال این عناصر سمی به زنجیره غذایی خطرات زیادی برای سلامت مصرف‌کنندگان ایجاد می‌کند (۱۶، ۲۶)، چرا که یکی از مهم‌ترین مسائل در ارتباط با فلزات سنگین، عدم متابولیسم آن در بدن است. به عبارتی دیگر، چنین آلاینده‌هایی غیرقابل تجزیه است و تمایل به تجمع دارد (۱۴) که موجب بروز بیماری می‌شود.

فلزات سنگین عمدتاً از طریق ریشه وارد بافت گیاهی می‌شود و ممکن است به اندام‌های هوایی و بخش‌های خوراکی سبزیجات منتقل شود (۵۶). افزایش غلظت فلزات

## مدیریت آب و آبیاری

رواناب‌های سطحی که از شهرها خارج می‌شود، در زمین‌های کشاورزی پایین دست استفاده می‌شود که تا کنون هیچ بررسی و تحقیق جامع و قابل استنادی مبنی بر مطالعه تأثیر فاضلاب تصفیه شده شهری کرمانشاه بر تجمع فلزات سنگین در گیاهان و محصولات آبیاری شده انجام نشده است.

در این ارتباط و در پژوهش حاضر، به بررسی جامع آثار آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده بر تجمع مس، آهن، روی، کادمیم و منگنز در ریشه، اندام هوایی و دانه (میوه) محصول ذرت، جو، (به عنوان نماینده غلات) بامیه و جعفری (به عنوان نماینده سبزیجات) در قیاس با شرایط آبیاری با آب با کیفیت مناسب (آب چاه) پرداخته ایم. نتایج حاصل از آزمایش‌ها با استانداردهای موجود و تحقیقات پیشین مقایسه شده است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

تصفیه‌خانه فاضلاب شهر کرمانشاه با مساحتی در حدود ۷۸ هکتار، در جنوب غربی شهر واقع شده است. این تصفیه‌خانه برای جمعیتی برابر ۴۰۰ هزار نفر طراحی و از اواسط پاییز ۱۳۸۴ بهره‌برداری شده است. فرایند تصفیه در تصفیه‌خانه فاضلاب کرمانشاه به روش لجن فعال از نوع متعارف و شامل مراحل تصفیه‌های مقدماتی، اولیه و ثانویه و در نهایت گندزدایی پساب است. مقدار فاضلاب تصفیه شده معادل ۷۰۰ لیتر در ثانیه و معادل ۶۰۰۰۰ مترمکعب در روز است. اراضی منتخب در پایین دست تصفیه‌خانه واقع شده است که به روش سطحی و سستی به مدت قریب به ده سال با پساب خروجی تصفیه‌خانه آبیاری شده بود. همچنین، نمونه‌های شاهد (که از سال‌های دور با آب چاه آبیاری می‌شود) نیز دقیقاً از اراضی روبه‌روی این اراضی، در طرف دیگر رودخانه قره‌سو قرار دارد که هر یک مساحتی قریب به ۵ هکتار را شامل می‌شود (شکل ۱).

گزارش شده است که کیفیت پساب از نظر تمامی پارامترهای مورد سنجش، با استانداردهای آبیاری کشاورزی مطابقت دارد و آبیاری با آن در مقایسه با آب چاه بر عملکرد محصول گندم تأثیر بهتری دارد. لذا، پساب تصفیه شده با پایش مستمر جایگزین مناسبی برای آب چاه به منظور آبیاری است (۱).

ارزیابی تأثیر جذب تعدادی از عناصر سنگین در سبزیجات (شامل اسفناج، کشنیز، گل کلم، سیب زمینی، گوجه فرنگی، بادمجان، تربچه و کدو) آبیاری شده با پساب تصفیه شده در شهر بیکنان نشان داد که ترتیب وجود و جذب این عناصر به صورت  $Fe > Mn > Zn > Cu$  و درصد برخی از این عناصر از حدود مجاز سازمان بهداشت جهانی بیشتر بود (۱۲).

نتایج پایش نمونه‌های سبزیجات (اسفناج و بامیه)، خاک و آب آبیاری جمع آوری شده از سایت‌های حواشی دهلی‌نو نشان داد که علی‌رغم اینکه مقدار فلزات سنگین موجود در آب آبیاری بالاتر از حد مجاز بود، تجمع فلزات در خاک پایین تر از مقدار مجاز و در نمونه‌های گیاهی بالاتر به دست آمد و مقدار تجمع فلزات مس، روی، سرب و کادمیم در نمونه‌های گیاهی اسفناج و بامیه، بیش از حد مجاز پیشنهادی WHO<sup>۱</sup> بود (۴۸). همچنین، گزارش شده است که با وجود غلظت پایین فلزات سنگین در فاضلاب، نمونه‌های گیاهی به دلیل سازوکار تجمع در بافت‌ها، حاوی مقدار بالای فلزات سنگین است (۲۶).

با در نظر گرفتن افزایش آسیب‌پذیری مصرف سبزیجات به دلیل آلودگی به فلزات سنگین، ارزیابی میزان تجمع این فلزات در اندام‌های مختلف گیاه که در نتیجه آبیاری خاک با پساب روی می‌دهد، اهمیت کاربردی دارد. در حال حاضر، در بسیاری از شهرهای ایران، فاضلاب‌های شهری و

1. World Health Organization



شکل ۱. تصویری هوایی از موقعیت تصفیه‌خانه و اراضی مورد مطالعه

### مشخصات و آنالیز نمونه‌های خاک

داده شد. بافت خاک با استفاده از هیدرومتر تعیین شد که بر اساس طبقه‌بندی USDA در هر سه لایه لوم ماسه‌ای به دست آمد. نتایج خصوصیات فیزیکی اندازه‌گیری شده خاک در لایه‌های مختلف در جدول ۱ ارائه شده است.

در پایان فصل زراعی، نمونه‌های خاک تحت تیمار پساب و آب چاه از لایه‌های مختلف در سه تکرار برداشت شد. پس از خشک شدن نمونه‌ها خرد و از الک ۲ میلی‌متری عبور

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و بافت خاک در لایه‌های عمقی مختلف

کلاس بافت خاک	درصد رس	درصد سیلت	درصد ماسه	تخلخل (درصد)	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	هدایت هیدرولیکی اشباع (میلی‌متر بر ساعت)	لایه خاک (سانتی‌متر)	تیمار آبیاری
Sandy Loam	۱۶/۴	۲۲/۰	۶۱/۶	۳۵/۸۳	۱/۶۴	۳۸/۰۲	۰ - ۳۰	
Sandy Clay Loam	۱۸/۱	۲۲/۳	۵۹/۶	۲۷/۱۱	۱/۵۸	۳۴/۱۸	۳۰ - ۶۰	پساب تصفیه‌شده
Sandy Loam	۲۲/۴	۱۴/۰	۶۳/۶	۳۳/۱۹	۱/۷۲	۳۶/۰۶	۶۰ - ۹۰	
Sandy Loam	۱۲/۴	۱۵/۴	۷۲/۱	۳۷/۰۰	۱/۷۰	۱۸/۱۹	۰ - ۳۰	
Sandy Loam	۱۱/۴	۱۳/۴	۷۵/۲	۲۹/۹۰	۱/۸۰	۲۷/۱۶	۳۰ - ۶۰	آب چاه
Sandy Loam	۱۶/۴	۱۵/۴	۶۸/۲	۲۵/۷۳	۱/۶۹	۲۰/۶۰	۶۰ - ۹۰	

مرحله بعد، الک و آسیاب شد تا پودر کاملاً یکنواختی به دست آید. سپس، ۰/۵ گرم از نمونه فوق با روش هضم کامل برای تزریق به دستگاه آماده شد (۱۰). برای اندازه‌گیری تمامی عناصر موجود در این تحقیق، از روش جذب اتمی با کوره گرافیکی استفاده شد. خلاصه نتایج آنالیز شیمیایی خاک در جدول ۲ ارائه شده است.

هدایت هیدرولیکی به روش بار افتان و جرم مخصوص ظاهری به روش نمونه‌برداری دست‌نخورده اندازه‌گیری شد. همچنین، تخلخل در هر لایه نیز بر اساس مقدار وزن مخصوص ظاهری و واقعی و با استفاده از فرمول محاسبه شد. برای آنالیز شیمیایی، نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه به مدت ۲۴ ساعت در داخل آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا کاملاً خشک شود (۳۴). در

### مدیریت آب و آبیاری

دوره ۶ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۵

## مشخصات و آنالیز نمونه‌های گیاهی

در این تحقیق، به منظور بررسی میزان فلزات سنگین مس، آهن، روی، کادمیم و منگنز، محصول چهار گیاه مختلف ذرت (*Zea mays*)، جو (*Hordeum vulgare*)، بامیه (*Petroselinum*) و جعفری (*Abelmoschus esculentus*) کشت شده در سه تکرار از قسمت‌های مختلف مزرعه به طور تصادفی انتخاب و برداشت شد. شروع کشت ذرت در اواخر اسفند و برداشت آن در شهریور بود. جو در آبان ماه کاشت و در اواسط خرداد برداشت شد. بامیه در اواسط فروردین کاشت و در اواخر تیرماه برداشت شد. جعفری نیز از اواخر فروردین کشت شد و برداشت آن در تیرماه صورت گرفت. نمونه‌های گیاه در کیسه‌های پلی اتیلن جمع‌آوری، سپس به آزمایشگاه منتقل و با آب سه بار تقطیر کاملاً شستشو داده شد تا آلاینده‌های احتمالی موجود در آب و خاک که در تماس با گیاه بود از بین برود. برای هضم نمونه گیاهی، ۲ گرم از نمونه‌های خشک و آسیاب شده در بالن ته‌گرد قرار داده شد و به ترتیب ۴ میلی‌لیتر اسید پرکلریک غلیظ، ۲ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ و ۲۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ به آن اضافه و جوشانده شد تا حجم آن کم شود. در گام بعدی، به آن ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد تا رسوبات حل شود و دوباره حرارت داده شد تا حجم آن کم شود. سپس، محلول صاف شد و حجم آن به ۲۵۰ میلی‌لیتر رسید (۲۰). بعد از آن مقدار فلزات سنگین با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Spectra AA 220 ساخت کارخانه VARIAN کشور استرالیا اندازه‌گیری شد.

## تجزیه و تحلیل آماری

این پژوهش در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی (CRD) برای کرت‌های خردشده (Split Plots) و آزمایش فاکتوریل (با دو تیمار پساب تصفیه شده و آب چاه) در سه تکرار، برای هر

یک از محصولات به طور جداگانه انجام شد. پارامترهای اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SAS 9.1 و MSTATC تحلیل و ارزیابی شد. تست نرمال بودن داده‌ها نیز انجام شد. آزمون مقایسه میانگین نیز در سطوح احتمالی ۱ و ۵ درصد بر اساس روش دانکن انجام شد.

## نتایج و بحث

### مشخصات شیمیایی و فلزات سنگین تیمارهای آب و خاک

در این مطالعه، دو تیمار آب پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب (TWW) و آب چاه (WEW) موجود در همان محل (شاهد) استفاده شد. پارامترهای کیفی نمونه‌های برداشت شده با استانداردهای معتبر مقایسه شد (۵۵، ۲۲). مطابق نتایج، غلظت برخی پارامترها در نمونه‌های پساب تصفیه‌خانه بیش از حدود مجاز به دست آمده است. غلظت منیزیم، آهن، منگنز، کلسیم، نیترات و فسفات و مقدار هدایت الکتریکی اکثر نمونه‌های پساب و حتی در برخی موارد معدود آب چاه، بیش از حدود پیشنهادی و مجاز برای آبیاری است که باید مورد توجه و بررسی بیشتر قرارگیرد. این موارد در خاک جذب می‌شود و در طول رشد گیاه از طریق ریشه وارد گیاه می‌شود و در اندام‌های مختلف تجمع می‌یابد (جدول ۲).

### بررسی تجمع فلزات در محصولات مختلف

با توجه به تفاوت در ماهیت فلزات مختلف مورد بررسی در این تحقیق، همچنین متفاوت بودن سازوکار جذب و تجمع این فلزات در گروه‌های مختلف گیاهی و حتی اندام‌های مختلف هر گیاه و اهداف مورد نظر محقق، در این پژوهش، نتایج به تفکیک هر فلز و با هدف مقایسه هم‌زمان وضعیت تجمع و جذب هر فلز در محصولات مختلف، به خصوص در اندام هر محصول ارائه می‌شود.

## مدیریت آب و آبیاری

جدول ۲. نتایج آزمایش های پارامترهای شیمیایی و فلزات سنگین آب و خاک و مقایسه با استانداردهای جهانی

WHO 2007	EU 2002	خاک		آب		WHO	FAO	آب چاه	سبب	واحد	مغز
		آبزی با آب چاه	آبزی با سبب	واحد	واحد						
۱۰۰	۱۴۰	۲۶/۱	۴/۶	mg/kg	۰/۸	۰/۲	۰/۱۱	mg/l	مس (Cu)		
-	NA	۲۵۴۱	۳۱۲۴	mg/kg	۵	۵	۲۶/۲	mg/l	آهن (Fe)		
۲۰۰	۲۰۰	۱۷۹	۲۳۲	mg/kg	۲	۱	۰/۱۱	mg/l	روی (Zn)		
NA	NA	۷۵۳	۹۴۲	mg/kg	۰/۲	۰/۲	۱/۱۱	mg/l	منگنز (Mn)		
۴	۳	۱/۶۷	۱/۸۵	mg/kg	-	-	-	mg/l	کادمیم (Cd)		
-	-	۲۸۲	۲۹۰	mg/l	۶۹	۶۹	۲۶/۲	mg/l	سدیم (Na)		
-	-	۱۳/۵	۱۷/۲۵	mg/l	-	۲۰۰	۳۱۸/۵	mg/l	کلسیم (Ca)		
-	-	۶/۱۸	۶/۸۹	mg/l	-	۲۵	۱۶۸/۳	mg/l	منیزیم (Mg)		
-	-	۹۳/۴	۹۳/۵	mg/l	-	-	۱۹/۸	mg/l	پتاسیم (K)		
-	-	۱۲/۶	۱۵/۳	mg/l	۱/۶	۱۰۰	۵۸/۳	mg/l	کلر (Cl)		
-	-	۲/۴۲	۲/۸۶	-	۳	-	۰/۳۱۶	-	نسبت جذب سدیم (SAR)		
-	-	۷۰/۸	۲۷۱	mg/l	۳۵۰	-	۱۱/۶	mg/l	کل ذرات محلول (TDS)		
-	-	۱/۱۱	۰/۴۲	ds/m	۰/۷	۰/۷	۱/۷۱	ds/m	هدایت الکتریکی (EC)		
-	-	۷/۰۶	۷/۳۸	-	۶/۵-۸/۵	۶/۵-۸/۴	۷/۰	-	اسیدیته (pH)		

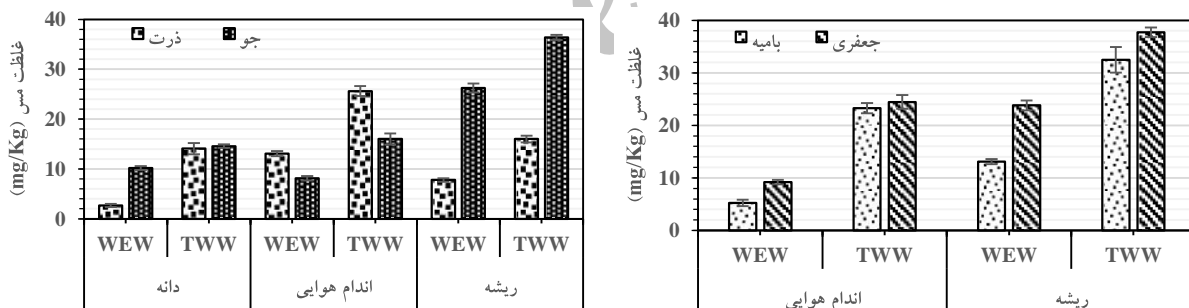
## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۶ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۵

### مس (Cu)

تحرك مس در خاک كم و وجود عنصر مس برای انسان و دام ضروری است (۹). بنابراین، چنانچه به هر دلیلی وارد خاک شود، امکان آبیاری و خروج آن تنها از طریق جذب در ریشه گیاهان صورت می‌گیرد. بالابودن نسبی غلظت مس در تیمارهای تحت آبیاری با پساب نسبت به تیمارهای آبیاری شده با آب چاه، حاکی از همین واقعیت است (شکل ۱). در دیدی کلی، افزایش تجمع مس در اندام‌های مختلف ذرت، جو، بامیه و جعفری تحت آبیاری با پساب نسبت به تیمارهایی نظیر آب چاه مشاهده می‌شود. از طرف دیگر، به‌طور متوسط تجمع مس در ریشه و دانه جو نسبت به ذرت به‌طور قابل توجهی بیشتر بود. این روند و شرایط در هر دو تیمار آبیاری دیده شد. در جعفری و بامیه، با وجود تفاوت زیاد بین تیمارهای آب چاه و پساب، اختلاف قابل توجهی در مقدار غلظت مس

اندازه‌گیری شده در ریشه و اندام هوایی دو محصول تحت تیمار یکسان مشاهده نمی‌شود. همچنین، بیشترین غلظت مس در ریشه جعفری، جو و بامیه به ترتیب برابر با ۳۷/۷، ۳۶/۴ و ۳۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم به دست آمد. اما در ذرت، بیشترین تجمع در اندام هوایی و برابر با ۲۵/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم اندازه‌گیری شده است. این نتایج نشان می‌دهد که علی‌رغم حرکت کند مس در اندام گیاهان و تجمع بیشتر در ریشه، در صورت عدم علاج بخشی و ادامه روند آبیاری با پساب، در آینده باعث آلوده شدن بخش‌های هوایی و خوراکی محصولات، به خصوص سبزیجات، می‌شود، چرا که سبزیجات برگی، نسبت به محصولات میوه‌دار و غلات، توانایی بیشتری در انباشت فلزات سمی در بخش‌های خوراکی خود دارد (۴۵).



شکل ۱. متوسط غلظت مس در اندام محصولات مختلف تحت تیمارهای مختلف آبیاری

مس در ریشه و عموماً در سبزیجات بیشتر است. باید دقت نظر داشت که در نتیجه تحقیقات مشابه، با توجه به تأثیر مستقیم و غیرمستقیم عوامل مختلف نظیر کیفیت آب آبیاری، خصوصیات خاک، اقلیم منطقه و جزآن مقدار تجمع مس در قسمت خوراکی گیاه برابر با ۷۲/۰ (۵۰)، ۳/۳۴ (۳۷)، ۱۶/۴ (۸) و ۹/۱ (۳۸) میلی‌گرم در کیلوگرم در نتیجه آبیاری با آب پساب شهری گزارش شده است.

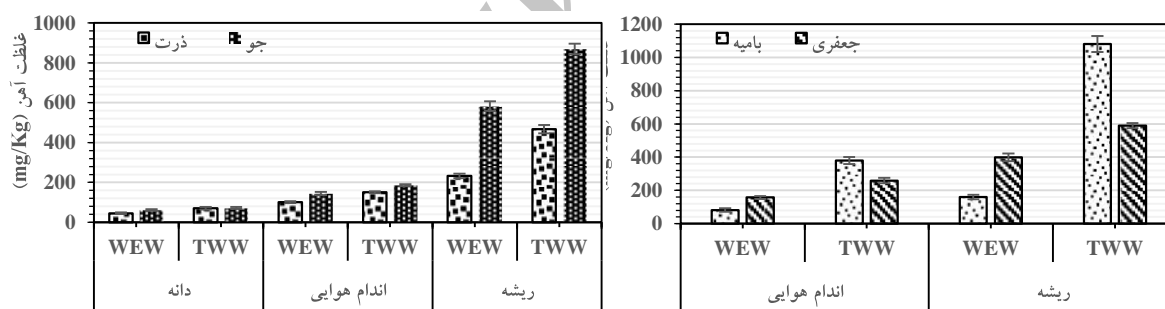
نتایج آبیاری گندم، جو و ذرت با پساب فاضلاب کارخانه‌های صنعتی نشان داد که میزان عناصر سنگین به‌ویژه Ni, Cu, Pb, Cd بیش از اراضی شاهد بود و در صورت استفاده مستمر از پساب، میزان عناصر ذکر شده بالاتر از حد استاندارد جهانی می‌شود، به‌طوری‌که میزان عناصر سنگین در این محصولات ناچیز بود که به دلیل حرکت کند این عناصر از ریشه به اندام هوایی و دانه است (۳). نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد که تجمع

### مدیریت آب و آبیاری

## آهن (Fe)

محسوب می‌شود و حد مشخصی برای سمی بودن آن در اندام‌های گیاهی لحاظ نشده است، تجمع غلظت‌های بالای این فلز در اندام گیاهان نگران‌کننده است. همچنین، عمده تجمع آهن در ریشه‌ها صورت گرفته است و انتقال آن به اندام‌های هوایی (به‌خصوص دانه غلات) محدود بود که این روند با نتایج دیگر تحقیقات (۴۹) مطابقت دارد. همچنین، اثر آبیاری گندم و ذرت با پساب تصفیه‌شده باعث افزایش میزان فلزات سنگین، به‌ویژه Zn، Mn و Cu شد. با وجود این، تنها مقدار تجمع آهن زیاد و بالاتر از حد بحرانی بود (۲۳). همچنین، مقادیر مختلفی از تجمع آهن در گیاه جعفری به سبب آبیاری با پساب فاضلاب گزارش شده است که غلظت آهن اندازه‌گیری شده ۵۴۳ (۳۸)، ۱۲۳۹ (۲۸) میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است و با نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق حاضر مطابقت دارد و تأییدی است بر این مهم که سبزیجات تمایل بالایی به جذب آهن از طریق ریشه و انتقال آن به اندام هوایی خود دارد.

نتایج اندازه‌گیری غلظت آهن در اندام‌های مختلف ذرت، جو، بامیه و جعفری نشان‌دهنده غلظت بالا و تجمع آهن در ریشه هر چهار محصول تحت تیمار آبیاری پساب است. اگرچه به‌طور نسبی مقدار این فلز در ریشه جو آبیاری شده با آب چاه نیز قابل توجه است، در نتیجه آبیاری با پساب، مقدار تجمع آهن در ریشه ذرت، جو، بامیه و جعفری به‌ترتیب ۲، ۱/۵، ۶/۷ و ۱/۵ برابر بیش از تیمارهایی نظیر آبیاری با آب چاه اندازه‌گیری شده است (شکل ۲). بیشترین مقدار تجمع آهن بین سبزیجات به ۱۰۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در ریشه بامیه و در میان غلات به ۸۶۹ میلی‌گرم در کیلوگرم در ریشه جو، تحت تیمار آبیاری با پساب رسید. در میان تیمارهای تحت آبیاری با آب چاه نیز، بالاترین میزان تجمع آهن در ریشه جو و جعفری به‌ترتیب برابر با ۵۸۳ و ۳۹۸ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. اگرچه عنصر آهن در حالت عادی جزء عناصر مغذی



شکل ۲. متوسط غلظت آهن در اندام محصولات مختلف تحت تیمارهای مختلف آبیاری

آبیاری شده با پساب نزدیک و یکنواخت‌تر بود. به‌طور متوسط، اختلاف کمی از نظر تجمع روی در ریشه و اندام هوایی بامیه و جعفری مشاهده می‌شود. در بین غلات (جو و ذرت)، کمترین غلظت روی در اندام هوایی تیمارهای تحت آزمایش به‌دست آمد. بالاترین مقدار تجمع روی در ریشه جعفری به‌طور متوسط برابر با ۹۹ میلی‌گرم در

## روی (Zn)

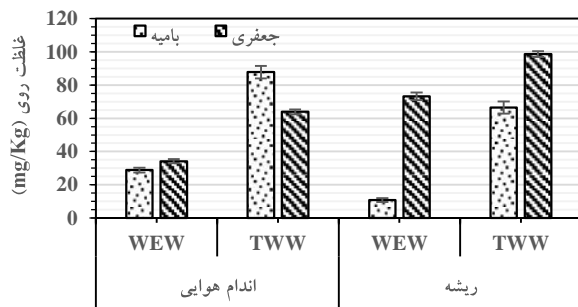
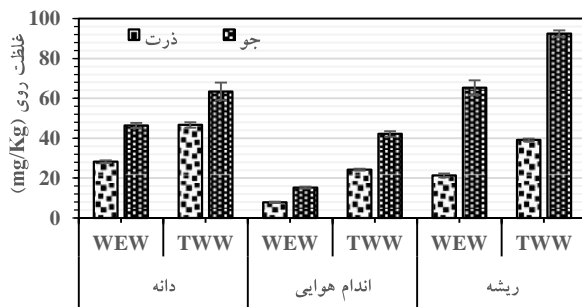
اگرچه روی عنصری ضروری برای رشد گیاه است، در غلظت‌های بالا باعث سمیت و توقف رشد گیاه خواهد شد (۹). در این پژوهش، پراکنش روی در اندام هوایی و ریشه سبزیجات مورد آزمایش (بامیه و جعفری)، همچنین میان ریشه و دانه غلات (ذرت و جو) به‌خصوص در تیمارهای

## مدیریت آب و آبیاری



بحرانی است (۴۴). در مطالعه محصولات کشت شده با پساب در شهر فیصل آباد پاکستان مشخص شد که در اصل، ریشه محصولات دارای تجمع بیشتری از فلزات است و هرچه به ساقه و دانه پیش می رود، تجمع فلزات کمتر می شود (۴۱).

کیلوگرم و در جو برابر با ۹۳ میلی گرم در کیلوگرم اندازه گیری شد. نتایج بررسی اثر پساب تصفیه شده بر تجمع روی در جعفری در کشورمان برابر با ۱۰۹ (۴) و ۲۶ (۱۳) میلی گرم در کیلوگرم گزارش شده است. همچنین، گزارش شده که سبزیجات و غلات تولیدی از آب های نامتعارف، محتوی فلزات سنگین با مقادیر بالاتر از حد



شکل ۳. متوسط غلظت روی در اندام محصولات مختلف تحت تیمارهای مختلف آبیاری

عمده آلودگی خاک با این عنصر سمی است. نقش کودهای فسفوری در آلودگی خاک با کادمیم و سمیت آن در گیاه در تحقیقات متعددی گزارش شده است (۶). از طرفی نیز گیاهان بدون اینکه صدمه ای ببینند مقادیر زیادی کادمیم را در خود جمع می کنند. غلظت های نسبتاً زیاد کادمیم در بخش های خوراکی گیاه تجمع می یابد، بدون آنکه علائم بیماری و تأثیرگذاری در گیاه آشکار شود (۹). تجمع کادمیم در گیاهان پتانسیل جذب این عنصر در انسان را افزایش می دهد. این امر در حالی صورت می گیرد که این گیاهان جزو جیره غذایی است (۳۰). برخلاف سایر فلزات سنگین که غلظت و تجمع آن در سبزیجات عمده تاً بیشتر بود، بیشترین تجمع کادمیم در ریشه و دانه غلات جو و ذرت مشاهده شد (شکل ۳).

کادمیم تحرک زیادی در گیاه دارد و چنانچه با ریشه جذب شود، به راحتی به بخش های دیگر گیاه منتقل می شود (۹). این عنصر همچنین در کاهش جذب آهن، منگنز و

اختلاف چشمگیر میان غلظت روی به دست آمده در ریشه و اندام هوایی بامیه آبیاری شده با پساب نسبت به آب چاه قابل توجه است، به طوری که مقدار روی تجمع یافته در ریشه و اندام هوایی بامیه تحت تیمار پساب به ترتیب بیش از ۶ و ۳ برابر مقدار نظیر آبیاری شده با آب چاه بود. همچنین، نتایج بررسی تحقیقات روی تجمع روی در گیاه جعفری در نتیجه آبیاری با فاضلاب و پساب تصفیه شده نشان می دهد که مقدار این عنصر عموماً کمتر از حدود مجاز اعلام شده و نزدیک به نتایج تحقیق حاضر ۳۷ و ۳۸ میلی گرم در کیلوگرم بوده است.

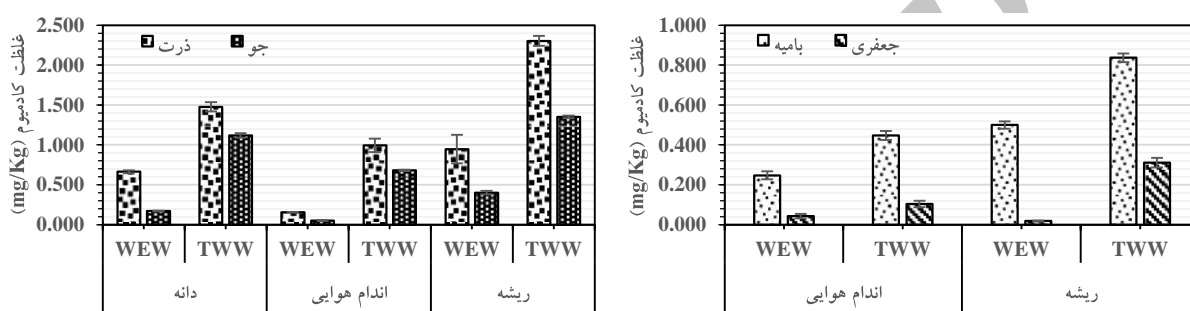
### کادمیم (Cd)

در بین فلزات سنگین، کادمیم دارای اهمیت ویژه ای است، زیرا به راحتی در سیستم گیاه جذب می شود و سمیت آن در گیاه ۲ تا ۲۰ برابر سایر فلزات سنگین است. در اراضی کشاورزی، کادمیم موجود در کودهای فسفوری یکی از منابع

## مدیریت آب و آبیاری

دانه و اندام هوایی ذرت (آبیاری شده با پساب) به ترتیب برابر با ۲/۳۰۳، ۱/۴۷۷ و ۰/۹۹۳ میلی گرم در کیلوگرم به دست آمد (شکل ۴). در تحقیقی، مقدار غلظت کادمیم در اندام هوایی ذرت آبیاری شده با فاضلاب کمتر از ۰/۰۲ نیز گزارش شده است (۳۳). اما، بیشینه مقدار کادمیم در محصولات کشاورزی طبق توصیه، ۰/۱ است (۱۵).

احتمالاً کلسیم، منیزیم و ازت در گیاه نقش دارد. مطابق نتایج به دست آمده و برخلاف تجمع مس، آهن و روی در سبزیجات، به خصوص در جعفری تجمع کادمیم بسیار کمتر از دیگر محصولات بود. اگرچه افزایش بیش از ۱۷ برابری تجمع کادمیم در ریشه جعفری آبیاری شده با پساب نسبت به تیمار آب چاه قابل تأمل است، از طرفی، بیشترین غلظت اندازه گیری شده از تجمع کادمیم به ترتیب در ریشه،



شکل ۴. متوسط غلظت کادمیم در اندام محصولات مختلف تحت تیمارهای مختلف آبیاری

مقدار تجمع کادمیم در اندام های جعفری در حد معقول و مناسبی به دست آمد، به طوری که بیشترین مقدار در ریشه جعفری آبیاری شده با پساب برابر با ۰/۳۱ به دست آمد، در حالی که تحقیقات مشابه مقادیر بالاتری از تجمع این فلز در اندام جعفری را گزارش کردند (۴، ۳۸، ۵۰). همچنین، نتایج تحقیقات اخیر درباره تأثیر آبیاری با فاضلاب بر تجمع کادمیم در جعفری نشان داد که به طور متوسط مقدار این عنصر کمتر از ۲ میلی گرم در کیلوگرم بوده است (۳۹). غلظت کادمیم در سبزیجات برداشت شده از حومه شهر همدان به طور متوسط ۱/۱۴ میلی گرم در کیلوگرم به دست آمد (۱۳). بررسی ها بیانگر قابلیت و توانایی متفاوت گونه های مورد بررسی در جذب و تجمع کادمیم در اندام های مختلف و توانایی بیشتر گونه های سبزیجات برگ پهن در جذب و تجمع کادمیم در اندام های مختلف به ویژه در بخش های خوراکی است (۵).

در تحقیقی مشابه، مقدار کادمیم در نمونه های سبزیجات در همدان بیش از تیمارهای شاهد به دست آمد که دلیل آن بالا بودن غلظت کادمیم در خاک های تحت کشت سبزیجات ناشی از فعالیت های انسانی بیان شد (۲۹). توصیه شده است که حداکثر غلظت مجاز کادمیم در گیاهان برای مصرف انسان نباید بیش از ۰/۱ تا ۵ میلی گرم در کیلوگرم باشد (۱۷). همچنین، تجمع نسبتاً بالای کادمیم در ریشه و دانه جو قابل ملاحظه است. به عبارتی، می توان گفت که تجمع و انتقال کادمیم از ریشه به اندام هوایی در غلات بیش از سبزیجات بوده است. بالا بودن نسبی غلظت کادمیم در تیمارهای آبیاری با آب چاه در ذرت، جو و بامیه نیز قابل توجه است، چرا که کادمیم نسبت به فلزات سنگین دیگر، اهمیت و خطر بیشتری دارد و تجمع آن در اندام خوراکی گیاهان و ورود به بدن انسان و دام مشکلات و نگرانی های زیادی ایجاد می کند.

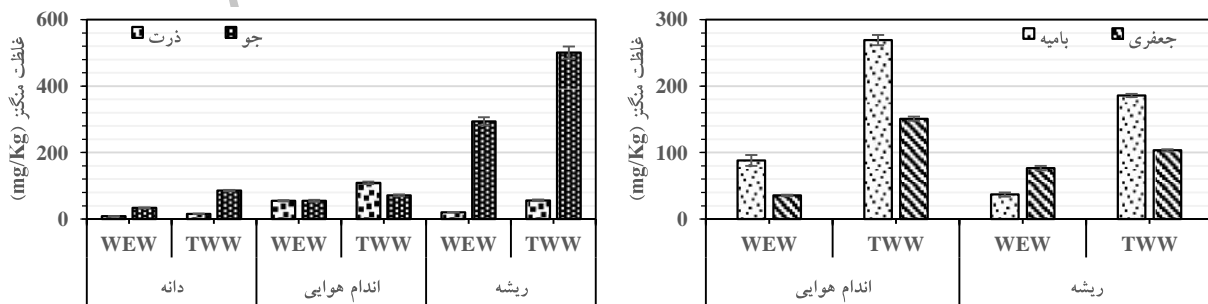
تجمع منگنز در ریشه و اندام هوایی پراکنش نسبتاً یکسانی داشت و در مجموع تجمع آن در اندام هوایی بیشتر بوده است (شکل ۵). بیشترین تجمع منگنز در ریشه جو و میوه بامیه به ترتیب با ۵۰۱ و ۲۷۰ میلی گرم در کیلوگرم اندازه گیری شد، اما ذرت نسبت به جذب و تجمع منگنز شرایط مناسبی داشت و کمترین مقدار منگنز در بین چهار محصول در این گیاه به دست آمد. از این نظر اندام هوایی و دانه جو نیز که از بخش های اصلی و خوراکی گیاه محسوب می شود، شرایط مناسبی داشته است. مقدار منگنز تجمع یافته در اندام هوایی و دانه تمامی تیمارهای ذرت و جو کمتر از ۱۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم بود که در قیاس با حداکثر مقدار مجاز اختلاف و فزونی بالایی دارد. نتایج بررسی اثر پساب تصفیه شده پالایشگاه جنوب تهران بر تجمع منگنز در جعفری و ذرت به ترتیب برابر با ۱۱۰ و ۸۷ میلی گرم در کیلوگرم گزارش شده است (۴).

انباشت منگنز در بخش هوایی بامیه و جعفری که خوراکی است و مصرف زیادی دارد، بسیار قابل توجه است، به طوری که تجمع این فلز تحت آبیاری با پساب تصفیه شده به ترتیب ۳ و ۴/۳ برابر بیش از تیمار آب چاه به دست آمده است. طبق نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر و مقایسه بین آنها مشخص شد که میانگین غلظت عناصر سنگین در انواع سبزیجات برگی متفاوت است.

مطالعات معدودی در مورد وضعیت تجمع عناصر مختلف در بامیه وجود دارد. مقدار انباشت کادمیم در ریشه و میوه بامیه در این تحقیق به ترتیب برابر با ۰/۸۴ و ۰/۵۰ میلی گرم در کیلوگرم به دست آمد که در هر دو مورد بالاتر از حدود مجاز برای گیاهان است. در گزارشی متوسط غلظت کادمیم در اندام خوراکی بامیه ۱/۷۴ تا ۲/۳۸ میلی گرم در کیلوگرم اعلام شده است (۳۳). به نظر می رسد که یکی از دلایل اصلی آلودگی این محصولات به دلیل استفاده بیش از اندازه کودهای شیمیایی، به خصوص کودهای فسفاته، باشد، چرا که این نوع کودها گاه حاوی ناخالصی است که این مقدار وارد خاک و به مرور زمان جذب گیاهان می شود (۵۳). علاوه بر این، قلیایی بودن خاک یکی از مهم ترین عوامل در جذب عناصر سنگین نظیر کادمیم در گیاه است (۲۵).

### منگنز (Mn)

در تحقیقی بیان شد که تجمع منگنز در تمامی اندام های گیاه به صورت یکنواخت است (۴۹). در این پژوهش، در غلات مورد مطالعه (ذرت و جو) بیشترین تجمع عنصر منگنز در قسمت ریشه و کمترین مقدار تجمع آن در دانه بود. اما در سبزیجات (جعفری و بامیه)، در قیاس با غلات،



شکل ۳. متوسط غلظت منگنز در اندام محصولات مختلف تحت تیمارهای مختلف آبیاری

## مدیریت آب و آبیاری

### نتایج تحلیل آماری

اندام‌های محصول ذرت تحت تیمار آبیاری پساب نسبت به آب چاه اختلاف مقداری قابل توجه و تفاوت آماری معناداری داشته است. در جو، غیر از آهن، غلظت فلزات سنگین دیگر در تمامی اندام‌ها در آب آلوده نسبت به آب چاه افزایش معناداری داشت. در هر دو تیمار آبیاری افزایش غلظت همه فلزات در ریشه نسبت به سایر اندام‌ها معنادار بود. همچنین، تجمع مس، آهن و کادمیم در هر دو تیمار آب چاه و پساب در ریشه بیش از میوه بامیه بوده است، در حالی که این روند در روی و منگنز معکوس بود و فزونی و تجمع در میوه بیشتر مشاهده می‌شود.

نتایج تحلیل آماری تأثیر تیمارهای آبیاری بر میزان تجمع فلزات سنگین در اندام‌های مختلف ذرت، جو، بامیه و جعفری در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج به دست آمده از تحلیل‌های آماری نشان می‌دهد که با روندی نسبتاً مشابه، اثر تیمار کیفیت آب و اندام‌های مختلف گیاه نسبت به تجمع فلزات سنگین در همه محصولات در سطح احتمال ۱ درصد معنادار بوده است. این در حالی است که بررسی تأثیرات متقابل این دو عامل (تیمار کیفیت آب و اندام گیاهی) نتایج یکسانی نشان نمی‌دهد. غلظت فلزات سنگین مختلف (مس، آهن، روی، کادمیم و منگنز) در تمامی

جدول ۳. جدول تجزیه واریانس در رابطه با تأثیر تیمارهای آبیاری بر تجمع فلزات سنگین در اندام‌های مختلف محصولات

نام محصول	تیمار	درجه آزادی	Cu	Fe	Zn	Cd	Mn
ذرت	آب	۱	۵۱۶/۳**	۴۷۹۴۶**	۱۳۷۷/۱**	۴/۵۳۰**	۴۷۰۳/۲**
	اندام گیاهی	۲	۱۸۸/۰۱**	۱۳۹۹۱۰**	۷۰۸/۸۷**	۱/۶۶۱**	۷۳۸۸**
	آب* اندام گیاهی	۲	۷/۵۷۶ <sup>ns</sup>	۱۹۴۹۰**	۱/۶۶۱ <sup>ns</sup>	۰/۱۴۱ <sup>ns</sup>	۸۳۵/۶**
	خطا	۸	۴/۵۸۸	۱۰۷۸/۸	۶/۱۹۲	۰/۰۳۸	۳۷/۱
	ضریب تغییرات (%)	-	۱۶/۲۳	۱۸/۴۶	۸/۹۰	۱۷/۹۵	۱۳/۸۱
جو	آب	۱	۲۵۱/۲۵**	۱۳۵۸۳۱*	۲۵۳۳**	۱/۸۴۳**	۳۷۹۵۰**
	اندام گیاهی	۲	۷۲۹/۲۱**	۵۸۴۱۰۸**	۳۷۸۴**	۰/۳۹۱*	۲۲۶۱۰۰**
	آب* اندام گیاهی	۲	۱۲/۷۷*	۱۸۰۰۳۵**	۴۹/۷۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۵۱ <sup>ns</sup>	۱۵۲۹۸**
	خطا	۸	۲/۷۶۲	۷۵۸۵	۸۰/۱۲	۰/۰۵۵	۷۱۱/۸
	ضریب تغییرات (%)	-	۸/۹۴	۱۵/۵۱	۱۶/۵۲	۳۷/۱۵	۱۵/۳۹
بامیه	آب	۱	۱۰۵۰**	۱۱۲۰۳۴**	۹۸۴۷**	۰/۲۱۶**	۸۱۵۷۶**
	اندام گیاهی	۲	۲۱۸/۱*	۴۵۵۲۸۶**	۱۱۶۱*	۰/۳۱۰**	۱۳۵۸۷**
	آب* اندام گیاهی	۲	۱/۳۶۷ <sup>ns</sup>	۲۹۰۴۷۴**	۷/۸۰۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۱۴ <sup>ns</sup>	۷۷۱/۲ <sup>ns</sup>
	خطا	۸	۱۱/۴۸	۱۹۸۸	۱۲۴/۷	۰/۰۰۴	۲۵۲/۵
	ضریب تغییرات (%)	-	۱۸/۳۰	۱۰/۴۸	۲۳/۰۳	۱۲/۵۱	۱۰/۹۵
جعفری	آب	۱	۶۳۹/۵**	۶۴۴۸۹**	۲۲۸۳**	۰/۰۹۳**	۱۵۱۵۱**
	اندام گیاهی	۲	۵۸۲/۴**	۲۴۵۳۵۹**	۴۰۷۸**	۰/۰۲۵*	۳۰/۷ <sup>ns</sup>
	آب* اندام گیاهی	۲	۱/۳۳۳ <sup>ns</sup>	۶۰۷۹ <sup>ns</sup>	۱۴/۰۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۴۰*	۵۸۹۶**
	خطا	۸	۳/۱۶۳	۴۱۲۴	۲۵/۲۱	۰/۰۰۳	۳۷/۹۴
	ضریب تغییرات (%)	-	۷/۴۷	۱۸/۲۹	۷/۴۴	۴۶/۴۸	۶/۷۲

ns = عدم تفاوت معنادار  
\* = معنادار در سطح ۵٪  
\*\* = معنادار در سطح ۱٪

### مدیریت آب و آبیاری

دوره ۶ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۵

تحقیقات دیگری درباره جعفری، غلظت مس و آهن در تمامی اندام‌های این محصول را بیش از استاندارد WHO گزارش کرده‌اند (۷، ۵۷) که با نتایج این تحقیق تا حدی متفاوت است. مقدار انباشت روی در تمامی محصولات مورد بررسی پایین‌تر از حدود پیشنهادی استاندارد EU به دست آمد. اما غلظت این عنصر در اندام‌های مختلف محصولات تحت تیمار آبیاری با پساب (به جز ذرت)، بالاتر از حداکثر مجاز استاندارد EU بود، اگرچه روی نیز جز در غلظت‌های بالا، نگران‌کننده و خطرناک نیست.

نتایج بررسی‌های اخیر در منطقه ورامین نشان داد که تجمع تمامی فلزات مورد مطالعه در بافت گیاهی (کاه و کله گندم و برگ ذرت) بیش از دانه این محصولات بود. همچنین، میزان تجمع سه عنصر Cu، Zn، Ni در مقایسه با استانداردهای FAO، از حد مجاز بالاتر بود (۲). مقدار انباشت منگنز در محصولات مختلف در اکثر موارد نزدیک یا کمتر از ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شده است و تنها غلظت این فلز در میوه بامیه و ریشه جو نسبتاً زیاد بود که به ترتیب برابر با ۲۶۹ و ۲۹۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمده است و با این حال بسیار کمتر از حد پیشنهادی استاندارد FAO/WHO (2007) بود. نتایج اندازه‌گیری مقدار کادمیم تجمع یافته در اندام‌های مختلف ذرت، جو، بامیه و جعفری در تمام تیمارهای آبیاری شده با پساب و حتی در اندام هوایی و ریشه محصول بامیه و جو تا حد زیادی بیش از مقادیر پیشنهادی استانداردهای ارائه شده است. غلظت بسیار بالای این فلز در ریشه و دانه ذرت (به ترتیب برابر با ۲/۳۰ و ۱/۴۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) و جو (۱/۳۵ و ۱/۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) با نتایج تحقیقات مشابه مطابقت و موافقت دارد (۲۱، ۳۶) و بسیار نگران‌کننده و خطرناک است، چرا که کادمیم ماده‌ای سرطانزا در ایجاد اغلب سرطان‌ها شناخته شده است (۵۲). همچنین، در این تحقیق، غلظت تمامی فلزات سنگین در

نتایج آزمون مقایسه میانگین در سطح احتمال ۵ درصد نسبت به تجمع فلزات سنگین در اندام‌های مختلف جعفری نشان می‌دهد که غلظت تمام فلزات سنگین در اندام هوایی و ریشه این محصول تحت تیمار پساب دارای افزایشی معنادار و فاحش بوده است. از طرفی نیز، در هر دو تیمار آبیاری مقدار تجمع مس، آهن، روی و کادمیم در ریشه به طور معناداری بیش از اندام هوایی بوده است، و برعکس تجمع منگنز در اندام هوایی بیش از ریشه بوده است، اما این اختلاف معنادار نبود (جدول ۴).

### بررسی تجمع فلزات سنگین در مقایسه با استانداردها

مقایسه نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر (جدول ۴) با مقادیر پیشنهادی استانداردهای ارائه شده حاکی است که سطوح غلظت مس در اندام‌های مختلف هر چهار محصول مورد مطالعه (ذرت، جو، بامیه و جعفری) پایین‌تر از مقادیر حداکثر پیشنهادی FAO/WHO و EU بوده است. سمیت خاصی از آهن به استثنای مقادیر بالای آن در گیاهان گزارش نشده است. تنها حدود پیشنهادی برای مقدار آهن در گیاهان برابر با ۴۵۰ و ۴۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که FAO/WHO و EU اعلام کرده است. اما، مقدار آستانه سمیت این عنصر برای تغذیه دام ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم پیشنهاد شده است (۹). مقایسه میزان غلظت آهن اندازه‌گیری شده در محصولات مختلف در تحقیق حاضر نشان می‌دهد که مقدار تجمع این فلز در ریشه هر چهار محصول مورد بررسی بالاتر از حد مجاز استانداردهاست. بیشترین مقدار انباشت آهن نیز در ریشه جو و بامیه (بیش از ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) به دست آمد که برای تغذیه دام نیز مناسب نیست. اما، با توجه به پایین بودن مقدار آن در اندام هوایی خوراکی این محصولات که نقش مهمی در جیره غذایی انسانی دارد، نگرانی خاصی وجود ندارد.

تمام اندام‌های جعفری زیر حد مجاز قرار داشت که با تحقیق مشابه مطابقت دارد (۲۱). طبق نتایج تحقیق حاضر، بالاترین و پایین‌ترین غلظت عناصر سنگین گیاهی به ترتیب مربوط به عناصر آهن، روی و کادمیم است که می‌توان آن را به غلظت کل فلزات سنگین در خاک و تحرک متفاوت آن‌ها نسبت داد.

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های غلظت فلزات سنگین در اندام‌های مختلف محصولات مورد مطالعه تحت تأثیر تیمارهای آبیاری

نام محصول	تیمار آبیاری	تیمار	مس (mg/kg)	آهن (mg/kg)	روی (mg/kg)	کادمیم (mg/kg)	منگنز (mg/kg)
ذرت	پس‌سب	ریشه	۱۶/۰b	۴۶۶a	۳۹/۲b	۲/۳۰a	۵۶/۳b
	آب چاه	اندام هوایی	۲۵/۶a	۱۵۰c	۲۴/۳cd	۰/۹۹c	۱۰۸a
		دانه (میوه)	۱۴/۱b	۷۱/۱d	۴۶/۷a	۱/۴۸b	۱۵/۸cd
		ریشه	۷/۸۰c	۲۳۲b	۲۱/۴d	۰/۹۵c	۲۰/۷c
جو	پس‌سب	ریشه	۳۶/۴a	۱۱۶۵b	۹۲/۵a	۱/۳۵a	۵۰۰a
	آب چاه	اندام هوایی	۱۶/۰c	۱۸۶c	۴۲/۲c	۰/۶۸bc	۷۱/۲c
		دانه (میوه)	۱۴/۶c	۷۱/۷c	۶۳/۵c	۱/۱۲ab	۸۵/۹c
		ریشه	۲۶/۲b	۱۷۳۸a	۶۵/۳b	۰/۴۰cd	۲۹۴b
بامیه	پس‌سب	ریشه	۳۲/۴۷a	۱۰۸۰a	۶۶/۴۸a	۰/۸۴a	۱۸۵/۹b
	آب چاه	دانه (میوه)	۲۳/۲۷b	۳۷۹/۶b	۸۷/۷۷a	۰/۴۵b	۲۶۹/۲a
		ریشه	۱۳/۰۸c	۱۶۰/۳c	۱۰/۸۰b	۰/۵۰b	۳۷/۰۰c
		دانه (میوه)	۵/۲۳d	۸۱/۹۳c	۲۸/۸۷b	۰/۲۵c	۸۸/۲۷c
جعفری	پس‌سب	ریشه	۳۷/۷۳a	۵۹۰/۲a	۹۸/۶۴a	۰/۳۱a	۱۰۳/۳b
	آب چاه	اندام هوایی	۲۴/۴۷b	۲۵۹/۴bc	۶۳/۹۳b	۰/۱۰b	۱۵۰/۹a
		ریشه	۲۳/۸۰b	۳۹۸/۴b	۷۳/۲۱b	۰/۰۲b	۷۶/۶۰c
		اندام هوایی	۹/۲۰c	۱۵۷/۴c	۳۴/۱۸c	۰/۰۴b	۳۵/۴۷d
استاندارد (FAO/WHO (2001 and 2007)		۴۰ - ۷۳	۴۵۰	۶۰ - ۱۰۰	۰/۱ - ۰/۲	۵۰۰	
استاندارد (EU (2006)		۴۰	۴۲۵	۶۰	۰/۲ - ۰/۰۵	NL	

در هر ستون و برای هر گروه میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک با یکدیگر اختلاف معناداری ندارد ( $P < 0/05$ ).

### مدیریت آب و آبیاری

دوره ۶ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۵

## نتیجه گیری

وجود فلزات سنگین در دنیای صنعتی امروز به معضلی جدی تبدیل شده است که به طرق مختلف در حال ورود به زنجیره غذایی انسان است. نتایج تحقیقات پیشین حاکی از آن است که غلظت فلزات سنگین در محلول خاک، در کنترل قابلیت استفاده فلز در گیاهان نقش حیاتی دارد، به طوری که با افزایش سطح غلظت عناصر سنگین در خاک، به افزایش غلظت و جذب عنصر در گیاه می انجامد (۴۳). غلظت فلزات سنگین در گیاهان با توجه به نوع و رقم گیاه متفاوت است، به طوری که جذب این عناصر در گیاهان تحت تأثیر نوع و مرحله رشدی گیاه، نوع خاک، نوع فلز و سایر فاکتورهای محیطی است. نتایج پژوهش حاضر، تجمع آهن، روی و کادمیم در اندامهای محصولات مورد بررسی برای پساب بیشتر از آب چاه و در بیشتر موارد بالاتر از حدود استانداردها نیز بود. ولی از نظر تجمع مس و منگنز، علی رغم مشاهده اختلاف معنادار آماری و مقداری بین تیمارهای مختلف، میزان تجمع این دو فلز در اندامهای مختلف محصولات در اکثر موارد پایین تر از حدود مجاز قرارداد است. دامنه تغییرات فلزات سنگین در محصولات مختلف تحت تیمارهای آبیاری با پساب،  $۱۴/۱-۳۷/۷$ ،  $۷۱/۱-۱۱۶۵$ ،  $۲۴/۳-۹۸/۶$ ،  $۰/۱۰-۲/۳۰$  و  $۱۵/۸-۲۶۹$  میلی گرم در کیلوگرم به ترتیب برای مس، آهن، روی، کادمیم و منگنز اندازه گیری شد. اگرچه در برخی موارد معدود تجمع برخی فلزات در اندام محصولات مورد بررسی تحت تیمار آب چاه نیز قابل توجه و حتی بالاتر از حدود مجاز به دست آمد، می توان نتیجه گرفت که در غلات و سبزیجاتی که با پساب آبیاری شده است تجمع فلزات سنگین بیشتر و تجمع این فلزات در ریشه بیش از دیگر قسمت های گیاه است، هر چند تجمع برخی فلزات در اندام هوایی جعفری بیشتر بود. همچنین، تجمع کادمیم در تمامی اندام های بررسی شده و انباشت آهن در ریشه

تمامی محصولات تحت تیمارهای پساب، بیش از استانداردهای معتبر ارائه شده بود.

## منابع

۱. پیرصاحب م. شرفی ک. و دوگوهر ک. (۱۳۹۰) مقایسه کیفیت پساب تصفیه خانه فاضلاب اولنگ مشهد با آب چاه های منطقه برای آبیاری. مجله علمی- پژوهشی آب و فاضلاب، ۴۲: ۳۶-۴۶.
۲. ساسانی ف. (۱۳۹۴) تحلیل چند متغیره خاک های اراضی کشاورزی تحت آبیاری بلندمدت با پساب شهری. دانشگاه رازی، کرمانشاه، پایان نامه دکتری.
۳. شهابی فرج. (۱۳۸۹) بررسی اثرات کاربرد فاضلاب های صنعتی در اراضی تحت کشت و گیاهان منطقه قزوین. سمینار ملی جایگاه آب های بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب، کاربردها در کشاورزی و فضای سبز: ۱-۷.
۴. کاظم زاده خویی ج. سادات نوری ا. پورنگ ن. علیزاده م. قریشی ح. و پاداش ا. (۱۳۹۱) بررسی و اندازه گیری فلزات سنگین نیکل، سرب، مس، منگنز، روی، کادمیم و وانادیم در سبزی های خوراکی جنوب پالایشگاه تهران. پژوهش های محیط زیست، ۳(۶): ۶۵-۷۴.
۵. یارقلی ب. (۱۳۸۷) بررسی میزان جذب کادمیم از محیط ریشه و میزان تجمع آن در اندام محصولات زراعی. دانشگاه تهران، تهران، پایان نامه دکتری.
۶. کریمیان، ن. (۱۳۷۷) پیامدهای زیاده روی در مصرف کودهای شیمیایی فسفوری. مجله خاک و آب، ۱۴(۴): ۱۲-۱.
7. Afzal S. Abdul N. Nazeef U. Ali R. Muhammad A. Muhammad Z. and Muhammad S.K. (2013) Comparative study of heavy metals in soil and

15. Codex Alimentarius Commission (FAO/WHO) (2001) Food additives and contaminants. Geneva: Joint FAO/WHO Food Standards Program.
16. Cui Y. Zhu Y.G. Zhai R. Huang Y. Qin Y. and Liang J. (2005) Exposure to metal mixtures and human health impacts in a contaminated area in Nanning, China. *Environment International*, 31(6): 784-90.
17. Dadban Y. Shahriari A. Rahimzade H. and Mehdinejad M. (2009) Investigation of cadmium and lead in vegetable land in Gorgan. 12th Environmental Health Conference, Tehran.
18. EU (2006) Commission regulation (EC) No. 1881/2006, setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. *Official Journal of the European Union*, 364: 5-24.
19. European Union (2002) Heavy Metals in Wastes, European Commission on Environment.
20. Eva P. (2008) Survey of bottled drinking water available in Manitoba, Anada. *Environmental Health Perspective*, 108(9): 863.
21. Ewers U. (1991) Standards, guidelines and legislative regulations concerning metals and their compounds. In: *Metals and their compounds in the Environment*. (Ed.) E. Merian, VCH, Weinheim, New York, Basel, Cambridge: 687-711.
22. FAO (1985) Water quality for agriculture. Paper no. 29 (Rev. 1). UNESCO Publication, Rome, p 96.
23. Feizi M. and Rastghalam Z. (2012) The effect of treated wastewater irrigation on accumulation of heavy metals in selected plants. The 1th International and the 4th National Congress on recycling of organic waste in agriculture, Isfahan, Iran.
- selected medicinal plants. *Journal of Chemistry*, 5: 36-40.
8. Al-jaboobi M. Zouahri A. Tijane M. Housni A.El. Mennane Z. Yachou H. and Bouksaim M. (2014) Evaluation of heavy metals pollution in groundwater, soil and some vegetables irrigated with wastewater in the Skhirat region B Morocco. *J Mate Environ Sci.*, 5: 961-966.
9. Alloway B.J. (1995) Heavy metals in soils. 2nd ed. Glasgow: Blackie Academic and Professional: 16.
10. Baba A. Erees F.S. and Cam H.S. (2008) An assessment of the quality of various bottled mineral water marketed in Turkey. *Environ Monit Assess.*, 85: 139-277.
11. Bedbabis S. Trigui D.B. Ahmed C. Clodoveo M.L. Camposeo S. and Vivaldi G.A. (2015) Long-terms effects of irrigation with treated municipal wastewater on soil, yield and olive oil quality. *Agri Waste Manage.*, 160: 14-21.
12. Charan P.D. Ashwani K. Jakhar, Singh M. Singh K. and Manoj K.M. (2014) Analysis of some heavy metals in waste water irrigated vegetables grown in Bikaner City, Rajasthan. *Journal of Applied Phytotechnology in Environmental Sanitation*, 3(1): 29-34.
13. Chraghy M. and Ghobadi A. (2014) Evaluation of the health risk assessment of heavy metals (cadmium, nickel, lead and zinc) in the parsley vegetable harvested from some farms of Hamedan. *Sunrise Health Journal*, 13(4): 130-143.
14. Christou A. Maratheftis G. Eliadou E. Michael C. Hapeshi E. and Fatta-Kassinis D. (2014) Impact assessment of the reuse of two discrete treated wastewaters for the irrigation of tomato crop on the soil geochemical properties, fruit safety and crop productivity. *Agri Ecosyst Environ.*, 192: 105-114.



24. Ghosh A.K. Bhatt M.A. and Agrawal H.P. (2012) Effect of long-term application of treated sewage water on heavy metal accumulation in vegetables grown in northern India. *Environ Monit Assess.*, 184(2): 1025-1036.
25. Grey C.W. McLaren R.G. Roberts A.H.C. and Condron L.N. (1998) Sorption and desorption of cadmium from some New Zealand soils: Effect of pH and contact time. *Australian Journal of Soil Research*, 36: 199-216.
26. Gupta N. Khan D.K. and Santra S.C. (2011) Heavy metal accumulation in vegetables grown in a long-term wastewater-irrigated agricultural land of tropical India. *Environ. Monit. Assess.*, Epub.
27. Hasan H.I. Anwar M. Battikhi M. and Qrunfleh M. (2015) Impacts of treated wastewater reuse on some soil properties and production of *gladiolus communis*. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 11(4): 1103-1118.
28. Jabeen S. Shah M.T. Khan S. and Hayat M.Q. (2010) Determination of major and trace elements in ten important folk therapeutic plants of Haripur basin, Pakistan. *Medicinal Plants Research*, 4(7): 559-566.
29. Jalali M. and Khanlari Z.V. (2008) Cadmium availability in calcareous soils of agricultural lands in Hamadan, western Iran. *Soil and Sediment Contamination: an International Journal*, 17(3): 256-68.
30. Kabata-Pendias A. (2011) Trace elements in soils and plants. 4th ed. Boca Raton, Florida: CRC Press.
31. Khan A. Khan S. Alam M. Khan M.A. Aamir M. Qamar Z. Rehman Z. and Perveen S. (2016) Toxic metal interactions affect the bioaccumulation and dietary intake of macroand micro-nutrients. *Chemosphere*, 146: 121-128.
32. Khan S. Rehman S. Khan A.Z. Khan M.A. and Shah M.T. (2010) Soil and vegetables enrichment with heavy metals from geological sources in Gilgit, northern Pakistan. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73: 1820-1827.
33. Khan M.U. Malik R.N. and Muhammad S. (2013) Human health risk from Heavy metal via food crops consumption with wastewater irrigation practices in Pakistan. *Chemosphere*, 93: 2230-2238.
34. Klute A. and Dirksen C. (1986) Hydraulic conductivity and Diffusivity: Laboratory methods, p 687-734. In: A. Klute (Ed.), *Method of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. Monogr. 9, ASA and SSSA, Madison, WI.*
35. Lone M.I. Saleem S. Mahmood T. Saifullah K. and Hussain G. (2003) Heavy metal contents of vegetables irrigated by sewage/tube well water. *International Journal of Agriculture Biology*, 5: 533-535.
36. Masona C. Mapfai L. Mapurazi S. and Makanda R. (2011) Assessment of heavy metal accumulation in wastewater irrigated soil and uptake by maize plants (*Zea mays* L) at Firle Farm in Harare. *Sustainable Development*, 4(6): 132-137.
37. Mohamed A.E. Rashed M.N. and Mofty A. (2003) Assessment of essential and toxic elements in some kinds of vegetables. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 55: 251-260.
38. Mohamed H.H.A. and Khairia M.A.Q. (2012) Assessment of some heavy metals in vegetables, cereals and fruits in Saudi Arabian markets. *Aquatic Research*, 38: 31-37.
39. Mohammadi P. Rigi Hossien Abadi N. Darsanjc

- A. and Sohrabi Y. (2016) Determination of lead and cadmium in vegetables farmed countryside Kermanshah, Iran. *International Journal of Crop Science*, 19(4): 174-180.
40. Muchuwetia M. Birkettb J. Chinyangaa E. Zvauyaa R. Scrimshawc M. and Lester J.N. (2006) Heavy metal content of vegetables irrigated with mixtures of wastewater and sewage sludge in Zimbabwe: Implications for human health. *Agric Ecosyst Environ.*, 112: 41-48.
41. Murtaza G. Usman M. and Ahmad H.R. (2015) Monitoring and management of wastewater for safer crop production. *Global Journal on Advances Pure and Applied Sciences*, 5: 78-85.
42. Noor-ul- A. Anwar H. Sidra A. and Shumaila B. (2013) Accumulation of heavy metals in edible parts of vegetables irrigated with waste water and their daily intake to adults and children, District Mardan, Pakistan. *Food Chemistry*, 136: 1515-1523.
43. Orisakwe O.E. Nduka J.K. Amadi C.N. Dike D. and Obialor O.O. (2012) Evaluation of potential dietary toxicity of heavy metals of vegetables. *Journal of Environmental and Analytical Toxicology*, 2(3).
44. Raja S. Cheema H.M.N. Babar S. Khan A.A. Murtaza G. and Aslam U. (2015) Socio-economic background of wastewater irrigation and bioaccumulation of heavy metals in crops and vegetables. *Agricultural Water Management*, 158: 26-34.
45. Rashid A. Jabeen N. Batool A. and Ahmad R. (2016) Comparison of cadmium and zinc accumulation in onion and radish irrigated with municipal wastewater. *Journal of Applied Agriculture Biotechnology*, 1(1): 47-53.
46. Reynolds W.D. Drury C.F. Tan C.S. Fox C.A. and Yang X.M. (2009) Use of indicators and pore volume function characteristics to quantify physical quality. *Geoderma*, 152: 252-263.
47. Singh A. Sharma R.K. Agrawal M. and Marshall F.M. (2010) Health risk assessment of heavy metals via dietary intake of foodstuffs from the wastewater irrigated site of a dry tropical area of India. *Food Chemistry Toxicology*, 48(2): 611-619.
48. Singh S. and Kumar M. (2006) Heavy metal load of soil water and vegetables in peri-Urban Delhi. *Environ Monit Assess.*, 120(1-3): 79-91.
49. Smith S.R. (1996) *Agricultural recycling of sewage sludge and the environment*. CABI Press: 400 pp.
50. Stalikas C.D. Mantalovas A.C. and Pilidis G.A. (1997) Multi-element concentrations in vegetable species grown in two typical agricultural areas of Greece. *Science of the Total Environment*, 206: 17-24.
51. Uzma S. Azizullah A. Bibi R. Nabeela F. Muhammad U. Ali I. Rehman Z. and Häder D.P. (2016). Effects of industrial wastewater on growth and biomass production in commonly grown vegetables. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188: 1-13.
52. Waalkes M.P. (2003) Review cadmium carcinogenesis. *Mutation Research*, 533: 107-20.
53. Wang Q.C. and Ma Z.W. (2004) Heavy metals in chemical fertilizer and environmental risks. *Rural Eco-Environment*, 20(2): 62-64.
54. WHO/FAO (2007) *FAO/WHO food standard programme codex alimentarius commission 13th session. Report of the Thirty Eight Session of the Codex Committee on Food Hygiene* Houston, TX, USA.
55. World Health Organization (WHO) (2003) *Guidelines for drinking water quality*. 3rd ed. Geneva: World Health Organization.

56. Younis U. Malik S.A. Rizwan M. Qayyum M.F. Ok Y.S. Shah M.H.R. Rehman R.A. and Ahmad N. (2016) Biochar enhances the cadmium tolerance in spinach (*Spinacia oleracea*) through modification of Cd uptake and physiological and biochemical attributes. *Environmental Science and Pollution Research*, doi: 10.1007/s11356-016-7344-3.
57. Zaigham H. Zubair A. Khalid U.K. Mazhar I. Rizwan U.K. and Jabar Z.K.K. (2012) Civic pollution and its effect on water quality of River Toi at district Kohat, NWFP. *Environmental and Earth Sciences*, 4(5).

Archive of SID