مدیریت آب و آبیاری

دوره ۶ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۵

صفحه‌های ۳۲۹-۳۱۵

بررسی تأثیر آبیاری با آب آلوده بر تجمع فلزات سنگین در گندم و جعفری

حسین میرزایی تختگاهی[۱]، هوشنگ قمرنیا[۲] ، مقداد پیرصاحب[۳] و نظیر فتاحی[۴]

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، دانشکدهٔ بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران
۴. استادیار، گروه شیمی، دانشکدهٔ علوم، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۹/۰۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۰۹

چکیده

هدف این پژوهش بررسی اثر آبیاری با آب آلوده بر تجمع مس، آهن، روی، کادمیم و منگنز در دو آزمایش مجزا روی گندم و جعفری طی دو تیمار آب آلوده و آب چاه در منطقهٔ درود فرامان کرمانشاه است. مطالعه روی گندم (ریشه، اندام هوایی و دانه) و جعفری (ریشه و اندام هوایی)، در سه تکرار به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی صورت پذیرفت. تجمع آهن، روی، منگنز و کادمیم در اندام‌های گندم و برای آب آلوده بیش از آب چاه و معنادار بود، ولی از نظر تجمع مس اختلاف معناداری مشاهده نشد. در هر دو تیمار آبیاری افزایش غلظت همهٔ فلزات در ریشه نسبت به سایر اندام‌های گندم معنادار بود. بیشترین مقدار تجمع مس، آهن، روی، کادمیم و منگنز به‌ترتیب ۳۳/۱، ۱۵۵۴/۳، ۹۴/۸۵، ۰/۵۵۷ و ۴۹۴ (mg/kg) در ریشهٔ گندم و برای تیمار آب آلوده بود. همچنین، غلظت تمام فلزات سنگین در اندام‌های جعفری در آب آلوده به‌طور معناداری بیشتر بود. در هر دو تیمار آبیاری غلظت مس، آهن، روی و کامیم در ریشه به‌طور معناداری بیشتر از اندام هوایی است، ولی منگنز در اندام هوایی بیشتر بوده است. بیشترین مقدار تجمع مس، روی و کادمیم برابر ۳۵/۳، ۹۵/۷ و ۰/۷۶۷ (mg/kg) در ریشه و بیشترین مقدار آهن و منگنز ۵۸۸/۵ و ۱۹۴ (mg/kg) در اندام هوایی جعفری در آب آلوده بود. در نهایت، در گندم و جعفری که با آب آلوده آبیاری می‌شود تجمع فلزات سنگین بیش از شاهد و تجمع آن در ریشه بیشتر بود.

کلیدواژه‌ها: آهن، روی، کادمیم، مس، منگنز.

* نویسنده مسئول Email: hghamarnia@razi.ac.ir

مقدمه

کمبود منابع آب شیرین دغدغه‌ای جهانی و همواره در حال افزایش است. به‌ویژه در خاورمیانه و شمال افریقا، میزان آب به سطح بحرانی رسیده است و استرس آبی بر منطقه حکمفرما خواهد شد (۲۰). از طرفی، فاضلاب شهری منبع ارزش‌مندی برای استفادهٔ مجدد از آب است که عموماً در بخش کشاورزی استفاده می‌شود (۳۲). بررسی‌ها بیانگر قابلیت و توانایی متفاوت گونه‌های مورد بررسی در جذب و تجمع کادمیم در اندام‌های مختلف و توانایی بیشتر گونه‌های سبزیجات برگ‌پهن در جذب و تجمع کادمیم در اندام‌های مختلف، به‌ویژه در بخش‌های خوراکی، است (۸). مطالعه در بخشی از اراضی شهر صنعتی البرز قزوین تحت آبیاری فاضلاب کارخانه‌های صنعتی نشان داد که میزان عناصر سنگین به‌ویژه Cd، pb، Cu، Ni بیش از اراضی شاهد بوده است. در صورت استفادهٔ مستمر از فاضلاب، میزان عناصر ذکر شده بالاتر از حد استاندارد جهانی می‌شود.

نتایج حاصل از گیاهان مورد مطالعه (گندم، جو و ذرت) نشان داد که میزان عناصر سنگین در آن‌ها ناچیز است که به‌دلیل حرکت کند این عناصر از ریشه به اندام هوایی و بذر است (۴). آبیاری با پساب باعث افزایش تجمع روی، مس، کروم و نیکل در خاک و کاهش تجمع کادمیم و سرب در خاک‌های تحت آبیاری با پساب شده است. همچنین، غلظت کادمیم، کروم و سرب در دانهٔ گندم و ذرت بالاتر از حد مجاز اتحادیهٔ اروپا بود (۱). بررسی مقدار تجمع فلزات سنگین در محصولات گندم، ذرت و برنج نشان داد که تجمع تمامی فلزات مورد مطالعه در بافت گیاهی (کاه و کلش گندم، برگ ذرت و اندام هوایی برنج) بیش از دانهٔ این محصولات است. میزان تجمع سه عنصر Cu، Zn، Ni مطابق با استانداردهای FAO و عنصر pb مطابق با استاندارد FAO/WHO از حد مجاز فزونی یافته است (۳). در بررسی تأثیر آبیاری بلندمدت با پساب روی غلظت Zn، Cu، Mn، Cd، Pb، Ni، Fe و Cr در خاک و تجمع بعدی آن در کشت ذرت، مشخص شد که آبیاری بلندمدت با پساب باعث تجمع فلزات سنگین در خاک و گیاهان فرای حداکثر حدود مجاز برای انسان و مصرف دام می‌شود (۲۳).

در بررسی روی خاک رسی، اثر آبیاری با فاضلاب روی عناصر کم‌مصرف و فلزات سنگین افزایش معناداری نشان داد. همچنین، میزان فلزات Fe، Mn، Zn، Cu، Pb، Ni و Cd در خاک آبیاری‌شده با فاضلاب کمی بیشتر از آب چاه بود که به‌نظر می‌رسید تعدادی از محصولات نسبت به فلزات سنگین مسمومیت دارد (۳۸).

اثر آبیاری با پساب تصفیه‌شده روی چند کشت از جمله گندم و ذرت در منطقهٔ شمال اصفهان نشان داد که پساب تصفیه شده در بیشتر نمونه‌ها باعث افزایش میزان فلزات سنگین، به‌ویژه Mn، Zn و Cu، شده است، ولی تنها مقدار آهن بالاتر از حد بحرانی بوده است (۱۶).

بررسی تأثیر استفاده از پساب‌های صنعتی و خانگی تصفیه‌نشده همراه با جریان‌های سطحی و روانآب‌های کشاورزی در دو مقیاس کوتاه و بلندمدت بر آلودگی به فلزات سنگین در خاک و دانهٔ محصول گندم در منطقهٔ آبوتاباد پاکستان نشان داد که غلظت برخی فلزات سنگین بالاتر از حد نرمال است. ترتیب کاهشی این فلزات در دانهٔ گندم به‌صورت Zn>Fe>Mn>Cu>Pb>Cd>Ni>Cr بود (۱۷).

مطالعهٔ تجمع مس، نیکل، روی، کروم، آهن، منگنز، کبالت و سرب در سبزی‌های خوراکی شبیه پیاز، سیر، گوجه‌فرنگی و بادمجان نشان داد، تجمع فلزات در سبزیجات آبیاری‌شده با فاضلاب به‌طور معناداری بیش از آب چاه و از مقادیر سازمان بهداشت جهانی و فائو بیشتر بود (۲۹). بررسی اثر آبیاری بلندمدت با پساب خانگی در ایالت کارناتاکای هند باعث آلودگی خاک و سیستم گیاهی به فلزات سنگین شده است. تجمع این عناصر در گیاه گندم

به‌ترتیب نزولی ریشه، ساقه و دانه است. البته، حد آلودگی به این عناصر زیر حد آستانه توصیه شده است (۳۵).

سبزیجات و غلات تولیدی از آب‌های نامتعارف دارای مقادیر بالاتر از حد بحرانی فلزات سنگین است (۳۳). مطالعهٔ محصولات کشت‌شده با پساب در شهر فیصل‌آباد پاکستان نشان داد که ریشهٔ محصولات دارای تجمع بیشتری از فلزات است و هرچه به ساقه و دانه پیش می‌رود، تجمع فلزات کمتر می‌شود (۲۷).

آب رودخانهٔ قره‌سو در شهر کرمانشاه، با توجه به حاصلخیز بودن زمین‌های اطراف آن سال‌های متمادی مورد استفاده کشاورزان بوده است. با توجه به کیفیت بسیار پایین آب این رودخانه، این امر خطرات جدی برای بهداشت و سلامتی انسان و حیوانات و آثار مخربی بر محیط‌زیست به‌همراه دارد.

لذا، بررسی جامع تأثیر این آب روی محصولات تولیدی لازم و ضروری است. هدف از این تحقیق بررسی آثار آبیاری با آب آلودهٔ رودخانهٔ قره‌سو روی تجمع مس، آهن، روی، کادمیم و منگنز در اندام‌های مختلف گندم (ریشه، اندام هوایی و دانه) و جعفری (ریشه و اندام هوایی) است.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ مورد مطالعه اراضی روستای قمشه (به‌طول جغرافیایی ۴۷ درجه، ۱۴ دقیقه و ۴۳ ثانیهٔ شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه، ۱۴ دقیقه و ۳۳ ثانیهٔ شمالی) واقع در منطقهٔ درودفرامان به فاصلهٔ ۲۰ کیلومتری جنوب شهر کرمانشاه است. شهر کرمانشاه مرکز استان کرمانشاه و در غرب ایران واقع شده است. ارتفاع این منطقه ۱۲۹۲ متر از سطح دریا، اقلیم آن بر اساس تقسیم‌بندی آمبرژه نیمه‌خشک- سرد، میانگین دمای سالانهٔ آن ۱۴/۳ درجهٔ سانتی‌گراد و میزان بارش سالانهٔ آن تقریباً ۴۴۵ میلی‌متر است.

آب آبیاری

رودخانهٔ اصلی دشت کرمانشاه رودخانهٔ قره سو است. این رودخانه جزء حوضهٔ آبریز کرخه و طول آن حدود ۱۰۰ کیلومتر است. سرچشمهٔ اصلی آن سراب روانسر واقع در ۵۰ کیلومتری شمال غرب کرمانشاه است. انواع پسماندهای صنعتی، سموم کشاورزی، آبشوران مملو از انواع میکروب، فاضلاب‌های انسانی و صنعتی مستقیماً به داخل آن ریخته می‌شود.

جدول ۱. نتایج آزمایش شیمیایی تیمارهای آب و مقایسهٔ آن با استانداردهای جهانی استفاده از آب آلوده برای آبیاری

		قبل از آبیاری (اردیبهشت)		بعد از آبیاری (مهر)		استاندارد جهانی		
پارامتر	واحد	چاه	رودخانه	چاه	رودخانه	FAO	WHO	EPA
سدیم	mg/l	۲۷/۷	۱۳/۱۵	۳۲/۶	۱۶۲		۶۹	۶۹
کلسیم	"	۱۰۲/۹	۱۲۶/۷	۱۰۸/۲	۲۱۰/۶			۲۰۰
منیزیم	"	۶۲/۴	۳۷/۸	۵۴/۱	۱۱۲/۳			۲۵
آلومینیم	"	۰	۰/۰۸	۰	۱/۰۳	۵	۵	۱
کلر	"	۲۳/۳۸	۲۰/۰۲	۲۱/۵۴	۶۲/۴۸	۱۴۲	۱۰۶	۱۰۰
بر	"	۰/۰۳	۰/۰۲>	۰/۰۷	۷/۱۸	۰/۷	۰/۷	۱
آهن	"	۱/۳۲	۰/۸	۱/۰۶	۱۹/۲۶	۵	۵	۵

جدول ۱. نتایج آزمایش شیمیایی تیمارهای آب و مقایسهٔ آن با استانداردهای جهانی استفاده از آب آلوده برای آبیاری

		قبل از آبیاری (اردیبهشت)		بعد از آبیاری (مهر)		استاندارد جهانی		
پارامتر	واحد	رودخانه	چاه	رودخانه	چاه	FAO	WHO	EPA
مس	″	۰/۰۰۹	۰	۰/۰۴	۰	۰/۲	۰/۲	۰/۲
روی	″	۰/۹۲	۰/۰۸	۴۳	۰/۰۷	۲	۲	۱
کادمیم	″	۰/۰۰۷	۰	۰/۰۴	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
نیکل	″	۰/۰۰۹	۰	۰/۰۳	۰	۰/۲	۰/۲	۰/۲
کروم	″	۰/۰۲	۰	۰/۱۱	۰	۰/۱	۰/۱	۰/۱
سرب	″	۰/۰۱	۰	۰/۰۵	۰	۵	۵	۵
منگنز	″	۰/۰۸	۰	۱۱/۲۸	۰/۰۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲
آرسنیک	″	۰/۰۰۱>	۰	۰/۰۳	۰	۰/۱	۰/۱	۰/۱
نیترات	″	۲۷/۳	۱۹/۴۴	۴۷/۲۹	۲۸/۳۷	۵	۵	۳۰
کل ذرات محلول	″	۵۰۱/۶	۳۷۶	۷۶۳	۳۶۸	۴۵۰	۴۵۰	
نسبت جذب سدیم	–	۱/۴۵	۳/۰۴	۱۲/۷۴	۳/۶۱	۳	۳	
هدایت الکتریکی	ds/m	۰/۵۵۲	۰/۸۱۵	۰/۹۶۵	۱/۴۰۹	۰/۷	۰/۷	۰/۷
اسیدیته	–	۶/۵۶	۷/۲۵	۷/۵۹	۷	۶/۵–۸	۶–۸/۵	۶/۵–۸/۴

در این مطالعه، از دو تیمار آب، رودخانهٔ قره‌سو (RW) و چاه (WW) استفاده شده است. نتایج آزمایش‌ها، همچنین چند استاندارد جهانی در جدول ۱ آمده است.برای آزمایش آب، قبل از شروع آبیاری (اردیبهشت) و در پایان برداشت محصول (مهر) نمونه‌برداری از رودخانه و چاه به‌عمل آمد (سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳). پارامترهای مختلف آب رودخانه در اردیبهشت فقط در چند مورد جزیی بیش از حد استانداردهای موجود سازمان جهانی خواروبار و کشاورزی (FAO)، سازمان بهداشت جهانی (WHO) و آژانس حفاظت محیط زیست (EPA) بود، ولی تمامی پارامترهای آب رودخانه در مهر، غیر از چند مورد بیش از حد استاندارد، بوده است. حال اگر میانگین اردیبهشت و مهر را کیفیت آب رودخانهٔ قره‌سو در نظر بگیریم، باز هم کیفیت آن بیش از حدود استاندارد بوده است. پس می‌توان نتیجه گرفت آب رودخانهٔ قره‌سو از نظر استانداردهای آبیاری کیفیت مناسبی ندارد.

خاک

در پایان فصل زراعی و به‌مدت دو سال (۱۳۹۲ و ۱۳۹۳) نمونه‌های خاک در دو تیمار آب آلوده و چاه و در سه تکرار از سه لایه (عمق‌های ۰–۳۰، ۳۰–۶۰ و ۶۰–۹۰) برداشت شد. در مجموع تعداد ۳۶ نمونه خاک آزمایش شیمیایی شد. بعد از برداشت، نمونه‌ها در مجاورت هوا قرارگرفت تا به‌طور کامل خشک شود. پس از خشک‌شدن، نمونه‌ها خرد و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. نتایج آزمایش‌های شیمیایی در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲. نتایج آزمایش‌های شیمیایی خاک در سه لایه و دو تیمار آبیاری

متغیر	واحد	آب رودخانه			آب چاه	
		۰–۳۰	۳۰–۶۰	۶۰–۹۰	۰–۳۰	۳۰–۶۰	۶۰–۹۰
سدیم	mg/l	۳۲۳ ± ۸۶/۳	۳۰۲ ± ۵۸/۳	۳۴۹ ± ۲۸/۶	۲۳۸ ± ۶۷/۸	۲۸۸ ± ۰/۰	۳۵۱ ± ۴۶/۷
کلسیم	"	۸/۶ ± ۱/۹	۱۳ ± ۶/۷	۱۷ ± ۰/۰	۱۶/۶ ± ۱۰/۲	۱۸/۸ ± ۱۳/۷	۱۹/۴ ± ۸/۳
منیزیم	"	۱۵/۶ ± ۶/۶	۲۴ ± ۱۱/۶	۱۳/۲ ± ۵/۴	۹ ± ۹/۸	۹/۱۲ ± ۶/۸	۱۳/۲ ± ۹/۴
کلر	"	۱۳ ± ۳/۶	۲۳/۱ ± ۱۰/۲	۶/۷ ± ۱/۹	۲۳/۱ ± ۷/۵	۱۳/۳ ± ۱۲/۱	۱۵/۸ ± ۴/۱
پتاسیم	"	۹۸±۵/۱۷	۹۴±۶/۲۳	۹۱±۰/۰	۱۰۳±۷/۱	۱۰۱±۶/۲	۹۴±۶/۵
فسفر	"	۰/۰۱ ± ۰/۰۱۹	۰/۰۲ ± ۰/۰۱۶	۰/۰۳ ± ۰/۰۲۴	۰/۰۲ ± ۰/۰	۰/۰۱ ± ۰/۰۰۹	۰/۰۱ ± ۰/۰۰۹
نیتروژن	%	۰/۱۸ ± ۰/۰۳	۰/۱۵ ± ۰/۰۳	۰/۱۵ ± ۰/۰۱	۰/۲۳ ± ۰/۰۲	۰/۱۲ ± ۰/۰۴	۰/۲۳ ± ۰/۰۶
کربنات کلسیم	"	۸/۱ ± ۴/۶	۱۱/۸ ± ۵/۶	۸ ± ۳/۲	۱۲/۷ ± ۱/۸	۱۱/۴ ± ۰/۳	۱۳/۸ ± ۱/۶
مادهٔ آلی	"	۳/۷ ± ۰/۵	۳ ± ۰/۵۷	۲/۹ ± ۰/۱۳	۳/۹ ± ۱/۲	۲/۵ ± ۰/۸	۳/۸ ± ۰/۲
کربن آلی	"	۲/۲ ± ۰/۳	۱/۹ ± ۰/۳	۱/۷ ± ۰/۰۷	۲/۷ ± ۰/۲	۱/۷ ± ۰/۴۶	۲/۲ ± ۰/۱
بی‌کربنات	mg/l	۲۴/۴ ± ۱۳/۲	۱۸/۳ ± ۱۰/۹	۳۳/۶ ± ۲/۵	۴۸/۸ ± ۴/۳	۳۳/۶ ± ۲/۹	۲۹/۳ ± ۸/۷
کل ذرات محلول	"	۱۰۴ ± ۱۵/۸	۸۳ ± ۱۵/۷	۷۳ ± ۷/۹	۷۹ ± ۳	۵۶ ± ۳	۷۹ ± ۸
هدایت الکتریکی	ds/m	۰/۱۶ ± ۰/۰۲	۰/۱۳ ± ۰/۰۲	۰/۱۲ ± ۰/۰۱	۰/۱۲ ± ۰/۰۱	۰/۰۹ ± ۰/۰۱	۰/۱۲ ± ۰/۰۱
اسیدیته	-	۷/۱ ± ۰/۱	۷/۲ ± ۰/۱	۷/۵ ± ۰/۲	۷/۳ ± ۰/۵	۵/۵ ± ۰/۱	۷/۴ ± ۰/۱
نسبت جذب سدیم	-	۹۳ ± ۴۱	۷۰ ± ۱۹	۹۰ ± ۱۷	۶۷ ± ۲۱	۷۷ ± ۰/۰	۸۷ ± ۱۵

اسیدیتهٔ خاک با استفاده از دستگاه pHمتر و استفاده از عصارهٔ اشباع خاک به نسبت ۱ به ۵ (خاک به آب) تعیین شد (۴۲). هدایت الکتریکی با دستگاه EC متر و استفاده از همان محلول آب و خاک اندازه‌گیری شد. کربن آلی خاک با استفاده از روش واکلی و بلک تعیین شد (۴۳). فسفر با استفاده از روش اولسن (۳۰) با دستگاه اسپکتروفتومتر (VARIAN, Carry 100 Scan, Australia) و سدیم و پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد (۱۸). کلسیم و منیزیم با استفاده از روش تیتراکردن EDTA به‌دست آمد (۳۷). کلر با تیتراکردن با نیترات نقره (۱۸) و کربنات و بی‌کربنات به‌روش تیتراکردن با اسید سولفوریک (۱۸) اندازه‌گیری شد. سپس، با استفاده از هیدرومتر بافت خاک تعیین و بر اساس طبقه‌بندی USDA نتایج حاصل در جدول ۳ تنظیم شد. نمونه‌های گیاهی بعد از برداشت محصول با آب شستشو داده شد. سپس در معرض هوا خشک و آسیاب شد. مقدار ۰/۵ گرم از هر گیاه با استفاده از اسید سولفوریک، هضم اسیدی (هضم تر) داده شد. بعد از آن مقدار فلزات سنگین با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Spectra AA 220 ساخت کارخانهٔ VARIAN استرالیا اندازه‌گیری شد.

جدول ۳. مشخصات بافت خاک سه لایه در دو تیمار آبیاری

تیمار	لایه	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	بافت
	۰–۳۰	۱۵	۴۸	۳۷	loam
خاک کنار رودخانه	۳۰–۶۰	۳۰	۴۱	۲۹	Clay loam to loam
	۶۰–۹۰	۲۶	۴۵	۲۹	loam
	۰–۳۰	۱۰	۴۵	۴۵	loam
خاک آبیاری‌شده با چاه	۳۰–۶۰	۱۸	۳۰	۵۲	loam
	۶۰–۹۰	۱۸/۵	۴۰	۴۱/۵	loam

تجزیه‌وتحلیل آماری

این پژوهش در دو آزمایش مجزا روی گندم و جعفری به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) در سه تکرار صورت گرفت. عامل اصلی کیفیت آب (آب آلوده و آب چاه) و عامل فرعی دو گیاه گندم و جعفری بود. این آزمایش برای گندم در سه سطح (ریشه، اندام هوایی و دانه) و برای جعفری در دو سطح (ریشه و اندام هوایی) صورت گرفت. هدف اصلی از انجام این تحقیق، بررسی و ارزیابی تأثیر آبیاری با آب آلوده بر تجمع فلزات سنگین در اندام‌های مختلف گندم و جعفری و مقایسهٔ آن با آب چاه است. سپس، تجزیه‌وتحلیل آماری پارامترهای اندازه‌گیری‌شده با استفاده از نرم‌افزار آماری MSTATC انجام گرفت. همچنین، آزمون مقایسهٔ میانگین در سطوح احتمالی ۱ و ۵ درصد براساس روش دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

گندم

با توجه به نتایج مندرج در جدول ۴، تجمع فلزات سنگین در گندم با آب رودخانه و آب چاه از نظر غلظت‌های آهن، روی و منگنز در سطح ۱ درصد و برای کادمیم در سطح ۵ درصد اختلاف معنادار داشت، ولی از نظر تجمع مس اختلاف معناداری در دو تیمار مشاهده نشده است. اندام‌های گیاهی گندم از نظر تجمع مس، آهن و کادمیم در سطح ۱ درصد و تجمع روی و منگنز در سطح ۵ درصد با یکدیگر اختلاف معنادار داشت. از نظر تأثیر هم‌زمان تیمار آبیاری و اندام‌های گیاهی در گندم، منگنز در سطح ۱ درصد و کادمیم در سطح ۵ درصد اختلاف معنادار داشت. مس، آهن و روی اختلاف معناداری با هم نداشت.

جدول ۴. تجزیهٔ واریانس در رابطه با تأثیر تیمارهای آبیاری بر گندم

تیمار	درجهٔ آزادی	مس	آهن	روی	کادمیم	منگنز
A	۱	۴۴/۶۲ ns	۲۸۵۴۶۵/۷**	۹۸۷/۶۱**	۰/۲۰۵*	۱۲۵۱۳/۶**
Error A	۲	۵۴/۶	۱۰۸۴۳/۹	۲۷/۷۷	۰/۰۱۳	۵۵۱/۳
B	۲	۶۴۱/۶**	۲۷۵۲۹۵۵/۱**	۶۵۶۴/۷۸*	۰/۱۳۳**	۲۵۹۴۷۷/۵*
A*B	۲	۲۸/۱۸ ns	۲۶۷۵۸/۲ ns	۲۴۶/۳۸ ns	۰/۰۲۳*	۵۲۱۳/۲**
Error B	۸	۵۹/۹	۱۴۶۱۵/۵	۵۱/۱۱	۰/۰۰۳	۶۲۸/۴
(%) CV	–	۴۴/۵۷	۲۰/۵۱	۱۵/۴۰	۲۴/۰۸	۱۲/۹۵

* معنادار در سطح احتمال ۵ درصد، ** معنادار در سطح احتمال ۱ درصد و ns غیرمعنادار

A: تیمار آب و B: اندام گیاهی

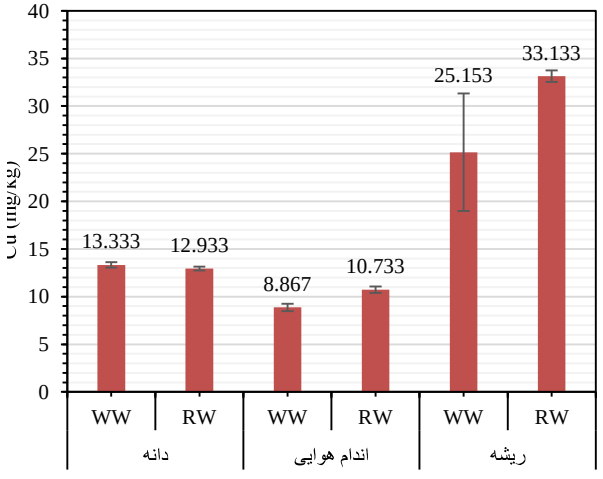
جدول ۵. مقایسهٔ میانگین‌های غلظت فلزات سنگین در گندم تحت تأثیر تیمارهای آبیاری

تیمار	مس (mg/kg)	آهن (mg/kg)	روی (mg/kg)	کادمیم (mg/kg)	منگنز (mg/kg)
A_1	۱۸/۹۳a	۷۱۵/۵a	۵۳/۸۲a	۰/۳۳۷a	۲۲۰a
A_2	۱۵/۷۸a	۴۶۳/۶b	۳۹b	۰/۱۲۳b	۱۶۷/۲b
B_1	۲۹/۱۴a	۱۳۷۱/۶a	۸۱/۳۶a	۰/۳۸۸a	۴۳۳/۶a
B_2	۹/۸b	۱۸۷/۱b	۱۵/۵۹c	۰/۲۰۸b	۶۸/۰۷b
B_3	۱۳/۱۳b	۲۱۰b	۴۲/۲۹b	۰/۰۹۳c	۷۹/۰۷b
A_1*B_1	۳۳/۱۳a	۱۵۵۴/۳a	۹۴/۸۶a	۰/۵۵۷a	۴۹۴a
A_1*B_2	۱۰/۷۳b	۲۳۹/۵c	۱۶/۳۱e	۰/۳۱۷b	۷۶/۰۷c
A_1*B_3	۱۲/۹۳b	۳۵۲/۷c	۵۰/۲۹c	۰/۱۳۷cd	۸۹/۸c
A_2*B_1	۲۵/۱۵ab	۱۱۸۸/۹b	۶۷/۸۶b	۰/۲۲bc	۳۷۳/۳b
A_2*B_2	۸/۸۷b	۱۳۴/۷c	۱۴/۸۷e	۰/۱cd	۶۰/۰۷c
A_2*B_3	۱۳/۳۳b	۶۷/۳c	۳۴/۲۹d	۰/۰۵d	۶۸/۳۳c

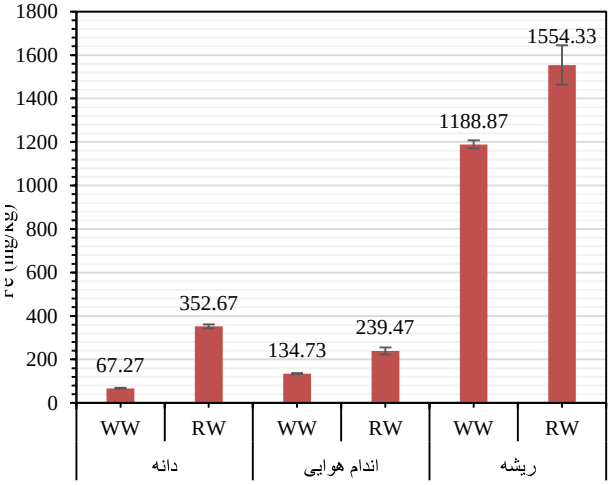
در هر ستون و برای هر گروه میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک با یکدیگر اختلاف معناداری ندارد (۵٪=P).

A_1: آب رودخانه، A_2: آب چاه، B_1: ریشه، B_2: اندام هوایی و B_3: دانه

همچنین، نتایج آزمون مقایسهٔ میانگین به روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد برای تجمع فلزات سنگین در اندام‌های مختلف گندم در جدول ۵ نشان داده شده است. غیر از مس، غلظت فلزات سنگین دیگر در تمام اندام‌ها در آب آلوده نسبت به آب چاه افزایش معناداری داشت. در هر دو تیمار آبیاری افزایش غلظت همهٔ فلزات در ریشه نسبت به سایر اندام‌ها معنادار بوده است.



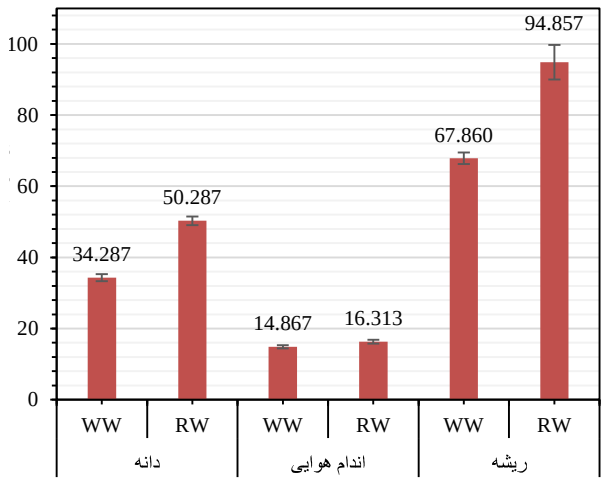
شکل ۲. متوسط مقدار مس در اندام‌های مختلف گندم



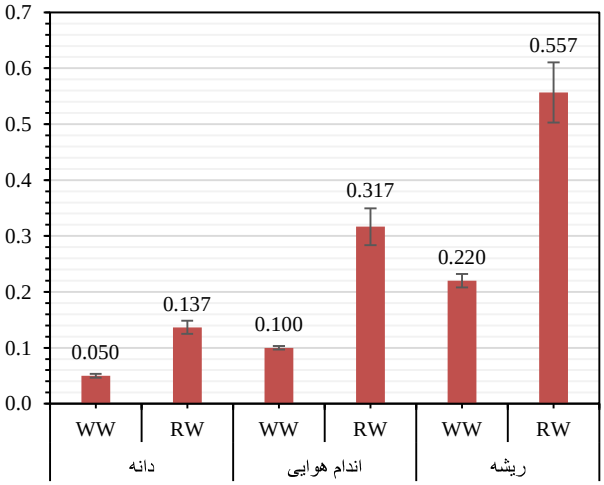
شکل ۳. متوسط مقدار آهن در اندام‌های مختلف گندم

با توجه به شکل ۲ و۳، در تیمار آب رودخانه، کمترین و بیشترین مقدار مس در اندام هوایی و ریشهٔ گندم به‌ترتیب ۱۰/۷ و ۳۳/۱ (mg/kg) است. همچنین، بیشترین تجمع مس در دو تیمار آب رودخانه و چاه در ریشهٔ گندم به‌دست آمده است. بیشترین مقدار آهن در ریشهٔ گندم و آب رودخانه به میزان ۱۵۵۴/۳ (mg/kg) است. این روند در تیمار آب چاه نیز اتفاق افتاده است. همچنین، میزان مس و آهن در دانهٔ گندم و آب رودخانه به‌ترتیب ۱۲/۹ و ۳۵۲/۶ (mg/kg) بوده است. در مطالعات گذشته در ایران و کشورهای دیگر، مقادیر مس و آهن در ریشه ۵۱ و ۴۱۸۷ (۷)، در اندام هوایی ۲۲/۳ و ۴۷۸/۸ (۷)، ۱۱ و ۲۵ (۱۶) و در دانهٔ گندم ۶/۹ و ۱۹۸۴ (۲)، ۱۰ و ۲۷ (۱۶)، ۸/۳۴ و ۱۲۸/۸ (۲۵)، ۴/۱ و ۲۸/۵ (۲۸) (mg/kg) گزارش شده است. در اغلب مطالعات گذشته، مطابق با نتایج این تحقیق، میزان آهن و مس را در ریشه بیش از سایر قسمت‌ها به‌دست آورده‌اند (۷، ۱۶).

با بررسی اشکال ۴ و ۵ مشاهده می‌شود که در هر دو تیمار آبیاری کمترین میزان روی در اندام هوایی و بیشترین در ریشهٔ گندم اتفاق افتاده است. بیشترین تجمع روی در ریشهٔ گندم و در آب رودخانه به میزان ۹۴/۸۵ (mg/kg) بوده است. کمترین و بیشترین مقدار کادمیم در دانه و ریشهٔ گندم در هر دو تیمار آبیاری و بیشترین مقدار آن در ریشهٔ گندم با آب رودخانه به مقدار ۰/۵۵۷ (mg/kg) است. در پژوهش‌های قبلی مقادیر روی در ریشه ۷۱/۳ و در اندام هوایی ۴۱/۲۵ (۷) و ۱۲ (۱۶) و در دانهٔ گندم ۴۳/۴ (۲)، ۲۷ (۱۶)، ۲۸/۷۸ (۲۵) و ۳۵/۳ (۲۸) و مقادیر کادمیم در دانهٔ گندم ۰/۰۰۱ (۲)، ۱/۹ (۲۵) و ۰/۲۸ (۲۸) (mg/kg) گزارش شده است.

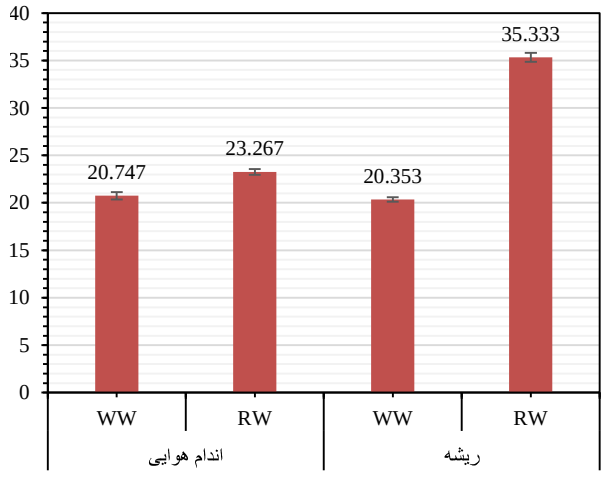


شکل ۴. متوسط مقدار روی در اندام‌های مختلف گندم

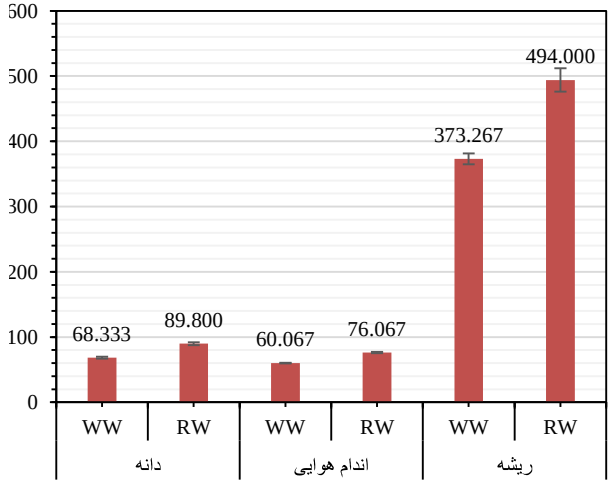


شکل ۵. متوسط مقدار کادمیم در اندام‌های مختلف گندم

با توجه به شکل ۶، در هر دو تیمار کمترین و بیشترین میزان منگنز در اندام هوایی و ریشهٔ گندم اتفاق افتاده است. بیشترین مقدار کادمیم در ریشهٔ گندم با تیمار آب رودخانه برابر ۴۹۴ (mg/kg) و این میزان در دانهٔ گندم با آب آلوده ۸۹/۸ (mg/kg) بوده است. در بررسی‌های قبلی مقدار منگنز در ریشه ۱۱۶/۳ (۷)، در اندام هوایی ۳۸/۴ (۷) و ۶۴ (۱۶)، و در دانهٔ گندم ۲۷/۳ (۲)، ۹۰ (۱۶)، ۲۵/۵۶ (۲۵) و ۴/۹ (۲۸) (mg/kg) گزارش شده است.



شکل ۷. متوسط مقدار مس در اندام‌های مختلف جعفری



شکل ۶. متوسط مقدار منگنز در اندام‌های مختلف گندم

جعفری

همان‌گونه که از جدول ۶ پیداست، دو تیمار آبیاری از نظر تجمع فلزات سنگین در جعفری برای تمام فلزات در سطح ۱ درصد با یکدیگر اختلاف دارد. همچنین، تجمع فلزات در اندام‌های گیاهی جعفری برای آهن در سطح ۵ درصد و سایر فلزات در سطح ۱ درصد اختلاف معنادار است. تأثیر هم‌زمان تیمار آب و اندام گیاهی در تجمع مس، آهن، روی و کادمیم در سطح ۱ درصد معنادار بود و برای منگنز معنادار نبود.

همچنین، نتایج آزمون مقایسهٔ میانگین به روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد برای تجمع فلزات سنگین در اندام‌های مختلف جعفری در جدول ۷نشان داده شده است. غلظت تمام فلزات سنگین در آب رودخانه افزایشی معناداری داشت. در هر دو تیمار آبیاری غلظت مس، آهن، روی و کادمیم در ریشه به‌طور معناداری بیش از اندام هوایی بود، ولی برعکس در منگنز در اندام هوایی به‌طور معناداری بیش از ریشه بوده است.

جدول ۶. جدول تجزیهٔ واریانس در رابطه با تأثیر تیمارهای آبیاری بر جعفری

تیمار	درجهٔ آزادی	مس	آهن	روی	کادمیم	منگنز
A	۱	۲۲۹/۶۹**	۹۴۵۸۹/۸**	۴۳۰۱/۶۵**	۰/۸۶۳**	۳۸۰۹/۲**
Error A	۴	۱/۰۴	۱۱۵۸/۵	۲۱/۲۶	۰/۰۰۸	۲۳/۱
B	۱	۱۰۲/۲**	۱۱۷۹۳/۹*	۱۱۱۴/۳۸**	۰/۱۰۶**	۸۷۳۷/۲**
A*B	۱	۱۱۶/۴۴**	۲۹۹۴۰**	۴۹۹/۲۳**	۰/۱۳۵**	۴۳۴/۴ ^{ns}
Error B	۴	۱/۳۱	۶۶۹/۳	۴/۳۹	۰/۰۰۰	۳۰۵/۹
(%) CV	–	۴/۵۸	۵/۳۸	۳/۴۵	۵/۰۳	۱۲/۲۱

* معنادار در سطح احتمال ۵ درصد، ** معنادار در سطح احتمال ۱ درصد و ns غیرمعنادار

A: تیمار آب و B: اندام گیاهی

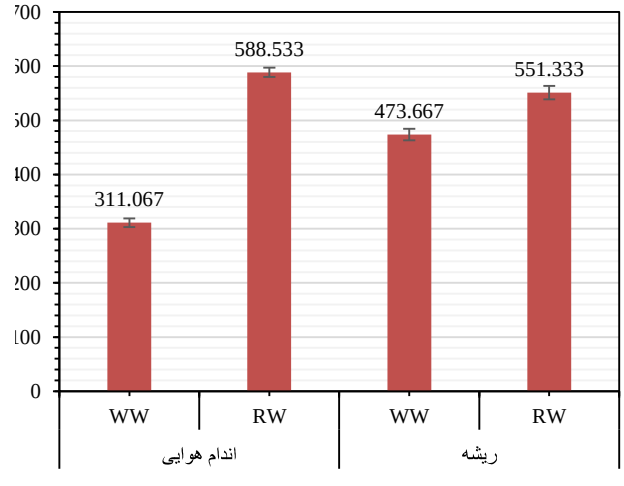
جدول ۷. مقایسهٔ میانگین‌های غلظت فلزات سنگین در جعفری تحت تأثیر تیمارهای آبیاری

تیمار	مس (mg/kg)	آهن (mg/kg)	روی (mg/kg)	کادمیم (mg/kg)	منگنز (mg/kg)
A_1	۲۹/۳a	۵۶۹/۹a	۷۹/۶۹a	۰/۵۶۷a	۶۱a
A_2	۲۰/۵۵b	۳۹۲/۴b	۴۱/۸۲b	۰/۰۳b	۲۵/۳۷b
B_1	۲۷/۸۴a	۵۱۲/۵a	۷۰/۳۹a	۰/۳۹۲a	۱۶/۲b
B_2	۲۲/۰۱b	۴۴۹/۸b	۵۱/۱۲b	۰/۲۰۵b	۷۰/۱۷a
A_1*B_1	۳۵/۳۳a	۵۵۱/۳a	۹۵/۷۷a	۰/۷۶۷a	۱۲۸bc
A_1*B_2	۲۳/۲۷b	۵۸۸/۵a	۶۳/۶b	۰/۳۶۷b	۱۹۴a
A_2*B_1	۲۰/۳۵c	۴۷۳/۷b	۴۵/۰۱c	۰/۰۱۸c	۱۰۴/۴bc
A_2*B_2	۲۰/۷۵bc	۳۱۱/۱c	۳۸/۶۳d	۰/۰۴۳c	۱۴۶/۳c

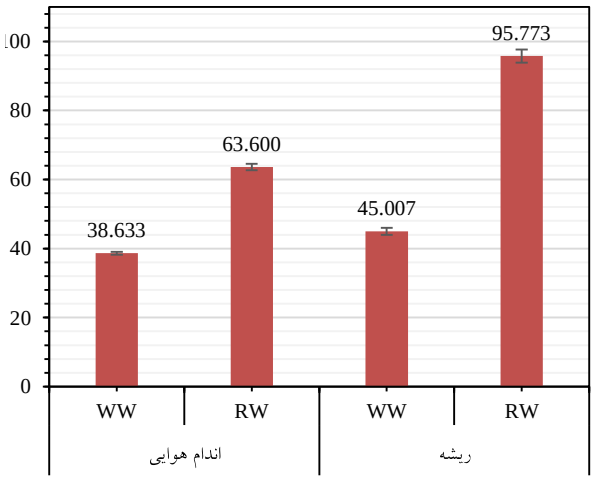
در هر ستون و برای هر گروه میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک با یکدیگر اختلاف معناداری ندارد (P=٪۵).

A_1: آب رودخانه، A_2: آب چاه، B_1: ریشه، B_2: اندام هوایی و B_3: دانه

با توجه به شکل ۷، ۸ و ۹، بیشترین مقدار مس و روی در هر دو تیمار در ریشهٔ جعفری بوده است. مقدار مس و روی در ریشهٔ جعفری و در تیمار آب رودخانه به‌ترتیب ۳۵/۳ و ۹۵/۷ (mg/kg) و غلظت این عناصر در اندام هوایی به‌ترتیب ۲۳/۲ و ۶۳/۶ (mg/kg) است. همچنین، در آب رودخانه بیشترین مقدار آهن در اندام هوایی جعفری و برای آب چاه در ریشه بود. میزان آهن در آب آلوده در ریشه و اندام هوایی ۵۵۱/۳ و ۵۸۸/۵ (mg/kg) است. مقادیر مختلفی از تجمع مس، آهن و روی در گیاه جعفری به سبب آبیاری با آب فاضلاب گزارش شده است. مقدار مس ۷۲ (۴۱)، ۳/۳۴ (۲۴)، ۵۳/۱۲ (۱۳) و ۹/۱ (۲۵)، آهن ۵۴۳/۵ (۲۵) و ۱۲۳۹ (۱۹)، و روی ۱۹۸/۹۸ (۶)، ۱۰۹/۵ (۵)، ۸۵/۷۸ (۱۴)، ۱۹۴ (۴۱)، ۲۱ (۲۴)، ۲۵۹/۲ (۱۳) و ۳۸/۲۹ (۲۵) (mg/kg) بوده است.

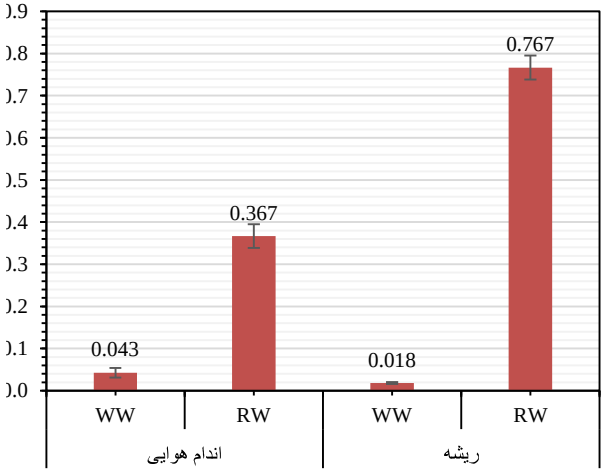


شکل ۸. متوسط مقدار آهن در اندام‌های مختلف جعفری

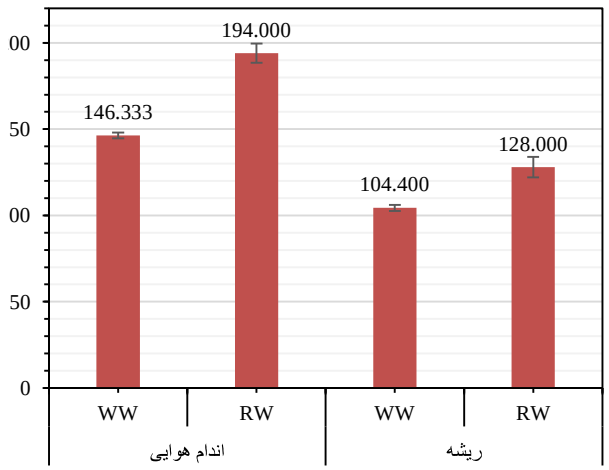


شکل ۹. متوسط مقدار روی در اندام‌های مختلف جعفری

در شکل ۱۰ و ۱۱ مشاهده می‌شود که بیشترین مقدار کادمیم در تیمار آب رودخانه در ریشه و به میزان ۰/۷۶۷ (mg/kg) و در آب چاه در اندام هوایی به میزان ۰/۰۴۳ (mg/kg) بوده است. میزان کادمیم در اندام هوایی جعفری در تیمار آب رودخانه ۰/۳۶۷ (mg/kg) بود. بیشترین میزان منگنز در هر دو تیمار در اندام هوایی اتفاق افتاده است که این میزان در اندام هوایی جعفری و در آب آلوده ۱۹۴ (mg/kg) است. بررسی‌های گذشته مقادیر کادمیم و منگنز را به این صورت بیان کرده است که کادمیم ۳ (۶)، ۰/۰۹ (۵)، ۱۱/۵۴ (۱۴)، ۰/۶ (۴۱)، ۰/۸۴ (۱۳) و ۱/۱۱ (۲۵)، و منگنز ۲۱۲/۲ (۵)، ۲۷۲ (۴۱)، ۱۳/۰۹ (۲۴) و ۳۹/۲۷ (۲۵) (mg/kg) بوده است.



شکل ۱۰. متوسط مقدار کادمیم در اندام‌های مختلف جعفری



شکل ۱۱. متوسط مقدار منگنز در اندام‌های مختلف جعفری

بررسی تجمع فلزات سنگین در مقایسه با استانداردهای موجود

فلزات کمیابی مانند کادمیم، سرب و کروم مهم‌ترین آلوده‌کننده‌های محیط‌زیست است، درحالی‌که آهن، مس و روی جز مواد ریزمغذی است (۱۱). جذب فلزات سنگین در گیاهان به دامنهٔ وسیعی از فاکتورهای خاک شامل pH، مواد آلی، در دسترس بودن فلزات سنگین و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، فصل و وجود فلزات سنگین در خاک بستگی دارد (۳۷). نقش مهم pH در تحرک‌پذیرکردن فلزات به‌صورت قابلیت دسترسی حیاتی آن‌ها در گیاهان است (۱۰، ۴۰). حلالیت فلزات سنگین در pHهای بالا رو به افزایش و در pHهای پایین رو به کاهش است (۱۲). افزایش جذب فلزات در گیاهان با کاهش pH به‌دلیل غیرمحلول‌شدن ترکیبات کربنات- فلز است که یون‌های آزاد فلز را در داخل محلول آزاد می‌سازد (۲۶). از سویی، مواد آلی (OM) باعث محصورکردن فلزات و کاهش قدرت جذب آن‌ها در گیاهان می‌شود (۳۹). غلظت مس و آهن در تمامی اندام‌های گندم و جعفری بیش از استاندارد WHO است (۹، ۴۴). مقدار روی از نظر بعضی استانداردها فقط در ساقهٔ گندم کمتر از مقدار مجاز است (۹، ۲۱، ۲۲ و ۳۱)، ولی از نظر بعضی عناصر، تمام اندام‌های گندم و جعفری زیر حد مجاز قراردارد (۱۵). میزان کادمیم در تمام اندام‌های گیاهی بالاتر از حد مجاز (۱۵، ۲۱، ۳۴)، ولی از نظر برخی دیگر کمتر از حد مجاز

است (۲۲، ۳۱). نتایج با مطالعهٔ دیگری مطابقت داشت که میزان تجمع سه عنصر Cu، Zn، Ni مطابق با استانداردهای FAO و عنصر pb مطابق با استاندارد FAO/WHO از حد مجاز فزونی یافته بود (۳).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج پژوهش حاضر، تجمع آهن، روی، منگنز و کادمیم در اندام‌های گندم با آب رودخانه بیشتر از آب چاه و معنادار بود. ولی، از نظر تجمع مس در اندام‌های گندم اختلاف معناداری در دو تیمار مشاهده نشد. در هر دو تیمار آبیاری افزایش غلظت همهٔ فلزات در ریشه نسبت به سایر اندام‌های گندم معنادار بوده است. همچنین، غلظت مس، آهن، روی، منگنز و کادمیم در اندام‌های جعفری در آب رودخانه به‌طور معناداری بیش از آب چاه بود. در هر دو تیمار آب چاه و آب آلودهٔ رودخانهٔ قره‌سو، غلظت مس، آهن، روی و کادمیم در ریشه به‌طور معناداری بیش از اندام هوایی بود، ولی برعکس در اندام هوایی غلظت منگنز به‌طور معناداری بیشتر از ریشه بود. پس می‌توان نتیجه گرفت که در گندم و جعفری که با آب آلوده آبیاری می‌شود تجمع فلزات سنگین در آب رودخانه بیش از آب چاه است. همچنین، تجمع این فلزات در ریشه بیشتر از دیگر قسمت‌های گیاه است، هر چند تجمع برخی فلزات در اندام هوایی جعفری بیشتر بود. همچنین، غلظت مس و آهن در تمامی اندام‌های گندم و جعفری بیش از استاندارد WHO است. مقدار روی از نظر بعضی استانداردها فقط در ساقهٔ گندم کمتر از مقدار مجاز است، ولی در بعضی دیگر تمام اندام‌های گندم و جعفری زیر حد مجاز قراردارد. میزان کادمیم در تمام اندام‌های گیاهی بالاتر از حد مجاز بود، ولی از نظر برخی دیگر کمتر از حد مجاز است. حال با توجه به مشکلات به‌وجود آمده توسط سازمان محیط‌زیست به‌منظور استفادهٔ کشاورزان از آب رودخانهٔ قره‌سو، پیشنهاد می‌شود در محل تولید انواع فاضلاب‌های صنعتی و شهری تمهیداتی برای تصفیه در نظر گرفته شود.

منابع

۱. بیگی هرچگانی ح. و بنی‌طالبی 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 (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۷(۳):۵۷۰-۵۸۰.

۲. جعفری‌نژاد ع. و موسوی‌فضل م.ه (۱۳۹۳) بررسی اثرات فاضلاب تصفیه‌شده بر آلودگی میکروبی و شیمیایی خاک و گندم. پژوهش آب در کشاورزی، شمارهٔ ۳.

۳. ساسانی ف. (۱۳۹۴) تحلیل چند متغیرهٔ خاک‌های اراضی کشاورزی تحت آبیاری بلندمدت با پساب شهری. دانشگاه رازی، کرمانشاه، پایان‌نامهٔ دکتری.

۴. شهابی‌فر ج. (۱۳۸۹) بررسی اثرات کاربرد فاضلاب‌های صنعتی در اراضی تحت کشت و گیاهان منطقهٔ قزوین. سمینار ملی: جایگاه آب‌های بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب- کاربردها در کشاورزی و فضای سبز: ۱-۷.

۵. کاظم‌زاده‌خویی ج. سادات‌نوری ا. پورنگ ن. علیزاده م. قریشی ح. و پاداش ا. (۱۳۹۱) بررسی و اندازه‌گیری فلزات سنگین نیکل، سرب، مس، منگنز، روی، کادمیم و وانادیم در سبزی‌های خوراکی جنوب پالایشگاه تهران. پژوهش‌های محیط‌زیست، ۳(۶): ۶۵-۷۴.

۶. ناظمی س. عسگری ع. و راعی م. (۱۳۸۹) بررسی مقدار فلزات سنگین در سبزیجات پرورشی حومهٔ شهر شاهرود. سلامت و محیط، ۳(۲): ۱۹۵-۲۰۲.

۷. نظری م.ع. شریعتمداری ح. افیونی م. مبلی م. و رحیلی ش. (۱۳۸۵) اثر کاربرد پساب و لجن فاضلاب صنعتی بر غلظت برخی عناصر و عملکرد گندم، جو و ذرت. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۳(الف): ۹۷-۱۱۰.

۸. یارقلی ب. (۱۳۸۷) بررسی میزان جذب کادمیم از محیط ریشه و میزان تجمع آن در اندام محصولات زراعی. دانشگاه تهران، تهران، پایان‌نامهٔ دکتری.

9. 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 selected medicinal plants. Journal of Chemistry, 5: 36-40.

10. Alghobar M.A. and 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.

11. Almas H. Hira R. Sana A. and Sajad R. (2016) Heavy metal contamination in vegetables, soil and water potential health risk assessment. American-Eurasian Agricultural and Environmental Sciences, 16(4): 786-794.

12. Chuan M.C. Shu G.Y. and Liu J.C. (1996) Solubility of heavy metals in a contaminated soil: Effects of redox potential and pH. Water, Air and Soil Pollution, 90: 543-556.

13. Demirezen D. and Aksoy A. (2006) Heavy metal levels in vegetation in Turkey are within safe limits for Cu, Zn, Ni and exceeded for Cd and Pb. Food Quality, 29(3): 252-265.

14. Eslami A. Jahed Khaniki G.R. Nurani M. Mehrasbi M. Peyda M. and Azimi R. (2007) Heavy metals in edible green vegetables grown along the sites of the Zanjanrood River in Zanjan, Iran. Biological Sciences, 7: 943-948.

15. 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.

16. 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, 26-27 April, Isfahan, Iran: 1-5.

17. Hassan N. Mahmood Q. Waseem A. Irshad M. Faridullahi and Pervez A. (2013) Assessment of heavy metals in irrigation water, soil, and wheat plants irrigated with contaminated wastewater. Environmental Studies, 22(1): 115-123.

18. International Soil Reference and Information Center (1986) Procedure for soil analysis. Wageningen Agriculture University.

19. Jabeen S. Shah M.T. Khan S. and Hayat M.Q. (2010) Determation of major and trace elements in ten important folk therapeutic plants of Haripur basin, Pakistan. Medicinal Plants Research, 4(7): 559-566.

20. Jury W.A., Vaux Jr H.J. and Donald L.S. (2007) The emerging global water crisis: managing scarcity and conflict between water users. Advances in Agronomy Academic Press: 1-76.

21. Liu W.X. Li H.H. Li R. and Wang Y.W. (2006) Heavy metal accumulation of edible vegetables cultivated in agricultural soil in the suburb of Zhengzhou City, people's Republic of China. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 76: 163-70.

22. Marshall F.M. Agarwal R. Lintelo D. Te, Bhupal D.S. Rana Singh P.B. Mukherjee N. Sen C. Poole N. Agrawal M. and Singh S.D. (2003) Heavy metal contamination of vegetables in Delhi. Executive Summary of Technical Report: 10. http://www.dfid.gov.uk.

23. Masona C. Mapfaire 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.

24. Mohamed A.E. Rashed M.N. and Mofty A. (2003) Assessment of essential and toxic elements in some kinds of vegetables. Ecotoxicology and Environmental Safty, 55: 251-260.

25. 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.

26. Murtaza G. Ghafoor A. Qadir M. and Rashid M.K. (2003) Accumulation and bioavailability of Cd, Co and Mn in soils and vegetables irrigated with City Effluent. Pakistan Journal of Agricultural Sciences, (1-2): 18-24.

27. 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.

28. Nawaz U. Qaisar M. Amir W. Muhammad I. Fariullah and Arshad P. (2013) Assessment of heavy metals in wheat plants irrigated with contaminated wastewater. Environmental Studies, 22(1): 115-123.

29. 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.

30. Olsen S.R. Cole C.V. Watanabe F.S. and Dean L.A. (1954) Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Department of Agriculture, Washington, D.C., USDA Circ. 939.

31. Pandey J. and Pandey U. (2009) Accumulation of heavy metals in dietary vegetables and cultivated soil horizon in organic farming system relation to atmospheric deposition in a seasonally dry tropical region of India. Environmental Monitoring and Assessment, 148(1-4): 61-74.

32. Pedrero F. Allende A. Gil M.I. and Alarcon J.J. (2012) Soil chemical properties, leaf mineral status and crop production in a lemon tree orchard irrigated with two types of wastewater Francisco. Agricultural Water Management, 109: 54-60.

33. 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.

34. Roqia N. Muslim K. Muhammad M. Hameed U.R. Naveed U.R. Surrya S. Nosheen A. Muhammad S. Mohib U. Muhammad R. and Zeenat S. (2015) Accumulation of heavy metals (Ni, Cu, Cd, Cr, Pb, Zn, Fe) in the soil, water and plants and analysis of physico-chemical parameters of soil and water collected from Tanda Dam Kohat. Pharmaceutical Sciences and Research, 7(3): 89-97.

35. Salakinkop S.R. and 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 Agriculture, 3(3): 1-11.

36. Schouwenburg J.C.V. (1960) Micro-EDTA titration of calcium, magnesium interference. Analytical Chemistry, 32: 709-710.

37. Sharma R.K. Agrawal M. and Marshall F.M. (2006) Heavy metals contamination in vegetables grown in waste water irrigated areas of Varanasi, India. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 77: 312-318.

38. Singh P.K. Deshbhratar P.B. and Ramteke D.S. (2012) Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties, crop yield and environment. Agricultural Water Management, 103: 100-104.

39. Sklarz M.Y. Zhou M. Chavez D.L.F. Yakirevich A. Gillor O. Gross A. and Soares M.I.M. (2013) Effect of treated domestic wastewater on soil physicochemical and microbiological properties. Environmental Quality, 42: 1226-1235.

40. Sparling D.W. and Lowe T.P. (1998) Metal concentrations in aquatic macrophytes as influenced by soil and acidification. Water, Air and Soil Pollution, 108(1-2): 203-221.

41. 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.

42. Thomas G.W. (1996) Soil pH and soil acidity. In: Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods, SSSA, Madison: 475-490.

43. Walkley A. and Black I.A. (1934) An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37: 29-38.

44. 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, vol 4, 5.