گیاه‌پالایی ذرت و فاکتور زیستی غلظت کادمیم تحت تأثیر کاربرد بقایای گندم یا یونجه

شهرزاد کرمی [۱] و عبدالمجید رونقی [۲]
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد بخش علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، ۲-استاد بخش علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

چکیده
جذب سطحی کادمیم بوسیله مواد آلی به شدت از تحرک آن می‌کاهد. بمنظور بررسی اثر افزودن بقایای گندم یا یونجه بر توان گیاه پالایی ذرت و فاکتور زیستی غلظت کادمیم آزمایشی گلخانه‌ای بصورت فاکتوریل ۳×۳×۲ شامل ۲ نوع بقایا (گندم و یونجه)، در ۳ سطح (صفر، ۱، و ۲ درصد وزنی) و سه سطح کادمیم (۵، ۱۵، و ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و در سه تکرار انجام شد. افزودن بقایای گندم یا یونجه سبب افزایش فاکتور زیستی غلظت کادمیم و افزایش غلظت آن در اندام هوایی ذرت شد. غلظت کادمیم اندام هوایی ذرت و فاکتور زیستی کادمیم در خاک تیمار شده با بقایای گندم نسبت به کاربرد بقایای یونجه بیشتر بود اما اثر کاربرد بقایای گندم یا یونجه بر میزان جذب کادمیم بوسیله ذرت مشابه بود. با افزودن بقایای گندم یا یونجه در سطوح پایین کادمیم، کارایی گیاه پالایی ذرت در مقایسه با سطوح بالاتر کادمیم کاربردی بیشتر بود.

واژه های کلیدی: آلودگی کادمیم، بقایای آلی، فاکتور زیستی غلظت (BCF)، فلزات سنگین

مقدمه
مصرف نا متعادل کودهای شیمیایی موجب کاهش راندمان کودها گردیده و موجبات آلودگی محیط زیست را فراهم می‌نماید (ملکوتی و سماوات، ۱۳۸۳). استفاده از لجن فاضلاب و سایر ضایعات شهری و صنعتی می‌تواند سبب افزایش غلظت عناصر کمیاب و فلزات سنگین منجمله کادمیم در خاک شود. مصرف بیش از حد این مواد در خاک منجر به مسمومیت برخی از گیاهان، حیوانات و انسان‌هایی که از آن‌ها استفاده می‌کنند، می‌شود (رجایی، ۱۳۷۷). مکانیسم اصلی پیوند کادمیم، به علت دو ظرفیتی بودن آن، جذب سطحی الکترواستاتیکی بر روی سطوح جذبی است (کریمیان، ۱۳۷۱) و جذب سطحی بوسیله ماده آلی به شدت از تحرک آن می‌کاهد. هر چند ماده‌آلی اثر دوگانه ای دارد بدین معنی که از سوئی می‌تواند با کمپلکس کردن عناصر سبب نگهداری و کاهش فراهمی آن‌ها در خاک شود و از سوی دیگر بر اثر تجزیه و تولید مواد اسیدی سبب افزایش غلظت عناصر در محلول خاک شود. از طرفی افزودنی‌های آلی به علت اثری که بر بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی خاک دارند، یکی از روشهای مهم افزایش باروری خاک شناخته شده اند (کوچکی و همکاران، ۱۳۷۶). استخراج و تثبیت گیاهی فلزات به دلیل هزینه کم و کارایی بالا بسیار مورد توجه قرار گرفته است اما مشکل بزرگی که در پالایش گیاهی وجود دارد، سرعت کم پالایش فلز است (خورانا و کانسال، ۲۰۱۴). روش‌هایی برای افزایش کارایی گیاه‌پالایی پیشنهاد شده است که یکی از آن روش ها افزودن بقایای آلی به خاک است. فاکتور زیستی غلظت که جذب آلودگی‌ها، تحرک و ذخیره آن‌ها در اندام هوایی گیاه را مشخص می‌کند معیاری برای تعیین کارایی گیاهان برای گیاه پالایی است (مارچایل و همکاران، ۲۰۰۴). مقدار فاکتور زیستی غلظت بزرگتر از ۱ نشان می‌دهد که گیاه توانایی خوبی برای جذب آلودگی خاک یا از بستر آلوده و تجمع آن در اندام هوایی خود دارد. فاکتور زیستی غلظت کادمیم از طریق معادله ۱ محاسبه می‌گردد.

$$\text{فاکتور زیستی غلظت کادمیم} = \frac{\text{غلظت کادمیم در اندام هوایی گیاه}}{\text{غلظت کادمیم در خاک}} \qquad (۱)$$

مواد و روش‌ها
آزمایش در سال ۱۳۹۲ و در گلخانه تحقیقاتی بخش علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز (منطقه باجگاه با طول جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی، عرض جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۶ دقیقه شرقی، و ارتفاع ۱۸۱۰ متر از سطح دریا) بصورت فاکتوریل ۳×۳×۲ در قالب طرح کاملا تصادفی انجام شد. فاکتورها شامل ۲ نوع بقایای آلی (گندم و یونجه)، در ۳ سطح (صفر، ۱، و ۲ درصد وزنی) و سه سطح کادمیم (۵، ۱۵، و ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و در سه تکرار بود. تیمار کادمیم از منبع سولفاتی و تیمارهای بقایای آلی (بقایای گندم و یونجه) در سه سطح (۰، ۱، و ۲ درصد وزنی ماده آلی) بطور یکنواخت به خاک افزوده شد

(برخی ویژگی‌های اندازه گیری شده بقایای گندم و یونجه در جدول ۱ آورده شده است) و پس از کاهش رطوبت، خاک به گلدان‌ها (۳ کیلوگرمی) منتقل شد. با توجه به آزمون خاک عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، روی، آهن، مس، و منگنز به صورت محلول به خاک گلدان‌ها افزوده شد. میزان رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی (۱۸ درصد وزنی) با وزن کردن روزانه گلدان‌ها و افزودن آب به مقدار لازم انجام شد. سپس در هرگلدان ۶ عدد بذر ذرت (رقم HIDO) کاشته و پس از دو هفته تعداد گیاهان به سه عدد در هر گلدان تقلیل داده شد. پس از ۸ هفته گیاهان از انتهای ساقه کمی بالاتر از سطح خاک جدا شده و پس از شستشو با آب مقطر، در پاکت‌های کاغذی قرار داده و در آون در دمای ۶۵ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت خشک و وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری غلظت عناصر در اندام هوایی، از روش خشک سوزانی استفاده شد و غلظت کادمیم در گیاه و خاک پس از برداشت گیاه (عصاره گیر DTPA) بوسیله دستگاه جذب اتمی (شیماتزو مدل ۶۷۰-AA) اندازه گیری شد.

جدول ۱- برخی از ویژگی های بقایای گندم و یونجه

بقایا	N	C	C/N	P	K	Fe	Mn	Zn	Cu
	(درصد)			(میلی گرم در کیلوگرم بقایا)					
یونجه	۲/۱	۱۵	۹/۱۲	۵۰۰	۵۰۰	۱۱۴	۱۶	۱۳	۳/۱
گندم	۸/۰	۶۲	۵/۷۷	۶۶۲	۲۷۰۰	۴۲	۱۵	۱۰	۵/۰

نتایج و بحث

مقایسه میانگین وزن خشک اندام هوایی ذرت در خاک تیمار شده با بقایای گندم یا یونجه نشان می‌دهد که میانگین وزن خشک اندام هوایی ذرت با افزایش سطوح کادمیم کاربردی کاهش یافت هر چند از نظر آماری معنی دار نبود (جدول ۲) که این را می‌توان به عنوان یک مزیت برای ذرت در گیاه پالایی در نظر گرفت. ژانگ و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که ذرت می‌تواند حدود ۷/۰ درصد از کادمیم خاک را جذب کند. عزیزیان و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان دادند که ذرت به دلیل داشتن زیتوده بالا می‌تواند در گیاه‌پالایی کادمیم مؤثر باشد. بطور کلی میانگین وزن خشک ذرت در خاک تیمار شده با بقایای یونجه بطور معنی‌داری (۳/۱۰ درصد) نسبت به بقایای گندم بیشتر بوده است (جدول ۲).

جدول ۲- اثر نوع و سطوح بقایای آلی، و سطوح کادمیم بر برخی ویژگی های اندازه گیری شده

بقایای آلی	سطوح کادمیم ($mg.kg^{-1}$) ۵ (شاهد)	۱۵	۲۵	سطوح بقایای آلی (درصد وزنی) بدون بقایا (شاهد)	۱	۲	میانگین اثر بقایا
				وزن خشک اندام هوایی ذرت ($gr\ pot^{-1}$)			
گندم	۱/۱۳ BC	۶/۱۲ C	۱/۱۲ C	۷/۱۳ A	۸/۱۳ A	۳/۱۰ B	۶/۱۲ B
یونجه	۴/۱۴ A	۸/۱۳ AB	۷/۱۳ AB	۷/۱۳ A	۹/۱۳ A	۳/۱۴ A	۹/۱۳ A
				غلظت کادمیم در اندام هوایی ذرت ($\mu gr\ gr^{-1}$)			
گندم	۴۸/۲ D	۹۳/۴ C	۵۷/۷ A	۶۳/۳ D	۳۸/۵ AB	۹۶/۵ A	۹۹/۴ A
یونجه	۵۷/۲ D	۸۲/۴ C	۹۵/۵ B	۶۳/۳ D	۱۵/۵ BC	۵۵/۴ C	۴۴/۴ B
				جذب کادمیم بوسیله اندام هوایی ذرت ($\mu gr\ pot^{-1}$)			
گندم	۴/۳۱ C	۲/۶۱ B	۲/۹۰ A	۸/۴۸ C	۸/۷۳ A	۲/۶۰ B	۰/۶۱ A
یونجه	۹/۳۶ C	۳/۶۶ B	۷/۸۱ A	۸/۴۸ C	۸/۷۱ A	۳/۶۴ AB	۶/۶۱ A
				غلظت کادمیم در خاک پس از برداشت ذرت ($\mu gr\ gr^{-1}$)			
گندم	۷۳/۱ C	۸۸/۵ B	۱۶/۹ A	۲۰/۵ A	۶۷/۵ A	۹۱/۵ A	۵۹/۵ A
یونجه	۸۶/۱ C	۸۶/۵ B	۵۹/۸ A	۲۰/۵ A	۱۵/۵ A	۹۵/۵ A	۴۳/۵ A
				فاکتور زیستی غلظت (BCF) کادمیم			
گندم	۴۸/۱ A	۸۴/۰ B	۸۳/۰ B	۷۴/۰ C	۱۴/۱ A	۲۶/۱ A	۰۴/۱ A
یونجه	۴۳/۱ A	۸۲/۰ B	۷۰/۰ B	۷۴/۰ C	۲۹/۱ A	۹۳/۰ B	۹۹/۰ A

افزایش سطوح کادمیم کاربردی، سبب افزایش غلظت کادمیم در خاک و در اندام هوایی ذرت شد، اما فاکتور زیستی غلظت کادمیم را کاهش داد. بطورکلی اثر کاربرد بقایای گندم یا یونجه بر میزان جذب کادمیم بوسیله ذرت مشابه بود.

افزایش سطوح بقایای گندم، سبب افزایش غلظت کادمیم اندام هوایی ذرت و فاکتور زیستی غلظت کادمیم شد. افزایش سطوح بقایای یونجه نیز سبب افزایش غلظت و جذب کادمیم اندام هوایی ذرت شد. با توجه به افزایش غلظت و جذب کادمیم به‌وسیله اندام هوایی ذرت در خاک های تیمار شده با سطوح مختلف بقایای گندم یا یونجه نسبت به سطح شاهد (بدون بقایای گندم یا یونجه)، می‌توان نتیجه گرفت که افزودن بقایا سبب افزایش فراهمی کادمیم در خاک و افزایش قابلیت دسترسی آن برای گیاه شده و در نتیجه سبب افزایش کارایی گیاه پالایی ذرت و فاکتور زیستی کادمیم شده است (جدول ۲). چرم و علیزاده (۱۳۸۸) اثر کمپوست و بقایای نیشکر و EDTA را در کشت کلزا جهت پالایش خاک‌های آلوده به کادمیم، سرب و نیکل بررسی کردند. آنان نشان دادند که کاربرد کمپوست و EDTA به طور معنی‌داری سبب افزایش غلظت کادمیم شد. آنان همچنین گزارش کردند که تیمارهای کمپوست دارای شاخص جذب بالاتری بودند که دلیل آن را بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و حاصلخیزی خاک دانستند. ملک زاده و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که با افزایش سطح کادمیم، غلظت کادمیم قابل جذب خاک، غلظت و مقدار جذب کادمیم اندام هوایی به طور معنی‌داری افزایش یافت.

با افزودن بقایای گندم یا یونجه در سطوح پایین کادمیم، کارایی گیاه پالایی ذرت بیشتر بود هر چند در مقادیر بالاتر کادمیم کاربردی، توانایی گیاه پالایی ذرت کمتر بود. با افزایش سطوح بقایای گندم یا یونجه نسبت به سطح بدون کاربرد بقایا (سطح شاهد) مقدار فاکتور زیستی غلظت کادمیم نیز به مقادیر بالای ۱ افزایش یافت که نشان می دهد کاربرد مقادیر بیشتر بقایا می‌تواند کارایی گیاه پالایی را افزایش دهد اما این روند افزایشی تا حد مشخصی ادامه دارد و بطور مثال فاکتور زیستی غلظت کادمیم در خاک تیمار شده با ۲ درصد وزنی بقایای یونجه نسبت به کاربرد یک درصد وزنی بقایای یونجه کاهش یافته است. کاربرد بقایای گندم سبب افزایش غلظت کادمیم و فاکتور زیستی کادمیم اندام هوایی ذرت نسبت به کاربرد بقایای یونجه شد (جدول ۲). با توجه به نتایج حاصل از پژوهش عزیزیان و همکاران (۲۰۱۱) کادمیم اثر منفی بر رشد ذرت داشت و مقدار فاکتور زیستی غلظت ذرت در مقادیر بالای کادمیم کمتر از واحد بود و پتانسیل گیاه پالایی آن برای پالایش کادمیم کم تر بود.

داده های جدول ۳ نشان می‌دهد که سطوح کادمیم کاربردی همبستگی مثبت و معناداری در سطح یک درصد با غلظت و جذب کادمیم توسط اندام هوایی گیاه و غلظت کادمیم در خاک داشت اما همبستگی معکوس و معناداری با فاکتور زیستی غلظت نشان داد. سطوح بقایای گندم یا یونجه همبستگی مثبت و معناداری را در سطح ۵ درصد آزمون دانکن، با غلظت کادمیم در اندام هوایی گیاه و فاکتور زیستی غلظت نشان دادند. غلظت کادمیم در اندام هوایی گیاه همبستگی مثبت و معناداری با جذب کادمیم توسط اندام هوایی گیاه و غلظت کادمیم در خاک از خود نشان داد که هر دو در سطح یک درصد معنادار بود. همچنین غلظت کادمیم در خاک و جذب کادمیم توسط گیاه نیز همبستگی مثبت و معناداری در سطح یک درصد نشان دادند. فاکتور زیستی غلظت همبستگی معکوس و معناداری با غلظت و جذب کادمیم توسط گیاه و غلظت آن در خاک نشان داد.

جدول ۳- ضرائب همبستگی بین سطوح بقایای افزوده شده و کادمیم و ویژگی‌های مختلف اندازه‌گیری شده

ویژگی اندازه‌گیری شده	غلظت کادمیم در اندام هوایی گیاه	جذب کادمیم توسط اندام هوایی گیاه	غلظت کادمیم در خاک	فاکتور زیستی غلظت	سطوح بقایا	سطوح کادمیم
وزن خشک اندام هوایی گیاه	-۰/۳۹۷**	-۰/۰۸۹ ns	-۰/۲۴۴ ns	-۰/۱۱۱ ns	-۰/۳۵۲**	-۰/۲۱۱ ns
غلظت کادمیم در اندام هوایی گیاه		۰/۹۳۶**	۰/۸۵۰**	-۰/۲۸۵*	۰/۳۱۲*	۰/۸۱۵**
جذب کادمیم توسط اندام هوایی گیاه			۰/۸۴۰**	-۰/۳۳۶*	۰/۲۱۳ ns	۰/۸۲۲**
غلظت کادمیم در خاک				-۰/۶۵۴**	۰/۰۹۸ ns	۰/۹۴۹**
فاکتور زیستی غلظت					۰/۳۱۸*	-۰/۶۲۶**

* و ** به ترتیب در سطح ۵ و ۱ درصد معنی‌دار است و ns به لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد

نتایج تجزیه واریانس اثر نوع و سطوح بقایای آلی، و سطوح کادمیم بر ویژگی های مختلف اندازه گیری شده در جدول ۴ نشان داده شده است. اثرات اصلی سطوح بقایای گندم یا یونجه بر تمامی ویژگی‌های اندازه گیری شده بجز غلظت کادمیم در خاک پس از برداشت ذرت معنادار بود. نوع بقایا تنها بر میزان وزن خشک اندام هوایی ذرت تأثیر معنادار داشت. اثرات اصلی سطوح کادمیم کاربردی نیز بر تمامی ویژگی‌های اندازه گیری شده بجز وزن خشک اندام هوایی ذرت معنادار بود که نشان می‌دهد گیاه ذرت می‌تواند تا این سطوح از کادمیم کاربردی بدون کاهش چشمگیر در زیتوده تولیدی در گیاه پالایی کادمیم مؤثر واقع شود. در میان اثرات دوتایی تنها اثر نوع و سطح بقایا بر وزن خشک اندام هوایی و فاکتور زیستی غلظت، اثر نوع بقایا و سطوح کادمیم بر غلظت کادمیم در اندام هوایی، و اثر سطوح بقایا و کادمیم کاربردی بر فاکتور زیستی غلظت معنا دار بود. در میان اثرات سه تایی تیمارهای اعمال شده تنها اثر نوع و سطوح بقایای آلی، و سطوح کادمیم بر فاکتور زیستی غلظت در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنادار بود.

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر نوع و سطوح بقایای آلی، و سطوح کادمیم بر ویژگی های مختلف اندازه گیری شده

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		وزن خشک	غلظت کادمیم در اندام هوایی گیاه	جذب کادمیم توسط گیاه	غلظت کادمیم در خاک	فاکتور زیستی غلظت
نوع بقایا	۱	۳۲/۲۵**	۰۰/۴*	۰۵/۶ ns	۳۳/۰ ns	۰۵/۰ ns
سطح بقایا	۲	۵۵/۱۳**	۸۹/۱۵**	۱۲/۲۵۹۸**	۵۵/۲ ns	۰۷/۱**
کادمیم	۲	۴۶/۳ ns	۱۷/۸۱**	۱۲۱۴۷**	۳۴/۲۲۷**	۶۲/۲**
نوع بقایا × سطح بقایا	۲	۳۶/۲۳**	۵۶/۲*	۷۸/۴۲ ns	۴۴/۰ ns	۲۷/۰**
نوع بقایا × کادمیم	۲	۱۴/۰ ns	۸۸/۳**	۴۴/۲۸۷ ns	۶۲/۰ ns	۰۱/۰ ns
سطح بقایا × کادمیم	۴	۱۵/۱ ns	۴۴/۱ ns	۲۴/۲۲۲ ns	۱۹/۲*	۴۳/۰**
نوع بقایا × سطح بقایا × کادمیم	۴	۳۹/۰ ns	۹۷/۰ ns	۷۶/۹۹ ns	۳۸/۰ ns	۰۹/۰*
خطا	۳۷	۱۰۰/۱	۶۳/۰	۲۹/۱۱۹	۸۰/۰	۰۲۴/۰
کل	۵۴	...	...	...	...	...

منابع

چرم، م. و علیزاده، ا. ۱۳۸۸. بررسی اثرات کمپوست بقایای نیشکر و EDTA (اتیلن دی آمین ترا استیک اسید) در کشت کلزا جهت پالایش خاکهای آلوده به کادمیم، سرب و نیکل. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد بیست و سوم، شماره ۲، صفحه های ۲۰ تا ۲۹.

رجایی، م. ۱۳۷۷. بررسی برهمکنش کمپوست و نیتروژن بر رشد و خصوصیات شیمیایی گوجه فرنگی در دو خاک آهکی. پایان نامه کارشناسی ارشد بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

کریمیان، ن. ع. (مترجم). ۱۳۷۱. شیمی خاک، جلد اول: مبانی. تهران، مرکز نشر دانشگاهی.

کوچکی، ع. نخ فروش، غ. و ظریف کتابی، خ. (مترجمان). ۱۳۷۶. کشاورزی ارگانیک. انتشارات مشهد.

Azizian A., Amin S., Noshadi M., Maftoun M. and Emam Y. ۲۰۱۱. Phytoremediation potential of corn and oat for increased levels of soil cadmium under different irrigation intervals. Iran Agricultural Research. ۳۰ : ۴۷-۶۰.

Khurana M.P.S. and Kansal B.D. ۲۰۱۴. Effect of farm yard manure on chemical fractionation of cadmium and its bio-availability to maize crop grown on sewage irrigated coarse textured soil. Journal of Environmental Biology. ۳۵ : ۴۳۱-۴۳۷.

Malekzadeh E., Alikhani H.A., Savaghebi Firoozabadi G.R. and Zarei M. ۲۰۱۲. Bioremediation of cadmium-contaminated soil through cultivation of maize inoculated with plant growth-promoting rhizobacteria. Bioremediation Journal. ۱۶(۴) : ۲۰۴-۲۱۱.

Marchiol L., Sacco P., Assolari S. and Zebri G. ۲۰۰۴. Reclamation of polluted soil : phytoremediation potential of crop-related Brassica species. Water, Air, and Soil Pollution. ۱۵۸ : ۳۴۵-۳۵۶.

Zhang H., Dang Z., Zheng L.C. and Yi X.Y. ۲۰۰۹. Remediation of soil co-contaminated with pyrene and cadmium by growing maize (Zea mays L.). International Journal of Environmental Science and Technology. ۶(۲) : ۲۴۹-۲۵۸.

Abstract

Cadmium adsorption by organic residues significantly decreases its bioavailability. In order to study the effects of wheat or alfalfa residues on phytoremediation of corn and bio-concentration factor of Cd (BCF), a greenhouse experiment was conducted in a factorial ۲×۳×۳ arranged in a completely randomized design. Treatments consisted of two types of organic residues (wheat and alfalfa) in three levels (۰, ۱, and ۲% by weight) and three levels of Cd (۵, ۱۵, and ۲۵ mg $kg^{-۱}$) with three replications. Addition of wheat or alfalfa residues increased bioavailability of Cd, and its concentration in corn shoots. Addition of wheat residues resulted in a higher Cd concentration in corn aerial parts and BCF compared to those of alfalfa residues; however, influence of both applied residues on Cd uptake by corn were almost similar. Phytoremediation efficiency of corn was higher in soils treated with wheat residues and low Cd levels.