



# نقش کرم خاکی در پالایش زیستی فلزات سنگین سرب و کادمیوم در ذرت

فصلنامه بوم‌شناسی گیاهان زراعی  
جلد ۱۳، شماره ۴، صفحات ۶۱-۷۰  
(زمستان ۱۳۹۶)

علی افتخاری<sup>۱\*</sup>، مرتضی سام دلیری<sup>۱</sup>، حمیدرضا مبصر<sup>۲</sup>، امیرحسین شیرانی‌راد<sup>۳</sup>، علیرضا ولدآبادی<sup>۴</sup>

۱ گروه زراعت، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

۲ گروه زراعت، واحد قائمشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائمشهر، ایران

۳ بخش دانه‌های روغنی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج، ایران

۴ گروه زراعت، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران

\* eftkhari@yahoo.com (مسئول مکاتبات)

## شناسه مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ پژوهش: ۱۳۹۰

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۲/۲۷

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۱۵

## واژه‌های کلیدی

- ♦ آلودگی زیست‌محیطی
- ♦ سمیت فلزات سنگین
- ♦ شاخص تحمل
- ♦ گیاه‌پالایی

**چکیده** به‌منظور بررسی نقش کرم خاکی بر پالایش زیستی فلزات سنگین سرب و کادمیوم و تغییرات روند جذب آن‌ها در ذرت، آزمایش گلدانی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۰ اجرا شد. در این آزمایش، در گلدان‌های تیمار ۲۰ نخ کرم خاکی همراه با سطوح ۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک از سرب و کادمیوم استفاده شد. میزان تجمع سرب و کادمیوم در دانه با افزایش سطوح آلودگی خاک به سرب و کادمیوم افزایش یافت. فلز سرب بیشترین میزان انباشتگی را در ریشه نشان داد. در حالی که تجمع کادمیوم در ریشه ۶۳٪ کمتر بود. همچنین، افزایش ۱۴٪ شاخص تحمل در گیاه با حضور کرم خاکی مشاهده شد که علت آن جذب سهم بالایی از سرب و کادمیوم بود. شاخص تحمل گیاه در مقابل سرب بالاتر از کادمیوم بود که ناشی از نسبت انتقال کمتر سرب به اندام هوایی است. با افزایش سطوح فلزات سرب و کادمیوم تعداد کرم خاکی کاهش، تجمع این عناصر در کرم خاکی افزایش یافت که بیان‌کننده موفقیت کرم خاکی در پالایش زیستی فلزات سنگین است. به علاوه، سطوح بالاتری از سرب نسبت به کادمیوم در کرم خاکی انباشته شد. بنابراین، استفاده از کرم خاکی در زیست‌پالایی در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین پیشنهاد می‌شود.



این مقاله با دسترسی آزاد تحت شرایط و قوانین The Creative Commons of BY - NC - ND انتشار یافته است.

DOI: 10.22034/AEJ.2018.539026

مانند سرب و کادمیوم نقش ایفا می‌کند و فلزات سنگین جذب شده را با یکسری ترکیبات آلی دیگر ترکیب و آن را به شکل غیرفعال به خاک بر می‌گرداند.<sup>[۳]</sup>

مطالعات قبلی نشان داد که حضور فلزات سنگین با غلظت‌های بالا در خاک منجر به افزایش مرگ و میر کرم‌ها می‌شود.<sup>[۴،۶]</sup>

مطالعه دارلینگ و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد که میزان تراکم ترکیبات محلول سرب در کرم خاکی، بیشتر از ترکیبات کم محلول است.<sup>[۲]</sup> طی مطالعه آیویلا و همکاران (۲۰۰۹) مشخص شد که افزایش ماده آلی به دلیل گرایش کرم‌ها به این مواد می‌تواند سمیت فلزات سنگین را در کرم‌های خاکی کاهش دهد.<sup>[۱]</sup> ایریزار و همکاران (۲۰۱۵) طی مطالعه خود به این نتیجه رسیدند در صورتی که ماده آلی در خاک کم باشد، کرم‌های خاکی قادر به هضم خاک نبوده، در نتیجه سمیت فلز کادمیوم در آن‌ها افزایش یافته و باعث مرگ و میر و اختلال در تولید مثل آن‌ها می‌شود.<sup>[۵]</sup>

با توجه به این که یکی از مشکلات زیست‌محیطی آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین بوده و استفاده از کرم‌های خاکی روش زیستی مطلوبی برای حذف است. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی اثر کرم خاکی بر پالایش زیستی فلزات سنگین سرب و کادمیوم در ذرت انجام شد.

**مقدمه** سمیت فلزات سنگین و تجمع آن‌ها در زنجیره‌های غذایی یکی از اصلی‌ترین معضلات زیست‌محیطی و بهداشتی جوامع مدرن امروزی است.<sup>[۱۳]</sup> هنگامی که فلزات سنگین توسط گیاهان جذب و در بافت‌های آن‌ها تجمع می‌یابند، اغلب به صورت مستقیم یعنی تخریب ساختار سلول، ایجاد تنش اکسیداتیو، افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن و یا غیرمستقیم از طریق رقابت با سایر عناصر غذایی ضروری و قرارگیری به جای آن‌ها در ساختمان رنگدانه یا آنزیم‌ها و تخریب عملکرد آن‌ها در گیاه ایجاد سمیت می‌کنند.<sup>[۱۲]</sup> گیاه‌پالایی خاک، یک فناوری زیستی است که هدف آن بخار، تثبیت، تخریب، استخراج و یا غیرفعال کردن آلاینده خاک است.<sup>[۱۴]</sup>

کادمیوم<sup>۱</sup> یک عنصر سنگین غیرضروری و شدت سمی بوده که غلظت‌های پایین در طبیعت وجود دارد و آلودگی‌های زیست‌محیطی بسیاری برای موجودات زنده ایجاد می‌کند.<sup>[۱۱]</sup> این عنصر عمده به شکل یون دو بار مثبت توسط ریشه گیاه جذب می‌شود.<sup>[۷]</sup> این عنصر منجر به آسیب گیاه و تغییر متابولیسمی، جذب نیتروژن، میزان رنگدانه، پروتئین، سنتز کلروفیل و تغییر غلظت آنزیم، واکنش با بعضی از آنزیم‌ها بازدارندگی جوانه‌زنی، رشد و نمو ریشه و گیاه، سبب ایجاد تنش متابولیسمی در گیاه می‌شود. به طور کلی کادمیوم از طریق اثر منفی روی متابولیسم گیاه وارد می‌کند.<sup>[۷]</sup>

سرب، یک عنصر غیرضروری است و جذب مقدار کم آن هم خطرات بسیاری برای موجودات زنده ایجاد می‌کند. سرب بر فعالیت‌های متابولیسمی قسمت‌های مختلف گیاه اثر می‌گذارد و اثر آن بسته به غلظت، نوع خاک، صفات فیزیکی و شیمیایی خاک و گونه گیاهی متغیر است.<sup>[۷]</sup> فاروخی و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند سمیت سرب منجر به کاهش درصد جوانه‌زنی، کاهش طول و وزن خشک ریشه و ساقه، آشفتنگی مواد غذایی گیاه در خاک و کاهش تقسیم سلولی می‌شود. سرب بسیاری از جنبه‌های رفتار متابولیسمی کلسیم را تقلید می‌کند و جایگزین آن می‌گردد و از فعالیت بسیاری از آنزیم‌ها جلوگیری می‌کند.<sup>[۳]</sup>

کرم خاکی علاوه بر اثرات متعدد در خاک مانند افزایش ماده آلی، افزایش تخلخل، افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی در جذب فلزات سنگین خاک

<sup>۱</sup> Cadmium (Cd)

## مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت گلدانی در آزمایشگاه دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس در سال ۱۳۹۰ اجرا شد.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. دو سطح کرم خاکی شامل بدون کاربرد کرم خاکی و با کاربرد ۲۰ نخ کرم خاکی به عنوان عامل اول و سطوح ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک فلزات سنگین سرب و کادمیوم به عنوان عامل دوم در نظر گرفته شد. جهت آلوده‌سازی خاک پس از آماده‌سازی مقادیر مربوط به نمونه‌های فلزات سرب و کادمیوم توسط ابزار دقیق و مخلوط نمودن با ۱ کیلوگرم خاک به هر یک از گلدان‌ها اضافه شد. وزن خاک هر گلدان ۲۵ کیلوگرم بود که پز از آزمایش اولیه خاک و به منظور عدم اختلاط کرم خاکی غریبال شدند. رها سازی کرم‌های خاکی در هر یک از گلدان‌ها، پس از اضافه کردن خاک آلوده به فلزات انجام شد. گلدان‌ها برای جلوگیری از خروج کرم با پلاستیک محصور شده بودند. در هر گلدان شش بوته ذرت رقم زودرس سینگ‌کراس ۱۰۸ کشت شد. آبیاری گلدان‌ها به صورت بارانی جهت جلوگیری از آبهویی فلزات سنگین انجام گرفت. برای مبارزه با آفات آگروتیس و حلزون از سم گرانول سوین (۳ کیلوگرم سوین و ۱۰۰ کیلوگرم سبوس برنج در ۱ هکتار) و برای مبارزه با کرم برگ‌خوار و ساقه‌خوار از سم دیازینون محلول با غلظت ۱/۵ لیتر در ۱۰۰۰ لیتر استفاده شد. برداشت در مرحله خمیری دانه صورت گرفت.

برای اندازه‌گیری غلظت کادمیوم و سرب بافت کرم خاکی، خاک، ریشه، اندام هوایی و دانه در مرحله برداشت؛ گیاهان به دقت از خاک خارج و ریشه، ساقه، برگ و دانه جهت تعیین میزان جذب کادمیوم و سرب تفکیک شدند. اندازه‌گیری میزان کادمیوم و سرب به روش هضم مرطوب انجام شد. به این صورت که ابتدا هر کدام به وزن دو گرم داخل بوته چینی داخل آون با ۴۵۰ درجه سلسیوس حرارت به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت تا خشک شود. نمونه‌های خشک شده داخل کوره حرارت ۵۵۰ درجه سلسیوس به مدت سه ساعت قرار گرفت و تبدیل به خاکستر شد. خاکستر هر نمونه داخل لوله شیشه‌ای شماره‌گذاری شده قرار گرفت، سپس اسید نیتریک به هر کدام از نمونه‌ها اضافه و به مدت یک ساعت در دمای ۸۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. آب مقطر به هر کدام اضافه کرده تا حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر برسد. سپس از آن عصاره‌گیری با مخلوط اسید

سیتریک غلیظ و اسید کلریدریک ۵۰٪ روی اجاق برقی در دمای ۹۵ درجه سلسیوس انجام شد، در نهایت میزان کادمیوم و سرب موجود در نمونه‌ها توسط دستگاه جذب اتمی مدل AA 240 ساخت آمریکا اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری میزان کادمیوم و سرب قابل جذب در خاک به روش دی‌تی‌پی<sup>۲</sup> انجام شد. به این منظور، پس از توزین ۱۰ گرم خاک در ارلن ۱۲۵ ریخته شد. سپس ۲۰ میلی‌لیتر از محصول از محلول دی‌تی‌پی<sup>۲</sup> به آن اضافه کرده و به مدت ۲ ساعت شیکر دورانی با ۵۰ دور در دقیقه شلیک کرده و با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف و با دستگاه جذب اتمی قرائت شده و فرم قابل جذب این عنصر انجام پذیرفت.<sup>[۴]</sup>

شاخص تحمل نیز از طریق محاسبه نسبت وزن دانه در تیمار آلوده به کادمیوم به وزن دانه در شاهد بدون آلودگی ضرب در ۱۰۰ حاصل شد. برای تعیین وزن دانه با شمارش صد دانه و توزین آن با رطوبت ۱۵٪ انجام شد. شمارش کرم خاکی در هر تیمار بعد از برداشت ذرت و سرنده شدن خاک به صورت انجام شد. برای تجزیه واریانس و مقایسه میانگین از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ استفاده شد. مقایسه میانگین با آزمون دانکن در سطح ۵٪ انجام گرفت.

<sup>۲</sup> DTPA

جدول (۱) تجزیه واریانس غلظت فلزات سنگین در اندام‌های ذرت و خاک در حضور کرم خاکی و فلزات سنگین

Table 1) Variance analysis of heavy metal concentrations in maize organs in presence of earthworm and heavy metals

Source of variation	df	metal concentration in shoot	metal concentration in grain	metal concentration in root	grain weight	metal concentration in soil	tolerance index
Worm (W)	1	672.27**	68.2**	1954.5**	117.72**	9139.3**	0.061**
Heavy metal (M)	5	1137.1**	20.33**	1643.7**	260**	10833.1**	0.379**
W × M	5	45.10**	5.5**	312.7**	3.15**	1595.6**	0.007**
Error	20	2.48	0.42	5.76	0.312	9.69	0.0001
CV (%)	-	9.23	30.42	12.49	3.04	6.52	2.48

\* and \*\* significant at 5 and 1% probability level respectively

\*\*\*,\*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪

## نتایج و بحث

### تجمع فلزات در دانه

میزان تجمع در دانه تحت اثر ساده و متقابل در سطح احتمال ۱٪ قرار گرفت (جدول ۱). این میزان تجمع در شرایط عدم کاربرد کرم خاکی ۳/۵۷ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک و با کاربرد کرم خاکی ۰/۷۷ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک بود که نشانگر تفاوت ۴/۶ برابری است. در تیمارهای کاربرد کرم خاکی از طریق جذب و تجمع بخش بزرگی از فلزات سنگین خاک تا ۷۰/۷ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک رسید (جدول ۲). در واقع یک پالایش نسبی خاک توسط کرم جمعیت کاهش آلودگی انجام شد، در نتیجه سهم آلودگی و انتقال فلزات سنگین در خاک، ریشه و اندام هوایی کاهش یافته و آلودگی کمتری به دانه منتقل می‌شود. با افزایش سطوح آلودگی فلزات سرب و کادمیوم در خاک میزان تجمع آن‌ها در دانه افزایش نشان می‌دهد که این امر میزان تجمع در مورد سرب و کادمیوم به ترتیب از ۰/۱۴۳ به ۴/۸۵ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک و از ۰/۲۱ به ۳/۴۴ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک رسیده است که نشان‌دهنده افزایش میزان تجمع با افزایش سطوح آلودگی و افزایش تجمع بیشتر کادمیوم نسبت به سرب در دانه در تمامی سطوح تیماری است (جدول ۲). از طرفی میزان تجمع فلزات سنگین سرب و کادمیوم در دانه کمتر از اندام هوایی، ریشه و خاک بوده است که با نتایج خان و همکاران (۲۰۰۴) در مورد گیاه آفتابگردان همخوانی دارد.<sup>[۲]</sup> با بررسی جدول مقایسه میانگین و اثر متقابل کرم با فلزات سنگین مشاهده شد که در حضور کرم خاکی میزان تجمع فلزات سنگین سرب و کادمیوم در دانه کاهش شدیدی را نشان داد. به طوری که از ۶/۸۶ میلی‌گرم سرب در هر کیلوگرم خاک در تیمار عدم کاربرد کرم خاکی و کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سرب به ۲/۸

میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک سرب در تیمار مشابه اما با کاربرد کرم خاکی و کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سرب رسیده بود.

### تجمع فلزات در اندام‌های هوایی

میزان تجمع فلزات سنگین در اندام‌های هوایی نیز تحت اثر ساده و اثر متقابل در سطح احتمال ۱٪ قرار گرفت (جدول ۱). میزان تجمع فلزات سنگین در اندام هوایی در تیمار بدون کرم خاکی ۲۱/۴ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک و در شرایط کاربرد کرم خاکی ۱۲/۷ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک بود که نشان‌دهنده کاهش انتقال فلزات سنگین به اندام‌های هوایی است (جدول ۲). با افزایش سطوح فلزات سنگین سرب و کادمیوم میزان تجمع در اندام‌های هوایی افزایش نشان داد. اما این افزایش تجمع با افزایش سطوح تیماری در مورد فلز کادمیوم محسوس‌تر بود. به طوری که بالاترین میزان تجمع فلز سنگین در اندام هوایی مربوط به کادمیوم با ۳۶/۰۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک است اما

جدول ۲) اثر کرم خاکی و آلودگی خاک به سرب و کادمیوم بر میزان تجمع این فلزات در خاک و اندام‌های گیاهی ذرت

Table 2) the effect of earthworm and soil contamination to Cd and Pb on their accumulation in soils and maize organs

Treatment	metal concentration in shoot (mg/kg)	metal concentration in grain (mg/kg)	metal concentration in root (mg/kg)	grain weight (g)	metal concentration in soil (mg/kg)	tolerance index
Control (C)	21.4 a	3.57 a	26.6 a	16.6 b	63.7 a	0.64 b
Worm applied (W)	12.7 b	0.77 b	11.8 b	20.2 a	31.8 b	0.73 a
Cd <sub>0</sub>	0.68 d	0.143 d	0.56 d	26.65 a	1.55 d	1 a
Cd <sub>150</sub>	23.42 b	2.4 bc	17.1 c	15.53 b	45.9 c	0.57 c
Cd <sub>300</sub>	36.02 a	4.85 a	26.6 b	12.10 c	97.6 a	0.44 e
Pb <sub>0</sub>	2.12 d	0.21 d	1.18 d	26.53 a	2.01 d	1 a
Pb <sub>150</sub>	15.68 c	1.81 c	26.3 b	16.65 b	43.72 c	0.62 b
Pb <sub>300</sub>	24.45 b	3.44 ab	43.4 a	12.78	85.6 b	0.47e
CCd <sub>0</sub>	1.1 e	0.26 d	0.65 f	25.6 b	1.53 f	1 a
CCd <sub>150</sub>	30.07 b	4.36 bc	23.07 d	12.57 f	53.9 d	0.48 e
CCd <sub>300</sub>	42.2 a	6.86 a	32.5 c	10.17 f	136.9 a	0.39 g
CPb <sub>0</sub>	3.56 e	0.40 d	1.65 f	25.5 b	2.56 f	1 a
CPb <sub>150</sub>	20.3 c	3.56 c	40.1 b	14.7 d	60.6 d	0.57 c
CPb <sub>300</sub>	30.9 b	5.66 ab	61.5 a	10.8 f	126.5 b	0.42 f
WCd <sub>0</sub>	0.26 e	0.02 d	0.47 f	27.7 a	1.56 f	1 a
WCd <sub>150</sub>	16.7 c	0.4 d	11.2 e	18.5 c	33.9 e	0.66 b
WCd <sub>300</sub>	29.7 b	2.8 c	20.7 d	14.03 d	68.4 c	0.50 e
WPb <sub>0</sub>	0.67 e	0.03 d	0.71 f	27.53 a	1.46 f	1 a
WPb <sub>150</sub>	11 d	0.05 d	12.5 e	18.6 c	30.8 e	0.67 b
WPb <sub>300</sub>	17.9 c	1.21 d	25.3 d	14.7 d	54.6 d	0.53 d

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با آزمون دانکن است.

Similar letters in each column shows non- significant difference according to Duncan test at 5% level.

خاکی کاهش نشان داد که بیانگر این است که در غیاب کرم خاکی جذب فلزات سنگین توسط ریشه افزایش می‌یابد (جدول ۲). بیشترین میزان انباشتگی فلز در ریشه مربوط به تیمار ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم فلز سرب با ۴۳/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم حاصل شد که نسبت به تیمار مشابه ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم ۶۳٪ تجمع بیشتر را نشان می‌دهد. در واقع تجمع سرب در تمامی سطوح تیماری در ریشه بیشتر از کادمیوم بوده است که این می‌تواند به ضریب انتقال بالاتر کادمیوم به اندام هوایی مرتبط باشد (جدول ۲). وو و همکاران (۲۰۰۶) نیز گزارش کردند که

به‌صورت یون فلزی کادمیوم از طریق پوست ریشه جذب و سپس از راه سیمپلاستی یا آپوپلاستی وارد بافت چوب می‌شود که یا در واکوئل و یا در دیواره سلولی و تیغه میانی بین آندودرم و دایره محیطیه تجمع می‌یابد. با کاربرد کرم خاکی، میزان تجمع فلزات سنگین سرب و کادمیوم نسبت به عدم کاربرد کرم خاکی کاهش نشان داد که این امر در مورد فلز سرب اثر محسوس‌تری را نشان داد که می‌توان این عمل را به جذب و تجمع بخشی از فلزات توسط کرم خاکی نسبت داد (جدول ۲). یانگ و همکاران (۲۰۰۶) اظهار داشتند که با افزودن کرم خاکی زیست‌توده ساقه خردل هندی، به میزان ۴۲-۱۱٪ افزایش یافت.<sup>[۱]</sup>

#### تجمع فلزات در ریشه

میزان تجمع فلز سنگین سرب و کادمیوم در ریشه تحت اثر ساده کاربرد کرم خاکی و فلز سنگین سرب و کادمیوم و اثرمتقابل کرم خاکی در فلز سنگین در سطح احتمال ۱٪ قرار گرفت (جدول ۱). میزان تجمع فلز سنگین سرب و کادمیوم در ریشه در شرایط عدم کاربرد کرم خاکی ۱۲۵/۴٪ نسبت به کاربرد کرم

در شرایط کرم خاکی است (جدول ۲). بالاتر بودن شاخص تحمل در شرایط استفاده از کرم خاکی را می‌توان به اثرات این تیمار در افزایش وزن دانه به واسطه جذب زیستی فلزات سنگین و در نتیجه کاهش خسارت به گیاه و از طرفی افزایش دسترسی به مواد غذایی توسط گیاه و افزایش وزن دانه نسبت داد. تغییرات شاخص تحمل تحت تأثیر فلزات سنگین قابل ملاحظه بود، به طوری که در خصوص تیمار سرب با افزایش سطوح آلودگی تا ۳۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک ۵۳٪ نسبت به تیمار شاهد کاهش نشان داد که این کاهش در مورد تیمار ۳۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم کادمیوم ۵۶٪ نسبت به شاهد است که نشانگر شاخص تحمل بالاتر گیاه نسبت به سرب در مقایسه با کادمیوم است. سلطانی (۲۰۰۹) گزارش کرد که با افزایش سطوح آلودگی به فلزات سنگین شاخص تحمل به طور معنی‌داری تا ۷۹٪ نسبت به شاهد کاهش نشان داد.<sup>[۱۷]</sup>

اثر متقابل کرم در فلز سنگین نیز تغییرات قابل ملاحظه‌ای وجود داشته است، اما نکته قابل توجه در اثر بخشی مثبت کرم خاکی در کاهش تنش فلزات سنگین سرب و کادمیوم است. در هر صورت با افزایش سطوح فلزات سنگین سرب و کادمیوم شاخص تحمل کاهش معنی‌داری داشته که این کاهش در مورد تیمار کادمیوم شدیدتر بوده است، به نحوی که کمترین شاخص

نسبت انتقال سرب از ریشه به اندام هوایی از فلز نیکل، کادمیوم، مس و روی کمتر است.<sup>[۱۰]</sup> در بررسی اثر متقابل کرم خاکی در فلز سنگین و میزان تجمع در ریشه مشاهده شد که در شرایط کاربرد کرم خاکی میزان تجمع فلزات سنگین در تمامی سطوح تیماری کاهش نشان داد به طوری که از ۶۱/۵ میلی‌گرم در هر کیلوگرم در تیمار عدم کاربرد کرم خاکی در مصرف ۳۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم سرب به ۲۵/۳ میلی‌گرم در هر کیلوگرم در تیمار مشابه ولی با کاربرد کرم خاکی رسیده است که نشان از کاهش ۱۴۳٪ دارد (جدول ۲).

### تجمع فلزات در خاک

تجمع کادمیوم در خاک تحت تأثیر کرم خاکی، مقادیر فلز سنگین سرب و کادمیوم و اثر متقابل کرم خاکی در مقادیر فلز سرب و کادمیوم در سطح احتمال ۱٪ قرار گرفت (جدول ۱). با کاربرد کرم خاکی میزان تجمع سرب و کادمیوم در خاک ۴۹/۹٪ کاهش نشان داد (جدول ۲)، که این امر نشان دهنده پالایش بخش از آلودگی خاک در حضور کرم خاکی است. با افزایش میزان کاربرد فلز سنگین در خاک، میزان تجمع آن در خاک افزایش نشان داد به طوری که بالاترین میزان تجمع در خاک مربوط به تیمار سرب ۳۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک با ۹۷/۶ میلی‌گرم در هر کیلوگرم بوده است که نسبت به تیمار مشابه فلز کادمیوم ۱۴٪ انباشتگی بیشتر داشته است که نشان دهنده ماندگاری بیشتر فلز سرب در خاک نسبت به کادمیوم است (جدول ۲). در بررسی میانگین مربعات اثر متقابل کرم خاکی در فلز سنگین مشاهده شد که در شرایط کاربرد کرم خاکی میزان انباشتگی سرب و کادمیوم در خاک کاهش نشان داد که نشانگر توان کرم خاکی در جذب فلزات سنگین سرب و کادمیوم است. بالاترین میزان تجمع در خاک مربوط به تیمار عدم کاربرد کرم خاکی با فلز سرب ۳۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک با ۱۳۶/۹ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک که نسبت به تیمار مشابه ولی با کاربرد کرم خاکی ۴۹/۹٪ افزایش نشان داده است (جدول ۲).

### شاخص تحمل

این صفت نیز به لحاظ آماری تحت اثر ساده و اثر متقابل تیمارها در سطح احتمال ۱٪ قرار گرفت (جدول ۱). شاخص تحمل در تیمار کاربرد کرم خاکی ۰/۷۳ و در تیمار عدم کاربرد کرم خاکی ۰/۶۴ بود که نشان از افزایش ۱۴٪ شاخص تحمل

جدول ۳) تجزیه واریانس تعداد کرم خاکی و میزان تجمع فلزات سنگین در خاک‌های آلوده به سطوح مختلف سرب و کادمیوم

Table 3) Variance analysis of earthworm number and heavy metals accumulation in soils contaminated by Cd and Pb various rates

Source of variation	df	worm number	metal concentration in worm
Cd and Pb contamination rates	2	1.26**	39.58*
Error	5	212	2767.5
Total	10	0.409	7.20
CV (%)	-	3.85	7.17

\* and \*\* significant at 5 and 1% probability level respectively

\*,\*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪

جدول ۴) تعداد کرم خاکی و میزان تجمع سطوح فلزات سنگین در خاک‌های آلوده به سطوح مختلف سرب و کادمیوم

Table 4) Earthworm number and heavy metals accumulation in soils contaminated by Cd and Pb various rates

Heavy metals concentration	worm number	metal concentration in worm (mg/kg)
Cd <sub>0</sub>	27.5 a	1.66 c
Cd <sub>150</sub>	11.9 bc	38.93 b
Cd <sub>300</sub>	8.7 c	67.7 a
Pb <sub>0</sub>	29.7 a	1.9 c
Pb <sub>150</sub>	14.9 b	43.5 b
Pb <sub>300</sub>	12.6 bc	77.7 a

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ با آزمون دانکن است.

Similar letters in each column shows non- significant difference according to Duncan test at 5% level

خاکی و سطوح فلزات سنگین سرب و کادمیوم همبستگی معنی‌دار منفی وجود دارد (جدول ۴).

#### تجمع فلز در کرم خاکی

میزان تجمع فلز در کرم خاکی از نظر آماری تحت تأثیر سطوح فلز سنگین سرب و کادمیوم در سطح احتمال ۵٪ قرار گرفت (جدول ۳). با افزایش سطوح فلز سنگین سرب و کادمیوم میزان تجمع آن‌ها در کرم خاکی افزایش نشان داد، اما در مقایسه فلز سرب و کادمیوم مشاهده می‌شود که کرم خاکی سطوح بالاتری از سرب را در خود انباشته کرد، به طوری که در تیمار سرب با آلودگی ۳۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم

تحمل در مورد تیمار با آلودگی ۳۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک و بدون کاربرد کرم خاکی ۰/۳۹ حاصل شد که این امر را نیز می‌توان به اثرات مخرب بیشتر کادمیوم به واسطه تجمع بیشتر در اندام‌های هوایی گیاه و سپس دانه و در نتیجه کاهش بیشتر وزن دانه و در نهایت افت محسوس شاخص تحمل نسبت داد (جدول ۲).

#### تعداد کرم خاکی

تعداد کرم خاکی تحت تأثیر تیمار سطوح فلزات سنگین سرب و کادمیوم در سطح احتمال ۱٪ قرار گرفت (جدول ۳). با افزایش سطوح فلزات سرب و کادمیوم تعداد کرم خاکی کاهش شدیدی را نشان داد. در مورد سرب کرم خاکی با کاهش ۱۳۵٪ مواجه شد. با توجه به مطالب فوق جمعیت کرم خاکی با افزایش سطوح آلودگی کاهش نشان داد که این امر جمعیت کرم خاکی با افزایش سطوح فلز سرب شدت بیشتری دارد. شاید توجیه این مطلب این باشد که کرم خاکی سرب بیشتری نسبت به کادمیوم جذب می‌کند. به طوری که بین جمعیت کرم

می‌توان به اثر بخشی سرب و کادمیوم در فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه پیدا کرد. کامیوم منجر به کاهش جذب منگنز و کاهش جذب و توزیع کلسیم و پتاسیم در گیاه شد.

لیو و همکاران (۲۰۰۹) نیز گزارش کردند، کاربرد کمپوست کود مرغی غلظت کادمیوم ریشه، اندام هوایی و دانه گندم را در خاک‌های آلوده به کادمیوم کاهش داد.<sup>[۸]</sup> وانگ و همکاران (۲۰۰۶) نیز گزارش کردند که کادمیوم موجود در محلول خاک، می‌تواند به دیواره‌های سلولی ریشه گیاه پیوند یابند. در حقیقت تجمع کادمیوم در ریشه ذرت، نوعی سازوکار تحمل غلظت زیاد کادمیوم در ریزوسفر است.<sup>[۹]</sup>

**نتیجه گیری کلی** میزان تجمع سرب در ریشه ذرت مشاهده شد. با حضور کرم خاکی افزایش تحمل ذرت به سرب و کادمیوم مشاهده شد و تحمل گیاه به سرب بالاتر از کادمیوم بود. با افزایش سطوح فلزات سرب و کادمیوم تعداد کرم خاکی کاهش شدیدی را نشان داد. کرم خاکی در پالایش زیستی فلزات سنگین موفق عمل نمود. بنابراین، استفاده از کرم خاکی در زیست‌پالایی پیشنهاد می‌شود

خاک نسبت به سطوح تیماری مشابه فلز کادمیوم ۱۴/۷٪ تجمع بیشتری یافت (جدول ۴). با توجه به مطالب بالا نتیجه‌گیری می‌شود که کرم خاکی قادر به جذب سرب و کادمیوم حتی در سطوح بالا است، اما در مقایسه دو فلز سنگین، کرم خاکی در جذب سرب موفق‌تر از کامیوم نشان می‌دهد. با کاربرد کرم خاکی میزان تجمع سرب و کادمیوم در خاک ۴۹/۹٪ کاهش نشان داد (جدول ۲)، که این امر نشان دهنده پالایش بخش از آلودگی خاک در حضور کرم خاکی است. با افزایش میزان کاربرد فلز سنگین در خاک، میزان تجمع آن در خاک افزایش نشان داد به طوری که بالاترین میزان تجمع در خاک مربوط به تیمار سرب ۳۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک با ۹۷/۶ میلی‌گرم در هر کیلوگرم بوده است که نسبت به تیمار مشابه کادمیوم ۱۴٪ انباشتگی بیشتر داشته است که نشان دهنده ماندگاری بیشتر فلز سرب در خاک نسبت به کادمیوم بود (جدول ۲).

در شرایط کاربرد کرم خاکی میزان انباشتگی سرب و کادمیوم در خاک کاهش نشان داد که نشانگر توان کرم خاکی در جذب فلزات سنگین سرب و کادمیوم است. بالاترین میزان تجمع در خاک مربوط به تیمار عدم کاربرد کرم خاکی با فلز سرب ۳۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک با ۱۳۶/۹ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک که نسبت به تیمار مشابه ولی با کاربرد کرم خاکی ۴۹/۹٪ افزایش نشان داده است (جدول ۲). مهدوی (۲۰۱۱) در بررسی تجمع زیستی فلزات سنگین در کرم خاکی در ورمی کمپوست گزارش کردند که غلظت کروم، کادمیوم، سرب، مس و روی در بافت کرم خاکی و ترکیب ورمی کمپوست به خاطر جذب زیستی این فلزات افزایش یافته است.<sup>[۹]</sup>

#### وزن دانه

وزن دانه به لحاظ آماری تحت اثر ساده و اثر متقابل کلیه تیمارها قرار نگرفت (جدول ۱). وزن دانه در تیمار ساده کاربرد کرم خاکی و عدم کاربرد کرم خاکی به ترتیب ۲۰/۲ و ۱۶/۶ گرم حاصل شد که نشان از افزایش ۲۱٪ وزن دانه در اثر تیمار کاربرد کرم خاکی دارد که این امر را می‌توان به افزایش دسترسی فلزات به واسطه حضور کرم خاکی نسبت داد (جدول ۲). با افزایش سطوح آلودگی سرب و کادمیوم وزن دانه کاهش معنی‌داری را نشان می‌دهد، به طوری که از ۲۶/۶ گرم در تیمار شاهد به ۱۲/۱ گرم در تیمار آلودگی ۳۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم سرب رسیده است. کاهش وزن دانه در تیمارهای آلوده به فلزات سنگین را



## References

1. Avila GG, Gaete HH, Sauve SS, Neaman AA (2009) Organic matter reduces copper toxicity for the earthworm *Eisenia fetida* in soils from mining areas in Central Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research* 69(2):252-259.
2. Darling CTR, Thomas VG (2005) Lead bioaccumulation in earthworms, *Lumbricus terrestris*, from exposure to lead compounds of differing solubility. *Science of the Total Environment* 346(1): 70-80.
3. Farooqi ZR, Shafiq D (2009) Toxic effects of lead and cadmium on germination and seeding growth of *Albizia lebbbeck* (L.) Benth. *Pakistan Journal of Botany* 41(1): 27-33.
4. Garcia M, Römbke J, de Brito MT, Scheffczyk A (2008) Effects of three pesticides on the avoidance behavior of earthworms in laboratory tests performed under temperate and tropical conditions. *Environmental Pollution* 153(2): 450-456.
5. Irizar A, Rodriguez MP, Izquierdo A, Cancio I, Marigomez I, Soto M (2015) Effects of soil organic matter content on cadmium toxicity in *Eisenia fetida*: Implications for the use of biomarkers and standard toxicity tests. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 68(1): 181-192.
6. Jamshidi Z, Golchin A, Pari-Zanganeh A (2013) The effect of different levels of chromium and exposure time on growth parameters of earthworms. *Journal of Kashan University of Medical Sciences* 16(7): 625-626. [in Persian with English abstract]
7. Khan NA, Ahmad I, Singh S, Nazar R (2006) Variation in growth, photosynthesis and yield of five wheat cultivars exposed to cadmium stress. *World Journal of Agricultural Sciences* 2(2): 223-226
8. Liu L, Chen H, Cai P, Liang W, Huang Q (2009) Immobilization and phyto-toxicity of Cd in contaminated soil amended with chicken manure compost. *Journal of Hazardous Materials* 163: 563-567.
9. Mahdavi SM, Sarfam M, Choab A (2011) Investigation effect of vermin-compost, poultry manure and cow manure on soil cadmium transition. *Proceedings of the 1<sup>st</sup> National Conference of Strategic Achievements in Sustainable Agriculture*. Khouzestan Payam Nour University, Ahvaz. [in Persian with English Abstract]
10. Manteghi N (1986) Methods description and experimental investigation on soil and water samples. *Soil and Water Research Institute* 168: 175 pp. [in Persian]
11. Marchiol L, Assolari S, Sacco P, Zerabi G (2004) Phytoextraction of heavy metals by canola (*Brassica napus*) and raddish (*Raphanus sativus*) grown on multicontaminated soil. *Environmental Pollution* 132(1): 21-24.
12. Mertens J, Vervaeke P, Meers E, Tack FM (2006) Seasonal changes of metals in willow (*Salix* sp.) stands for phytoremediation on dredged sediment. *Environmental Science Technology* 40: 1962-1968.
13. Naderi M, Danesh Shahraki AR (2011) Phyto-remediation: towards to improved environment safety. *Proceedings of the First National Conference of Strategic Achievement to Sustainable Agriculture*. Khouzestan Payam Nour University. 1-9 pp. [in Persian with English abstract]
14. Khan AG, Kuek C, Chaudhry TM, Khoo CS, Hayes WJ (2000) Role of Plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation. *Chemosphere* 41: 197-207.
15. Pinthus M J (1973) Loading in Wheat, barley and oats: the phenomenon, its causes, and preventive measures. *Advance in Agronomy* 25: 209-263.
16. Todd LL, George E. Taylor Jr., Mae SG, George CJF (1998) Mercury and plants in contaminated soil: 1: Uptake, partitioning, and emission to the atmosphere. *Environmental Toxicology and Chemistry* 17: 2063-2071.
17. Soltani M (2009) Research on the effectiveness of *Trichoderma* in improving soil fertility, disease control and reduction of chemical fertilizers and pesticides application inclusion in cultivation of leafy vegetables in pilon-Smitse phyto-remediation. *Plant Biology* 56:1539.
18. Kelly JJ, Häggblom MM, Tate RL (1998) Effects of heavy metal concentration and remediation on soil microbial on soil microbial communities in the vicinity of a zinc smelter. *Journal of Environmental Quality* 27: 609-617.
19. Wang G, Su MY, Chen YH, Lin FF, Luo D, Gao SF (2006) Transfer characteristics of cadmium and lead from soil to the edible parts of six vegetable species in south eastern China. *Environmental Pollution* 144: 127-135.
20. Yang XE, Long Ye HB, Calvert D, Sfoffella PJ (2004) Cadmium tolerance and hyperaccumulation in a new Zn-hyperaccumulating plant species. *Plant and Soil* 259: 181-189.

# Earth worm role on bioremediation of lead and cadmium heavy metals in maize



Agroecology Journal

Vol. 13, No. 4 (61-70)  
(winter 2018)

Ali Eftekhari<sup>1\*</sup>, Morteza Sam Daliri<sup>1</sup>, Hamid Reza Mobasser<sup>2</sup>, Amir Hosein Shirani Rad<sup>3</sup>,  
Ali Reza Valadabadi<sup>4</sup>

1 Department of Agronomy, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran

2 Department of Agronomy, Ghaemshahr Branch, Islamic Azad University, Ghaemshahr, Iran

3 Department of Industrial Crops, Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran

4 Department of Agronomy, Takestan Branch Islamic of Azad University, Takestan, Iran

\* ✉eftekhari@yahoo.com (corresponding author)

Received: 17 May 2017

Accepted: 05 January 2018

**Abstract** To investigate the earthworm role in bio-remediation of lead and cadmium heavy metals and changes in their adsorption trend in corn, a pot experiment was carried out as factorial based on randomized completely block design with three replications in 2011. The treated pots received 20 earthworm individuals with 0, 150 and 300 mg/kg of cadmium (Cd) and lead (Pb). The increase of Cd and Pb concentrations led to higher Cd and Pb accumulation in grains. Pb highly accumulated in roots; however, Cd root accumulation was 63% less. Also, an increment of 14% was observed in plant tolerance index in presence of earthworm up-taking considerable amount of Pb and Cd. More tolerated plants against Pb was because of higher Pb translocation to shoots than Cd. Higher concentrations of Pb and Cd in soils severely decreased earthworm population and increased their accumulation in earthworm, indicating the success of the earthworm in the bio-remediation of heavy metals. Furthermore, Pb accumulated in higher levels than Cd in earthworm bodies. Therefore, earthworm application is recommended in bio-remediation of soils contaminated to heavy metals.

## Keywords

- ◆ Cd
- ◆ environmental pollutant
- ◆ heavy metal toxicity
- ◆ Pb
- ◆ phyto-remediation
- ◆ tolerance index

This open-access article is distributed under the terms of the Creative Commons-BY-NC-ND which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

DOI: 10.22034/AEJ.2018.539026

