



## چکیده

# تأثیر کرم‌های حاکی بر تحرک و قابلیت دسترسی عناصر کمیاب در خاک

## مجتبی یحیی‌آبادی

### عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان

در این مقاله نقش هریک از گروه‌های اکولوژیک کرم‌های حاکی در تحرک عناصر کمیاب و همچنین اهمیت خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و نوع کاربری خاک در این فرآیندها بررسی شده است، و معیار اندازه‌گیری تحرک و دسترسی عناصر در خاک مورد توجه قرار گرفته است. در ادامه به بررسی دلایل پیشنهادی برای این اثرات پرداخته خواهد شد. در اکثر آزمایشات، استفاده از کرم های حاکی بومی هر منطقه برای آزمایش توصیه می شوند. تفاوت در نتایج به دلیل نقش متفاوت گونه‌های مختلف کرم‌های حاکی در نظر گرفته میشود و چگونگی اثرات متقابل این گونه ها بر تغییرات عناصر کمیاب و تحرک آنها در خاک بسیار حائز اهمیت خواهد بود. نتایج آزمایشات زیادی حاکی از آنست که کرم‌های حاکی باعث افزایش تحرک و دسترسی فلزات ضروری و غیرضروری در خاکهای آلوده و خاک‌های غیر آلوده میشوند؛ اما مکانیسم این فرآیندها کاملا مشخص نیست. شواهد نشان می دهند که کرمهای حاکی می توانند فعالیت‌های میکروبی را تحریک کرده و موجب تغییر در pH و کربن آلی محلول در خاک شوند و از این طریق باعث افزایش تحرک عناصر کمیاب در خاک شوند.

*کلمات کلیدی: کرم‌های حاکی، عناصر کمیاب، خصوصیات خاک، پایش زیستی*

\* مجتبی یحیی‌آبادی. آدرس ایمیل: yahyabadi@gmail.com

### مقدمه

به دلیل حساسیت و قابل دسترس بودن عناصر کمیاب، روش پایش زیستی می‌تواند روش مناسبی برای ارزیابی وضعیت این عناصر در خاک باشد. اهمیت کرم‌های حاکی در کارکرد اکوسیستم خاک منجر به مطالعات بسیاری در مورد اثرات متقابل عناصر کمیاب و کرم‌های حاکی شده است. با این حال، توجه بسیار کمتری به تأثیر کرم‌های حاکی بر فلزات خاک از نظر تحرک و در دسترس بودن عناصر کمیاب شده است. منابع علمی زیادی در ارتباط با جذب فلزات توسط کرمها وجود دارد. نتایج تحقیقات حاکی از تمایل کادمیوم، جیوه و روی به تجمع زیستی در کرمها و با فاکتور BAFبزرگتر از یک میباشد (تیشر، ۲۰۰۹ و نهمانی همکاران، ۲۰۰۹). توزیع عناصر سنگین در بافتهای کرم‌های حاکی نیز توسط محققین زیادی بررسی شده است (پیچنبرگ و ریچور، ۲۰۰۹). دستگاه گوارش کرم‌های حاکی متشکل از لوله‌ی نسبتاً مستقیمی است که از حفره‌ی دهانی شروع و تا حفره دفعی ادامه دارد و در مجموع به سه بخش پیشین، میانی و پسین تقسیم میشود. بخش میانی دستگاه گوارش محل انجام فعالیت های متابولیکی کرم است بنابراین مسئول جذب، انتقال، ذخیره و ترشح فلزات میباشد. فلزات مازاد ضروری و غیر ضروری بصورت پروتئین‌هایی با پیوند فلزی و یا گرانولهای حاوی فلزات ذخیره میشوند. گرانولها در بافتهای نگهدارنده‌ی اطراف لوله‌ی گوارش نگهداری میشوند. گونه‌های مختلف کرم‌های حاکی، روشهای متفاوتی در برابر فلزات سنگین بکار میبرند. کرم *Lumbricus terrestris* دارای غده‌های آهنکی فعال بوده و در نتیجه، سرب کمتری را در خود انباشته میکند در حالیکه کرم *Aporrectodea longa*بیشتر به تولید نودولهایی برای ترشح سرب متکی است و از این رو سرب بیشتری در خود انباشته میکند. مهار کادمیوم عمدتاً توسط متالوتئین‌ها (پروتئینهای دارای پیوند فلزی) انجام میشود. تشکیل این پروتئینها در نتیجه‌ی مقادیر بالای کادمیوم در دیواره لوله‌ی گوارش و نفریدیومها (روزنه‌های ترشچی) میباشد. دانشمندان در سالهای اخیر اقدام به اندازه‌گیری فاکتور تجمع زیستی آلاینده‌های آلی مختلف در گونه‌هایی از کرم‌های حاکی نموده‌اند.

## مواد و روش ها

مجموعه بزگی از روشهای شیمیایی برای تعیین دستیابی زیستی عناصر کمیاب در خاک وجود دارد. بسیاری از این روشها همبستگی زیادی با جذب عناصر در موجود هدف دارند. با این حال روش عصاره گیری یکسان و واحد برای اندازه گیری عناصر جذب زیستی شده وجود ندارد. عوامل موثر بر جذب مواد شیمیایی توسط کرم‌های حاکی کدامند؟

تفاوت زیادی در میزان فاکتور BAFبرای فلزات در کرم‌های حاکی جمع‌آوری شده از مناطق مختلف وجود دارد. جدول ۱، مقادیر مختلفی از این فاکتور را برای کرم‌های حاکی در ۸۴ خاک منطقه‌ی مورد پایش در آلمان و با کاربری‌های مختلف نشان میدهد (تیشر، ۲۰۰۹).

جدول ۱-فاکتور تجمع زیستی (BaF) فلزات سنگین در کرم‌های گونه‌ی Lumbricid. n. تعداد پلاتهای پایش شده است.

	Cd	Cr	Ni	Pb	Zn	Cd	n	کوبه
<i>Dendrobaena octaedra</i>	0.3-0.9	0.2-0.5	0.2-0.9	0.1-0.7	3-19	7-85	7	7
<i>Lumbricus castaneus</i>	0.3-1.6	0.1-0.4	0.2-0.4	0.1-0.3	2-10	2-23	8	8
<i>Lumbricus terrestris</i>	0.2-1.0	0.1-0.5	0.1-0.4	0.1-0.3	2-9	3-60	22	22
<i>Aporrectodea caliginosa</i>	0.3-1.3	0.1-1.3	0.1-0.9	0.1-0.9	1-16	2-58	41	41
<i>Allolobophora chlorotica</i>	0.4-1.9	0.3-1.3	0.3-0.8	0.3-0.9	1-7	5-21	18	18
<i>Lumbricus terrestris</i>	0.3-1.2	0.1-0.9	0.1-0.8	0.1-0.8	1-14	3-45	52	52
<i>Aporrectodea longa</i>	0.5-2.8	0.1-1.4	0.3-0.7	0.2-0.7	2-8	4-34	7	7

تجمع زیستی یک آلاینده محیطی در یک کرم حاکی، فرآیندی پیچیده محسوب میشود که بوسیله چند عوامل زنده و غیر زنده تعیین میشوند. در خاک، تجمع زیستی بستگی به عواملی مانند غلظت آلاینده، گونه‌های شیمیایی آلاینده (دستیابی زیستی-شیمیایی) و توزیع فضایی-مکانی (دستیابی زیستی-فیزیکی) آلاینده دارد.

ششمین کنگره سراسری عناصر کمیاب ایران

تهران، دانشگاه تهران، ۱۱ الی ۱۲ شهریور ۱۳۹۹



انجمن عناصر کمیاب ایران

## بحث و نتیجه گیری

برای استفاده از کرم‌ها در پایش محیط، اثرات آلاینده های شیمیایی مختلف در کرم های حاکی مطالعه شده است. تجمع هر دو اورانیوم طبیعی و رقیق شده در کرم های حاکی به منظور بررسی اثرات بیولوژیکی تجزیه و تحلیل شد (جیووانتی و همکاران، ۲۰۱۰). این مطالعه نشان داد که هیچ اثری از نظر مرگ و میر و یا کاهش وزن در کرم‌ها مشاهده نشد، اما اثرات ژنتیکی و سیتوتوکسیک در غلظت بسیار کم اورانیوم طبیعی مشاهده شدند. در میان فلزات، متیل جیوه ممکن است به آسانی توسط کرم های حاکی جذب و انباشته شود و این نشان می دهد که کرم‌های حاکی یک نامزد ایده آل برای پایش متیل جیوه است . همچنین لی و همکاران (۲۰۰۹)، خاطر نشان کردند که تجمع زیستی فلزات توسط کرم های حاکی می تواند به عنوان یک شاخص زیست محیطی برای فراهمی فلزات باشد. ارزیابی شیمیایی و اکولوژیک خاک معمولاً بر مبنای تأثیر ترکیبات مخلوطی از آلاینده‌ها انجام میشود. ناتال و همکاران (۲۰۱۱)، تأثیر لجن آلوده به کروم، روی، مس و نیکل را بر کرم حاکی *Eisenia andrei*بررسی کردند و دریافتند که زیست‌فراهمی فلزات در کرم‌های حاکی، در محیط لجن فاضلاب با درصد ماده آلی فراوان، کاهش می یابد. اثر همزمان مخلوط کادمیوم و عنصر روی بر مرگ و میر *Aporrectodea calginosa*، توسط کیو و همکاران (۲۰۱۱) بررسی شد. آنها نتیجه گرفتند که اثر مخلوط عناصر روی و کادمیوم بر مرگ و میر این موجود ساکن در خاک، عمدتاً به صورت آنتاگونیست است.

در موضوع ارتباط فلزات و کرم‌های حاکی، کادمیوم بیشترین مطالعات را به خود اختصاص داده است. نتایج تحقیقات نشان میدهند که این فلز در صورت تجمع زیستی، عمدتاً بر فیزیولوژی کرم‌های حاکی اثر میگذارد (استارزنیا نوم و همکاران، ۲۰۰۴) و با باعث کاهش وزن کرم (برگوس و همکاران، ۲۰۰۵) و یا تخریب اکسیداتیو DNAدر نسل کرم‌های حاکی خواهد شد (ناکاشیما و همکاران، ۲۰۰۸). با این حال، کرم‌های حاکی را نمیتوان برای پایش همه‌ی مواد در خاک استفاده کرد. به عنوان مثال، نیکل در بدن کرم‌های حاکی تجمع نمی‌یابد و اثری هم بر رشد آنها ندارد (ناکاشیما و همکاران، ۲۰۰۸). در میان عوامل موثر بر سمیت فلزات بر موجودات، میتوان به پروتئین‌های اتصال فلز مانند متالوتئین‌ها (Metallothionein)اشاره کرد. دو ایزوفرم از این پروتئین‌ها به نام MT1 و MT2برای جلوگیری از سمیت فلزی در کرم‌های حاکی شناسایی شده‌اند. در یک آزمایش، مقدار پروتئین MT2در یک کرم حاکی که در معرض کادمیوم قرار گرفته بود افزایش یافت (استارزنیا نوم و همکاران، ۲۰۰۱). بنابراین میتوان در یک سیستم پایش زیستی به وسیله‌ی کرم‌های حاکی، از این پروتئین‌ها استفاده نمود.

ناخالصی یا آلاینده‌گی فلزات از اهمیت ویژه‌ای در بحث آلودگی خاک برخوردار است. برای جلوگیری از سمیت فلزات ابتدا باید خصوصیات فلز را شناخت و سپس سمیت آن را ارزیابی کرد؛ با این حال روشهایی که برای تعیین میزان سمیت فلز بکار میرود اغلب به میزان کافی حساس نیستند زیرا ممکن است سمیت از زیادهود فلزات پایین‌تر از حدود دقت و حساسیت تکنیکی اندازه‌گیری باشد. برای برطرف کردن این مشکل، تلاشهای علمی بسیاری برای توسعه‌ی سازوکارهای ردیابی یا روشهای ارزیابی آلودگی فلزات در خاک شده است. علاوه براین، گاهی اوقات تأثیر و کنش‌های سمیت فلزات، بستگی به متابولیت‌های تولید شده توسط آنها در موجودات زنده دارد. از این رو، بسط و توسعه‌ی روشهای برآورد سمیت فلزات مشکل به نظر می‌رسد. همانگونه که گفته شد کرم‌های حاکی را برای سنجش آلاینده‌ها معرفی میکنند اما این موجودات برای سنجش همه‌ی مواد در خاک مناسب نیستند، بنابراین هنگام استفاده از یک کرم حاکی به عنوان یک نشانگر زیستی آلاینده‌های خاک، لازم است ابتدا مواد شیمیایی یا عنصر آلاینده‌ی مشخصی را انتخاب کنیم. بررسی و تجزیه تحلیل ویژگی‌های تولید مثل و تکثیر یک گونه‌ی کرم حاکی، روش مناسبی برای ارزیابی سنجش آلاینده‌های مختلف در محیط است. در یک آزمایش، اثر فلزات روی و کادمیوم بر خصوصیات زیستی تولید مثل و تکثیر کرم *Enchytraeus albidus*مورد بررسی قرار گرفت.

## منابع

Ernst G, Zimmermann S, Christie P, Frey B (2008). Mercury, cadmium and lead concentrations in different ecophysiological groups of earthworms in forest soils. Environ Pollut 156:1304–1313
Giovanetti, A.; Fesenko, S.; Cozzella, M.L.; Asencio, L.D.; Sansone, U. 2010. accumulation and biological effects in the earthworm *Eisenia fetida* exposed to natural and depleted uranium. J. Environ. Radioact. 101, 509-516.
Lee, S.H.; Kim, E.Y.; Hyun, S.; Kim, J.G. 2009. Metal availability in heavy metal-contaminated open burning and open detonation soil: Assessment using soil enzymes, earthworms, and chemical extractions. J. Hazard. Mater. 170, 382-388.
Natal, T.; Ojeda, G.; Pratas, J.; Van Gestel, C.A.; Sousa, J.P. 2011. Toxicity to *Eisenia andrei* and *Folsomia candida* of a metal mixture applied to soil directly or via an rganic matrix. Ecotoxicol. Environ. Saf. 74, 1715-1720.
Nahmani, J.; Hodson, M.E.; Black, S. 2007. Effects of metals on life cycle parameters of the earthworm *Eisenia fetida* exposed to field-contaminated, metal-polluted soils. Environ. Pollut. 49, 44-58.

گونه کرم	Pb	Cd	Hg	گروه اکولوژیک
<i>Lumbricus rubellus</i> (n=16)	۰/۱۷±۰/۱	۲۶/۹±۲۶/۶	۰/۱±۰/۶	Epigeic
<i>Dendrotilus rubidus</i> (n=8)	۴/۷±۳/۵	۳/۷±۵/۳۴	۴/۱±۳/۳	
<i>Aporrectodea caliginosa</i> (n=5)	۰/۸±۱/۵	۱/۱۲±۱۹/۶	۳/۹±۲/۵	Endogic
<i>Aporrectodea rosea</i> (n=5)	۴/۵±۹/۸	۱۲۰/۶±۱۷۹/۹	۱۵/۲±۱۵/۳	
<i>Oncolasion terraem</i> (n=7)	۰/۳±۱/۵	۳۸/۱±۱۶/۹	۷/۶±۴/۵	
<i>Lumbricus terrestris</i> (n=4)	۰/۳±۰/۲	۲۶/۴±۱۵/۸	۱/۵±۰/۸	Anecic
<i>Aporrectodea longata</i> (n=6)	۰/۷±۰/۵	۵۷/۴±۸۶/۸	۱۰/۷±۱۱/۳	

جدول ۲- فاکتور تجمع زیستی (BaF)فلزات سنگین در کرم‌های حاکی از گروه‌های اکولوژیک مختلف درخاکهای جنگلی سوییس (ارنست و همکاران ۲۰۰۸).

گونه کرم	Pb	Cd	Hg	گروه اکولوژیک
<i>Lumbricus rubellus</i> (n=16)	۰/۱۷±۰/۱	۲۶/۹±۲۶/۶	۰/۱±۰/۶	گروه اکولوژیک
<i>Dendrotilus rubidus</i> (n=8)	۴/۷±۳/۵	۳/۷±۵/۳۴	۴/۱±۳/۳	
<i>Aporrectodea caliginosa</i> (n=5)	۰/۸±۱/۵	۱/۱۲±۱۹/۶	۳/۹±۲/۵	Endogic
<i>Aporrectodea rosea</i> (n=5)	۴/۵±۹/۸	۱۲۰/۶±۱۷۹/۹	۱۵/۲±۱۵/۳	
<i>Oncolasion terraem</i> (n=7)	۰/۳±۱/۵	۳۸/۱±۱۶/۹	۷/۶±۴/۵	
<i>Lumbricus terrestris</i> (n=4)	۰/۳±۰/۲	۲۶/۴±۱۵/۸	۱/۵±۰/۸	Anecic
<i>Aporrectodea longata</i> (n=6)	۰/۷±۰/۵	۵۷/۴±۸۶/۸	۱۰/۷±۱۱/۳	

نوهاوز و همکاران (۱۹۹۵) غلظت زیستی عناصر کادمیوم، مس، نیکل، روی، و سرب یک خاک آلوده به لجن فاضلاب در کرم‌های حاکی *Aporrectodea tuberculata* و *rubellus* را، مورد بررسی قرار دادند. همبستگی معنی‌داری بین غلظت فلزات در خاک و غلظت فلزات در کرم برای کادمیوم، روی، سرب و مس وجود داشت اما برای نیکل وجود نداشت. میزان BAFدر غلظت‌های بالا در خاک، کاهش یافت و این بیشتر برای کادمیوم و عناصر ضروری مثل روی و مس صدق میکرد. تیشر، ۲۰۰۹، با بررسی کرمها ( بدون پاکسازی لوله گوارش) در ۸۴ خاک منطقه‌ی مورد پایش، همبستگی مثبت معنی‌داری بین میزان فلزات در کرمها و مقدار فلزات در خاک برای کادمیوم، مس، کروم، سرب، روی، و نیکل یافت.