مجله مهندسی بهداشت محیط، تابستان ۱۴۰۲، سال ۱۰، شماره ۴ : ۲۷۲-۲۸۱

# بررسی میزان جذب کادمیوم و مس به وسیله *Eisenia fetida* در حضور غلظت های مختلف میکروپلاستیک

نجلا حمیدیان فر[۱]، عاطفه چمنی[۲]، میترا عطابادی[۳]، رسول زمانی احمدمحمودی[۴]

[۱]گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

[*۲]گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، مرکز تحقیقات پسماند و پساب، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

[۳]گروه علوم و مهندسی خاک، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

[۴] گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

**تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۴**

## چکیده

**زمینه و هدف:** خاک بزرگترین بستر میکروپلاستیک‌ها است اما اثرات آن‌ها روی موجودات زنده خاک هنوز به خوبی شناخته نشده است. هدف از این مطالعه بررسی تاثیر غلظت های مختلف میکروپلاستیک در خاک بر میزان جذب کادمیوم و مس به وسیله *Eisenia fetida* در بستر خاک مصنوعی است.

**مواد و روش ها:** خاک مصنوعی شامل خاک رس کائولینیت (۲۰٪ وزن خشک)، ماسه کوارتز (۷۰٪ وزن خشک) و پیت اسفاگنوم (۱۰٪ وزن خشک) به عنوان یک جزء آلی تهیه شد. خاک با میکروپلاستیک به دست آمده از آج تایر فرسوده مخلوط و چهار سطح غلظت ۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ گرم میکروپلاستیک تایر در هر ۵۰۰ گرم خاک خشک تولید شد. هر تیمار با ۱۰ کرم خاکی بالغ تمیز با وزن بین ۰/۳ تا ۰/۵ گرم تلقیح شد و بعد از ۱۴ روز از هر ظرف یک نمونه جهت آنالیز ICP خارج شد.

**یافته ها:** بیشترین میزان جذب هر دو فلز در ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ گرم میکروپلاستیک تایر مشاهده شد. نتایج، تفاوت‌های قابل توجهی را در تجمع مس و کادمیوم در بافت نمونه ها پس از افزودن ذرات سایشی تایر نشان داد که بیانگر اثر افزایشی ذرات تایر در جذب مس و کادمیوم توسط نمونه ها است. نتایج کاهش معنی‌دار آماری ($p$ <۰/۰۵) در غلظت کادمیوم و مس در خاک تیمار کنترل و تیمار حاوی میکروپلاستیک‌ها بخصوص تیمار ۱۰۰ گرم برای کادمیوم و تیمار ۵۰ گرم برای مس نشان داد.

**نتیجه گیری:** قرار گرفتن در معرض ترکیب میکروپلاستیک و کادمیوم و مس اثرات منفی بیشتری بر *E. fetida* دارد و میکروپلاستیک‌ها زیست‌دسترسی یون‌های فلزات سنگین را در محیط خاک افزایش می دهند.

**واژه های کلیدی:** میکروپلاستیک، کادمیوم، مس، *Eisenia fetida*، ذرات سایشی تایر.

* گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

نویسنده مسئول: **atefehchamani @yahoo.com** ، شماره تماس: ۹۸۳۱۳۵۰۰۲۲۷۱

## مقدمه

امروزه آلودگی میکروپلاستیک‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مسائل محیط زیستی جهانی ظاهر شده است[1]. افزایش بی‌سابقه جمعیت جهان همواره فعالیت‌های انسان اعم از صنعتی، کشاورزی، پزشکی را افزایش داده است. متاسفانه به‌دلیل سوء مدیریت، این فعالیت‌ها به‌طور غیرمستقیم یا مستقیم هزاران آلاینده از جمله میکروپلاستیک‌ها را تولید می‌کنند که باعث افزایش آلودگی در بوم‌سازگان آبی و خشکی شده است[2]. میکروپلاستیک‌ها به‌طور کلی قطعات پلاستیکی کوچک با قطر کمتر از ۵ میلی‌متر هستند[3]. از آنجایی که میکروپلاستیک‌ها در بخش‌های مختلف محیط حضور دارند، به‌طور فزاینده‌ای توسط موجودات زنده از جمله پستانداران، پرندگان، ماهی‌ها و بی‌مهرگان آبزی بلعیده می‌شوند[3]. اگرچه بسیاری از مطالعات، حضور و اثرات نامطلوب میکروپلاستیک‌ها در محیط آبی را توصیف کرده‌اند، اما سرنوشت و تأثیر آن‌ها در محیط خشکی کمتر شناخته شده است[4]. میکروپلاستیک‌ها از طریق منابع متعدد، از جمله لاستیک‌های دور ریخته شده، ذرات سایشی لاستیک خودروها در جاده‌ها، دفن زباله، آبیاری با لجن فاضلاب و زهاب کشاورزی به خاک وارد می‌شوند[2]. تایرهای خودرو از الاستومرهایی مانند لاستیک استایرن بوتادین یا لاستیک بوتادین ساخته شده‌اند. همان‌طور که تایرها فرسوده می‌شوند، لاستیک بوتادین میکروپلاستیک‌ها را تولید می‌کنند که می‌توانند به طرق مختلف در محیط پراکنده شوند[4]. ذرات سایشی لاستیک توسط برش آج تایر در برابر سطوح جاده ایجاد می‌شود[2]. آج لاستیک حاوی فلزات سنگینی مانند منگنز، آهن، کبالت، نیکل، مس، روی، کادمیوم و سرب است[2]. ذرات کوچک‌تر این میکروپلاستیک‌های تولید شده می‌توانند به‌وسیله هوا مسافتی را طی کنند، ذرات می‌توانند به خاک مجاور، نهرها، رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و اقیانوس‌ها منتقل شوند.[4] اما تنها ۱۲ درصد از ذرات لاستیک در نهایت به آب‌های سطحی می‌رسند، با وجود این، مطالعات انجام شده در مورد اثرات ذرات تایر بر موجودات زنده خاک بسیار کم هستند[4].

کرم‌های خاکی به‌طور فزاینده‌ای به عنوان شاخص بوم شناختی و به عنوان نشانگرهای زیستی آلودگی خاک مورد استفاده قرار گرفته‌اند[5]. سیستم پیچیده گوارشی دوگانه کرم‌های خاکی، بلع و تجزیه طیف گسترده‌ای از مواد مانند میکروپلاستیک‌ها را ممکن می‌سازد[5]. این ویژگی‌ها همراه با فراوانی بالای آن‌ها در خاک، کرم‌های خاکی را به عنوان اهداف اصلی برای تحقیقات سم شناسی و شاخص‌های کلیدی سلامت خاک و شبکه غذایی برجسته می‌کند[2]. علاوه بر این، کرم‌های خاکی حساسیت بالایی به غلظت‌های شدید فلزات سنگین در خاک از خود نشان می‌دهند که آن‌ها را برای ارزیابی تأثیر اختلال ناشی از انسان بر بوم‌سازگان و گونه‌های خشکی ارزشمند می‌سازد[2]. تحقیقات همچنان نشان می‌دهد که موضوع اکوتوکسیکولوژی کرم‌های خاکی اهمیت فوق‌العاده و فزاینده‌ای دارد[5]. همزیستی میکروپلاستیک‌ها و فلزات سنگین در خاک می‌تواند منجر به اثرات شدیدتری بر موجودات زنده خاک شود، از جمله آسیب DNA، استرس اکسیداتیو و تغییرات هیستوپاتولوژیک که به عملکرد طبیعی سلول آسیب می‌رساند و فعالیت آنزیم‌ها را تغییر می‌دهد[5]. هدف این مطالعه، بررسی تاثیر غلظت‌های مختلف میکروپلاستیک بر میزان جذب عناصر سنگین کادمیوم و مس به وسیله *Eisenia fetida* است.

## مواد و روش

خاک مصنوعی بر اساس دستورالعمل شماره ۲۲۲ سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (OECD) شامل خاک رس کائولینیت (۲۰٪ وزن خشک)، ماسه کوارتز (۷۰٪ وزن خشک) و پیت اسفاگنوم (۱۰٪ وزن خشک) به عنوان یک جزء آلی تهیه شد[6]. پیت اسفاگنوم از یک فروشگاه باغبانی و خاک رس کائولینیت و ماسه کوارتز از شرکت تولید مواد

معدنی توما (http://toomaminerals.com) خریداری شد. pH اولیه خاک با استفاده از کربنات کلسیم تنظیم و به نسبت یک به ۲/۵ خاک به آب با استفاده از pH متر اندازه گیری شد. نیتروژن آلی کل و کربن آلی کل به ترتیب با استفاده از روش کجلدال[۷] و والکی بلک[۸] تعیین شد. کرم‌های خاکی گونه ایزینیافتیدا (*E. fetida*) از سازمان مدیریت پسماند شهرداری اصفهان خریداری شد.

## ساخت میکروپلاستیک تایر

جهت تولید میکروپلاستیک‌های تایر از آج تایرهای کهنه استفاده شد. آج تایر به قطعات کوچک بریده شد و در نیتروژن مایع فرو رفت تا ذرات یخ زده تشکیل شود. با استفاده از خرد کن و هاون، نمونه‌ها آسیاب شدند تا تبدیل به پودر شوند. پودر حاصله از الک عبور داده شد تا تنها ذرات ۵۰۰ میکرومتر و کمتر که برای کرم خاکی قابل بلعیدن است، باقی بماند[۹].

### قرار گرفتن *Eisenia fetida* در معرض نمونه خاک

مخلوط خاک و میکروپلاستیک تایر در چهار سطح غلظت ۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ گرم میکروپلاستیک تایر در هر ۵۰۰ گرم خاک خشک تولید شد[۲]. به‌منظور جلوگیری از ورود سایر آلاینده‌ها، از تغذیه کرم‌های خاکی خودداری شد. در طول کل فرآیند، ۲ گرم کود گاوی خشک (۱۰۵ درجه سانتی‌گراد) به ازای هر ۱۰۰ گرم خاک اضافه شد[۱۰]. سطح رطوبت ظرف‌های آزمایش، روزانه اندازه گیری شد تا در ۲۵ درصد ظرفیت زراعی ظرف ثابت بماند. هر بشر با ۱۰ کرم خاکی بالغ تمیز با وزن بین ۰/۳ تا ۰/۵ گرم تلقیح شد. کرم‌های خاکی بر روی سطح خاک مرطوب قرار گرفتند، با این فرض که افراد سالم در معرض نور در مدت ۱۵ دقیقه به زیرلایه نقب می‌زنند[۶]. اگر یک کرم خاکی در این بازه زمانی موفق به انجام این کار نشد، ناسالم تلقی گردید و با کرم جدید جایگزین شد[۶]. یک گروه شاهد کرم خاکی شامل "خاک + ۱۰ کرم خاکی" و یک گروه شاهد میکروپلاستیک شامل "خاک + میکروپلاستیک تایر " ایجاد شد. تمام آزمایش‌ها با سه تکرار مستقل برای اطمینان از صحت و اطمینان انجام شد. در طول آزمایش، برای جلوگیری از آلودگی احتمالی، نمونه‌ها به صورت مجزا نگهداری شدند. چرخه روشنایی-تاریکی به‌طور مصنوعی تنظیم شد تا ۱۶ ساعت نور و ۸ ساعت تاریکی را با استفاده از نور ۸۰۰lux ارائه دهد. دمای هوا در محدوده ۲۰ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد حفظ شد.

## هضم نمونه‌های خاک

۰/۲ گرم خاک در یک بشر ۵۰ میلی‌لیتری با آب خالص وزن شد. سپس ۱۰ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک اضافه گردید[۲]. نمونه به آرامی حرارت داده شد تا حدود ۳ میلی‌لیتر از محلول باقی ماند. بعد از خنک شدن محلول، ۵ میلی لیتر اسید نیتریک، ۵ میلی لیتر اسید هیدروفلوئوریک و ۳ میلی لیتر اسید پرکلریک اضافه شد. ظرف مهر و موم شد و در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت برای تجزیه مواد آلی حرارت داده شد. پس از خنک شدن، ظرف باز شد و با آب خالص شسته شد، ۱ میلی‌لیتر محلول اسید هیدروکلریک برای حل کردن باقیمانده اضافه گردید[۱۱]. سپس محلول به یک بالون حجمی ۵۰ میلی لیتری منتقل شد و به حجم ۵۰ میلی‌لیتری رسید.[۲]برای اندازه گیری غلظت فلزات سنگین از دستگاهICP مدل ۲۰۰۰ شرکت Varian استرالیا استفاده شد.

## هضم نمونه‌های *Eisenia fetida*

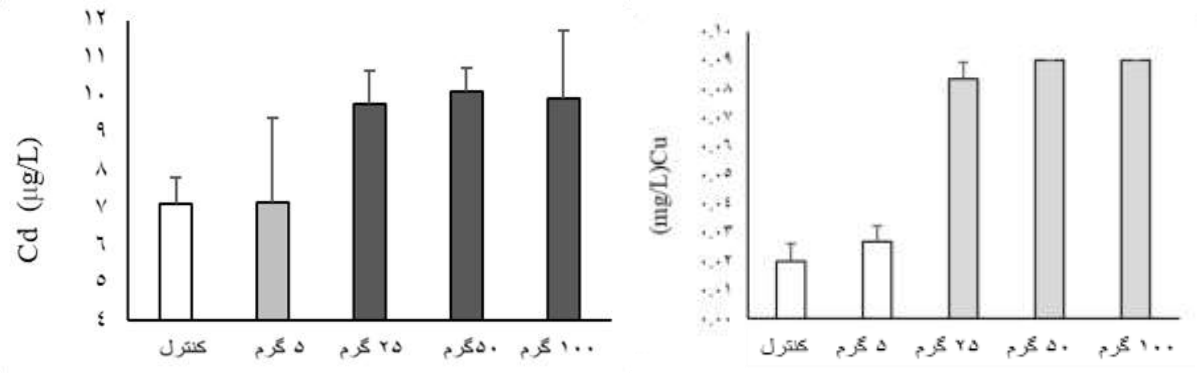
برای آزمایش تغییر محتوای فلزات سنگین در کرم‌ها، دو عدد کرم خارج شدند و کاملاً با نرمال سالین سرد (۰/۸۶ درصد) شسته شدند، سپس در نیتروژن مایع منجمد و برای اندازه‌گیری فلز هضم شد. هر کرم جداگانه در یک بشر قرار داده شد و یک محلول ۳:۱ از اسید نیتریک و آب اکسیژنه به نسبت ۱:۱۰ (m/v) وزن نمونه به محلول اسید اضافه شد[۱۲]. کرم‌های خاکی در مخلوط در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت هضم شدند. سپس، عصاره از طریق یک غشای نایلونی ۰/۴۵ میکرومتر فیلتر گردید و به یک بالون حجمی ۲۵ میلی‌لیتری منتقل شد و در آنجا با ۱٪ اسید نیتریک (v/v) به حجم رسید و تا زمان تجزیه و تحلیل در دمای ۴ درجه سانتی گراد نگهداری شد[۱۲]. برای اندازه گیری میزان فلزات سنگین از ICP استفاده شد.

## طیف‌سنجی مادون‌قرمز (FTIR)

برای ارزیابی اینکه آیا کرم‌های خاکی تخریب میکروپلاستیک‌های تایر را تسریع می‌کنند، از دستگاه طیف‌سنجی مادون‌قرمز (FTIR) مدل Spectrum two ساخت Perkinelmer آمریکا برای مشاهده تغییرات در گروه‌های عملکردی سطح ذرات استفاده شد.

## یافته‌ها

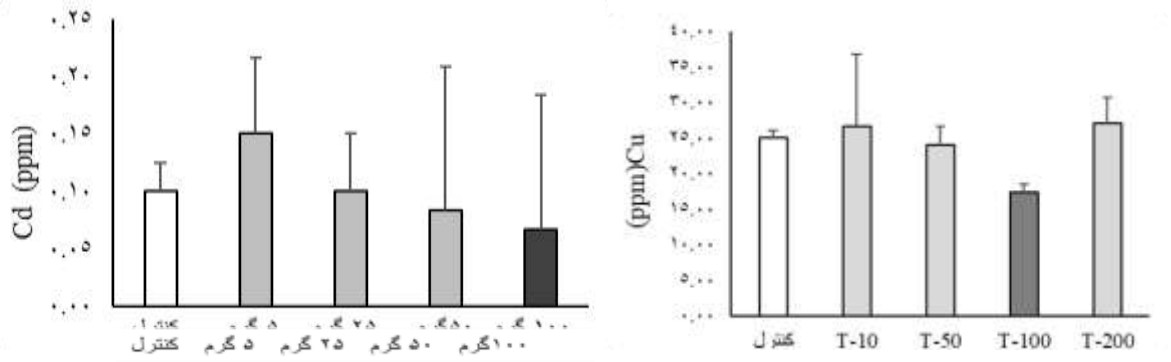
غلظت مس(Cu) و کادمیوم(Cd) در نمونه‌های موجود در خاک کنترل و خاک حاوی غلظت های مختلف میکروپلاستیک، اندازه‌گیری و مقایسه شد (شکل۱و۲). نتایج، افزایش معنی‌دار آماری ($p <$ ۰/۰۵) در غلظت کادمیوم و مس در بافت نمونه‌های تیمار کنترل و تیمار حاوی میکروپلاستیک‌ها نشان داد. مقایسه میانگین غلظت عناصر نشان داد غلظت کادمیوم و مس در بافت بدن نمونه های تیمار ۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ گرم دارای روند افزایشی است که نقش میکروپلاستیک در جذب مقادیر بالاتر کادمیوم را در نمونه های مورد آزمایش و به صورت کلی در بدن موجودات زنده خاک شان می‌دهد. غلظت مس در تیمار ۱۰۰ گرم میکروپلاستیک نسبت به ۵۰ گرم کاهش کمی را نشان می دهد اما از لحاظ آماری تفاوت معنی دار مشاهده نشد. بین تیمارهای ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ تفاوت معنی داری مشاهده نشد اما بین این تیمارها با تیمار ۵ گرم میکروپلاستیک تفاوت معنی دار آماری ثبت گردید.




**شکل۱.** غلظت کادمیوم و مس در ایزینیافتیدا پس از ۱۴ روز مواجهه با سطوح مختلف میکروپلاستیک تایر از صفر تا ۱۰۰ میلی گرم در گرم خاک.

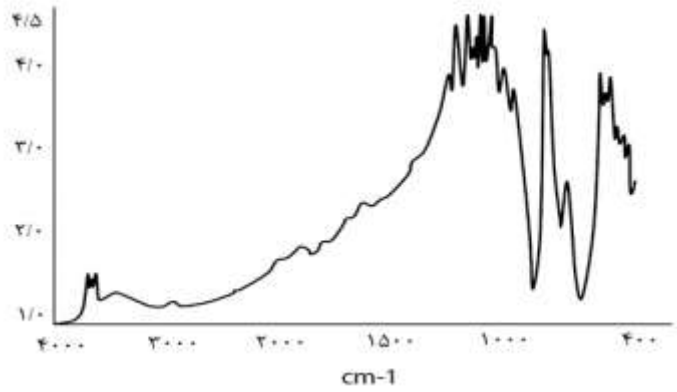
غلظت کادمیوم و مس در خاک تیمارهای مختلف نیز بعد از در معرض قرارگیری با نمونه های ایزینیافتیدا اندازه‌گیری و مقایسه شد (شکل۲). نتایج نشان داد که غلظت کادمیوم در خاک تیمارهای ۵، ۲۵ و ۵۰ گرم میکروپلاستیک دارای روند کاهشی است.

اما غلظت مس در تیمار ۵۰ گرم کاهش معنی دار نسبت به بقیه غلظت ها نشان داد. این نتایج با غلظت کادمیوم و مس در بافت بدن نمونه ها در شکل ۱ همخوانی دارد.

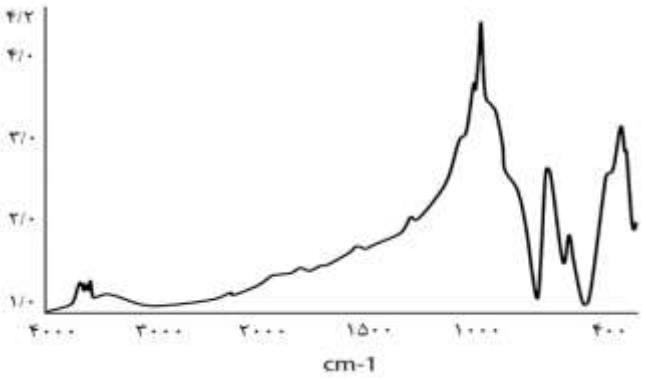



**شکل۲**. غلظت کادمیوم و مس در خاک پس از ۱۴ روز مواجهه با ایزینیافتیدا در سطوح مختلف میکروپلاستیک تایر از صفر تا ۱۰۰ میلی گرم در گرم خاک.

نتایج به د ست آمده از ارزیابی FTIR نمونه‌های خاک، خاک دارای ایزینیافتیدا و همچنین میکروپلا ستیک (نمودار۱) بیانگر وجود پیک بارز در محدوده عدد موجی $cm^{-1}$ ۱۲۰۰-۹۷۴در نمونه‌های خاک و خاک دارای کرم اســـت که از آن جمله می‌توان به عدد موجی $cm^{-1}$ ۱۰۸۹ و $cm^{-1}$ ۱۱۰۷ در این دو نمونه اشـــاره داشـــت[۱۳]. از ســـویی دیگر دو پیک در عدد موجی $cm^{-1}$۶۹۰ و محـــدوده $cm^{-1}$۷۹۳-۷۸۰ در این دو نمونه مشـــترک اســـت. برقراری پیک‌های متعدد در محدوده عدد موجی $cm^{-1}$۱۴۰۰-۱۱۰۰ به واسطه تقویت پیوند دوگانه میان کربن-اکســـیژن یا همان گروه عاملی کتونی (C=O) و همچنین پیوند ساده کربن هیدروژن (C-H) ا ست[۱۳]. این امر تضـــرس و یا اعوجاج نمودار را بالا برده که گروه‌های عاملی هیدروکســـیل، کربوکســـیل و همچنین پیوند ســـاده کربن هیدروژن علت آن است و با حضور میکروپلاستیک در نمونه خاک نیز پیک‌های ضعیفی در محدوده اعداد موجی $cm^{-1}$، $cm^{-1}$۱۳۰۰ $cm^{-1}$۱۶۰ و $cm^{-1}$۱۸۰۰ نیز ظاهر می شود که در نمودار که فاقد ایزینیافتیدا ا ست، مشهود بوده و در نمودار ۲، این پیک‌ها از بین خواهند رفت و یا به صـــورت تضـــرس خود را نشـــان داده اســـت که در حقیقت بیانگر کاهش میکرو ذرات با ماهیت آلکانی در نمونه اســـت[۱۳]. وجود پیک در این نواحی مرتبط با گروه‌های عاملی متفاوتی است، به عنوان مثال پیـــک در محـــدوده $cm^{-1}$۱۳۰۰ در نمونـــه خـــاک دارای میکروپلا ستیک بیانگر وجود خم شدگی پیوند ساده کربن-هیدروژن (C-H) بوده که در حقیقت از ماهیت آلکان ها منشعب می‌شود[۱۴]. پیک با قاعده پهن در محدوده $m^{-1}$ ۳۶۰۰ در نمونه میکروپلاستیک مشاهده شده که این امر در دو نمونه خاک نیز برقرار است که بیانگر کشش در پیوندهای مربوط به گروه های هیدروکسیل و یا حضور آمین نوع اول و آلیفاتیک (N-H) در نمونه است[۱۴].




**نمودار۱:** ترکیب خاک و میکروپلاستیک تایر بعد از مجاورت با ایزینیافتیدا




**نمودار۲:** ترکیب خاک و میکروپلاستیک تایر پیش از مجاورت با ایزینیافتیدا

## بحث

افزایش غلظت کادمیوم و مس در *E. fetida* برداشت شده از تیمارهای میکروپلاستیک بیانگر بلعیده شدن میکروپلاستیک تایر توسط ایزینیافتیدا است[۲]. این نتیجه می‌تواند به‌دلیل ظرفیت بالای ذرات سایشی تایر برای جذب فلزات سنگین از طریق جاذب های الکترواستاتیکی و فیزیکی و همچنین برهمکنش پیوند کاتیون–π باشد[۱۵]. بر اساس این نتایج، ذرات سایشی تایر نوعی میکروپلاستیک هستند که به راحتی توسط کرم‌های موجود در خاک ترجیح داده و بلعیده می‌شود زیرا انعطاف پذیری، طعم و ثبات بر ترجیح بلع آن ها تأثیر می گذارد[۱۵]. این نتیجه را می توان در شنگ و همکاران (۲۰۲۱) نیز مشاهده کرد. بر این اساس، وجود ذرات سایشی تایر که حجم تولید آن در سال‌های اخیر رو به افزایش است، را می‌توان به عنوان تهدیدی برای بوم‌سازگان زمینی و زنجیره‌های غذایی که با کرم‌های ساکن در خاک آغاز می‌شوند، معرفی کرد.[۱۷] غلظت کادمیوم در بافت ایزینیافتیدا پس از افزودن ذرات سایش تایر افزایش یافت. هوانگ و همکاران (۲۰۲۱) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند که نشان می‌دهد جذب کادمیوم متصل به میکروپلاستیک (در حداقل غلظت ۲ میلی گرم بر کیلوگرم) بسیار بیشتر از حضور این فلز به تنهایی در خاک است که منجر به علائم استرس اکسیداتیو متعدد در کرم‌های خاکی می شود[۱۵]. فوری و همکاران (۲۰۰۷) همچنین نشان دادند حساسیت گونه‌های اپیژیک مانند *E. fetida* به‌طور قابل توجهی نسبت به سایر گونه‌های کرم خاکی نسبت به آلودگی کادمیوم بیشتر است[۱۶]. ژو و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند قرار گرفتن در معرض میکروپلاستیک ممکن است باعث آسیب اکسیداتیو در *E. fetida* شود و حضور کادمیوم باعث تسریع اثرات نامطلوب میکروپلاستیک می‌شود. در مجموع، نتایج نشان می‌دهد که قرار گرفتن در معرض ترکیبی میکروپلاستیک و کادمیوم اثرات منفی بیشتری بر *E. fetida* دارد و میکروپلاستیک‌ها پتانسیل افزایش زیست‌دسترسی یون‌های فلزات سنگین را در محیط خاک دارد[۱۷]. مینگ و همکاران (۲۰۲۱) فراهمی زیستی و سمیت مس در خاک حاوی میکروپلاستیک‌های پلی اتیلن را بررسی کردند. یافته‌های آن‌ها نشان داد غلظت مس در کرم‌های خاکی در خاک‌های حاوی میکروپلاستیک افزایش یافت، همچنین تغییرات در نشانگرهای زیستی از جمله فعالیت پراکسیداز (POD)، کاتالاز (CAT) و سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، محتوای مالون دی‌آلدئید (MDA) و سطوح بیان ژن مرتبط در کرم‌های خاکی نشان می‌دهد که مس باعث ایجاد سمیت برای کرم‌های خاکی می‌شود[۱۸]. مای و همکاران (۲۰۲۳) اثر همزمان میکروپلاستیک پلی پروپیلن و مس بر ایزینیافتیدا بررسی کردند. نتایج آن‌ها نیز بیانگر هم‌افزایی اثر میکروپلاستیک و مس در کنار هم بود[۱۹]. لی و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که غلظت فلز مس در کرم‌های خاکی که در خاک های حاوی میکروپلاستیک پلی اتیلن بودند به دلیل هم‌افزایی افزایش یافت. علاوه بر این، تغییرات در نشانگرهای زیستی و سطوح بیان ژن مرتبط در کرم‌های خاکی نشان می‌دهد که آلاینده‌ها باعث ایجاد سمیت برای کرم‌های خاکی می‌شوند[۲۰].

## نتیجه‌گیری

آنالیز نتایج ICP و FTIR نشان داد *E. fetida* قادر به بلع میکروپلاستیک‌های حاوی فلزات سنگین هستند. نتایج ICP همچنین تفاوت‌های قابل توجهی را در تجمع مس و کادمیوم در ایزینیافتیدا بلافاصله پس از افزودن ذرات سایشی تایر نشان داد که بیانگر اثر ذرات سایشی تایر در افزایش جذب فلز سنگین توسط کرم‌های خاکی ساکن در خاک است. بر این اساس، وجود ذرات سایشی تایر که حجم تولید آن در سال‌های اخیر رو به افزایش است، تهدیدی برای بوم سازگان‌های زمینی و زنجیره‌های غذایی که با کرم‌های خاکی ساکن در خاک آغاز می‌شوند، محسوب می‌شود. غلظت کادمیوم و مس در اکثر

نمونه‌های خاک کاهش یافت که علت آن بلعیده شدن ذرات
سایشی تایر بوسیله ایزینیافتیدا است.

## References


1. Alimba C, Faggio C. Microplastics in the marine environment: current trends in environmental pollution and mechanisms of toxicological profifile. Environ. Toxicol Pharmacol. 2019; (68): 61–74.
2. Sheng Y, Liu Y, Wang K, et al. Ecotoxicological effects of micronized car tire wear particles and their heavy metals on the earthworm (Eisenia fetida) in soil. Science of The Total Environment. 2021; 793, 148613.
3. Besseling E, Wegner A, Foekema M, et al. Effects of microplastic on fitness and PCB bioaccumulation by the lugworm Arenicola marina (L.). Environ. Sci. Technol. 2013; 47(1): 593–600.
4. de Souza Machado A, Kloas W, Zarfl C, et al. Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems. Glob. Chang. Biol. 2018; 24(4): 1405–1416.
5. Edwards C, Arancon N. Earthworms as pests and benefactors. Biology and ecology of earthworms. Springer. 2022.
6. OECD. Guideline for Testing of Chemicals, No. 222, Earthworm Reproduction Test (Eisenia Fetida/andrei). Organization for Economic Co-Operation and Development: Paris France. 2004.
7. Page A, Miller R, Keeney D. Methods in soil analysis. Part 2: chemical and microbiological properties. Agronomy 9. 1982.
8. Walkley A, Black I. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 1934; 37(1): 29–38.
9. Ragoobur D, Huerta-Lwanga E, Somaroo G. Reduction of microplastics in sewage sludge by vermicomposting. Chemical Engineering Journal. 2022; 450(3), 138231.
10. Verdu I, Trigo D, Martinez-Guitarte J, et al. Bisphenol a in artificial soil:effects on growth, reproduction and immunity in earthworms. Chemosphere. 2018; 190(1): 287–295.
11. Lu K, Qiao R, An H, et al . Influence of microplastics on the accumulation and chronic toxic effects of cadmium in zebrafish (Danio rerio). Chemosphere. 2018; 202(1), 514–520.
12. Chen K, Tang R, Luo Y, et al. Transcriptomic and metabolic responses of earthworms to contaminated soil with polypropylene and polyethylene microplastics at environmentally relevant concentrations. Journal of Hazardous Materials. 2022; 427, 128176.
13. Chai B, Wei Q, She Y, et al. Soil microplastic pollution in an e-waste dismantling zone of China. Waste Management. 2020; 118(1), 291-301.
14. Wang L, Peng Y, Xu Y, et al . Earthworms' degradable bioplastic diet of polylactic acid: easy to break down and slow to excrete. Environmental science & technology. 2022; 56 (8), 5020-5028.
15. Huang C, Ge Y, Yue S, et al. Microplastics aggravate the joint toxicity to earthworm Eisenia fetida with cadmium by altering its availability. Science of The Total Environment. 2021; 753, 142042.
16. Fourie F, Reinecke S, Reinecke A. The determination of earthworm species sensitivity differences to cadmium genotoxicity using the comet assay. Ecotoxicology and environmental safety. 2007; 67 (3), 361-368.
17. Zhou Y, Liu X, Wang J. Ecotoxicological effects of microplastics and cadmium on the earthworm Eisenia foetida. Journal of hazardous materials. 2020; 392, 122273.
18. Meng K, Huerta Lwanga E, Zee M, et al. Fragmentation and depolymerization of microplastics in the earthworm gut: A potential for microplastic bioremediation. Journal of Hazardous Materials. 2023; 447, 130765.
19. Mai H, Thien N, Dung N, Valentin C. Impacts of microplastics and heavy metals on the earthworm Eisenia fetida and on soil organic carbon, nitrogen, and phosphorus. Environmental Science and Pollution Research. 2023; 30 (23), 64576-64588.
20. Li M, Liu Y, Xu G, et al. Impacts of polyethylene microplastics on bioavailability and toxicity of metals in soil. Science of The Total Environment. 2021; 760, 144037.

*Journal of Environmental Health Engineering, August 2023; Vol.10, No. 4: 372 - 381*

# Cadmium and copper absorption by Eisenia fetida in the presence of different concentrations of microplastics

**Najla Hamidianfar[1], Atefeh Chamani[2*], Mitra Ataabadi[3], Rasool Zamani-Ahmadmahmoodi[4]**

*1.Environmental Science and Engineering Department, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.*
*2.Environmental Science and Engineering Department, Waste and Wastewater Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.*
*3.Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran*
*4.Department of Fisheries and Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Earth Science, Shahrekord University, P.O. Box 115, Shahrekord, Iran*

***Email: : a.chamani@khuisf.ac.ir***

***Received: 20 September 2023, Accepted: 16 October 2023***

**ABSTRACT**

**Background:** Soil serves as the primary repository for microplastics, yet their impact on soil-dwelling organisms remains insufficiently understood. This study aims to investigate the influence of varying concentrations of microplastics in soil on the absorption of Cd and Cu by *Eisenia fetida* within an artificial soil matrix.

**Methods:** The artificial soil consisted of kaolinite clay (20% dry weight), quartz sand (70% dry weight), and Sphagnum peat (10% dry weight). Microplastics, derived from worn-out tire rubber, were incorporated into the soil to establish four concentration levels: 5, 25, 50, and 100 grams of tire microplastics per 500 grams of dry soil. Each treatment was inoculated with ten mature earthworms, weighing between 3.0 and 5.0 grams. After 14 days, samples were collected for ICP analysis.

**Results: :** The highest accumulation of both metals was observed in treatments with 25, 50, and 100 grams of tire microplastics. The results demonstrated significant disparities in copper and cadmium accumulation in the tissue samples following the introduction of tire wear particles, indicating an augmenting effect of tire particles on metal uptake by the samples. Statistically notable reductions ($p < 0.05$) in Cd and Cu concentrations were noted in both the control soil and soil containing microplastics, particularly in the 100-gram microplastic treatment for Cd and the 50-gram microplastic treatment for Cu.

**Conclusion:** Exposure to a combination of microplastics, Cd, and Cu has more pronounced adverse effects on *E. fetida*, and microplastics enhance the bioavailability of heavy metal ions within the soil environment.

**Keywords:** Microplastic, Heavy metals, *Eisenia fetida*, Tire wear particles