مجله ایمنی زیستی

دوره ۱۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱

ISSN ۲۷۱۶-۹۸۰۴ الکترونیکی، ISSN ۲۷۱۷-۰۶۳۲ چاپی

بررسی گیاه‌پالایی سرب و کادمیوم توسط گیاه خردل هندی (*Brassica juncea*)

نوع مقاله: پژوهشی 20.1001.1.27170632.1401.15.2.3.9

سمانه احدی[۱]، مریم رفعتی*[۲]، فروغ فرساد[۳]

۱- دانشجوی کارشناس ارشد، گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران ، ایران

۲- استادیار گروه محیط زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- استادیار گروه محیط زیست، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران

m_rafati@iau-tnb.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۷

صفحه ۱۸-۱

چکیده

سرب و کادمیوم از جمله مهم‌ترین فلزات سنگینی هستند که به‌واسطه فعالیت‌های بشر وارد چرخه حیات شده‌اند. در این پژوهش به‌منظور بررسی توانایی جذب فلزات سنگین سرب و کادمیوم توسط خردل هندی، آزمایشی به‌صورت طرح بلوک کاملاً تصادفی اجرا شد که در آن هر فلز در چهار غلظت صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از نیترات نیکل به خاک گیاه اعمال شد. نتایج نشان داد بیشترین غلظت سرب در اندام زمینی(ریشه) و هوایی خردل هندی به‌ترتیب ۲۷۸/۴ و ۶۱/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بافت خشک گیاه، در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود. در صورتی‌که بیشترین مقدار کادمیوم در این دو اندام به‌ترتیب ۱۴/۵ و ۱۰/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم بافت خشک گیاه، در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک تجمع یافته بود. همچنین با بالارفتن غلظت سرب در خاک، مقدار این عنصر در اندام‌های خردل هندی به‌صورت خطی با ضریب همبستگی بالا افزایش یافت و ضریب تجمع زیستی عنصر سرب در ریشه گیاه در تمامی تیمارهای مورد مطالعه بیشتر از یک بود. در نهایت مشخص شد که خردل هندی می‌تواند به‌عنوان یک گونه شناساگر زیستی و تثبیت‌کننده فلز سرب به کار رود، اما قادر به تثبیت و یا استخراج مقادیر قابل توجه کادمیوم از خاک نیست.

واژه‌های کلیدی: تجمع زیستی، خردل هندی، شناساگر، فلزات سنگین، گیاه‌پالایی.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.2.7.3]

مقدمه

رشد سریع جمعیت و توسعه مراکز مسکونی، تجاری، صنعتی وکشاورزی سبب شده است تا انواع آلاینده‌ها و پسماندهای خطرناک جامد، مایع و گازی از منابع شهری، صنعتی و کشاورزی وارد محیط زیست شده و تهدیدی جدی برای سلامت انسان و بوم‌سازگان طبیعی به شمار آیند (Nassehinia et al. 2016; Mehdinia et al. 2013). در بین آلودگی‌های ایجاد شده توسط بشر، افزایش تجمع و غلظت فلزات سنگین در خاک یکی از مخرب‌ترین نتایج فعالیت‌های بشر بوده است که باعث کاهش کیفیت خاک، آسیب رساندن به محصولات کشاورزی و سفره‌های زیرزمینی آب شده است (Motuzova et al. 2014).

اگرچه بسیاری از فلزات سنگین در منابع طبیعی و خاکی به‌طور طبیعی وجود دارند، اما وجود غلظت‌های بالای برخی از این فلزات نظیر کادمیوم و سرب حاصل فعالیت‌های بشری به‌ویژه سوزاندن سوخت‌های فسیلی، معدن‌کاوی و ذوب فلزات، استفاده از کودهای شیمیایی، لجن فاضلاب، آفت‌کش‌ها، ترافیک و حمل و نقل است (Junji et al. 2021). طبق طبقه‌بندی سازمان حفاظت محیط زیست امریکا (environmental protection agency; EPA) سرب نخستین و کادمیوم هفتمین عنصر زیان‌آور برای گیاهان و جانوران است (Yang et al. 2018; Tang et al. 2016). کادمیوم اثرات مخربی بر روی کلیه‌ها، کبد، سیستم عصبی مرکزی و سیستم ایمنی داشته و موجب ناهنجاری‌های روانی، آسیب احتمالی به دی.ان.اِ و سرطان می‌شود. همچنین فلز سرب باعث مشکلات قلبی، کلیوی، عصبی، کم خونی، سقط جنین و نارسی نوزاد، آسیب به مغز، کاهش بهرهٔ هوشی و حافظه به‌خصوص در کودکان می‌شود (Gayatri et al. 2019; Mehdinia and Nassehinia, 2022).

روش‌های فیزیکی و شیمیایی مختلفی برای حذف فلزات سنگین از محیط توسعه یافته است که از لحاظ اقتصادی برخی از آنها به صرفه نیست و همچنین به لحاظ بوم‌شناختی، آثار منفی بر ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و زیستی محیط به‌خصوص خاک دارند. از اینرو، کاربرد پوشش گیاهی برای حذف فلزات سنگین راهکاری همگام با طبیعت و مقرون به صرفه معرفی شده است (Ratati et al. 2021).

گیاهان قادرند به طرق مختلف آلاینده‌ها را از محیط زیست دور کنند. قابلیت فراوان برخی از گونه‌ها در جذب انتخابی عناصر و ترکیبات آلوده‌کننده، امکان استفاده از آنها در پاک‌سازی

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.2.7.3]

محیط‌های آلوده را فراهم کرده است. این فرآیند که گیاه‌پالایی (phytoremediation) نام دارد، منجر به تجمع فلزات در اندام‌های گیاهان شده و زمینه استخراج این فلزات سمی از خاک را با هزینه کم فراهم می‌کند (Salehi. 2019; Yang et al. 2018).

استفاده از گیاهان جهت حذف آلاینده‌ها، به دلیل قیمت ارزان، عدم نیاز به پرسنل تخصصی، سازگاری با محیط زیست، کم نکردن حاصلخیزی خاک، استفاده در محل آلودگی، توانایی استفاده از خاک بلافاصله پس از تصفیه و توانایی بازیابی فلزات جمع‌آوری شده در گیاهان، بسیار مورد توجه کشورهای مختلف بوده است (Rafati et al. 2018). گیاهان در برابر فلزات سنگین به سه روش واکنش می‌دهند: گیاهان دافع (excluder) که عناصر خاصی را به‌طور فعال از خود دفع کرده و از جذب و تجمع فلزات در ریشه‌ها و اندام‌های هوایی جلوگیری به عمل می‌آورند، شاخص‌های فلزی یا شناساگرها (indicator) که عنصر خاصی را به مقدار متناسب با میزان موجود در خاک به‌صورت خطی جذب می‌کنند و گیاهان تجمع‌دهنده یا جاذب (accumulator) که به‌طور فعال عنصر خاصی را بدون آن که نیاز داشته باشند در غلظت‌های بیشتر از خاک جذب می‌کنند، به‌طوری که غلظت عنصر موردنظر در گیاه بدون آن که باعث مسمومیت شود، بسیار زیاد است (Gosh and Sing, 2005; Salehi. 2019).

گیاه خردل هندی که با نام‌های خردل چینی، قهوه‌ای و شرقی نیز شناخته می‌شود (Ahmadi. 2020)، بومی مدیترانه و غرب آسیا بوده و در کشورهای مختلف، به‌خصوص در کشور هند به‌عنوان یکی از گونه‌های مهم در تولید دانه‌های روغنی محسوب می‌شود (Soleimannejad et al. 2017). این گیاه سریع‌الرشد یک ساله علفی، از خانواده شب‌بوها (Brassicaceae) است که به‌عنوان گیاهانی با توانایی گیاه‌پالایی بالا و انباشت آلاینده‌ها شناخته می‌شوند (Bortoloti and Baron, 2022)، به‌طوری‌که ۸۷ گونه از ۱۱ جنس این خانواده به‌عنوان گیاه بیش-انباشت‌گر معرفی شده‌اند (Salehi. 2019). خردل هندی مقاومت خوبی در برابر فلزات سنگین داشته و می‌تواند آنها را جذب و در اندام‌های خود تجمع دهد. بنابراین استفاده از این گیاه جهت گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده و به‌طور همزمان تولید دانه‌های روغنی ارزش اقتصادی بالایی خواهد داشت. زیرا این گونه عمده فلزات سنگین را در ریشه و شاخه‌های خود و نه در بذور ذخیره می‌کند (Qadir et al. 2004). طبق پژوهش‌های انجام شده، گونه خردل هندی یکی از گونه‌های بسیار مناسب در تجمع

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.2.7.3]

فلزات سنگین با آینده‌ای امیدوارکننده است (Goswami and Das, 2015; Graziani et al. 2016; Malecka et al. 2019). در این زمینه پژوهشی توسط Gayatri و همکاران در سال ۲۰۱۹ بر روی توانایی خردل هندی برای حذف برخی فلزات سنگین از خاک‌های شهری آغشته به کود گاوی نشان داد بیشترین و کمترین میزان جذب فلزات به‌ترتیب مربوط به سرب و نیکل بود (Gayatri et al. 2019). در مطالعه دیگری پژوهشگران اعلام داشتند که خردل هندی توانایی تجمع سرب را به میزان بیشتری در ریشه خود نسبت به سایر اندام‌های گیاهی داشته و با بالارفتن میزان سرب در خاک، این توانایی افزایش می‌یابد (Graziani et al. 2016). در ادامه Goswami و Das در سال ۲۰۱۵ با ارزیابی پتانسیل گیاه‌پالایی کادمیوم توسط خردل هندی تحت تأثیر غلظت‌های مختلف این فلز در شرایط آزمایشگاهی، به این نتیجه رسیدند که بیشترین تراکم کادمیوم در ریشه‌های گیاه در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد (Goswami and Das, 2015). پژوهشگر دیگری در بررسی حذف سرب، روی و کادمیوم از خاک و محیط کشت هیدروپونیک توسط خردل هندی نشان داد که این گونه توانایی تجمع فلزات مذکور را در ریشه و ساقه‌های خود دارد (Singh and Fulekar, 2012). همچنین مطالعه Quartaci و همکاران در سال ۲۰۰۷ بر روی خردل اتیوپی نشان داد که در بین ۹ گونه زراعی مورد بررسی، این گونه توانایی جذب مقدار زیادی از فلزات آرسنیک، کادمیوم، مس، سرب و روی را بدون کاهش معنی‌دار زیست‌توده دارد (Quartaci et al. 2007).

در ایران پژوهش‌های اندکی بر روی این گونه انجام شده که مربوط به توانایی گیاه‌پالایی خردل اتیوپی در خاک آلوده به کادمیوم و سرب (Soleimannejad et al. 2017; Abdolzade et al. 2018)، تاثیر یکی از ترکیبات EDTA بر خصوصیات مورفولوژیک و توانایی گیاه‌پالایی خردل هندی در خاک‌های آلوده به نیکل (Tashakori zadeh and Alizadeh. 2019) و اثر EDTA و اسیدسیتریک بر فعالیت‌های آنزیمی خاک و استخراج سرب توسط آفتاب‌گردان و خردل هندی از یک خاک آلوده (Hosseini et al. 2017) بوده است.

با توجه به سازگاری این گونه با آب و هوای ایران، تحمل شرایط نامساعدی چون خاک‌های شنی و رسی، آب و هوای نیمه‌خشک و دمای بالا، پایداری روغن آن در اهداف مربوط به مصارف انسانی و صنعتی (Soleimannejad et al. 2017;

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.2.7.3]

(Ahmadi. 2020; Mousavi Aghdam. 2014) و همچنین مطالعات اندک انجام شده در کشورمان در خصوص قابلیت جذب بالای فلزات توسط خردل، لزوم انجام پژوهش حاضر مشخص می‌شود. در این راستا مطالعه حاضر سعی دارد پتانسیل گیاه خردل هندی جهت جذب فلزات سنگین کادمیوم و سرب از خاک، میزان انباشت آنها در اندام‌های هوایی و زمینی(ریشه) و همچنین امکان استفاده از این گیاه به‌عنوان یک گونه جاذب، شاخص و یا دافع فلزات مذکور را بررسی کند.

مواد و روش‌ها

کاشت و اعمال تیمارها

به‌منظور بررسی توانایی گیاه‌پالایی خردل هندی در حضور فلزات سنگین سرب و کادمیوم، آزمایشی به‌صورت طرح بلوک کامل تصادفی انجام شد. به این منظور بذر گیاه خردل هندی (*Brassica juncea* L.) از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج، ایران تهیه شد.

جهت تهیه خاک گلدان از ترکیب خاک زراعی و پرلیت به نسبت ۲ به ۱ استفاده شده و در هر گلدان ۵ کیلوگرم از خاک ریخته شد. از آنجایی‌که کود آلی در خاک نقش بافر را در جذب و آزادسازی فلزات سنگین ایفا کرده و در نتیجه منجربه انحراف نتایج می‌شود، هیچ‌گونه کود و یا هوموسی به خاک افزوده نشد (Khodaverdilo et al. 2012). ۵ نمونه از این خاک قبل از قرارگیری در گلدان‌ها جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن به آزمایشگاه ارسال شد. سپس گلدان‌ها در محیط طبیعی، به دور از تأثیر بارندگی قرار داده شدند. موقعیت گلدان‌ها به گونه‌ای بود که میزان نور دریافتی آنها در طول روز یکسان باشد تا منجر به انحراف نتایج نشود. در ادامه، در هر گلدان تعدادی بذر خردل هندی کاشته شد تا احتمال از دست رفتن تکرار، به حداقل برسد. در طی مدت جوانه‌زنی هر روز آب مقطر به گلدان‌ها اسپری شد تا سطح خاک خشک نشود.

پس از جوانه‌زنی، زمانی‌که ارتفاع جوانه‌ها به ۳ سانتی‌متر رسید، گیاهان اضافی و همچنین علف‌های هرز وجین شد، به گونه‌ای که در هر گلدان تنها ۴ گیاه خردل باقی بماند. از این زمان اعمال تیمارها آغاز شد. جهت تهیه محلول سرب و کادمیوم به‌ترتیب از ترکیب سرب استات با فرمول شیمیایی $Pb(C_2H_3O_2)_2$ و کادمیوم استات با فرمول شیمیایی $Cd(CH_3O_2)_2$ استفاده شد و براساس جرم مولکولی، غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از نمک موردنظر تهیه و

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.2.7.3]

به‌طور مجزا در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد. این سطوح با توجه به بررسی پژوهشگران دیگر در امر گیاه‌پالایی خردل هندی (Goswami and Das, 2015; Soleimannejad et al. 2017) انتخاب شد.

سپس محلول تهیه شده طی سه نوبت در سه هفته متوالی (در روزهای مشخص شده) به خاک اضافه شد، به گونه‌ای که تمام گلدان مرطوب شده و هیچ آبی از ته گلدان خارج نشود و پس از آن هر سه روز یک بار گلدان‌ها با ۳۰۰ میلی‌لیتر آب شیر آبیاری شدند. آبیاری گلدان‌ها به مدت ۵ ماه و ۲۰ روز از ابتدای اردیبهشت ماه تا ۲۰ مهر ماه ۱۳۹۹ به طول انجامید و در این مدت جهت تثبیت و تعادل اجزای خاک با فلزات مذکور و همسان‌سازی شرایط آلودگی مصنوعی با آلودگی طبیعی، گلدان‌ها در هوای آزاد قرار داده شدند (Khodaverdilo et al. 2012).

در نهایت پس از گل‌دهی، گیاهان به‌طور کامل همراه با ریشه از خاک خارج شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. هر گلدان با یک فلز تیمار شد تا از اثرات متقابل فلزات سنگین بر روی یکدیگر جلوگیری شود. همچنین یک گلدان به‌عنوان شاهد (بدون اضافه کردن تیمار) در نظر گرفته شده و کلیه آزمایش‌ها با در نظر گرفتن چهار تکرار انجام شد. با احتساب سه تیمار و ۴ تکرار، تعداد کل گلدان‌ها ۳۲ عدد بود.

آماده‌سازی و هضم نمونه‌ها

جهت اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در ریشه و اندام هوایی خردل هندی، ابتدا این دو اندام با استفاده از اسکالپل جدا شده و به‌صورت جداگانه برچسب زده شدند. پس از خشک شدن در هوای آزاد، با استفاده از آسیاب پودر شده و در دستگاه آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند تا رطوبت نمونه‌ها به‌طور کامل گرفته شود. برای اندازه‌گیری فلزات سنگین در بافت‌های گیاهی از روش عصاره‌گیری خاکستر خشک استفاده شد (Torkashvand et al. 2018). به این ترتیب که ۲ گرم از هر نمونه گیاه به درون بوته‌های چینی انتقال داده شده و نمونه‌ها در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۲ ساعت قرار گرفتند. پس از آن ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال به نمونه‌ها اضافه شد. محلول موردنظر حدود ۳۰ ثانیه روی اجاق برقی گرم شد. سپس به کمک آب مقطر و با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۱۲ صاف شد. در نهایت غلظت فلزات سنگین در عصاره موردنظر توسط دستگاه ICP (مدل Varian 735)

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.2.7.3]

اندازه‌گیری شد. جهت آماده‌سازی نمونه‌های خاک نیز، نمونه‌ها پس از خشک شدن در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت، از الک ۶۳ میکرون عبور داده شدند. سپس به ۰/۵ گرم از هر نمونه به‌ترتیب دو تا سه قطره اسید کلریدریک یک نرمال، ۰/۵ میلی‌لیتر تیزاب سلطانی و سه میلی‌لیتر هیپوکلرو اسید افزوده شد و بشر روی حمام شن در دمای ۱۲۵ درجه سلسیوس قرار گرفت. سپس مایع حاصل از کاغذ صافی عبور داده شد و به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسید. در نهایت نمونه برای خواندن توسط دستگاه ICP (مدل Varian 735) آماده شد (Jackson, 1958). همچنین اندازه‌گیری هدایت الکتریکی و pH خاک با تهیه محلول ۱ به ۱۰ به‌ترتیب با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج و pHمتر انجام شد. مواد آلی خاک به روش والکی بلک (Bazgir et al. 2020)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به روش باور (Bower et al. 1952) و بافت خاک به روش هیدرومتری و براساس مثلث خاک تعیین شد (Salmasi and Peyrowan, 2019).

محاسبه ضرایب

جهت اندازه‌گیری توانایی گیاه در تجمع فلز در اندام‌های خود از ضرایب تجمع زیستی (bio concentration factor; BCF) و فاکتور انتقال (translocation factor; TF) استفاده شد (Pachura et. al. 2016). ضریب تجمع زیستی از تقسیم غلظت فلز در اندام‌های گیاه بر غلظت فلز در خاک و فاکتور انتقال از تقسیم غلظت فلز در اندام هوایی بر غلظت فلز در اندام زمینی به دست می‌آید. بر این اساس، گیاهانی که دارای ضریب تجمع زیستی بیشتر از یک، به‌خصوص در اندام هوایی خود بوده، جهت استخراج گیاهی و آن‌هایی که دارای ضریب تجمع زیستی بیشتر از یک در ریشه و فاکتور انتقال کوچک‌تر از یک هستند، برای تثبیت گیاهی مناسب هستند (Saraswat and Rai. 2009; Behmadi et al. 2019).

تجزیه و تحلیل آماری

نرمال بودن و همگن بودن داده‌ها به‌ترتیب با استفاده از آزمون‌های کلموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov test) و لون (Leven's test) بررسی شد. سپس با استفاده از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه (ANOVA) میانگین غلظت هر فلز سنگین بین تیمارهای مختلف مقایسه شده و در صورت معنی‌داری از آزمون دانکن برای نشان دادن اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف استفاده شد. کلیه تجزیه وتحلیل‌های آماری در سطح اطمینان پنج درصد و به‌وسیله نرم‌افزار

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.2.7.3]

SPSS (نسخه ۲۲) انجام شد. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۳ استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج آنالیز فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس این جدول بافت خاک لومی-شنی با pH در محدوده خنثی و هدایت الکتریکی ۲۰/۸ میکروزیمنس بر سانتی‌متر (µS/cm) است که در ردیف خاک‌های غیر شور قرار دارد. همچنین میزان کادمیوم و سرب آن نیز در محدوده طبیعی غلظت این عناصر در خاک (برای کادمیوم بین ۰/۱-۰/۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم و برای سرب بین ۲-۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) است (Moteshare zade and Savaghebi, 1394).

جدول ۱- میانگین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اولیه

پارامتر	pH	EC (میکروزیمنس بر سانتی‌متر)	مواد آلی (درصد)	بافت	ظرفیت تبادل کاتیونی (میلی اکی‌والان/۱۰۰ گرم)	کادمیوم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	سرب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
خردل هندی	۷/۴	۲۰/۸	۱/۱	لومی-شنی	۱۶/۴	۰/۱۴	۱

نمودارهای ۱ و۲ به‌ترتیب غلظت فلزات سرب و کادمیوم را در اندام‌های زمینی (ریشه) و هوایی گیاه خردل هندی نشان می‌دهند.

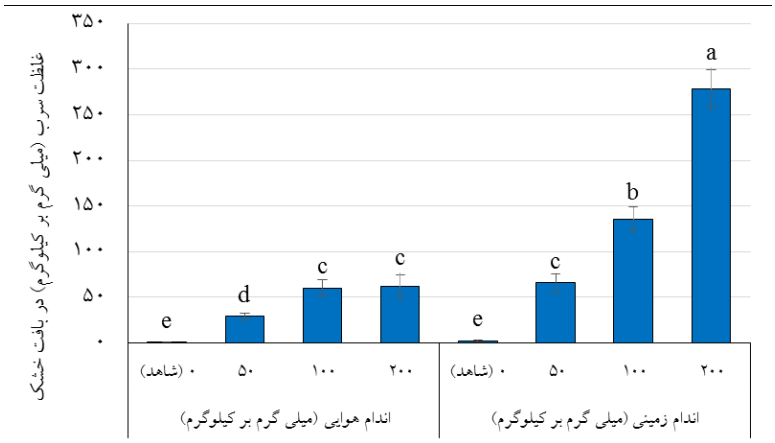
بر اساس نمودار ۱، بیشترین میزان سرب تجمع‌یافته در اندام زمینی گیاه به میزان ۲۷۸/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در وزن خشک در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک بوده است. با افزایش مقادیر تیمارها از شاهد به بالا، میزان تجمع سرب در اندام زمینی گیاه به‌طور معنی‌داری افزایش یافته، در حالی‌که، در اندام هوایی تنها تا تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک این افزایش معنی‌دار بوده است. به‌علاوه، در این نمودار به جز تیمار شاهد، در سایر تیمارها مقدار سرب در اندام زمینی به‌طور معنی‌داری بیشتر از اندام هوایی بوده و با نزدیک شدن به تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک، این اختلاف بیشتر می‌شود. همچنین تمامی مقادیر به دست‌آمده سرب در اندام زمینی و هوایی گیاهان تیمار شده، بسیار بیشتر از بیشینه مجاز این عنصر در محصولات کشاورزی طبق استاندارد WHO-FAO (۰/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) است (WHO. 2011). این نتایج با مطالعات برخی پژوهشگران مطابقت دارد که بیشترین میزان سرب را در ریشه گیاه خردل هندی در مقایسه با سایر فلزاتی چون کروم،

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.2.7.3]

نیکل، مس و روی عنوان کرده‌اند (Gayatri et al. 2019; Graziani et al. 2016).

همچنین پژوهشگران در سال ۲۰۱۲ اعلام داشتند که در اعمال تیمارهای ۰، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فلزات سنگین به خاک، خردل هندی بیشترین میزان سرب را در ریشه و روی را در ساقه (اندام هوایی) تجمع داده است (Singh and Fulekar, 2012). سرب یکی از فلزات سنگین غیرضروری برای گیاهان با اعمال زیستی ناشناخته و کم تحرک است که در صورت وجود شکل‌های محلول در محیط، ریشه قادر است آن را جذب کند (Abdolzadeh et al. 2018). در این زمینه پژوهشگران عنوان کردند که سرعت جذب سرب در گیاهان پس از ورود این فلز به خاک به دلیل تشکیل ترکیبات نامحلول نظیر کربنات و سولفات، کاهش می‌یابد. اما در صورت جذب سرب توسط ریشه‌های گیاه، این فلز به بخش‌های بیرونی ریشه، اپوپلاست و دیواره سلولی متصل می‌شود و به دلیل تحرک اندک، کمتر در اختیار اندام‌های هوایی قرار می‌گیرد (Rafati et al. 2021; Maleki et al. 2016).



نمودار ۱- مقایسه میانگین غلظت سرب تجمع‌یافته در در اندام‌های زمینی و هوایی گیاه خردل هندی تحت تاثیر تیمار با سرب در غلظت‌های شاهد، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک (حروف متفاوت حاکی از اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است).

برای فلز کادمیوم (نمودار ۲) بیشترین میزان تجمع‌یافته این عنصر در اندام زمینی (ریشه) خردل هندی به میزان ۱۴/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بوده است که البته با تیمار ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک تفاوت آماری معنی‌داری ندارد. این

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.2.7.3]

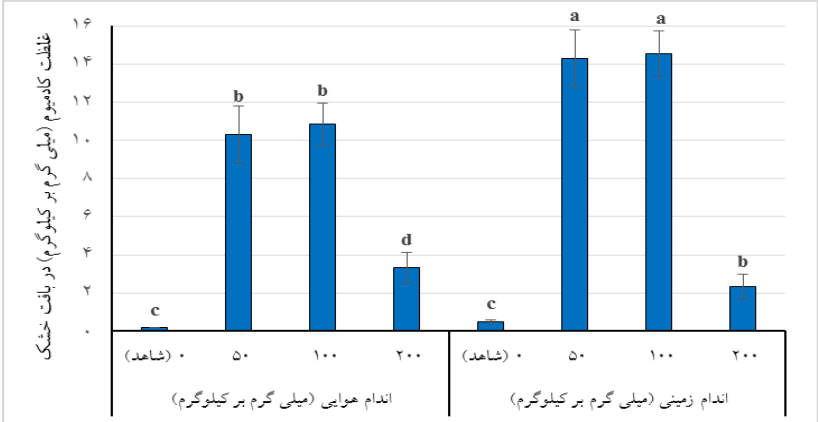
موضوع در مورد اندام هوایی نیز مشاهده شد، با این تفاوت که در اندام هوایی غلظت کادمیوم در این سطوح به‌طور معنی‌داری کمتر از اندام زمینی است. همچنین به‌دلیل آسیب دیدن گیاه در غلظت‌های بالای کادمیوم (شکل ۱)، این فلز در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک تنها ۳/۲ و ۳/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک به‌ترتیب در اندام زمینی و هوایی ذخیره شد. بیشینه مجاز کادمیوم در محصولات کشاورزی طبق استاندارد WHO-FAO، به میزان ۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که تمامی مقادیر تجمع‌یافته کادمیوم در این گیاه بالاتر از استاندارد مذکور بود (WHO. 2011).

در تایید این نتایج سلیمان‌نژاد و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که بیشترین مقدار کادمیوم در ریشه گیاه خردل اتیوپی در مقایسه با اندام هوایی و در تیمار ۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک تجمع یافته و با افزایش مقدار تیمار تا ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، از تجمع آن در ریشه کاسته شده است (Soleimannejad et al. 2017). همچنین Ishikawa در سال ۲۰۱۰ با بررسی گیاه خردل هندی در خاک‌های آلوده به کادمیوم نشان داد که این گیاه از توانایی کمی برای تجمع کادمیوم در اندام هوایی در مقایسه با فلزاتی چون مس، روی، آهن و منگنز برخوردار است (Ishikawa et al. 2010). Goswami و Das در سال ۲۰۱۵ با ارزیابی گیاه‌پالایی کادمیوم توسط خردل هندی تحت تأثیر غلظت‌های مختلف این فلز در شرایط آزمایشگاهی، به این نتیجه رسیدند که بیشترین تراکم کادمیوم در ریشه‌های گیاه در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک مشاهده شد (Goswami and Das, 2015).

کادمیوم نسبت به سرب از تحرک بیشتری در گیاه برخوردار است (Naderi et al. 2013) اما احتمال می‌رود به دلیل سمیت این فلز برای گیاه خردل هندی، مقدار بیشتری از آن در ریشه و مقادیر کمتری به اندام‌های هوایی منتقل شده باشد. در این زمینه Yuanjie بیان داشت که ریشه گیاه جایگاه اصلی بی‌حرکت‌سازی یون کادمیوم است که به‌طور عمده از طریق حفظ یون‌های سمی در دیواره سلولی و ایجاد برخی موانع کارآمد برای ورود کادمیوم به آوند چوب اتفاق می‌افتد و در نتیجه جلوی انتقال آن به بخش‌های هوایی را می‌گیرد (Yuanjie et al. 2019). تشکیل ترکیبات غیرآلی کریستاله کادمیوم در خاک نیز می‌تواند از جذب آن توسط گیاه جلوگیری کند (Agraval. 2002).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.2.7.3]



نمودار ۲- مقایسه میانگین غلظت کادمیوم تجمع‌یافته در اندام‌های زمینی و هوایی گیاه خردل هندی تحت تاثیر تیمار با کادمیوم در غلظت‌های ۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک (حروف متفاوت حاکی از اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است)



شکل ۱- ضعف گیاه خردل هندی نسبت به کادمیوم در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک.

جدول ۲ ضرایب تجمع زیستی و فاکتور انتقال فلزات سرب و کادمیوم را در سطح تیمارهای مختلف نشان می‌دهد. بر اساس این جدول، ضریب تجمع زیستی کادمیوم در اندام‌های هوایی و زمینی خردل با افزایش غلظت این عنصر از تیمار شاهد تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک کاهش قابل توجهی داشته و این ضریب تنها در تیمار شاهد در هر دو اندام بزرگتر از یک است. در مورد فلز سرب با افزایش غلظت این عنصر خاک، ضرایب تجمع زیستی در اندام‌های زمینی و هوایی کاهش داشته است که البته در تمامی تیمارهای مورد مطالعه برای اندام زمینی، این ضریب بزرگتر از یک بوده است.

ضریب تجمع زیستی و فاکتور انتقال در یک گونه نشان‌دهنده قابلیت گیاهان جهت تحمل و تجمع فلزات سنگین در اندام‌های خود بوده و کارایی گیاه را جهت تثبیت یا استخراج فلزات نشان می‌دهد (Behmadi et. al. 2019; Naderi et al. 2013) که با توجه به ضریب تجمع زیستی بالاتر از یک و فاکتور انتقال کمتر از یک در تمامی

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.2.7.3]

تیمارهای مورد مطالعه، گیاه خردل هندی برای تثبیت فلز سرب در ریشه خود در این تیمارها مناسب است. لازم به ذکر است قطعیت تثبیت سرب در ریشه گیاه خردل فقط تا تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک صادق بوده و بحث در مورد ادامه‌ی این روند در تیمارهای با غلظت بالاتر، نیاز به بررسی بیشتر دارد.

نتایج حاصل از این پژوهش با مطالعات سلیمان‌نژاد و همکاران در سال ۲۰۱۷ همخوانی دارد. این پژوهشگران در بررسی خردل اتیوپی نشان دادند که ضریب انتقال سرب به بخش‌های هوایی گیاه پایین بوده و به دلیل غلظت بالای سرب در ریشه گیاه و فاکتور تجمع زیستی بالا، این گیاه می‌تواند جهت تثبیت سرب در خاک‌های آلوده و پاکسازی این خاک‌ها در مناطق شهری و صنعتی مفید باشد (Soleimannejad et al. 2017). همچنین Gayatri و همکاران، خردل هندی را به‌عنوان بیش-انباشت‌کننده فلز سرب در ریشه معرفی کردند (Gayatri et al. 2019). به عقیده Bortoloti تیره شب‌بوها فرآیندهای فیزیولوژیکی خاصی دارند که به جذب و انباشت آلاینده‌های سمی کمک می‌کند (Bortoloti and Baron, 2022).

جدول ۲- تعیین ضریب تجمع زیستی و فاکتور انتقال در سطوح مختلف آلاینده‌های سرب و کادمیوم در گیاه خردل هندی

فلز	غلظت (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	ضریب تجمع زیستی (BCF)		ضریب انتقال (TF)
		اندام هوایی	اندام زمینی	
سرب	شاهد	۰/۸۰۷	۱/۷۷۴	۰/۵۹۶
	۵۰	۰/۷۰۷	۱/۷۰۱	۰/۴۸۹
	۱۰۰	۰/۷۵۳	۱/۶۹۴	۰/۴۴۱
	۲۰۰	۰/۳۷۷	۱/۶۸۲	۰/۲۲۲
کادمیوم	شاهد	۱/۱۵۶	۱/۳۲۲	۰/۲۷۶
	۵۰	۰/۲۲۱	۰/۳۰۷	۰/۷۱۹
	۱۰۰	۰/۱۳۲	۰/۱۷۶	۰/۷۴۷
	۲۰۰	۰/۰۱۷	۰/۰۱۲	۰/۸۲۷

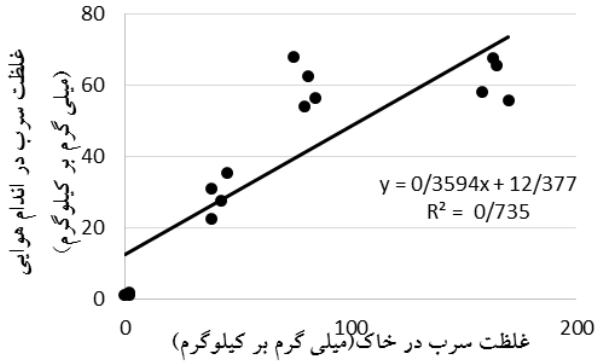
همبستگی میان غلظت فلزات مورد بررسی در خاک و اندام‌های مختلف گیاه خردل هندی در نمودار ۳ مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس این نمودار، افزایش غلظت فلز سرب در خاک

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.2.7.3]

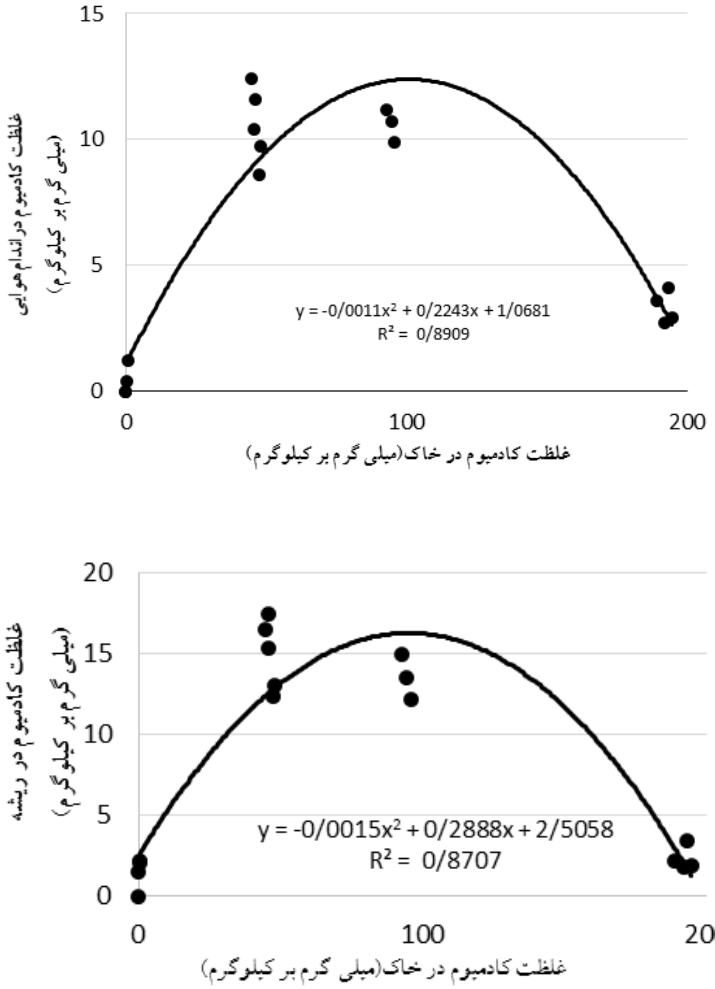
به‌طور خطی و یکنواخت منجر به افزایش غلظت این عنصر در ریشه و اندام هوایی گیاه شده است. این نتایج با مطالعات برخی پژوهشگران همخوانی دارد که نشان می‌دهند با بالارفتن میزان سرب در خاک، توانایی تجمع این فلز در اندام‌های گیاه خردل هندی افزایش می‌یابد (Graziani et al. 2016). اما با افزایش غلظت کادمیوم در خاک تنها تا تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک افزایش مقدار این عنصر در ریشه و اندام هوایی مشاهده شد و پس از آن روند کاهشی اتفاق افتاده که نشان می‌دهد هر دو اندام در غلظت‌های بالاتر از ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک دافع کادمیوم بوده‌اند. در این مورد صالحی در سال ۲۰۱۹ بیان داشت اگر گیاه دارای توانایی گیاه‌پالایی باشد، با افزایش مقدار فلز در خاک، مقدار آن در اندام‌های گیاه نیز افزایش می‌یابد (Salehi. 2019). همچنین با توجه به دیدگاه Gosh و Sing در سال ۲۰۰۵ گیاه خردل هندی نسبت به افزایش میزان سرب در خاک به‌صورت یک شناساگر زیستی (بیواندیکاتور) عمل کرده است (Gosh and Sing, 2005).





[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.2.7.3]



نمودار ۳- همبستگی بین غلظت فلزات سرب و کادمیوم در خاک با ریشه و اندام هوایی خردل هندی.

نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های این پژوهش، بیشترین مقدار سرب و کادمیوم در تمامی تیمارهای مورد مطالعه، در ریشه گیاه خردل هندی تجمع یافته بود. برای سرب این مقادیر بسیار بیشتر از کادمیوم بوده و تمامی غلظت‌های این عناصر در ریشه و اندام هوایی خردل، بسیار بیشتر از بیشینه مجاز مقدار سرب و کادمیوم در محصولات کشاورزی طبق استاندارد WHO و FAO بود. بنابراین به دلیل خوراکی بودن بذر و دانه این گیاه، نگرانی از بابت کشت خردل هندی در خاک‌های آلوده به فلزات کادمیوم و به‌خصوص سرب تا میزان ۲۰۰ میلی‌گرم برکیلوگرم خاک احساس می‌شود. همچنین با توجه به مقدار ضریب تجمع زیستی بالاتر از یک عنصر سرب در ریشه در تمامی تیمارهای مورد مطالعه، خردل هندی می‌تواند

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.2.7.3]

به‌عنوان یک گونه تثبیت‌کننده سرب به کار گرفته شود. همبستگی خطی و بالای بین مقدار سرب در خاک با ریشه و اندام هوایی گیاه نیز این گونه را به‌عنوان یک شناساگر زیستی سرب مطرح می‌سازد. با توجه به این نتایج پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های تکمیلی بر روی جذب سایر عناصراز خاک توسط گیاه خردل، جذب فلزات سنگین در غلظت‌های بالاتر از تیمارهای این پژوهش، میزان تجمع فلزات سنگین در دانه خردل هندی، ارزیابی خطر سرطان‌زایی ورود فلزات سنگین به دانه خردل قبل از مصرف خوراکی آن و توانایی گیاه‌پالایی این گونه در شرایط متفاوت خاک مانند اثر مواد شیمیایی چون EDTA، DTPA (diethylene triamine pentaacetic acid) یا تغییرات pH که بر روی دسترسی زیستی و جذب عناصر از خاک موثر هستند، مطالعات گسترده‌تری انجام شود.

فهرست منابع

References

Abdolzadeh A, Soleimannejad Z, Sadeghipour HR, Golalipour M. 2018. The remediation potential of lead in two mustard species (*Brassica carinata* and *B. juncea*). Journal of Plant Ecosystem Conservation. 6(12): 39-58. (In Farsi with English abstract).

Agraval SK. 2002. Pollution management: water pollution. A.P.H. press. New Delhi. 384 p.

Ahmadi M. 2020. Indian mustard (*Brassica juncea* L.) is an oil plant suitable for cultivation in hot and dry areas of Iran. Journal of Oilseed Plants. 2(2): 74- 83. (In Farsi with English abstract).

Bazgir M, Hydari M, Zeynali N, Kohzadean M. 2020. Effect of land use change from forest to agriculture and abounded of agriculture on soil physical and chemical properties in Zagros forest ecosystem. Journal of Environmental Science and Technology. 22(1): 200-214. (In Farsi with English abstract).

Behmadi H, Khosh Kholgh S, Shavakhi F, Madani S, Zomorodi SH. 2019. Investigating the accumulation pattern of heavy metals, bioconcentration and translocation factors in different parts of *Salicornia* spp. (Case study in Rud Shur Mardadabad Karaj). Food Engineering Research. 66: 33-46. (In Farsi with English abstract).

Bortoloti GA, Baron D. 2022. Phytoremediation of toxic heavy metals by *Brassica* plants: A biochemical and physiological approach. Environmental Advances. 8: 1-13.

Bower CA, Reitmeir RF, Fireman M. 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. Soil Science. 73: 251-261.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.2.7.3]

Gayatri N, Ram Sailesh A, Srinivas N. 2019. Phytoremediation potential of *Brassica juncea* for removal of selected heavy metals in urban soil amended with cow dung. Journal of Materials and Environmental Sciences. 10(5): 463-469.

Ghosh M, Singh SP. 2005. A comparative study of cadmium phytoextraction by accumulator and weeds species. Environmental Pollution. 133: 365-371.

Goswami S, Das S. 2015. A study on cadmium phytoremediation potential of Indian mustard, brassica juncea. International Journal of Phytoremediation. 17: 583-588.

Graziani NS, Salazar MJ, Pignata ML, Rodriguez JH. 2016. Assessment of the root system of *Brassica juncea* (L.) czern. and *Bidens pilosa* L. exposed to lead polluted soils using rhizobox systems. International Journal of Phytoremediation. 18: 235–244.

Hosseini1 SS, Lakzian A, Halajnia A. 2017. Effect of EDTA and Citric acid on soil enzyme activities and phytoextraction of lead by sun flower and Indian mustard from a contaminated soil. Journal of Water and Soil Conservation. 24(1): 47-65. (In Farsi with English abstract).

Ishikawa S, Noriharu AE, Murakami M, Wagatsuma T. 2010. Is *Brassica juncea* a suitable plant for phytoremediation of cadmium in soils with moderately low cadmium contamination? Possibility of using other plant species for Cd-phytoextraction. Soil Science and Plant Nutrition. 52: 32–42.

Jackson ML. 1958. Soil chemical analysis. Prentice-Hall, New Jersey, USA.

Junji Z, Zeming S, Shijun N, Xinyu W, Chao L, Fei W. 2021. Source identification of Cd and Pb in typical farmland topsoil in the southwest of China: A case study. Sustainability. 13: 2-11.

Khodaverdiloo H, Rahmanian M, Ghorbani Dashtaki Sh, Rezapour S, Hadi H, Han FX. 2012. Effect of cyclic wetting-drying moisture on redistribution of lead (Pb) loaded to some semiarid-zone soils. Pedosphere. 22: 304–313. (In Farsi with English abstract).

Małecka A, Konkolewska A, Han´c A, Barałkiewicz D, Ciszewska L, Ratajczak E, Staszak AM, Kmita H, Jarmuszkiewicz W. 2019. Insight into the phytoremediation capability of *Brassica juncea* (v. Malopolska): Metal accumulation and antioxidant enzyme activity. International Journal of Molecular Science. 20(4355): 1-17.

Maleki A, Hoseinnejad A, Alinejadian Bidabadi A. 2016. Analysis of heavy metals concentration in soil irrigated with urban wastewater for bell pepper cultivation. 6(1): 101-115. (In Farsi with English abstract).

Mehdinia M, Moeinian K, Rastgoo T. 2014. Rice husk silica adsorption for removal of hexavalent chromium pollution from aquatic solutions. Iranica Journal of Energy and Environment. 5(2): 218- 223. (In Farsi with English abstract).

Mehdinia M, Nassehinia H. 2022. Health and environmental effects of heavy metals (Cd, Pb, As). Environment and Water Engineering. 8(2): 538-550. (In Farsi with English abstract).

Moteshare zade B, Savaghebi GH. 2015. Phytoremediation. Tehran University Press. 296 p. (In Farsi with English abstract).

Motuzova GV, Minkina TM, Karpova EA, Barsova NU, Mandzhieva SS. 2014. Soil contamination with heavy metals as a potential and real risk to the environment. Journal of Geochemical Exploration. 144. Part B: 241-246.

Mousavi Aghdam M, Alizadeh K. 2015. Luation of drought tolerance and finding suitable cultivars of mustard under cold dryland condition of Oroumieh. Iranian Journal of Dryland Agriculture. 2(2): 97-104. (In Farsi with English abstract).

Naderi MR, Danesh-Shahraki A, Naderi R. 2013. A review on phytoremediation of heavy metals contaminated soils. Human and Environment. 10(23): 35-49. (In Farsi with English abstract).

Nassehinia H, Rahmani A, Ghaieny G, Mehdinia SM. **2016.** Application of novel methods in environmental and health hazardous pollutants removal using nanophotocatalysts. Koomesh. 18(3): 309-31. (In Farsi with English abstract).

Pachura P, Ociepa-Kubicka A, Skowron-Grabowska B. 2016. Assessment of the availability of heavy metals to plants based on the translocation index and the bioaccumulation factor. Desalination and Water Treatment. 57: 1469-1477.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.2.7.3]

Qadir S, Qureshi MI, Javed S, Abdin M Z. 2004. Genotypic variation in phytoremediation potential of *Brassica juncea* cultivars exposed to Cd stress. Plant Science. 167: 1171-1181.

Quartacci MF, Irtelli B, Baker AJM, Navari-Izzo F. 2007. The use of NTA and EDDS for enhanced phytoextraction of metals from a multiply contaminated soil by Brassica carinata. Chemosphere. 68: 1920-1928.

Rafati M, Mohammadi Roozbahani M, Naseri Monfared H. 2021. Accumulation of heavy metals (lead and nickel) by the soil and leaves of *Albizia lebbeck* and *Conocarpus erectus* from the city of Ahwaz. Forest and Wood Products. 73(4): 379-387. (In Farsi with English abstract).

Rafati M, Siahpoor N, Mohammadi Roozbahani M, Heidari M. 2018. Absorbability and translocation of Nickel from soil using the sunflower plant (*Helianthus annuus*). Journal Advance of Environmental Health Research. 6(4): 234-239. (In Farsi with English abstract).

Salehi A. 2019. Phytoremediation: A remediation technology of heavy metal contaminated soils, Human and Environment. 49: 27-42. (In Farsi with English abstract).

Salmasi R, Pyrowan HR. 2019. Investigating the remediation of soils polluted with heavy metals as a case study. Journal of Environmental Science and Technology. 21(1): 25-32. (In Farsi with English abstract).

Saraswat S, Rai J. 2009. Phytoextraction potential of six plant species grown in multimetal contaminated soil. Chemistry and Ecology. 25: 1-11.

Singh A, Fulekar MH. 2012. Phytoremediation of heavy metals by *Brassica juncea* in aquatic and terrestrial environment. Environmental Pollution. 21:153–169.

Soleimannejad Z, Abdolzadeh A, Sadeghipour HR. 2017. Phytoremediation potential of two species Brassica juncea and Brassica carinata in soils contaminated by cadmium. Environmental Sciences. 15(3): 173-186. (In Farsi with English abstract).

Tang L, Luo W, Tian S, He Z, Stoffella PJ, Yang X. 2016. Genotypic differences in cadmium and nitrate co-accumulation among the Chinese cabbage genotypes under field conditions. Scientia Horticulturae. 201: 92–100.

Tashakori zadeh M, Alizadeh M. 2019. Effect of ethylene diamine tetra acetic acids on morphological characteristics and phytoremediation capacity of Indian mustard (*brassica juncea* L) in nickel contaminated soil. Human and Environment. 50: 15-24. (In Farsi with English abstract).

Torkashvand V, Mohammadi Rouzbahni M, Babaeinezhad T. 2018. Survey of heavy metals (Pb, Ni, Cr, and Cd) bio-accumulation in the leaves of (*Albizia lebbek* and *Eucalyotus camadulensis*) (case study: Iran National Steel Industrial Group). Journal of Neyshabur University of Medical Science. 6(1): 33-43. (In Farsi with English abstract).

WHO. 2011. Joint FAO/WHO food standards programme, codex committee on contaminants in foods. Fifth session. The Hague, the Netherlands. CF/5 INF/1.

Yang Q, Li Z, Lu X, Duan Q, Huang L, Bi J. 2018. A review of soil heavy metal pollution from industrial and agricultural regions in China: Pollution and risk assessment. Science of the Total Environment. 642: 690–700.

Yuanjie D, Weifeng C, Xiaoying B, Fengzhen L, Yongshan W. 2019. Effects of exogenous nitric oxide and 24-epibrassinolide on physiological characteristics of peanut seedling under cadmium stress. Pedosphere. 29(1). 45-59.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.2.7.3]

Investigating of the Phytoremediation of Lead and Cadmium by Indian Mustard Plant (*Brassica juncea*)

Samaneh Ahadi[1], Maryam Rafati[2*], Forough Farsad[3]

1- MSc, Department of Environment, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Marine Science and Technology, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Environment, Islamic Azad University, Bandarabbas Branch, Bandarabbas, Iran.

m_rafati@iau-tnb.ac.ir

Abstract

Lead and cadmium are among the most important heavy metals which have entered the life cycle of the earth as a result of human activities. In this study, in order to evaluate the ability of Indian mustard to uptake heavy metals (cadmium and lead), a survey was performed as randomized complete block design in which each metal was added to the plant in four concentrations zero (a control), 50, 100 and 200 mg/kg soil. The results showed that the highest concentration of lead in the root and shoot (aerial parts) of Indian mustard was 278.4 and 61.8 mg/kg, respectively, in the 200 mg/kg treatment, while the highest amount of cadmium in these two organs was 14.5, and 10.9 mg/kg respectively in the treatment of 100 mg/kg soil. Also, with the increase of lead concentration in the soil, the amount of this element in Indian mustard increased linearly with a high correlation coefficient, and the bio-concentration coefficient of lead in the plant roots was greater than one in all studied treatments. Finally, it was found that Indian mustard can be used as a bio-indicator of lead and stabilized it in its root, but it is not able to stabilize or extract significant amounts of cadmium from soil.

Keywords: Andicator, Bioconcentartion, Heavy metals, Indian mustard, Phytoremediation.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.2.7.3]