مجله ایمنی زیستی

دوره ۱۷، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳

ISSN 2716-9804 الکترونیکی، ISSN 2717-0632 چاپی

بررسی پتانسیل پالایش فلزات سنگین توسط گیاه برنج (*Oryza sativa* L.)

نوع مقاله: مروری 20.1001.1.27170632.1403.17.3.2.4

سجاد شاکرکوهی*، محمد ربیعی

پژوهشگر بخش تحقیقات اصلاح و تهیه بذر، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران

s.shaker@areeo.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۵

صفحه ۳۴-۱۷

چکیده

آلودگی خاک با فلزات سنگین به‌دلیل تأثیر مستقیم آن بر سلامت انسان و محیط‌زیست به یک مشکل اساسی در سراسر جهان تبدیل شده است. از بین تمام تکنیک‌های موجود برای اصلاح محیط‌های آلوده به آلاینده‌های فلزی، گیاه‌پالایی یک رویکرد مقرون‌به‌صرفه و سازگار با محیط‌زیست می‌باشد. گیاه‌پالایی یک استراتژی سبز برای حذف، اصلاح یا استخراج آلاینده‌های فلزی از خاک و آب توسط گونه‌های گیاهی است. به‌منظور بررسی توانایی گیاه برنج برای حذف فلزات سنگین از خاک، مطالعه‌ای به روش مروری بر روی تحقیقات صورت گرفته در زمینه گیاه‌پالایی فلزات سنگین توسط برنج انجام شد. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین سطوح فلزات سنگین در ریشه و اندام هوایی برنج وجود دارد، به‌طوری‌که اغلب فلزات جذب شده به جزء کادمیوم، در ریشه برنج انباشته شدند. برنج در شالیزارهای با آلودگی متوسط کادمیوم، مناسب‌ترین گیاه برای گیاه‌پالایی است. بر این اساس، انباشت کادمیوم در اندام‌های هوایی واریته‌های برنج ایندیکا بسیار بالا گزارش شد، که نشان می‌دهد این واریته‌ها بیشترین واکنش را به گیاه‌پالایی مزارع آلوده به کادمیوم دارند. همچنین بر اساس نتایج تحقیقات، امکان پالایش مس و روی توسط برنج از خاک‌های شالیزاری با سطوح آلودگی کم تا متوسط وجود دارد. با توجه به اینکه برنج سهم قابل توجهی در رژیم غذایی انسان دارد، برای انجام گیاه‌پالایی توسط این گیاه باید ملاحظات بیشتری جهت عدم ورود فلزات سنگین به زنجیره غذایی صورت گیرد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، انباشت، برنج، فلزات سنگین، گیاه‌پالایی

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

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.3.2.4]

مقدمه

آلودگی و انباشت فلزات سنگین در آب و خاک به یک مشکل اساسی در جهان تبدیل شده است (Li et al. 2024). بسیاری از فلزات سنگین به‌دلیل سمی و پایدار بودن و یا تجمع بالا، برای محیط‌زیست و سلامتی انسان خطرناک هستند (Jomova et al. 2025). فعالیت‌های کشاورزی، از جمله دلایل آلودگی محیط‌زیست به عناصر سنگین می‌باشند. کاربرد سموم شیمیایی، استفاده از پساب‌های صنعتی و فاضلاب‌های شهری در آبیاری و کاربرد کودهای آلی و شیمیایی منجر به ورود فلزاتی مانند روی، نیکل، کروم، سرب و کادمیوم به محیط‌زیست می‌شوند (Ahadi et al. 2022; Mohanty and Das, 2023). غلظت عناصر سنگین در خاک‌های کشاورزی به ویژگی‌های خاک، ترکیب و میزان مصرف سموم و کودهای شیمیایی بستگی دارد (Alengebawy et al. 2021). محققان گزارش کردند که افزایش سطوح فلزات سنگین نظیر سرب، کبالت، نیکل، کروم و کادمیوم در خاک‌های شالیزاری به‌دلیل استفاده فراوان و غیراصولی از نهاده‌های شیمیایی است (Mahmud et al. 2021).

نتایج پژوهش‌های مختلف نشان‌دهنده افزایش محتوای کادمیوم در خاک به‌دلیل استفاده از کودهای فسفاته است (Liang et al. 2017; Rashid et al. 2023; Hu et al. 2024). بر همین اساس، گزارش شده که ۴۵ درصد از کل کادمیوم ورودی به خاک‌های کشاورزی در اروپا ناشی از کاربرد کودهای فسفاته است (Marini et al. 2020). در بین کودهای شیمیایی، کودهای پتاسیمی نسبت به کودهای فسفاته حاوی غلظت کمتری از فلزات سنگین هستند. همچنین، کودهای نیتروژنه در مقایسه با دو کود دیگر دارای کمترین ناخالصی از فلزات سنگین می‌باشند. در بین کودهای کم‌مصرف نیز، کودهای آهن و روی بیشترین غلظت فلزات سنگین را دارند (Rashid et al. 2023). گزارش شده که میزان ورود سالانه کادمیوم، کروم، سرب و نیکل در چین از طریق کودهای مخلوط (NPK) به‌ترتیب ۰/۷۳، ۱/۲۸، ۹/۶ و ۱/۴ گرم در هکتار است (Luo et al. 2009). سموم شیمیایی از دیگر منابع فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی هستند. در گذشته انواعی از آفت‌کش‌ها به‌طور گسترده در کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گرفتند که حاوی مقادیر قابل توجهی سرب، روی، مس و جیوه بودند (Lewis et al. 2016). همچنین، استفاده طولانی مدت از کودهای دامی، کمپوست و لجن فاضلاب می‌تواند منجر به تجمع عناصر سنگین در سطوح سمی در اراضی کشاورزی شود (Kissel et al. 2017). غلظت فلزات سنگین در اصلاح‌کننده‌های خاک در جدول ۱ نشان داده شده است.

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

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.3.2.4]

جدول ۱- غلظت فلزات سنگین ($mg\ kg^{-1}$) در اصلاح‌کننده‌های خاک (Rashid et al. 2023)

فلزات	لجن فاضلاب	کمپوست	کود حیوانی	کود فسفاته	کود نیتراته	آهک
Cr	۸/۴۰ –۶۰۰	۱/۸–۴۱۰	۱/۱–۵۵	۶۶–۲۴۵	۳/۲–۱۹	**۱۰–۱۵**
Ni	۶–۵۳۰۰	۰/۹–۲۷۹	۲/۱–۳۰	۷–۳۸	۷–۳۴	**۱۰–۲۰**
Cu	۵۰–۸۰۰۰	۱۳–۳۵۸۰	۲–۱۷۲	۱–۳۰۰	–	**۲–۱۲۵**
Zn	۹۱–۴۹۰۰۰	۸۲–۵۸۹۴	۱۵–۵۵۶	۵۰–۱۴۵۰	۱–۴۲	**۱۰–۴۵۰**
Cd	<۱–۳۴۱۰	۰/۰۱–۱۰۰	۰/۱–۰/۸	۰/۱–۱۹۰	۰/۰۵–۸/۵	**۰/۰۴–۰/۱**
Pb	۲–۷۰۰۰	۱/۳–۲۲۴۰	۰/۴–۲۷	۴–۱۰۰۰	۲–۱۲۰	**۲۰–۱۲۵۰**

فلزات سنگین برخلاف آلاینده‌های آلی که ممکن است به‌تدریج در طبیعت از طریق فرآیندهای زیستی یا شیمیایی تجزیه شوند، تجزیه‌ناپذیر هستند (Abdel-Rahman, 2022). به‌دلیل نیمه‌عمر زیستی طولانی فلزات سنگین، تجمع آن‌ها در بدن موجودات زنده می‌تواند به بیش از حد مجاز رسیده و منجر به بیماری شوند (Mitra et al. 2022). بعضی از فلزات سنگین مانند منگنز، روی، مس، آهن، کبالت و مولیبدن برای رشد موجودات زنده ضروری هستند و برخی همچون نیکل در سیستم آنزیمی موجودات زنده نقش دارند و برای گیاهان ضروری هستند. در این بین فلزاتی مانند اورانیوم، کروم، سرب، کادمیوم، نقره و جیوه سمی می‌باشند (Munir et al. 2022). میزان تحرک‌پذیری و قابلیت جذب عناصر سنگین در خاک متفاوت است. سمیت و فراهمی‌زیستی یک عنصر سنگین به حلالیت و واکنش‌پذیری آن که توسط شکل شیمیایی عنصر در خاک تعیین می‌شود، بستگی دارد (Briffa et al. 2020). بیشتر بودن میزان ورود فلزات سنگین به خاک نسبت به خروج آن‌ها به‌وسیله جذب گیاهی و یا آب‌شویی، سبب انباشته شدن تدریجی این فلزات در خاک می‌شود (Campillo-Cora et al. 2020).

عوامل مؤثر بر تجمع فلزات سنگین در خاک و گیاه

فلزات سنگین از نظر قابلیت دسترسی در خاک به سه بخش قابل دسترس، غیرقابل دسترس و قابل تعویض تقسیم‌بندی می‌شوند (Ashraf et al. 2019). بخش قابل تعویض، حالتی است که فلز به مواد آلی، اکسیدهای آهن و یا کربنات‌ها متصل است و توسط گیاه قابل استخراج نیست (Shen et al. 2022). جذب و تجمع فلزات سنگین در خاک و گیاه به عواملی مانند بافت خاک، محتوای ماده آلی، pH، پتانسیل ردوکس (Eh)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) و ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه

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

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.3.2.4]

بستگی دارد (Moulick et al. 2021). تحقیقات نشان داده که pH مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک است (Ashraf et al., 2019; Javed et al. 2019). به‌طور کلی، یک رابطه معکوس بین فراهمی‌زیستی فلزات سنگین و pH خاک وجود دارد (Zeng et al. 2017; Shen et al. 2022). پتانسیل ردوکس خاک به‌طور قابل‌توجهی بر جذب فلزات سنگین توسط گیاه تأثیرگذار است. فرآیندهایی مانند چرخه بیوژئوشیمیایی گوگرد و جذب اکسی هیدروکسیدهای آهن و منگنز که بر حلالیت فلزات مؤثر هستند، به شدت تحت تأثیر پتانسیل ردوکس قرار می‌گیرند (Chen et al. 2018). در خاک‌های حاوی مقادیر زیاد ماده آلی، تحرک و فراهمی‌زیستی فلزات سنگین کاهش می‌یابد که دلیل این امر به وجود گروه‌های عاملی مانند کربوکسیل و هیدروکسید در ماده آلی، تشکیل کمپلکس و در نتیجه میل به جذب بیشتر فلزات توسط ماده آلی نسبت داده می‌شود (Yin et al. 2017; Cao et al. 2024).

گیاه‌پالایی

روش‌های فیزیکی و شیمیایی زیادی جهت پالایش و غلبه بر مشکل سمیت فلزات سنگین وجود دارد، اما اغلب این روش‌ها به‌دلیل هزینه بالا و ایجاد آلودگی ثانویه چندان مؤثر و عملی نیستند (Shaker Kouhi and Rabiee, 2023). بنابراین، ارائه راهکارهای جایگزین ایمن و کارآمد که افزون بر رفع آلودگی، کم‌هزینه بوده و اثرات زیان‌باری بر محیط‌زیست نداشته باشند، ضروری است. در دهه‌های اخیر، گیاه‌پالایی به‌عنوان یک فناوری مقرون‌به‌صرفه و سازگار با محیط‌زیست با موفقیت برای اصلاح خاک‌های آلوده به آلاینده‌های مختلف استفاده شده است (Yan et al. 2018; Lavanya et al. 2024). گیاه‌پالایی یکی از روش‌های نویدبخش در پاک‌سازی محیط‌های آلوده به فلزات سنگین است که در این روش برای پالایش آلاینده‌ها، از گیاهان استفاده می‌شود (Lavanya et al. 2024). تکنیک گیاه‌پالایی مطلوب میکروارگانیسم‌های خاک، افزایش‌دهنده تنوع زیستی و منشأ گرفته از انرژی نور خورشید است. این فناوری قادر به حفظ حاصلخیزی خاک پس از زدودن فلزات سنگین است (Ashraf et al. 2019).

گیاه‌پالایی در مقایسه با سایر تکنیک‌های پالایش آلاینده‌ها ازنظر اقتصادی کارآمدتر است، زیرا این روش ساده و بدون زحمت بوده و نیاز به نصب تجهیزات خاصی ندارد. بنابراین، در مکان‌هایی که سایر تکنیک‌های رایج ناکارآمد و بسیار پرهزینه هستند، این فرآیند می‌تواند به‌خوبی مورد استفاده قرار گیرد (Shaker Kouhi, 2014; Leguizamo et al. 2017). ریشه‌ها ۳۰ تا ۶۰

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

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.3.2.4]

درصد از کربن خالص فتوسنتزی گیاه را دریافت می‌کنند که ۱۰ تا ۲۰ درصد از آن را به شکل اسیدهای آلی در محیط ریزوسفر آزاد می‌کنند. این ترکیبات از طریق تحریک جامعه میکروبی تجزیه‌کننده آلاینده‌ها، سبب پالایش خاک‌های آلوده می‌شوند (Alotaibi et al. 2021). با وجود این، میزان مقاومت گیاه و ترشحات ریشه در خاک‌های آلوده برای گیاهان و گونه‌های مختلف، متفاوت است. برای موفقیت گیاه‌پالایی، گونه‌های گیاهی باید طوری انتخاب شوند که علاوه بر توانایی رشد در محیط‌های آلوده، قادر به پالایش فلزات و یا تغییر شکل آن‌ها به‌صورت غیرسمی باشند. سرعت بالای رشد و تولید زیست‌توده زیاد، توانایی تجمع چند فلز باهم، تجمع فلز در زمان کوتاه و توانایی انتقال فلزات جذب شده از ریشه به اندام هوایی، از دیگر ویژگی‌های گیاهان مناسب گیاه‌پالایی می‌باشد (Biswal, 2022).

علاوه بر مزایای ذکر شده، گیاه‌پالایی دارای معایب و محدودیت‌هایی نیز می‌باشد که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (Di Stasio et al. 2025):

۱- سرعت پایین این فرآیند در مقایسه با روش‌های فیزیکی و شیمیایی

۲- گیاهان فراانباشته‌گر دارای ریشه‌های کم‌عمق، تنها قادر به پاکسازی خاک یا منابع آبی سطحی می‌باشند

۳- خطر آلوده‌شدن زنجیره غذایی توسط گیاهان جذب کننده فلزات سمی

۴- آلودگی هوا از طریق تبخیر ترکیبات آلاینده

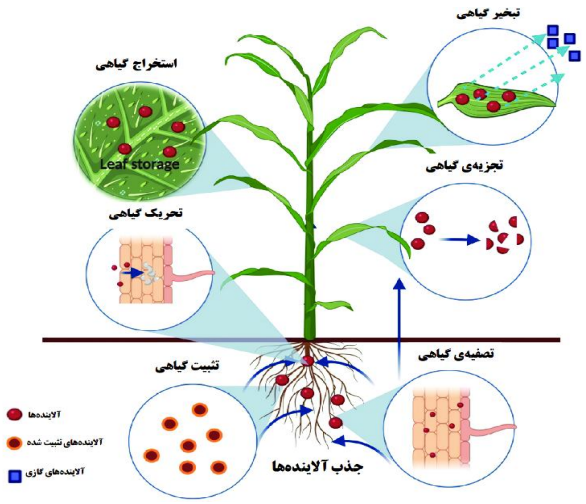
۵- احتمال برگردانده شدن آلاینده به محیط، به‌ویژه خاک، در اثر تجزیه‌زیستی گیاهان

مکانیسم‌های گیاه‌پالایی

گیاه‌پالایی اساساً شامل شش مکانیسم مختلف است (شکل ۱)، اگرچه ممکن است بیش از یک مکانیسم به‌طور هم‌زمان توسط یک گیاه استفاده شود.

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

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.3.2.4]



شکل ۱- شماتیک مکانیسم‌های گیاه‌پالایی (Lavanya et al. 2024)

در تثبیت گیاهی، گیاهان به‌جای خارج نمودن آلاینده‌ها از خاک، با جذب عناصر در درون یا در سطح ریشه‌های خود آن‌ها را تثبیت و غیرمتحرک می‌سازند. هدف اصلی در این روش جلوگیری از تحرک آلاینده‌ها و محدود کردن انتشار آن‌ها در خاک است (Lavanya et al. 2024). تصفیه گیاهی دربرگیرنده پالایش آلاینده‌های فلزی موجود در منابع آبی و فاضلاب‌ها به‌وسیله گیاه از طریق جذب توسط ریشه، جذب سطحی روی ریشه و تجمع و رسوب این آلاینده‌ها در داخل ریشه است (Ali et al. 2013). تحریک گیاهی به معنای تخریب و افزایش تجزیه آلاینده‌های آلی در خاک از طریق افزایش فعالیت میکروبی در محیط ریزوسفری گیاه است. در واقع ترشحات ریشه گیاه، شرایط لازم برای فعالیت ریزجانداران خاک را فراهم می‌کند (Lavanya et al. 2024). در تجزیه گیاهی برخی از فعالیت‌های متابولیکی گیاهان باعث کاهش و حذف آلاینده‌ها از طریق شکستن، تغییر شکل و تبدیل آن‌ها به ترکیبات فرار می‌شود. طی این فرآیند، مواد آلی در بافت‌های گیاهی به مولکول‌های ساده‌تر تجزیه می‌شوند (Naeem et al. 2020). استخراج گیاهی شامل جذب آلاینده‌های فلزی موجود در خاک به‌وسیله ریشه و انتقال آن‌ها به بخش‌های هوایی گیاه است. در این روش ترجیحاً از گیاهان فرا انباشتگر استفاده می‌شود که توانایی ذخیره غلظت‌های بالایی از فلزات خاص (۰/۰۱ تا ۱ درصد وزن خشک، بسته به نوع فلز) را در قسمت‌های هوایی خود دارند (Lavanya et al. 2024). مکانیسم تبخیر گیاهی به معنای کاربرد گیاهان جهت استخراج فلزاتی خاص مانند آرسنیک، جیوه و سلنیوم از خاک و سپس انتشار آن‌ها به شکل فرار در اتمسفر است (Mahar et al. 2016).

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

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.3.2.4]

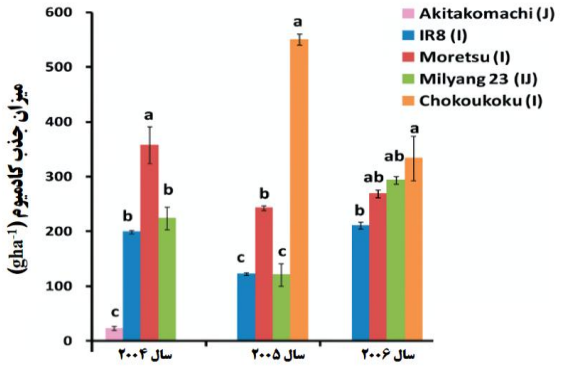
پالایش فلزات سنگین توسط برنج

برنج (*Oryza sativa* L.) یکی از مهم‌ترین و پرمصرف‌ترین غلات در سطح جهان به‌ویژه در کشورهای آسیایی به‌شمار می‌رود (Zhao et al. 2020). برنج با تولید سالانه بیش از ۷۰۰ میلیون تن، غذای اصلی بیش از نیمی از جمعیت جهان را تشکیل می‌دهد. حدود ۹۰ درصد از برنج‌های تولیدی در جهان به کشورهای چین، هند، تایلند، ویتنام، اندونزی و میانمار اختصاص دارد (Mohidem et al. 2022). با توجه به روند روبه رشد جمعیت جهان و افزایش تقاضای برنج در سال‌های آینده و از طرفی افزایش روزافزون آلودگی منابع آب و خاک به فلزات سنگین، کشت برنج در مناطق آلوده به آلاینده‌های فلزی اجتناب‌ناپذیر به‌نظر می‌رسد. از این‌رو، برنج به‌دلیل قابلیت بالای جذب و تجمع فلزات سنگین، می‌تواند در مطالعات گیاه‌پالایی مورد توجه قرار گیرد (Wang et al. 2015). خاک‌های شالیزاری به‌علت شرایط غرقابی طولانی مدت، زهکشی و کشت متوالی برنج، در مقایسه با سایر خاک‌ها خصوصیات متفاوتی دارند. به همین دلیل، انتقال و تجمع فلزات سنگین در اکوسیستم شالیزار پیچیده است (Shaker Kouhi and Rabiee, 2024). در این زمینه، تحقیقات انجام شده در شرایط میدانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا یافته‌های چنین مطالعاتی می‌تواند به‌طور مؤثر در ارزیابی وضعیت آلودگی اراضی شالیزاری به فلزات سنگین و میزان انباشت آن‌ها در گیاه برنج مورد استفاده قرار گیرند. در این مطالعه سعی شده است تا توانایی پالایش فلزات سنگین توسط برنج مورد بررسی قرارگرفته و به تحقیقات انجام شده در این خصوص پرداخته شود.

کارایی برنج در گیاه‌پالایی فلزات سنگین توسط محققان مختلف گزارش شده است (Pajevic et al. 2016; Yan et al. 2020; Olawale et al. 2021). نتایج بررسی ایشیکاوا و همکاران (۲۰۰۶) نشان داد که در اراضی شالیزاری با شرایط زهکشی مناسب، برنج مناسب‌ترین گیاه برای استخراج گیاهی فلز کادمیوم است. محققان گزارش کردند که ارقام برنج ایندیکا شامل IR8 و MILYANG 23 (هیبرید ژاپونیکا-ایندیکا)، مقادیر زیادی کادمیوم را در اندام‌های هوایی خود انباشته می‌کنند (Arao and Ae, 2003). در آزمایشی گزارش شد که کشت برنج رقم MILYANG 23 در خاک آلوده به کادمیوم از طریق انباشت ۱۰ تا ۱۵ درصد کادمیوم در اندام هوایی، منجر به کاهش غلظت این فلز در خاک شد (Murakami et al. 2007). در پژوهشی دیگر گزارش شد که کشت ارقام برنج ایندیکا به مدت دو سال، محتوای کادمیوم کل خاک را تا ۳۸ درصد کاهش داد (شکل ۲). به‌منظور ارزیابی کارایی استخراج گیاهی، رقم ژاپونیکا متعاقباً در همین مزرعه کشت

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

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.3.2.4]



شکل ۲- میزان جذب کادمیوم در اندام هوایی ارقام برنج ایندیکا (Murakami et al. 2009)

شد. نتایج نشان داد که محتوای کادمیوم در دانه این رقم تا ۴۷ درصد کاهش یافت (Murakami et al. 2009).

نتایج بررسی پتانسیل گیاه‌پالایی کادمیوم با استفاده از دو رقم برنج ایندیکا (MORETSU و IR-8) به مدت دو سال نشان داد که غلظت کادمیوم در خاک در مقایسه با غلظت اولیه آن، ۱۸ درصد کاهش پیدا کرد. علاوه بر این، غلظت کادمیوم در دانه‌های برنج رقم ژاپونیکا که سال بعد در این مزرعه کشت شده بودند، در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت (Ibaraki et al. 2009). بررسی استخراج گیاهی فلز کادمیوم توسط ارقام برنج نشان داد که مقدار کل جذب کادمیوم توسط ارقام CHOKOUKOKU و IR8 پس از یک دوره چهار ساله به‌ترتیب ۸۲۲ و ۵۴۵ گرم در هکتار بود. پس از استخراج گیاهی توسط ارقام برنج، غلظت کل کادمیوم خاک در مقایسه با غلظت اولیه آن تقریباً ۳۵ درصد کاهش یافت (Ibaraki et al. 2014). در آزمایشی دیگر گزارش شد که در کشت مخلوط رقم برنج کم انباشتگر Zhuliangyou 189 (Z189) با رقم برنج بیش انباشتگر Changxianggu (CXG) کادمیوم، میزان حذف کادمیوم از خاک آلوده ۴۴/۱ برابر بیشتر از الگوی تک‌کشتی بود. رقم CXG با جذب بیشتر کادمیوم سبب حذف کادمیوم اضافی و بهبود عملکرد دانه Z189 شد (Xu et al. 2021).

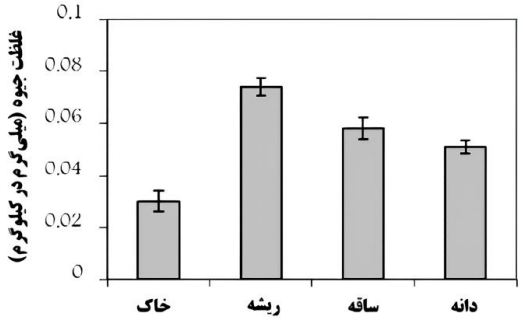
محققان در ارزیابی کارایی گیاه‌پالایی کادمیوم و روی توسط برنج با استفاده از باکتری (*Bacillus* sp. ZC3-2-1) به این نتیجه رسیدند که تلقیح با باکتری، فراهمی‌زیستی کادمیوم و روی در خاک را به‌ترتیب ۲/۳۹ و ۳۲ درصد کاهش داد و موجب افزایش استخراج گیاهی این فلزات به‌ترتیب به‌میزان ۲/۴۸ و ۸ درصد شد. علاوه بر این، ZC3-2-1 از طریق افزایش جمعیت باکتری‌های مفید خاکزی، کاهش تحرک کادیموم و روی در خاک، افزایش فعالیت‌های آنزیمی و در نهایت افزایش رشد و بیوماس برنج، سبب افزایش کارایی گیاه‌پالایی شد (Liu et al. 2022). نتایج آزمایشی

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

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.3.2.4]

دیگر نشان داد که باکتری *Bacillus cereus* منجر به کاهش سمیت کادمیوم و افزایش راندمان گیاه‌پالایی برنج تحت تنش کادمیوم شد (Jan et al. 2019).

نتایج بررسی جذب جیوه از خاک آلوده توسط برنج نشان داد که این گیاه از قابلیت بالایی برای جذب جیوه از خاک برخوردار است و با توجه به‌میزان ضریب تجمع زیستی بالاتر از یک (۴۶/۲) می‌تواند این فلز را در خود انباشته کند (Ahmadipour et al. 2013a). بر اساس این نتایج، بیشترین و کمترین غلظت جیوه به‌ترتیب در ریشه و دانه برنج مشاهده شد (شکل ۳). در مطالعه‌ای لیو و همکارن (۲۰۰۷) به بررسی جذب و انتقال فلزات سنگین از جمله جیوه در برنج پرداختند و نشان دادند که این گیاه از پتانسیل بالایی برای تثبیت‌سازی گیاهی برخوردار است.



شکل ۳- میانگین غلظت جیوه در خاک و اندام‌های مختلف برنج (Ahmadipour et al. 2013)

در مطالعه‌ای پتانسیل استخراج گیاهی فلزات مس، سرب و روی توسط گیاهان برنج، سویا و ذرت در دو نمونه خاک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که غلظت روی در ریشه ارقام برنج در هر دو نمونه خاک نسبت به سایر گیاهان مورد مطالعه بیشتر بود. بیشترین غلظت مس در ریشه، به برنج رقم MILYANG 23 مربوط بود (جدول ۲). برنج رقم MILYANG 23 در حدود ۵۶ درصد از محتوای کل مس در نمونه‌های خاکی را کاهش داد. نتایج این تحقیق نشان داد که ذرت و برنج رقم MILYANG 23 از پتانسیل بالایی برای استخراج گیاهی فلز مس برخوردار هستند (Murakami and Ae, 2009).

جدول ۲- میزان جذب فلزات مس، سرب و روی توسط ریشه و اندام هوایی گیاهان (Murakami and Ae, 2009)

گیاه	نوع خاک	جذب توسط ریشه ($mg\ pot^{-1}$)			جذب توسط اندام هوایی ($mg\ pot^{-1}$)		
		مس	سرب	روی	مس	سرب	روی
ذرت		۷۰۴/۱±۲۷/۷a	۱۳۲۵/۸±۷۷/۶a	۶۵۱/۹±۳۰/۵c	۸۸۶/۸±۷۴/۰a	–	۷۶۲/۲±۶۸/۱d
سویا (Enrei)		۲۵۵/۵±۱۲/۲c	۴۲۷/۰±۱۶/۵bc	۳۷۹/۹±۲۷/۸d	۳۹۸/۷±۱۹/۳b	۱۵۰/۵±۱۸/۲b	۲۶۲۴/۸±۸۷/۹b

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

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.3.2.4]

سویا (Suzuyutaka)	Andosol	۱۹۶/۹±۶/۱c	۷۳۷/۲±۲۶/۵bc	۳۱۱/۷±۱۹/۹d	۴۴۸/۱±۲۱/۶b	۲۴۳/۸±۱۳/۴a	۳۱۹۸/۲±۱۰۴/۸a
برنج (Nipponbare)		۳۸۸/۵±۷/۴b	۳۱۴/۲±۱/۹c	۱۰۷۷/۱±۳۲/۳a	۳۳۱/۹±۲۳/۸b	۸۷/۹±۱۲/۷c	۱۱۹۶/۸±۱۱۲/۱d
برنج (Milyang 23)		۶۸۲/۲±۱۷/۳a	۵۰۲/۸±۱۳/۹b	۸۶۲/۹±۱۷/۳b	۷۵۱/۹±۴۸/۳a	۵۸/۲±۹/۳c	۱۹۹۷/۱±۱۹۶/۰c
ذرت		۱۴۴/۵±۸/۰c	۴۴۵/۸±۲۰/۵a	۱۱۴۳/۳±۶۷/۸b	۶۷۷/۸±۴۱/۱a	–	۲۱۱۳/۷±۱۱۳/۱d
سویا (Enrei)		۷۷/۹±۶/۵d	۲۰۶/۴±۱۶/۸b	۱۰۵۰/۱±۳۵/۳bc	۲۷۰/۴±۱۴/۸c	۹۰/۳±۵/۷a	۶۲۹۵/۸±۹۱/۶a
سویا (Suzuyutaka)	Fluvisol	۵۶/۰±۴/۲d	۹۴/۵±۱/۲c	۸۴۵/۱±۶۰/۲c	۲۴۷/۰±۵/۹c	۷۹/۴±۳/۸a	۶۳۷۴/۲±۱۶۳/۵a
برنج (Nipponbare)		۲۵۰/۲±۱۴/۵b	۱۳۱/۳±۵/۱c	۳۴۴۴/۱±۱۳/۹c	۵۰۶/۶±۲۰/۳b	۴۵/۲±۵/۲b	۴۱۰۶/۶±۶۶/۰c
برنج (Milyang 23)		۳۱۹/۷±۲/۷a	۱۴۴/۸±۷/۳c	۳۶۵۹/۹±۷۵/۳a	۶۲۲/۰±۲۷/۷ab	۳۹/۵±۵/۲b	۴۸۴۴/۱±۲۴۹/۴b

محققـان در بررسـی گیاه‌پـالایی کـروم، آهـن و نیکل توسط برنج گـزارش کردنـد کـه بـرنج ایـن فلزات را تا سطح ۲۰۰ میلی‌گـرم بـر کیلـوگرم در ریشه و اندام هوایی تجمع داده اسـت. همچنـین، این مطالعـه نشـان داد کـه غلظـت بـالاتر از ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سبب تجمع بیش از حد مجاز این فلزات در دانه برنج می‌شود که برای مصـرف انسان ایمن نیست (Singh Katiyar et al. 2022). لیـو و همکـاران (۲۰۰۳) در مطالعـه‌ای بـر روی جـذب و انتقـال سـرب در ارقـام مختلـف بـرنج گزارش کردند که بیشترین و کمترین مقدار تجمع سـرب بـه‌ترتیب در ریشـه و دانـه بـرنج بـود، به‌طوری‌که انتقال سرب از ریشه به دانه به سرعت کاهش یافت.

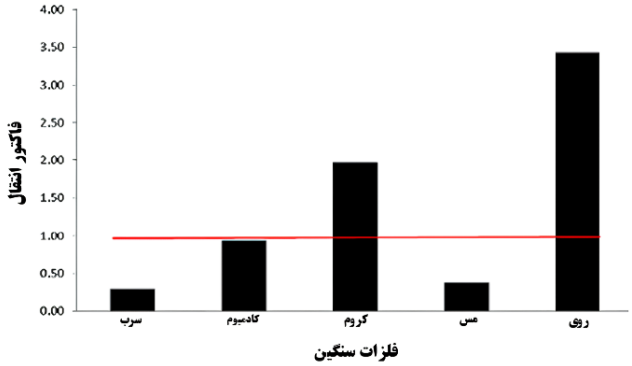
در پژوهشی اثر آبیاری با آب بازیافتی بر انباشت و انتقال فلزات سـنگین (کـادمیوم، مـس، سـرب، روی، منگنز، آهن و کروم) در خاک و گیـاه بـرنج در مالزی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که به‌جزء منگنز که در برگ‌ها تجمع می‌یابد، دیگر فلزات عمـدتاً در ریشـه بـرنج انباشـته می‌شـوند. کادمیوم و مس در مقایسه با سایر فلزات، بیشترین تجمع زیستی را داشـتند (Alrawiq et al. 2014). نتایج بررسی فاکتورهای انباشتگی و انتقـال نیکـل در بـرنج نشـان داد کـه ضـرایب انتقـال و تجمـع زیستی نیکل کمتر از یک بود. بنابراین، این گیاه از قابلیت پایینی برای جذب این فلز برخوردار است. ترتیب انباشتگی نیکل در اندام‌های برنج به‌صورت ریشه > سـاقه > دانـه بـود (Ahmadipour et al. 2013b).

محققـان در ارزیـابی تجمـع فلـزات سـنگین (کادمیوم، سـرب، مـس، روی و کـروم) در بـرنج گزارش کردند که همبسـتگی بـالایی بـین غلظـت روی و کـادمیوم در خـاک و میـزان انباشـت ایـن عناصـر در بـرنج وجـود دارد. بـر اسـاس نتـایج به‌دست آمـده، فـاکتور غنی‌سـازی (Enrichment Factor, EF) برای تمام فلزات مورد مطالعه بیشتر

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

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.3.2.4]

از یک بود که این موضوع نشان می‌دهد که برنج یک گیاه فرانباشتگر با پتانسیل بالا برای جذب این فلزات از خاک است. با توجه به این فاکتور، سرب، کادمیوم و مس بیشتر در ریشه و کروم و روی، بیشتر در اندام هوایی برنج تجمع یافتند (Payus and Talip, 2014). همچنین، فاکتور انتقال (Translocation Factor, TF) نشان داد که برنج قادر به انتقال روی و کروم از ریشه به بخش‌های هوایی است (شکل ۴). سات‌پتی و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که فاکتور غنی‌سازی کادمیوم، سرب، مس، منگنز، روی و کروم در برنج بیشتر از یک بود که این موضوع بیانگر توانایی بالای برنج برای جذب این فلزات از خاک است. محققان در بررسی تجمع سرب در گیاه برنج گزارش کردند که سرب، بیشتر در ریشه تجمع یافته و کمتر به اندام هوایی (۷/۱۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) انتقال می‌یابد. براساس نتایج این آزمایش، اگرچه برنج می‌تواند مقدار مشخصی سرب را انباشته کند، اما به نظر نمی‌رسد که برای تمیز کردن خاک آلوده به سرب مناسب باشد (Panich-pat and Srinives, 2009).



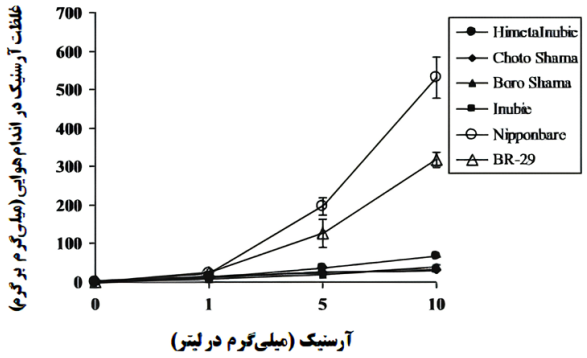
شکل ۴- فاکتور انتقال فلزات سنگین از ریشه به اندام هوایی گیاه برنج (Payus and Talip, 2014)

هی و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی کارایی برنج در پالایش خاک‌های شالیزاری آلوده به آرسنیک گزارش کردند که ۹۳ روز پس از کشت برنج، تجمع آرسنیک در ریشه‌های این گیاه ۶۸/۱ میلی‌گرم در هر بوته بود. ۹۵ درصد از کل آرسنیک جذب شده توسط برنج در ریشه‌ها تجمع یافت. بر اساس نتایج این آزمایش، کشت برنج باعث حذف ۱۳۳ میلی‌گرم آرسنیک در هر مترمربع از اراضی شالیزاری شد. نتایج بررسی توانایی گیاه‌پالایی آرسنیک توسط گونه‌های برنج و علف هرز سوروف نشان داد که بیشترین غلظت آرسنیک در ریشه این گیاهان مشاهده شد. غلظت آرسنیک در اندام‌های هوایی ارقام برنج ژاپونیکا (NIPPONBARE) و ایندیکا (BR-29) بیشتر از

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

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.3.2.4]

گونه‌های سوروف بود، که نشان می‌دهد جابجایی آرسنیک از ریشه به اندام هوایی ارقام برنج نسبت به گونه‌های سوروف بیشتر است (شکل ۵). مقادیر فاکتور تجمع زیستی برای هر دو رقم برنج بالاتر از یک بود، هرچند این مقدار برای رقم NIPPONBARE بیشتر بود. بر این اساس، توانایی ارقام برنج برای جذب و انتقال آرسنیک بیشتر از سوروف بود (Sultana et al. 2015).



شکل ۵- غلظت آرسنیک در اندام هوایی گونه‌های برنج و سوروف

نتایج بررسی گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به نفت خام با استفاده از دو رقم برنج نشان داد که سیستم ریزوسفری متراکم ریشه برنج از طریق تحریک جمعیت باکتری‌ها و قارچ‌ها باعث تجزیه هیدروکربن‌های نفتی از خاک شد. بر این اساس، برنج (لاین ۲۱) از پتانسیل بالایی برای گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به نفت‌خام برخوردار است (Morales-Guzman et al. 2022).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که غلظت فلزات سنگین در اندام‌های مختلف برنج، همبستگی بالایی با غلظت قابل جذب این عناصر در خاک دارد. تفاوت معنی‌داری بین غلظت فلزات در اندام هوایی و ریشه برنج مشاهده شد. همچنین، ریشه برنج توانایی بالاتری در تجمع فلزات در مقایسه با ساقه، برگ و دانه دارد. این موضوع بیانگر آن است که در گیاه برنج ریشه به‌عنوان مانعی برای انتقال فلز عمل کرده و از این‌رو اثر محافظت کننده‌ای برای دانه در برابر آلودگی بیشتر فلزات سنگین دارد. بر اساس نتایج تحقیق، برنج در شرایط زهکشی مناسب شالیزار، مناسب‌ترین گیاه برای استخراج گیاهی کادمیوم است.

موفقیت پالایش فلزات سنگین با استفاده از گیاه برنج در عمل نیاز به توسعه ارقامی دارد که علاوه بر ویژگی‌های زراعی مطلوب، از ظرفیت انباشته کنندگی بالایی برخوردار باشند. برخی از واریته‌های برنج اینديکا مانند IR8 و

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

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.3.2.4]

MILYANG23 از طریق زیست‌توده بالا و به‌دلیل اینکه می‌توانند کادمیوم را تا سطوح متوسط در اندام‌های هوایی خود انباشته کنند، به‌عنوان استخراج‌کننده‌های گیاهی بالقوه برای شالیزارهای آلوده به این فلز معرفی شدند. با توجه به این‌که در شرایط تنش فلزات سنگین، گیاه برنج علاوه بر ریشه، این فلزات را در بخش‌های هوایی خود انباشته می‌کند، در صورت استفاده از این گیاه در گیاه‌پالایی باید اطمینان حاصل شود که غلظت فلزات در دانه برنج از حد مجاز بالاتر نرود تا از خطر ورود آن‌ها به زنجیره غذایی جلوگیری شود. برهمین اساس، جهت افزایش کارایی گیاه‌پالایی توسط گیاه برنج و کاهش خطر ورود فلزات سنگین به زنجیره غذایی راهکارهای زیر پیشنهاد می‌گردد.

۱- اصلاح و انتخاب ارقام مناسب برنج برای افزایش پتانسیل گیاه‌پالایی

۲- استفاده از کلات کننده‌ها و باکتری‌های محرک رشد جهت افزایش کارایی گیاه‌پالایی

۳- پایش میزان غلظت فلزات سنگین در دانه برنج بر اساس حداکثر غلظت مجاز توصیه شده هر فلز توسط سازمان جهانی بهداشت

۴- تلفیق گیاه‌پالایی با روش‌های مدیریت زراعی مانند آبیاری تناوبی جهت کاهش سطوح فلزات سنگین در خاک‌های شالیزاری و انتقال آن به دانه برنج

۵- تناوب کشت ارقام برنج کم انباشته کننده با ارقام برنج بیش انباشته کننده فلزات سنگین

۶- کشت گیاهان فراانباشتگر فلزات سنگین (به‌ویژه گیاهان غیرزراعی) پس از برداشت برنج

فهرست منابع

References

Abdel-Rahman G. 2022. Heavy metals, definition, sources of food contamination, incidence, impacts and remediation: A literature review with recent updates. Egyptian Journal of Chemistry. 65(1): 419-437. https://doi.org/10.21608/ejchem.2021.80825.4004.

Ahadi S, Rafati M, Farsad F. 2022. Investigating of the phytoremediation of lead and cadmium by Indian mustard plant (*Brassica juncea*). Journal of Biosafety. 15(2): 1-18.

Ahmadipour F, Ghasempouri SM, Bahramifar N. 2013a. Absorption of mercury from polluted soil by rice plant (case study: Farms of Amol Industrial Suburban Area). Journal of Water and Wastewater. 24(1): 69-74. (In Farsi with English abstract).

Ahmadipour F, Bahramifar N, Ghasempouri SM. 2013b. Determination of bioconcentration and transfer factors of nickel in rice plant cultivated in vicinity of Amol Industrial Town. Environmental Sciences. 10(2): 83-90. (In Farsi with English abstract).

Alengebawy A, Abdelkhalek ST, Qureshi SR, Wang MQ. 2021. Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications. Toxics. 9(3): 42. https://doi.org/10.3390/toxics9030042.

Ali H, Khan E, Sajad MA. 2013. Phytoremediation of heavy metals—concepts and applications. Chemosphere. 91(7): 869-881. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075.

Alotaibi F, Hijri M, St-Arnaud M. 2021. Overview of approaches to improve rhizoremediation of

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

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.3.2.4]

petroleum hydrocarbon-contaminated soils. Applied Microbiology. 1: 329-351. https://doi.org/10.3390/applmicrobiol1020023.

Alrawiq N, Khairiah J, Talib ML, Ismail BS, Anizan I. 2014. Accumulation and translocation of heavy metals in soil & paddy plant samples collected from rice fields irrigated with recycled and non-recycled water in MADA Kedah, Malaysia. International Journal of ChemTech Research. 6(4): 2347-2356.

Arao T, Ae N. 2003. Genotypic variations in cadmium levels of rice grain. Soil Science and Plant Nutrition. 49(4): 473-479. https://doi.org/10.1080/00380768.2003.10410035.

Ashraf S, Ali Q, Zahir ZA, Ashraf S, Asghar HN. 2019. Phytoremediation: Environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils. Ecotoxicology and Environmental Safety. 174: 714-727. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.02.068.

Briffa J, Sinagra E, Blundell R. 2020. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. Heliyon. 6(9): e04691. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691.

Biswal T. 2022. Phytoremediation of soils contaminated with heavy metals: techniques and strategies. In: Malik JA. (Eds.) Advances in bioremediation and phytoremediation for sustainable soil management: Principles, monitoring and remediation. Springer, Switzerland. 31-55. https://doi.org/10.1007/978-3-030-89984-4_3.

Cao X, Hu X, Efrizal E, Hayati I, Yang J, Tan C, Zhang M. 2024. Tradeoffs among yield, cadmium bioavailability, nitrous oxide emission and bacterial community stability: Effects of iron-modified woody peat and nitrification inhibitors on soil-vegetable systems. Journal of Environmental Management. 372: 123379. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123379.

Campillo-Cora C, Conde-Cid M, Arias-Estevez M, Fernandez-Calvino D, Alonso-Vega F. 2020. Specific adsorption of heavy metals in soils: individual and competitive experiments. Agronomy. 10: 1113. https://doi.org/10.3390/agronomy10081113.

Chen Q, Lu X, Guo X, Pan Y, Yu B, Tang Z, Guo Q. 2018. Differential responses to Cd stress induced by exogenous application of Cu, Zn or Ca in the medicinal plant *Catharanthus roseus*. Ecotoxicology and Environmental Safety. 157: 266-275. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.03.055.

Di Stasio L, Gentile A, Tangredi DN, Piccolo P, Oliva G, Vigliotta G, Cicatelli A, Guarino F, Guidi Nissim W, Labra M, Castiglione S. 2025. Urban phytoremediation: A nature-based solution for environmental reclamation and sustainability. Plants. 14(13): 2057. https://doi.org/10.3390/plants14132057.

He S, Wang X, Wu X, Yin Y, Ma LQ. 2020. Using rice as a remediating plant to deplete bioavailable arsenic from paddy soils. Environment International. 141: 105799. https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105799.

Hu J, Wang Z, Williams GDZ, Dwyer GS, Gatiboni L, Duckworth OW, Vengosh A. 2024. Evidence for the accumulation of toxic metal (loid)s in agricultural soils impacted from long-term application of phosphate fertilizer. Science of the Total Environment. 907: 167863. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167863.

Ibaraki T, Kuroyanagi N, Murakami M. 2009. Practical phytoextraction in cadmium-polluted paddy fields using a high cadmium accumulating rice plant cultured by early drainage of irrigation water. Soil Science and Plant Nutrition. 55(3): 421-427. https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2009.00367.x.

Ibaraki T, Fujitomi S, Ishitsuka A, Yanaka M. 2014. Phytoextraction by high-Cd accumulating rice to reduce Cd in wheat grains grown in Cd-polluted fields. Soil Science and Plant Nutrition. 60(2): 266-275. https://doi.org/10.1080/00380768.2014.890014.

Ishikawa S, Ae N, Murakami M, Wagatsuma T. 2006. 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-phytoremediation. Soil Science and Plant Nutrition. 52(1): 32-42. https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2006.00008.x.

Jan M, Shah G, Masood S, Iqbal Shinwari K, Hameed R, Rha ES, Jamil M. 2019. *Bacillus Cereus*

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

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.3.2.4]

enhanced phytoremediation ability of rice seedlings under cadmium toxicity. BioMed Research International. 2019: 8134651. https://doi.org/10.1155/2019/8134651.

Javed MT, Tanwir K, Akram MS, Shahid M, Niazi NK, Lindberg S. 2019. Phytoremediation of cadmium-polluted water/sediment by aquatic macrophytes: role of plant-induced pH changes. In: Hasanuzzaman M, Prasad MNV, Fujita M. (Eds.) Cadmium toxicity and tolerance in plants. Academic Press. USA. 495-529. https://doi.org/ 10.1016/B978-0-12-814864-8.00020-6.

Jomova K, Alomar SY, Nepovimova E, Kuca K, Valko M. 2025. Heavy metals: toxicity and human health effects. Archives of Toxicology. 99: 153-209. https://doi.org/10.1007/s00204-024-03903-2.

Kissel KE, Rodriguez L, Paz J, Mitchell C, Patrick S, Zhang H, Fielder K, Morris L. 2017. Metal concentration standards for land application of biosolids and other by-products in Georgia. Bulletin of the University of Georgia. 1353: 1-4.

Lavanya MB, Viswanath DS, Sivapullaiah PV. 2024. Phytoremediation: An eco-friendly approach for remediation of heavy metal-contaminated soils-A comprehensive review. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management. 22: 100975. https://doi.org/10.1016/j.enmm.2024.100975.

Leguizamo MAO, Gomez WDF, Sarmiento MCG. 2017. Native herbaceous plant species with potential use in phytoremediation of heavy metals, spotlight on wetlands- A review. Chemosphere. 168: 1230-1247. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.075.

Lewis KA, Tzilivakis J, Warner D, Green A. 2016. An international database for pesticide risk assessments and management. Human and Ecological Risk Assessment. 22: 1050-1064. https://doi.org/10.1080/10807039.2015.1133242.

Liang J, Feng C, Zeng G, Zhong M, Gao X, Li X, He X, Li X, Fang Y, Mo D. 2017. Atmospheric deposition of mercury and cadmium impacts on topsoil in a typical coal mine city, Lianyuan, China. Chemosphere. 189: 198-205. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.09.046.

Li C, Li M, Zeng J, Yuan S, Luo X, Wu C, Xue S. 2024. Migration and distribution characteristics of soil heavy metal (loid)s at a lead smelting site. Journal of Environmental Sciences. 135: 600-609. https://doi.org/10.1016/j.jes.2023.02.007.

Liu J, Li K, Xu J, Zhang Z, Ma T, Lu X, Yang J, Zhu Q. 2003. Lead toxicity, uptake, and translocation in different rice cultivars. Plant Science. 165: 793-802. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(03)00273-5.

Liu WX, Shen LF, Liu JW, Wang YW, Li SR. 2007. Uptake of toxic heavy metals by rice (*Oryza sativa* L.) cultivated in the agricultural soil near Zhengzhou City, People's Republic of China. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 79(2): 209-213. https://doi.org/10.1007/s00128-007-9164-0.

Liu A, Wang W, Zheng X, Chen X, Fu W, Wang G, Ji J, Jin C, Guan C. 2022. Improvement of the Cd and Zn phytoremediation efficiency of rice (*Oryza sativa*) through the inoculation of a metal-resistant PGPR strain. Chemosphere. 302: 134900. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134900.

Luo L, Ma Y, Zhang S, Wei D, Zhu YG. 2009. An inventory of trace element inputs to agricultural soils in China. Journal of Environmental Management. 90: 2524-2530. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.01.011.

Mahar A, Wang P, Ali A, Awasthi MK, Lahori AH, Wang Q, Li R, Zhang Z. 2016. Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: a review. Ecotoxicology and Environmental Safety. 126: 111-121. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.12.023.

Mahmud U, Salam MTB, Khan AS, Rahman MM. 2021. Ecological risk of heavy metal in agricultural soil and transfer to rice grains. Discover Materials. 1(1): 10. https://doi.org/10.1007/s43939-021-00010-2.

Marini M, Caro D, Thomsen M. 2020. The new fertilizer regulation: A starting point for cadmium control in European arable soils? Science of the Total Environment. 745: 140876. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140876.

Mitra S, Chakraborty AJ, Tareq AM, Emran TB, Nainu F, Khusro A, Idris AM, Khandaker MU,

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

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.3.2.4]

Osman H, Alhumaydhi FA, Simal-Gandara J. 2022. Impact of heavy metals on the environment and human health: Novel therapeutic insights to counter the toxicity. Journal of King Saud University – Science. 34(3): 101865. https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.101865.

Moulick D, Samanta S, Sarkar S, Mukherjee A, Pattnaik BK, Saha S, Awasthi JP, Bhowmick S, Ghosh D, Samal AC, Mahanta S, Mazumder MK, Choudhury S, Bramhachari K, Biswas JK, Santra SC. 2021. Arsenic contamination, impact and mitigation strategies in rice agro-environment: An inclusive insight. Science of the Total Environment. 800: 149477. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149477.

Mohanty B, Das A. 2023. Heavy metals in agricultural cultivated products irrigated with wastewater in India: a review. AQUA Water Infrastructure, Ecosystems and Society. 72(6): 851-867. https://doi.org/10.2166/aqua.2023.122.

Mohidem NA, Hashim N, Shamsudin R, Che Man H. 2022. Rice for food security: Revisiting its production, diversity, rice milling process and nutrient content. Agriculture. 12: 741. https://doi.org/10.3390/agriculture12060741.

Morales-Guzman G, Rivera-Cruz M, Ferrera- Cerrato R, Zavala-Cruz J. 2022. Phytoremediation of soils contaminated with crude and weathered oil using two rice varieties (*Oryza sativa* L.). Agro Productividad. 15(1): 31-41. https://doi.org/10.32854/agrop.v15i1.2090.

Murakami M, Ae N, Ishikawa S. 2007. Phytoextraction of cadmium by rice (*Oryza sativa* L.), soybean (*Glycine max* (L.) Merr.), and maize (*Zea mays* L.). Environmental Pollution. 145: 96-103. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.03.038.

Murakami M, Ae N. 2009. Potential for phytoextraction of copper, lead, and zinc by rice (*Oryza sativa* L.), soybean (*Glycine max* [L.] Merr.), and maize (*Zea mays* L.). Journal of Hazardous Materials. 162: 1185-1192. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.06.003.

Murakami M, Nakagawa F, Ae N, Ito M, Arao T. 2009. Phytoextraction by rice capable of accumulating Cd at high levels: Reduction of Cd content of rice grain. Environmental Science & Technology. 43: 5878-5883. https://doi.org/10.1021/es8036687.

Munir N, Jahangeer M, Bouyahya A, El Omari N, Ghchime R, Balahbib A, Aboulaghras S, Mahmood Z, Akram M, Ali Shah SM, Ivan N. 2022. Heavy metal contamination of natural foods is a serious health issue: A review. Sustainability. 14: 161. https://doi.org/10.3390/su14010161.

Naeem N, Tabassum I, Majeed A, Amjad M. 2020. Technologies of soil contaminated with heavy metals. Acta Scientific Agriculture. 4: 1-5. https://doi.org/10.31080/ASAG.2020.04.0810.

Olawale O, Raphael DO, Akinbile CO, Ishuwa K. 2021. Comparison of heavy metal and nutrients removal in *Canna indica* and *Oryza sativa* L. based constructed wetlands for piggery effluent treatment in north-central Nigeria. International Journal of Phytoremediation. 23(13): 1382-1390. https://doi.org/10.1080/15226514.2021.1900062.

Pajevic S, Borisev M, Nikolic N, Arsenov DD, Orlovic S, Zupunski M. 2016. Phytoextraction of heavy metals by fast-growing trees: A review. In: Ansari AA, Gill SS, Gill R, Lanza GR, Newman L. (Eds.) Phytoremediation: Management of environmental contaminants. Springer, Switzerland. 3: 29-64. https://doi.org/10.1007/978-3-319-40148-5_2.

Panich-pat T, Srinives P. 2009. Partitioning of lead accumulation in rice plants. Thai Journal of Agricultural Science. 42(1): 35-40.

Payus C, Talip AFA. 2014. Assessment of heavy metals accumulation in paddy rice (*Oryza sativa*). African Journal of Agricultural Research. 9(41): 3082-3090.

Rashid A, Schutte BJ, Ulery A, Deyholos MK, Sanogo S, Lehnhoff EA, Beck L. 2023. Heavy metal contamination in agricultural soil: Environmental pollutants affecting crop health. Agronomy. 13: 1521. https://doi.org/10.3390/agronomy13061521.

Satpathy D, Reddy MV, Dhal SP. 2014. Risk assessment of heavy metals contamination in paddy soil, plants, and grains (*Oryza sativa* L.) at the East Coast of India. BioMed Research International. 2014: 545473. https://doi.org/10.1155/2014/545473.

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

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.3.2.4]

Shaker Kouhi S. 2014. Role of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi in phytoremediation of soils contaminated: A review. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research. 2(5): 1854-1864.

Shaker Kouhi S, Rabiee M. 2023. Strategies of reducing cadmium uptake and accumulation in rice grain: A review. Journal of Biosafety. 16(3): 75-98. (In Farsi with English abstract).

Shaker Kouhi S, Rabiee M. 2024. Effect of intercropping on the Cd accumulation in soil and rice plants: A review. Journal of Environmental Health Engineering. 11(3): 287-301. (In Farsi with English abstract).

Shen X, Dai M, Yang J, Sun L, Tan X, Peng C, Ali I, Naz I. 2022. A critical review on the phytoremediation of heavy metals from environment: Performance and challenges. Chemosphere. 291(3): 132979. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132979.

Singh Katiyar A, Bhaskar M, Singh A, Sharma D, Abhishek A, Garg V. 2022. Phytoremediation of chromium, iron and nickel by Indian rice plant (*Oryza sativa* L.): An opportunity for management of multi-metal contaminated tannery wastewater. Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences. 10(3): 511-523. http://dx.doi.org/10.18006/2022.10(3).511.523.

Sultana R, Kobayashi K, Kim KH. 2015. Comparison of arsenic uptake ability of barnyard grass and rice species for arsenic phytoremediation. Environmental Monitoring and Assessment. 187(1): 4101. https://doi.org/10.1007/s10661-014-4101-2.

Wang FJ, Wang M, Liu ZP, Shi Y, Han T, Ye Y, Gong N, Sun J, Zhu Ch. 2015. Different responses of low grain-Cd-accumulating and high grain-Cd accumulating rice cultivars to Cd stress. Plant Physiology and Biochemistry. 96: 261-269. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.08.001.

Xu Y, Feng J, Li H. 2021. Water management increased rhizosphere redox potential and decreased Cd uptake in a low-Cd rice cultivar but decreased redox potential and increased Cd uptake in a high-Cd rice cultivar under intercropping. Science of the Total Environment. 751: 141701. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141701.

Yan A, Wang Y, Tan SN, Mohd Yusof ML, Ghosh S, Chen Z. 2020. Phytoremediation: A promising approach for revegetation of heavy metal-polluted land. Frontiers in Plant Science. 11: 359. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00359.

Yin DX, Wang X, Peng B, Tan CY, Ma LQ. 2017. Effect of biochar and Fe-biochar on Cd and as mobility and transfer in soil-rice system. Chemosphere. 186: 928–937. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.07.126.

Zeng GM, Wan J, Huang DL, Hu L, Huang C, Cheng M, Xue WJ, Gong XM, Wang RZ, Jiang DN. 2017. Precipitation, adsorption and rhizosphere effect: the mechanisms for phosphate-induced Pb immobilization in soils-A review. Journal of Hazardous Materials. 339: 354-367. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.05.038.

Zhao M, Lin Y, Chen H. 2020. Improving nutritional quality of rice for human health. Theoretical and Applied Genetics. 133: 1397-1413. https://doi.org/10.1007/s00122-019-03530-x.

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

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.3.2.4]

Evaluation of Heavy Metals Remediation Potential of Rice Plant (*Oryza sativa* L.)

Sajjad Shaker-Kouhi*, Mohammad Rabiee

Researcher, Department of Agronomy and Plant Breeding, Rice Research Institute, Rasht, Iran

s.shaker@areeo.ac.ir

Abstract

Contamination of soil by heavy metals has become a significant global issue due to its direct impact on human health and the environment. Among the various methods of remediating soil contaminated with heavy metals, phytoremediation is a cost-effective and ecologically friendly technique. Phytoremediation is a green strategy to remove, modify, or extract metal pollutants from soil and water by plant species. In order to investigate the ability of the rice plant to remove heavy metals in soil, a review study was conducted on the phytoremediation of heavy metals by rice. The results indicated significant differences in the concentrations of heavy metals between the roots and shoots of rice. So that most metals absorbed by rice were accumulated in the roots, except for cadmium (Cd). The rice is considered to be the most suitable plant in fields contaminated with moderate Cd for extraction of this metal. According to this, the shoot accumulation of Cd in indica rice varieties was high, which indicates that these varieties would be most responsive to phytoremediation of paddy fields contaminated with Cd. In addition, based on the research results, it is possible to remove copper and zinc by rice from paddy soils with low to moderate contamination levels. Considering that rice plays an important role in the human diet, additional precautions are needed to prevent heavy metals from entering the food chain during phytoremediation by this plant.

Keywords: Accumulation, Heavy metals, Phytoremediation, Rice, Soil contamination

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

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.3.2.4]