مجله ایمنی زیستی
دوره ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱
ISSN ۲۷۱۶-۹۸۰۴ الکترونیکی، ISSN ۲۷۱۷-۰۶۳۲ چاپی

بررسی تأثیر آب آلوده و فلزات سنگین بر سلامت گیاه و انسان و نقش گیاه پالایی در کنترل آن

نوع مقاله: مروری 20.1001.1.27170632.1401.15.1.3.7

محمد فضلی[1*]، محمد امیدی[2]

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی تولید و پس از برداشت گیاهان باغبانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲- دکتری علوم و مهندسی باغبانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران، ایران
fazlimd@hotmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۶
صفحه ۳۲-۱۷

چکیده

امروزه آلودگی آب یک چالش جهانی است که علاوه‌بر کشورهای درحال توسعه، در کشورهای پیشرفته نیز مطرح است. این چالش جهانی با رشد اقتصادی، سلامت محیط زیست و همچنین سلامتی میلیاردها نفر ارتباط دارد. آب آلوده می‌تواند به‌صورت مستقیم و یا غیرمستقیم با ورود به محصولات کشاورزی، توسط موجودات زنده مصرف شود و بدیهی است کمیت و کیفیت زندگی موجودات زنده به‌خصوص گیاهان و انسان‌ها دچار مشکلات جدی خواهد شد. امروزه کشاورزی همچنان به‌عنوان مهم‌ترین منبع آلوده‌کننده آب در دنیا شناخته می‌شود و فعالیت‌های صنعتی نیز تکمیل‌کننده مهم این آلودگی است. موارد مختلفی می‌توانند موجب آلودگی آب شوند که از جمله مهم‌ترین آن‌ها آلودگی‌های میکروبی، شیمیایی و فلزات سنگین است. فلزات سنگین به‌طور کلی موجب کاهش رشد و عملکرد در گیاهان می‌شوند و تأثیرات آن‌ها در انسان، ایجاد انواع بیماری‌ها از جمله سرطان است. با وجود اینکه مهم‌ترین راهکار برای کنترل آلوده‌کننده‌های آب و فلزات سنگین پیشگیری است، روش‌های مختلفی نیز برای حذف آن‌ها از محیط وجود دارد که یکی از مهم‌ترین آن‌ها گیاه‌پالایی است. این مقاله مروری بر انواع فلزات سنگین و منابع آن‌ها، اثرات فلزات سنگین بر انسان و گیاه و روش‌های اصلاح خاک آلوده به فلزات سنگین است.

واژه‌های کلیدی: آلودگی، فلزات سنگین، محیط زیست، گیاه‌پالایی.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.3.7]

مقدمه

آب یک منبع حیاتی برای زندگی انسان و موجودات است. آلودگی آب یک چالش جهانی است که علاوه‌بر کشورهای درحال توسعه، در کشورهای پیشرفته نیز مطرح است. این چالش جهانی با رشد اقتصادی، سلامت محیط زیست و همچنین سلامتی میلیاردها نفر ارتباط دارد. اگرچه در درجه اول، توجه جهانی به کمیت آب است، اما کارایی مصرف آب و مسائل مربوط به تخصیص، مدیریت فاضلاب‌ها و زهکشی کشاورزی، مشکلات جدی در کیفیت آب در بسیاری از نقاط جهان ایجاد کرده است (Biswas et al. 2012). کمبود آب نه تنها ناشی از کمبود فیزیکی آن است بلکه می‌تواند ناشی از کاهش تدریجی کیفیت آن و در نتیجه غیرقابل مصرف بودن آن باشد. در برنامه توسعه پایدار ۲۰۳۰، اهمیت آب و کیفیت آب تصدیق شده است. این گونه پیش‌بینی می‌شود که این برنامه تأثیر شگرفی در سیاست‌ها و راهکارهای آینده خواهد گذاشت (Mateo-Sagasta et al. 2018).

درحالی‌که سه منبع اصلی آلودگی آب شامل زندگی شهری، بخش صنایع و کشاورزی است، گفته می‌شود که در بسیاری از کشورها بزرگترین منبع، بخش کشاورزی است. در بخش کشاورزی موارد گوناگونی می‌تواند ایجاد آلودگی کند که این موارد شامل عناصر غذایی (به‌خصوص منابع نیتروژن و فسفات؛ که به شکل نیترات، آمونیوم و فسفات آب را آلوده می‌کنند)، سموم، یون‌ها (سدیم، کلراید، پتاسیم، سولفات، منیزیوم، بی کربنات و کلسیم)، رسوبات (ذرات جامد معلق)، مواد آلی، بیماری‌زاها (به‌طور معمول باکتری *اشرشیا کلی* به‌عنوان شاخص آلودگی باکتریایی درنظر گرفته می‌شود) و فلزات سنگین است (Cañedo-Argüelles et al. 2013).

یکی از پیامدهای آلودگی آب، آلودگی خاک‌های زراعی است؛ از مهم‌ترین این آلودگی‌ها می‌توان به فلزات سنگین اشاره کرد که اثرات منفی بر روی رشد گیاهان و همچنین مصرف‌کنندگان دارند. آلودگی فلزات سنگین در خاک به‌عنوان یک مشکل بزرگ در محیط زیست در گسترده جهانی مطرح می‌شود که موجب افزایش نگرانی‌هایی در امنیت محصولات غذایی می‌شود (Hu et al. 2017). در جهان ۵ میلیون محل آلوده‌کنندگی خاک وجود دارد که موجب آلوده شدن بیش از ۵۰۰ میلیون هکتار از زمین‌های کشاورزی به فلزات سنگین می‌شود و تعادل آن‌ها در خاک را برهم میزند (Liu et al. 2018). از لحاظ اقتصادی نیز آلودگی فلزات سنگین موجب خسارتی بیش از

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.3.7]

۱۰ میلیارد دلار در سال در جهان می‌شود (He et al. 2015).

فلزات سنگین به دو دسته کلی عناصر ضروری و عناصر غیرضروری برای رشد موجود زنده تقسیم می‌شود. عناصر فلزی ضروری شامل روی، مس، کبالت، منگنز و مولیبدن است که دارای نقش‌های مهم فیزیولوژیک مثل نقش کوفاکتوری، واکنش‌های اکسایش و کاهش و اتصال لیگاند هستند. دسته دوم شامل عناصر فلزی غیرضروری است که به متالوئیدها معروف هستند و شامل آرسنیک، کادمیوم، کروم، سرب و جیوه است. این عناصر نه تنها برای رشد موجودات ضروری نیست بلکه موجب اختلال در واکنش‌های آنزیمی و به‌طور کلی اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیک می‌شود (Dubey et al. 2018).

از لحاظ شیمی، فلزات سنگین ذرات فلزی و شبه‌فلزی هستند که جرم اتمی آن‌ها بیشتر از ۲۰ و وزن مخصوص آن‌ها بالای ۵ است. طبق این تعریف، عناصر کادمیوم (Cd)، جیوه (Hg)، مس (Cu)، آرسنیک (As)، سرب (Pb)، کروم (Cr)، نیکل (Ni) و روی (Zn) فلزات سنگین محسوب می‌شوند. اما از دیدگاه علم زیستی فلزات سنگین ذراتی هستند که حتی در مقادیر اندک نیز می‌توانند برای گیاهان و حیوانات سمی باشند (Rascio and Navariizzo, 2011). آلودگی فلزات سنگین برای محیط زیست و امنیت غذایی تبدیل به یک خطر و چالش جهانی شده است. با در نظر گرفتن توسعه سریع کشاورزی و صنعت و همچنین اختلال در اکوسیستم طبیعی به دلیل رشد انبوه جمعیت در جهان، این موضوع اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (Sarwar et al. 2016). برخلاف آلاینده‌های آلی، آلودگی فلزات سنگین پنهان، مداوم و غیرقابل بازگشت است که نه تنها موجب کاهش کیفیت آب می‌شود بلکه یک تهدید جدی برای اتمسفر و محصولات غذایی است که در نتیجه سلامتی موجودات زنده و انسان را تهدید می‌کند (Kankia and Abdulhamid, 2014). به‌عنوان مثال، انواع اثرات مخرب توسط عنصر کادمیوم ایجاد می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها برهم‌زدن تعادل اکسیدان و آنتی‌اکسیدان‌هاست. همچنین کادمیوم می‌تواند موجب ایجاد انواع سرطان‌ها، بیماری ایتا ایتا (itai–itai)، سکته قلبی، فشار خون بالا و دیابت نفروپاتی (nephropathy) شود که این بیماری‌ها از مهم‌ترین دلایل مرگ و میر در انسان‌هاست (Ghosh and Indra, 2018).

کادمیوم و سرب بزرگ ترین گروه فلزات سنگین و سمی هستند که اثرات زیستی ناشناخته‌ای بر سلامت انسان دارند (Fattahi et al.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.3.7]

2017) که حتی در غلظت‌های پایین نیز برای هر سیستم زیستی سمی است (Shahid et al. 2017).

از مهم‌ترین اثرات کادمیوم و سرب بر گیاه می‌توان به جلوگیری از رشد شاخه و ریشه، کاهش فتوسنتز و کاهش عملکرد اشاره کرد (Lone et al. 2008). این عناصر در انسان موجب آسیب‌های مغزی و کلیوی می‌شود (Lone et al. 2008). در میان ۸ فلز سنگین یاد شده، کادمیوم در اغلب مناطق به لحاظ مقدار، رتبه نخست را در نمونه‌های خاکی داراست که نسبت آن بیش از ۷٪ است (Takahashi. 2016). در اروپا کاهش اجباری تولید سالیانه کادمیوم، سرب و جیوه برای جلوگیری از عوارض بدیهی آن‌ها بر روی اکوسیستم، در پروتوکل ۱۹۹۸ فلزات سنگین در کمیسیون اقتصادی سازمان ملل متحد لحاظ شده است که هدف آن کاهش ورود این عناصر به اکوسیستم است (Weissmannová and Pavlovský. 2017).

منابع فلزات سنگین

صنایع مختلف، فاضلاب‌ها و کاربرد گسترده کودهای شیمیایی، سموم و علف‌کش‌ها در زمین‌های کشاورزی در بسیاری از نقاط جهان موجب آلودگی محیط زیست شده است. برخی از فلزات سنگین مثل آهن، منگنز، مس و روی دارای نقش‌های مهم در رشد و نمو گیاهی هستند و استفاده از آن‌ها اجتناب‌ناپذیر است؛ اما عناصری مثل کادمیوم و سرب علاوه‌بر ایجاد سمیت در انسان، در گیاهان نیز از عوامل تنش‌زا هستند. این عناصر به دلیل فعالیت‌های صنعتی به‌صورت گسترده در محیط زیست تجمع پیدا کرده و از طریق گیاهان به چرخه زیستی برمی‌گردند. کودهای فسفر که از سنگ فسفات تهیه می‌شوند یکی از مهم‌ترین پتانسیل‌های منابع ورود کادمیوم به زمین‌های کشاورزی است. بنابراین بدیهی است که کاربرد این‌گونه کودهای فسفر موجب تجمع کادمیوم در زمین‌های کشاورزی شده که ممکن است به محصولات کشاورزی منتقل شود. از سایر منابع ورود کادمیوم به محیط زیست می‌توان به پساب‌های صنعتی و فاضلاب شهری اشاره کرد که این منابع پتانسلی بیشتری برای آلودگی محیط زیست دارند (Baghenejad et al. 2016). فلزات سنگین می‌توانند از راه فرآیندهای طبیعی و همچنین انسانی وارد اکوسیستم کشاورزی شود. تحقیقات گوناگون نشان داده است که فعالیت‌های انسانی و منابع طبیعی از مهم‌ترین راه‌های ورود فلزات سنگین به اکوسیستم است (Dixit et al. 2015). اولین و اصلی‌ترین منبع فلزات سنگین در خاک، مواد مادری تشکیل‌دهنده خاک است. به‌طور

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.3.7]

کلی می‌توان گفت که سنگ‌های بازالتی (basaltic) غنی از فلزات سنگینی مثل نیکل، مس، کبالت و کادمیوم است که این عناصر می‌توانند از طریق بادهای سطحی، فرسایش، شستشو و آتش فشان وارد چرخه محیط زیست شود (Muradoglu et al. 2015). فعالیت‌های انسانی نیز از مهم‌ترین منابع ورود فلزات سنگین به محیط زیست محسوب می‌شوند؛ پیشرفت‌های اخیر در بخش های کشاورزی، فعالیت‌های صنعتی و افزایش شهرنشینی به‌طور قابل توجهی موجب افزایش آلودگی‌های فلزات سنگین شده است. از مهم‌ترین فعالیت‌های انسانی که موجب افزایش مقادیر فلزات سنگین در چرخه اکوسیستم می‌شود استخراج عناصر معدنی، استفاده از سوخت‌های فسیلی، زباله‌های شهری، کاربرد سموم کشاورزی، فاضلاب‌ها و استفاده از کودها است (Li et al. 2019). از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ در جهان سالیانه ۲۲۰۰۰ تن کادمیوم، ۹۳۹۰۰۰ تن مس، ۷۸۳۰۰۰ تن سرب و ۱۳۵۰۰۰ تن روی، وارد خاک‌های کشاورزی شده است (Thambavani and Prathipa, 2012). مهم‌ترین منابع ورود فلزات سنگین در جدول ۱ به‌صورت خلاصه آورده شده است (Lone et al. 2008).

جدول ۱- مهم‌ترین منابع ورود فلزات سنگین به اکوسیستم (Lone et al. 2008).

فلز سنگین	منابع
کادمیوم (Cd)	منابع زمین ساختی، فعالیت‌های انسانی، ذوب و تصفیه فلزات، سوخت‌های فسیلی، کاربرد کودهای فسفاته، فاضلاب‌ها
آرسنیک (As)	مواد نگهدارنده چوب، صنایع معدن و ذوب، نیروگاه‌های زغال‌سنگ، علف‌کش‌ها، آتشفشان‌ها، تصفیه نفت، مواد افزودنی به خوراک دام
سرب (Pb)	استخراج و ذوب سنگ‌های معدنی و فلزی، مصرف بنزین سرب‌دار، فاضلاب‌های شهری، رنگ‌ها، ضایعات صنعتی حاوی سرب
کروم (Cr)	صنعت آبکاری، چرم‌سازی، زباله‌های جامد
جیوه (Hg)	فوران آتشفشان‌ها، آتش‌سوزی جنگل‌ها، انتشار گازهای گلخانه‌ای از صنایع تولیدکننده سدیم هیدروکسید، زغال‌سنگ، سوختن چوب
مس (Cu)	صنعت آبکاری، معدن، بیوسولیدها*، صنایع ذوب و پالایش
نیکل (Ni)	فوران آتشفشان‌ها، آتش‌سوزی جنگل‌ها، تبادل گازها در اقیانوس، هوازدگی خاک، پساب‌های صنعتی، لوازم آشپزخانه، ابزار جراحی، آلیاژهای فولاد، باتری خودروها
روی (Zn)	صنعت آبکاری، ذوب و تصفیه، معادن، بیوسولیدها

* مواد جامد حاصل از تصفیه فاضلاب

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.3.7]

اثرات فلزات سنگین بر گیاهان

یکی از ویژگی‌های خاک دارای فلزات سنگین این است که مواد آلی و عناصر غذایی در این خاک‌ها اندک است. به‌عنوان مثال مقادیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم؛ بدیهی است که کمبود عناصر غذایی موجب کاهش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود. از طرفی، افزودن کود موجب افزایش شوری خاک شده که نتیجه آن کاهش رشد گیاهان است. با این وجود همچنان افزودن کود به خاک آلوده توصیه می‌شود. به‌عنوان تایید این گفته، Barea و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که کاربرد کودها می‌تواند رشد جمعیت میکروبی و زیستی را در خاک آلوده به فلزات سنگین افزایش دهد. به‌عنوان مثال افزایش فعالیت برخی باکتری‌ها در منطقه ریزوسفر که موجب بهبود جذب عناصر غذایی و رشد گیاه می‌شود (Barea et al. 2005).

گیاهی که در معرض فلزات سنگین قرار گرفته باشد تغییرات گسترده فیزیولوژیکی و متابولیکی می‌شود. پاسخ‌های گیاه به سمیت فلزات سنگین، بر اساس انواع و مقدار آن‌ها متفاوت است. کاهش رشد گیاه، نکروز شدن برگ، کاهش درصد جوانه‌زنی بذر، کاهش فشار آماس و اختلال در سیستم فتوسنتز از مهم‌ترین و رایج‌ترین اثرات فلزات سنگین در گیاه است. وجود فلزات سنگین در گیاه موجب تغییرات فراساختاری، بیوشیمیایی و مولکولی در بافت‌ها و سلول‌های گیاهی نیز می‌شود. همچنین فلزات سنگین در جذب، انتقال و تعرق آب در گیاه اثرگذار بوده و بر جذب سایر عناصر فلزی ضروری اثر منفی دارد. برهم‌کنش یون های فلزی با هسته سلول، می‌تواند موجب آسیب به مولکول دی.ان.اِ شود. مشاهده شده است که گیاه آرابیدوپسیس تیمار شده با کادمیوم، نرخ جهش بیشتری داشته و موجب آسیب به جنین آن شده است (Dubey et al. 2018). هورمون اتیلن در گیاهان موجب پیری شده و بازدارنده رشد سلولی است. مشاهده شده است که تولید این هورمون در گیاه در مقادیر زیاد مس افزایش می‌یابد. همچنین مقادیر زیاد مس در گیاه موجب اختلال کلی عملکرد می‌شود (Dubey et al. 2018).

آرسنیک به راحتی توسط ریشه‌ها جذب می‌شود. این عنصر درون سلول‌های گیاهی به فرم سمی‌تر تبدیل شده و موجب اختلال متابولیسم‌های گیاهی می‌شود. به دلیل شباهت ساختاری آرسنیک و فسفات، برخی متابولیسم‌هایی که توسط فسفات کنترل می‌شود توسط آرسنیک مختل می‌شود که از مهم‌ترین این واکنش‌ها فسفریلاسیون است. آرسنیک همچنین می‌تواند موجب غیرفعال شدن

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.3.7]

آنزیم‌هایی شود که حاوی سیتئین هستند (Dubey et al. 2018).

نشانه‌های سمیت کادمیوم در گیاه به‌طور معمول مدت‌های طولانی پس از جذب ظاهر می‌شود و این موضوع یک هشدار برای این است که جذب کادمیوم در غلظت اندک و در اوایل مرحله جذب، بی‌نشانه است. کادمیوم یک عنصر فلزی غیرضروری برای گیاه است اما می‌تواند به راحتی توسط گیاه جذب شده و در قسمت‌های مختلف گیاه حرکت کند. بنابراین وارد زنجیره غذایی می‌شود که نتیجه آن خطرات جدی برای انسان است. کادمیوم برای گیاه نیز می‌تواند مشکل‌آفرین باشد؛ این عنصر در غلظت‌هایی می‌تواند موجب اختلال در فتوسنتز شده و تعادل عناصر غذایی را برهم زند (Liu et al. 2018). با وجود اینکه کادمیوم عنصر ضروری برای رشد گیاه نیست، اما این عنصر می‌تواند به مقادیر زیادی در گیاه تجمع پیدا کند که می‌تواند بیشتر از برخی عناصر ضروری باشد. گزارش شده است که برهمکنش بین کادمیوم و عناصر پتاسیم، کلسیم، منیزیم، پتاسیم، نیکل، آهن، منگنز، مس و روی می‌تواند موجب کمبود این عناصر ضروری شود که نتیجه آن کاهش رشد گیاه و کاهش عملکرد است؛ علت این است که این عناصر و کادمیوم دارای انتقال‌دهنده یکسان از غشا سلولی هستند (Sarwar et al. 2010). کادمیوم می‌تواند بر جذب، انتقال و متابولیسم عناصر غذایی در گیاه اثر گذار باشد. همچنین تغییرات نفوذپذیری غشا پلاسمایی، پروتئین‌ها، فعالیت آنزیم‌ها و جذب عناصر غذایی از اثراتی است که گیاه در معرض کادمیوم ازخود نشان می‌دهد (Li et al. 2016). Cikili و همکاران (۲۰۱۶) بیان کردند که با افزایش مقادیر کادمیوم در خاک، مقدار این عنصر در اندام هوایی گوجه فرنگی، فلفل و بادمجان افزایش یافته است که این نتیجه قابل گسترش به سایر گیاهان نیز است (Cikili et al. 2016).

تنش فلزات سنگین مانند سایر تنش‌ها موجب ایجاد تنش اکسیداتیو نیز می‌شود. این عناصر موجب افزایش بیش از حد مقادیر رادیکال‌های آزاد گونه‌های فعال‌تر اکسیژن مانند سوپراکساید (O_2^-)، هیدروکسیل (OH) و هیدروژن پراکساید (H_2O_2) در داخل سلول می‌شوند. گونه‌های فعال‌تر اکسیژن در گیاه می‌توانند به‌صورت مستقیم توسط مس، سرب، کروم و آرسنیک و به‌صورت غیرمستقیم توسط کادمیوم تولید شوند. این گونه‌های فعال‌تر اکسیژن با حذف هیدروژن از اسید چرب غیراشباع موجب تخریب غشا دولایه‌ای شده و سپس تولید رادیکال لیپید و

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.3.7]

آلدهیدهای فعال‌شده می‌کنند (Dubey et al. 2018).

اثرات فلزات سنگین بر انسان

امروزه مشکلاتی از قبیل سرطان، تخریب نورون‌ها، حصبه، التهابات معده و روده، اسهال، استفراغ، بیماری‌های کلیوی و پوستی از چالش‌هایی هستند که بشر با آن‌ها روبروست و بخش مهمی از آن‌ها ناشی از آلودگی‌های آب و غذا است (Jeevanantham et al. 2019). آرسنیک به‌عنوان یک فلز سنگین، در انسان ایجاد عوارضی می‌کند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به ایجاد فشارخون بالا، اثرات مخرب عصبی، مشکلات زایمان، دیابت ملیتوس (mellitus)، بیماری‌های خونی و عروقی، ناراحتی‌های تنفسی و همچنین ضایعات پوستی مثل ملانوز (melanosis)، لکوملانوز (leucomelanosis) و کراتوز (keratosis) اشاره کرد (Rahman et al. 2009). سرب یک فلز سنگین است که برای سلول‌های انسانی ضروری نیست و مقادیر بالای آن در سلول‌های انسانی می‌تواند موجب اختلالات سیستم عصبی، اسکلتی، آنزیمی، غدد درون ریز، سیستم ایمنی و گردش خون شود (Kankia and Abdulhamid, 2014).

در جدول ۲ به‌صورت خلاصه به برخی از اثرات فلزات سنگین بر سلامتی انسان اشاره شده است (Ayangbenro and Babalola, 2017).

جدول ۲- برخی از اثرات فلزات سنگین بر سلامت انسان (Ayangbenro and Babalola, 2017).

فلز سنگین	اثرات
کادمیوم (Cd)	بیماری‌های استخوانی، سرفه، امفیزم، سردرد، فشارخون بالا، بیماری ایتا ایتا، مشکلات کلیوی، بیماری‌های ریوی، انواع سرطان‌ها به‌ویژه سرطان پروستات، لنفوسیتوز، کم‌خونی هیپوکرومی، آتروفی بیضه و استفراغ
آرسنیک (As)	آسیب‌های مغزی، اختلالات قلبی و عروقی و تنفسی، التهاب، درماتیت، سرطان پوست
سرب (Pb)	بی‌اشتهایی، نفروپاتی مزمن، آسیب به سلول‌های عصبی (نورون‌ها)، فشارخون بالا، بیش فعالی، بی‌خوابی، اختلال در یادگیری، کاهش قدرت باروری، آسیب‌های کلیه، افزایش ریسک آلزایمز، کاهش طول عمر
کروم (Cr)	برونکوپنومونی، برونشیت مزمن، اسهال، آمفیزم، سردرد، تحریکات پوستی، خارش، مشکلات تنفسی، بیماری‌های کبدی، سرطان ریه، حالت تهوع، نارسایی کلیه، مشکلات تولیدمثل، استفراغ
جیوه (Hg)	آتاکسی، کمبود سطح هوشیاری، نابینایی، ناشنوایی، کاهش میزان باروری، زوال عقل، سرگیجه، دیس فازی، تحریک دستگاه گوارش، التهاب لثه، مشکلات کلیه، از دست دادن حافظه، ادم ریوی، کاهش سیستم ایمنی، اسکلروزیس
مس (Cu)	درد شکمی، کم‌خونی، اسهال، سردرد، آسیب‌های کبد و کلیه، اختلالات متابولیکی، حالت تهوع و استفراغ
نیکل (Ni)	بیماری‌های قلبی و عروقی، درد قفسه سینه، درماتیت، سرگیجه، سرفه خشک و تنگی نفس، سردرد، بیماری‌های کلیوی، سرطان ریه و مجرای تنفسی، حالت تهوع
روی (Zn)	آتاکسی، افسردگی، تحریک دستگاه گوارش، هماچوریا، اکتروس، ناتوانی جنسی، نارسایی کلیه و کبد، بی‌حالی، لکه زرد چشمی، تب فلزی، سرطان پروستات، تشنج، استفراغ

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.3.7]

اصلاح خاک‌های آلوده به فلزات سنگین

روش‌های زیادی برای حل مشکل آلودگی خاک معرفی شده است. به‌صورت کلی می‌توان این روش‌ها را در دو راهکار تقسیم‌بندی کرد: روش‌های درمحل و خارج از محل. روش‌های درمحل، شامل روش‌هایی است که خاک در محل اصلی و بدون جابجایی پالایش می‌شود. در مقابل روش‌های خارج از محل وجود دارد که خاک آلوده جابجا شده و سپس پالایش می‌شود. به‌طور کلی می‌توان گفت روش‌های اصلاح در محل از لحاظ پتانسیل انجام، اقتصادی و محیط زیستی روش بهتری بوده و نسبت به روش اصلاح خارج از محل برتری دارند (Song et al. 2017). پالایش خاک آلوده می‌تواند با روش‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی انجام شود که مقایسه بین این روش‌ها در جدول ۳ بیان شده است (Liu et al. 2018).

جدول ۳- روش‌های کلی پالایش خاک‌های آلوده (Liu et al. 2018).

روش	نوع تکنیک	قابلیت اجرا	مزایا	معایب	وضعیت کاربرد
فیزیکی	surface capping	درمحل، مقادیر زیاد آلودگی	انجام آسان، کم هزینه، درجه اطمینان و امنیت بالا	محدود به مناطق کوچک و مکان جغرافیایی خاص	کاربردی
	landfilling	خارج از محل، مقادیر زیاد آلودگی	روش فوری پاکسازی، امنیت بالا	هزینه زیاد	کاربرد فراوان
	encapsulation	در محل، مقادیر زیاد آلودگی	امنیت بالا، راه اندازی سریع	محدود به وسعت کوچک، فقط برای آلودگی‌های کم عمق، هزینه زیاد	پالایش رادیونوکلایدها و زباله‌های مخلوط
شیمیایی	stabilization	در محل، مقادیر زیاد آلودگی	مقرون‌به صرفه، انجام آسان، تأثیر فوری	برای فلزات مخصوص، اثربخشی موقت، باقی‌مانده آلاینده‌ها در خاک	تایید نشده است، فقط برای اصلاح موقت
	solidification	در محل و خارج از محل، آلودگی زیاد	پیاده‌سازی سریع، بازدهی بالا	هزینه زیاد، ، عدم حذف آلاینده و احتمال آلودگی دوباره	کاربرد به‌صورت منظم
	soil flushing	درمحل، ذرات درشت خاک، آلودگی متوسط به بالا	حذف آلاینده‌ها، حداقل به‌هم‌خوردگی خاک، کم هزینه، راه‌اندازی ساده	مناسب خاک‌های با بافت درشت و نفوذپذیری بالا، پتانسیل آلوده‌کنندگی آب‌های زیرزمینی	محدود برای برخی زباله‌های مخلوط

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.3.7]

	soil washing	خارج از محل، آلودگی متوسط به بالا	کارایی زیاد، اثرات سریع	به‌هم‌ریختگی شدید خاک	کاربرد به‌صورت منظم
	vitrification	درمحل و خارج از محل، آلودگی زیاد	کارایی زیاد	هزینه بالا، محدود به سطوح کوچک	کاربرد به‌صورت منظم
	electrokinetics	در محل، آلودگی متوسط به بالا	حذف آلاینده‌ها، حداقل به‌هم‌ریختگی خاک	زمان‌بر، بهره‌وری کم، مناسب برای خاک با بافت ریز و نفوذپذیری کم	درحال توسعه
زیستی	تثبیت و یا حذف توسط گیاه	درمحل، آلودگی متوسط	پذیرش عمومی بالا، کم هزینه، آسان، مناسب مناطق وسیع	برای آلودگی کم عمق، مخصوص فلزات، زمان‌بر، کارایی اندک	در حال توسعه
	تبدیل توسط میکروارگانیسم ها	درمحل، آلودگی کم تا متوسط	کم هزینه، سادگی، حداقل به‌هم‌ریختگی خاک	راندمان پایین، فقط روش مکمل سایر روش‌هاست	غیرقابل کاربرد برای فلزات سنگین

گیاه‌پـــالایی (Phytoremediation or green purification)

در سال‌های اخیر به دلیل توسعه فناوری‌های صنعتی، برخی خاک‌های زیر کشت آلوده شده‌اند که فلزات و شبه فلزات از مهم‌ترین این آلودگی‌ها است (Chen et al. 2015).

از آنجایی‌که این آلودگی‌ها تخریب نمی‌شوند، می‌تواند اکوسیستم خاک را تخریب کند که نتیجه آن محدود شدن رشد گیاهان و میکروارگانیسم‌ها در خاک است. این آلودگی‌ها موجب محدود شدن رشد ریشه، برگ، آلودگی آب آشامیدنی و در نهایت ایجاد آسیب در انسان می‌شود. بنابراین رسیدگی به موضوع آلودگی خاک کاری مهم و لازم است. فناوری‌های تصفیه خاک آلوده شامل روش‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی است که امروزه روش زیستی مورد توجه بیشتری قرار گرفته است (Chen et al. 2015).

گیاه‌پالایی یکی از انواع پالایش زیستی است که از گیاهان به‌صورت ویژه برای کاهش غلظت و یا اثرات سمی آلاینده‌ها در محیط استفاده می‌شود (Ali et al. 2013). این روش اغلب برای شرایطی است که آلاینده‌ها سطح وسیعی را آلوده کرده‌اند و عمق آلودگی در خاک، به اندازه عمق نفوذ ریشه گیاه است (Chibuike and Obiora, 2014). می‌توان گفت که گیاه‌پالایی یک فناوری جدید برای حذف آلودگی‌های خاک و آب است که به‌عنوان یک روش مناسب، طبیعی، کم هزینه، کاربردی و سازگار با محیط زیست مطرح می‌شود

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.3.7]

که هیچگونه تأثیر مخربی بر محیط زیست ندارد (Dixit et al. 2015).

گیاه‌پالایی نوعی فناوری است که در آن از گیاهان برای انتقال، تبدیل و یا جذب آلودگی‌هایی مثل فلزات و شبه فلزات استفاده می‌شود (Jin et al. 2016).

یکی از عیب‌های این روش، زمان‌بر بودن این فناوری است؛ Zhu و همکاران (۲۰۱۹) راهکاری برای رفع این مشکل ارائه کرده‌اند که آن ترکیب فناوری گیاه‌پالایی و نانومواد است؛ نانومواد ذراتی با اندازه ۱ الی ۱۰۰ نانومتر هستند. برخی از این نانومواد شامل نانو دی اکسید تیتانیوم (nano TiO_2)، نانو نقره (nano Ag)، nano zerovalent iron (NZVI)، نانو اکسید سریوم (nano CeO_2)، نانو روی (nano Zn)، نانو کبالت (nano Co)، نانو نیکل (nano Ni)، نانو اکسید قلع (nano Sno2) و nano hydroxyapatite (NHAP) هستند که توانایی حذف برخی فلزات مانند کروم، مس، سرب، روی و کادمیوم را دارند (Zhu et al. 2019). در سال‌های اخیر مطالعات گوناگون کاربرد نانومواد را برای پالایش انواع مختلف آلودگی در خاک تایید کرده است (Zhang et al. 2018).

گونه‌های گیاهی برای گیاه‌پالایی

هدف اصلی در گیاه‌پالایی انتخاب گیاهانی است که نه تنها آب و خاک آلوده را تصفیه می‌کنند بلکه می‌توانند چرخه رشدی خود را در این آلودگی تکمیل کنند. در سال‌های اخیر کاربرد گونه‌های گیاهی آبزی و نیمه آبزی برای تصفیه آب رودخانه ها و منابع آبی مورد توجه قرار گرفته است (Musavi et al. 2016).

گونه‌های گیاهی که برای گیاه‌پالایی استفاده می‌شوند باید دارای این شرایط باشند: توانایی رشد سریع، بیومس فراوان، تحمل زیاد به مقادیر بالای فلزات و قابلیت انباشتن فلزات (Jabeen and Iqbal, 2009). برخی از خانواده‌های گیاهی که بیشترین کاربرد را در گیاه‌پالایی دارند شامل Brassicaceae، Scrophulariaceae، Asteraceae، Lamiaceae، Fabaceae و Euphorbiaceae است (Ashraf et al. 2017). مهم‌ترین گیاهی که برای ظرفیت تجمع فلزات سنگین (به‌خصوص روی و کادمیوم) مورد مطالعه قرار گرفته است *Noccaea caerulescens* از خانواده Brassicaceae است که یک انباشت‌کننده بزرگ و فوق‌العاده فلزات سنگین است؛ در این گیاه برگ‌ها می‌تواند کادمیوم را تا مقدار ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک تجمع دهد، بدون اینکه علائمی نشان دهد

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.3.7]

(Milner et al. 2014). این گیاه توانایی انباشتن فلز روی به مقدار ۴۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک را داراست؛ این درحالی است که در اغلب گیاهان این عدد بین ۲۵ الی ۱۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک است (Diatta, 2013).

نتیجه‌گیری کلی

اصلی‌ترین و مهم‌ترین منبع غذایی در انسان، کشاورزی است. آب و خاک از مهم‌ترین بخش‌هایی هستند که در کشاورزی وجود دارد و سلامت آن‌ها ارتباط مستقیم با سلامت گیاه و انسان دارد. امروزه مهم‌ترین منبع آلوده‌کننده منابع طبیعی و آب، بخش کشاورزی است. با در نظر گرفتن اصل پیشگیری، مصرف بهینه کودها، سموم و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی راهکاری است که می‌تواند در کاهش این آلودگی‌ها تأثیر بسزایی داشته باشد که نتیجه نهایی آن، بهبود سلامت آب، خاک گیاه و درنتیجه انسان است.

از مهم‌ترین بیماری‌هایی که امروزه انسان با آن روبروست، انواع سرطان‌ها است. انواع آلودگی‌های غذایی و محیطی موجب تشدید این بیماری‌ها می‌شود. فلزات سنگین از مهم‌ترین این آلودگی است. امروزه مهم‌ترین منبع آلودگی فلزات سنگین، فعالیت‌های انسانی از قبیل صنایع مختلف، فرآیندهای استخراج و کشاورزی است. با توجه به اینکه امروزه این فعالیت‌ها اجتناب‌ناپذیر هستند و ارتباط مستقیمی با زندگی انسان دارند، بنابراین راهکارهایی برای بهبود هرچه بیشتر عملکرد این سیستم‌ها موردنیاز است. این راهکارها به دو دسته کلی پیشگیری و درمان تقسیم می‌شود. به‌عنوان پیشگیری، راهکارهایی مثل مدیریت بهتر فاضلاب‌های شهری و صنعتی، افزایش کیفیت آب و کود در بخش کشاورزی و استفاده بهینه از آن‌ها، مدیریت پسماندهای صنعتی و کشاورزی، بهبود کیفیت سوخت های فسیلی با حذف فلزات سنگین از آن‌ها و کاهش مصرف سوخت فسیلی پیشنهاد می‌شود. با توجه به آلودگی زیادی که امروزه در جهان وجود دارد، راهکارهای درمان نیز اجتناب‌ناپذیر است که یکی از مهم‌ترین، کاربردی‌ترین، جدید ترین و سازگارترین روش‌ها با محیط زیست، گیاه‌پالایی است.

سپاسگزاری

از جناب آقای دکتر کاظم ارزانی، استاد محترم گروه علوم باغبانی دانشگاه تربیت مدرس جهت راهنمایی در نگارش مقاله تشکر و قدردانی می‌شود.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.3.7]

فهرست منابع

References

Ali B, Wang B, Ali S, Ghani MA, Hayat MT, Yang C, Xu L, Zhou WJ. 2013. 5– Aminolevulinic acid ameliorates the growth, photosynthetic gas exchange capacity, and ultrastructural changes under cadmium stress in Brassica napus L. J. Plant Growth Regul. 32: 604–614.

Ashraf MA, Hussain I, Rasheed R, Iqbal M, Riaz M, Arif MS. 2017. Advances in microbe-Assisted reclamation of heavy metal contaminated soils over the last decade: A review. J. Environ. Manage. 198((Pt 1)): 132–143.

Ayangbenro AS, Babalola OO. 2017. A new strategy for heavy metal polluted environments: A review of microbial biosorbents. Int. J. Environ. Res. Public Health. 14: 1–16 .

Baghenejad M, Javaheri F, Moosavi AA. 2016. Adsorption isotherms of some heavy metals under conditions of their competitive adsorption onto highly calcareous soils of southern Iran. Arch Agron Soil Sci. 62(10): 1462–1473.

Barea JM, Pozo MJ, Azcon R, Azcon-Aguilar C. 2005. Microbial cooperation in the rhizosphere. J Exp Bot. 56(417): 1761–1778.

Biswas AK, Tortajada C, Izquierdo R. (eds.) 2012. Water Quality Management: Present Situations, Challenges and Future Perspectives. Routledge London and New York.

Cañedo-Argüelles M, Kefford BJ, Piscart C, Prat N, Schäfer RB, Schulz CJ. 2013. Salinisation of rivers: an urgent ecological issue. Environmental Pollution. 173: 157-167.

Chen M, Xu P, Zeng G, Yang C, Huang D, Zhang J. 2015. Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum, pesticides, chlorophenols and heavy metals by composting: applications, microbes and future research needs. Biotechnol. Adv. 33: 745–755.

Chibuike GU, Obiora SC. 2014. Heavy metal polluted soils: Effect on plants and bioremediation methods. Appl. Environ. Soil Sci. 243–254.

Cikili Y, Samet H, Dursun S. 2016. Cadmium toxicity and its effects on growth and metal nutrient ion accumulation in Solanaceae plants. J Agr Sci. 22: 576–587.

Diatta J. 2013. Geoavailability and phytoconcentration of Zn: Facing the critical value challenge (Poland). J. Elementol. 18: 589–604.

Dixit R, Wasiullah MD, Pandiyan K, Singh UB, Sahu A, Shukla R, Singh BP, Rai JP, Sharma PK, Lake H, Paul D. 2015. Bioremediation of heavy metals from soil and aquatic environment: An overview of principles and criteria of fundamental processes. Sustainability. 7: 2189–2212.

Dubey S, Shri M, Gupta A, Rani V, Chakrabarty D. 2018. Toxicity and detoxification of heavy metals during plant growth and metabolism. Environ. Chem. Lett. 16: 1169–1192.

Fattahi B, Arzani K, Souri MK, Barzegar M. 2017. Effect of cadmium and lead stress on the chlorophyll fluorescence and chlorophyll pigments in *Ocimum basilicum* L. First International Horticultural Science Conference of Iran (IrHC2017) 225 Abstracts Book. P-98(189).

Ghosh K, Indra N. 2018. Cadmium treatment induces echinocytosis, DNA damage, inflammation, and apoptosis in cardiac tissue of albino Wistar rats. Environ. Toxicol. Pharmacol. 59: 43–52.

He Z, Yang X, Baligar VC, Zhang T, Stoffella PJ. 2015. Heavy metal contamination of soils: Sources, indicators, and assessment. J. Environ. Indic. 9: 17–18.

Hu BF, Chen SC, Hu J, Xia F, Xu JF, Li Y, Shi Z. 2017. Application of portable XRF and VNIR sensors for rapid assessment of soil heavy metal pollution. PLoS ONE. 12, e0172438.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.3.7]

Jabeen R, Iqbal M. 2009. Phytoremediation of heavy metals: Physiological and molecular mechanisms. Bot. Rev. 75: 339–364.

Jin Y, Liu W, Li Xl, Shen Sg, Liang Sx, Liu C, Shan L. 2016. Nano-hydroxyapatite immobilized lead and enhanced plant growth of ryegrass in a contaminated soil. Ecol. Eng. 95: 25–29.

Jeevanantham S, Saravanan A, Hemavathy RV, Kumar PS. 2019. Environmental technology and innovation removal of toxic pollutants from water environment by phytoremediation : A survey on application and future prospects. Environ. Technol. Innov. 13: 264–276.

Kankia HI, Abdulhamid Y. 2014. Determination of accumulated heavy metals in benthic invertebrates found in Ajiwa Dam, Katsina State, Northern Nigeria. Arch. Appl. Sci. Res. 6: 80–87.

Li X, Zhou Q, Sun X, Ren W. 2016. Effects of cadmium on uptake and translocation of nutrient elements in different welsh onion (*Allium fistulosum* L.) cultivars. Food Chem. 194101–110.

Liu LW, Li W, Song WP, Guo MX. 2018. Remediation techniques for heavy metal contaminated soils: Principles and applicability. Sci. Total Environ. 633: 206–219.

Lone MI, He ZL, Stoffella PJ, Yang XE. 2008. Phytoremediation of heavy metal polluted soils and water: progresses and perspectives. J. Zhejiang Univ. Sci. B 9: 210–220.

Mateo-Sagasta J, Marjani S, Turral H. 2018. More people, more food, worse water? A global review of water pollution from agriculture. FAO and IWMI. ISBN 978-92-5-130729-8.

Milner MJ, Mitani–Ueno N, Yamaji N, Yokosho K, Craft E, Fei ZJ, Ebbs S, Zambrano MC, Ma JF, Kochian LV. 2014. Root and shoot transcriptome analysis of two ecotypes of Noccaea caerulescens uncovers the role of NcNramp1 in Cd hyperaccumulation. Plant J. Cell Mol. Biol. 78: 398–410.

Muradoglu F, Gundogdu M, Ercisli S, Encu T, Balta F, Jaafar HZE, Zia–Ul–Haq M. 2015. Cadmium toxicity affects chlorophyll a and b content, antioxidant enzyme activities and mineral nutrient accumulation in strawberry. Biol. Res. 48: 1–7.

Musavi SA, Karimi N, Sadeghi S. 2016. Growth and phytoremediation potential of watercress *Nasturtium officinale* R. Br. in ammonium-rich wastewater. Ambient Science. 3: 89–92.

Rahman MM, Ng JC, Naidu R. 2009. Chronic exposure of arsenic via drinking water and its adverse health impacts on humans. Environ. Geochem. Heal. 31: 189–200.

Rascio N, Navariizzo F. 2011. Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it, and what makes them so interesting. Plant Sci. 18: 169–181.

Sarwar N, Saifullah S, Malhi SS, Zia MH, Naeem A, Bibi S, Farid G. 2010. Role of mineral nutrition in minimizing cadmium accumulation by plants. J Sci Food Agric. 90(6): 925–937.

Sarwar N, Imran M, Shaheen MR, Ishaque W, Kamran MA, Matloob A, Rehim A, Hussain S. 2016. Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: Modifications and future perspectives. Chemosphere. 171: 710–721.

Shahid M, Dumat C, Khalid S, Schreck E, Xiong T, Niazi NK. 2017. Foliar heavy metal uptake, toxicityand detoxification in plants: a comparison of foliar and root metal uptake. J. Hazard. Mater. 325: 36–58.

Song B, Zeng GM, Gong JL, Liang J, Xu P, Liu ZF, Zhang Y, Zhang C, Cheng M, Liu Y, Ye SJ, Yi H, Ren XY. 2017. Evaluation methods for assessing effectiveness of in situ remediation of soil and sediment contaminated with organic pollutants and heavy metals. Environ. Int. 105: 43–55.

Takahashi G. 2016. Damage and heavy metal pollution inchina'sfarmland: Reality and solutions. J. Contemp. E. Asia Stud. 5: 11–25.

Thambavani DS, Prathipa V. 2012. Quantitative assessment of soil metal pollution with principal component analysis, geo accumulation index and enrichment index. Asian J. Environ. Sci. 7(2): 125–134.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.3.7]

Weissmannová HD, Pavlovský J. 2017. Indices of soil contamination by heavy metals– methodology of calculation for pollution assessment (minireview). Environ. Monit. Assess. 189: 616.

Zhang R, Zhang N, Fang Z. 2018. In situ remediation of hexavalent chromium contaminated soil by CMC-stabilized nanoscale zero-valent iron composited with biochar. Water Sci. Technol. 77: 1622–1631

Zhu Y, Xu F, Liu Q, Chen M, Liu X, Wang Y, Sun Y, Zhang L. 2019. Science of the total environment nanomaterials and plants : Positive effects, toxicity and the remediation of metal and metalloid pollution in soil. Sci. Total Environ. 662: 414–421.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.3.7]

Investigating the Effect of Polluted Water and Heavy Metals on Plant and Human Health and the Role of Phytoremediation in Controlling It

Mohammad Fazli[1*], Mohammad Omidi[2]

1. PhD. Student in Production and Post-Harvest Physiology of Horticultural Plants, Tarbiat Modares University of Tehran, Tehran, Iran.
2. PhD. in Horticultural Science and Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran.

fazlimd@hotmail.com

Abstract

Today, water pollution is a global challenge that, in addition to developing countries, is also present in developed countries. This global challenge is linked to economic growth, environmental health, and the health of billions of people. Water can be consumed by living organisms directly or indirectly by entering agricultural products, and the quantity and quality of life of living organisms, especially plants and humans, will suffer from serious problems. Today, agriculture is still recognized as the most important source of water pollution in the world and industrial activities are an important complement to this pollution. Various factors can cause water pollution, the most important of which are microbial, chemical, and heavy metal pollution. Heavy metals generally reduce the growth and yield of plants, and their effects on humans can lead to a variety of diseases, including cancer. Although prevention is the most important way to control water and heavy metal contaminants, there are several ways to remove them from the environment, one of the most important of which is phytoremediation. Phytoremediation is a type of bioremediation in which the plant is used to reduce the concentration or toxic effects of pollutants in the environment. This article reviews the types of heavy metals and their sources, the effects of heavy metals on humans and plants, and methods for repairing soils contaminated with heavy metals.

Keywords: Environment, Heavy metals, Phytoremediation, Pollution.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.1.3.7]