بررسی مروری خطرات سلامتی ناشی از مصرف سرب و روش های کاهش آن در زنجیره غذایی

مریم بیاناتی[۱]، **الهام خان نیری[a۱]، سارا سهراب وندی[b۲]**

[۱] دکتری تخصصی استادیار گروه تحقیقات علوم و صنایع غذایی، انستیتو تحقیقات تغذیه ای و صنایع غذایی کشور، دانشگاه علوم پزشکی شهیدبهشتی، تهران، ایران

[۲] دکتری تخصصی استاد گروه تحقیقات علوم و صنایع غذایی، انستیتو تحقیقات تغذیه ای و صنایع غذایی کشور، دانشگاه علوم پزشکی شهیدبهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۱۶

چکیده

آلودگی فلزات سنگین یک مسئله زیست محیطی حیاتی در سراسر جهان است زیرا فلزات سنگین تجزیه ناپذیر هستند. از این نظر می توانند در مواد مختلف و حیوانات تجمع کنند و از راه های مختلفی مانند پوست، تنفس و زنجیره غذایی وارد بدن انسان شوند. سرب یکی از فلزات سمی شناخته شده است که در طبیعت در نتیجه فعالیت های صنعتی وجود دارد. وجود یون های سرب فراتر از سطح قابل قبول ایمن در مواد غذایی یک تهدید جدی برای سلامت انسان است. هدف بررسی حاضر خلاصه کردن تحقیقات به‌روز در مورد سمیت سرب و اثرات آن بر گیاهان، خاک و سلامت انسان است. برای به حداقل رساندن اثرات سرب، روش های مختلفی برای کاهش میزان آن در زنجیره غذایی استفاده می‌شود. اکثر روش های سنتی یا بسیار پرهزینه هستند یا کارایی کمی دارند. روش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک در دسترس هستند که از آن‌ها برای کاهش آلودگی فلزات سنگین می‌توان استفاده کرد. تحقیقات مربوط به فناوری‌های نسبتاً جدید نظیر روش‌های بیولوژیک باید در کشورهای در حال توسعه که آلودگی فلزات سنگین آن‌ها در سطح هشدار دهنده‌ای قرار دارد ترویج و گسترش یابد. بنابراین، بررسی حاضر به رویکردهای مختلف برای کاهش دسترسی فلزات سنگین در زنجیره غذایی می‌پردازد.

کلمات کلیدی: سرب، سمیت، زنجیره غذایی، روش های بیولوژیک

[a] e.khanniri@sbmu.ac.ir
[b] sohrabv@sbmu.ac.ir

[Downloaded from amfi.ir on 2025-11-02]

مقدمه

سرب (Pb) از خانواده فلزات سنگین، بسیار مضر و تجزیه ناپذیر با رنگ خاکستری مایل به آبی، عدد اتمی ۸۲، وزن مولکولی ۲۰۷/۲، چگالی ۱۱/۳۴ گرم بر سانتی متر مکعب و نقطه ذوب ۶۲۱/۴۳ فارنهایت است که به صورت ترکیبات آلی و معدنی وجود دارد. فلز سرب را می‌توان به راحتی شکل داد، قالب بندی کرد و با مخلوط سایر فلزات برای ساخت آلیاژها استفاده نمود. ترکیبات معدنی سرب غالباً در گرد و غبار، خاک و رنگ‌های قدیمی وجود دارد، در حالی که ترکیبات آلی سرب (تترا اتیل سرب) عمدتاً در بنزین حاوی سرب یافت می‌شود. کمپلکس‌های آلی و معدنی سرب هر دو سمی هستند ولی کمپلکس‌های آلی سرب در مقایسه با ترکیبات معدنی برای سیستم های بیولوژیک سمیت بالاتری دارند(۱). سرب پس از آرسنیک (As) دومین فلز سمی است که ۰/۰۰۲ درصد از پوسته زمین را تشکیل می‌دهد (۲, ۳) و به صورت طبیعی مقدار آن از mg/kg ۵۰ تجاوز نمی‌کند (۴). یافته‌های اخیر نشان می‌دهد که سرب (حدود ۲۹ نانوگرم در گرم رژیم غذایی) برای فعالیت‌های آنزیمی و سیستم‌های سلولی، به‌ویژه در طول رشد سلولی، خون‌سازی و تولید مثل مهم است (۵). به طور کلی، نمک یا اکسیدهای سرب از طریق گرد و غبار، دود خودروها، رنگ، غذای آلوده و آب به بدن انسان راه پیدا می‌کنند. در غذاهای کنسروی، نشت سرب از قوطی‌ها به محتوای غذای درون آن‌ها نیز سبب آلودگی به سرب می‌شود. بر اساس نتایج به دست آمده سرب جزو دسته گروه A_2 سرطانزایی قرار می‌گیرد (۶). بیشترین سربی که وارد بدن انسان می‌شود از طریق بلع بوده و حدود ۲۰ تا ۷۰ درصد از این میزان در بدن جذب می‌شود. قابل ذکر است که کودکان ظرفیت جذب سرب بالایی دارند (۷, ۸).

افزایش غلظت سرب در خون بر رفتار، عملکرد شناختی، رشد پس از تولد، تاخیر در بلوغ و کاهش ظرفیت شنوایی در نوزادان و کودکان تاثیر می‌گذارد. سرب در بزرگسالان باعث ایجاد مشکلات قلبی عروقی، سیستم عصبی مرکزی، کلیه و باروری می‌شود. در دوران بارداری، سرب همچنین می‌تواند رشد جنین را در مراحل اولیه مختل کند (۱, ۳). مقررات کمیسیون E.C[1]، شماره ۲۰۰۶/۱۸۸۱، حد مجاز غلظت سرب در محصولات کشاورزی مختلف مانند سبزیجات برگدار و گیاهان معطر تازه را mg/kg ۰/۳ معرفی کرده است (۹). هدف اصلی این مطالعه مروری ارائه خلاصه‌ای از تحقیقات بروز ارائه شده در زمینه سمیت سرب، فراهمی زیستی، و اثرات سمی آن بر گیاهان و سلامت انسان و همچنین راه‌های مختلف حذف آن می‌باشد.

۱. منابع آلودگی سرب در خاک، محصولات کشاورزی و آب

به طور کلی منابع اصلی فلزات سنگین در هوا، خاک و آب را می‌توان به دو دسته طبیعی و ناشی از فعالیت های انسان طبقه بندی کرد. فرآیندهای طبیعی تعداد زیادی یون فلزی را از پدیده‌های جغرافیایی مانند فوران‌های آتشفشانی و هوازدگی سنگ‌ها تولید می‌کنند. همچنین فلزات سنگین از ابتدای شکل گیری زمین به طور طبیعی در سطح زمین وجود داشته اند. افزایش چشمگیر استفاده از فلزات سنگین منجر به افزایش آن‌ها در محیط های خشکی و دریایی شده که به یک چالش بزرگ زیست محیطی تبدیل شده است. در گرد و غبار ناشی از باد، فلزات عمدتاً از مناطق صنعتی آزاد می‌شوند. علت ثانویه آلودگی فلزات سنگین نیز ناشی از استفاده از فلزات سنگین در بخش کشاورزی مانند آفت‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها و استفاده از کود است. فلزات سنگین ناشی از فعالیت‌های طبیعی یا انسانی با انتشار در هوا، غوطه‌ور شدن در خاک یا آب، در نهایت به انسان‌ها و حیوانات می‌رسند (۱۰)

[1] Commission Regulation E.C.

[Downloaded from amfi.ir on 2025-11-02]

آلودگی خاک، آب و هوا به سرب می‌تواند به دلایل طبیعی از جمله فعالیت آتشفشان‌ها، دلایل زمین شناسی، چرخه آب و انتقال از مناطق معدنی توسط آب و خاک باشد (۱۳-۱۱). در جدول ۱ دلایل آلودگی خاک های کشاورزی، محصولات کشاورزی و آب به سرب در مناطق مختلف جهان اشاره شده است. از جمله مهمترین دلایل آلودگی محیط زیست به سرب فعالیت‌های صنعتی، صنایع پتروشیمی، رنگ، شیشه سازی، باتری سازی، اسباب بازی سازی، تولید لوازم آرایشی، تولید لوله و آلیاژ و پنجره سازی می‌باشند (۱۴-۲۱). سرب در خاک و رسوبات به صورت یون فلزی آزاد و همراه با یون‌های معدنی (از جمله HCO^{3-} ، CO_3^{2-}، SO_4^{2-} و Cl^-) و همچنین به صورت لیگاندهای آلی (از جمله فولویک اسید و هیومیک اسید) وجود دارد. سرب همچنین می‌تواند بر روی سطوح ذرات مانند مواد بیولوژیک، اکسید آهن، ذرات خاک رس و مواد آلی جذب شود (۲۲, ۲۳). به طور کلی، سرب در محیط زیست در سطح خاک تجمع یافته و با افزایش عمق، میزان سرب تجمع یافته در خاک کاهش می‌یابد. سرب تمایل زیادی برای اتصال به ذرات کلوییدی و ترکیبات آلی دارد و به همین علت به راحتی توسط گیاهان جذب می‌شود.

جدول ۱. منبع آلودگی سرب در خاک کشاورزی، محصولات زراعی و آب در کشورهای مختلف

منبع آلودگی	محل آلودگی	گونه گیاهی	کشور	رفرنس
فاضلاب رودخانه شیتالاخیا	خاک و سبزیجات	Amaranthus lividus, Basella alba, Cucurbita Trichosanthes moschata, Spinacia oleracea, and cucumerina	بنگلادش	(۲۴)
تصفیه خانه فاضلاب	خاک، آب و محصولات زراعی	Eruca sativa, Madia sativa, Malus sylvestris, Triticum æstivum, Triticum turgidum, Urtica dioica, and Vicia faba	موروکو	(۲۵)
مناطق دارای معادن	خاک و سبزیجات	Amaranthus dubius, Ipomoea aquatic, Ipomoea batatas, Phaseolus vulgaris, Piper nigrum, Solanum lycopersicum, and Solanum melongena	چین	(۲۶)
فاضلاب مناطق شهری	خاک و محصولات زراعی	Oryza sativa	ایران	(۲۷)
فعالیت های کشاورزی/شهرسازی	آب و سنگ های رسوبی	Lemna minor	هند	(۲۸)
شهرسازی	آب، خاک و سبزیجات	Brassica oleracea, Momordica charantia, Phaseolus vulgaris, Raphanus raphanistrum, Solanum lycopersicum, and Triticum aestivum	چین	(۲۹)
تاثیرات فعالیت های انسانی	خاک و سبزیجات	Cucurbita maxima, Lagenaria siceraria, Solanum melongena, and Spinacia oleracea	پاکستان	(۳۰)
صنعت شیشه سازی	خاک و محصولات زراعی	خاک و محصولات زراعی	هند	(۳۱)

۲. انتقال، سمیت، و تجمع زیستی سرب از طریق آلودگی زنجیره غذایی

سرب در چرخه محیط زیست، یکی از رایج ترین و سمی ترین فلزات سنگین موجود است (۳۲). در حال حاضر از مشخصه های کمی متنوعی جهت تعیین سمیت سرب در

[Downloaded from amfi.ir on 2025-11-02]

زنجیره غذایی استفاده می‌شود (جدول ۲). سرب پس از ورود به خاک به ریشه گیاهان نفوذ کرده و در این قسمت تجمع پیدا می‌کند (۹۵٪) و بخش کوچکی از آن نیز به اندام‌های هوایی گیاه منتقل می‌شود. گونه‌های گیاهی زیادی از جمله سیر[۴] (۳۳)، درخت حرا[۵] (۳۴)، نخود سبز[۶]، لوبیا سفید[۷]، باقلا[۸] (۳۲, ۳۵, ۳۶)، خلر[۹] (۳۷)، گل توتون[۱۰] (۳۸)، سدوم آلفردی[۱۱] (۳۹)، لوبیا چشم بلبلی[۱۲] (۴۰) و ذرت شیرین[۱۳] (۴۱) در این زمینه مورد بررسی قرار گرفته اند.

جدول ۲. شاخص های مورد استفاده جهت تعیین کمی سمیت سرب در سطوح تغذیه ای در زنجیره غذایی

فاکتور	معادله	رفرنس
فاکتور انتقال تغذیه‌ای (TTF)	$TTF=\frac{\text{غلظت سرب در بافت اندام}}{\text{غلظت سرب در غذا}}$	(۴۲)
فاکتور انتقال (TF)	$TF=\frac{\text{غلظت سرب در اندام گیاهی}}{\text{غلظت سرب در خاک}}$	(۴۳)
فاکتور انتقال فلز (MTF)	$MTF=\frac{\text{غلظت سرب در گیاه}}{\text{غلظت سرب در خاک}}$	(۴۴)
فاکتور انباشتگی (AF)	$AF=\frac{\text{غلظت سرب در قسمت خوراکی گیاه}}{\text{غلظت سرب در خاک}}$	(۴۵)
فاکتور تجمع زیستی (BAF)	$BAF=\frac{\text{غلظت سرب در بافت اندام}}{\text{غلظت سرب در محیط غیرزنده}}$	(۴۶)
فاکتور غلظت زیستی (BCF)	$BCF=\frac{\text{غلظت سرب در اندام گروه آزمایش}-\text{غلظت سرب در اندام گروه کنترل}}{\text{غلظت سرب در آب}}$	(۴۷)
فاکتور تجمع زیستی رسوبات (BSAF)	$BAF=\frac{\text{غلظت سرب در جاندار}}{\text{غلظت سرب در رسوبات}}$	(۴۸)
فاکتور بزرگنمایی زیستی (BMF)	$BMF=\frac{\text{غلظت سرب در جاندار}}{\text{غلظت سرب در رژیم غذایی جاندار}}$	(۴۹)
فاکتور بزرگنمایی تغذیه‌ای (TMF)	از شیب لگاریتم غلظت سرب منتقل شده در ارگانیسم‌ها در برابر سطوح غذایی موجودات در شبکه غذایی محاسبه می‌شود.	(۵۰)

گیاهان از ریشه خود یون های فلزی موجود در خاک را جذب می‌کنند. در بعضی از گونه‌های گیاهی مانندکاهو[۱۴] (۵۱)، برگ خردل[۱۵] (۵۲)، علف بره قرمز[۱۶] (۵۳, ۵۴)، خزه آتشین[۱۷] (۵۵) و لوبیا جشم بلبلی[۱۸] (۴۰) سرب پس از جذب توسط ریشه به اورونیک اسید متصل و با روش انتقال فعال وارد ریشه شده و از طریق آوندهای چوبی به کل گیاه منتقل می‌شود. یک گرادیان غلظت در نزدیکی راس ریشه صورت می‌گیرد. پس از جذب سرب توسط ریشه، گرادیان غلظت در گیاه ایجاد شده که سبب جذب بیشتر سرب از خاک می‌شود. قابل ذکر است که گرادیان غلظت در قسمت کلاهک ریشه به دلیل داشتن سلول‌های جوان با دیواره‌های سلولی نازک برقرار نمی‌شود. سرب پس از ورود به ریشه از طریق

[4] Allium sativum
[5] Avicennia marina
[6] Pisumsativum
[7] Phaseolus vulgaris
[8] Vicia faba
[9] Lathyrus sativus
[10] Nicotiana tabacum
[11] Sedum alfredii
[12] V. unguiculata
[13] Zea mays
[14] Lactuca sativa
[15] Brassica juncea
[16] Festuca rubra
[17] Funaria hygrometrica
[18] Vigna unguiculata

[Downloaded from amfi.ir on 2025-11-02]

آپوپلاست با جریان آب حرکت می‌کند تا به لایه اندودرم برسد. اندودرم به عنوان یک مانع فیزیکی برای انتقال سرب عمل می‌کند زیرا جریان آب توسط نوار کاسپاری مسدود می‌شود و بنابراین سرب وارد حرکت سیمپلاستی می‌شود. انتقال کم سرب از ریشه به اندام‌های هوایی به دلیل وجود پکتین های دارای بار منفی در دیواره سلولی ریشه گزارش شده است (۲, ۵۶). نمک های سرب نامحلول در فضاهای بین سلولی در سلول‌های ریشه (۵۱, ۵۶)، غشای پلاسمایی سلول های ریشه (۳۳, ۵۶)، واکوئل های سلول های ساقه‌های زیرزمین و ناحیه قشری ریشه رسوب می‌کنند (۴۰, ۵۶). بخش عمده ای از سرب جذب شده توسط گیاه در طی فرآیند سم زدایی از سلول های اندودرم دفع می‌شود. علیرغم توضیحات داده شده دلایل کافی برای توضیح انتقال کم سرب از ریشه به اندام‌های هوایی گیاه وجود ندارد زیرا گونه‌های گیاهی مانند کلم چینی[19] و گل شمعدانی[20] به طور بالقوه سرب را به اندام‌های هوایی منتقل می‌کنند، بدون آنکه فرایندهای متابولیکی اثرگذار باشد (۵۷, ۵۸). برخی از گونه‌های گیاهی می‌توانند بیش از ppm ۱۰۰۰ سرب را در اندام‌های خود ذخیره کنند (۵۹). ریشه‌های این گیاهان باعث افزایش انحلال فلزات در خاک شده (۵۸)، جذب فلزات و انتقال آن را افزایش می‌دهند و سبب تجمع مقادیر زیادی سرب در گیاه می‌شوند.

علاوه بر این، انتقال سرب به اندام‌های هوایی گیاه توسط شلاته کننده‌های آلی مانند اتیلن دی آمین ترا استیک اسید (EDTA) و میکروارگانیسم‌ها افزایش می‌یابد (۲, ۶۰). لیو[21] و همکارانش (۲۰۱۰) نشان دادند در خانواده کلم چینی با افزایش میزان سرب در خاک، انتقال این فلز به اندام‌های هوایی افزایش می‌یابد. دلیل این اتفاق می‌تواند تخریب نوار کاسپاری توسط سرب در غلظت‌های بالا باشد که به عنوان سد فیزیکی در مقابل حرکت این فلز به اندام‌های هوایی عمل می‌کند (۶۱). از سوی دیگر، آوند چوبی به انتقال فلزات از ریشه گیاهان به شاخه ها کمک می‌کند (۶۲). آریاس[22] و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از اشعه ایکس نشان دادند در سلول‌های آوند چوبی و آبکشی مقادیر زیادی سرب ذخیره شده است (۲). سرب پس از نفوذ به داخل استوانه مرکزی ساقه، دوباره از طریق مسیر آپوپلاستی و از طریق جریان آوندی به نواحی برگ منتقل می‌شود (۵۴). در آوند چوبی، سرب می‌تواند کمپلکس هایی با اسیدهای آمینه یا اسیدهای آلی تشکیل دهد (۵۹). ترکیبات معدنی سرب نیز قابل انتقال هستند و فاکتور انتقال برای آگاهی از میزان جابجایی سرب مورد بررسی قرار می‌گیرد (۵۸, ۶۱). مکانیسم مولکولی ورود سرب به ریشه هنوز مشخص نیست. طبق تحقیقات انجام شده مشخص شده است که چندین مسیر از جمله کانال های یونی برای انتقال سرب به ریشه گیاه وجود دارد. به صورت کلی، جذب سرب غیر انتخابی و مستقل از پمپ H^+/ATPase می‌باشد (۶۳). جذب سرب با کلسیم مهار می‌شود زیرا هنگام جذب از طریق کانال‌های کلسیمی (که از مهمترین مسیرهای جذب سرب می‌باشد) با کلسیم رقابت می‌کند (۶۳, ۶۴). مطالعات گیاهان تراریخته نشان می‌دهد سرب همچنین می‌تواند از طریق مسیرهای غیرانتخابی جایگزین، مانند کانال‌های یونی دریچه‌دار وابسته به نوکلئوتیدهای حلقوی و ناقل‌های کاتیونی با میل ترکیبی پایین، به ریشه‌ها نفوذ کند (۶۵). لازم به ذکر است که میوه نسبت به سایر قسمت‌های گیاه مقادیر بالاتری از سرب را ذخیره می‌کند.

بلع تصادفی خاک آلوده یکی از راه‌های قرارگیری در معرض مسمومیت با سرب برای انسان های ساکن مناطق آلوده می‌باشد (۹, ۶۶). مصرف گیاهان آلوده مهمترین دلیل قرارگیری در معرض مسمومیت با سرب برای انسان و حیوانات می‌باشد (۶۶-۶۸). ساکنان مناطق آلوده به سرب و کارگران صنایعی که پیشتر به عنوان منابع آلوده کننده محیط زیست به آن‌ها اشاره شده است، ممکن است در معرض آلودگی به سرب قرار گیرند. قرار گرفتن در معرض سرب و غلظت خون در این افراد تابع فصل و همچنین میزان و نوع فعالیت صنعتی است. مطالعات انجام شده نشان داده‌اند که

[19] Brassica pekinensis
[20] Pelargonium
[21] Liu
[22] Arias

[Downloaded from amfi.ir on 2025-11-02]

سطح سرب خون کودکان[23] (BLLs) در طول تابستان و اوایل پاییز بالاتر می‌باشد (۶۹). فاکتور BLLs از اهمیت بالایی برخوردار است و به پارامترهایی مانند سن، مکان و آب و هوا وابسته می‌باشد. طبق مطالعات انجام گرفته، سطوح بالا سرب (۱۰-۶۰ درصد) در هوای گرم مشاهده شده و این فاکتور در کودکان ۲ ساله بالاتر از کودکان زیر ۱ سال و بالای ۴ سال بوده است (۷۰, ۷۱). از سوی دیگر، زهران[24] و همکاران (۲۰۱۳) به در نظر گرفتن فصل جهت ارزیابی خطر سرب اشاره نموده اند (۷۱).

۳. اثرات سلامتی ناشی از مصرف مواد غذایی آلوده به سرب

سرب از طرق مختلفی مانند استنشاق گرد و غبار حاوی سرب، بلع خاک های آلوده، مصرف گوشت‌های آلوده، مصرف آب آلوده و غذای کشت شده در مناطق آلوده به سرب وارد بدن می‌شود (۷۲, ۷۳). پس از جذب، سرب از طریق گلبول‌های قرمز خون در بدن پخش می‌شود. سرب پس از ورود به گلبول‌های قرمز، بیشتر به هموگلوبین متصل می‌شود تا غشای گلبول های قرمز خون (۷۴). سیستم خونسازی در بدن به سرب بسیار حساس می‌باشد و حضور سرب در جریان خون با اثر بر روی این سیستم سبب کم خونی می‌شود (۷۵). مشاهدات آسیب شناسی بافتی مشخص نموده که یون‌های سرب وارد کبد شده و آسیب مزمن در کبد ایجاد می‌کند. سمیت سرب همچنین باعث افزایش سطح آنزیم خون و کاهش سنتز پروتئین می‌شود (۷۶-۷۸). سرب از طریق آسیب ساختاری و تغییر در عملکرد کلیه‌ها، باعث ایجاد اثرات سمی در آن‌ها می‌شود (۷۶, ۷۷, ۷۹). سیستم عصبی، قلبی عروقی و تناسلی از دیگر سیستم‌هایی هستند که در صورت مسمومیت به سرب در معرض آسیب قرار می‌گیرند (۷۴, ۷۵, ۸۰). اصلی‌ترین اثر جانبی سرب در بدن، معدنی سازی استخوان و دندان است (۳). آژانس بین المللی تحقیقات سرطان[25] (IARC) بر اساس شواهد محدود در انسان و شواهد کافی در حیوانات اعلام کرد که ترکیبات معدنی سرب احتمالاً برای انسان سرطان زا است (گروه A_2).

٤. روش های کاهش سرب

روش های نوین و کارامد برای کاهش و یا حذف فلزسنگین سرب از زنجیره غذایی، پیش نیاز زندگی سالم و تولید مواد غذایی ایمن است. روش های مختلفی نظیر روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک برای کاهش غلظت سرب و متعاقبا کاهش تجمع آن در زنجیره غذایی استفاده می‌شود.

٤-۱. روش های فیزیکی

٤-۱-۱. جایگزینی محیط آلوده (آب/خاک)

در این روش جایگزینی کامل یا جزئی منابع آلوده (خاک/آب) بر اساس میزان آلودگی انجام می‌شود (۸۱). این روش در مقیاس کوچک بسیار مفید است. بزرگترین چالش آن، دفع ایمن خاک/آب آلوده به روشی مقرون به صرفه است. برای به حداقل رساندن جذب فلزات سنگین توسط پوشش گیاهی، این تکنیک با جایگزینی خاک های آلوده با خاک های غیرآلوده صورت می‌گیرد (۸۲).

٤-۱-۲. انجماد شیشه ایی

در روش‌های انجماد شیشه ایی، خاک در دمای بالا ذوب می‌شود و به سرعت سرد می‌شود به گونه ایی که جداسازی سرب در توده زجاجیه جامد حاصل می‌شود (۸۱, ۸۳). روش پرهزینه ایی است و ممکن است برای کاربرد در مناطق بزرگ مناسب نباشد. دلیسانتی[26] و همکاران (۲۰۰۹) انجماد ضایعات سرامیکی غنی از سرب را انجام دادند (۸۴). ناوارو[27]

[23] Blood lead levels
[24] Zahran
[25] International Agency for Research on Cancer
[26] Dellisanti
[27] Navarro

[Downloaded from amfi.ir on 2025-11-02]

و همکاران (۲۰۱۳) از انجماد شیشه ایی برای کاهش میزان جیوه و سرب از ضایعات معادن در اسپانیا استفاده کردند (۸۵).

٤-۱-۳. روش الکتروکینتیک

تکنیک الکتروکینتیک با اعمال جریان در میدان الکتریکی حاصل می‌شود. این فرآیند شامل تکنیک هایی مانند الکتروفورز، مهاجرت الکتریکی، الکترواسمز و الکترولیز است (۸۶). کیم[1] و همکاران (۲۰۱۲) نشان داده‌اند که میزان سرب خاک آلوده برنج را با استفاده از تکنیک الکتروکینتیک تا ۱۹/۴ درصد در ۴ هفته می‌توان کاهش داد (۸۷). جئون[2] و همکاران (۲۰۱۵) خاک آلوده به سرب را در یک مزرعه برنج با استفاده از اتیلن دی آمین ترا استیک اسید[3] به عنوان الکترولیت اصلاح کردند (۸۸). روش اصلاح الکتروکینتیک ضایعاتی تولید نمی‌کند. اصلاح الکتروکینتیک برای خاک های اشباع با جریان آب زیرزمینی کم قابل استفاده است، نیاز به زمان کوتاه و انرژی کم دارد و اصلاح کامل را فراهم می‌کند (۸۱). ناهمگونی خاک و عمق اصلاح دو محدودیت مهم این روش است.

٤-۲. روش های شیمیایی

٤-۲-۱. پایداری شیمیایی

این روش برای کاهش تحرک، فراهمی زیستی و دسترسی زیستی فلزات سنگین در خاک استفاده می‌شود. این روش فلز سنگین را به اشکالی تبدیل می‌کند که تحرک کمتری دارد و برای گیاهان و میکرو فلور در دسترس می‌باشد. اصل اساسی، تثبیت فلزات در دسترس گیاهان و در نتیجه کاهش سمیت آن‌ها برای گیاهان، جانوران و خاک است. عوامل تثبیت کننده نظیر زئولیت، مواد قلیایی، مواد آلی (لجن فاضلاب و کمپوست)، ترکیبات فسفاته (سنگ فسفات، فسفات کلسیم منیزیم و سوپر فسفات منفرد) و اکسیدهای فلزی (اکسیدهای منگنز و پودر اکسی هیدروکسید آهن با سنگ آهک) است (۸۱). فلزات تثبیت شده برای گیاهان کمتر در دسترس می‌شوند و در نتیجه آلودگی زنجیره غذایی کاهش می‌یابد. روش پایداری شیمیایی یک روش ساده، سریع و نسبتاً مقرون به صرفه است که به وسیله آن می‌توان سرب را با مکانیسم های جذب، رسوب شیمیایی، تبادل یون و کمپلکس سطحی تثبیت کرد تا انتقال سرب و فراهمی زیستی محدود شود. اما در این فرآیند سرب در خاک باقی می‌ماند و در طول زمان ممکن است در دسترس گیاهان قرار بگیرد (۸۲).

٤-۲-۲. شستشوی خاک

در فرآیند شستشوی خاک از برخی اسیدها (هیدروکلریک اسید و نیتریک اسید)، شلاته کننده‌ها (اتیلن دی آمین ترا استیک اسید، اسید نیتریل استیک و DTPA) و سایر سورفکتانت های آنیونی برای حل شدن فلزات آلوده کننده استفاده می‌شود (۸۲). اختلاط خاک با معرف های مربوطه در جایی انجام می‌شود که معرف ها سرب را از خاک به فاز مایع از طریق شلاته کردن، انحلال شیمیایی و مکانیسم‌های تبادل یونی انتقال می‌دهند (۸۹). شستشوی خاک یک روش شیمیایی سریع، دائمی و موثر برای کاهش طولانی مدت سرب است (۹۰). هیو[4] و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از اتیلن دی آمین ترا استیک اسید به عنوان یک عامل شلاته کننده، ۷۳ درصد سرب را حذف کردند (۹۱). ونگ[5] و همکاران (۲۰۱۸) از اسید ایمینودی سوسینیک، گلوتامات-N، اسید N-دی استیک، اسید گلوکومونو کربنیک و اسید پلی آسپارتیک برای استخراج ۵۳ و ۵۵ درصد سرب از خاک آلوده به سرب-روی استفاده کردند (۹۲). با این حال، این روش به دلیل تغییر در خواص خاک، از دست دادن مواد

[1] Kim
[2] Jeon
[3] EDTA
[4] Hu
[5] Wang

[Downloaded from amfi.ir on 2025-11-02]

مغذی، اثرات نامطلوب مواد شیمیایی، تولید فاضلاب و هزینه مواد شیمیایی و تأثیر منفی آن‌ها بر محیط زیست، موانع خاصی برای کاربرد عملی روش‌های شیمیایی محسوب می‌شود. سایر روش های فیزیکوشیمیایی شامل رسوب یا لخته سازی با عملیات حرارتی و به دنبال آن ته نشینی، تبادل یونی، اسمز معکوس و میکرو فیلتراسیون می‌باشد که به دلیل هزینه بالا برای کاربردهای عملی مناسب نیستند. خاک بسیار گرانبهاست بنابراین به جای دور ریختن آن، باید از دانش کانی شناسی و ژئوشیمیایی برای پاکسازی خاک آلوده استفاده کرد (۸۲).

٤-۳. روش‌های بیولوژیک

روش های بیولوژیک را می‌توان استفاده مستقیم از هر موجود زنده طبیعی / مهندسی ژنتیکی شده و محصول آنها برای سم زدایی سرب تعریف کرد.

٤-۳-۱. حذف فلزات توسط گیاهان

کاهش فلزات توسط گیاهان یک روش سازگار با محیط زیست و مقرون به صرفه است که می‌تواند سرب را در خاک های با میزان آلودگی کم تا متوسط حذف کند. از گیاهان می‌توان برای حذف، انتقال و تثبیت فلزات از خاک های آلوده استفاده کرد. کاهش فلزات توسط گیاهان شامل پنج استراتژی استخراج گیاهی[1]، تثبیت گیاهی[2]، ریزوفیلتراسیون[3]، تبخیر گیاهی[4] و تجزیه گیاهی[5] است. استخراج گیاهی شامل جذب فلزات از خاک یا آب توسط ریشه گیاهان و انتقال و تجمع آنها در قسمت های بالای زمین گیاه است که در نتیجه باعث کاهش غلظت فلز در خاک های آلوده می‌شود. تثبیت گیاهی، استفاده از گیاهان برای کاهش تحرک و فراهمی زیستی فلزات در خاک می‌باشد. ریزوفیلتراسیون جذب، تغلیظ و رسوب فلزات توسط ریشه گیاهان است. در فرایند تبخیر گیاهی آلاینده‌ها در سطح ریشه جذب می‌شوند، از طریق آوند چوبی منتقل و در نتیجه تغییرات متابولیکی از قسمت های هوایی گیاه به شکل کمتر سمی به اتمسفر رها می‌شوند. تجزیه گیاهی به صورت تخریب آلاینده های خاک با افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها در ریزوسفر گیاه انجام می‌شود (۹۳). حدود ۵۰۰ گونه گیاهی دارای خاصیت انباشتگی بیش از حد فلز هستند که از این میان تقریباً ۰/۲ درصد متعلق به آنژیوسپرم است. جذب فلزات به نوع و گونه شیمیایی فلز و خصوصیات رویشگاهی گیاهان (زمین و آب) بستگی دارد. بنابراین، انتخاب گیاه برای اصلاح محل آلوده مهم است (۸۲). برای تجمع غلظت‌های بالای کبالت گونه‌های متعلق به خانواده‌های *Lamiaceae*، *Scrophulariaceae*، *Asteraceae* و *Fabaceae* استفاده می‌شود (۹۴). چنگ[6] و همکاران (۲۰۱۶) پتانسیل حذف سرب را در *Miscanthus floridulus* مشاهده کردند (۹۵). یانگ[7] و همکاران (۲۰۱۷) پتانسیل استخراج گیاهی سیستم دارای *Pteris vittata L.* و *Ricinus communis L.* را در خاک آلوده به سرب تایید کردند و افزایش عملکرد *P. vittata* پس از جذب سرب مشاهده شد (۹۶). جهت انتخاب گونه های گیاهی مدل برای حذف فلزات، نسبت فلزات بین خاک و اجزای گیاه (ضریب انتقال فلز) اندازه گیری می‌شود و این نسبت باید بیش از یک باشد که به معنای انباشتگی بیشتر فلزات در قسمت‌های گیاه نسبت به خاک است (۸۲). گونه های مختلف گیاهی که دارای توانایی بالقوه در کاهش دادن فلزات سنگین می‌باشند در جدول ۳ خلاصه شده است.

جدول ۳. گیاهان دارای توانایی بالقوه برای کاهش‌دادن میزان فلزات سنگین

گونه‌های گیاه	فلزات سنگین	منبع
Atriplex Lentiformis	کادمیوم	(۹۷)
Atriplex Halimus	روی	(۹۸)

[1] Phytoextraction
[2] Phytostabilization
[3] Rhizofilteration
[4] Phytovolatilization
[5] Phytodegradation
[6] Cheng
[7] Yang

[Downloaded from amfi.ir on 2025-11-02]

Brassica Juncea	آرسنیک	(۹۹)
Berkheya Coddii	نیکل	(۱۰۰)
Boehmeria Nivea	کادمیوم	(۱۰۱)
Canna Indica	کادمیوم	(۱۰۲)
Ceratophyllum demersum	سرب	(۱۰۳)
Dalbergia Sissoo	مس/ نیکل	(۱۰۴)
Eichhornia crassipes	سرب	(۱۰۵, ۱۰۶)
Genipa Americana	کروم	(۱۰۷)
Lactuca Sativa	مس	(۱۰۸)
Haumaniastrum Robertii	کبالت	(۱۰۹)
Helianthus Annuus	مس/ سرب	(۱۱۰)
Hydrocotyle Ranunculoides	مس/ روی	(۱۱۱)
Lagerstroemia Indica	کادمیوم	(۱۱۲)
Lathyrus Sativus	کادمیوم/ سرب	(۱۱۳)
Leptodictyum riparium	سرب	(۱۱۴)
Ludwigia Peploides	سرب/ روی	(۱۱۵)
Luzula Campestris	سرب	(۱۱۶)
Medicago Sativa	سرب	(۱۱۷)
Nicotiana Tabacum	مس	(۱۱۸)
Noccaea Caerulescens	روی/ کادمیوم/ نیکل	(۱۱۹)
Pistia Stratiotes	نقره	(۱۲۰)
Pistia Sp.	کروم	(۱۲۱)
Pteris Vittata	آرسنیک	(۱۲۲)
Posidonia oceanica	سرب	(۱۲۳)
Salix Viminalis	نیکل	(۱۲۴)

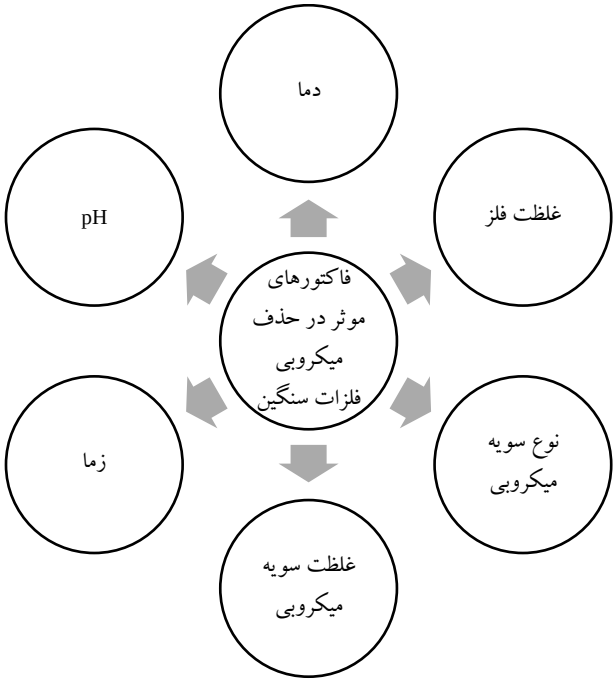
٤-۳-۲. روش های میکروبی

از میکروب ها برای کاهش سرب در روش‌های میکروبی استفاده می‌شود. گونه‌های باکتریایی مانند *آلکالیژنس*[40]، باسیلوس فیرموس[41]، باسیلوس لیکنی فورمیس[42]، انتروباکتر کلوآسه[43]، اشریشیا کلی[44]، میکروکوکوس لوتئوس[45]، سودوموناس فلورسنس[46] و سالمونلا تیفی[47] پتانسیل جذب سرب را از منابع آلوده نشان داده‌اند(۱۲۵-۱۲۹) . ونگ[48] و همکاران (۲۰۱۴) به این نتیجه رسیدند که سویه باکتریایی B38 (جهش یافته باسیلوس سوبتیلیس) پتانسیل بسیار زیادی برای جذب فلزات سنگین از جمله سرب در چین دارد (۱۳۰). زنگ[49] و همکاران (۲۰۱۵) مشاهده کردند که آسپرژیلوس نایجر[50] سویه SY1 به طور موثر ۹۹/۵ درصد سرب را از رسوبات آلوده حذف کرد (۱۳۱). توده‌های زیستی قارچ‌های

[40] *Alcaligenes* sp.
[41] *Bacillus firmus*
[42] *Bacillus licheniformis*
[43] *Enterobacter cloacae*
[44] *Escherichia coli*
[45] *Micrococcus luteus*
[46] *Pseudomonas fluorescens*
[47] *Salmonella typhi*
[48] Wang
[49] Zeng
[50] *Aspergillus niger*

[Downloaded from amfi.ir on 2025-11-02]

آسپرژیلوس نایجر، *آسپرژیلوس ترئوس*[51] و تریکودرما لانژی براچیاتوم[52] به عنوان جاذب‌های زیستی بالقوه گزارش شده‌اند (۱۲۹, ۱۳۲, ۱۳۳). همچنین گونه های جلبک پالماریا پالمات[53]، اسپیروژیرا هیالین[54]، اسپیرولینا ماکسیما[55]، سیستوسریا بارباتا[56]، گونه‌های کلادوفورا[57]، چارا آکیولئولاتا[58]، نیتلا اپاکا[59] و اولوا لاکتوکا[60] به عنوان جاذب های زیستی کارآمد شناخته شدند (۱۲۹, ۱۳۴, ۱۳۵). بایومس‌های میکروبی، به ویژه باکتری های اسید لاکتیک و پروبیوتیک‌ها قادر به اتصال و کاهش یون های سمی هستند (۱۳۶). باکتری های اسید لاکتیک و به ویژه پروبیوتیک‌ها معمولاً به عنوان میکروب‌های ایمن شناخته می‌شوند و هنگامی که به مقدار کافی مصرف شوند، مزایای سلامت بخشی برای مصرف کننده دارند (۱۳۷, ۱۳۸). مطالعات نشان داده است باکتری های اسید لاکتیک و برخی از پروبیوتیک-ها قادر به کاهش فراهمی زیستی ترکیبات سمی و اتصال به سطح دیواره سلولی از طریق مکانیسم های تبادل یونی، رسوب، شلاته کردن، جذب و تشکیل کمپلکس با فلز هستند (۱۳۹, ۱۴۰). به دلیل وجود بارهای منفی سطح سلول میکروارگانیسم و بار مثبت یون فلزی، حذف یون های فلزی سمی از طریق مکانیسم تبادل یونی محتمل‌تر می‌باشد (۱۴۰-۱۴۲). بنابراین، با توجه به ماهیت فیزیکی این پدیده، عوامل متعددی در حذف فلزات سنگین توسط میکرواورگانیسم‌ها موثر می‌باشد (۱۳۶). عواملی که بر روی جذب فلزات سنگین توسط میکرواورگانسیم ها اثر گذار هستند در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. عوامل موثر بر روی حذف فلزات سنگین توسط میکرواورگانیسم‌ها

٤-٤. روش‌های بیوتکنولوژیک

ژنومیکس، متاژنومیکس، متابولومیکس، پروتئومیکس، ترانس کریپتومیکس و نانوذرات تکنیک های مدرن برای حذف فلز سرب توسط گیاهان هستند (۱۴۳, ۱۴۴).

[51] *Aspergillus terreus*
[52] *Trichoderma longibrachiatum*
[53] *Palmaria palmate*
[54] *Spirogyra hyaline*
[55] *Spirulina maxima*
[56] *Cystoseira barbata*
[57] *Cladophora* sp.
[58] *Chara aculeolata*
[59] *Nitella opaca*
[60] *Ulva lactuca*

[Downloaded from amfi.ir on 2025-11-02]

رویکردهای بیوتکنولوژیک و ژنتیک برای حذف سرب از منابع آلوده پتانسیل بالایی دارند و در برخی از گیاهان ثابت شده است (۱۴۵). هتب[61] و همکاران (۲۰۱۶) افزایش قابل توجهی در گونه‌های فعال اکسیژن و استرس اکسیداتیو سلولی در *مدیکاگو ساتیوا*[62] از طریق تأثیر بر بیان CuZn-SOD، GSH سنتاز و GPX در برابر سرب مشاهده کردند (۱۴۶). فن[63] و همکاران (۲۰۱۶) مشاهده کردند یک پروتئین ناشناخته، محصول ژن PSE1(Pb-sensitive1) که در سیتوپلاسم قرار گرفته است، پتانسیل تحمل سرب را در آرابیدوپسیس تالیانا[64] دارد (۱۴۷). ژیانگ و همکاران (۲۰۱۷) نقش PDR12 آرابیدوپسیس تحت تنش سرب را مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند که PDR12 مسئول فعال سازی مکانیسم حذف سرب است (۱۴۸). پروتئین مالات دهیدروژناز قرار گرفته در سیتوزول به عنوان تنظیم کننده مکانیسم های تحمل سرب عمل می‌کند (۱۹, ۱۴۹). سرب به راحتی توسط GSH ردوکتاز در سلول گیاهی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۱۵۰). افزایش بیان فیتوکلاتین با واسطه سرب نیز در سالوینیا مینیما[65] مشاهده شد (۱۵۱). گیاهان *مدیکاگو ساتیوا* بیان ژن PCS را در حضور سرب ۲۳ برابر نشان دادند (۱۴۶). علاوه بر این، گیاهان اصلاح شده ژنتیکی ژن‌ها/آنزیم‌هایی را بیان می‌کنند که قادر به کاهش زیستی آلاینده خاص هستند گیاهان اصلاح شده ژنتیکی قادر به تصفیه پساب های مختلف و زمین های آلوده هستند و می‌توانند برای کاربردهای عملی زیست پالایی مفید باشند. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل مطالعات مقایسه ای ژنومی و پروتئومی، تغییرات عملکردی آن‌ها و همچنین روابط تکاملی موجود بین آن‌ها می‌تواند به طراحی سیستم های زیست پالایی کارآمد جدید کمک کند. اطلاعات بیولوژی سیستم‌ها نظیر مسیرهای مولکولی، بیان مشترک و برهمکنش‌های پروتئین-پروتئین می‌توانند بر فرآیندهای زیست پالایی سرب تأثیر بگذارند.

٤-٥. روش‌های نانو

توسعه‌های علمی اخیر در علوم نانو راه را برای روش های اصلاحی مقرون به صرفه، سازگار با محیط زیست و پایدار باز کرده است. رویکردهای فناوری نانو به طور موفقیت آمیزی در خاک، رسوبات، مواد زائد جامد و فرآیند تصفیه فاضلاب استفاده شده است (۱۸, ۱۵۲). ویژگی های مشخصه نانومواد، نانوجاذب‌ها و ترکیبات نانو که برای کاهش میزان سرب استفاده می‌شوند در جدول ۴ ذکر شده‌اند. نانوذرات (کمتر از ۵۰ نانومتر) پتانسیل بالایی به عنوان جاذب سرب دارند. نانوذرات به دلیل اندازه کوچک می‌توانند از منافذ ریز خاک نفوذ کنند. نانوجاذب‌هایی نظیر کربن فعال، بیوپلیمر آلژینات، مواد رسی، سیلیس، نانوذرات اکسید آهن مغناطیسی، اکسیدهای فلزی و نانو تیتانات‌ها برای حذف سرب استفاده شده‌اند (۱۸, ۱۵۳, ۱۵۴). محققان نشان دادند که نانو مواد می‌توانند تجمع فلزات را از طریق بهبود نفوذپذیری دیواره سلولی و انتقال همزمان نانومواد با فلزات سنگین افزایش دهند (۱۸, ۱۵۵). فرآیند جذب فلزات با استفاده از نانوجاذب‌ها بر روی اکسیدهای روی، مس و آهن، به شدت به pH وابسته می‌باشد. حذف فلزات سنگین از محلول های آبی با افزایش میزان pH به دلیل فعل و انفعالات الکترواستاتیکی، رسوب و تشکیل پیوندهای کووالانسی با گروه های عاملی مختلف افزایش می‌یابد. افزایش pH منجر به پروتونه زدایی سطوح نانوجاذب می‌شود و در نتیجه غلظت مکان های دارای بار منفی روی مواد نانوجاذب را افزایش می‌دهد. این امر باعث افزایش بیشتر نیروهای جاذبه بین یون‌های سرب دارای بار مثبت و جایگاه‌های منفی روی نانوجاذب‌ها می‌شود (۱۸). نانوذرات اکسید آهن سوپرپارامغناطیس دارای نسبت سطح به حجم زیاد هستند، از نظر شیمیایی بی اثر هستند، می‌توانند زیست سازگار شوند، سطوح آن‌ها را می‌توان با گروه های عاملی آلی/غیر آلی

[61] Hattab
[62] *Medicago sativa*
[63] Fan
[64] *Arabidopsis thaliana*
[65] *Salvinia minima*

[Downloaded from amfi.ir on 2025-11-02]

اصلاح کرد و پتانسیل آن‌ها را برای جذب فلزات سنگین افزایش داد. گروه های عاملی COOH، NH_2، OH و SH سایت های فعالی را برای جایگزینی یون های فلزی سمی فراهم می‌کنند. برهمکنش‌های فیزیکی نظیر نیروهای الکترواستاتیک و واندر والس و برهمکنش های شیمیایی مانند پیوندهای شیمیایی و تشکیل کمپلکس مسئول جذب یون های فلزی سمی بر روی نانوجاذب هستند. مکانیسم جذب فلزات سنگین به نانولوله‌های کربنی میان کنش‌های بین گروه‌های عاملی OH، O=C و COOH نانولوله ها و فلزات سمی بیان شده است (۱۸).

جدول ٤. ویژگی های نانو ذرات در حذف سرب

نانو ذرات	ویژگی‌ها	سنتز نانوذرات	دوز جاذب	pH بهینه	حذف سرب (درصد)	منبع
نانو ذرات اکسید آهن	نانو ذرات مغناطیسی	رسوب همزمان از مخلوط نمک های آهن دو و سه ظرفیتی با محلول آمونیاک و پتاسیم هیدروکسید	۵۰mg/cm^3	۳-/۳ ۵/۹	۹۲-۷۶	(۱۵۶)
نانو ذرات فریت	-	سنتز رسوب اصلاح شده	۰/۰۰۸	-	۳۸/۱	(۱۵۷)
نانو ذرات کربن فعال	مساحت سطح و ظرفیت جذب بالا	-	۰/۰۲	۲-۱۰	۸۷	(۱۵۸)
نانو ذرات آهن تثبیت شده بر روی نشاسته	مساحت سطح بزرگتر برای واکنش های جذب	روش‌های کاهش شیمیایی	۱g/kg	۴/۲	۱۰۰	(۱۵۹)
مواد زئولیت به دست آمده از خاکستر	مساحت سطح بزرگتر	فرآیند هیدروترمال	۶	۶-/۶ ۵/۶	>۸۰	(۱۶۰)
دی آنیدرید پیرومیلیتیک اسید/N-(-۳(تری متوکسی سیلیل) پروپیل اتیلن دی آمین	اتصال فلزات سنگین از طریق میان‌کنش های الکتروستاتیک	واکنش سل ژل و پلیمریزاسیون	۰/۰۱	۷	۷۹/۶	(۱۶۱)
نانوذرات اکسید روی و پوسته هسته کیتوزان	آبدوست، زیست تخریب پذیر، غیر سمی، ظرفیت جذب بالا	ته نشینی مستقیم به همراه کربن زدایی حرارتی	۰/۰۲	۶	۹۹	(۱۶۲)

۵. نتیجه گیری

صنعتی شدن و افزایش استفاده از فلزات سنگین در محصولات مختلف مانند فیلم های عکاسی، باتری ها،

[Downloaded from amfi.ir on 2025-11-02]

سوخت وسایل نقلیه، مواد منفجره، رنگدانه‌ها و پوشش‌ها منجر به قرار گرفتن موجودات زنده در معرض فلزات سنگین شده است. آلودگی فلزات سنگین تهدید قابل توجهی برای سلامت انسان است. انتقال سرب از خاک به محصولات کشاورزی پیچیده و وابسته به گونه گیاهی است. گونه‌های گیاهی با مصرف‌انسانی، تجمع زیستی و میزان سمیت متفاوتی را نسبت به سرب نشان داده‌اند. برای به حداقل رساندن خطرات سلامتی ناشی از مصرف سرب روش های مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک وجود دارد. با این حال روش-های مقرون به صرفه و سازگار با محیط زیست نظیر روش های بیولوژیک برای کاهش سمیت سرب در زنجیره غذایی استراتژی‌های کارآمد و مناسبی می‌باشند. همچنین در طول دهه گذشته، محققان برای کشف رویکردهای نوآورانه برای کاهش فلزات سنگین به فناوری نانو روی آورده‌اند که از نانوذرات برای حذف فلزات سنگین از خاک، هوا، گیاهان و آب استفاده می‌شود. در حالی که فناوری نانو راه‌حل‌های امیدوارکننده‌ای را برای کاهش آلودگی فلزات سنگین ارائه می‌دهد، بررسی اثرات منفی بالقوه آن بر اکوسیستم ضروری است. نیاز است تحقیقات آینده به بررسی رفتار و خطرات مرتبط با نانوذرات در هنگام استفاده جهت کاهش فلزات سنگین در محیط متمرکز شوند. علاوه بر این، توسعه نانوذرات سازگار با محیط‌زیست که می‌توانند به طور طبیعی تخریب شوند و حذف ایمن و پایدار آلاینده‌ها را تضمین کند حائز اهمیت می‌باشد.

[Downloaded from amfi.ir on 2025-11-02]

منابع

1. Organization WH. Action is Needed on Chemicals of Major Public Health Concern. WHO, 2010. 2018.
2. Arias JA, Peralta-Videa JR, Ellzey JT, Ren M, Viveros MN, Gardea-Torresdey JL. Effects of Glomus deserticola inoculation on Prosopis: enhancing chromium and lead uptake and translocation as confirmed by X-ray mapping, ICP-OES and TEM techniques. Environmental and Experimental Botany. 2010;68(2):139-48.
3. ATSDR A. Case Studies in Environmental Medicine. US Department of Health & Human Services Washington ,WA, USA; 1992.
4. Pais I, Jones Jr JB. The handbook of trace elements: Crc Press; 1997.
5. Assi MA, Hezmee MNM, Sabri MYM, Rajion MA. The detrimental effects of lead on human and animal health. Veterinary world. 2016;9(6):660.
6. Cancer IAfRo. Agents classified by the IARC monographs. http://monographs iarc fr/ENG/Classification/index php. 2012:1-104.
7. EPA. U.S. Environmental Protection Agency; 1998 [updated 2004. Available from: https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/subst/0277_summary.pdf.
8. Organization WH. International lead poisoning prevention week 2019 campaign resource package. World Health Organization; 2019.
9. Saba D, Manouchehri N, Besancon S, El Samad O, Khozam RB, Kassir LN, et al. Bioaccessibility of lead in Dittrichia viscosa plants and risk assessment of human exposure around a fertilizer industry in Lebanon. Journal of environmental management. 2019;250:109537.
10. Zaimee MZA, Sarjadi MS, Rahman ML. Heavy metals removal from water by efficient adsorbents. Water. 2021; 13(19): 2659.
11. Cabral-Pinto MM, Inácio M, Neves O, Almeida AA, Pinto E, Oliveiros B, et al. Human health risk assessment due to agricultural activities and crop consumption in the surroundings of an industrial area. Exposure and Health. 2020;12:629-40.
12. Cabral Pinto MM, Ordens CM, Condesso de Melo MT, Inácio M, Almeida A, Pinto E, et al. An inter-disciplinary approach to evaluate human health risks due to long-term exposure to contaminated groundwater near a chemical complex. Exposure and Health. 2.214-12:199;020
13. Cabral Pinto MM, Ferreira da Silva EA. Heavy Metals of Santiago Island (Cape Verde) alluvial deposits: Baseline value maps and human health risk assessment. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2019;16: 2-12.
14. Lee J-W, Choi H, Hwang U-K, Kang J-C, Kang YJ, Kim KI, et al. Toxic effects of lead exposure on bioaccumulation, oxidative stress, neurotoxicity, and immune responses in fish: A review. Environmental toxicology and pharmacology. 2019;68:101-8.
15. Hindarwati Y, Soeprobowati TR, editors. Heavy Metal Content in Terraced Rice Fields at Sruwen Tengaran Semarang-Indonesia. E3S Web of Conferences; 2018: EDP Sciences.
16. Zulfiqar U, Farooq M, Hussain S, Maqsood M, Hussain M, Ishfaq M, et al. Lead toxicity in plants: Impacts and remediation. Journal of environmental management. 2019;250:109557.
17. Kumar A, Chaturvedi AK, Yadav K, Arunkumar K, Malyan SK, Raja P, et al. Fungal phytoremediation of heavy metal-contaminated resources: current scenario and future prospects. Recent advancement in white biotechnology through fungi: Volume 3: Perspective for sustainable environments. 2019:437-61.
18. Kumar S, Prasad S, Yadav KK, Shrivastava M, Gupta N, Nagar S, et al. Hazardous heavy metals contamination of vegetables and food chain: Role of sustainable remediation approaches-A review. Environmental research. 2019;179:108792.
19. Kumar A, Prasad MNV. Plant genetic engineering approach for the Pb and Zn remediation: Defense reactions and detoxification mechanisms .Transgenic Plant Technology for Remediation of Toxic Metals and Metalloids: Elsevier; 2019. p. 359-80.
20. Gupta N, Yadav KK, Kumar V, Kumar S, Chadd RP, Kumar A. Trace elements in soil-vegetables interface: translocation, bioaccumulation, toxicity and amelioration-a review. Science of the Total Environment. 2019;651:2927-42.
21. Yadav KK, Gupta N, Kumar A, Reece LM, Singh N, Rezania S, et al. Mechanistic understanding and holistic approach of phytoremediation: A review on application and future prospects. Ecological engineering. 2018;120:274-98.
22. Sammut M, Noack Y, Rose J, Hazemann J, Proux O, Depoux M, et al. Speciation of Cd and Pb in dust emitted from sinter plant. Chemosphere. 2010;78(4):445-50.
23. Vega FA, Andrade M, Covelo E. Influence of soil properties on the sorption and retention of cadmium, copper and lead, separately and together, by 20 soil horizons: comparison of linear regression and tree regression analyses. Journal of Hazardous Materials. 2010;174(1-3):522-33.

[Downloaded from amfi.ir on 2025-11-02]

24 . Ratul A, Hassan M ,Uddin M, Sultana M, Akbor M, Ahsan M. Potential health risk of heavy metals accumulation in vegetables irrigated with polluted river water. International food research journal. 2018;25(1):329-338.
25 . Chaoua S, Boussaa S, El Gharmali A, Boumezzough A. Impact of irrigation with wastewater on accumulation of heavy metals in soil and crops in the region of Marrakech in Morocco. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 2019;18(4):429-36.
26 . Yang J, Ma S, Zhou J, Song Y, Li F. Heavy metal contamination in soils and vegetables and health risk assessment of inhabitants in Daye, China. Journal of International Medical Research. 2018;46(8):3374-87.
27 . Rahimi G, Kolahchi Z, Charkhabi A. Uptake and Translocation of Some Heavy Metals by Rice Crop () in Paddy Soils. Agriculture (Pol'nohospodárstvo). 2017;63(4):163-75.
.28 Showqi I, Lone FA, Naikoo M. Preliminary assessment of heavy metals in water, sediment and macrophyte (Lemna minor) collected from Anchar Lake, Kashmir, India. Applied Water Science. 2018;8.11-1:
29 . Sawut R, Kasim N, Maihemuti B, Hu L, Abliz A, Abdujappar A, et al. Pollution characteristics and health risk assessment of heavy metals in the vegetable bases of northwest China. Science of the total environment. 2018;642:864-78.
30 . Latif A, Bilal M, Asghar W, Azeem M, Ahmad MI, Abbas A, et al. Heavy metal accumulation in vegetables and assessment of their potential health risk. Journal of Environmental Analytical Chemistry. 2018;5(234):2380-91.
31 . Kumar V, Chopra A. Heavy metals accumulation in soil and agricultural crops grown in the Province of Asahi India Glass Ltd. Haridwar (Uttarakhand), India, Advances in crop Science and Technology. 2015;4(1):1-6.
32 . Shahid M, Pinelli E, Pourrut B, Silvestre J, Dumat C. Lead-induced genotoxicity to Vicia faba L. roots in relation with metal cell uptake and initial speciation. Ecotoxicology and environmental safety. 2011;74(1):78-84.
33 . Jiang W, Liu D. Pb-induced cellular defense system in the root meristematic cells of Allium sativum L. BMC Plant Biology. 2010;10:1-8.
34 . Yan ZZ, Ke L, Tam NFY. Lead stress in seedlings of Avicennia marina, a common mangrove species in South China, with and without cotyledons. Aquatic Botany. 2010;92(2):112-8.
35 . Piechalak A, Tomaszewska B, Baralkiewicz D, Malecka A .Accumulation and detoxification of lead ions in legumes. Phytochemistry. 2002;60(2):153-62.
36 . Małecka A, Piechalak A, Morkunas I, Tomaszewska B. Accumulation of lead in root cells of Pisum sativum. Acta Physiologiae Plantarum. 2008;30:629-37.
37 . Brunet J, Varrault G, Zuily-Fodil Y, Repellin A. Accumulation of lead in the roots of grass pea (Lathyrus sativus L.) plants triggers systemic variation in gene expression in the shoots. Chemosphere. 2009;77(8):1113-20.
38 . Gichner T, Žnidar I, Száková J. Evaluation of DNA damage and mutagenicity induced by lead in tobacco plants. Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis. 2008;652(2):186-90.
39 . Gupta D, Huang H, Yang X, Razafindrabe B, Inouhe M. The detoxification of lead in Sedum alfredii H. is not related to phytochelatins but the glutathione. Journal of hazardous materials. 2010;177(1-3):437-44.
40 . Kopittke PM, Asher CJ, Kopittke RA, Menzies NW. Toxic effects of Pb2+ on growth of cowpea (Vigna unguiculata). Environmental pollution. 2007;150(2):280-7.
41 . Metanat K, Ghasemi-Fasaei R, Ronaghi A, Yasrebi J. Lead phytostabilization and cationic micronutrient uptake by maize as influenced by Pb levels and application of low molecular weight organic acids. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 2019;50(15):1887-96.
42 . DeForest DK, Brix KV, Adams WJ. Assessing metal bioaccumulation in aquatic environments: the inverse relationship between bioaccumulation factors, trophic transfer factors and exposure concentration. Aquatic toxicology. 2007;84(2):236-46.
43 . Bhatia A, Singh S, Kumar A. Heavy metal contamination of soil, irrigation water and vegetables in peri-urban agricultural areas and markets of Delhi. Water Environment Research. 2015;87(11):2027-34.
44 . Jan FA, Ishaq M ,Khan S, Ihsanullah I, Ahmad I, Shakirullah M. A comparative study of human health risks via consumption of food crops grown on wastewater irrigated soil (Peshawar) and relatively clean water irrigated soil (lower Dir). Journal of hazardous materials. 2010; 179(1-3):612-621.
45 . Balkhair KS, Ashraf MA. Field accumulation risks of heavy metals in soil and vegetable crop irrigated with sewage water in western region of Saudi Arabia. Saudi journal of biological sciences. 2016;23(1):S32-S44.
46 . Maurya PK, Malik D, Yadav KK, Kumar A, Kumar S, Kamyab H. Bioaccumulation and potential sources of heavy metal contamination in fish species in River Ganga basin: Possible human health risks evaluation. Toxicology reports. 2019;6:472-81.
47 . Chalkiadaki O, Dassenakis M ,Lydakis-Simantiris N. Bioconcentration of Cd and Ni in various tissues of two marine bivalves living in different habitats and exposed to heavily polluted

[Downloaded from amfi.ir on 2025-11-02]

seawater. Chemistry and Ecology. 2014;30(8):726-42.
48 . Ziyaadini M, Yousefiyanpour Z, Ghasemzadeh J, Zahedi M. Biota-sediment accumulation factor and concentration of heavy metals (Hg, Cd, As, Ni, Pb and Cu) in sediments and tissues of Chiton lamyi (Mollusca: Polyplacophora: Chitonidae) in Chabahar Bay, Iran. Iranian Journal of Fisheries Sciences. 2016; 16(4):1123-1134.
49 . Yarsan E, Yipel M. The important terms of marine pollution "biomarkers and biomonitoring, bioaccumulation, bioconcentration, biomagnification". J Mol Biomark Diagn S. 2013;1 (2).
50 . Conder JM, Gobas FA, Borgå K, Muir DC, Powell DE. Use of trophic magnification factors and related measures to characterize bioaccumulation potential of chemicals. Integrated environmental assessment and management. 2012;8(1):85-97.
51 . Meyers DE, Auchterlonie GJ, Webb RI, Wood B. Uptake and localisation of lead in the root system of Brassica juncea. Environmental Pollution. 2008;153(2):323-32.
52 . Ginn BR, Szymanowski JS, Fein JB. Metal and proton binding onto the roots of Fescue rubra. Chemical Geology. 2008;253(3-4):130-5.
53 . Krzesłowska M, Lenartowska M, Mellerowicz EJ, Samardakiewicz S, Woźny A. Pectinous cell wall thickenings formation—a response of moss protonemata cells to lead. Environmental and Experimental Botany. 2009;65(1):119-31.
54 . Krzesłowska M, Lenartowska M, Samardakiewicz S, Bilski H ,Woźny A. Lead deposited in the cell wall of Funaria hygrometrica protonemata is not stable–a remobilization can occur. Environmental Pollution. 2010;158(1):325-38.
55 . Uzu G, Sobanska S, Sarret G, Munoz M, Dumat C. Foliar lead uptake by lettuce exposed to atmospheric fallouts. Environmental Science & Technology. 2010;44(3):1036-42.
56 . Zhang C, Wang X, Ashraf U, Qiu B, Ali S. Transfer of lead (Pb) in the soil-plant-mealybug-ladybird beetle food chain, a comparison between two host plants. Ecotoxicology and environmental safety. 2017;143:289-95.
57 . Xiong ZT, Zhao F, Li Mj. Lead toxicity in Brassica pekinensis Rupr.: effect on nitrate assimilation and growth. Environmental Toxicology: An International Journal. 2006;21(2):147-53.
58 . Arshad M, Silvestre J ,Pinelli E, Kallerhoff J, Kaemmerer M, Tarigo A, et al. A field study of lead phytoextraction by various scented Pelargonium cultivars. Chemosphere. 2008;71(11):2187-92.
59 . Maestri E, Marmiroli M, Visioli G, Marmiroli N. Metal tolerance and hyperaccumulation: costs and trade-offs between traits and environment. Environmental and Experimental Botany. 2010;68(1):1-13.
60 . Punamiya P, Datta R, Sarkar D, Barber S, Patel M, Das P. Symbiotic role of Glomus mosseae in phytoextraction of lead in vetiver grass [Chrysopogon zizanioides (L.)]. Journal of hazardous materials. 2010;177(1-3):465-74.
61 . Liu W, Zhou Q, Zhang Y, Wei S. Lead accumulation in different Chinese cabbage cultivars and screening for pollution-safe cultivars. Journal of environmental management. 2010; 91(3): 781-788.
62 . Verbruggen N, Hermans C, Schat H. Molecular mechanisms of metal hyperaccumulation in plants. New phytologist. 2009;181(4):759-76.
63 . Wang H-h, Shan X-q, Wen B, Owens G, Fang J, Zhang S-z. Effect of indole-3-acetic acid on lead accumulation in maize (Zea mays L.) seedlings and the relevant antioxidant response. Environmental and Experimental Botany. 2007;61(3):246-53.
64 . Pourrut B, Perchet G, Silvestre J, Cecchi M, Guiresse M, Pinelli E. Potential role of NADPH-oxidase in early steps of lead-induced oxidative burst in Vicia faba roots. Journal of plant physiology. 2008;165(6):571-9.
65 . Wojas S, Ruszczyńska A, Bulska E, Wojciechowski M, Antosiewicz D. Ca2+-dependent plant response to Pb2+ is regulated by LCT1. Environmental Pollution. 2007;147(3):584-92.
66 . Barbillon A, Aubry C, Nold F, Besancon S, Manouchehri N. Health risks assessment in three urban farms of Paris Region for different scenarios of urban agricultural users: A case of soil trace metals contamination. Agricultural Sciences. 2019;10(3):352-70.
67 . Saba D, Manouchehri N, Besançon S, El Samad O, Bou Khozam R, Nafeh Kassir L, et al. Bioaccessibility of lead in Dittrichia viscosa plants and risk assessment of human exposure around a fertilizer industry in Lebanon. Journal of Environmental Management. 2019; 250: 109537.
68 . Liu X, Song Q, Tang Y, Li W, Xu J, Wu J, et al. Human health risk assessment of heavy metals in soil–vegetable system: a multi-medium analysis. Science of the total environment. 2013;463:530-540.
69 . Laidlaw MA, Filippelli GM, Sadler RC, Gonzales CR, Ball AS, Mielke HW. Children's blood lead seasonality in flint, Michigan (USA), and soil-sourced lead hazard risks. International journal of environmental research and public health. 2016;13(4): 358-71.
70 . Ngueta G, Abdous B, Tardif R, St-Laurent J, Levallois P. Use of a cumulative exposure index to estimate the impact of tap water lead

[Downloaded from amfi.ir on 2025-11-02]

concentration on blood lead levels in 1-to 5-year-old children (Montréal, Canada). Environmental health perspectives. 2016;124(3):388-95.
71 . Zahran S, Laidlaw MA, McElmurry SP, Filippelli GM, Taylor M. Linking source and effect: Resuspended soil lead, air lead, and children's blood lead levels in Detroit, Michigan. Environmental science & technology. 2013;47(6): 2839– 45.
72 . Rumbeiha WK, Braselton WE, Donch D. A retrospective study on the disappearance of blood lead in cattle with accidental lead toxicosis. Journal of veterinary diagnostic investigation. 2001;13(5):373-8.
73 . Sharpe R, Livesey C. Lead poisoning in cattle and its implications for food safety. Veterinary Record. 2006;159(3):71-4.
74 . Abadin H, Ashizawa A, Stevens Y-W, Llados F, Diamond G, Sage G, et al. A framework to guide public health assessment decisions at lead sites. Toxicological Profile for Lead: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (US); 2007.
75 . Flora S. Nutritional components modify metal absorption, toxic response and chelation therapy. Journal of nutritional & environmental medicine. 2002;12(1):53-67.
76 . Yuan G, Dai S, Yin Z, Lu H, Jia R, Xu J, et al. Toxicological assessment of combined lead and cadmium: acute and sub-chronic toxicity study in rats. Food and chemical toxicology. 2014;65:260-8.
77 . Cobbina SJ, Chen Y, Zhou Z, Wu X, Zhao T, Zhang Z, et al. Toxicity assessment due to sub-chronic exposure to individual and mixtures of four toxic heavy metals. Journal of hazardous materials. 2015;294:109-20.
78 . El-Sayed Y, El-Neweshy M. Influence of vitamin C supplementation on lead-induced histopathological alterations in male rats. Toxicology Letters. 2010(196):S299.
79 . Abdou HM, Hassan MA. Protective role of omega-3 polyunsaturated fatty acid against lead acetate-induced toxicity in liver and kidney of female rats. BioMed research international. 2014;2014.
80 . Carocci A ,Catalano A, Lauria G, Sinicropi MS, Genchi G. Lead toxicity, antioxidant defense and environment. Reviews of environmental contamination and toxicology. 2016:45-67.
81 . Gong Y, Zhao D, Wang Q. An overview of field-scale studies on remediation of soil contaminated with heavy metals and metalloids: Technical progress over the last decade. Water research. 2018;147:440-60.
82 . Singh A, Prasad SM. Reduction of heavy metal load in food chain: technology assessment. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology. 2011;10:199-214.
83 . Mallampati SR, Mitoma Y, Okuda T, Simion C, Lee BK. Dynamic immobilization of simulated radionuclide 133Cs in soil by thermal treatment/vitrification with nanometallic Ca/CaO composites. Journal of environmental radioactivity. 2015; 139 : 118-124.
84 . Dellisanti F, Rossi PL, Valdrè G. In-field remediation of tons of heavy metal-rich waste by Joule heating vitrification. International Journal of Mineral Processing. 2009;93(3-4):239-45.
85 . Navarro A, Cardellach E, Cañadas I, Rodríguez J. Solar thermal vitrification of mining contaminated soils. International Journal of Mineral Processing. 2013;119:65-74.
86 . Yao Z, Li J, Xie H, Yu C. Review on remediation technologies of soil contaminated by heavy metals. Procedia Environmental Sciences. 2012;16:722-9.
87 . Kim W-S, Park G-Y, Kim D-H, Jung H-B, Ko S-H, Baek K. In situ field scale electrokinetic remediation of multi-metals contaminated paddy soil: Influence of electrode configuration. Electrochimica Acta. 2012;86:89-95.
88 . Jeon E-K ,Jung J-M, Kim W-S, Ko S-H, Baek K. In situ electrokinetic remediation of As-, Cu-, and Pb-contaminated paddy soil using hexagonal electrode configuration: a full scale study. Environmental Science and Pollution Research. 2015;22:711-20.
89 . Ferraro A, Fabbricino M, van Hullebusch ED, Esposito G, Pirozzi F. Effect of soil/contamination characteristics and process operational conditions on aminopolycarboxylates enhanced soil washing for heavy metals removal: a review. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology. 2016;15(1):111-45.
90 . Park B, Son Y. Ultrasonic and mechanical soil washing processes for the removal of heavy metals from soils. Ultrasonics sonochemistry. 2017;35:640-5.
91 . Hu P, Yang B, Dong C, Chen L, Cao X, Zhao J, et al. Assessment of EDTA heap leaching of an agricultural soil highly contaminated with heavy metals. Chemosphere. 2014;117:532-7.
92 . Wang G, Zhang S, Zhong Q, Xu X, Li T, Jia Y, et al. Effect of soil washing with biodegradable chelators on the toxicity of residual metals and soil biological properties. Science of the Total Environment. 2018;625:1021-9.
93 . Sidhu GS. Heavy metal toxicity in soils: sources, remediation technologies and challenges. Adv Plants Agric Res. 2016;5(1):445-6.
94 . Baker AJ, McGrath S, Reeves RD ,Smith J. Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils. Phytoremediation of contaminated soil and water. 2020:85-107.
95 . Cheng S-F, Huang C-Y, Chen K-L, Lin S-C ,Lin Y-C. Phytoattenuation of lead-contaminated

[Downloaded from amfi.ir on 2025-11-02]

agricultural land using Miscanthus floridulus—An in situ case study. Desalination and Water Treatment. 2016;57(17):7773-9.
96 . Yang J, Yang J, Huang J. Role of co-planting and chitosan in phytoextraction of As and heavy metals by Pteris vittata and castor bean–a field case. Ecological engineering. 2017;109:35-40.
97 . Eissa MA, Abeed AH. Growth and biochemical changes in quail bush (Atriplex lentiformis (Torr.) S. Wats) under Cd stress. Environmental Science and Pollution Research. 2019;26:628-35.
98 . Lutts S, Lefevre I, Delpérée C, Kivits S, Dechamps C, Robledo A, et al. Heavy metal accumulation by the halophyte species Mediterranean saltbush. Journal of Environmental Quality. 2004;33(4):1271-9.
99 . Ko B-G ,Anderson CW, Bolan NS, Huh K-Y, Vogeler I. Potential for the phytoremediation of arsenic-contaminated mine tailings in Fiji. Soil Research. 2008;46(7):493-501.
100 . Robinson B, Brooks R, Howes A, Kirkman J, Gregg P. The potential of the high-biomass nickel hyperaccumulator Berkheya coddii for phytoremediation and phytomining. Journal of Geochemical Exploration. 1997;60(2):115-26.
101 . Pan P, Lei M, Qiao P, Zhou G, Wan X, Chen T. Potential of indigenous plant species for phytoremediation of metal (loid)-contaminated soil in the Baoshan mining area, China. Environmental Science and Pollution Research. 2019;26:23583-92.
102 . Solanki P, Narayan M, Rabha AK, Srivastava RK. Assessment of Cadmium Scavenging Potential of Canna indica L. Bulletin of environmental contamination and toxicology. 2018;101:446-50.
103 . Lima LK, Pelosi BT, da Silva M, Vieira MG. Lead and chromium biosorption by Pistia stratiotes biomass. Chemical Engineering Transactions. 2013;32:1045-50.
104 . Kalam SU, Naushin F, Khan FA, Rajakaruna N .Long-term phytoremediating abilities of Dalbergia sissoo Roxb.(Fabaceae). SN Applied Sciences. 2019;1:1-8.
105 . Li Q, Chen B, Lin P, Zhou J, Zhan J, Shen Q, et al. Adsorption of heavy metal from aqueous solution by dehydrated root powder of long-root Eichhornia crassipes. International journal of phytoremediation. 2016;18(2):103-9.
106 . Li R, Zhou Z, Xie X, Li Y, Zhang Y, Xu X. Effects of dissolved organic matter on uptake and translocation of lead in Brassica chinensis and potential health risk of Pb .International Journal of Environmental Research and Public Health. 2016;13(7):687.
107 . Santana KB, de Almeida A-AF, Souza VL, Mangabeira PA, Silva DdC, Gomes FP, et al. Physiological analyses of Genipa americana L. reveals a tree with ability as phytostabilizer and rhizofilterer of chromium ions for phytoremediation of polluted watersheds. Environmental and experimental botany. 2012;80:35-42.
108 . Shams M, Ekinci M, Turan M, Dursun A, Kul R, Yildirim E. Growth, nutrient uptake and enzyme activity response of Lettuce (Lactuca sativa L.) to excess copper. Environmental Sustainability. 2019;2:67-73.
109 . Kabeya FI, Pongrac P, Lange B, Faucon M-P, Van Elteren JT, Šala M, et al. Tolerance and accumulation of cobalt in three species of Haumaniastrum and the influence of copper. Environmental and experimental botany. 2018;149:27-33.
110 . Forte J, Mutiti S. Phytoremediation potential of Helianthus annuus and Hydrangea paniculata in copper and lead-contaminated soil. Water, Air, & Soil Pollution. 2017;228:1-11.
111 . Demarco CF, Afonso TF, Pieniz S, Quadro MS, Camargo FA, Andreazza R. In situ phytoremediation characterization of heavy metals promoted by Hydrocotyle ranunculoides at Santa Bárbara stream, an anthropogenic polluted site in southern of Brazil. Environmental Science and Pollution Research. 2018;25(28):28312-21.
112 . Wang Y, Gu C, Bai S, Sun Z, Zhu T, Zhu X, et al. Cadmium accumulation and tolerance of Lagerstroemia indica and Lagerstroemia fauriei (Lythraceae) seedlings for phytoremediation applications. International Journal of Phytoremediation. 2016;18(11):1104-12.
113 . Abdelkrim S, Jebara SH, Saadani O, Chiboub M, Abid G, Mannai K, et al. Heavy metal accumulation in Lathyrus sativus growing in contaminated soils and identification of symbiotic resistant bacteria. Archives of microbiology. 2019;201:107-21.
114 . Basile A, Sorbo S, Conte B, Cobianchi RC, Trinchella F, Capasso C, et al. Toxicity, accumulation, and removal of heavy metals by three aquatic macrophytes. International journal of phytoremediation. 2012;14(4):374-87.
115 . Fernández San Juan MR, Albornoz CB, Larsen K, Najle R. Bioaccumulation of heavy metals in Limnobium laevigatum and Ludwigia peploides: their phytoremediation potential in water contaminated with heavy metals. Environmental Earth Sciences. 2018;77(11):404.
116 . Elekes CC. Influence of soil chemistry on the phytoremediation process. Rev Roum Chim. 2013;58:623-7.
117 . López ML, Peralta-Videa JR, Benitez T, Gardea-Torresdey JL. Enhancement of lead uptake by alfalfa (Medicago sativa) using EDTA and a plant growth promoter. Chemosphere. 2005;61(4):595-8.
118 . Evangelou MW, Ebel M, Schaeffer A. Evaluation of the effect of small organic acids on phytoextraction of Cu and Pb from soil with

[Downloaded from amfi.ir on 2025-11-02]

tobacco Nicotiana tabacum. Chemosphere. 2006.1004-996:(6)63;
119 . Kozhevnikova AD, Seregin IV, Aarts MG, Schat H. Intra-specific variation in zinc, cadmium and nickel hypertolerance and hyperaccumulation capacities in Noccaea caerulescens. Plant and Soil. 2020;452:479-98.
120 . Odjegba V, Fasidi I .Accumulation of trace elements by Pistia stratiotes: implications for phytoremediation. Ecotoxicology. 2004;13:637-46.
121 . Mondal N, Nayek P. Hexavalent chromium accumulation kinetics and physiological responses exhibited by Eichhornia sp. and Pistia sp .International Journal of Environmental Science and Technology. 2020;17:1397-410.
122 . Wang J, Zhao F-J, Meharg AA, Raab A, Feldmann J, McGrath SP. Mechanisms of arsenic hyperaccumulation in Pteris vittata. Uptake kinetics, interactions with phosphate, and arsenic speciation. Plant physiology. 2002;130(3):1552-61.
123 . Bonanno G, Borg JA, Di Martino V. Levels of heavy metals in wetland and marine vascular plants and their biomonitoring potential: a comparative assessment. Science of the Total Environment. 2017; 576: 796-806.
124 . Korzeniowska J, Stanislawska-Glubiak E. Phytoremediation potential of Phalaris arundinacea, Salix viminalis and Zea mays for nickel-contaminated soils. International Journal of Environmental Science and Technology. 2019;16:1999-2008.
125 . Basha SA, Rajaganesh K. Microbial bioremediation of heavy metals from textile industry dye effluents using isolated bacterial strains. Int J Curr Microbiol Appl Sci. 2014;3:785-94.
126 . Kang C-H, So J-S. Heavy metal and antibiotic resistance of ureolytic bacteria and their immobilization of heavy metals. Ecological Engineering. 2016;97:304-12.
127 . Puyen ZM, Villagrasa E, Maldonado J, Diestra E, Esteve I, Solé A. Biosorption of lead and copper by heavy-metal tolerant Micrococcus luteus DE2008. Bioresource technology. 2012;126:233-7.
128 . Jin Y, Luan Y, Ning Y, Wang L. Effects and mechanisms of microbial remediation of heavy metals in soil: a critical review. Applied Sciences. 2018;8(8):1336.
129 . Jacob JM, Karthik C, Saratale RG, Kumar SS, Prabakar D, Kadirvelu K, et al. Biological approaches to tackle heavy metal pollution: a survey of literature. Journal of environmental management. 2018;217:56-70.
130 . Wang T, Sun H, Mao H, Zhang Y, Wang C, Zhang Z, et al. The immobilization of heavy metals in soil by bioaugmentation of a UV-mutant Bacillus subtilis 38 assisted by NovoGro biostimulation and changes of soil microbial community. Journal of hazardous materials. 2014;278:483-90.
131 . Zeng X, Wei S, Sun L, Jacques DA, Tang J, Lian M, et al. Bioleaching of heavy metals from contaminated sediments by the Aspergillus niger strain SY1. Journal of Soils and Sediments. 2015;15:1029-38.
132 . Dursun A, Uslu G, Cuci Y, Aksu Z. Bioaccumulation of copper (II), lead (II) and chromium (VI) by growing Aspergillus niger. Process biochemistry. 2003;38(12):1647-51.
133 . Kariuki Z, Kiptoo J, Onyancha D. Biosorption studies of lead and copper using rogers mushroom biomass ‘Lepiota hystrix’. South african journal of chemical engineering. 2017;23(1):62-70.
134 . Sooksawat N, Meetam M, Kruatrachue M, Pokethitiyook P, Nathalang K. Phytoremediation potential of charophytes: Bioaccumulation and toxicity studies of cadmium, lead and zinc. Journal of Environmental Sciences. 2013;25(3):596-604.
135 . Ibrahim W, Abdel Aziz Y, Hamdy S, Gad N. Comparative study for biosorption of heavy metals from synthetic wastewater by different types of marine algae. Journal of Bioremediation & Biodegradation. 2018;9(1):425.
136 . Khanniri E, Yousefi M, Mortazavian AM, Khorshidian N, Sohrabvandi S, Koushki MR, et al. Biosorption of cadmium from aqueous solution by combination of microorganisms and chitosan: response surface methodology for optimization of removal conditions. Journal of Environmental Science and Health, Part A. 2023;58(5):433-46.
137 . Asli MY, Khorshidian N, Mortazavian AM, Hosseini H. A review on the impact of herbal extracts and essential oils on viability of probiotics in fermented milks. Current Nutrition & Food Science. 2017;13(1):6-15.
138 . Yousefi M, Khorshidian N, Hosseini H. The ability of probiotic Lactobacillus strains in removal of benzo [a] pyrene: A response surface methodology study. Probiotics and Antimicrobial Proteins. 2022;14(3):464-75.
139 . Khorshidian N, Yousefi M, Shadnoush M, Siadat SD, Mohammadi M, Mortazavian AM. Using probiotics for mitigation of acrylamide in food products: a mini review. Current Opinion in Food Science. 2020;32:67-75.
140 . Zoghi A, Khosravi-Darani K, Sohrabvandi S. Surface binding of toxins and heavy metals by probiotics. Mini reviews in medicinal chemistry. 2014;14(1):84-98.
141 . Halttunen T, Finell M, Salminen S. Arsenic removal by native and chemically modified lactic acid bacteria. International journal of food microbiology. 2007;120(1-2):173-8.
142 . Halttunen T, Salminen S, Tahvonen R. Rapid removal of lead and cadmium from water by specific lactic acid bacteria. International journal of food microbiology. 2007;114(1):30-5.
143 . Babu AG, Kim J-D, Oh B-T. Enhancement of heavy metal phytoremediation by Alnus firma

[Downloaded from amfi.ir on 2025-11-02]

with endophytic Bacillus thuringiensis GDB-1. Journal of hazardous materials. 2013;250:477-83.
144 . Jaiswal S, Singh DK, Shukla P. Gene editing and systems biology tools for pesticide bioremediation: a review. Frontiers in Microbiology. 2019;10:87.
145 . Kumar A, Kumar A, MMS C-P, Chaturvedi AK, Shabnam AA, Subrahmanyam G, et al. Lead toxicity: health hazards, influence on food chain, and sustainable remediation approaches. International journal of environmental research and public health. 2020;17(7):2179.
146 . Hattab S, Hattab S, Flores-Casseres ML, Boussetta H, Doumas P, Hernandez LE, et al. Characterisation of lead-induced stress molecular biomarkers in Medicago sativa plants. Environmental and experimental botany. 2016;123:1-12.
.147 Fan T, Yang L, Wu X, Ni J, Jiang H, Zhang Qa, et al. The PSE1 gene modulates lead tolerance in Arabidopsis. Journal of experimental botany. 2016;67(15):4685-95.
.148 Jiang L, Wang W, Chen Z, Gao Q, Xu Q, Cao H. A role for APX1 gene in lead tolerance in Arabidopsis thaliana. Plant Science. 20-256:94;17 .102
.149 Yang L, Fan T, Guan L, Ren Y, Han Y, Liu Q, et al. CMDH4 encodes a protein that is required for lead tolerance in Arabidopsis. Plant and Soil. 2017;412:317-30.
.150 Anjum M, Miandad R, Waqas M, Gehany F, Barakat M. Remediation of wastewater using various nano-materials. Arabian Journal of chemistry. 2019;12(8):4897-919.
.151 Estrella-Gómez N, Mendoza-Cózatl D, Moreno-Sánchez R, González-Mendoza D, Zapata-Pérez O, Martínez-Hernández A, et al. The Pb-hyperaccumulator aquatic fern Salvinia minima Baker, responds to Pb2+ by increasing phytochelatins via changes in SmPCS expression and in phytochelatin synthase activity. Aquatic toxicology. 2009;91(4):320-8.
.152 Adeleye AS, Conway JR, Garner K, Huang Y, Su Y, Keller AA. Engineered nanomaterials for water treatment and remediation: Costs, benefits, and applicability. Chemical Engineering Journal. 2016;286:640-62.
.153 Hao Y-M, Man C, Hu Z-B. Effective removal of Cu (II) ions from aqueous solution by amino-functionalized magnetic nanoparticles. Journal of hazardous materials. 2010;184(1-3):392-9.
.154 Yadav K, Singh J, Gupta N, Kumar V. A review of nanobioremediation technologies for environmental cleanup: a novel biological approach. J Mater Environ Sci. 2017;8(2):740-57.
.155 Srivastav A ,Yadav KK, Yadav S, Gupta N, Singh JK, Katiyar R, et al. Nano-phytoremediation of pollutants from contaminated soil environment: current scenario and future prospects. Phytoremediation: Management of Environmental Contaminants, Volume 6. 2018:383-401.
.156 Bobik M, Korus I, Dudek L. The effect of magnetite nanoparticles synthesis conditions on their ability to separate heavy metal ions. Archives of Environmental Protection. 2017.
.157 Klekotka U, Wińska E, Zambrzycka-Szelewa E, Satuła D, Kalska-Szostko B .Heavy-metal detectors based on modified ferrite nanoparticles. Beilstein Journal of Nanotechnology. 2018;9(1):762-70.
.158 Hegazi HA. Removal of heavy metals from wastewater using agricultural and industrial wastes as adsorbents. HBRC journal. 2013;9(3):2.82-76
.159 Okuo J, Emina A, Omorogbe S, Anegbe B. Synthesis, characterization and application of starch stabilized zerovalent iron nanoparticles in the remediation of Pb-acid battery soil. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management. 2018;9:12.7-
.160 Visa M. Synthesis and characterization of new zeolite materials obtained from fly ash for heavy metals removal in advanced wastewater treatment. Powder Technology. 2016;294:338-47.
.161 Alsohaimi IH, Wabaidur SM, Kumar M, Khan MA, Alothman ZA, Abdalla MA. Synthesis, characterization of PMDA/TMSPEDA hybrid nano-composite and its applications as an adsorbent for the removal of bivalent heavy metals ions. Chemical Engineering Journal. 2015;270:9-21.
.162 Saad AHA, Azzam AM, El-Wakeel ST, Mostafa BB ,Abd El-latif MB. Removal of toxic metal ions from wastewater using ZnO@ Chitosan core-shell nanocomposite. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management. 2018;9:67-75.

[Downloaded from amfi.ir on 2025-11-02]

A review of health risks caused by Lead (II) consumption and its reduction methods in the food chain

Maryam Bayanati[1], **Elham Khanniri[1a], Sara Sohrabvandi[2b]**

[1]Assistant professor of Department of Food Technology Research, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[2]Professor of Department of Food Technology Research, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Abstract
Heavy metal pollution is a critical environmental issue all over the world since heavy metals are non-biodegradable. In this respect, they can accumulate in crops and animals and enter the human bod by several ways such as skin, breathing and the food chain. Lead is one of the well-known toxic metals that is ubiquitous in nature as a result of industrial activities. The presence of lead ions beyond the acceptable 'safe' level in food is a serious threat to human health. The current review aims to summarize the research updates on lead toxicity and its effects on plants, soil, and human health. To minimize the effect, different methods are being used for decreasing of lead concentration in the food chain. Most of the traditional methods are expensive or have little efficiency. Various techniques such as physical, chemical and biological methods are available that can be used to reduce the heavy metal contamination. Research related to relatively new technology should be promoted and expanded in developing countries where heavy metal pollution has already touched alarming level. Hence, present review deals with different approaches to reduce the availability of heavy metal from food chain.

Key words: Lead, Toxicity, Food Chain, Biological Methods

[a] e.khanniri@sbmu.ac.ir
[b] sohrabv@sbmu.ac.ir

[Downloaded from amfi.ir on 2025-11-02]