مجله ایمنی زیستی

دوره ۱۷، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳

ISSN 2716-9804 الکترونیکی، ISSN 2717-0632 چاپی

مروری بر گیاه‌پالایی با استفاده از برخی گونه‌های گیاهی دارویی و معطر

نوع مقاله: مروری

زهرا خدادادی[۱]، مریم مودی[۲*]، سید موسی موسوی کوهی[۲]، محبوبه سادات حسین‌زاده[۲]

۱- کارشناس ارشد، گروه محیط زیست، دانشگاه بیرجند، ایران

۲- استادیار گروه زیست شناسی، دانشگاه بیرجند، ایران

maryammoudi@birjand.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۴

صفحه ۳۶-۱۷

چکیده

گیاه‌پالایی روشی زیستی برای کنترل آلودگی و جایگزینی مناسب برای روش‌های مرسوم فیزیکی و شیمیایی است. با این وجود، گیاهان دارای سیستم نظارتی متفاوتی هستند که برای مقابله با تنش عمل می‌کنند و بنابراین خود را در خاک‌های آلوده سازگار می‌کنند. سیستم نظارتی به‌عنوان مهارکننده عمل می‌کند تا اثرات سمی این فلزات سنگین را از طریق سم‌زدایی، ترسیب (رسوب نمک‌های کم محلول روی سطح غشاء) و تشدید سیستم آنزیمی خنثی کنند. بسته به گونه‌های گیاهی و عوامل محیطی موجود، ترکیبات زیست فعال گیاهان دارویی پتانسیل بهبود آلاینده‌های خاص را دارند. گیاهان دارویی و معطر مورد استفاده برای گیاه‌پالایی ممکن است در مقایسه با دیگر گیاهان زراعی و چوبی پتانسیل گیاه‌پالایی بالایی نداشته باشند ولی به دلیل تولید محصول نهایی (متابولیت‌های ثانویه) بدون فلزات سنگین و همچنین اقتصادی بودن متابولیت‌های ثانویه آنها، می‌توانند به‌عنوان گیاهان مناسب برای گیاه‌پالایی مورد استفاده قرار گیرند. با این وجود، توانایی گیاهان دارویی برای تجمع آلاینده‌ها باعث نگرانی‌هایی در هنگام مصارف دارویی شده است که در این شرایط باید استاندارد حداکثر مقدار مجاز فلزات سنگین، توصیه شده به وسیله سازمان جهانی بهداشت رعایت شود. در مطالعه حاضر، مروری بر گیاه‌پالایی توسط گیاهان معطر و دارویی و چگونگی ایفای اثر آنها در برابر فلزات سنگین انجام شده است.

واژه‌های کلیدی: فلزات سنگین، متابولیت‌های ثانویه، گونه گیاهی، گیاهان دارویی و معطر.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.1.2.0]

مقدمه

گیاهان نسبت به شرایط آب و هوایی حساس هستند و فلزات گوناگون را در قسمت‌های مختلف خود تجمع داده، و گروه زیستی با بیشترین ظرفیت بیوسنتز را نیز تشکیل می‌دهند (Hussa Ara Begum et al. 2017). این گروه مواد مغذی را در ریشه و اندام‌های خود ذخیره می‌کنند، که به همین دلیل برای فرایندهای پالایش زیستی مفید هستند (Sugey et al. 2018). فلزات سنگین ممکن است از طریق منابع آلوده کشاورزی به آنها وارد شوند. عوامل متعدد غیر زنده از جمله pH، دما و مواد آلی بر روی دسترسی گیاهان به فلز تأثیر می‌گذارد (Street. 2012). علاوه‌بر این، تعاملات ریشه‌ی گیاهان با خاک و میکروب‌های موجود در آن نقش مهمی در تنظیم حرکت فلزات سنگین از خاک به قسمت‌های خوراکی گیاه دارند. به‌طور معمول، گیاهان برای پالایش زیستی باید قوی باشند و بتوانند در یک محیط استرس‌زا زنده بمانند. ویژگی‌هایی مانند رشد و نمو سریع، افزایش ارتفاع گیاه و شاخه‌ها و برگ‌های فراوان که منجر به افزایش تولید زیست توده گیاهی در شرایط آلوده می‌شود؛ نشان‌دهنده تناسب یا مناسب بودن گیاهان برای پالایش زیستی است (Abd Manan et al. 2015). اگرچه محبوبیت داروهای گیاهی در سراسر جهان به سرعت در حال افزایش است، سمیت فلزات سنگین تأثیر زیادی بر روی گیاهان دارویی دارد و در نتیجه بر کیفیت مواد اولیه گیاهی، عصاره‌های گیاهی و بازار فروش داروها تأثیر می‌گذارد (Chen et al. 2021). امروزه نقش گیاهان دارویی تنها به‌عنوان منبع طب سنتی محدود نشده است. ارزش اقتصادی این گیاهان به دلیل افزایش تقاضا برای محصولات گیاهی در صنایعی مانند مواد غذایی، دارویی، لوازم آرایشی و حتی زیورآلات بهبود یافته است (Abd Manan et al. 2015). علاوه‌بر این، از آنجا که گیاهان به شرایط محیطی متغیر نیز پاسخ می‌دهند، رویکرد زیست فناوری فضای بیشتری را برای گیاهان دارویی باز کرده است تا از آنها به‌عنوان عامل پالایش زیستی استفاده شود (Abd Manan et al. 2015). با توجه به گسترش بالای فلزات سنگین در محیط زیست، بقایای آنها نیز به گیاهان دارویی رسیده و جذب آنها می‌شوند. مسمومیت ناشی از آلودگی فلزات سنگین در محصولات گیاهی دارویی باعث پیامدهای بی‌شماری برای سلامتی از جمله نارسایی کبد، کلیه و حتی مرگ می‌شود (Street. 2012). گیاه‌پالایی نام تکنیکی است که از گیاهان برای حذف آلاینده‌ها از خاک‌های آلوده استفاده می‌کند. این روش همچنین در جلوگیری از فرسایش توسط باد و آب و غنی‌سازی خاک با مواد آلی و میکروارگانیسم‌ها مهم است (Golia et al. 2024). در گیاهان دارویی، خواص گیاه‌پالایی می‌تواند مانع استفاده ایمن از گیاه شود. برخی

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.1.2.0]

خواص می‌توانند امکان استفاده ایمن از گیاهان برای مصرف انسان را فراهم کنند و در عین حال آلاینده‌ها را از خاک یا آب حذف کنند (Shmaefsky and Husen, 2023).

در این مطالعه به بررسی و مرور مقالات مستخرج از پایگاه‌های علمی معتبر در فاصله زمانی سال۲۰۰۳ تا ۲۰۲۱ در خصوص عملکرد گیاه‌پالایی در برخی از گیاهان دارویی و معطر مخصوصا گیاهان دارویی پرمصرف از جمله خرفه، مریم گلی و تاثیرات آن پرداخته شده است.

گیاه‌پالایی چیست؟

اصطلاح گیاه‌پالایی مفهوم نسبتاً جدیدی است که از سال ۱۹۹۱ مورد استفاده قرار گرفته است که شامل پیشوند یونانی phyto به معنی گیاه و ریشه لاتین remedium به معنی پالایش است. پژوهشگران تعاریف زیادی از گیاه‌پالایی ارائه داده‌اند. در نهایت حاصل این تعاریف، تعریف کلی گیاه‌پالایی است که این مفهوم را به‌عنوان یک فناوری در حال ظهور با استفاده از گیاهان انتخاب شده برای پاکسازی محیط آلوده از آلاینده‌های خطرناک برای بهبود کیفیت محیط معرفی کرده است (Sumiahadi and Acar, 2018). گیاه‌پالایی یک فناوری اکولوژیکی و بسیار مقرون به صرفه است که مبتنی‌بر انرژی خورشیدی است و هدف آن کاهش یا از بین بردن اثرات سمی فلزات سنگین در خاک‌های آلوده با جذب یا رسوب آنها توسط برخی گیاهان سبز یا جلبک‌ها است. مطالعات انجام شده در این زمینه نشان می‌دهد که کارایی گیاه‌پالایی به عواملی نظیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، نوع و میزان ترشحات آزاد شده توسط میکروارگانیسم‌ها و ریشه‌های گیاه و همچنین ظرفیت گیاهان برای تجمع و سم‌زدایی این فلزات بستگی دارد. برای بهبود بهره‌وری گیاه‌پالایی، می‌توان از گیاهان متالوفیت (گیاهانی که در خاک‌های سرشار از فلزات رشد می‌کنند و توانایی نگهداری و ذخیره فلزات را دارند) اصلاح شده ژنتیکی، بهینه‌سازی روش‌های کشاورزی و ارتباط گیاهان متالوفیت با سویه‌های میکروبی استفاده کرد (Cioica et al. 2019). امروزه از روش‌های مختلف زیست پالایی برای تبدیل مواد آلی سمی موجود در آفت‌کش‌ها، زباله‌های صنعتی و لکه‌های نفتی به ترکیبات بی ضرر استفاده می شود که هدف نهایی این فناوری است. به‌عنوان مثال فلزات سنگین و کاتیون‌های رادیواکتیو توسط زیست پالایی گیاهی حذف می‌شوند (Mirsolaymani and Bahmani, 2023). تعریف دیگری از گیاه‌پالایی عبارت است از استفاده از گیاهان خاص برای پاکسازی خاک، رسوبات و آب آلوده به فلزات یا آلاینده‌های آلی مانند نفت خام، حلال‌ها و هیدروکربن‌های پلی آروماتیک (Abd Manan et al. 2015). در حال حاضر از رویکردهای مهندسی ژنتیک برای بهینه‌سازی

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.1.2.0]

فرآیندهایی که گیاهان را قادر به گیاه‌پالایی مکان‌های آلوده به فلزات سنگین می‌کند، استفاده می‌شود (Vasavi et al. 2010). گیاهان علاوه‌بر تجمع مواد معدنی سمی در بافت‌های خود، قادر به جذب طیف وسیعی از ترکیبات آلی مضر از جمله فراوان‌ترین آلاینده‌های محیطی مانند بی فنیل‌های پلی کلره (PCBs) و هیدروکربن‌های هالوژنه (تری کلرواتیلن (TCE)) هستند (Peuke and Rennenberg, 2005). استخراج گیاهی یا همان گیاه‌پالایی یک فناوری امیدوارکننده برای پاکسازی مکان‌های آلوده با استفاده از گیاهان برای استخراج فلزات سنگین از خاک آلوده و تجمع آنها در ریشه‌ها، ساقه‌ها و شاخه‌ها است. این روش نوعی فناوری سبز در نظر گرفته شده است که از گونه‌های گیاهی مقاوم به ترکیبات آلی سمی و فلزات سنگین موجود در آب‌های سطحی و خاک آلوده استفاده می‌کند. از توانایی گیاهان در جذب آلاینده‌های ذرات خاک یا مایعات، اتصال این آلودگی‌ها به بافت ریشه آنها ، انتقال مواد آلوده از ریشه به شاخ و برگ و در نهایت تبدیل به محصولات فرعی را می‌توان نام برد (Shehata et al. 2019). گیاه‌پالایی از ظرفیت گیاهان خاص برای جذب، تجمع و تثبیت آلاینده‌ها مانند فلزات سنگین، فلزات رادیواکتیو، ترکیبات آلی استفاده می‌کند (Sugey et al. 2018). در گیاه‌پالایی، گیاهان برای حذف و کاهش آلودگی‌ها فرآیندهایی مانند پالایش ریشه‌ای، تثبیت گیاهی، تبخیر گیاهی، استخراج گیاهی و تغییر شکل گیاهی را اتخاذ می‌کنند (Jadia and Fulekar, 2009).

گیاهان دارویی و معطر

از گذشته، گیاهان یکی از اولین و در دسترس‌ترین منابع مورد استفاده برای درمان بیماری‌ها بوده‌اند. همواره رابطه تنگاتنگی بین انسان و گیاهان وجود داشته است و اثرات دارویی گیاهان و کاربردهای آنها توسط همه شناخته شده است. گیاهان دارویی و معطر گروه بزرگی از گیاهان مهم اقتصادی را تشکیل می‌دهند که مواد اولیه را برای داروهای بومی، عطرسازی، طعم‌دهنده‌ها و صنایع آرایشی تهیه می‌کنند (Sharafzadeh and Alizadeh, 2012). بسیاری از بیماری‌های عفونی در طول تاریخ بشر با داروهای گیاهی درمان می‌شوند. امروزه مواد گیاهی همچنان نقش اصلی را در مراقبت‌های اولیه بهداشتی به‌عنوان داروهای درمانی در بسیاری از کشورهای در حال توسعه ایفا می‌کنند. بیش از ۴۲۲۰۰۰ گونه گیاه گلدار که از سراسر جهان گزارش شده است حدود ۵۰۰۰ گونه از آنها برای اهداف دارویی استفاده می‌شود (Mozaffarian et al. 2005). ایران کشوری باستانی در استفاده از گیاهان دارویی است و اسنادی وجود دارد که نشان می‌دهد ایرانیان از گیاهان برای اهداف دارویی استفاده می‌کردند (Montazeri and

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.1.2.0]

Sepehri, 2019). امروزه مشکلاتی مانند هزینه‌های بالای دارویی، استفاده از منابع تجدیدناپذیر مانند منابع فسیلی و آلودگی محیط زیست توسط صنایع دارویی باعث توجه بیشتر به گیاهان دارویی شده است (Sharafzadeh and Alizadeh, 2012). گیاهان دارویی به‌طور قابل توجهی به مراقبت‌های بهداشتی مقرون به صرفه کمک می‌کنند و آنها را به یکی از ارزشمندترین محصولات جنگلی غیرچوبی تبدیل کرده است و طیف وسیعی از چاشنی‌ها، غذا و لوازم آرایشی را در برمی‌گیرد. حداقل ۷۰ ٪ از جمعیت کشورهای در حال توسعه به‌طور مستقیم برای مراقبت‌های اولیه بهداشتی به طب سنتی تکیه می‌کنند (Astutik et al. 2019). به همین ترتیب، کشورهای صنعتی به‌طور غیر مستقیم برای محصولات دارویی خود از گیاهان دارویی استفاده می‌کنند. چین و هند دو کشور بزرگ بین‌المللی آسیایی در این زمینه هستند. گیاهان دارویی آسیایی حدود ۵۰ درصد از میزان صادرات و ۴۵ درصد از درآمد جهانی داروهای سنتی را به خود اختصاص می‌دهند (Vasisht et al. 2016). استخراج و پرورش گیاهان دارویی بخشی جدایی‌ناپذیر از چندین کشور آسیایی از جمله بنگلادش، چین، هند، نپال، پاکستان، میانمار و اندونزی است (Astutik et al. 2019). گیاهان معطر گیاهانی هستند که حاوی ترکیبات معطر و اساساً اسانس‌هایی هستند که در دمای اتاق فرار هستند (Brenes and Roura, 2010). این اسانس‌ها آبگریز و بسیار غلیظ هستند وآنها را می‌توان از گل، جوانه، دانه، برگ، شاخه، پوست، چوب، میوه‌ها و ریشه‌ها به دست آورد. اسانس‌ها ترکیبات پیچیده‌ای از متابولیت‌های ثانویه هستند که شامل فنیل پروپانوئیدها و ترپن‌های با نقطه جوش کم هستند (Samarth et al. 2017). متابولیت‌های ثانویه به‌عنوان آنتی‌بیوتیک، ضد قارچ و ضد ویروس عمل می‌کنند و بنابراین قادر به محافظت از گیاهان در برابر عوامل بیماری‌زا هستند. گیاهان تعداد زیادی متابولیت‌های ثانویه مانند آلکالوئیدها، ترپنوئیدها، پلی‌فنول‌ها، کینون‌ها و بسیاری از ترکیبات دیگر را تولید می‌کنند که عملکرد مهمی به‌عنوان محافظ گیاهان در برابر تنش‌های فیزیکی مانند نور فرابنفش و گرما دارند (Hussein et al. 2019). فعالیت‌های آنتی اکسیدانی و ضد میکروبی گیاهان معطر به‌طور گسترده‌ای مورد بررسی قرار گرفته و مشخص شده است که کاربردهای بهداشتی در پیشگیری و کاهش خطر بیماری‌هایی مانند التهاب و سرطان دارد. خانواده‌های گیاهی مختلف، به ویژه Lamiaceae، Apiaceae و Zingiberaceae به دلیل خواص آنتی اکسیدانی قابل توجه از نظر ارزش دارویی در صنایع دارویی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. فعالیت‌های آنتی اکسیدانی گیاهان معطر تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله شرایط رشد،

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.1.2.0]

روش‌های استخراج و عوامل مهم تشکیل‌دهنده آنتی اکسیدان‌ها است (Skrovankova et al. 2012).

موارد استفاده گیاهان دارویی و معطر

قبل از معرفی داروهای شیمیایی، انسان بر خواص درمانی گیاهان دارویی تکیه می‌کرد. برخی از مردم به دلیل اعتقاد باستانی که به گیاهان برای تأمین غذا و درمان دارویی دارند، به این گیاهان اهمیت می‌دهند. تصور می‌شود که حدود ۸۰ درصد جمعیت جهان به‌طور اختصاصی برای نیازهای اولیه مراقبت‌های بهداشتی خود به طب سنتی تکیه می‌کنند (Ahvazi et al., 2012). گیاهان دارویی و معطر به‌طور گسترده‌ای در طول تاریخ بشر مورد استفاده قرارگرفته‌اند، به‌طور عمده به دلیل سهولت دسترسی، مقرون به صرفه بودن و عدم وجود عوارض جانبی نامطلوب، در حال حاضر علاقه به کشت گیاهان معطر و دارویی در سراسر جهان شتاب سریعی یافته است که کاربردهای بسیار زیادی در صنایع مختلف دارد (Ciocarlan et al. 2021). گیاهان دارویی آنتی اکسیدان‌های طبیعی هستند و برای درمان بیماری‌ها در سراسر جهان استفاده می‌شوند (Hussa Ara Begum et al. 2017). تجمع عناصر ضروری مانند سلنیوم، روی و آهن در قسمت‌های خوراکی گیاهان دارویی آنها را به‌عنوان منبع تغذیه مناسب می‌سازد، از طرف دیگر چون توانایی بالایی در جذب آلاینده‌ها دارند آنها را برای اهداف گیاه‌پالایی نیز مناسب کرده است. با این وجود، توانایی گیاهان دارویی برای تجمع آلاینده‌ها باعث نگرانی‌های زیادی هنگام استفاده از گیاهان به‌عنوان دارو شده است (Abd Manan et al. 2015). خواص دارویی گیاهان به‌طور معمول از متابولیت‌های ثانویه مختلف مشتق می‌شوند، که ممکن است برای حفاظت از گیاهان در شرایط استرس‌زای محیطی نیز مهم باشند. گیاهان مختلف آروماتیک و دارویی توانایی تجمع فلزات سمی را دارند و در حال حاضر در فناوری پالایش گیاهی مورد بهره برداری قرار می گیرند (Singer et al. 2013). ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان معمولاً در پاسخ به تنش فلزی تغییر می‌کند (Briffa et al. 2020). متابولیت‌های ثانویه می‌توانند در سم‌زدایی برخی از فلزات سمی نقش داشته باشند. گیاهان دارویی به دلیل وجود ترکیبات زیست فعال مشتق شده از متابولیت‌های ثانویه مانند فنولیک‌ها، ترپنوئیدها و ترکیبات حاوی گوگرد و نیتروژن خواص درمانی از خود نشان می‌دهند (جدول ۱) (Abd Manan et al. 2015).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.1.2.0]

جدول۱- متابولیت‌های ثانویه و نقش آن در گیاه‌پالایی

گیاه مورد بررسی	نقش در گیاه‌پالایی	ترکیب
Zea mays L.	شلاتور آلومینیوم	
Brassica juncea L.	شلاتور سرب و مس	
Hyperium perforatum L. *Matricaria recutita* L.	شلاتور کادمیوم	
Matricaria chamomilla L.	شلاتور نیکل	
Morus rubra L.	تجزیه بی فنیل‌های پلی کلره و هیدروکربن‌های پلی‌آروماتیک	
Miscanthus giganteus L.	تجزیه زیستی هیدروکربن‌های پلی‌آروماتیک	
Mentha spicata L.	القای تجزیه بی فنیل‌های پلی کلره در باکتری‌ها	فنولیک‌ها ترپنوئیدها
Arabidopsis thaliana L.	سم‌زدایی کادمیوم	ترکیبات حاوی گوگرد و نیتروژن

بهبود سلامت خاک آلوده به فلزات سمی با استفاده از گیاهان معطر یک رویکرد امیدوارکننده و پایدار است (Pirzadah et al. 2015). محور اصلی در حال حاضر بر روی گیاهان معطر متمرکز شده است که برای تولید اسانس استفاده می‌شود. این گیاهان غیر خوراکی هستند و مستقیماً مانند سبزیجات و غذاهای اصلی مصرف نمی‌شوند در جدول ۲ به برخی از این گیاهان اشاره شده است.

جدول ۲- گونه‌های گیاهی معطر مورد استفاده برای فرآیند گیاه‌پالایی

فلزات سنگین احتمالی قابل پالایش	فناوری گیاه‌پالایی	نام گیاه
کادمیوم، سرب، مس، آرسنیک، جیوه، قلع، روی	تثبیت‌کننده گیاهی	*Chrysopogon zizanioides* L.
کادمیوم، جیوه، سرب، مس، نیکل، کروم	تثبیت‌کننده گیاهی	*Cympobogon citratus* L.
کربن، روی، آهن، نیکل، سرب، کادمیوم، کروم	تثبیت‌کننده گیاهی	*Cymbopogon martinii* L.
کادمیوم، کروم	تثبیت‌کننده گیاهی	*Cymbopogon citronella* L.
کروم، کادمیوم، نیکل، سرب، آرسنیک، روی	تثبیت‌کننده گیاهی	*Ocimum basilicum* L.
کادمیوم، سرب، کروم	انباشتگر فوق‌العاده برای فلزات سنگین خاص	*Salvia officinalis* L.
کروم، سرب، نیکل، کادمیوم، مس، روی	تثبیت‌کننده گیاهی	*Mentha piperita* L.
سرب، مس، روی، کادمیوم، نیکل، آهن، آرسنیک	تثبیت‌کننده گیاهی و همچنین انباشتگر فوق‌العاده نیکل	*Salvia rosmarinus* L.
کادمیوم، روی، مس، سرب، نیکل	متالوفیت‌های فرعی یا حذف‌کننده‌های فلزی، گونه‌های انباشتگر نیکل	*Matricaria chamomilla* L.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.1.2.0]

کادمیوم، نیکل، سرب، روی	انباشتگر فوق‌العاده برای فلزات سنگین خاص.	*Horseshoe geranium* L.
کادمیوم، سرب، مس، روی، آهن	انباشتگر فوق‌العاده برای فلزات سنگین خاص.	*Lavendula officnalis* L.

اثرات منفی تجمع فلزات سنگین بر روی گیاهان دارویی و معطر

در حال حاضر، آلودگی با فلزات سنگین یکی از مسائل جدی برای محیط زیست و کشاورزی است (Pirzadah et al. 2015). توسعه سریع در بخش‌های صنعتی منجر به تولید فلزات سنگین شده است که محیط زیست را آلوده کرده و به‌طور قابل توجهی در برخی از موجودات زنده انباشته شده است (Abd Manan et al. 2015). آلودگی فلزات سنگین منجر به مشکلات سلامتی انسان و تهدیدی مداوم برای محیط زیست است (Briffa et al. 2020). در جامعه صنعتی امروز، راهی برای اجتناب از قرار گرفتن در معرض مواد شیمیایی و فلزات سمی وجود ندارد (Aldjain et al. 2011). فلزات سنگین می‌تواند مستقیماً بر رفتار انسان تأثیر بگذارد و باعث اختلال روانی شود. مقادیر کمی از فلزات سنگین برای سلامت انسان مفید است. اما وجود آنها خارج از محدودیت‌های خاص مضر است و باعث مسمومیت سلولی مستمر می‌شود (Jaishankar et al. 2014). فلزات سنگین مانند روی، مس و سرب به دلیل فعالیت‌های طبیعی و انسانی در محیط وجود دارند. اگرچه روی و مس ریزمغذی‌های مهمی هستند، اما هر دو در مقادیر بیش از حد برای سلول‌ها بسیار سمی هستند (Abd manan et al. 2015). آلودگی محیط زیست توسط فلزات سنگین مانند کادمیوم، سرب و جیوه یک مشکل جدی در سراسر جهان است (Bagdat and Eid, 2007). کادمیوم به دلیل تحرک زیاد و اثر غلظت کم آن روی گیاهان یکی از خطرناک‌ترین فلزات است (Kummerova et al. 2010). فلزات سنگین که به‌طور طبیعی در خاک، آب‌های سطحی یا طی فرآیندهای صنعتی و معدنی انباشته شده‌اند، تهدیدی بالقوه برای موجودات مختلف زمینی و آبزی هستند (Nasim and Dhir, 2010). پاکسازی آلاینده‌ها با استفاده از روش‌های متداول اغلب با هزینه بالا همراه می‌شود (Rasheed et al. 2019) در صورتی‌که چندین روش شیمیایی و فیزیکی برای حذف آلاینده‌ها وجود دارد، اما این روش‌ها بسیار گران هستند و به سختی می‌توان آنها را در هزاران هکتار اعمال کرد (Yao et al. 2012). وجود فلزات سنگین در زمین‌های صنعتی، به ویژه در مجاورت مناطق مسکونی، پاکسازی سریع را ضروری می‌سازد (Abd Manan et al. 2015). با این حال، تکنیک‌های متداول فعلی، مانند روش حفاری و تخلیه گران هستند و ممکن است

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.1.2.0]

مکان‌های بیشتری را آلوده کنند (Pirzadah et al. 2015). گونه‌های خاصی از گیاهان مرتعی توانایی رشد و سازگاری و جذب فلزات سنگین را دارا هستند. برخی از گونه‌های گیاهی توانایی جذب و انباشت مقادیر زیادی از عناصر سنگین را دارند بدون این که آثار سمی آشکار برای آن ها ایجاد کند. بنابراین می‌توان از این ویژگی گیاهان برای پاکسازی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین استفاده کرد (Rasheed et al. 2019). گیاه‌پالایی یک فناوری مؤثر، زیبا، مقرون‌به‌صرفه و سازگار با محیط زیست برای پاکسازی فلزات بالقوه سمی از محیط زیست محسوب می‌شود. گیاهانی که ظرفیت گیاه‌پالایی دارند، آلاینده‌ها را از طریق ریشه‌های خود جمع‌آوری کرده و سپس آنها را در قسمت بالای بدن خود منتقل می‌کنند. هزینه پاکسازی گیاه‌پالایی بسیار کمتر از سایر تکنیک‌های مرسوم پاکسازی است که این بزرگترین مزیت این تکنیک است (Anna et al. 2023). گیاهان مناسب گیاه‌پالایی، گیاهانی با ظرفیت بالا در تجمع مواد سمی و فلزات سنگین در درون خود هستند و به‌عنوان گیاهان انباشت‌گر شناخته می‌شوند، در برابر فلزات سنگین زیست‌توده بالایی تولید کرده و از تحمل بالایی برای جذب فلزات سنگین برخوردار هستند. سیستم ریشه این گیاهان قادر به جذب آلاینده‌ها بوده، آنها را به سایر اندام‌ها انتقال می‌دهند، یا در خود تجزیه کرده به مواد با سمیت کمتر تبدیل می‌کنند (Aldjain et al. 2011). اگرچه گیاهان برای رشد به فلزات سنگین خاصی نیاز دارند، مقادیر بیش از حد این فلزات می‌تواند برای گیاهان سمی شود. اگرچه محبوبیت داروهای گیاهی در سراسر جهان به سرعت در حال افزایش است سمیت فلزات سنگین تأثیر و اهمیت زیادی بر روی گیاهان دارویی دارد و در نتیجه بر کیفیت مواد اولیه گیاهی، عصاره‌های گیاهی، ایمنی و بازار فروش داروها تأثیر می‌گذارد (Chen et al. 2021). محتوای فلزات سنگین در گیاهان دارویی به عوامل اقلیمی، گونه‌های گیاهی، آلودگی هوا و سایر عوامل محیطی بستگی دارد (Bagdat and Eid, 2007). فلزات سنگین ممکن است از طریق منابع آلوده کشاورزی به محصولات گیاهی دارویی وارد شوند (Street. 2012). با این حال، استفاده از گیاهان خوراکی به‌عنوان گیاهان پالایی دارای اشکالاتی است زیرا فلزات سمی ممکن است وارد زنجیره غذایی شده و برخی از آثار زیانبار را ایجاد کند (Pirzadah et al. 2015). مسمومیت‌های مرتبط با فلزات سمی در گیاهان دارویی در آسیا، آفریقا، اروپا و ایالات متحده گزارش شده است با توجه به شیوع بالای فلزات سنگین در محیط زیست، بقایای آنها نیز به گیاهان دارویی رسیده و جذب می‌شوند (Mousavi et al. 2014). عوامل متعدد غیرزنده بر روی دسترسی گیاهان به فلز از

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.1.2.0]

جمله pH ، دما و مواد آلی تأثیر می‌گذارد (Street. 2012). علاوه‌بر این، تعاملات ریشه‌های گیاهان با خاک و میکروب‌های خاک نقش مهمی در تنظیم حرکت فلزات سنگین از خاک به قسمت‌های خوراکی گیاه دارند. برای برخی از گیاهان حساس، ممکن است به دلیل رشد و نمو بسیار زیاد و تغییر ترکیب شیمیایی آنها در شرایط آلوده، خواص دارویی آنها تحت تأثیر قرار گیرد. پس از جمع‌آوری و تبدیل به شکل دارو، فلزات سنگین محصور در گیاهان سرانجام وارد بدن انسان می‌شوند و ممکن است عملکردهای طبیعی سیستم‌های مختلف اندام را مختل کنند (Abd Manan et al. 2015). تجمع فلزات توسط ریشه و برگ با افزایش غلظت فلز موجود در محیط افزایش می‌یابد. عواملی مانند کاهش زیست‌توده، طول ریشه و طول ساقه از شاخص‌های متداول سمیت فلزات سنگین هستند (Street. 2012). گیاهان دارویی مانند گیاه آفتاب‌گردان (*Helianthus annuus*) و سرخس نواری (*Pteris vittata*) گیاهان دارویی با قابلیت بالا هستند زیرا گونه‌هایی هستند که سریع رشد می‌کنند، کمتر مستعد بیماری‌ها هستند و توانایی تجمع فلزات سنگین در بافت های گیاهی را دارند. وقتی گیاهان دارویی که در مناطق آلوده رشد می‌کنند، قبل از استفاده، تحت مراحل استخراج و تصفیه بیشتری قرار گیرند، ممکن است مشکل کمتری برای انسان داشته باشد. به‌عنوان مثال، محصولات اسانس معمولاً پس از فرآیند استخراج عاری از آلاینده‌ها هستند. این مشکل زمانی ایجاد می‌شود که مردم هیچ تصوری از آلوده بودن گیاهانی که از آنها برای اهداف دارویی استفاده می‌کنند، نداشته باشند (Abd manan et al. 2015).

اثر فلزات سنگین بر برخی از گیاهان دارویی

بابونه

بابونه یکی از قدیمی‌ترین گیاهان دارویی شناخته شده برای بشر است و از خانواده کاسنیان است و با دو گونه رایج بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) و بابونه رومی (*Chamaemelum nobile* L.) شناخته می‌شود (Srivastava et al. 2010).

گونه *M. chamomilla* L. گیاهی یکساله، علفی با ارتفاعی بین ۵۰ تا ۸۰ سانتیمتر است. از خصوصیات قابل توجه این گیاه، مقاومت بالای آن در مقابل آلودگی‌های فلزات سنگین مانند کادمیم و سرب است. گل‌های خشک شده بابونه حاوی ترپنوئیدها و فلاونوئیدهای زیادی است که به خواص دارویی آن کمک می‌کند. فرآورده‌های بابونه معمولاً برای بسیاری از بیماری‌های انسانی مانند تب، التهاب، اسپاسم عضلانی، اختلالات قاعدگی، بی‌خوابی، اختلالات گوارشی، دردهای روماتیسمی استفاده می‌شوند و همچنین از اسانس بابونه به‌طور گسترده در لوازم آرایشی استفاده

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.1.2.0]

می‌شود. Grejtovsky و همکاران (۲۰۰۸) اثر ۵، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میکرومول بر لیتر سرب را برمیزان تجمع این عنصر در بخش‌های مختلف گیاهچه‌های بابونه و تأثیر افزایش غلظت سرب را بر رشد و تجمع این عنصر در زیست‌توده گیاهان کشت شده و تأثیر آن را بر پارامترهای بیوشیمیایی (میزان کلروفیل) مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که با افزایش مقدار سرب در محیط رشد تجمع این عنصر در بخش‌های هوایی و ریشه افزایش یافت، ولی مقدار سرب در ریشه بیشتر از بخش هوایی بود. افزودن سرب به‌طور قابل توجهی زیست‌توده ریشه و همچنین میزان کلروفیل را کاهش داد اما سطح سرب انباشته شده به مراتب کمتر از حد (۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود که توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO) به‌عنوان بالاترین سطح قابل قبول سرب در داروی بابونه تعیین شده است. Zarinkamar و همکاران (۲۰۱۳) مطالعه‌ای بر روی پاسخ به سمیت سرب در گیاه بابونه انجام دادند. برای این منظور اثرات سرب بر تولید آپیژنین به‌عنوان یک ماده دارویی مهم مورد مطالعه قرار گرفت. علاوه‌بر این، تغییرات ساختاری این گیاه در مراحل مختلف رشد توسط میکروسکوپ‌های الکترونی و نوری مورد مطالعه قرار گرفت. برای این منظورگیاه بابونه، در تیمار ۰، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ میکرومولار سرب کشت داده شدند. طبق این مطالعه کاهش زیست‌توده کل در مراحل مختلف در مقایسه با گیاهان شاهد مشاهده شد. نتایج مطالعه میکروسکوپ الکترونی بر روی برگ نشان‌دهنده تغییرات ساختاری در روزنه‌ها و موم‌های اپی‌کوتیکولار در مراحل مختلف بود. همچنین در مطالعات تشریحی تغییرات متعددی در سطح مقطع برگ، ساقه و ریشه مشاهده شد و تجمع سرب در ریشه و اندام هوایی در مراحل مختلف رشد افزایش یافت. علاوه‌بر این مشاهده شد که سرب هیچ تاثیری بر محتوای آپیژنین ندارد (Zarinkamar et al. 2013). همچنین مطالعه‌ای در سال ۲۰۲۵ با هدف افزایش ظرفیت گیاه‌پالایی بابونه با استفاده از عصاره برگ مورینگا و نانوذرات آهن صفر ظرفیتی برای بهبود حذف فلزات سنگین از فاضلاب کارخانه‌های چرم انجام شد. این مطالعه نتیجه گرفت که ترکیب افزودن دو ترکیب فوق به طور قابل توجهی راندمان گیاه‌پالایی بابونه را افزایش داد. این رویکرد همچنین ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی گیاه را بهبود بخشید و یک راهکار امیدوارکننده برای کاهش آلاینده‌های فلزی در فاضلاب ارائه داد (Mughal et al. 2025).

شاهدانه

گیاه شاهدانه با نام علمی *Cannabis sativa* L. از گیاهان دارویی است؛ به‌طوری که، علاوه‌بر استفاده‌های دارویی، از این گیاه برای تهیه الیاف

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.1.2.0]

طبیعی در صنعت نساجی استفاده می‌شود. شاهدانه گیاهی علفی، یکساله و متعلق به خانواده شاهدانه است (Sengloung et al. 2009). این گیاه معمولاً دو پایه بوده و گل‌های نر و ماده این گیاه، بر روی پایه‌های جداگانه قرار دارند و عموماً گل‌های نر کمی زودتر از گل‌های ماده تشکیل و ظاهر می‌شوند. این گیاه برگ‌های پنجه‌ای با پنج تا هفت برگچه دندانه‌دار دارد و دارای واریته‌ها با بوی قوی و مطبوع است و ارتفاع آن به ۳-۱ متر می‌رسد. ترکیبات موجود در شاهدانه به درمان درد و تسکین عوارض ناشی از برخی درمان‌های پزشکی کمک می‌کند. کانابیدیول (CBD)، یک ماده اصلی غیر روان‌گردان که از مهمترین ترکیبات شاهدانه است و موجب تسکین انواع دردهای مزمن و غیرمزمن و در درمان التهاب، اضطراب و تهوع استفاده می‌شود (Asadi et al. 2019). Citterio و همکاران (۲۰۰۳) آزمایش‌هایی را برای ارزیابی و توانایی گیاه شاهدانه برای تجمع فلزات‌سنگین کادمیوم، نیکل و کروم انجام دادند. برای این منظور شاهدانه در خاک S1 که به ترتیب حاوی ۲۷، ۷۴، ۱۲۶ میکروگرم برگرم کادمیوم، کروم و نیکل وخاک S2 که به ترتیب حاوی ۸۲، ۱۱۵، ۱۳۹ میکروگرم برگرم کادمیوم، کروم و نیکل بود کشت داده شد. پس از دو ماه از جوانه‌زنی و رشد گیاه، هیچ تغییر قابل توجهی در رشد و مورفولوژی گیاه مشاهده نشد. برعکس در برابر تنش فلزات سنگین، فیتوکلاتین و محتوای دی.ان.اِ در طول رشد افزایش پیداکرد. که نشان‌دهنده توانایی شاهدانه برای جلوگیری از آسیب سلولی با فعال کردن مکانیسم‌های مختلف مولکولی است. نتایج آزمایش نشان داد که فلزات ترجیحاً در ریشه‌ها انباشته شده و فقط تا حدی به اندام‌های هوایی منتقل شده‌اند (Citterio et al. 2003). در مطالعه‌ی دیگر که توسط Linger و همکاران (۲۰۰۵) انجام شد اثر غلظت‌های مختلف کادمیوم (۱۷ و ۷۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) بر رشد و فتوسنتز گیاه شاهدانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش نشان داد که ریشه‌های شاهدانه تحمل بالایی نسبت به کادمیوم نشان دادند و همچنین تغییرات فصلی در عملکرد فتوسنتز گیاهان شاهد و گیاهانی که روی خاک با ۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم رشد می‌کنند قابل مشاهده بود. تحت غلظت متوسط کادمیوم، یعنی ۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم، شاهدانه می‌تواند رشد و همچنین توانایی فتوسنتز را حفظ کند و همچنین عادت طولانی‌مدت به تنش مزمن کادمیوم رخ می‌دهد (Linger et al. 2005).

مریم‌گلی

جنس مریم‌گلی (*Salvia*) یکی از جنس‌های مهم خانواده نعناعیان است که با حدود ۹۰۰ گونه زینتی، دارویی و ادویه‌ای در سرتاسر جهان گسترده شده است. ۵۸ گونه از این جنس در ایران

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.1.2.0]

شناسایی شده است که ۱۷ گونه آن اندمیک ایران هستند. مریم‌گلی با نام علمی (*Salvia officinalis* L.) به‌طور سنتی در پزشکی به‌عنوان ضد عفونی‌کننده و برای التهابات، عفونت‌های دهان استفاده می‌شود. همچنین به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان طعم‌دهنده غذا و به‌عنوان اسانس نیز استفاده می‌شود. بنابراین، هرگونه تجمع فلزات سنگین توسط این گیاه احتمال مسمومیت فلزات سنگین را برای مصرف‌کنندگان افزایش می‌دهد. Parandvar و Tahmaseb (۲۰۱۹) اثرات سطوح مختلف سولفات مس (۰، ۵، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میکرومولار سولفات مس) بر شاخص‌های رویشی و فیزیولوژیک گیاهچه‌های مریم‌گلی در محیط کشت هیدروپونیک، در قالب طرح کاملاً تصادفی، مورد بررسی قرار دادند. اثر غلظت‌های بالاتر از ۵ میکرومولار سولفات مس بر محتوای کاروتنوئیدها و آنتوسیانین‌های برگ افزایشی و معنی‌دار و بر محتوای کلروفیل کل غیرمعنی‌دار بود و همچنین باعث کاهش اکثر شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه از جمله وزن تر و خشک گیاهی، طول ساقه و ریشه، متوسط سطح برگ، کربوهیدارت‌های محلول، پروتئین کل و فعالیت آنزیم پراکسیداز گردید درحالی‌که سطح ۵ میکرومولار این تیمار، منجر به افزایش تمامی این شاخص‌ها شد. نتایج نشان داد که غلظت مس اندام هوایی، با افزایش سطح سولفات مس به‌طور خطی و قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد، در حالی که محتوای مس در ریشه با نسبت کمتری افزایش یافت. به‌طورکلی به نظر می‌رسد که گیاه مریم‌گلی، دارای مقاومت نسبی به سطح پایین تنش مس است و به‌عنوان گیاه مناسب برای گیاه‌پالایی مس پیشنهاد نمی‌شود (Parandvar and Tahmaseb, 2019).

برخی گونه‌های نعناع

ریحان با نام علمی (*Ocimum basilicum* L.) گیاهی علفی، یکساله، معطر و متعلق به خانواده نعناعیان است که بین ۵۰ تا ۱۵۰ گونه برای آن معرفی شده است. اسانس‌های ریحان در صنایع مختلف غذایی، دارویی و بهداشتی مورد استفاده قرار می‌گیرد و به‌عنوان یکی از گیاهان دارویی مهم شناخته شده است. از گیاه ریحان جهت کاهش استرس و درمان بیماری‌های تنفسی، گوارشی و کلیوی و همچنین اختلالات خونی و بیماری‌های پوستی و چشمی استفاده می‌شود.

در پژوهشی توسط Youssef (۲۰۲۱) که هدف از این مطالعه، بررسی کارایی ریحان شیرین برای گیاه‌پالایی مناطق آلوده به فلزات سنگین در مناطق شهری مصر از طریق مطالعه تأثیر آلاینده‌های کادمیوم و سرب بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی و میزان اسانس ریحان شیرین بود. آزمایش‌ها در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. تیمارهای کاربردی مورد استفاده در این آزمایش برای کادمیوم غلظت

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.1.2.0]

ppm ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ و برای سرب ppm ۱۰۰، ۳۵۰، ۷۵۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ بود. ترکیب و میزان اسانس‌ها با استفاده از طیف‌سنجی جرمی کروماتوگرافی گازی (GC-MS) تعیین شده بود. نتایج نشان داد که خاک آلوده تأثیر منفی بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی ریحان دارد. به‌طور کلی، کشت ریحان در خاک‌های آلوده به کادمیوم و سرب می‌تواند تأثیرات نامطلوبی بر صفات ریخت شناسی ایجاد کند. با این حال، وجود این فلزات تأثیر عمده‌ای بر عملکرد اسانس و گیاه‌پالایی دارد (Youssef. 2021). در بررسی که توسط Hashemzade و همکاران (۲۰۲۰) انجام شد هدف از این مطالعه بررسی کارایی گیاه ریحان در حذف فلز جیوه از محیط‌های آبی بود. در این مطالعه پنج سطح نیترات جیوه (۰/۵، ۱، ۳، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر) بر روی گیاه ریحان با ۳ تکرار مورد بررسی قرار گرفت. سپس نمونه‌برداری از آب‌های زیر گلدان‌ها، اندام‌های گیاه ریحان (ریشه، ساقه و برگ) و خاک گلدان‌ها انجام شد و نمونه‌های برداشت شده آنالیز شد. با افزایش غلظت فلز جیوه، میزان درصد حذف جیوه از آب زیر گلدان‌ها افزایش یافت، به‌طوری که بیشترین میزان درصد حذف در غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر به میزان ۹۷٪ بود. بیشترین درصد باقیمانده جیوه در خاک، مربوط به غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر جیوه و برابر ۹۸٪ و کمترین درصد مربوط به غلظت ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر جیوه معادل ۱۳٪ بود. در غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر، بیشترین درصد باقیمانده فلز جیوه مربوط به ساقه گیاه با ۹۲ ٪ و کمترین درصد باقیمانده در این غلظت، مربوط به برگ گیاه با ۴۲ ٪ بود. به‌طور کلی میانگین درصد باقیمانده جیوه در اندام‌های ساقه و برگ کمتر از ریشه گیاه بود. در نتیجه گیاه ریحان می‌تواند به‌عنوان یک رویکرد نوآورانه و امیدوارکننده برای کاهش یون جیوه از فاضلاب صنعتی مورد استفاده قرار گیرد (Hashemzade et al. 2020).

نعناع یکی از اعضای خانواده نعناعیان است گیاهان این خانواده علفی یا بوته‌ای هستند که اغلب دارای بوی معطر هستند. برخی از آنها مقدار زیادی اسانس تولید می‌کنند. نعناع به دلیل داشتن برگ‌های خوش عطر و طعم، جزء سبزی‌های خوردنی به شمار می‌آید. برگ خشک شده و خرد شده آن چاشنی برخی از غذاهای ایرانی است. در ایران ۴۹ جنس از تیره نعناع به‌طور پراکنده وجود دارد. از جنس‌های این تیره می‌توان نعناع، آویشن، مریم‌گلی و اسطوخودوس اشاره کرد. اسانس گیاهان خانواده نعناعیان و اجزای تشکیل‌دهنده‌ی آن قابلیت استفاده در صنایع غذا، دارو، لوازم آرایشی و عطرسازی را دارند. بیشترین ترکیب تشکیل‌دهنده‌ی اسانس آن منتول است. منتول به‌عنوان یک ترکیب ضدعفونی‌کننده مهم نیز شناخته می‌شود که اثرهای آنتی بیوتیکی قوی دارد

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.1.2.0]

از کاربردهای دارویی خانواده‌ی نعناع می‌توان به خنک‌کنندگی، تقویت معده، ضدتب، ضدسرفه، ضداستفراغ و ضدعفونی‌کننده در التهاب ریه اشاره کرد. در پژوهشی توسط Gharib و همکاران (۲۰۲۰) تغییرات فصلی در پتانسیل تجمع فلزات سنگین توسط نعناع پونه (*Mentha longifolia* (L.) Huds.) و همچنین ترکیب شیمیایی و فعالیت آنتی اکسیدانی اسانس این گیاه در آب‌های آلوده و بدون آلودگی مورد ارزیابی قرار گرفت و پتانسیل تجمع فلزات سنگین را با فاکتور تجمع زیستی (BF) و فاکتور انتقال (TF) نشان داده شد. نتایج نشان داد که گیاهان کشت شده در فصل تابستان بیشترین غلظت آلومینیوم، کادمیوم، کروم و آهن را در ریشه خود و کمترین غلظت نیکل را در ساقه خود جمع کردند. فاکتور تجمع زیستی برای کادمیوم، مس، منگنز، نیکل، روی و کبالت بیشتر از یک بود، در حالی‌که ضریب جابجایی فلزات مورد بررسی (به استثنای سرب) از یک تجاوز نمی‌کند، که نشان‌دهنده پتانسیل نعناع پونه برای تثبیت گیاهی این فلزات در تالاب‌های آلوده است. عملکرد و ترکیب اسانس نعناع تحت تأثیر فصل برداشت و آلودگی فلزات سنگین قرار گرفت (Gharib et al. 2020). Prasad و همکاران (۲۰۱۰) نیز تأثیر کروم و سرب را بر عملکرد، ترکیب شیمیایی اسانس و تجمع فلزات سنگین در سه گونه نعناع (*Mentha Piperita* L.، *Mentha arvensis* L. و *Mentha aquatic* var. *citrate* (Ehrh.) W.C. Werner.) انجام دادند. برای این منظور اثر سطوح مختلف فلزات سنگین کروم و سرب (۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) را بررسی کردند. عملکرد *M. arvensis* به‌طورقابل توجهی تحت تأثیر کروم و سرب قرار نگرفت، اما عملکرد اسانس آن تحت تنش کروم و سرب در مقایسه با شاهد به میزان قابل توجهی کاهش یافت. غلظت سرب و کروم در هر سه گونه در ریشه بیشتر از اندام های هوایی بود. غلظت کروم در اندام هوایی و ریشه گونه‌های نعناع با افزایش سطوح کروم در خاک به میزان قابل توجهی افزایش یافت. افزایش سطح سرب در خاک غلظت آن را در ساقه و ریشه گونه‌های نعناع در مقایسه با شاهد افزایش داد. تجمع کروم و سرب در ریشه‌ها بیشتر از اندام هوایی در هر سه گونه نعناع بود. نتایج آزمایش نشان داد که *M. piperita* مناسب‌ترین گیاه برای کشت در خاک‌های آلوده به کروم و سرب و پس از آن *M. arvensis* و *M. citrata* مناسب‌تر هستند (Prasad et al. 2010).

خرفه

خرفه با نام علمی *Portulaca oleracea* L. گیاهی علفی، یکساله و گیاهی آبدار از خانواده خرفه بومی منطقه مدیترانه است، اما در هند، استرالیا و آمریکای شمالی نیز رشد می‌کند. گیاه خرفه علف هرز و سازگار است که سریع رشد

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.1.2.0]

می‌کند و ارتفاع آن تا ۴۰ سانتی‌متر می‌رسد. معمولاً در کنار زمین با ساقه‌های صاف، برگ‌های متناوب و ریشه‌هایی رشد می‌کند که باعث می‌شود خاک‌های ضعیف و مناطق خشک را تحمل کند. از خواص دارویی خرفه می‌توان به خواص ضد میکروبی، ضد دیابتی، ضدالتهابی و ضدسرطانی آن اشاره کرد (Alyazouri et al. 2020). در سال‌های اخیر، گسترش فعالیت‌های صنعتی و شهرنشینی منجر به تجمع غلظت بالای کروم در منابع آب و خاک شده است که خطری جدی برای محیط زیست و سلامت انسان است. در پژوهشی توسط Azizi و همکاران (۲۰۱۶) پتانسیل گیاه خرفه در گیاه‌پالایی خاک آلوده به Cr^{+6} با غلظت کروم مختلف مورد بررسی قرار گرفت. گیاهان در گلدان‌های حاوی عنصر کروم (به شکل دی کرومات پتاسیم) با غلظت‌های ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم رشد کردند. در پایان دوره رشد رویشی، غلظت Cr^{+3} و Cr^{+6} و همچنین فاکتورهای تجمع زیستی در گیاه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که افزایش سطوح کروم خاک منجر به کاهش چشمگیر ماده خشک ریشه و اندام هوایی و افزایش غلظت Cr^{+3} و Cr^{+6} در ریشه و اندام هوایی گیاه شد. فاکتور تجمع زیستی به مقدار بیش از ۱ رسید که نقش خرفه را به‌عنوان یک جمع‌کننده موثر Cr^{+6} در خاک‌ها تایید می‌کند (Azizi et al. 2016).

اسطوخودوس

اسطوخودوس با نام علمی *Lavandula officinalis* L. گیاهی چندساله و همیشه سبز از تیره نعناعیان است. ارتفاع گیاه اسطوخودوس بین ۳۰ تا۶۰ سانتی‌متر است. گیاهی درختچه‌ای و همیشه سبز، چندساله با شاخه‌های چوبی و عمودی و دارای بوی مطبوعی، که ناشی از اسانس آن است. اسانس در برگ‌ها و گل‌های اسطوخودوس و در کرک‌های ترشحی مخصوص ساخته و ذخیره می‌شود. ازخواص دارویی گیاه اسطوخودوس می‌توان به خواص ضدتشنجی، ضدصرعی، ضد اضطراب، ضد افسردگی ،ضد درد، ضد التهاب وضدسرطان اشاره کرد. یک مطالعه میدانی توسط Angelova و همکاران (۲۰۱۵) برای ارزیابی کارایی اسطوخودوس در گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده انجام شد. این آزمایش در مزارع کشاورزی آلوده به کارخانه فلزات غیرآهنی در بلغارستان انجام شد. غلظت سرب، روی و کادمیوم در ریشه، ساقه، برگ، گل آذین و در اسانس اسطوخودوس مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش نشان داد که اسطوخودوس گیاهی است متحمل به فلزات سنگین و قابل کشت در خاک‌های آلوده و می‌توان در گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین با موفقیت از آن استفاده کرد. همچنین این واقعیت مطلوب است که فلزات سنگین بر رشد اسطوخودوس و همچنین بر

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.1.2.0]

کیفیت و کمیت اسانس تأثیر نمی‌گذارد (Angelova et al. 2015). پژوهش دیگری توسط Mohamadiyan و همکاران (۲۰۱۶) بر روی گیاه اسطوخودوس انجام شد که هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر منابع مختلف پتاسیم بر غلظت کادمیوم و بررسی توان گیاه‌پالایی اسطوخودوس بود. این آزمایش در خاک آلوده با کادمیوم بر اساس طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی که شامل کادمیوم کلرید و همچنین، سولفات پتاسیم، نیترات پتاسیم و کلرید پتاسیم هر کدام در سه سطح ۰، ۵۵ و ۱۱۰ میلی‌گرم پتاسیم اکسید به ازای هر کیلوگرم خاک انجام شد. تجزیه واریانس نشان داد که کودهای پتاسیمی تأثیر معنی‌داری بر غلظت کادمیوم در اندام هوایی و ریشه دارند. همچنین بر اساس نتایج، حداکثر غلظت کادمیوم در اندام هوایی (۲/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و در ریشه (۱/۶۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بدست آمد. این نتایج نشان‌دهنده قابلیت بالای اسطوخودوس برای جذب فلزات سنگین از خاک‌های آلوده است (Mohamadiyan et al. 2016).

نتیجه‌گیری

گیاه‌پالایی یک روش انتخابی در اجرای فناوری‌های پاک برای پایداری محیط زیست و همچنین یک روش پایدار در برنامه مدیریت گیاهان دارویی برای تجدید سلامت خاک است. آلودگی فلزات سنگین به دلیل فعالیت‌های انسانی متعدد که به نوبه خود بر سلامت گیاهان تأثیر می‌گذارد، با سرعت هشداردهنده‌ای در حال افزایش است و در نتیجه عملکرد تولید را کاهش می‌دهد. به‌طور کلی، گیاهان دارای توانایی ذاتی برای سم‌زدایی فلزات سنگین از طریق چندین روش مانند حذف، سم‌زدایی و جداسازی هستند. از آنجا که متابولیت‌های ثانویه تولیدشده توسط گیاهان دارویی به‌طور معمول نقش‌های زیستی مختلفی را ایفا می‌کنند، این می‌تواند راهی برای سازگاری گیاهان با محیط آلوده باشد. متابولیت‌های ثانویه می‌توانند در سم‌زدایی برخی از فلزات سمی نقش داشته باشند. در نتیجه طبق مطالعاتی که بر روی برخی از گیاهان دارویی و معطر مانند بابونه، شاهدانه، مریم‌گلی، ریحان، نعناع، خرفه و اسطوخودوس از سال ۲۰۰۳تا ۲۰۲۱ انجام شده است می‌توان نتیجه گرفت که اگر چه در گیاهان خرفه، شاهدانه و بابونه غلظت‌های مختلف فلزات سنگین تغییرات متعددی در خصوصیات فیزیولوژیکی این گیاهان ایجاد کرده بود اما تجمع فلزات سنگین در ریشه و اندام هوایی این گیاهان بالا بود. تولید اسانس در گیاه نعنا و همچنین ریحان تحت تاثیر فلزات سنگین قرار گرفت و این فلزات به‌عنوان عوامل تشدیدکننده اسانس در این گیاهان عمل می‌کنند. علاوه‌بر این در بین گیاهان مورد بررسی تاثیرات

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.1.2.0]

منفی فلزات سنگین در گیاه مریم گلی به وضوح قابل مشاهده بود و مشخص شد که این گیاه برای فرآیند گیاه‌پالایی مناسب نیست. در بین گیاهان مورد بررسی اسطوخودوس در رابطه با جذب فلزات سنگین عملکرد بهتری داشته است. پس بنابراین با توجه به تحمل و مقاومت برخی گیاهان دارویی در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، می‌توان از کشت این گیاهان دارویی به‌عنوان راهکاری جهت مدیریت و بهره‌برداری از اراضی که آلودگی متوسط به فلزات سنگین دارند، استفاده کرد. در صورت کشت و کار گیاهان دارویی در خاک‌های آلوده با هدف غیر از گیاه‌پالایی، حتماً باید استاندارد حداکثر مقدار مجاز فلزات سنگین، توصیه شده به وسیله سازمان جهانی بهداشت رعایت شود و همچنین امروزه پژوهش‌ها باید بر روی محصولات غیر خوراکی مانند گیاهان معطر متمرکز شود زیرا دارای پتانسیل بالایی در بازسازی خاک‌های آلوده به فلزات سمی هستند. علاوه‌بر این تولید اسانس تحت تنش فلزات سنگین افزایش می‌یابد زیرا فلزات سنگین به‌عنوان عوامل تشدیدکننده عمل می‌کنند.

فهرست منابع

References

Anna M K, Vimala KS, Raiby PP, Priyalatha B, Priya S. 2023. Phytoremediation potential of a few hydrophytic medicinal plants: A review. International Journal of Scholarly Research in Biology and Pharmacy. 2(1): 005-009.

Abd Manan F, Chai TT, Abd Samad A. 2015. Environmental pollution in Malaysia: Are medicinal plants potential phytoremediation agents. Maejo International Journal of Science and Technology. 9(3): 288-298.

Ahvazi M, Khalighi-Sigaroodi F, Charkhchiyan MM, Mojab F, Mozaffarian VA, Zakeri H. 2012. Introduction of medicinal plants species with the most traditional usage in Alamut region. Iranian journal of pharmaceutical research. 11(1): 185-194.

Aldjain IM, Al-Whaibi MH, Al-Showiman SS, Siddiqui MH. 2011. Determination of heavy metals in the fruit of date palm growing at different locations of Riyadh. Saudi Journal of Biological Sciences. 18(2): 175-180.

Angelova VR, Grekov DF, Kisyov VK, Ivanov KI. 2015. Potential of lavender (*Lavandula vera* L.) for phytoremediation of soils contaminated with heavy metals. International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering. (9): 465-472.

Alyazouri A, Jewsbury R, Tayim H, Humphreys P, Al-Sayah MH. 2020. Uptake of chromium by *Portulaca oleracea* from soil: Effects of organic content, ph, and sulphate concentration. Maejo International Journal of Science and Technology. 9(3): 354-362.

Astutik S, Pretzsch J, Ndzifon Kimengsi J. 2019. Asian Medicinal Plants' production and utilization potentials: A review. Sustainability. 11(19): 5483.

Asadi S, Moghadam H, Naghdi Badi H, Naghavi MR, Salami SAR. 2019. A review on agronomic, phytochemical and pharmacological aspects of cannabis (*Cannabis sativa* L.). Journal of Medicinal Plants. 18(70): 1-20.

Azizi E, Rahbarian R, Mirbolook A. 2016. Phytoremediation of Cr^{+6} in contaminated soil using *Portulaca oleracea*. Iranian Journal of Soil Research. 30(2): 161-172.

Bagdat RB and Eid EM. 2007. Phytoremedation behaviour of some medicinal and aromatic plants to various pollutants. Journal of Field Crops Central Research Institute (Ankara). 16(1-2): 1-10.

Brenes A and Roura E. 2010. Essential oils in poultry nutrition: Main effects and modes of action. Animal Feed Science and Technology. 158(2): 1-14.

Briffa J, Sinagra E, Blundell R. 2020. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. Heliyon. 6(9): 4691-4070.

Chen YG, Huang JH, Luo R, Ge HZ, Wołowicz A, Wawrzkiewicz M, Gładysz-Płaska A, Li B, Yu QX, Kołodyńska D, Lv GY. 2021. Impacts of heavy metals and medicinal crops on ecological systems, environmental pollution, cultivation, and production processes in China. Ecotoxicology and Environmental Safety. 219(4): 112336-112343.

Ciocarlan A, Hristozova G, Aricu A, Dragalin I, Zinicovscaia I, Yushin N, Grozdov D, Popescu V.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.1.2.0]

2021. Determination of the elemental composition of aromatic plants cultivated industrially in the republic of Moldova using neutron activation analysis. Agronomy. 11(5): 10111020.
Cioica N, Tudora C, Iuga D, Deak G, Matei M, Nagy EM, Gyorgy Z 2019. A review on phytoremediation as an ecological method for in situ cleanup of heavy metals contaminated soils. E3S Web of Conferences. 112(5): 03024-03031.
Citterio S, Santagostino A, Fumagalli P, Prato N, Ranalli P, Sgorbati S. 2003. Heavy metal tolerance and accumulation of Cd, Cr and Ni by *Cannabis sativa* L. Plant and Soil. 256(2): 243-252.
Gharib FA, Mansour KH, Ahmed EZ, Galal TM. 2021. Heavy metals concentration, and antioxidant activity of the essential oil of the wild mint (*Mentha longifolia* L.) in the Egyptian watercourses. International Journal of Phytoremediation. 23(6): 641-651.
Golia EE, Barbieri E, Papadimou SG, Alexiadis D. 2024. Energy, Aromatic, and medicinal plants' potential and prospects for the remediation of potentially toxic element-contaminated agricultural soils: A critical meta-analysis. Toxics. 12(12): 914.
Grejtovsky A, Markusova K, Novakova L. 2008. Lead uptake by *Matricaria chamomilla*. L. Plant, Soil and Environment. 54(3): 47-54.
Hashemzadeh F, Hassani AH, Ghaiomi R. 2020. Studying efficiency of basil plant in removal of mercury metal from aqueous solution. Journal of Water and Wastewater. 31(3): 128-137.
Hussa Ara Begum MH, Zaman K, Shinwari ZK, Hussain A. 2017. Heavy metal analysis in frequently consumable medicinal plants of Khyber Paktunkhwa, Pakistan. The Pakistan Journal of Botany. 49(3): 1155-1160.
Hussein RA and El-Anssary AA. 2019. Plants secondary metabolites: the key drivers of the pharmacological actions of medicinal plants. Herbal Medicine. 1(7): 132-140.
Jadia CD and Fulekar MH. 2009. Phytoremediation of heavy metals: recent techniques. African Journal of Biotechnology. 8(6):308-315.
Jaishankar M, Tseten T, Anbalagan N, Mathew BB, Beeregowda KN. 2014. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. Interdisciplinary Toxicology. 7(2): 60-69.
Kummerova M, Zezulka S, Kralova K, Masarovicova E. 2010. Effect of zinc and cadmium on physiological and production characteristics in Matricaria recutita. Biologia Plantarum. 54(2): 308-314.
Linger P, Ostwald A, Haensler J. 2005. *Cannabis sativa* L. growing on heavy metal contaminated soil: growth, cadmium uptake and photosynthesis. Biologia Plantarum. 49(4): 567-576.
Mirsolaymani Z and Bahmani Z. 2023. The role of fungi in the bioremediation of pollutants. Journal of Biosafety. 16(2): 17-30.

Mohamadiyan Z, Gholamalizadeh Ahangar A, Ghorbani M, Mohkami Z. 2016. The Effect of potassium fertilizers on lead and cadmium phytoremediation by lavender (*Lavandula officnalis*) in a polluted soil. Journal of Water and Soil Conservation. 23(3): 273-287.
Mousavi Z, Ziarati P, Esmaeli Dehaghi M, Qomi M. 2014. Heavy metals (lead and cadmium) in some medicinal herbal products in Iranian market. Iranian Journal of Toxicology. 8(24): 1004-1010.
Montazeri GR and Sepehri Y. 2019. The evolution of botanical and herbal medicine in Islamic civilization. Open Journal of Ecology. 9(03): 35-42.
Mozaffarian D, Ascherio A, Hu FB, Stampfer MJ, Willett WC, Siscovick DS, Rimm EB. 2005. Interplay between different polyunsaturated fatty acids and risk of coronary heart disease in men. Circulation. 111(2): 157-164.
Mughal UA, Farid M, Sarfaraz W, Abdel-Maksoud MA, Malik A, Asam ZZ, Abbas M, Zubair M, Fatima S, Khalid N. 2025. Enhancing phytoremediatioin chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) using moringa extract and zero-valent iron nanoparticles. South African Journal of Botany. 177: 14-25.
Nasim SA and Dhir B. 2010. Heavy metals alter the potency of medicinal plants. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology. 112(3) 139-149.
Peuke A and Rennenberg H. 2005. Phytoremediation Molecular biology, requirements for application, environmental protection, public attention and feasibility. EMBO reports. 6(3): 497-501
Parandvar M and Tahmaseb A. 2019. Investigation of copper effect on some physiological and biochemical characteristics of Salvia sclarea L: a review. International journal of environmental research and public health. 14(12):135-143.
Prasad A, Singh AK, Chand S, Chanotiya CS, Patra DD. 2010. Effect of chromium and lead on yield, chemical composition of essential oil, and accumulation of heavy metals of mint species. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 41(18):2170-2186.
Pirzadah TB, Malik B, Dar FA. 2019. Phytoremediation potential of aromatic and medicinal plants: A way forward for green economy. Journal of Stress Physiology and Biochemistry. 15(3):174-182
Rasheed T, Bilal M, Nabeel F, Adeel M, Iqbal HM. 2019. Environmentally-related contaminants of high concern: potential sources and analytical modalities for detection, quantification, and treatment. Environment International. 122(7): 52-66.
Samarth RM, Samarth M, Matsumoto Y. 2017. Medicinally important aromatic plants with radioprotective activity. Future Science OA. 3(4): 247-256
Sengloung T, Kaveeta L, Nanakorn W. 2009. Effect of sowing date on growth and development of Thai hemp (*Cannabis sativa* L.). Agriculture and Natural Resources. 43(3): 423-431.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.1.2.0]

Sharafzadeh S and Alizadeh O. 2012. Some medicinal plants cultivated in Iran. Journal of Applied Pharmaceutical Science. 2(1): 134-137.
Shehata SM, Badawy RK, Aboulsoud YIE. 2019. Phytoremediation of some heavy metals in contaminated soil. Bulletin of the National Research Centre. 43: 1- 15.
Shmaefsky BR, and Husen A. 2023. Phytoremediation potential of medicinal plants. In: Husen, A., Iqbal, M. (Eds) Medicinal Plants. Springer, Singapore. 443-469.
Singer AC, Crowley DE, Thompson IP. 2003. Secondary plant metabolites in phytoremediation and biotransformation. TRENDS in Biotechnology. 21(3): 123-130.
Skrovankova S, Misurcova L, Machu L. 2012. Antioxidant activity and protecting health effects of common medicinal plants. Advances in Food and Nutrition Research. 67(6): 75-139.
Srivastava JK, Shankar E, Gupta S. 2010. Chamomile: A herbal medicine of the past with a bright future. Molecular Medicine Reports. 3(6): 895-901.
Street RA. 2012. Heavy metals in medicinal plant products An African perspective. South African Journal of Botany. 82(3): 67-74.
Sugey LM, Graciela GME, Ignacio LYC, Hugo LCV, Selene LR. 2018. Rhoeo discolor, a medicinal plant with phytoremediation potential. International Journal of Advanced Research (IJAR). 59(6): 763-770.
Sumiahadi A and Acar R. 2018. A review of phytoremediation technology: heavy metals uptake by plants. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 67(6):687-698
Vasavi A, Usha R, Swamy PM. 2010. Phytoremediation – an overview review. Journal of Industrial Pollution Control. 26(4): 83-88.
Vasisht K, Sharma N, Karan M. 2016. Current perspective in the international trade of medicinal plants material: An update. Current pharmaceutical design. 22(5): 4288-4336.
Yao Z, Li J, Xie H, Yu C. 2012. Review on remediation technologies of soil contaminated by heavy metals. Procedia Environmental Sciences. 16(7): 722-729.
Youssef NA. 2021. Changes in the morphological traits and the essential oil content of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) as induced by cadmium and lead treatments. International Journal of Phytoremediation. 23(3): 291-299.
Zarinkamar F, Saderi Z, Soleimanpour S. 2013. Excluder strategies in response to Pb toxicity in *Matricaria chamomilla*. Advances in Bioresearch. 4(3): 698-707.

A Review of Phytoremediation using some Medicinal and Aromatic Plant Species

Zahra Khodadadi[1], Maryam Moudi[2*], Seyed Mousa Mousavi Kouhi[2], Mahboubeh Sadat Hosseinzadeh[2]

1- MSc, Graduate of Department of Environment, University of Birjand, Iran.
2- Assistant Professor, Department o Biology, University of Birjand, Iran.
maryammoudi@birjand.ac.ir

Abstract

Phytoremediation is a biological method for pollution control and a suitable alternative to conventional physical and chemical methods. However, plants have a different regulatory system that acts to cope with stress and therefore adapt themselves to contaminated soils. The monitoring system acts as an inhibitor to neutralize the toxic effects of these heavy metals through detoxification, precipitation (deposition of sparingly soluble salts on the membrane surface) and intensification of the enzyme system. Depending on the plant species and the environmental factors present, bioactive compounds of medicinal plants have the potential to remediate specific pollutants. Medicinal and aromatic plants used for phytoremediation may not have a high phytoremediation potential compared to other agricultural and woody plants, but due to the production of the final product (secondary metabolites) without heavy metals and also the economic feasibility of their secondary metabolites, they can be used as suitable plants for phytoremediation. However, the ability of medicinal plants to accumulate pollutants has caused concerns during medicinal use, in which case the maximum permissible level of heavy metals recommended by the World Health Organization should be observed. In the present study, a review of phytoremediation by aromatic and medicinal plants and how they work against heavy metals was conducted.

Keywords: Heavy Metals, Secondary Metabolites, Plant Species, Medicinal and Aromatic Plants.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-12]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1403.17.1.2.0]