



## بررسی اجمالی گیاهان فلز – اندوز و خاک‌های میزبان آنها در ایران

حبيب خداوردی‌لو

استادیار دانشگاه ارومیه، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی علوم خاک،

شجاع قربانی دشتکی

استادیار دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی، گروه خاکشناسی.

تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۲/۸

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۲/۴

### چکیده

برخی خاک‌ها به طور طبیعی یا در اثر آلودگی از راه‌های گوناگون غلظت‌های بالایی از فلزات را در خود دارند. چنین خاک‌هایی می‌توانند میزبان نوعی ویژه از فلور متحمل به فلز باشند. این فلور ممکن است برای اهدافی گوناگون مانند پالایش اماکن آلوده، بررسی‌های ژنتیکی و غیره بسیار سودمند باشند. در ایران، با وجود انجام پژوهش‌هایی در رابطه با شناسایی جمعیت‌های بومی گیاهان در مناطق آلوده و یا استفاده از گیاهان در پالایش خاک، تاکنون تلاشی هدفمند برای گردآوری و حفاظت از گیاهان فلز-اندوز صورت نگرفته است. هدف از این مقاله، بررسی مفاهیم بیش‌اندوزی فلزات توسط گیاهان، معرفی خاک‌های میزبان بیش‌اندوزها و پراکنش آنها در ایران، استفاده از گیاهان بیش‌اندوز در پالایش خاک و آب و بررسی ضرورت و راه‌کارهای عملی گردآوری و حفاظت از این گیاهان است.

**واژه‌های کلیدی:** گیاهان بیش‌اندوز، فلزات سنگین، پالایش سبز.

## مقدمه

در کشور ما، ایران، با اینکه تاکنون پژوهش‌هایی چند در رابطه با شناسایی جمعیت‌های بومی گیاهان در مناطق آلوده و یا گونه‌های بیش‌اندوز<sup>ii</sup> (برای مثال، مهتدی، ۱۳۸۴؛ Ghaderian et al, 2007؛ Hajiboland & Manafi & 2007) و یا استفاده از گیاهان در پالایش خاک (برای مثال، خداوردی‌لو، ۱۳۸۵؛ خداوردی‌لو و همایی، ۱۳۸۶؛ خداوردی‌لو و همکاران، ۱۳۸۶؛ Khodaverdiloo & Homae, 2008) انجام شده است، هیچ‌گونه تلاش هدفمندی در راستای گردآوری و حفاظت از گیاهان بیش‌اندوز صورت نگرفته است. این در حالیست که جامعه‌ی گیاهی ایران در حدود ۸۰۰۰ گونه‌ی گیاهی متعلق به ۱۵۰ خانواده دارد که تقریباً ۲۲٪ از این گونه‌ها به طور اختصاصی بومی این کشور هستند (Jalali & Jamzad, 1999). هدف این مقاله، بررسی مفاهیم بیش‌اندوزی فلزات توسط گیاهان، معرفی خاک‌های میزبان بیش‌اندوزها و پراکنش این خاک‌ها در ایران، استفاده از گیاهان بیش‌اندوز در پالایش خاک و آب و بررسی ضرورت و راهکارهای عملی گردآوری و حفاظت از این گیاهان است.

### بیش‌اندوزی و تاریخچه‌ی گیاهان فلز-اندوز

در سال ۱۹۹۲ پژوهشگری به نام Reeves تلاش کرد تا تعریفی دقیق از بیش‌اندوزی نیکل ارایه کند: "بیش-اندوز نیکل گیاهی است که غلظت نیکل در آن حداقل  $mg\ kg^{-1}$  در ماده‌ی خشک هر بافت هوایی در دست‌کم یک نمونه که در زیستگاه طبیعی خود روئیده است، باشد"

خاک‌های سرشار از فلزات با دارا بودن غلظت‌های بالا و غیرمعمول از عناصری که معمولاً با غلظتی اندک ( $mg\ kg^{-1}$  یا  $200-2000\ mg\ kg^{-1}$ ) نادر (۲۰۰-۲۰۰۰) در خاک وجود دارند، تاثیرات متفاوتی بر گیاهان می‌گذارند. این اثرات به گونه‌ی گیاهی، نوع عنصر و شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک بستگی داشته و می‌تواند از ایجاد سمیت مطلق برای گیاهان تا فراهم‌آوری زمینه‌ای برای ایجاد فلوری خاص از گونه‌های "متحمل به فلز"<sup>i</sup> در منطقه، تغییر کند. ترکیب غیرآلی اغلب گونه‌های متحمل به فلز نشان می‌دهد که این گیاهان یا نسبت به محیط‌های سرشار از فلز بی‌تفاوتند و یا دست‌کم، چه از نظر شیمیایی و چه فیزیولوژیکی، با جذب مقادیری کمی بیشتر از غلظت‌های طبیعی عناصری که خاک سرشار از آنهاست، تاثیرات اندکی می‌پذیرند.

گاهی گونه‌هایی از گیاهان تنها در مناطق سرشار از فلز می‌رویند. برخی گونه‌های گیاهی متحمل به فلز نیز توانایی جذب و اندوزش غلظت‌های بسیار بالایی از برخی عناصر را دارند که این جذب در مقادیری بیشتر از نیاز فیزیولوژیکی گیاهان (در صورت وجود چنین نیازی) و حتی بیشتر از غلظتی است که در اغلب گونه‌ها - حتی گونه‌هایی که در خاک‌های سرشار از فلز می‌رویند- یافت می‌شود. این گیاهان یکی از مهمترین منابع موجود را در اختیار پژوهشگرانی قرار داده‌اند که در زمینه‌ی روش‌های گوناگون پالایش سبز<sup>i</sup> کار می‌کنند.

(Raskin & Ensley, 2000). این تعریف نشان می‌دهد که شاخص بیش‌اندوزی نباید بر اساس تجزیه‌ی کل گیاه یا بخش‌های زیرزمینی گیاه باشد. زیرا هم نمی‌توان به در امان بودن نمونه‌های ریشه‌ی گیاه از آلودگی به خاک یقین داشت و هم ممکن است برخی گیاهان فلزات را در سامانه‌ی ریشه‌ی خود غیرمتحرک کرده ولی در انتقال آن به بخش‌های هوایی ناکام باشند (Baker, 1981). این تعریف دقیق، در پیرامون خود به پرسش‌هایی نیز پاسخ می‌دهد از جمله اینکه: ۱- برخی نمونه‌های یک گونه ممکن است با غلظت بیش از  $1000 \text{ mg kg}^{-1}$  و برخی دیگر با غلظت کمتر از  $1000 \text{ mg kg}^{-1}$  یافت شوند، ۲- بافت‌هایی به غیر از برگ گیاه (مانند لاتکس) ممکن است غلظت بسیار بالایی از فلز داشته باشند، یا ۳- گونه‌ای یافت شود که سطوح بالایی از فلز را تحت شرایط مصنوعی جذب کند. موارد (۱) و (۲) شرایط بیش‌اندوزی را برآورده می‌کنند ولی گیاهان متعلق به مورد (۳) بیش‌اندوز نیستند. در مورد اخیر، جذب "اجباری" فلز ممکن است منجر به مرگ گیاه شده و ممکن است قرباتی با چرخه‌ی زندگی جمعیت‌هایی که به طور طبیعی فلزدوست هستند نداشته باشد، گو اینکه ممکن است برای بسیاری از روش‌های پالایش سبز کارآمد باشند.

مفاهیم و تعاریف بیش‌اندوزی به عناصری به جز نیکل نیز تعمیم یافته است: ملاک  $1000 \text{ mg kg}^{-1}$  برای بیش‌اندوزی مس (Cu)، کبالت (Co) و سرب (Pb)، آستانه‌ی  $10000 \text{ mg kg}^{-1}$  برای منگنز (Mn) و روی (Zn) و

ملاک  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  برای Cd به‌کار رفته است (Raskin & Ensley, 2000).

تاریخچه‌ی شناسایی توانایی گیاهان در اندوختن غلظت‌هایی بالا از فلزاتی همچون روی (Zn) و نیکل (Ni) به آغاز پژوهش‌های بیوشیمیایی بازمی‌گردد. تاکنون، بیش از ۴۵ خانواده‌ی گیاهی شناسایی شده‌اند که گونه‌هایی با توانایی بیش‌اندوزی فلزات دارند. با این حال، شناسایی گیاهانی با توانایی بیش‌اندوزی فلزاتی بجز نیکل، روی، کبالت و سلنیوم به یافته‌های بیشتری نیاز دارد (Salt & Kramer, 2000؛ خداوردی‌لو، ۱۳۸۵). بیشتر بیش‌اندوزهای شناسایی شده از کشورهای اروپایی و آمریکایی‌اند (Raskin & Ensley, 2000). شمار اندکی از این گونه‌ها، در سال‌های اخیر از کشورهای آسیایی گزارش شده‌اند (برای نمونه، Yang et al, 2002؛ Liu et al, 2004؛ Wei et al, 2005؛ Tamura et al, 2005؛ Wei & Zhou, 2006). با وجود این، در کشور ایران شمار این پژوهش‌ها اندک بوده و با وجود تنوع بالای گونه‌های گیاهی تاکنون تنها یک گونه بیش‌اندوز نیکل گزارش شده است (Ghaderian et al, 2007). (Hajiboland & Manafi (2007) نیز فلور خاک‌های سرشار از فلزات سنگین را در شمال غرب ایران (استان آذربایجان) بررسی و گونه‌هایی با توانایی بیش‌اندوزی و اندوزش فلزات شناسایی کرده‌اند. گیاهان بیش‌اندوز اکثر گیاهانی وحشی، کمیاب و بومی مناطقی هستند که در آنجا کشف شده‌اند. بیشتر این گیاهان را به دلیل احتمال بر هم زدن تنوع گونه‌ای سایر مناطق نمی‌توان به

منطقه‌ای غیر از رویشگاه طبیعی انتقال داد. لذا شناسایی ارقام بومی بیش‌اندوز در ایران، چه برای پالایش منابع خاک و آب و چه به منظور حفظ تنوع گونه‌هایی از این نوع، ضروری است.

### خاک‌های میزبان بیش‌اندوزها

مهمترین انواع خاک‌های سرشار از فلز که رستگاه گیاهان بیش‌اندوز هستند عبارتند از: ۱- خاک‌های معروف به سرپانتین (فرا بازی) که از سنگ‌های اولترامافیک سرشار از آهن و منیزیم که در بسیاری از نقاط جهان وجود دارند، به وجود می‌آیند، ۲- خاک‌های مشتق از انواع مختلف سنگ‌های سرشار از سلنیم، بویژه برخی رسوبات در غرب میانه‌ی ایالات متحده که غلظت سلنیم در آنها اغلب بیش از  $10 \text{ mg kg}^{-1}$  بوده و گاهی از  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  تجاوز می‌کند، ۳- خاک‌های سرشار از سرب و روی یا خاک‌های کالامین<sup>۷</sup> (معمولاً سطوح بالایی از کادمیم و گاهی غلظت‌های بالایی از آرسنیک و/یا مس نیز دارند)، و ۴- خاک‌های دارای مس و کبالت، که اغلب از آرگیلایت‌ها و دولومیت‌های دارای سولفیدهای فلزی به همراه کانی‌های ثانویه‌ی مهم (اکسیدها، کربنات‌های بازی و سیلیکات‌ها) مشتق شده‌اند (Raskin & Ensley, 2000). انواع (۱) و (۲) پراکنش بسیار وسیعی در نقاط مختلف دارند و لذا گیاهان متحمل به فلزات موجود در این خاک‌ها (به ترتیب بیش‌اندوزهای نیکل و سلنیم) نیز تنوع بالایی دارند. وجود کان‌سارهای سطحی Zn/Pb به طور طبیعی بسیار نادر است، ولی در مناطقی که سابقه‌ی معدن‌کاوی، انتقال کان-

سنگ‌ها و ذوب فلزات دارد، خاک‌هایی سرشار از این فلزات تشکیل شده‌اند. بنابراین، پراکنش بیش‌اندوزهای سرب و روی، تابع این نوع فعالیت‌ها است (Ensley, 2000). (Raskin and

### پراکنش خاک‌های اولترامافیک و دیگر خاک‌های

#### آلوده و گیاهان فلر-اندوز در ایران

سنگ‌های اولترامافیک در نواحی مختلفی از ایران (شکل ۱) وجود دارند (Ghaderian & Baker, 2007). نواحی اولترامافیک ایران در حدود  $1648000 \text{ km}^2$  (Alavi-Tehrani, 1976) مساحت دارند.



شکل ۱- پراکنش نواحی اولترامافیک در ایران

(Ghaderian و Baker, ۲۰۰۷)

جامعه‌ی گیاهی ایران در حدود ۸۰۰۰ گونه‌ی گیاهی متعلق به ۱۵۰ خانواده دارد که تقریباً ۲۲٪ از این گونه‌ها به طور اختصاصی بومی ایران هستند (Jalili & Jamzad, 1999). نواحی اولترامافیک بطور طبیعی حاوی میزان

بالایی از برخی فلزات سنگین هستند. با توجه به سمیت این فلزات، بیشتر موجودات قادر به زندگی در این شرایط نیستند. با این حال، در چنین شرایطی برخی جمعیت‌های گیاهی مقاوم به فلزات سنگین می‌توانند رشد کنند. تاکنون شمار زیادی از گونه‌های سازش‌یافته با این خاک‌ها که برخی از آنها توانایی جذب زیاد فلزات سنگین را دارند از نقاط مختلف جهان معرفی شده‌اند. با وجود این، اطلاعات اندکی از گیاهان اولترامافیک ایران در دست است ( Brooks, 1987؛ Proctor & Nagy, 1992). پوشش گیاهی خاک‌های سرپانتینی اغلب شامل گونه‌های گیاهی بومی است که با تنش‌های گوناگون موجود در این خاک‌ها سازش یافته‌اند. این تنش‌ها عبارتند از غلظت‌های بالای برخی فلزات سنگین از قبیل نیکل، کروم، کبالت و منگنز، نسبت‌های نامطلوب کلسیم به منیزیم، کمبود بعضی از عناصر ضروری (مانند ازت و فسفر) و ظرفیت پائین نگهداری آب. سنگ‌ها و خاک‌های سرپانتینی نواحی نسبتاً وسیعی از ایران را می‌پوشانند اما جنبه‌های زیستی مرتبط با آنها هنوز به طور جدی شناخته نشده است.

Ghaderian & Baker (2007)، نواحی اولترامافیک انارک و نایین را در مرکز ایران مطالعه کردند. در این مطالعه، ۱۷۶ گونه‌ی گیاهی از ۲۹ خانواده گردآوری شدند. تنوع گونه‌ها در انارک، احتمالاً به دلیل تنوع بیشتر ریزاقلیم‌ها و بارندگی بیشتر، بیشتر از نایین بود. شمار گیاهانی که منحصرأ بومی این دو ناحیه باشند، بسیار اندک بود. بر اساس این مطالعه، گیاه علفی *Cleome heratensis* (Capparaceae) شاخص خاک‌های

اولترامافیک و گونه گیاهی بومی سرپانتین در ایران است که به نظر می‌رسد با تنش‌های موجود در خاک‌های محل رویش خود، به خوبی سازش یافته باشد. تجزیه‌ی ماده‌ی خشک برگ گیاهان گردآوری شده شواهدی از وجود بیش-اندوز نیکل یا دیگر فلزات سرپانتین نشان نداد. این بررسی اولیه بیانگر ارزشمندی مطالعه‌ی کامل‌تر نواحی اولترامافیک ایران بود.

مهدتی (۱۳۸۴) نواحی سرپانتین استان‌های آذربایجان-غربی و کرمانشاه را مورد بررسی قرار داد. در این بررسی ۹ گونه *Alyssum* از این مناطق، همراه با خاک اطراف ریشه آنها جمع‌آوری و شناسایی شدند. سپس، مقدار نیکل، کروم، کبالت، منگنز، آهن، منیزیم و کلسیم در خاک و گیاه اندازه‌گیری شد. مقدار نیکل کل در خاک‌های سرپانتین مورد مطالعه حدود ۸۰۰ تا ۱۲۴۰ میکروگرم برگرم بود. در بین گیاهان جمع‌آوری شده، بیشترین مقدار نیکل در گونه‌ی *A. longistylum* و *A. bracteatum* بترتیب ۸۰۵۰ و  $2300 \text{ mg kg}^{-1}$  اندازه‌گیری شد و به عنوان گونه‌های بیش‌اندوز نیکل برای نخستین بار از فلور ایران گزارش گردید. مقدار نیکل در جمعیت غیرسرپانتین گونه‌ی *A. bracteatum* حدود  $80 \text{ mg kg}^{-1}$  اندازه‌گیری شد. گونه‌ی *A. bracteatum* مقدار بیش از  $520 \text{ mg kg}^{-1}$  کبالت داشت که به نظر پژوهشگر می‌تواند به عنوان یک بیش‌اندوز کبالت معرفی شود. مقدار سایر عناصر در گیاهان مورد بررسی در حد گیاهان سرپانتین بود.

Ghaderian et al, (2007)، غلظت فلزات نیکل، کروم، منگنز، آهن، منیزیم و کلسیم را در خاک‌ها و

گونه‌های *Alyssum* اولترامافیک‌های غرب (هرسین) و شمال غرب (خوی) ایران اندازه‌گیری کردند. در این مطالعه، هفت گونه‌ی *Alyssum* گردآوری و ماده‌ی خشک برگ آنها تجزیه شد. بر اساس تجزیه‌ی گیاه، *Alyssum bracteatum* توانست تا  $2300 \text{ mg kg}^{-1}$  نیکل در خود بیاندوزد، در حالی که دیگر گونه‌ها غلظت‌های بسیار کمتری از نیکل و سایر فلزات داشتند. *A. bracteatum* بومی ایران و نخستین بیش‌اندوز نیکل گزارش شده از این گونه است. *A. bracteatum* همانند دیگر گونه‌های *Alyssum* در خاک‌های سرپانتین، توانایی چشمگیری در جذب Ca از خاک‌هایی با سطوح پایین کلسیم نشان داد.

عباسپور و همکاران (۱۳۸۴) آلودگی برخی خاک‌های کشاورزی ایران به کادمیم و سرب را بررسی کرده‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که خاک بسیاری از مزارع مورد مطالعه به سرب و کادمیم آلوده‌اند. این پژوهش، نتایج نگران‌کننده از احتمال آلودگی محصولات کشاورزی این مناطق داشت.

گلچین (۱۳۸۲) غلظت سرب و کادمیم را در خاک‌های کشاورزی حاشیه‌ی شماری از کارخانه‌های صنعتی اندازه‌گیری کرد. از مجموع ۱۰ مزرعه‌ی مورد مطالعه همه‌ی خاک‌ها را شدیداً آلوده به کادمیم (۱۰ تا ۷۰ برابر غلظت مجاز) و تنها یک مزرعه را غیر آلوده به سرب یافت. یافته‌های این پژوهشگر حاکی از آلودگی شدید مزارع حاشیه‌ی کارخانه‌های صنعتی به سرب و کادمیم بود و نگرانی

شدیدی را در مورد خاک‌های کشاورزی حاشیه‌ی این کارخانه‌ها آشکار ساخت.

### بیش‌اندوزها و پالایش‌سبز

هدف اصلی در استفاده از بیش‌اندوزها در پالایش‌سبز، امکان به‌کار گرفتن گونه‌هایی از گیاهان است که مقادیر زیادی از یک عنصر خاص را بدون نیاز به مواد شیمیایی خاص، به‌جز کودهای شیمیایی رایج، از خاک بزداید. بیش‌اندوزها اکثراً گیاهانی وحشی هستند و مسلماً در رویشگاه طبیعی خود، شرایط تغذیه‌ای نامناسبی دارند. شمار اندکی از گونه‌های بیش‌اندوز در شرایط کشاورزی بررسی شده‌اند و معلوم نیست که در شرایط مناسب اقلیمی، تغذیه‌ای و تراکم گیاه چه عملکردی تولید می‌کنند.

یک مسئله‌ی درخور اهمیت در پالایش‌سبز، اختصاصی بودن اندوزش فلز است. اختصاصی بودن جذب که در بسیاری از بیش‌اندوزها به چشم می‌خورد، می‌تواند هم یک برتری و هم یک کاستی به شمار آید. به گونه‌ای که اگر زدودن آلاینده‌ای خاص مدنظر باشد، این ویژگی یک برتری و در صورت پالایش هم‌زمان چند آلودگی یک کاستی است. بسیاری از بیش‌اندوزها در زیستگاه طبیعی خود در اندوزش یک فلز، بسیار گزینش‌گرند. برای مثال، در خاک‌های سرپانتین، نسبت (نیکل کل): (کبالت کل) در حدود ۱:۱۰ است، اما اغلب بیش‌اندوزهای نیکل، نیکل را به کبالت ترجیح می‌دهند، به گونه‌ای که گستره‌ی این نسبت در گیاه به ۱:۱۰۰ تا ۱:۵۰۰۰ می‌رسد. بیش‌اندوزهای نیکل *Alyssum*، تنها در مواردی که کبالت به شکل محلول

موجود بوده و غلظت نیکل در خاک پایین باشد، مقادیر قابل ملاحظه‌ای از کبالت جذب می‌کنند.

یکی دیگر از کاربردهای احتمالی بیش‌اندوزها را که در مبحث پالایش سبز مورد توجه قرار نگرفته است، در اینجا بیان می‌شود. برخی خاک‌ها از نظر عناصری ضروری مانند Zn, Se یا Co کمبود داشته و این کمبود تاثیرات نامطلوبی بر گیاهان و حیوانات می‌گذارند. این گونه خاک‌ها را می‌توان به جای افزودن مستقیم فلز کمبودی به خاک، به روش‌های گوناگونی با استفاده از گیاهانی که توانایی بالایی در اندوزش فلز کمبودی دارند، اصلاح کرد. از آنجا که برخی گونه‌های *Thlaspi*، مقادیر بالایی از Zn را از خاک‌های معمولی در خود می‌اندوزند، احتمالاً در اندوزش Zn از خاک‌هایی که کمبود روی دارند نیز بسیار تواناتر از اغلب گیاهان هستند. بنابراین، قرار دادن تناوب‌هایی از این گونه‌ها در برنامه‌ی کشت و برگرداندن بقایای آنها به خاک می‌تواند در افزایش Zn در دسترس برای سایر گونه‌ها مانند گیاهان مرتعی و محصولات باغی یا زراعی، سودمند باشد.

### بومی بودن و حفاظت از گیاهان فلز-اندوز

بسیاری از گونه‌های گیاهی خاک‌های سرپانتین، چه بیش‌اندوز و چه غیر بیش‌اندوز، گونه‌های کمیابی هستند. این گیاهان، اغلب بومی چند ناحیه‌ی کوچک از خاک‌های "سرشار از فلز"<sup>۷</sup> هستند؛ برخی تنها مختص یک مکان بوده و نمونه‌هایی از برخی دیگر، تنها در چند منطقه شناسایی شده‌اند. لذا، می‌بایست تلاش‌های درخور برای برگرداندن دوباره‌ی این گونه‌ها به زیستگاه‌های طبیعی خود انجام شده

و تدابیر حفاظتی شدیدی برای بقای آنها اتخاذ شود. حتی بیش‌اندوزهایی با پراکنش گسترده نیز ممکن است در مناطقی مورد تهدید باشند. جمعیت‌های گوناگون گیاهان فلز-اندوز می‌توانند تفاوت‌های چشمگیر با هم داشته باشند، لذا حفاظت همه‌ی جمعیت‌های یک گونه نیز باید حیاتی قلمداد شود. عمده‌ی این تهدیدها عبارتند از: ۱- معدن‌کاوی، ۲- توسعه‌ی کشاورزی، ۳- آتش‌سوزی، ۴- توسعه‌ی شهری، ۵- توسعه‌ی مناطق تفریحی و تفرجگاهی، و ۶- فعالیت‌های غیر فنی گردآورندگان گیاهان. نمونه‌های بارزی از اثرات این گونه تهدیدها بر گیاهان سرپانتین و بیش‌اندوزهای نیکل و توصیه‌های حفاظتی در منابع منتشر شده‌اند (Raskin & Ensley, 2000). توصیه‌های مشابهی در مورد سایر گونه‌هایی که در جداول ارائه شده در این فصل یاد شدند، قابل اجرا و ضروری بوده و به طور کلی برای همه‌ی مناطق سرشار از فلز که گیاهان خاصی در آنها می‌رویند، اعتبار دارد.

گسترش کشاورزی اغلب، چه به صورت اتفاقی یا عمدی، به کشیده شدن دامنه‌ی آن به مناطق سرشار از فلز می‌انجامد. اصلاح شیمیایی خاک‌های سرشار از فلز می‌تواند آنها را به محیط نامناسی برای انواع محدودی از فعالیت‌های زراعی یا باغی تبدیل کند، اما این امر می‌تواند به قیمت از بین رفتن مجموعه‌ی گیاهان خاص سازگار شده با این محیط‌ها تمام شود. لذا، انجام بررسی‌هایی ضروری است تا یقین حاصل شود که با انجام این فعالیت‌ها هیچ چیز منحصر به فرد و ارزشمندی از دست نمی‌رود.

برخی از کمیاب‌ترین فلزدوست‌ها، بویژه آنهایی که در یک منطقه‌ی چند هکتاری یا چند کیلومترمربعی یافت

- شده‌اند، شدیداً در معرض خطر آتش‌سوزی جنگل‌ها و بوته-زارها هستند، که ممکن است به شکل طبیعی و یا عمدی رخ دهد. بنابراین، یک اتفاق ساده ممکن است یک گونه را کاملاً منقرض کند. تاسیس یک "بانک بذر" برای گونه-هایی که در معرض چنین تهدیدهایی هستند، می‌بایست در راس اقدام‌های حفاظتی باشد. بازنگری اطلاعات موجود در مورد پراکنش کلی گونه‌های بیش‌اندوز در ارزیابی خطراتی که در اثر گسترش روزافزون شهرها و توسعه‌های جنبی از جمله استفاده از مناطق مخروبه‌ی معادن و مناطق بایر سرپانتین برای انواع تفرج‌گاه‌ها متوجه جوامع گیاهی می-شوند، مفید خواهد بود.
- در پایان، در برخی موارد شاید ضروری باشد که محدودیت-هایی در دسترسی به مناطق دارای گیاهان کمیاب، حتی توسط جامعه‌ی گیاه‌شناسان، وضع گردد. برداشت گونه‌های بسیار کمیاب از رویشگاه‌های طبیعی آنها برای مجموعه‌های هرباریومی یا برداشت بذر آنها برای اهداف تجاری یا اقدامات پالایش‌سبز، همه تهدیدهایی برای بقای پایدار منابع طبیعی به شمار می‌روند، مگر اینکه این فعالیت‌ها با تدابیری شدید و مسئولانه کنترل شوند.
۲. خداوردی‌لو، ح. و م. همایی. ۱۳۸۶، مدل‌سازی پالایش‌سبز خاک‌های آلوده به سرب و کادمیم. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ۱۱ شماره ۴۲. صفحه ۴۲۶-۴۱۷.
۳. خداوردی‌لو، ح.، م. همایی، ع. لیاقت و خ. میرنیا. ۱۳۸۶، ارزیابی کمی امکان پالایش‌سبز خاک‌های آلوده به سرب به وسیله شاهی (*Barbarea verna*). مجله علوم کشاورزی. ویژه نامه شماره ۲، سال سیزدهم. صفحه ۳۷۰-۳۵۷.
۴. عباسپور، ع.، م. کلباسی، ش. حاج‌رسولپها و ا. گلچین. ۱۳۸۴، بررسی آلودگی برخی خاک‌های کشاورزی ایران به کادمیم و سرب. مجموعه مقالات نهمین کنگره علوم خاک ایران. جلد ۱. صفحه ۵۴۵-۵۴۳.
۵. گلچین، ا. ۱۳۸۲، فعالیت‌های صنعتی و آلودگی خاک‌های کشاورزی به فلزات سنگین. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران. جلد ۲. صفحه ۷۷۹-۷۷۶.
۶. مهتدی، ا. ۱۳۸۴، بررسی مقدار نیکل موجود در گونه‌های *L. Alyssum* روئیده بر خاک‌های سرپانتین و غیرسرپانتین نواحی غرب ایران. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد. دانشگاه اصفهان.

## منابع

۱. خداوردی‌لو، ح. ۱۳۸۵، مدل‌سازی پالایش‌سبز خاک‌های آلوده به کادمیم و سرب. رساله‌ی دوره دکتری تخصصی فیزیک و حفاظت خاک. دانشگاه تربیت مدرس. تهران، ایران.
۷. Alavi-Tehrani, N. 1976, Geology and peterology in the ophiolite range NW of Sabzevar (Khorasan/Iran) with special regard to metamorphism and genetic relations in the ophiolite site. PhD

- Hajiboland, R., and H. ۱۳  
Manafi. 2007. Flora of heavy metal-rich soils in NW Iran and some potential hyper-accumulator and accumulator species. *Acta Bot. Croat.* 66 (2): 177–195.
- and Z., Jamzad. Jalili, A. ۱۴  
1999, Red Data Book of Iran. RIFR, Tehran, Iran.
- Khodaverdiloo, H., and M. ۱۵  
Homaee. 2008. Modeling Of Cadmium And Lead Phytoextraction From Contaminated Soils. *Polish Journal of Soil Science.* 41 2): 149-162. (ISI)
- Liu W, Shu W.S., Lan C.Y. ۱۶  
2004, *Viola baoshanensis* a plant that hyperaccumulates cadmium. *Chin. Sci. Bull.* 49:29–34.
- Proctor, J. and L., Nagy. ۱۷  
1992, Ultramafic rocks and their vegetation: an overview. In: Baker, A.J.M., Proctor, J., Reeves, R.D. (Eds.), *The Vegetation of Ultramafic (Serpentine) Soils.* Intercept Ltd, Andover, UK, pp. 469–494.
- Raskin, I. and B.D. Ensley. ۱۸  
2000, *Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean Up the Environment.* John Wiley and Sons, Inc., New York. P. 304.
- Thesis, University of Saarbücken, Germany.
- Baker A.J.M., S.P. McGrath, ۱۹  
C.M.D. Sidoli and R.D. Reeves. 1994a, The possibility of in situ heavy metal decontamination of polluted soils using crops of metal-accumulating plants. *Resour. Conser. Recycl.* 11:41–49.
- Baker, A.J.M. 1981, ۲۰  
Accumulators and excluders—Strategies in the response of plants to heavy metals. *J. Plant Nutr.* 3:643–654.
- Brooks, R.R. 1987, ۲۱  
*Serpentine and its Vegetation: a Multidisciplinary Approach.* Dioscorides Press, Portland, USA.
- Ghaderian, S.M. and A.J.M. ۲۲  
Baker. 2007, Geobotanical and biogeochemical reconnaissance of the ultramafics of Central Iran. *Journal of Geochemical Exploration* 92: 34–42.
- Ghaderian, S.M., A. Mohtadi, ۲۳  
M.R. Rahiminejad, and A.J.M. Baker. 2007, Nickel and other metal uptake and accumulation by species of *Alyssum* (Brassicaceae) from the ultramafics of Iran. *Environmental Pollution.* 145: 293-298.

- 
- ii- phytoremediation
  - iii- hyperaccumulator
  - iv- Calamine
  - v- metalliferous

Salt, D.E. and U. Kramer. ۱۹  
2000, Mechanisms of metal  
hyperaccumulation in plants. In:  
Phytoremediation of toxic metals:  
Using plants to clean up the  
environment, eds, Raskin, I. and  
Ensley B.D., P. 304. John Wiley and  
Sons.

Tamura, H., H. Munechika, ۲۰  
S. Takeshi, and K. Hiroyuki. 2005,  
Pb hyperaccumulation and tolerance  
in common buckwheat (*Fagopyrum  
esculentum* Moench) J. Plant Res.  
118:355–359.

Wei S.H., Q.X. Zhou, X. ۲۱  
Wang, K.S. Zhang, G.L. Guo, and  
L.Q. Ma. 2005, A newly-discovered  
Cd-hyperaccumulator *Solanum  
nigrum* L. Chin. Sci. Bull. 50:33–38.

Wei, S.H., Q.X. Zhou. 2006, ۲۲  
Phytoremediation of cadmium-  
contaminated soils by *Rorippa  
globosa* using two-phase planting.  
Environ. Sci. and Pollut. Res. 13(3):  
151–155.

Yang X.E., X.X. Long, and ۲۳  
W.Z. Ni. 2002, *Sedum alfredii*  
Hance: A new ecotype of Zn-  
hyperaccumulator plant species  
native to China. Chin. Sci. Bull.  
47:1003–1006 (in Chinese).

---

یادداشت‌ها

i- metal-tolerant