فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۴۰، بهار ۹۶

مروری بر شاخص‌های زیستیِ محیط‌های آلوده به فلزات سنگین

جابر اعظمی [۱] *
j.aazami@znu.ac.ir
حبیب مرادپور [۲]
ناصر کیانی مهر [۲]

چکیده

آلودگی اکوسیستم‌های مختلف به فلزات سنگین یکی از مهم‌ترین مسایل محیط‌زیست است که زندگی گیاهان، جانوران و مخصوصاً انسان را تهدید می‌کند. امروزه در دنیا جهت اصلاح محیط‌های آلوده به فلزات سنگین از روش های زیستی استفاده می کنند در حالی که هنوز در کشور ایران روش‌های شیمیایی و فیزیکی بکار گرفته می‌شود. روش‌های اصلاح فیزیکی و شیمیایی محیط‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند، تنوع‌زیستی و کیفیت محیط را از بین می‌برند و این روش‌ها عمدتاً پرهزینه، وقت‌گیر، مسبب آلودگی محیط‌زیست، نیاز به امکانات و تجهیزات گران، نیازمند متخصص جهت سنجش و ... هستند. از این رو، طی سال‌های اخیر پژوهشگران درصدد طراحی و توسعه‌ی روش‌های زیستی برآمدند که بتوانند محیط‌های آلوده به فلزات سنگین را با دقت بیش‌تر، کم هزینه‌تر، سازگارتر با محیط و با حداقل امکانات پاک‌سازی، تعدیل و پایش نمایند. هدف از این تحقیق مروری بر شاخص‌های زیستی، انتقال مفهوم شاخص‌های زیستی و چگونگی انتخاب اصلاح‌گر زیستی خاک‌های آلوده، می باشد. برای مثال گیاه‌پالایی هنوز در مرحله‌ی تحقیق و توسعه می‌باشد و دارای مباحث فنی زیادی است که نیاز به توجه و ارزیابی دارند.

کلمات کلیدی: فلزات سنگین، آلودگی محیط‌زیست، شاخص زیستی.

۱- استادیار گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. *(مسوول مکاتبات)
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

مقدمه

یکی از عمده‌ترین آلاینده‌های محیط‌زیست فلزات سنگین است(۱). پایداری فلزات سنگین در محیط‌زیست، مشکلات زیادی را به وجود آورده است. یکی از نتایج مهم پایداری آنها، تجمع زیستی در طول زنجیره غذایی است. فلزات سنگین به طور طبیعی از اجزای تشکیل دهنده‌ی پوسته‌ی زمین هستند ولی فعالیت‌های انسانی به صورت قابل توجه‌ای، چرخه‌ی ژئوشیمیایی و توازن بیوشیمیایی آن‌ها را تغییر می‌دهد (۲). در نتیجه ممکن است منجر به ورود غلظت بسیار بالایی از فلزات سنگین به محیط، گاه ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ برابر بالاتر از آن‌چه در پوسته‌ی زمین است، شود و به شرط فراهم بودن دسترس‌پذیر بودن زیستی، موجودات زنده در معرض سطوح بالایی ازآن‌ها قرار خواهند گرفت (۳). در برخی منابع علمی فلز را بر مبنای خصوصیات فیزیکی‌اش تعریف می‌کنند فلزات دارای خواصی از قبیل هدایت الکتریکی و گرمایی بالا، قابلیت بازتاب و درخشندگی و دارای قابلیت لوله‌ای شدن هستند؛ لیکن از دیدگاه بیولوژیکی واژه فلز به عنصری اطلاق می شود که می تواند یک یا بیش‌تر الکترون از دست بدهد و در محیط آبی به صورت کاتیون در آید. با تعریف اخیر به حدود ۸۰ عنصر موجود در جدول تناوبی می توان واژه فلز را نسبت داد. فلزسنگین[1] واژه‌ای است که کمتر به طور دقیق تعریف صحیحی از آن ارائه شده است. در واژه‌نامه‌های شیمیایی به فلزاتی با جرم مخصوص بیش‌تر از ۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب فلزات سنگین اطلاق می شود لیکن از نظر بیولوژی این واژه به عناصری که دارای خاصیت سمی هستند، اطلاق می‌شود (۴). بر این اساس فلزاتی که در فهرست مواد سمی قرار می گیرند عبارتند از آلومینیوم، آرسنیک، برلیوم، بیسموت، کادمیوم، کروم، کبالت، مس، آهن، سرب، منگنز، جیوه، نیکل، سلنیوم، تالیم، قلع، تیتانیوم و روی، برخی از این فلزات نظیر کرم و آهن جزو عناصر ضروری در جیره غذایی روزانه انسان هستند اما دزهای[2] بالای این عناصر سمی است. برخی از این عناصر از طریق دستگاه تنفس وارد بدن می شوند مانند سرب و برخی دیگر از طریق غذا جذب می‌شوند که میزان جذب این عناصر در بدن بستگی به نوع فلز دارد برخی نمک‌های فلزی مانند نمک‌های سرب، قلع و کادمیوم به مقدار اندکی جذب بدن می‌شوند. در صورتی نمک فلزاتی مانند آرسنیک و تالیوم تقریبا به طور کامل جذب می شوند. مهم‌ترین اندام جذب کننده‌ی عناصر سنگین کلیه‌ها هستند، در حقیقت کلیه‌ها را می توان صافی‌های بسیار پیچیده در نظر گرفت که وظیفه جذب مواد سمی از خون را بر عهده دارند. کلیه‌ها از واحدهای بسیار ریزی به نام نفرون[3] تشکیل شده‌اند بدین ترتیب به موادی که برای نفرون‌ها و در نهایت برای کلیه سمی هستند نفروتوکسین[4] می گویند. کادمیوم، سرب و جیوه از جمله فلزاتی هستند در گروه نفروتوکسین‌ها قرار می‌گیرند. تقریبا تمام فلزات سنگین در بدن عوارض سویی بر جای می‌گذارند که از آن جمله می‌توان به اختلال در سیستم عصبی، کلیوی، ایجاد جهش‌های ژنتیکی و غده‌ها اشاره کرد (۵).

ازجمله مهم‌ترین منابع انسانی اصلی درتولید فلزات سنگین، خروجی‌های صنایع، معدن‌کاری، کودهای شیمیایی، آفت کش‌ها، آبیاری با فاظلاب‌های‌آلوده در کشاورزی و سوزاندن سوخت‌های فسیلی و زباله‌ها می باشند که باعث افزایش آن‌ها در خاک می شوند (۶, ۷).

فلزات سنگین غیرقابل تجزیه زیستی بوده و تمایل به تجمع[5]درسیستم‌های بیولوژیکی دارند (۸). روش‌های فیزیکی و شیمیایی مختلفی برای خذف فلزات سنگین از محیط، توسعه یافته‌اند که استفاده برخی از آنها به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست و از طرف دیگر به لحاظ بوم شناختی آثار منفی بر ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیک خاک دارد (۹, ۱۰). شناسایی، اهمیت و آثار فلزات سنگین در اکوسیستم، موجبات گسترش طرح‌های پایش زیستی با هدف اندازه‌گیری

1-Heavy metal
2-Dose
3-Nephrons
4-Nephrotoxins
5-Bioaccumulation

سطوح آلاینده در ارگانیسم‌های مختلف را فراهم نموده است که در این مطالعات گونه‌های شاخص[1] به منظور برآورد سطوح این آلاینده‌ها در قسمت‌های مختلف اکوسیستم استفاده می‌شوند. استفاده از موجودات زنده نظیر میکرواورگانیسم‌ها و گیاهان به عنوان راهکارهای زیستی مؤثر در حذف فلزات سنگین از محیط با کم‌ترین هزینه از لحاظ اقتصادی در سال‌های اخیر بسیار به آن توجه شده است که به این روش زیست پالایی[2] گفته می شود. چنان‌چه از گیاهان برای پاک-سازی محیط استفاده شود، به آن گیاه پالایی[3] می‌گویند(۱۱).

برخی از موجودات زنده به عنوان شاخص‌های زیستی معرفی می شوند. هریک از این معرف‌ها از جنبه‌های مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرند که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (۱۲):

آشکارگرها[4]: یک سری گونه‌های حساس هستند که به محیط معرفی می‌شوند و این گونه‌ها قادرند تغییرات شدید محیطی را مشخص کنند. با استفاده از تغییرات رفتاری یا نحوه‌ی تجمع جمعیت آن‌ها در محیط به این گونه عوامل پی برده می‌شود.

ردیاب‌ها[5]: گونه‌هایی هستند که به طور طبیعی در محیط حضور دارند ولی قادرند که نسبت به تغییرات محیطی و نوسانات فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی از خود واکنش نشان دهند این واکنش‌ها ممکن است در رده‌های سنی مختلف کاهش جمعیت و یا کسری تغییرات رفتاری را بروز دهد.

بهره‌وران[6]: گونه‌هایی که حضور آن‌ها مؤید یک محیط آلوده و یا تخریب شده است و جمعیت کثیری از آن‌ها بیان‌گر وجود نوعی آلودگی در محیط می‌باشد.

ذخیره‌کنندگان[7]: گونه‌هایی که در محیط آلوده قادرند یک سری مواد شیمیایی را در بافت‌های خود ذخیره کنند بدون آنکه برای آن‌ها مخاطراتی را به همراه داشته باشد. با سنجش میزان مواد آلاینده در بافت این دسته از موجودات به وضعیت محیط پی برده می‌شود.

موجودات زیست‌سنج[8]: برخی از موجودات زنده را به طور آزمایشی و به منظور پی بردن به وضعیت آلودگی در محیط به کار می‌برند و واکنش آن‌ها مشخص کننده‌ی آلودگی است. از این دسته از موجودات می‌توان به ماهی قزل‌آلا اشاره کرد که گونه‌ای حساس است و سریع واکنش نشان می‌دهد.

مروری بر تحقیقات صورت گرفته

تاکنون مطالعات متعددی در مورد شاخص‌های زیستی (گونه‌های مختلف گیاهی و جانوری به عنوان پایشگر زیستی) فلزات سنگین هم در محیط‌های آبی و هم خشکی صورت گرفته است. استفاده از اطلاعات زیستی و برنامه‌های کنترل زیستی آلودگی آب‌ها برای مدیریت اکوسیستم‌ها، از ابتدای دهه ۱۹۲۰ در آمریکا و در ادامه به صورت جدی‌تری، از سال ۱۹۴۸ در سراسر دنیا آغاز شده است. امروزه، محققان زیادی از سازمان‌های بین المللی از جمله EPA و سازمان بهداشت جهانی (WHO) این شاخص‌ها را به عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای ارزیابی محیط‌زیست و مدیریت اکوسیستم‌ها معرفی کردند (۱۳-۱۵). در دهه ۱۹۶۰، متخصصان اروپایی تحقیق‌های زیادی را در این خصوص انجام دادند، که در نهایت کمیسیون اتحادیه اروپا شاخص زیستی ترنت را برای ارزیابی اکوسیستم‌های اروپا به تصویب رساند. پس از آن در سال ۱۹۶۰، شاخص زیستی Biotique در فرانسه توسعه یافته بود، به عنوان مبنایی برای کل اروپا استفاده شد. در ادامه، سیستم امتیازدهی پایش زیستی BMWP در سال ۱۹۷۶ در انگلستان تدوین شد (۱۶). تحقیقات هیلسنهف[9] که در سال ۱۹۷۹ با نمونه‌برداری متناوب از بندپایان زیستگاه‌های آبی و اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی و در نهایت استفاده

1-Indicator
2-Bioremediation
3-Phytoremediation
4-Sentinels
5-Detectors
6-Exploiters
7-Accumulators

8-Bioassay Organisms
9-Hilsenhoff

از فرمـول ضـریب زیسـتی آغـاز شـده بـود؛ نقطـه عطفـی در ارزیابی‌های زیستی محیط زیست به شمار می‌رود (۱۷).

نتایج حاصل از بررسـی‌های مختلـف نشـان می‌دهـد کـه بـا اندازه‌گیری آلاینده‌های مختلف درگیاهان یک منطقه می‌تـوان به وضعیت آلودگی ترکیبات مختلف از جمله فلزات سنگین پی بـرد (۱۸-۲۰). در پژوهش‌هـای خـارج از ایـران می‌تـوان بـه پژوهش ناکاری[1] و همکـاران در سـال ۲۰۰۹ اشـاره نمـود کـه تجمع فلزات سـنگین سـرب، آرسـنیک، روی، مـس، منگنـز و کادمیوم را در گونه پرنده‌ی شکاری سارگپه[2] در شهر سیسـیلی ایتالیا بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند با در نظر گـرفتن جنسیت، نوجوانی و بالغی، سـارگپه شـاخص زیسـتی مناسـبی برای پایش آلـودگی فلزلـت سـنگین می‌باشـد (۲۱). در سـال ۲۰۱۰ بونانو[3] و گادیس[4] در فراگمیتس جنوبی گیاه آبزی نـی[5] را از نظر تجمع فلزات سنگین کـادمیوم، کـروم، مـس، جیـوه، منگنز، نیکل، سرب و روی در بافت‌های ریشه، ریـزوم، سـاقه و برگ مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند کـه گیـاه مذکور می‌تواند پایشگری برای کنترل آلودگی آب باشـد (۲۲). از صدف‌های وحشی دریایی هم می‌توان بـرای پـایش آلـودگی استفاده کرد که در سال ۲۰۱۱ ویکتوریـا[6] و همکـاران غلظـت فلزات سنگین را در بافت نرم گونه‌ای از صدف وحشی[7] سواحل شمالی اسپانیایی اقیانوس اطلس را مورد بررسی قـرار دادنـد و اظهار نمودند صدف وحشی معیـاری بـرای ارزیـابی بین‌المللـی اسـت (۲۳). همچنـین فیلیـپس[8] و همکـاران در سـال ۲۰۱۵ غلظت چهار فلز سنگین کادمیوم، مس، سـرب و روی در بافـت سه گیاه آبی[9]را مورد آزمـایش قـرار دادنـد و بـر اسـاس نتـایج پژوهشی که انجام داده‌اند این گونه‌ها را مناسب بـرای اسـتفاده به عنوان شاخص از حضور و سطح آلاینـده فلـزات سـنگین در مصـب مکان‌هـای آبـی معرفـی کردنـد (۲۴). در کشـور ایـران پژوهش‌های متعددی تا به حال صورت پذیرفته است که بـرای مثال به طور مختصر نگاهی به چند مـورد از ایـن پژوهش‌هـا و نتایج مـی انـدازیم. اعظمـی و همکـاران در سـال ۱۳۹۰ طـی پژوهشی مقدار جیوه‌ی کل را در بافت‌های مختلف سه گونـه از مهم‌ترین پرندگان آبزی شـمال کشـور شـامل بـاکلان بـزرگ، چنگر و اردک سرسبز بررسی کردنـد و نتـایج را بـا اسـتاندارد جهانی سازمان حفاظت محیط زیست امریکا، سازمان بهداشـت جهـانی و اسـتانداردهای داخلـی مقایسـه و در نهایـت ضـمن هشدار برای مصرف کننـدگان پرنـدگان آبـزی بـه ویـژه افـراد آسیب‌پذیر، نتایج پژوهش خودشان را دستاوردی برای مـدیران جهت کنترل و پایش آلودگی فلزات در تالاب‌هـای گمیشـان و انزلی که از مهم‌ترین زیسـتگاه‌هـای زمسـتان‌گـذران پرنـدگان است، برشمردند (۲۵). در مطالعه‌ی دیگـری توسـط اعظمـی و همکاران (۲۰۱۲)، میزان جیوه آلـی در بافـت مختلـف بـاکلان بزرگ سنجش و این پرنده که در راس هرم غذایی تـالاب‌هـای شمالی است، به عنوان شاخص زیستی مناسب معرفـی گردیـد (۲۶). مجیدی و همکـاران در سـال ۱۳۹۰ بـه منظـور امکـان سنجی استفاده از پرهای اگرت ساحلی بعنوان شاخص زیسـتی آلودگی جیوه در تالاب بین المللی حرا پژوهشـی انجـام دادنـد که نتیجه ی آن پیشنهاد دادن گونـه‌ی پرنـده اگـرت سـاحلی برای پایش آلودگی جیوه در منطقه بود (۲۷). همچنین خزاعی و همکاران در سال ۱۳۹۳ غلظت عناصر مـس، نیکـل، سـرب، کادمیوم، استرانسیم و منیزیم را در بافت مو، شش و اسـتخوان ران گونه‌ی جرد ایرانی بررسـی نمودنـد و بـا در نظـر گـرفتن جنسیت به عنوان یک عامل مهم اظهار نمودند که این گونه در مطالعات آتی می‌تواند شاخصـی بـرای تجمـع فلـزات سـنگین قرار گیرد (۲۸). حمیدیان و همکـاران در سـال ۱۳۹۳ امکـان استفاده ی صدف صخره‌ای[10] را به عنوان شاخص زیسـتی فلـز کادمیوم در منـاطق سـاحلی بررسـی نمـود و بـه ایـن نتیجـه رسیدند که می‌توان از صدف صخره‌ای به عنوان نشانگر زیستی

1-Naccari
2-Buteo buteo
3-Bonanno
4-Giudice
5-Nommon reed
6-victoria
7 -Mytilusgallo provincialis
8-Phillips
9-Phragmitesaustralis, Typhacapensis , Spartina maritime
10-Saccostreacucullata

برای بررسی آلودگی کادمیوم در محیط آبی، استفاده کرد (۲۹). در سال ۱۳۹۴ حسین پور محمد آبادی و همکاران به بررسی ترکیبات جیوه در شماری از پرندگان وحشی شهر اصفهان و رودخانه زاینده رود پرداختند و به این نتیجه رسیدند که جیوه در حد قابل توجهی در محیط وجود دارد و پایش و مدیریت فلزات سنگین در محیط‌زیست اصفهان از جمله آب زاینده رود را امری ضروری دانستند (۳۰). همچنین در تحقیقاتی که تا به حال صورت گرفته است برخی گیاهان مرتعی را به عنوان تجمع‌گر زیستی فلزات سنگین معرفی نمودند که به چند مورد آن اشاره می‌گردد. سلطانی جاوید و همکاران طی پژوهشی در سال ۱۳۹۳ دریافتند که گیاه ریش بز زیست انباشت‌گر مناسبی برای فلز سرب می‌باشد و پیشنهاد نمودند که با جمع آوری ساقه‌های این گیاه بدون آسیب رسیدن به پایه، می‌توان سربی را که بر اثر ضایعات فرعی معدن منگنز رباط‌کریم که وارد محیط و گیاه جذب نموده بود را جمع‌آوری و همچنین این گیاه را برای فلز منگز و مس زیست انباشت‌گر مناسبی ندانستند (۳۱). در تحقیقی توسط تورستی گاردا [1] و همکاران تجمع زیستی کادمیوم، کروم و مس با پیچک صحرایی بررسی شد و مشاهده شد که پیچک صحرایی برای گیاه پالایی فلزات مذکور مناسب است. مطالعات بسیاری روی میزان تجمع فلزات سنگین در پوشش گیاهی موجود در مناطق صنعتی و معدنی انجام شده است (۳۲-۳۷).

بحث و نتیجه گیری

خاک‌های آلوده به فلزات سنگین می‌توانند به وسیله تکنیک‌های فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی پالایش شود (۳۸). در این بین تکنیک گیاه‌پالایی یکی از راه‌های مقرون به صرفه است این روش موجب ترمیم رویشگاه، رفع آلودگی، حفظ فعالیت بیولوژیک وساختار فیزیکی خاک شده و بطور چشم‌گیری ارزان است (۳۹). به طورکلی استفاده از گیاهان انباشت‌گر فلز می‌تواند خطرات محیط‌زیستی ناشی از فعالیت‌های صنعتی و پسماند معادن را کاهش دهد که این فرآیندها احتمال نفوذ آنها را به زنجیره غذایی کاهش می‌دهد. بنابراین استفاده از فلور طبیعی مقاوم در برابر فلزات، یک راه‌حل ارزان و بادوام است (۴۰). این روش در سال‌های اخیر، به دلیل داشتن حداقل عوارض محیط‌زیستی، هزینه‌های پایین و تولیدات گیاهی قابل بازیافت، توجه زیادی را به خود جلب کرده است (۴۱). برای تبدیل کردن فرآیند گیاه‌پالایی به روشی که از نظر تجاری سودآور باشد، لازم است که هر۲فاکتور عملیات مدیریت زراعی و توانایی‌های ژنتیکی گیاه، بهینه شوند (۴۲).

دانستن مقادیر آلاینده در موجود زنده ارزشمند است. مجموعه‌ی داده‌های زیاد روی گونه‌های منفرد ممکن است پایه‌ای باشد برای ایجاد استانداردهای معین و مفید برای ارزیابی غلظت فلزهای موجود در گونه و همچنین محیط‌زیستی که گونه در آن در حال زندگی است. جوندگان نسبت به آلودگی‌های محیط‌زیستی به خصوص آلودگی فلزات سنگین بسیار حساس بوده و می‌توان به عنوان پایشگر در مناطق آلوده استفاده شوند. علاوه بر این الگوی توزیع فلزات سنگین در بافت‌های بدن جوندگان بسیار شبیه به بافت‌های بدن انسان است (۴۳).

این واقعیت که پرندگان حساسیت بسیار بالایی به آلودگی محیط‌زیست دارند، به خوبی تشخیص داده شده است (۴۴). در غالب مطالعات سم شناسی اکولوژیک[2]ازپرندگان به دلیل پراکنش وسیع جغرافیایی، طول عمر نسبتاً طولانی و جایگاه مناسب آنان در زنجیره‌ی غذایی، به عنوان شاخص زیستی برای فلزات سنگین استفاده می‌کنند (۴۵).

واکنش‌های گیاهی نسبت به فلزات سنگین

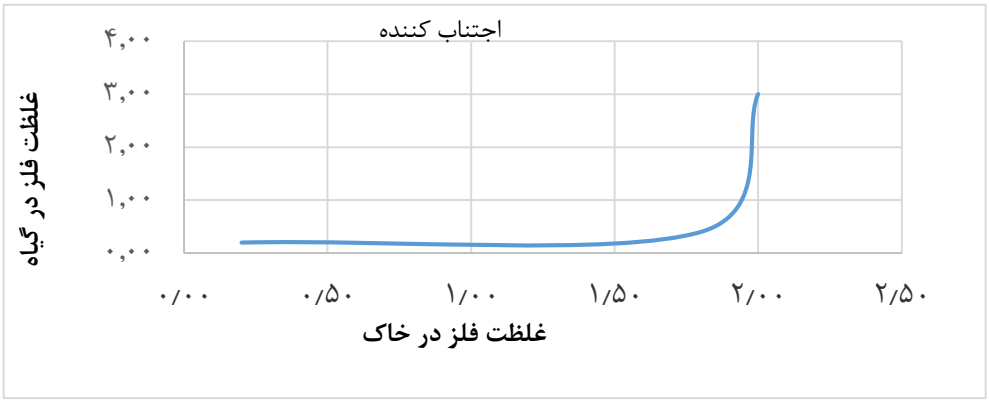
سمیت گیاهی ناشی از فلزات سنگین برحسب گونه گیاهی متفاوت است. حساسیت گیاهان نسبت به فلزات سنگین وابسته به شبکه‌ای از مکانیسم‌های فیزیولوژیکی و مولکولی

1-Gardea-Torresdey

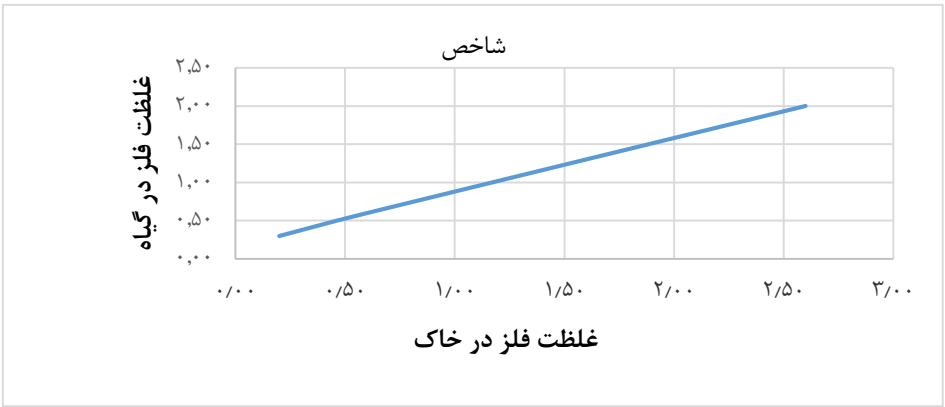
2-Ecotoxicology

مرتبط به هم است که تعدادی از این مکانیسم‌ها شامل ۱- جذب و انباشت فلزات از طریق برقراری پیوند با مواد مترشحه‌ی برون سلولی و اجزای سازنده‌ی دیواره‌ی سلولی ۲- جریان فلزات سنگین ازسیتوپلاسم به سمت اجزای سلولی واقع شده در بیرون از هسته همانند واکوئلها ۳- تشکیل کمپلکس در درون سلول، میانیون‌های فلزی با مواد مختلفی از جمله اسیدهای آلی، آمینواسیدها، کلات‌های گیاهی و متالوتیونین‌ها ۴- تجمع اسمولیت‌ها و محافظین اسمزی[1] و القای تولید آنزیم‌ها یا آنتی‌اکسیدان ۵- فعالسازی یا تعدیل متابولیسم گیاه به منظور فراهم آوردن تعداد کافی از مسیرهای متابولیکی عملیاتی و احیای سریع ساختارهای سلولی آسیب دیده می‌باشد (۴۶). گیاهان برای رشد در خاک‌های آلوده به فلز سنگین از سه راهکار استفاده می‌کنند: گو نه‌های اجتناب کننده[2] که غلظت عنصر در بخش هوایی، حتی در غلظت‌های بالای آن در خاک، در مقادیر پایینی نگه داشته می شود اما همان طور که در شکل ۱ مشخص است اگر غلظت فلز در خاک بسیار زیاد باشد انتقال آن‌ها به صورت نامحدود درگیاه صورت می‌گیرد (۴۷). گونه‌های شاخص یا متحمل [3] در شکل ۲ که میزان فلزات سنگین در گیاه با غلظت عناصر یاد شده در خاک یکسان است و جذب و انتقال فلزات در این گیاهان با توجه به میزان فلز درخاک صورت می‌گیرد به طوری که غلظت فلز درگیاه بازتابی از میزان آن در خاک است. گونه‌های تجمع دهنده[4] که قادر به تغلیظ فلز در بخش هوایی خود، بیش از غلظت عنصر در خاک هستند (۴۸). گیاهان بیش تجمع دهنده[5] زیر گروهی از گیاهان تجمع دهنده هستند که در شکل ۳ نشان داده شده است که می توانند در خاک‌های آلوده به فلزات، بدون بروز علائم سمیت، چرخه‌ی زندگی خود را تکمیل نمایند (۴۹). از گیاهان تجمع دهنده و بیش تجمع دهنده می‌توان برای زدودن فلزات از خاک‌های آلوده استفاده کرد. به این ترتیب که پس از رویش گیاهان بیش تجمع دهنده درخاک‌های فلزدار آن‌ها را برداشت کرده و فلزات تجمع یافته را استخراج نمود.

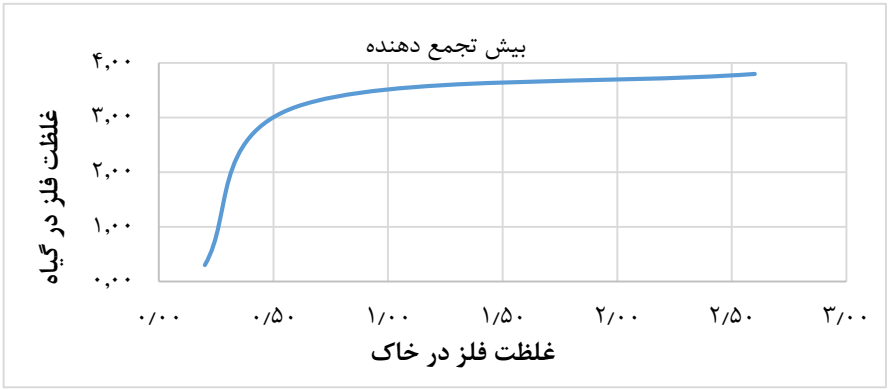
1-Osmoprotectants
2-Excluder
3-Indicator
4-Accumulator
5-Hyperaccumulator



شکل ۱- عکس العمل اجتناب کننده ها بر اساس میزان تجمع فلز در بخش های هوایی آن ها در پاسخ به افزایش مقادیر فلز در خاک



شکل۲- عکس العمل نشانگرها بر اساس میزان تجمع فلز در بخش های هوایی آن ها در پاسخ به افزایش مقادیر فلز در خاک



شکل۳- عکس العمل بیش تجمع الدهندگان براساس تجمع فلز در بخش های هوایی آن ها در پاسخ به افزایش مقادیر فلز در خاک

تعیین عامل تغلیظ زیستی[1]

برای تعیین عامل تغلیظ زیستی از نسبت غلظت فلزات سنگین در بخش هوایی گیاه به غلظت این فلزات به شکل قابل تبادل در خاک استفاده می‌شود (۵۰).

عامل تغلیظ زیستی= غلظت فلز سنگین در بخش هوایی/ غلظت فلزسنگین در خاک به شکل قابل تبادل

تعیین عامل انتقال[2]

این عامل، میزان انتقال فلز سنگین را از بخش ریشه‌ای به بخش هوایی گیاه مشخص می‌کند (۵۱).

عامل انتقال = غلظت فلز سنگین در بخش هوایی/ غلظت فلز سنگین در بخش ریشه‌ای

بررسی عامل تغلیظ زیستی و عامل انتقال

در مطالعات جذب فلزات سنگین توسط گیاهان، این عوامل از اهمیت فراوانی برخوردار هستند. بنابراین، به منظور ارزیابی و بررسی میزان توانایی گیاهان انتخاب شده در پاکسازی محیط از فلزات سنگین، دو شاخص یاد شده محاسبه می‌شوند.گونه‌ای که دارای مقادیر تغلیظ زیستی بیش‌تر از ۱ برای یک فلز خاص می‌باشد، می‌تواند به عنوان گونه تثبیت کننده آن عنصر، در نظر گرفته شود (۵۲). مقادیر کم‌تر از۱ برای فاکتور انتقال نشان از تمایل بیشتر گیاه به تجمع عنصر در اندام‌های زمینی نسبت به اندام هوایی و در واقع تحرک کم عنصر در اندام‌های گیاهی دارد. انحلال پذیری عنصر در مایعات بافتی و متابولیسم حاکم بر گونه گیاهی از جمله عوامل اصلی در تعیین مقادیر این پارامتر می باشند.

همیشه وجود میزان عناصر در منطقه نمی‌تواند دلیل ریسک انتقال به موجودات باشد و فراهم شدن شرایط انتقال و به عبارتی دسترسی پذیری زیستی عناصر از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. کاستن از میزان آلاینده‌ها مستلزم صرف وقت و هزینه بالایی است. البته نباید از نظر دور داشت که گیاهان با جلوگیری از انتشار آلاینده ها که به عنوان سد گیاه خاک نیز از آنها یاد می کنند، نقش ویژه‌ی در کنترل آلاینده‌ها دارند(۵۳). همان طور که در بخش پیشینه پژوهش‌ها اشاره شد نسبت به بعضی از فاکتورهای یاد شده که مؤثر در انتخاب شاخص زیستی بود، پرندگان و جوندگان هم می‌توانند نشانگر خوبی برای آلایندگی فلزات سنگین در محیط‌های آبی و خشکی باشند. پرندگان و دیگر گونه‌های جانوری به خاطر در دسترس نبودن، در صورت انباشت فلزات سنگین امکان خیلی زیاد ورود کردن این فلزات به زنجیره‌ی غذایی می رود، اما گیاهان مخصوصا از گونه‌های علفی و چوبی به خاطر در دسترس بودن و نگهداری آسان نسبت به گونه‌های جانوری راهکار مناسبی برای حذف آلودگی فلزات سنگین در محیط‌زیست می‌باشند. گیاه‌پالایی هنوز در مرحله‌ی تحقیق و توسعه می‌باشد و دارای مباحث فنی زیادی است که نیاز به توجه و ارزیابی دارند. از طرف دیگر، به منظور افزایش مقبولیت آن به عنوان یک تکنولوژی پایدار جهانی، معرفی این فناوری توسط اطلاعات واضح و دقیقی که برای تمامی افراد جامعه قابل فهم و استفاده باشند، اهمیت زیادی دارد.

تشکر و قدردانی

از خانم سیده منصوره رضائی بابت همکاری‌های ارزشمند تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1- Di Natale, F., Lancia, A., Molino, A., Di Natale, M., Karatza, D., Musmarra, D, 2006. Capture of mercury ions by natural and industrial materials. Journal of hazardous materials, Vol. 132, pp. 220-5.
2- Giachetti, G., Sebastiani, L, 2006. Metal accumulation in poplar plant grown with industrial wastes. Chemosphere, Vol. 64, pp. 446-54.
3- Carral, E., Puente, X., Villares, R., Carballeira, A, 1995. Background heavy metal levels in estuarine sediments and organisms in Galicia (northwest Spain) as determined by

1-Bio concentration Factor
2-Translocation Factor

modal analysis. Science of the total environment, Vol. 172, pp. 175-88.

4- Adriano, D. Chromium. Trace elements in the terrestrial environment: Springer; 1986. p. 156-80.

5- Erfanmanesh, M, Afiyoni, M. Environmental pollution (water, soil and air): Arkan danesh publishers; 1390.

6- Çelik, A., Kartal, AA. Akdoğan, A., Kaska, Y, 2005. Determining the heavy metal pollution in Denizli (Turkey) by using Robinio pseudo-acacia L. Environment international, Vol. 31, pp. 105-12.

7- Ilyin, I, Berg, T., Dutchak, S., Pacyna, J., & Knut, B. . Heavy metals: CRC Press; 2004.

8- Rafati, M., Khorasani, N., Moattar, F., Shirvany, A., Moraghebi, F., Hosseinzadeh, S, 2011. Phytoremediation potential of Populus alba and Morus alba for cadmium, chromuim and nickel absorption from polluted soil. International Journal of Environmental Research, Vol. 5, pp. 961-70.

9- Boularbah, A., Schwartz, C., Bitton, G., Aboudrar, W., Ouhammou, A., Morel, JL, 2006. Heavy metal contamination from mining sites in South Morocco: 2. Assessment of metal accumulation and toxicity in plants. Chemosphere, Vol. 63, pp. 811-7.

10- Eens, M., Pinxten, R., Verheyen, RF., Blust, R., Bervoets, L, 1999. Great and blue tits as indicators of heavy metal contamination in terrestrial ecosystems. Ecotoxicology and Environmental Safety, Vol. 44, pp. 81-5.

11- Chaney, R., Malik, M., Li, Y., Brown, S., Brewer, E., Angle, J, et al., 1997. Phytoremediation of soil metals. Current Opinion in Biotechnology Vol. pp. 279-84.

12- Ardakani, MR, 2009. Ecology: Tehran University, Vol 14, pp. 239.

13- Barbour, MT., Gerritsen, J., Snyder, BD., Stribling, JB, 1999. Rapid bioassessment protocols for use in sreams and river: Pryphyton, Benthic Macroinvertebrates and fish. 2nd edition, Vol. pp. 841-B-99-002. USEPA, Washington D.C. 408p.

14- Water, USA EPA. Barbour, MT., Gerritsen, J., Synder, BD., Stribling, JB. Rapid bioassessment protocols for use in wadeable streams and rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates, and fish1999.

15- Freund, JG., Petty, JT, 2007. Response of fish and macroinvertebrate bioassessment indices to water chemistry in a mined Appalachian watershed. Environmental management, Vol. 39, pp. 707-20.

16- Zhu, D., Chang, J, 2008. Annual variations of biotic integrity in the upper Yangtze River using an adapted index of biotic integrity (IBI). Ecological Indicators, Vol. 8, pp. 564-72.

17- Hilsenhoff, WL, 1988. Rapid Field Assessment of Organic Pollution with a Family-Level Biotic Index. Journal of the North American Benthological Society, Vol. 7, pp. 65-8.

18- Jarmer, T., Vohland, M., Lilienthal, H., Schnug, E, 2008. Estimation of some chemical properties of an agricultural soil by spectroradiometric measurements. Pedosphere, Vol. 18, pp. 163-70.
19- Lehndorff, E., Schwark, L, 2009. Biomonitoring airborne parent and alkylated three-ring PAHs in the Greater Cologne Conurbation I: Temporal accumulation patterns. Environmental Pollution, Vol. 157, pp. 1323-31.
20- Prajapati, SK., Tripathi, B, 2008. Biomonitoring seasonal variation of urban air polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) using Ficus benghalensis leaves. Environmental Pollution, Vol. 151, pp. 543-8.
21- Naccari, C., Cristani, M., Cimino, F., Arcoraci, T., Trombetta, D, 2009. Common buzzards (Buteo buteo) bio-indicators of heavy metals pollution in Sicily (Italy). Environment international, Vol. 35, pp. 594-8.
22- Bonanno, G., Giudice, RL, 2010. Heavy metal bioaccumulation by the organs of Phragmites australis (common reed) and their potential use as contamination indicators. Ecological Indicators, Vol. 10, pp. 639-45.
23- Besada, V., Andrade, JM., Schultze, F., González, JJ, 2011. Monitoring of heavy metals in wild mussels (Mytilus galloprovincialis) from the Spanish North-Atlantic coast. Continental Shelf Research, Vol. 31, pp. 457-65.
24- Phillips, D., Human, L., Adams, J, 2015. Wetland plants as indicators of heavy metal contamination. Marine pollution bulletin, Vol. 92, pp. 227-32.
25- Aazami, J., Esmaili-Sari, A., Bahramifar, N, 2012. Determination of Mercury Concentration in Different Tissues of Coot (Fulica Atra), Mallard (Anas Platyrhynchos) and Great Cormorant (Phalacrocorax Carbon). Iranian Journal of Health and Environment, Vol. 4, pp. 471-82.
26- Aazami, J., Esmaili-Saria, A., Bahramifar, N., Savabieasfahani, M, 2012. Total and organic mercury in liver, kidney and muscle of waterbirds from wetlands of the Caspian Sea, Iran. Bulletin of environmental contamination and toxicology, Vol. 89, pp. 96-101.
27- Majidi, Y, Bahramifar, N., Gasempury, S M, 1390. Western Reef Heron Wetlands International as a biological indicator of mercury pollution in the Persian Gulf hara. Journal of animal ecology, Vol. 3, pp. 37-44.
28- Khazaei, M, Hamidiyan, A., Alizadeh, A., Esmaeilzadeh, A., Zare reshkoeieh, M, 1393. Meriones persicus concentrations of heavy metals in different tissues of Iran as a bio-indicator species zereshk Valley, Yazd. Applied Ecology, Vol. 3, pp. 51-41.
29- Hamidian, AA, Alaviyan Petrudi, S S, 1393. The possibility of using Saccostrea cucullata as biological indicators of cadmium in coastal areas. Journal of the natural environment, natural resources, Iran, Vol. 2, pp. 157-64.
30- Hoseinpur Mohammad abadi, Z, Malekian M, 1394. Contamination by

mercury compounds in a number of wild birds and river city Esfahan river zayandeh rood. Journal of Veterinary Research and development, Vol. pp. 17-1

31- Soltani javid, a, Moraghebi, F., Farzami sepehr, M 1393. rishboz shrubs role in the absorption of heavy metals manganese ore Robat Karim. Journal of Plant Ecophysiology research, Vol. 2, pp. 71-65.

32- Alloway, BJ., Jackson, AP., Morgan, H, 1990. The accumulation of cadmium by vegetables grown on soils contaminated from a variety of sources. Science of the total environment, Vol. 91, pp. 223-36.

33- Buszewski, B., Jastrzębska, A., Kowalkowski, T., Górna-Binkul, A, 2000. Monitoring of selected heavy metals uptake by plants and soils in the area of Toruń, Poland. Pol J Environ Stud, Vol. 9, pp. 511-5.

34- Hozhina, E., Khramov, A., Gerasimov, P., Kumarkov, A, 2001. Uptake of heavy metals, arsenic, and antimony by aquatic plants in the vicinity of ore mining and processing industries. Journal of Geochemical Exploration, Vol. 74, pp. 153-62.

35- Lorestani, B, Cheraghi, M., & Yousefi, N. , 2011. Introduction potential of lead-zinc mine in Iran. World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol. pp. 163-8.

36- Papafilippaki, A., Velegraki, D., Vlachaki, C., Stavroulakis, G, 2008. Levels of heavy metals and bioavailability in soils from the industrial area of Heraklion-Crete, Greece. Protection and Restoration of the Environment IX Kefalonia, Vol. pp.

37- Parizanganeh, A., Hajisoltani, P., Zamani, A, 2010. Assessment of heavy metal pollution in surficial soils surrounding Zinc Industrial Complex in Zanjan-Iran. Procedia Environmental Sciences, Vol. 2, pp. 162-6.

38- McEldowney, S., Hardman, DJ., Waite, S. Pollution: ecology and biotreatment: Longman Scientific & Technical; 1993.

39- Pulford, I., Watson, C, 2003. Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees—a review. Environment international, Vol. 29, pp. 529-40.

40- Ashraf, MA., Maah, M., Yusoff, I, 2011. Heavy metals accumulation in plants growing in ex tin mining catchment. International Journal of Environmental Science & Technology, Vol. 8, pp. 401-16.

41- Liu, JN., Zhou, QX., Wang, S., Sun, T, 2009. Cadmium tolerance and accumulation of Althaea rosea Cav. and its potential as a hyperaccumulator under chemical enhancement. Environmental monitoring and assessment, Vol. 149, pp. 419-27.

42- Naderi, MR, Danesh shahraki, A., Naderi, R, 1391. A review of phytoremediation of soils contaminated with heavy metals. Journal of humans and the environment, Vol. pp.

43- D'Havé, H., Scheirs, J., Mubiana, VK., Verhagen, R., Blust, R., De Coen, W, 2006. Non-destructive pollution exposure assessment in the European hedgehog (Erinaceus europaeus): II. Hair and spines as indicators of endogenous metal and As concentrations. Environmental Pollution, Vol. 142, pp. 438-48.

44- Mazloomi, S., Esmaeili, A., Ghasempoori, SM., Omidi, A, 2008. Mercury distribution in liver, kidney, muscle and feathers of Caspian Sea common cormorant (Phalacrocorax carbo). Res J Environ Sci, Vol. 2, pp. 433-7.

45- Ghasempouri, M., Mansoori, J., Bahramifar, N. Mercury Levels in Liver, Kidney and Muscle of Common Teal Anas crecca from Shadegan Marshes, Southwest Iran. Vol. pp.

46- Cho, M., Chardonnens, AN., Dietz, KJ, 2003. Differential heavy metal tolerance of Arabidopsis halleri and Arabidopsis thaliana: a leaf slice test. New Phytologist, Vol. 158, pp. 287-93.

47- Vos, C., Schat, H., Waal, M., Vooijs, R., Ernst, W, 1991. Increased resistance to copper-induced damage of the root cell plasmalemma in copper tolerant Silene cucubalus. Physiologia Plantarum, Vol. 82, pp. 523-8.

48- Taylor, GJ, 1987. Exclusion of metals from the symplasm: a possible mechanism of metal tolerance in higher plants. Journal of Plant Nutrition, Vol. 10, pp. 1213-22.

49- Baker, A., Brooks, R, 1989. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements. A review of their distribution, ecology and phytochemistry. Biorecovery, Vol. 1, pp. 81-126.

50- Branquinho, C., Serrano, HC., Pinto, MJ., Martins-Loução, MA, 2007. Revisiting the plant hyperaccumulation criteria to rare plants and earth abundant elements. Environmental Pollution, Vol. 146, pp. 437-43.

51- Komar, L., Tu, C., Zhang, W., Cai, Y., Kennelley, EK, 2001. A fern that hyperaccumulates arsenic. Nature Journal, Vol. 409, pp. 579-85.

52- Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., Ma, LQ, 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. Science of the Total Environment, Vol. 368, pp. 456-664.

53- Yang, X-E., Chen, W-R., Feng, Y, 2007. Improving human micronutrient nutrition through biofortification in the soil–plant system: China as a case study. Environmental Geochemistry and Health, Vol. 29, pp. 413-28.