

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور

**ترویج استفاده از
گونه‌های مرتعی بیش‌اندوز
به منظور پالایش فلزات سنگین خاک
(معادن سنگ آهن سنگان، استان خراسان رضوی)**

نگارش:

مehشید سوری

عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور

عنوان پروژه منتج به نشریه	کد مصوب
بررسی میزان آلودگی و ظرفیت گیاه پالایی دو گونه گیاهی <i>Artemisia sieberi</i> و <i>Salsola richteri</i> در محدوده معادن سنگ آهن سنگان، شهرستان خواف استان خراسان رضوی	۰۹-۰۹-۲۴-۰۴۰-۰۰۰۵۲۵



عنوان نشریه: ترویج استفاده از گونه‌های مرتعی بیش‌اندوز به منظور پالایش فلزات سنگین خاک
(معادن سنگ آهن سنگان، استان خراسان رضوی)

نگارش:

مهندسید سوری - استادیار پژوهش، بخش تحقیقات مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور،
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

تهیه شده در: مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، اداره ترویج و انتقال یافته‌های تحقیقاتی،
بخش تحقیقات مرتع

مدیر داخلی: فاطمه عباسپور

ویراستار ادبی: اصغر احمدی

صفحه‌آرا: مریم نوبخت

نوبت چاپ: اول - ۱۴۰۳

شمارگان: الکترونیکی

نشانی: بزرگراه تهران-کرج، خروجی پیکانشهر، شهرک سرو آزاد، خیابان شهید علی گودرزی، بلوار
باغ گیاه‌شناسی ملی ایران، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور

صندوق پستی: ۱۳۱۸۵-۱۱۶ **تلفن:** ۵-۴۴۷۸۷۲۸۲-۰۲۱ **وبسایت:** www.rifr-ac.ir

این نشریه به شماره ۶۶۰۳۰ در تاریخ ۱۴۰۳/۰۷/۱ در مرکز اطلاعات و مدارک علمی

کشاورزی به ثبت رسیده است.

ISBN : 978-964-473-550-9



9 789644 735509

➤ **مخاطبان نشریه:** کارشناسان سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور، ادارات کل منابع طبیعی، ادارات محیط زیست و مراکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی

.....

➤ **اهداف آموزشی:** در این نشریه، سعی بر آن است که روش درست نمونه برداری، انتخاب گیاهان، به کارگیری روش صحیح تجزیه آزمایشگاهی و شاخص های مناسب محاسبه کارایی گیاه پالایی ارائه گردد و در نهایت، گونه های بیش اندوز منطقه خواف معرفی گردد.

.....

فهرست

۱	مقدمه
۲	هدف
۲	زیست‌پالایی
۳	گیاه‌پالایی
۴	اهمیت گیاه‌پالایی
۵	مروری بر برخی از تحقیقات انجام شده در زمینه گیاه‌پالایی
	مطالعه موردی معرفی گونه‌های مرتعی بومی بیش‌اندوز در پاک‌سازی محیط از فلزات
۸	سنگین در محدوده معادن سنگ آهن استان خراسان رضوی
۹	روش کار
	مقایسه ظرفیت گیاه‌پالایی گونه‌های گیاهی <i>Salsola richteri</i> <i>Artemisia sieberi</i>
۱۴	و <i>Scariola orientalis</i>
۱۷	اهمیت اقتصادی - اجتماعی کاربرد گونه‌های مرتعی بیش‌اندوز
۱۸	نتیجه‌گیری و پیشنهادها
۲۰	توصیه‌های اجرایی
۲۱	منابع

مقدمه

با گسترش روزافزون صنعت و معدن، ازجمله معدن‌کاوی، صنایع پتروشیمی، تولیدات نفتی و مواد وابسته به آن، آلودگی‌های زیست محیطی افزایش یافته است و این آلودگی‌ها از طریق آب، هوا و از طریق ورود پساب و ضایعات به داخل خاک، اثرها و پیامدهای غیرقابل جبرانی بر محیط‌زیست وارد می‌نمایند. وجود این مواد در خاک، خطر انتقال به آبهای سطحی و زیرزمینی، مسمومیت و بیماری برای انسان و سایر موجودات زنده را به دنبال دارد. اهمیت خاک برای بشر از آن روست که به‌طور مستقیم به عنوان منبع حفاظت و تولید غذا و به‌طور غیرمستقیم از طریق برهم‌کنش و ارتباط با اتمسفر، بیوسفر و هیدروسفر بر سلامت بشر اثرگذار است (Abrahams, 2002).

خاک علاوه بر اینکه محیط رشد گیاه است، بسیاری از آلاینده‌ها ازجمله فلزات بالقوه سمی را به هواکره، زیست‌کره و منابع آبی منتقل می‌کند (Chen et al., 1997). فلزات با جایگزینی به جای املاح و مواد معدنی مورد نیاز بدن جانداران، موجب به خطر افتادن سلامت آنان می‌شوند (Mohamadi et al., 2006). ذخایر طبیعی فلزی مهمترین منبع آزادسازی این عناصر به محیط هستند (Aykol et al., 2003). آلودگی خاک با فلزات مختلف ناشی از معادن سبب کاهش کیفیت و سلامت خاک می‌شود که این موضوع برای سلامت گیاه و به دنبال آن انسان مضر است (Jarup, 2003). فلزات سنگین پس از ورود به بدن دیگر از بدن دفع نشده و در بافت‌های بدن انباشته می‌شوند. همین موضوع موجب بروز بیماری‌ها و عوارض متعددی در بدن می‌شود. بسیاری از کشورهای جهان با مشکلات مرتبط با آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی مواجه هستند که سبب بروز انواع مختلفی از بیماری‌ها و مشکلات زیست محیطی می‌گردند (McMichael, 2000; Gurjar et al., 2010; Manisalidis et al., 2020).

۲ / ترویج استفاده از گونه‌های مرتعی بیش‌اندوز به منظور پالایش فلزات سنگین خاک (معادن سنگ آهن سنگان، استان خراسان رضوی)

در حال حاضر بررسی‌های متعددی در ایران و کشورهای دیگر درباره میزان تأثیر فلزات سنگین بر گیاهان و مشخص کردن مناطق آلوده در اطراف کارخانجات، انجام شده است، اما بیشتر بررسیها مربوط به گیاهان زراعی و قابل کشت بوده و کمتر به گیاهان مرتعی پرداخته است. بنابراین بررسی اثرهای آلاینده‌های صنعتی بر گیاهان مرتعی مناطق حوزه نفوذ معادن، ضروری است تا با توجه به بهره‌برداری‌های انجام شده از این گیاهان، میزان آلودگی و چگونگی مدیریت آنها در برنامه‌های آینده مدیران حوزه منابع طبیعی مورد استفاده قرار گیرد.

هدف

در این نشریه، سعی بر آن است که روش درست نمونه‌برداری، انتخاب گیاهان، به‌کارگیری روش صحیح تجزیه آزمایشگاهی و شاخص‌های مناسب محاسبه کارایی گیاه‌پالایی ارائه گردد و در نهایت، گونه‌های بیش‌اندوز منطقه خواف معرفی گردد.

زیست‌پالایی^۱

زیست‌پالایی یک اصطلاح کلی در جهت رفع آلودگی‌های زیست محیطی به وسیله فرایندهای بیولوژیکی و توسط میکروارگانیسم‌ها در خاک‌ها و آب‌های آلوده می‌باشد. تکنولوژی زیست‌پالایی، محیط را بهینه می‌سازد که میکروارگانیسم‌های اختصاصی بتوانند رشد کنند و حداکثر مقدار آلودگی را تخریب نمایند. زیست‌پالایی برحسب مورد به دو صورت انجام می‌شود: زیست‌پالایی درجا^۱: یعنی اصلاح آلودگی خاک در محیطی که شناسایی شده است. زیست‌پالایی دگرجا^۲ شامل انتقال خاک‌های آلوده به محلی دیگر و بعد اصلاح آن است. استفاده از روش‌های بیولوژیک در سال‌های اخیر همواره مورد توجه بوده است که شامل روش‌های

¹ Bioremediation

۲ / ترویج استفاده از گونه‌های مرتعی بیش‌اندوز به منظور پالایش فلزات سنگین خاک (معادن سنگ آهن سنگان، استان خراسان رضوی)

زیست سالم‌سازی و گیاه‌پالایی می‌باشند. در گیاه‌پالایی، از قابلیت گیاهان برای حذف آلاینده‌ها استفاده می‌شود. گیاه‌پالایی با استفاده از مهندسی گیاهان سبز شامل گونه‌های علفی و چوبی برای برداشت مواد آلاینده از آب و خاک یا کاهش خطرات آلاینده‌های محیط‌زیست مانند فلزات سنگین، عناصر کمیاب، ترکیبات آلی و مواد رادیو اکتیو استفاده می‌شود. مهمترین ترکیبات معدنی آلاینده، فلزات سنگین بوده و میکروارگانیسم‌های خاک قادر به تجزیه آلاینده‌های آلی هستند، اما برای تجزیه میکروبی فلزات نیاز به آلی شدن یا تغییرات فلزی آنها وجود دارد که امروزه از گیاهان برای این بخش استفاده می‌شود. آلاینده‌های فلزی مانند آرسنیک، کادمیوم، جیوه، مس و روی قابل تجزیه به ترکیبات غیر سمی نیستند و راه‌حل سنتی مبارزه با این نوع آلودگی، دفن خاک آلوده در مکانی دیگر است. بدیهی است که این روش بسیار مشکل و پرهزینه و غیرکارآمد است (Franco et al., 2018).

گیاه‌پالایی^۱

گیاه‌پالایی یکی از به‌روزترین روش‌ها برای رفع آلودگی محیط‌زیست به فلزات سنگین، ترکیبات آلی، علف‌کش‌ها و هیدروکربن‌های نفتی و مواد رادیواکتیو است که با استفاده از گیاهان انجام می‌شود. برخی از گیاهان توانایی جذب و نگهداری برخی از انواع فلزات سنگین را در خود دارند و از این طریق می‌توانند سبب پاکسازی آلاینده‌های محیط‌زیست شوند (Kara, 2005). بسیاری از کشورهای جهان با مشکلات مرتبط با آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی مواجه هستند که سبب بروز انواع مختلفی از بیماری‌ها و مشکلات زیست محیطی می‌گردد (McMichael, 2000؛ Gurjar et al., 2010؛ Manisalidis et al., 2020). از آنجا که احتمال ورود عناصر سنگین فلزی به محیط خاک و زنجیره غذایی و غلظت بالای آنها می‌تواند

¹ phytoremediation

۲ / ترویج استفاده از گونه‌های مرتعی بیش‌اندوز به منظور پالایش فلزات سنگین خاک
(معادن سنگ آهن سنگان، استان خراسان رضوی)

خطرات بهداشتی برای موجودات ایجاد کند (Topcuoglot, 2016; Van Gestel, 2008). از این‌رو تعیین غلظت فلزات محلول در خاک و قابل انتقال به گیاهان لازم و ضروریست (Chojnacka et al., 2005). اصطلاح عمومی «گیاه‌پالایی» متشکل از پیشوند یونانی phyto به معنای گیاه و ریشه لاتین remedium به معنی اصلاح و یا حذف مواد زیان‌آور می‌باشد. گیاه‌پالایی یک اصطلاح گسترده‌ای است که از سال ۱۹۹۱ برای توصیف استفاده از گیاهان به منظور کاهش حجم، تحرک و یا سمیت آلاینده‌ها در خاک، آب‌های زیرزمینی و یا دیگر رسانه‌های آلوده استفاده شده است (Etim, 2012). در برخی پژوهش‌ها اظهار شده است که گیاه‌پالایی به عنوان یک راهکار مناسب در استفاده از گیاهان سبز برای از بین بردن آلودگی‌ها (منابع آلوده‌کننده) و یا بی‌ضرر کردن آنها می‌باشد و می‌تواند در سطوح وسیع برای پاکسازی خاک‌های آلوده استفاده شود (Wei et al., 2010). فناوری جدیدی است که در آن از گیاهان مقاوم برای حذف یا کاهش غلظت آلاینده‌های آلی، معدنی و ترکیبات خطرناک محیط‌زیست از جمله فلزات سنگین (کروم، منگنز، آهن، کبالت، نیکل، مس، روی، مولیبدن، نقره، کادمیوم، قلع، تنگستن، طلا، جیوه و سرب)، مواد نفتی و علف‌کش‌ها استفاده می‌شود. در این راستا، با استفاده از سیستم‌های متکی بر گیاهان به منظور حذف، تجزیه یا تثبیت مواد آلاینده از آب و خاک یا کاهش خطرات آلاینده‌های محیط‌زیست که به فرم غیرسمی تبدیل می‌شوند استفاده می‌شود.

اهمیت گیاه‌پالایی

با گسترش روزافزون صنعت و معدن، از جمله معدن‌کاوی، صنایع پتروشیمی، تولیدات نفتی و مواد وابسته به آن، آلودگی‌های زیست محیطی افزایش یافته و این آلودگی‌ها از طریق آب، هوا و از طریق ورود پساب و ضایعات به داخل خاک، اثرها و پیامدهای غیرقابل جبرانی بر

ترویج استفاده از گونه‌های مرتعی بیش‌اندوز به منظور پالایش فلزات سنگین خاک / ۵
(معادن سنگ آهن سنگان، استان خراسان رضوی)

محیط‌زیست وارد می‌نمایند. وجود این مواد در خاک، خطر انتقال به آب‌های سطحی و زیرزمینی، مسمومیت و بیماری برای انسان و سایر موجودات زنده را به دنبال دارد. بنابراین، با توجه به قرارگرفتن معادن و کارخانجات مرتبط با مواد و فراورده‌های آنها در همجواری عرصه‌های طبیعی و زراعی و احتمال زیاد آلودگی این اراضی، ضروری به نظر می‌رسد که علاوه بر استفاده‌های متعارف از گونه‌های مرتعی برای چرای دام و یا حفاظت خاک، گونه‌هایی که دارای توانایی مناسبی در جذب فلزات سنگین از خاک‌های آلوده و تجمع آنها در اندام‌های خود و پالایش خاک‌های آلوده باشند، شناسایی و معرفی شوند.

مروری بر برخی از تحقیقات انجام شده در زمینه گیاه‌پالایی

فلزات سنگین ازجمله مهمترین آلاینده‌های اکوسیستم‌ها هستند. زمانیکه گیاهان در معرض مقادیر سمی فلزات سنگین قرار می‌گیرند، سازوکارهای مولکولی، شیمیایی و فیزیکی که مسئول تحمل و سازگاری آنها به تنش‌های محیطی است تحت تأثیر قرار می‌گیرد و این موضوع در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است (Nocito et al., 2006).

خوش نیت (۱۳۹۴) در تحقیقی که بر روی گیاهان تراریخته با عملکرد بهبود یافته در پاکسازی محیط‌زیست و بررسی واکنش‌های درگیر در گیاه‌پالایی آلاینده‌های آلی و معدنی انجام داد، نتیجه گرفت که یکی از انواع روش‌های زیست پالایی، استفاده از گیاهان تراریخته مانند کلزا، برای پاکسازی آلاینده‌های آلی و معدنی در آب، خاک و هوا است.

حمیدیان و همکاران (۱۳۹۴) در تالاب انزلی بر روی قابلیت گیاه‌پالایی یک گیاه آبی (لاله تالابی) برای پالایش فلزات سنگی (مس، کروم، سرب، آرسنیک و کادمیوم) تحقیق کردند. آنان نتیجه گرفتند که لاله تالابی قابلیت بالایی در جذب فلزات مذکور از خود بروز داده است و لاله تالابی می‌تواند به عنوان یک گونه ارزشمند برای اهداف گیاه‌پالایی استفاده شود.

۹ / ترویج استفاده از گونه‌های مرتعی بیش‌اندوز به منظور پالایش فلزات سنگین خاک (معادن سنگ آهن سنگان، استان خراسان رضوی)

معمری و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقی به بررسی توانمندی گیاه‌پالایی گیاهان مرتعی اطراف شرکت ملی سرب و روی زنجان در جذب فلزات سنگین سرب و روی پرداختند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که گونه‌های *Stipa hohenackeriana* و *Hulthemia persica* دارای بیشترین انباشت مقدار سرب در اندام‌های هوایی و ریشه خود بودند. در مجموع نتایج تحقیق آنان نشان داد که بسیاری از گیاهان مرتعی علاوه بر استفاده‌های متعارف برای چرای دام و یا حفاظت خاک، دارای توانایی مناسبی در جذب فلزات سنگین از خاک‌های آلوده و تجمع آنها در اندام‌های خود و پالایش خاک‌های آلوده هستند.

هاشمی (۱۳۹۶) در استان یزد، ظرفیت تولید علوفه و گیاه‌پالایی وتیور *Chrysopogon zizanioides* در اگرواکوسیستم‌های شور را بررسی کرد. ایشان نتیجه گرفت که این گیاه حد بالایی از عناصر مختلف را در خاک تحمل نموده و به میزان قابل توجهی فلزات سنگین در خاک و آب را مانند آرسنیک، کادمیم، کروم، نیکل، سرب، جیوه و سلنیوم را جذب و در بافت‌های خود ذخیره می‌کند. آستانه تحمل به شوری وتیور حدود ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد، با این حال در برخی شرایط، گیاه حتی در شوری حدود ۴۸ دسی‌زیمنس بر متر نیز قابلیت زنده ماندن را دارد. ایشان اظهار کرد که با توجه به تحمل بالای شوری، کیفیت علوفه قابل قبول و ظرفیت آن در جذب فلزات سنگین، کشت این گیاه به عنوان یک گونه با ارزش اقتصادی بالا در اگرواکوسیستم‌های شورورزی قابل طرح است.

سیستانی و همکاران (۱۳۹۶) آلودگی فلزات سنگین را در خاک‌های مجاور صنایع فولاد کرمان و غنای فلزی و درجه آلودگی خاک را بررسی کردند. آنان نیز از شاخص‌های زمین انباشت (Igeo) و عامل آلودگی (CF) استفاده کردند. نتایج تحقیق آنان نشان داد غلظت عناصر سنگین، متأثر از مجتمع‌های فولاد است.

ترویج استفاده از گونه‌های مرتعی بیش‌اندوز به منظور پالایش فلزات سنگین خاک / ♥
(معادن سنگ آهن سنگان، استان خراسان رضوی)

شفیعی و همکاران (۲۰۱۳) غنی‌شدگی آرسنیک و سلیوم را در خاک‌های پیرامون معدن مس سرچشمه بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که غلظت این عناصر در نزدیکی معدن بیشتر است و با فاصله گرفتن از معدن، غلظت آنها کاهش می‌یابد، همچنین آنان بیان کردند که عنصر سلیوم در محدوده غیر آلوده و عنصر آرسنیک در محدوده کمی آلوده تا شدیداً آلوده قرار می‌گیرد.

جوان سیامردی و همکاران (۲۰۱۴) غلظت فلزات سنگین (آهن، نیکل، مس، روی و سرب) در خاک کشاورزی بخش مرکزی سیستان را مورد بررسی قرار دادند و اظهار کردند که شاخص آلودگی CF شاخص کارایی در تبیین میزان آلودگی عناصر سنگین محیط می‌باشد.

معمری و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند گیاهانی که فاکتورهای تغلیظ زیستی در آنها بالاتر از یک می‌باشد، توانایی خوبی در گیاه‌پالایی دارند و به عنوان گیاهان بیش‌اندوز می‌توانند استفاده شوند. دلیل این موضوع را این طور می‌توان توضیح داد که ریشه گیاهان با فیلتر کردن، جذب و تبادل کاتیونی عناصر سنگین، نقش مهمی در حذف آلاینده‌ها دارند. همچنین، گیاهان با توانایی تجمع و تجزیه عناصر در ریشه می‌توانند در مدیریت خاک‌های آلوده یا گیاه پایایی مؤثر باشند. بدین منظور گیاهان پالاینده نیازمند سیستم ریشه‌ای قوی می‌باشند (Deng et al., 2004). نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که مقدار عنصرهای مورد بررسی در برخی از گیاهان در اندام هوایی بیشتر از اندام زیرزمینی است. دلیل این مسئله، این است که بارهای منفی که در سلولهای ریشه این گیاهان است با گروه‌های هیدروکسیل با بارهای مثبت عنصرهای سنگین با یکدیگر برهم‌کنش ایجاد کرده و به دنبال آن تعادل دینامیکی حاصل و منجر به ورود آسانتر به سلولها از طریق آپوپلاست یا سیمپلاست می‌گردد (Franco et al., 2018). از سوی دیگر، علت این مسئله آن است که این عنصرها در مجاورت سطح ریشه جذب و از طریق غشا سلولی وارد

۸ / ترویج استفاده از گونه‌های مرتعی بیش‌اندوز به منظور پالایش فلزات سنگین خاک (معادن سنگ آهن سنگان، استان خراسان رضوی)

سلول‌های ریشه می‌شوند و در برخی از قسمت‌ها عنصر از غشا سلولی عبور و به بافت آوندی ریشه می‌رسند. در حالی که بیشتر بخش باقیمانده عناصر، در واکوئل بی‌حرکت شده و بعد از بافت‌های آوندی به برگ و ساقه منتقل می‌شوند. سپس، بیشتر این عناصرها زمانی که در داخل بافت گیاه قرار می‌گیرند، نامحلول شده و به علت اسیدیته بهینه سلولی نمی‌توانند در سیستم عروقی حرکت کنند، از این‌رو عنصرهای نامحلول عموماً در محفظه‌های خارجی و درونی سلول به صورت رسوبات سولفات، کربنات یا فسفات ذخیره می‌شوند (Manzoor et al., 2020).

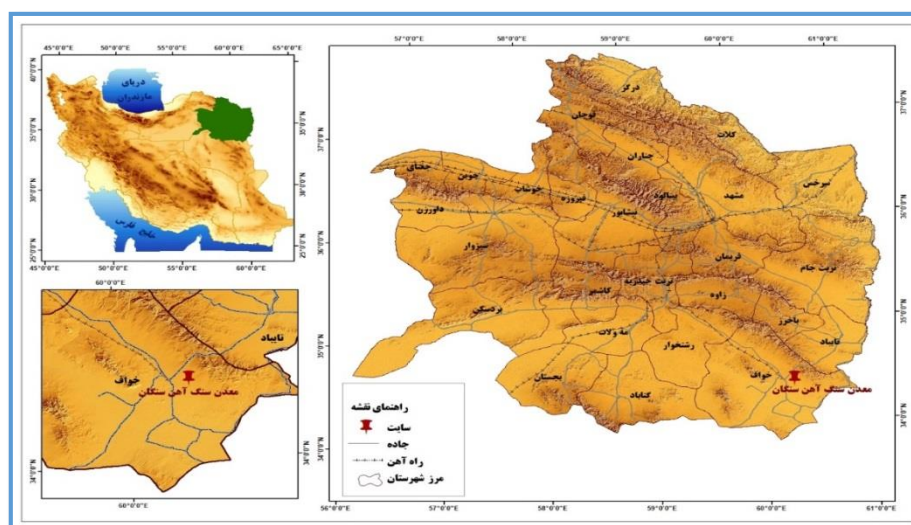
مطالعه موردی: معرفی گونه‌های مرتعی بومی بیش‌اندوز منطقه مورد پژوهش

منطقه خواف با داشتن معادن متعدد با ارزش و منحصر به فرد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از آنجایی که معادن عموماً از مراکز آلوده‌کننده محیط‌زیست می‌باشند، بنابراین، شناسایی گیاهان مرتعی که دارای توانایی مناسبی در جذب فلزات از خاک‌های آلوده و تجمع آنها در اندام‌های خود و پالایش خاک‌های آلوده منطقه خواف باشند، بسیار حائز اهمیت است. با توجه به قرارگرفتن معادن و کارخانجات مرتبط با مواد و فراورده‌های آنها در همجواری عرصه‌های طبیعی و زراعی در شهرستان خواف استان خراسان رضوی، پژوهشی به منظور بررسی ظرفیت گیاه‌پالایی سه گونه گیاهی تیپ غالب مرتعی در محدوده معادن سنگ آهن شهرستان خواف که علاوه بر استفاده‌های متعارف برای چرای دام و یا حفاظت خاک، دارای توانایی مناسبی در جذب فلزات از خاک‌های آلوده و تجمع آنها در اندام‌های خود و پالایش خاک‌های آلوده باشند، در استان خراسان رضوی انجام شد. نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند توسط اداره منابع طبیعی و محیط‌زیست استان خراسان رضوی استفاده شود.

معادن سنگان در مختصات جغرافیایی ۵۸ درجه و ۳۰ دقیقه و ۱۶ ثانیه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۲۶ دقیقه و ۵۵ ثانیه عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). ارتفاع متوسط منطقه ۱۳۲۶ متر می‌باشد.

۹ / ترویج استفاده از گونه‌های مرتعی بیش‌اندوز به منظور پالایش فلزات سنگین خاک (معادن سنگ آهن سنگان، استان خراسان رضوی)

بررسی‌ها و تحقیقات اخیر براساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن گسترش یافته، نشان‌دهنده اقلیم فراخشک سرد با توجه به مقادیر دمای متوسط بلندمدت معادل ۱۸ درجه سانتی‌گراد، بارندگی بلندمدت ۱۱۹/۹ میلی‌متر و میانگین حداقل دما در سردترین ماه سال ۴/۲- درجه سانتی‌گراد می‌باشد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی خواف در استان خراسان رضوی و ایران

روش کار

روش انتخاب گیاه و نحوه نمونه‌برداری

توصیه می‌شود، ابتدا براساس بررسی اولیه پراکنش پوشش گیاهی در امتداد گرادیان اکولوژیکی منطقه (در جهت شیب عمومی منطقه، در فاصله‌های مختلف از معدن و در جهت باد غالب منطقه)، تیپ‌های گیاهی منطقه مشخص گردد و بعد گونه‌های گیاهی بومی متعلق به تیپ غالب پوشش گیاهی منطقه که اهمیت نسبی بالاتری از نظر درصد پوشش و تراکم نسبت به سایر گونه‌ها دارند، به منظور ارزیابی و بررسی توانایی گیاه در پاک‌سازی محیط از فلزات

۱۰ / ترویج استفاده از گونه‌های مرتعی بیش‌اندوز به منظور پالایش فلزات سنگین خاک
(معادن سنگ آهن سنگان، استان خراسان رضوی)

سنگین به عنوان گونه‌های مورد پژوهش انتخاب شوند، در مرحله بعد از بخش‌های مختلف گیاهی گونه‌های گیاهی منتخب منطقه و خاک اطراف ریشه آنها در فواصل مختلف از معدن و در جهت باد غالب منطقه (شمال شرقی به جنوب غربی) نمونه‌برداری شود.

روش تجزیه آزمایشگاهی

به‌منظور بررسی غلظت عناصر جذب شده از خاک و میزان تأثیر معدن بر افزایش عناصر آلاینده منطقه، ریشه و برگ گونه‌های غالب نمونه‌برداری شده پس از چند مرحله شستشو مورد تجزیه قرار گیرد. شستشوی نمونه به ترتیب با آب معمولی، بعد با اسید هیدروکلریک ۰/۱ مول، سپس شستشو با آب معمولی و دوباره آب مقطر انجام شود. نمونه‌ها در داخل آون با درجه حرارت ۷۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت خشک شوند. پس از پودر کردن نمونه‌های خشک شده و عبور از الک ۰/۵ میلی‌متری، به‌منظور هضم و تهیه عصاره گیاه از روش سوزاندن به‌طریقه خشک استفاده شود (حکم‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۱؛ زارع رشکوئی و همکاران، ۱۳۹۷). سپس، اندازه‌گیری عناصر فلزات سنگین با استفاده از دستگاه پلاسمای جفت شده القایی ICP-OES^۱ انجام گردد.

به‌کارگیری کاربردی‌ترین شاخص‌های گیاه‌پالایی

به منظور ارزیابی و بررسی توانایی گیاه انتخاب شده در پاک‌سازی محیط از فلزات مختلف، چند شاخص به شرح ذیل تعیین شوند (Moameri et al., 2017).

^۱ Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy

ترویج استفاده از گونه‌های مرتعی بیش‌اندوز به منظور پالایش فلزات سنگین خاک / ۱۱
(معادن سنگ آهن سنگان، استان خراسان رضوی)

شاخص تغلیظ زیست (BCF) و (BAC)

برای تعیین فاکتور تغلیظ زیستی (BAC) از نسبت غلظت فلزات در بخش هوایی خشک گیاه به غلظت این فلزات در خاک استفاده می‌شود و برای تعیین فاکتور تغلیظ زیستی (BCF) از نسبت غلظت فلزات در بخش خشک ریشه گیاه به غلظت این فلزات در خاک استفاده می‌گردد (Ali et al., 2013). معمولاً فاکتور تغلیظ زیستی بیشتر از یک، نشان‌دهنده قابلیت تجمع‌ی بالای گیاه در جذب فلزات می‌باشد (Boonyapookana, 2002).

رابطه ۱:

$$BCF = [\text{Metal}]_{\text{root}} / [\text{Metal}]_{\text{soil}}$$

رابطه ۲:

$$BAC = [\text{Metal}]_{\text{shoot}} / [\text{Metal}]_{\text{soil}}$$

شاخص انتقال (TF)

برای تعیین فاکتور انتقال که توانایی گیاه در انتقال فلز از ریشه به اندام‌های هوایی را نشان می‌دهد، از تقسیم غلظت عنصر در اندام هوایی به غلظت عنصر در ریشه استفاده شد. فاکتور انتقال بالاتر از یک، توانایی بالای گیاه در انتقال فلزات در بافت‌های گیاه را نشان می‌دهد.

$$TF = [\text{Metal}]_{\text{shoot}} / [\text{Metal}]_{\text{root}}$$

¹ Bio-Concentration Factor

² Biological Absorption Coefficient

*Translocation Factor

۱۲ / ترویج استفاده از گونه‌های مرتعی بیش‌اندوز به منظور پالایش فلزات سنگین خاک
(معادن سنگ آهن سنگان، استان خراسان رضوی)

شاخص زمین انباشت (Igeo)

شاخص زمین انباشت برای تعیین و توصیف آلودگی فلز در محیط، توسط مولر (۱۹۶۹) ارائه و بعد توسط سایر پژوهشگران تکمیل شد. این ضریب با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1.5 B_n}$$

در این رابطه، C_n غلظت عنصر در نمونه خاک و B_n غلظت عنصر در نمونه زمینه یا مرجع می‌باشد. در این پژوهش، میانگین خاکهای جهانی به عنوان نمونه زمینه یا مرجع در نظر گرفته شد و پس از محاسبه، با استفاده از رده‌بندی ارائه شده کیفیت خاک تعیین می‌گردد (جدول ۱).

جدول ۱- رده‌بندی کیفیت خاک بر مبنای مقدار شاخص زمین‌انباشت (مولر، ۱۹۶۹)

مقدار Igeo	رده Igeo	تعیین کیفیت خاک
$5 <$	۶	آلودگی خیلی زیاد
۵-۴	۵	آلودگی زیاد تا خیلی زیاد
۴-۳	۴	آلودگی زیاد
۳-۲	۳	آلودگی متوسط تا زیاد
۲-۱	۲	آلودگی متوسط
۱-۰	۱	ناآلوده تا آلودگی متوسط
۰	۰	ناآلوده

ترویج استفاده از گونه‌های مرتعی بیش‌اندوز به منظور پالایش فلزات سنگین خاک / ۱۳
(معادن سنگ آهن سنگان، استان خراسان رضوی)

شاخص ضریب غنی‌شدگی (EF)

ضریب غنی‌شدگی روشی مؤثر برای ارزیابی غلظت آلاینده‌های فلزی در خاک است. این ضریب از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$EF = \frac{\left(\frac{X}{RE}\right)_{sample}}{\left(\frac{X}{RE}\right)_{baseline}}$$

در رابطه بالا، $\left(\frac{X}{RE}\right)_{sample}$ نسبت غلظت عنصر مورد نظر به عنصر مرجع در نمونه خاک و $\left(\frac{X}{RE}\right)_{baseline}$ نسبت غلظت عنصر مورد نظر به عنصر مرجع در نمونه زمینه است.

در محاسبه ضریب غنی‌شدگی، غلظت فلزات سنگین با استفاده از یک عنصر مرجع بهنجار می‌شود. پرکاربردترین عناصر مرجع در محاسبه ضریب غنی‌شدگی شامل آهن، آلومینیم، اسکاندیم و تیتانیم می‌باشند. برای نمونه مرجع نیز از غلظت‌های زمینه زمین‌شیمیایی منطقه و یا از مقادیر شیل میانگین، خاک‌های جهانی و یا پوسته بالایی استفاده می‌شود. اسکاندیم به عنوان عنصر مرجع و میانگین خاک‌های جهانی به عنوان محیط مرجع در نظر گرفته می‌شود. بر مبنای ضریب غنی‌شدگی، ۵ رده آلودگی تعریف می‌شود که در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- رده‌بندی ضریب غنی‌شدگی (Chabukdhara et al., 2012)

رده	ضریب غنی‌شدگی
<۲	کمبود یا غنی‌شدگی کمینه
۵-۲	غنی‌شدگی متوسط
۲۰-۵	غنی‌شدگی قابل توجه
۴۰-۲۰	غنی‌شدگی بسیار زیاد
>۴۰	بیش از حد بالا

'Enrichment Factor

۱۲ / ترویج استفاده از گونه‌های مرتعی بیش‌اندوز به منظور پالایش فلزات سنگین خاک
(معادن سنگ آهن سنگان، استان خراسان رضوی)

شاخص آلودگی (CF)

براساس فاکتور شاخص آلودگی، می‌توان مقدار فلزات سنگین را نسبت به مقدار طبیعی آنها
سنجید و میزان آلاینده‌گی خاک را تعیین کرد (Naimi et al., 2003). رابطه فاکتور آلودگی
مطابق معادله ۲ است.

$$CF = \frac{[C]_{sample}}{[C]_{background}}$$

معادله (۲)

در این رابطه، CF فاکتور آلودگی، [C]sample غلظت عنصر مورد بررسی و [C]background
غلظت عنصر مبنا در نمونه مرجع است. خاک‌ها از نظر آلودگی به فلزات سنگین براساس
فاکتور آلودگی به ۴ گروه $CF < 1$ (آلودگی کم)، $1 < CF < 3$ (آلودگی متوسط)، $3 < CF < 6$
(آلودگی بالا) و $CF \geq 6$ (آلودگی بسیار بالا) تقسیم می‌شوند (Rashed et al., 2010; Islam et al., 2014).

مقایسه ظرفیت گیاه‌پالایی گونه‌های *Artemisia sieberi*، *Salsola richteri* و *Scariola orientalis*

نتایج تحقیق نشان داد، پوشش‌های گیاهی مختلف از نظر بررسی شاخص‌های مختلف
گیاه‌پالایی، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند، به‌طوری‌که بیشترین میزان شاخص‌های تغلیظ
زیستی BCF سرب (۱/۳۸)، روی (۱/۳۶)، آهن (۱/۳۷) و مس (۱/۹۹) و BAC سرب (۱/۵۵)،
روی (۱/۵۳)، آهن (۱/۷۲) و مس (۱/۹۵) مربوط به پوشش گیاهی *Salsola richteri* است که
قابلیت تجمع‌ی بالایی این گیاه را در جذب سرب، روی، آهن و مس نشان می‌دهد و کمترین
میزان قابلیت تجمع‌ی سرب، روی و آهن مربوط به *Scariola orientalis* می‌باشد. در مورد
شاخص TF سرب (۱/۴۵)، روی (۱/۳۷)، آهن (۱/۲۶) و مس (۰/۹۹) نیز، بیشترین میزان این

ترویج استفاده از گونه‌های مرتعی بیش‌اندوز به منظور پالایش فلزات سنگین خاک / ۱۵
(معادن سنگ آهن سنگان، استان خراسان رضوی)

شاخص مربوط به پوشش گیاهی *Salsola richteri* است که توانایی بالای گیاه در انتقال سرب، روی، آهن و مس از ریشه به اندام‌های هوایی را نشان می‌دهد و کمترین میزان توانایی انتقال سرب، روی، آهن، آرسنیک، نیکل و مس مربوط به گونه *Scariola orientalis* می‌باشد. در مورد شاخص Igeo بیشترین میزان زمین‌انباشت سرب و روی در محیط رویش پوشش گیاهی *Artemisia sieberi* با میزان (۲/۶۲) و (۲/۴) گزارش گردید که آلودگی بالای سرب و روی در محیط رویش پوشش گیاهی *Artemisia sieberi* را نشان می‌دهد و با توجه به مقدار آنها، در وضعیت آلودگی متوسط تا زیاد سرب و روی طبقه‌بندی می‌شوند. در مورد شاخص EF نیز مشخص گردید که بیشترین میزان غلظت آلاینده سرب و روی در خاک مربوط به پوشش گیاهی *Artemisia sieberi* با میزان (۶/۵۴) و (۲/۲) می‌باشد که با توجه به مقدار آنها به ترتیب در رده غنی‌شدگی قابل‌توجه سرب و غنی‌شدگی متوسط روی طبقه‌بندی می‌گردند. در مورد شاخص CF نیز بیشترین میزان CF سرب (۲/۶۴) و روی (۵/۱۸) در محیط رویش پوشش گیاهی *Artemisia sieberi* گزارش گردید که نشان می‌دهد مقدار سرب و روی نسبت به مقدار طبیعی آن در محیط رویشگاهی این گونه بالاتر است. با توجه به مقدار آنها، از نظر این شاخص در وضعیت آلودگی متوسط سرب و آلودگی بالای روی قرار می‌گیرند. در مورد عنصر آهن، با توجه به مقدار شاخص زمین‌انباشت (۴/۲۲) در رده آلودگی زیاد تا خیلی زیاد، از نظر شاخص ضریب غنی‌شدگی (۱/۵) در رده متوسط و از نظر شاخص آلودگی (۳/۶۴) در رده بالای آلودگی آهن قرار گرفتند. در مورد عنصر مس نیز با توجه به مقدار شاخص زمین‌انباشت به ترتیب (۱/۸۸) و (۱/۴۶) در رده آلودگی متوسط و از نظر شاخص آلودگی (۳/۵۷) در رده متوسط آلودگی مس قرار گرفتند. همچنین نتیجه این تحقیق نشان داد که بیشترین میزان اغلب فاکتورهای مورد بررسی مانند غلظت فلزات شاخصاره، غلظت فلزات ریشه و غلظت فلزات خاک

در فاصله ۵۰۰ متری از معدن مشاهده شد. کمترین میزان فاکتورهای غلظت فلزات مختلف نیز در فاصله ۱۰۰۰۰ متری از معدن گزارش شد. همچنین براساس نتایج بخش خاک مشخص گردید که میانگین غلظت اغلب عناصر مورد بررسی بیشتر از مقادیر غلظت این عناصر در خاک‌های جهانی است. از این میان، غلظت زیاد عناصری مانند مس با میزان ۴۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، سرب با میزان ۳۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم، روی با میزان ۳۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم، آهن با میزان ۴۹۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به میانگین جهانی مس ۱۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم، سرب ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم، روی ۲۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و آهن ۴۷۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم قابل توجه است. غلظت عناصر با بیشینه غلظت مجاز ارائه شده توسط سازمان‌های حفاظت محیط‌زیست ایران، مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که غلظت همه عناصر در مقایسه با استاندارد، به‌جز عناصر نیکل و آرسنیک بیشتر از مقادیر استاندارد می‌باشد. شایان ذکر است که شاخص تغلیظ زیستی BCF فلزات سرب، روی، آهن و مس گونه *Salsola richteri* و در فاصله ۵۰۰ متری به ترتیب برابر ۱/۴، ۱/۵، ۱/۴۵ و ۱/۰۲ می‌باشد و شاخص تغلیظ زیستی BAC فلزات سرب، روی، آهن و مس گونه *Salsola richteri* و در فاصله ۵۰۰ متری به ترتیب برابر ۱/۷، ۱/۸، ۱/۴ و ۱/۳۴ است، که این موضوع نشان‌دهنده توانایی بالای گیاه *Salsola richteri* در انباشتن فلزات سنگین می‌باشد و نشان می‌دهد که این گیاه می‌تواند به عنوان گیاه بیش‌اندوز فلزات سرب، روی، آهن و مس در محدوده معادن سنگان خواف معرفی گردد. بنابراین با توجه به نتایج این تحقیق، به نظر می‌رسد که بتوان از این گیاه در رفع آلودگی خاک معادن سنگان از فلزات سنگین مانند سرب، روی، آهن و مس استفاده کرد.

ترویج استفاده از گونه‌های مرتعی بیش‌اندوز به منظور پالایش فلزات سنگین خاک / ۱۷
(معادن سنگ آهن سنگان، استان خراسان رضوی)

اهمیت اقتصادی - اجتماعی کاربرد گونه‌های مرتعی بیش‌اندوز

پالایش خاک‌های آلوده:

از آنجایی که آلاینده‌های فلزی مانند آرسنیک، کادمیوم، جیوه، مس و روی قابل تجزیه به ترکیبات غیر سمی نیستند و راه‌حل سنتی مبارزه با این نوع آلودگی، دفن خاک آلوده در مکانی دیگر است. بدیهی است که این روش نیز، بسیار مشکل و پرهزینه و غیرکارآمد می‌باشد. بنابراین، گیاه‌پالایی به عنوان یک راهکار مناسب در استفاده از گیاهان سبز برای از بین بردن آلودگی‌ها (منابع آلوده‌کننده) و یا بی‌ضرر کردن آنها مطرح می‌باشد و می‌تواند به صورت کم هزینه و کارآمد و در سطوح وسیع برای پالایش خاک‌های آلوده استفاده شود (Manzoor et al., 2013).

پیشگیری از بروز بیماری‌ها و عوارض متعدد ورود فلزات سنگین به بدن

در بدن آلودگی خاک با فلزات سنگین ناشی از معادن سبب کاهش کیفیت و سلامت خاک می‌شود که این موضوع برای سلامت گیاه و به دنبال آن انسان مضر است (Jarup, 2003). فلزات سنگین خاک مانند سرب، جیوه، مس، کادمیوم، مس، نیکل و آرسنیک، ابتدا توسط باکتری‌ها، قارچ‌ها و ارگانیسم‌های کوچک دیگر جذب شده و بعد به ترتیب توسط موجودات بزرگتر خورده و در نهایت به راحتی از طریق مصرف محصولات کشت شده در خاک‌های آلوده به زنجیره غذایی مصرف‌کنندگان وارد شده و سلامت انسان‌ها و حیوانات را به خطر می‌اندازند. ایراد اصلی فلزات سنگین این است که در بدن متابولیزه نمی‌شوند. درواقع فلزات سنگین پس از ورود به بدن دیگر از بدن دفع نشده و در بافت‌های بدن انباشته می‌گردند. همین موضوع موجب بروز بیماری‌ها و عوارض متعددی در بدن می‌شود. در این راستا، آژانس حفاظت

۱۸ / ترویج استفاده از گونه‌های مرتعی بیش‌اندوز به منظور پالایش فلزات سنگین خاک
(معادن سنگ آهن سنگان، استان خراسان رضوی)

محیط‌زیست آمریکا (EPA) مناسب‌ترین و اقتصادی‌ترین روش برای پاک‌سازی خاک‌های آلوده را روش‌های تصفیه در محل آلودگی (in situ) مانند گیاه‌پالایی معرفی کرده است (Norouzihajiabdol, 2013).

کاهش گردوغبار

فعالیت‌هایی مانند انفجار، باطله‌برداری، دفع باطله، استخراج سنگ معدن و حمل آن تا کارخانه توسط وسایل نقلیه سنگین و سبک و تردد وسایل نقلیه، تأثیر زیادی بر ایجاد آلودگی و ایجاد گردوغبار در مناطق مجاور معادن خواهد داشت. وجود گونه‌های گیاهی سبب تعدیل اثر منفی این پدیده نیز خواهد شد، بنابراین اثرهای مثبت زیادی برای مردم بومی منطقه به دنبال خواهند داشت.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

به‌طورکلی، از مطالب بیان شده نتیجه‌گیری می‌شود، با توجه به اینکه فعالیت‌های انسان‌محور، معادن و صنایع مرتبط با فلزات منجر به آلودگی محیط‌زیست می‌شوند که بر سلامتی انسان‌ها و سایر جانوران اثرهای منفی می‌گذارد، لازم است تمهیداتی اندیشیده شود که آلودگی مناطق تحت پوشش معادن تا حدودی مدیریت و کنترل شوند که افراد بومی، جانداران منطقه و محیط‌زیست آنها اثرهای منفی کمتری را متحمل شوند. از آنجایی که با اندازه‌گیری آلاینده‌های مختلف در گیاهان یک منطقه می‌توان به وضعیت آلودگی ترکیبات مختلف از جمله فلزات سنگین پی برد.

¹US Environmental Protection Agency

ترویج استفاده از گونه‌های مرتعی بیش‌اندوز به منظور پالایش فلزات سنگین خاک / ۱۹
(معادن سنگ آهن سنگان، استان خراسان رضوی)

بنابراین، بررسی دقیق آلودگی خاک و گیاهان منطقه همجوار معادن، از نظر دسترسی زیستی و تجمع فلزات مختلف در گیاهان و خاک‌های اطراف معادن طبق روش درست نمونه‌برداری، انتخاب گیاهان، به‌کارگیری روش صحیح تجزیه آزمایشگاهی و براساس شاخص‌های مناسب محاسبه کارایی گیاه‌پالایی، ضروری به نظر می‌رسد که در این نشریه فنی موارد ذکر شده شرح داده شدند.

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که معدن‌کاری به دلیل تولید مواد باطله، بارگیری و باربری سنگ‌ها، ایجاد گردوغبار، انفجار هوا و ارتعاشات انفجار باعث می‌شود که عناصر سنگین به مرور در خاک اطراف معدن انباشته شوند. همچنین این نکته یادآوری می‌شود که در مراحل اولیه ورود آلاینده از معدن‌کاری‌ها به خاک، آلاینده‌ها به صورت ترکیبات شیمیایی غیرپایدار هستند و در صورت ادامه روند ورود آلاینده‌ها، فرایندهای تجمع و رسوب باعث پیوند آلاینده‌ها به‌ویژه با اکسیدهای فلزی و تجمع بیش از اندازه آنها در خاک اطراف معادن می‌گردد. بر همین اساس، به منظور مدیریت و کنترل عناصر فلزی، کاربرد گونه‌های بومی که سازگار با شرایط آب و هوای منطقه هستند و کارایی زیادی را در جذب و تجمع عنصرهای فلزی و به‌عبارتی گیاه‌پالایی دارند، بایستی برای برنامه‌های محیط‌زیستی در منطقه متاثر از فعالیت‌های معدن به منظور کاهش آلودگی‌های منطقه، استفاده شوند.

بنابراین پیشنهاد می‌شود در مناطقی مشابه با اراضی محدوده معادن سنگ آهن سنگان که متأثر از فعالیت‌های معدن هستند، تمهیداتی برای: (۱) مدیریت منابع آلودگی موجود در منطقه، (۲) شناسایی گیاهان مرتعی بیش‌اندوز، (۳) تشویق و حمایت مرتع‌داران در جهت بهره‌برداری متعادل از مراتع، (۴) شناسایی فلزات سنگین بیش از حد مجاز در منطقه، (۵) استفاده از سیستم‌های مدیریت محیط‌زیست شامل ارزیابی زیست محیطی، مانیتورینگ و کنترل آلودگی و در نهایت (۶) فراهم کردن بستری مناسب

۲۰ / ترویج استفاده از گونه‌های مرتعی بیش‌اندوز به منظور پالایش فلزات سنگین خاک
(معادن سنگ آهن سنگان، استان خراسان رضوی)

برای ایجاد ارتباط بین بخش صنعت و معدن و بخش منابع طبیعی و محیط‌زیست در برنامه و سیاست‌های کاری سازمان‌ها و نهادهای متولی مورد توجه جدی قرار گیرند.

توصیه‌های اجرایی

- ✓ -توصیه می‌شود به منظور جلوگیری از چرای دام، مراتع در محدوده معادن سنگ آهن سنگان، شهرستان خواف استان خراسان رضوی به صورت قرق مدیریت شوند.
- ✓ -توصیه می‌گردد بیوماس گونه‌های بیش‌اندوز منطقه قبل از فصل خزان برداشت شوند و از منطقه خارج گردند.

منابع

- جوان سیامردی، ص.، رضایی کهخا، م.ر.، صفایی مقدم، ع. نوری، ر. ۱۳۹۳. بررسی غلظت فلزات سنگین (آهن، نیکل، مس، روی، سرب) در خاک کشاورزی بخش مرکزی سیستان. مجله مهندسی بهداشت محیط، ۲(۱): ۴۵-۵۲.
- حمیدیان، ا.ح.، نوروزنیا، ه.، میرزایی، ر.ا. ۱۳۹۴. قابلیت گیاه‌پالایی گیاه آبی *Nelumbo nucifera* در حذف فلزات سنگین (مس، کروم، سرب، آرسنیک و کادمیوم) در تالاب انزلی. محیط‌زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره ۹۶، صفحات ۶۳۳-۶۴۳.
- خوش نیت، پ. ۱۳۹۴. گیاهان تراریخته با عملکرد بهبود یافته در پاک‌سازی محیط‌زیست و بررسی واکنش‌های درگیر در گیاه‌پالایی آلاینده‌های آلی و معدنی. مجله ایمنی زیستی، دوره ۸، شماره ۲، زمستان ۱۳۹۴، صفحات ۱۲-۲۲.
- معمری، م.، جعفری، م.، طویلی، ع.، متشعزاده، ب. ۱۳۹۴. بررسی توانایی گیاه‌پالایی برخی از گیاهان مرتعی (مطالعه موردی: مراتع اطراف شرکت سرب و روی زنجان). دومین همایش ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط‌زیست، اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی. ۱-۵.
- هاشمی، ه. ۱۳۹۶. استفاده از پتانسیل تولید علوفه و گیاه‌پالایی وتیور در اگرواکوسیستم‌های شور. همایش ملی شورورزی، مرکز ملی تحقیقات شوری، یزد- آذرماه ۱۳۹۶، صفحات ۱-۷.
- Abrahams, P.W. (2002). Soils: their implications to human health. The Science of the Total Environment, (291), 1-23.
- Ali, H., Khan, E. and Sajad, M. A., 2013. Phyto extraction of heavy metals – Concepts and applications. Chemosphere, 91: 869 – 881.
- Aykol, A., Budakoglu, M., Kumral, M., Gultekin, A.H., Turhan, M., Esenli, V., Yavuz, F., & Orgun, Y. (2003). Heavy metal pollution and acid drainage from the abandoned Balya PbZn sulfide mine, NW Anatolia, Turkey, Environmental Geology, (45), 198-208.
- Boonyapookana, B., Upatham, E.S., Kruatrachne, M., Pokethitiyook, P. and Singhakaew, S., 2002. Phyto accumulation and phyto toxicity of cadmium and chromium in Duckweed *Wolffia globosa*. International Journal of Phytoremediation, 4:87-100.
- Chabukdhara, M., and Nema, A. K. (2012). Assessment of heavy metal contamination in Hindon River sediments: a chemo metric and geochemical approach. Chemosphere, 87(8), 945-953.
- Chen, T.B., Wong, J.W.C., & Zhou, H.Y. (1997). Assessment of trace metal distribution and contamination in surface soil of Hong Kong, Environmental Pollution, (96), 61-68.

۲۲ / ترویج استفاده از گونه‌های مرتعی بیش‌اندوز به منظور پالایش فلزات سنگین خاک
(معادن سنگ آهن سنگان، استان خراسان رضوی)

- Chojnacka, K., Chojnacki, A., Gorecka, H. and Górecki, H., 2005. Bioavailability of heavy metals from polluted soils to plants. *Science of the total Environment*, 337(1-3): 175-182.
- Deng, H., Ye, Z.H., & Wong, M.H. (2004). Accumulation of lead, zinc, copper and cadmium by 12 wetland plant species thriving in metal contaminated sites in China, *Environmental Pollution Journal*, 132 (1), 29–40.
- Etim, E. E., 2012. Phytoremediation and Its Mechanisms: A Review. *International Journal of Environment and Bioenergy*, 2(3):120-136.
- Franco, H., Celis, C., Forero, S., Pombo, L.M., & Rodriguez, O.E. (2018). Phyto remediating Activity of *Baccharis Latifolia* in Soils Contaminated with Heavy Metals. *International Journal of Current Pharmaceutical Review and Research*, 9(4), 38-43.
- Gurjar, B. R., Jain, A., Sharma, A., Agarwal, A., Gupta, P., Nagpure, A. S., & Lelieveld, J. (2010). Human health risks in megacities due to air pollution. *Atmospheric Environment*, 44(36), 4606-4613.
- Islam MS, Ahmed MK, Habibullah-Al-Mamun M, Hoque MF, 2014. Preliminary assessment of heavy metal contamination in surface sediments from a river in Bangladesh. *Environmental Earth Sciences*. 73(4):1837-48.
- Jarup, I. (2003). Hazards of heavy metal contamination, *British Medical Bulletin*, 68(1), 167–182.
- Kara, Y. (2005). Bioaccumulation of Cu, Zn, and Ni from the wastewater by treated *Nasturium officinalis*. *International Journal of Science and Technology*, (2), 63-67.
- Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., & Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and health impacts of air pollution: a review. *Frontiers in public health*, 8 (14),14-30. Doi: 10.3389/fpubh.2020.00014.
- Manzoor, M.M., Goyal, P., Gupta, A.P., & Gupta, S. (2020). Heavy metal soil contamination and bioremediation. *Bioremediation and Biotechnology*, (2), 221-239.
- McMichael, A.J. (2000). The urban environment and health in a world of increasing globalization: issues for developing countries. *Bulletin of the world Health Organization*, (78), 1117-1126.
- Merian, E., Anke, M., Ihnat, M., and Stoeppler, M. (2004). Elements and their compounds in the environment: occurrence, analysis and biological relevance (No. Ed. 2). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Moameri, M., Jafri, M., Tavili, A., Motasharezadeh, B. and Zare Chahouki, M.A., 2017. Rangeland Plants Potential for Phytoremediation of Contaminated Soils with Lead, Zinc, Cadmium and Nickel) Case Study: Rangelands around National Lead & Zinc Factory, Zanjan, Iran (*Journal of Rangeland Science*, 7(2):160-171).

۲۳ / ترویج استفاده از گونه‌های مرتعی بیش‌اندوز به منظور پالایش فلزات سنگین خاک
(معادن سنگ آهن سنگان، استان خراسان رضوی)

- Mohamadi, M., Shirvani Mahanim, S., & Haghnia, G.H. (2006). Radishes and cress and study compared absorption of zinc and cadmium in their interactions, Conference on soil, environment and sustainable development, Tehran. (In Persian).
- Muller, G. (1969). Index of geo accumulation in sediments of the Rhine River. *Geo journal*, (2), 108-118.
- Nocito, F., Lancilli, C., Crema, B., Fourcroy, P., Davidian, J., & Attilio Sacchi, G. (2006). Heavy metal stress and sulfate uptake in maize roots. *Journal of Plant Physiology*, (141), 1138- 1148.
- Norouzihajiabdol, f., Farzamisepehr, M. and Farajzadeh, M.A., 2013. Phytoremediation potential of polypogon monspeliensis L. in remediation of petroleum polluted soils. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 8(1): 75-87.
- Rashed M, 2010. Monitoring of contaminated toxic and heavy metals, from mine tailings through age accumulation, in soil and some wild plants at Southeast Egypt. *Journal of Hazardous Materials*. 178(1):739-46. 22.
- Sistani, N., Moeinaddini, M., Khorasani, N., Hamidian, A., Ali-Taleshi, M., & Azimi Yancheshmeh, R. (2017). Heavy metal pollution in soils nearby Kerman steel industry: metal richness and degree of contamination assessment. *Journal of Health and Environment*, 10 (1), 75-86. (In Persian).
- Topcuoglot, B., 2016, Heavy Metal Mobility and Bioavailability on Soil Pollution and Environmental Risks in Greenhouse Areas, *International Journal of Advances in Agricultural & Environmental Engineering (IJAAEE)* 3 (1); 208-213.
- Van Gestel, C. A. M., 2008. Physical-chemical and biological parameters determine metal bioavailability in soils. *Science of the Total Environment*, 406(3), 385-395.
- Wei, S.H., Li, Y.M., Zhou, Q.X., Srivastava, M. and Chiu, S.W., 2010. Effect of fertilizer amendments on phytoremediation of Cd contaminated soil by a newly discovered hyper accumulator *Solanum nigrum* L [J]. *Journal of Materials*, 176(1-3): 269-27.