محور مقاله: آلودگی زیست‌بوم، سلامت انسان و زیست‌پالایی

ارزیابی خطر اکولوژیکی آرسنیک در گیاه و خاک اطراف یک معدن زغال‌سنگ

مجید امیرسبتکی[۱]، حمیدرضا عظیم‌زاده[۲*]، اصغر مصلح آرانی[۳]، محمدرضا علمی[۴]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد

[۲]دانشیار، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد

[۳]دانشیار، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد

[۴]استادیار، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد

چکیده

در گیاه‌پالایی با استفاده از گیاهان سبز شامل گونه‌های علفی و چوبی مواد آلاینده از آب و خاک برداشته و خطرات آلاینده‌های محیط‌زیست نظیر فلزات سنگین، عناصر کمیاب، ترکیبات آلی و مواد رادیواکتیو کاهش می‌یابد. نمونه‌برداری خاک با ابزار نمونه‌برداری فولاد ضدزنگ از خاک محوطه معدن زغال سنگ، محدوده باطله و شاهد (۱۰ کیلومتر دور از معدن) انجام شد و در مرحله‌ی نمونه‌برداری کلیه‌ی نکات کنترل کیفی نمونه‌برداری رعایت شد. بعد از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه بر اساس استاندارد ایزو ۱۱۴۶۶ نمونه‌ها آماده‌سازی و آرسنیک اندازه‌گیری شد. شاخص‌های آلودگی، زمین انباشت و ریسک اکولوژیکی برای استاندارد محیط‌زیست به ترتیب در کلاس‌های آلودگی شدید، آلودگی متوسط تا شدید و کم محاسبه شد. نتایج شاخص آلودگی برای گیاه به ترتیب آلودگی زیاد، آلودگی بسیار شدید و آلودگی خیلی زیاد می‌باشد. با توجه به نتایج گونه گیاهی علفی مرغ (*Elymus repens*) در خاک معدن (آلوده) به منظور گیاه‌پالایی عنصر آرسنیک قابل توصیه است.

کلمات کلیدی: خطر اکولوژیکی، آرسنیک، گیاه مرغ، خاک، معدن

مقدمه

یکی از مهم‌ترین موضوعات چالش‌برانگیز در جهان امروز آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین است. باید به این موضوع توجه نمود که همه‌ی عناصر به طور طبیعی در خاک وجود دارند و غلظت طبیعی آن‌ها در خاک به عوامل زمین‌شناسی و جغرافیایی بستگی دارد. فرآیندهایی طبیعی مانند خاکسازی و هوازدگی سنگ بستر باعث افزایش تدریجی غلظت عناصر مختلف در خاک می‌گردد (۱). آلودگی خاک به فلزات سنگین یکی از مشکلات زیست محیطی عمده در جوامع بشری است که علاوه بر اثرات زیان‌آور برجوامع گیاهی و جانوری خاک و آلودگی آب‌های زیرزمینی از طریق آبشویی موجب کاهش عملکرد وکیفیت محصول و در نهایت به خطر افتادن سلامتی افراد جامعه و دیگر موجودات زنده می‌شود (۲). اگرچه فلزات سنگین به طور طبیعی و از طریق هوادیدگی سنگ‌ها و کانی‌ها و طی فرآیند خاک‌سازی در خاک تجمع یابند ولی این منبع طبیعی در مقایسه با آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسان از جمله احداث کارخانه‌های صنعتی، استخراج معادن، سوخت‌های فسیلی، مصرف کودهای شیمیایی و آلی، فاضلاب‌های صنعتی و لجن فاضلاب دارای اهمیت کمی می‌باشد (۳).

بشر با فعالیت‌های صنعتی بی‌رویه و بدون رعایت قوانین محیط‌زیستی منجر به آلودگی محیط‌زیست به انواع مختلف فلزات سنگین، مواد رادیواکتیو، مواد شیمیایی و مواد آلی مختلف گردیده است و لزوم پاکسازی محیط از این آلودگی‌ها به منظور بهره‌برداری پایدار و طولانی مدت از محیط ضروری می‌باشد (۴). پاکسازی محیط با روش‌های مهندسی مرسوم بسیار پرهزینه و قابل اجرا در سطح کوچک می‌باشد و بدین علت لزوم بکارگیری روش پالایشی مناسب احساس می‌شود. لازم به ذکر است که برخی از فلزات سنگین در غلظت‌های پایین برای گیاهان مواد غذایی محسوب می‌شود ولی تمام فلزات سنگین در غلظت‌های بالا برای گیاهان سمیت ایجاد می‌نماید (۵).

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 نظیر فلزات سنگین، عناصر کمیاب، ترکیبات آلی و مواد رادیواکتیو به کار برده 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 وجود دارد که امروزه از گیاهان برای این بخش استفاده می‌شود (۶).

*ایمیل نویسنده مسئول: hazimzadeh@yazd.ac.ir

خاک علاوه بر این‌که پایگاه موجودات خشکی‌زی، به ویژه جوامع انسانی است، محیط منحصربه‌فردی برای زندگی انواع حیات بخصوص گیاهان به‌شمار می‌رود. بر خلاف آب و هوا، آلودگی خاک از نظر ترکیب شیمیایی به آسانی قابل اندازه‌گیری نبوده و یک خاک پاک یا خالص تعریف‌پذیر نیست بنابراین مسائل بالقوه آلودگی خاک را در چارچوب پیش‌بینی خطرات و صدمات احتمالی در کارکرد خاک مطالعه می‌شود (۷).

فلزات سنگین، عناصری با وزن اتمی ۵۴/۶۳ تا ۵۹/۲۰۰ و وزن مخصوص بیشتر از ۴ هستند. برخی از فلزات سنگین به مقدار کم مورد نیاز ارگانیسم‌های زنده هستند؛ هر چند افزایش بیش از حد همین فلزات سنگین ضروری می‌تواند برای ارگانیسم‌ها مضر باشد(۸، ۹)

آرسنیک که در فارسی به اکسید آن مرگ موش و سولفید آن زرنیخ گفته می‌شود، عنصر شیمیایی است که در جدول تناوبی با علامت *As* مشخص است و دارای عدد اتمی ۳۳ است. آرسنیک شبه فلز سمی معروفی است که به سه شکل زرد، سیاه و خاکستری یافت می‌شود. آرسنیک و ترکیبات آن به‌عنوان: آفت کش علف‌کش، حشره‌کش و آلیاژهای مختلف بکار می‌روند (۹، ۱۰، ۱۱). بنابراین پژوهش حاضر جهت خطر اکولوژیکی و بررسی میزان گیاه‌پالایی عنصر سنگین آرسنیک پرداخته است.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در محدوده‌ی معدن پابدانای جنوبی (تونل ۶) با مختصات جغرافیایی "۵۶°۲۹'۲۴ طول شرقی و "۳۱°۷'۵۸ عرض شمالی صورت گرفته است. بعد از بررسی منطقه، نمونه‌برداری خاک با ابزار نمونه‌برداری فولاد ضد زنگ انجام شد و در مرحله‌ی نمونه‌برداری کلیه‌ی نکات کنترل کیفی نمونه‌برداری رعایت شد. بعد از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه بر اساس استاندارد ایزو ۱۱۴۶۶ نمونه‌ها آماده‌سازی و آرسنیک آن اندازه‌گیری شد. از گیاه روئیده در خاک معدن نمونه برداری و سپس گیاه را شسته و در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک و آسیاب گردید. نمونه‌ها به مدت ۴/۵ ساعت با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد در کوره گذاشته، سپس ۱۰ سی‌سی اسید کلریدریک ۲ مولار اضافه کرده و بر روی هیتر گذاشته تا دو سوم محلول تبخیر شود و بعد با کاغذ صافی در بالن ۵۰ سی‌سی با آب دو بار تقطیر به حجم رسانده شد. غلظت عناصر سنگین نمونه‌ها به وسیله‌ی دستگاه هیدرید جذب اتمی مدل Analytik jena ساخت آلمان اندازه‌گیری شد. داده‌ها با نرم‌افزار Excel 2016 تجزیه و تحلیل شد. تجزیه آماری مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون دانکن با احتمال آماری ۵ درصد انجام گردید.

معرفی شاخص‌های آلودگی عناصر سنگین:

الف) شاخص انباشت زمینی I_{geo}

شاخص انباشت زمینی توسط مولر معرفی شده‌است و روشی متداول برای تخمین شدت آلودگی خاک به فلزات سنگین می‌باشد این شاخص با به دست آوردن غلظت فلزات سنگین در نمونه خاک به غلظت زمینه آن فلز، به دست می‌آید و بر پایه رابطه ۱ استوار است (12).

$$I_{geo} = \mathrm{Log}_2 \frac{C_n}{1.5B_n}$$ رابطه ۱:

در این معادله ،I_{geo}: شاخص زمین انباشتگی، C_n: غلظت فلز سنگین در خاک و B_n: غلظت زمینه می‌باشد.

ب) شاخص آلودگی CF

ضریب آلودگی از تقسیم کردن غلظت عنصر در نمونه برداشت شده به غلظت همان عنصر در نمونه زمینه که از رابطه ۲ بدست می‌آید (12).

$$CF = \frac{M_x}{M_b}$$ رابطه ۲:

در این معادله M_x: غلظت عنصر در نمونه و M_b: غلظت همان عنصر در ماده مرجع می‌باشد (12).

پ) شاخص ریسک اکولوژیکی RI

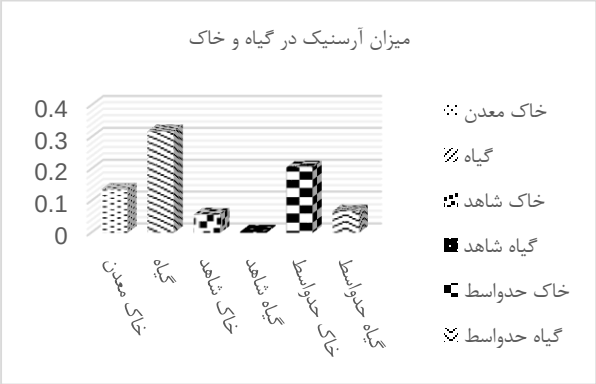
$$E_r^i = \frac{C^i}{C_0^i} \times T_r^i$$ رابطه۴:

$$RI = \sum_{i=1} E_r^i$$ رابطه۵:

در رابطه‌های ۴ و ۵، E^i_r شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیکی، T^i_r، C^i_O،C^i، که به ترتیب مقدار اندازه‌گیری شده، مقدار پیش زمینه طبیعی و فاکتور سمیت فلز می‌باشد. فاکتور پاسخ سمیت برای عنصر سنگین آرسنیک برابر ۳۰ می‌باشد (13،12).

نتایج و بحث

به منظور تعیین شدت آلایندگی خاک به عناصر سنگین در یک منطقه، ابتدا غلظت عناصر در آن منطقه با مقادیر استاندارد شناخته شده مقایسه شود. بهترین نوع مقایسه، مقایسه با استانداردهای موجود برای همان منطقه می‌باشد زیرا شرایط زمین‌شناختی و اقلیمی گوناگون در نقاط مختلف دنیا، غلظت‌های متفاوتی را ایجاد می‌کند.



شکل۱: تغیرات آرسنیک در خاک و گیاه نمونه‌برداری شده

جدول۱: طبقه‌بندی کیفی تجمع زمینی آلاینده‌ها

شاخص آلودگی I_{geo}	طبقه‌ی کیفی آلودگی
$0<I_{geo}<1$	غیرآلوده تا متوسط
$1<I_{geo}<2$	آلودگی متوسط
$2<I_{geo}<3$	آلودگی متوسط تا شدید
$3<I_{geo}<4$	آلودگی شدید
$4<I_{geo}<5$	آلودگی شدید تا بسیار شدید
$I_{geo}>5$	آلودگی بسیار شدید

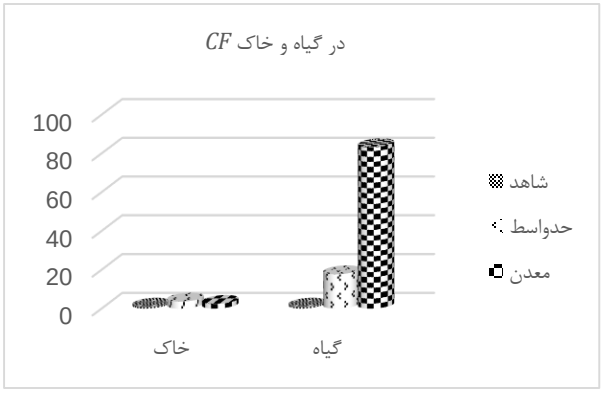
جدول۲: طبقه‌بندی کیفی شاخص آلودگی

شاخص آلودگی CF	میزان کیفی آلودگی
$CF<1$	آلودگی کم
$1\leq CF\leq 3$	آلودگی در حد متوسط
$3\leq CF\leq 6$	آلودگی در حد قابل ملاحظه
$CF\geq 6$	آلودگی بالا
-	-
-	-

جدول۳: طبقه‌بندی کیفی ریسک و پتانسیل اکولوژیکی

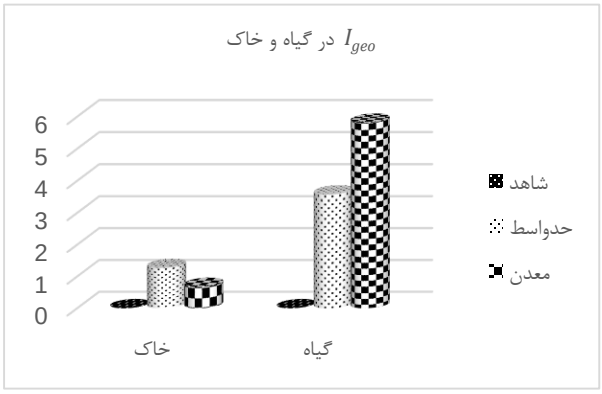
ریسک اکولوژیکی محیط‌زیستی	شاخص ریسک RI	ریسک اکولوژیکی هر فلز	E^i_r
پایین	$RI\leq 150$	پایین	$E^i_r\leq 40$
متوسط	$150\leq RI\leq 300$	متوسط	$40\leq E^i_r\leq 80$
قابل ملاحظه (زیاد)	$300\leq RI\leq 600$	قابل ملاحظه	$80\leq E^i_r\leq 160$
خیلی زیاد	$RI\geq 600$	زیاد	$160\leq E^i_r\leq 320$
-	-	خیلی زیاد	$E^i_r\geq 320$
-	-	-	-

با توجه به شکل ۱ مشخص می‌شود تغییرات آرسنیک در خاک حدواسط (محوطه انباشت باطله) بیشتر از بقیه‌ی خاک‌ها می‌باشد ولی آرسنیک جذب شده در گیاه مرغ در محدوده حدواسط (محوطه انباشت باطله) بیشتر می‌باشد. میانگین آرسنیک در گیاهان ۰/۱۶۶۱ ± ۰/۱۲۹۸ و در خاک‌ها ۰/۱۳۲۸ ± ۰/۷۴۰۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. همانگونه که در شکل ۱، نشان داده شده است، مقدار آرسنیک به ترتیب در خاک شاهد، خاک معدن و حدواسط (محوطه انباشت باطله) زیاد شده است ولی میزان جذب در گیاهان این‌طور نیست با این‌که میزان آرسنیک در خاک حدواسط از خاک معدن بیشتر است ولی گیاه روئیده در معدن، جذب افزایش یافته است.



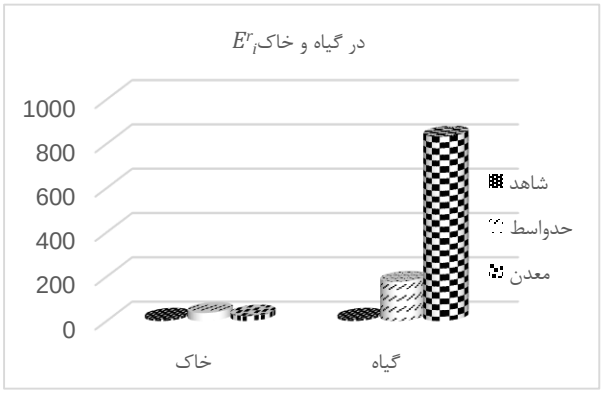
شکل۲: دامنه تغییرات شاخص CF استاندارد محیط‌زیست

شفیعی و همکاران در بررسی خاک‌های اطراف معدن مس سرچشمه، مقادیر فاکتور شاخص آلودگی عنصر آرسنیک را در تعدادی از نمونه‌ها بالاتر از غلظت زمینه‌ای گزارش کردند. بیشترین فاکتورغنی‌شدگی مربوط به مسیر رفسنجان نسبت دادندکه عامل افزایش غلظت عناصر در این مسیر مربوط به جهت باد غالب می‌باشد (۱۵) در مطالعه‌ای دیگر که توسط شریفی‌فرد و همکاران صورت گرفت تغییرات شاخص آلودگی در طبقه کیفی با آلودگی متوسط قرار گرفته است (۱۶). در مطالعه‌ای دیگر که توسط میرسنجری و همکاران صورت گرفت تغییرات شاخص آلودگی در طبقه کیفی با آلودگی متوسط قرار گرفته است (۱۷). نتایج حاصل از شاخص آلودگی بر اساس استاندارد محیط‌زیست، شکل۲ و جدول ۲ نشان می‌دهد که آرسنیک در خاک سه منطقه به ترتیب در شاهد، حدواسط و معدن افزایش می‌یابد و در طبقه کیفی به ترتیب آلودگی در حد متوسط، آلودگی در حد متوسط و آلودگی در حد قابل ملاحظه و در گیاهان بیشترین آلودگی در گیاهی که در خاک معدن روئیده و کمترین مربوط به گیاه شاهد می‌باشد. گیاه شاهد در طبقه کیفی با آلودگی در حد متوسط و گیاهان دو منطقه دیگر در طبقه کیفی با آلودگی بالا قرار می‌گیرند.



شکل۳: تغییرات در شاخص انباشت زمینی استاندارد محیط‌زیست

در مطالعه‌ای که توسط هاتفی و همکارن بر روی عناصر سنگین خاک اطراف گرانیتوئیدهای منطقه اهر انجام شده است عنصر آرسنیک دارای ریسک اکولوژیکی کم و شاخص زمین انباشت با آلودگی شدید و شاخص آلودگی با آلودگی زیاد می‌باشد (۱۴). در مطالعه‌ای دیگر که توسط شریفی‌فرد و همکاران صورت گرفت میزان تغییرات شاخص انباشت زمینی در طبقه کیفی با آلودگی کم تا زیاد قرار گرفته است (۱۶). با توجه به شکل ۳ و جدول ۱ آرسنیک در طبقه کیفی برای خاک شاهد غیر آلوده، حدواسط آلودگی متوسط و خاک معدن غیر آلوده تا متوسط و در گیاه شاهد غیرآلوده، گیاه حدواسط آلودگی شدید و گیاه رویده در خاک معدن بسیار شدید قرار می‌گیرد.



شکل۴: تغیرات ریسک کولوژیکی برای عنصر آرسنیک

در مطالعه‌ای که توسط شریفی‌فرد و همکاران صورت گرفت میزان تغییرات پتانسیل ریسک اکولوژیکی در طبقه کیفی با آلودگی بسیار زیاد قرار گرفته است (۱۶). در مطالعه‌ای دیگر که توسط میر سنجری و همکاران صورت گرفت میزان تغییرات ریسک اکولوژیکی در طبقه کیفی با آلودگی کم قرار گرفته است (۱۷).با توجه به شکل ۴ و جدول ۳ عنصر آرسنیک در خاک سه منطقه دارای ریسک اکولوژیکی پایین و در گیاه شاهد، حدواسط و گیاه رویده در خاک معدن به ترتیب در کلاس کیفی با ریسک اکولوژیکی پایین، زیاد و خیلی زیاد می‌باشند. پتانسیل ریسک اکولوژیکی خاک منطقه در طبقه کیفی پایین و برای گیاهان در طبقه کیفی خیلی زیاد قرار گرفته است.

نتیجه‌گیری

شاخص‌های آلودگی، زمین انباشت و ریسک اکولوژیکی برای استاندارد محیط‌زیست در مجموع خاک‌ها به ترتیب آلودگی بالا، آلودگی متوسط تا شدید و پایین و برای مجموع گیاهان به ترتیب آلودگی بالا، آلودگی بسیار شدید و آلودگی خیلی زیاد می‌باشد.یکی از دلایلی که خاک منطقه حدواسط دارای میزان عنصر سنگین بیشتر است آبشویی توسط باران و جابجای ریزگردها توسط باد می‌باشد. با توجه به شکل‌ها و داده‌های بدست آمده گیاه رویده (گیاه علفی مرغ) در خاک معدن (آلوده) می‌تواند جهت گیاه‌پالایی عنصر آرسنیک مورد استفاده قرار گیرد، زیرا نسبت غلظت آرسنیک در خاک و گیاه نزدیک به دو می‌باشد و این گیاه جاذب خوبی برای عنصر سنگین و سمی آرسنیک می‌باشد.

منابع

Pardakhti Alireza, Zahed Fatemeh; Pollution Indices and Ecological Risk Assessment for Heavy Metals in Side Soils of Interurban Roads, Iran; Environmental Sciences Studies, Volume 3, Number 3, Autumn, Pp 769-781, 2018.

Haghshenas A, Hatamimanesh M, Mirzaei M, Miransagari Mi, Hossein Khazri P; Measurement and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments of Pars Special Economic Region; Iran South Med J; 20(5): 448-469, 2017.

Cormont, A., J.M. Baveco, and N.M. Van den Brink. 2005. Effects of spatial foraging behaviour on risks of contaminants for wildlife. Breaking ecotoxicological restraints in spatial planning (BERISP): the development of a spatially explicit risk assessment. Report no., Alterra, Wageningen UR, Wageningen, The Netherlands, 1990.

Naderi A As, Erfani aware A; Rare elements guide; 1th ed. Shahrood University of Technology; 2008.

Abedin, M. J., Cotter-Howells, J. & Meharg, A. A. Arsenic uptake and accumulation in rice (Oryza sativa L.) irrigated with contaminated water. Plant and Soil, 240 (9), 311-319, 2002.

Chehregani A., Malayeri B. and Golmohammadi A. (2009). Effect of heavy metals on the developmental stages of ovules and embryonic sac in Euphorbia Cheirandenia, Pakistan Journal of Biological Sciences. 8: 622- 625.

Abedini M; Environmental Chemistry; 3th ed.University Publication Center; 2010.

Erfanmanesh M, Afuni M; Environmental pollution of water, soil and air; 2th ed. arcan; 2002.

Dabiri M; Environmental Pollution - Air-Water-Soil-Sound; 2th ed. Etahad; 2014.

Noori Jafar, Ferdowsi Saeed; Environmental Chemistry; 2th ed. Islamic Azad University; 2000.

Sereshti H, Environmental Analytical Chemistry, 2th ed. University of Tehran; 2014.

Azimzadeh HR, Dosavi L; Study of the Pollution Due to Heavy Metals in the Soil Near the Petrochemical Plant and Refinery of Qomishlou Wildlife Refuge; 2014; 4 Jul 67.

Cai L.M. Xu Z.C., Qi J.Y. Feng Z.Z. Xiang T.S.; Assessment of exposure to heavy metals and health risks among residents near Tonglushan mine in Hubei, China, 127 (2015), pp. 127-135.

Hatefi R., Khazari M., Khodaee K., Shahsavari A. A., Modrabari S., Asadian F.; Estimation of Pollution and Ecological Risk of Heavy Metals in Surface Soils around the Granitoids of Ahar Region - East Azarbaijan; Earth Knowledge Research, seventh year, No. 62, summer of 2016, pp. 1-20.

Shafiei, N., Shirani, H., and Esfandiarpoor Borujeni, I. Enrichment of arsenic and selenium in the soils around Sarcheshmeh copper mine. J. Soil Manage. 2: 1-11, 2013.

Sharifi Fard M., Shakeri A., Mehrabi B., Ecological Risk Assessment and the Origin of Heavy Metals and Arsenic in Surface Sediments of the Khayv River in the Sabalan Territory Northwest of Iran, Advanced Applied Geology Journal, No. 26, 2017.

Siyahati Ardakani G., Mirsanjari M., Azimzade H.r., Solgi E., Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Topsoil around Major Industries of Ardakan City, J TOLOO E BEHDASHT, School of Public Health, Yazd Shahid Sadoughi Univ Med Sci, 17(6), 2019.

16th Iranian Soil Science Congress

University of Zanjan, Iran, August 27-29, 2019

Topic for submission: Ecosystem Pollution, Human Health and Bioremediation

Ecological Risk Assessment of Arsenic in Plant and Soil around a Coal Mine

Amirsabetaki M. [1], Azimzadeh H. R. [2*], Mosleh Arani A.[3], Elmi M. R. [4]

[1] MSc Student, Department of Environmental Science, School of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University

[2] Associate Prof, Department of Environmental Science, School of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University

[3] Associate Prof, Department of Environmental Science, School of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University

[4] Assistant Prof, Department of Environmental Science, School of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University

Abstract

phytoremediation is one of the main methods for soil pollution reclamation by the usage of the herbal and woody plants. Trace elements, VOC's, and radioactive elements removed from the soil by phytoremediation. Soil and couch grass (*Elymus repens*) Samples were taken by stainless steel equipment and standard procedure. Samples were transferred to the laboratory and As were extracted according to international standard method, ISO11466. Total As of plant sample was extracted by Hydrochloric acid. Pollution indices such as Pollution Index, Geo-accumulation Index, and Ecological Risk were determined by considering the standard level of the Department of Environment. The results showed that soil pollution level is low far away from mine area, moderate, high in mining workplace area, and moderate to the high level mine tailings. Plant pollution increase from surrounding to the mining workplace areas. The result detected that couch grass was recommended for usage as a phytoremediation plant.

Keywords: Ecological risk, Arsenic, couch grass, Soil, Mine.

[*] Corresponding author, Email: hazimzadeh@yazd.ac.ir