توزیع ژئوشیمیایی و آلودگی برخی فلزات سنگین در خاک‌های اطراف معدن سرمک آهنگران

فیروزه نوروزی گلدره [۱]، قاسم رحیمی [۲] و فاطره کریمی [۳]
۱-دانشجوی کارشناسی ارشد علوم خاک گروه خاکشناسی دانشگاه بوعلی سینا ۲- استادیار علوم خاک گروه خاکشناسی دانشگاه بوعلی سینا ۳-دانشجوی دکتری علوم خاک گروه خاکشناسی دانشگاه بوعلی سینا

چکیده
هدف این مطالعه بررسی حوضه گسترش آلودگی خاک به فلزات سنگین در اطراف معدن سرمک آهنگران بود.آلودگی فلزات سنگین مس، روی، سربو کادمیوم در ۶ نقطه نمونه برداری که بصورت مرکب از خاک‌های اطراف معدن بود بررسی شد. به منظور بررسی توزیع فلزات سنگیناز شاخص‌های آلودگی نظیر آلودگی زمین انباشت (I_{geo})، شاخص آلودگی (PI)در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت.با توجه نتایج تحلیلی بدست آمده آلوده‌ترین نقاط به فلزات کادمیوم، مس، روی و سرب نقاط S_2 و S_3 بود. آلودگی توسط این فلزات در این مناطق به طور عمده ناشی از فعالیت‌های معدن‌کاوی بوده است. به طور کلی با فاصله گرفتن از معدن میزان آلودگی برای فلزات کاهش یافت، به طوری که در نقطه S_6که در دورترین فاصله از معدن قرار دارد شاخص زمین انباشت برای مس،کادمیوم،آهن، سرب در کلاس غیر آلوده قرار گرفت.

کلمات کلیدی:آلودگیخاک، شاخص‌های آلودگی،فلزاتسنگین،معدن سرمک آهنگران

مقدمه
خاک به عنوان بخشی از اکوسیستم‌های بیوژئوشیمیایی است که نقش مهمی در چرخه‌ی فلزات دارد و یک عامل مهم تحت عنوان ذخیره سازی، فیلتراسیون و انتقال املاح می‌باشد (مرینو همکاران ۲۰۰۴). فلزاتسنگیندرخاکممکن استاز طریقفعالیت‌هایکشاورزی، شهرنشینی،صنعتیو معادنوارد محیط زیست شوند. آلودگی فلزات سنگین خاک‌های اطراف معادن یکی از مشکلات زیست محیطی است. فعالیت‌های معدن اثرات جدی زیست محیطی بر خاک و آب رودخانه‌ها نیز وارد می‌کند (باتاچاریا و همکاران، ۲۰۰۶). در نتیجه، سطح بالای فلزات سنگین را می‌توان در اطراف معادن به دلیل تخلیه و انتشار ضایعات معدن در نزدیکی خاک‌های کشاورزی ، محصولات غذایی و مناطق شهری یافت. در نهایت، ممکن است این نزدیکی خطر بهداشتی بالقوه‌ای به ساکنانی که در مجاورت معادن هستند ایجاد نماید (فوجی و همکاران ۱۹۸۹).
وجود فلزات در محیط زیست به عوامل طبیعی و فعالیت‌های صنعتی وابسته می‌باشد که منابع این فلزات به دو دسته طبیعی (زمین‌زاد) و آنتروپوژنیک (انسان‌زاد) دسته بندی می‌شود. بلاستر و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که در فرایندهای خاکسازی و هوادیدگی مواد مادری، غلظت عناصر بر اساس نوع مواد مادری به آهستگی افزایش می‌یابد. اما فعالیت‌های انسانی (عوامل آنتروپوژنیک) به خصوص در هنگام استخراج معادن ممکن است غلظت فلزات سنگین در محیط زیست را بیشتر از منشأ طبیعی افزایش دهد (سیگل ۲۰۰۴). فعالیت‌های کنده‌کاری و معدنی، کارخانه‌های ذوب فلزات، سوزاندن زباله‌ها، جزء منابع انسانی یا آنتروپوژنیک هستند که فلزات سنگین را به محیط زیست وارد می‌کند.
در تحلیل‌های زیست محیطی، از شاخص آلودگی زمین انباشت[۳۹](I_{geo}) به منظور مشخص کردن سطح آلودگی و میزان تاثیر عوامل انسانی از عوامل طبیعی استفاده می‌شود. شاخص زمین انباشت برای اولین بار توسط مولر (۱۹۷۹) پیشنهاد و اندیس مولر نامیده شد. . بسیاری از محققان از شاخص آلودگی[۴۰](PI)به منظور شناسایی آلودگی چند فلز که منجر به افزایش سمیت کلی فلزات می‌شود استفاده می‌کنند (نیمیک و مور ۱۹۹۱). شاخص آلودگی نیز برای برآورد ماهیت یک محیط مورد استفاده قرار می‌گیرد (گو و همکاران، ۲۰۱۲). این شاخص به صورت غلظت یک فلز در نمونه‌های خاک به میزان غلظت همان فلز در نمونه زمینه بیان می‌گردد (چن و همکاران، ۲۰۰۱).بنابراین هدف از این مطالعه بررسی درجه آلودگی فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه و بررسی آلودگی خاک براساس شاخص آلودگی زمین انباشت (I_{geo}) و شاخص آلودگی (PI) بود.

مواد و روش‌ها
۶نمونهمرکب خاکازعمق ۰ - ۱۵ سانتیمتریتوسط بیلچه در ۶ نقطه (S_1، S_2، S_3، S_4، S_5، S_6) درفواصلمتفاوت معدن واطرافمعدن انجام شد. فاصلهنقطه S_1درمعدنونقطه S_6دردورترینفاصلهاز معدنومحل‌های S_5 و S_2، S_3، S_4مابینایندومحلقرارگرفتند برای مقایسه میزان وشدت آلودگی، یک نمونه خاک (نمونه شاهد) از منطقه غیر آلوده (اطراف دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا) نیز جمعآوریشد (جدول ۱). نمونه‌هایخاکدر داخل کیسه پلی‌اتیلن ریخته شدند و بهآزمایشگاهانتقالدادهشدند. خاک‌هاهواخشکوازالک (mm<۲)

[۳۹].Index geo-accumulation
[۴۰].Pollution index

عبوردادهشـــــــدند. خصوصیاتفیزیکیوشـــــــیمیاییخاک‌هامانند هـــــــدایت الکـــــــتریکی (EC) وپی‌اچ (PH) بانســـــــبت ۱:۵ خاکبهـآب، کربناًلیخاکباروشـوالکلی- بلـک (۱۹۳۴)،بافتخاکباروشـهیدرومتریو ظرفیـت تبـادل کـاتیونی (CEC) بـه روش اسـتات آمونیوم (راول، ۱۹۹۴) موردبررسیقرارگرفت (جـدول ۱). انـدازه‌گیریغلظت کـل فلزاتسـنگیندر خـاک بـه روش اسـپوزیتو و همکـاران (۱۹۸۲) با هضـم اسـیدی خـاک انجـام شـد. در ایـن روش مقـدار ۲ گرمـازهرنمونهرادراخلارلنریخته شـد وبههریکازنمونه‌هـا ۱۵ میلـی لیتراسیدنیتریک ۴ نرمالاضافهشدوبهمدت ۱۲ ساعتدردمای ۸۰ درجه‌سانتیگراددربنماری قرار گرفت و پس از گذشت زمان یاد شـده پالایش شد. غلظت فلزات سنگین مس، روی، منگنز، آهن، سرب، کادمیوم و نیکـل توسطدستگاهاسـپکتروفتومتر جـذب اتمـی مـدل ۲۲۰ اندازه‌گیری شد.

شاخص زمین انباشت(I_{geo})

شاخص زمین انباشت با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود و برای ارزیابی آلودگی خاک استفاده می‌شود کـه نشـان دهنـده‌ی میزان آلودگی در خاک‌های متفاوت است.

$$Igeo = \log ۲\left[C_n / ۱.۵B_n\right]$$

در این معادله C_nغلظت کل فلزات سنگین در محل مورد مطالعه و B_nغلظت همان فلز در نمونه شاهد (نقطه‌ی غیر آلوده) می‌باشـد. ضریب ۵/۱ برای حذف احتمالی زمینه به علت تاثیرات زمین شناختی اعمال می‌شود. شاخص زمین انباشتگی هفت گـروه دارد کـه بر اساس مقادیر آن خاک‌ها از غیر آلوده تا به شدت آلوده طبقه‌بندی می‌شوند (جدول ۲).

جدول۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مناطق اطراف معدن سرمک آهنگران

بافت	ظرفیت تبادل کاتیونی (cmolc/kg)	درصد ماده‌آلی	هدایت الکتریکی (ds/m)	پی‌اچ	فواصل نمونه برداری (متر)	نقاط نمونه برداری
لوم شنی	۳/۱۷	۰۶۷/۰	۱۹۵/۰	۲۳/۸	معدن سرمک	S_1
لوم رسی	۷/۲۸	۷۱۴/۱	۱۳۸/۰	۰۹/۸	۱۰۰	S_2
لوم	۸/۲۹	۸۶۶/۳	۱۹۶/۰	۵۰/۸	۳۰۰	S_3
لوم رسی	۹/۲۲	۱۷۶/۱	۱۱۱/۰	۲۵/۸	۵۰۰	S_4
لوم رسی شنی	۳/۳۰	۲۱۰/۱	۱۰۸/۰	۱۵/۸	۷۰۰	S_5
رسی	۴/۲۹	۳۴۴/۱	۱۰۸/۰	۲۴/۸	۱۰۰۰	S_6
-	۴/۲۶	۵۶۳/۱	۱۴۳/۰	۲۴/۸	-	میانگین
لوم رسی شنی	۳/۲۶	۰۴۲/۱	۱۳۲/۰	۸۵/۷	-	نقطه غیر آلوده

جدول ۲.شاخص زمین انباشت(I_{geo}) و سطوح آلودگی

سطح آلودگی	کلاس	I_{geo}
غیر آلوده	۰	I_{geo} ۰
غیر آلوده تا آلودگی متوسط	۱	۰ <I_{geo}< ۱
آلودگی متوسط	۲	۱<I_{geo}<۲
آلودگی متوسط تا آلودگی زیاد	۳	۲<I_{geo}<۳
آلودگی زیاد	۴	۳< I_{geo}<۴
آلودگی زیاد تا آلودگی شدید	۵	۴<I_{geo} ۵
آلودگی شدید	۶	I_{geo}>۶

شاخص آلودگی(PI)

به طور کلی شاخص آلودگی عبارت است از نسبت غلظت فلز مورد نظر در نمونه به غلظت همان فلز در نمـونه شـاهد (نقطه‌ی غیـر آلوده). شاخص آلودگی(PI) توسط رابطه‌ی زیر محاسبه می شود.

$$PI = C_n / S_i$$

در این معادله Cn غلظت فلز سنگین در نمونه و Si غلظت همان فلز در نمونه شاهد می‌باشد. ایـن شـاخص در چهـار کلاس آلـودگی مطابق جدول ۳ قرار می‌گیرد.

(PI)جدول۳. کلاس شاخص آلودگی

سطح آلودگی	کلاس	PI
غیر آلوده	۱	PI ۱
آلودگی کم	۲	۱ ۲>PI
آلودگی متوسط	۳	۲ ۳>PI
آلودگی زیاد	۴	PI۳<

نتایج و بحث

غلظت فلزات سنگین در نقاط مورد مطالعه

مقایسه میانگین فلزات سنگین در نقاط نمونه برداری در جدول ۵ داده شده است. با توجه به جدول ۵، بیشترین مقدار میانگین سرب در نقطه‌ی $S_۴$ که برابر ۱۳۲۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم بود یافت شد که نشان دهنده‌ی آلوده بودن این نقطه به فلز سرب است و کمترین مقدار میانگین آن در نقطه‌ی $S_۶$ برابر ۴۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم بدست آمد. اختلاف غیر معنی داری بین نقاط $S_۶$،$S_۵$،$S_۲$،$S_۱$ بانقطه‌ی غیر آلوده وجود داشت. اما مقدار میانگین سرب در نقاط $S_۱$، $S_۴$ با سایر نقاط معنی دار بود (جدول ۵). با توجه به جدول ۵ بیشترین و کمترین مقدارمیانگین فلز روی بترتیب در نقاط $S_۳$ (۵۸/۵۹۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و $S_۶$ (۶۷/۲۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) یافت شد. غلظت فلز روی در نقطه‌ی $S_۴$ با نقطه‌ی $S_۲$ تفاوت معنی داری را نشان نداد در صورتی که تفاوت معنی داری در نقطه‌ی $S_۴$ با سایر نقاط برای غلظت فلز روی دیده شد که به طور کلی مقدار میانگین غلظت فلز روی در تمام نقاط به طور معنی داری بیشتر از نمونه‌ی غیر آلوده بود.با توجه به جدول ۵، بیشترین مقدار میانگین مس(۲۵/۶۹۶) در نقطه $S_۴$ یافت شد و کمترین مقدار میانگین مس ابتدا در نقطه‌ی $S_۶$ سپس در نقطه‌ی $S_۴$ یافت شد. غلظت فلز مس در نقاط $S_۴$،$S_۳$با سایر نقاط معنی دار بود و اختلاف معنی داری بین نقاط $S_۴$ ،$S_۵$ ،$S_۶$ با نمونه‌ی غیر آلوده دیده نشد. بیشترین مقدار کادمیوم در نقطه‌ی $S_۴$ برابر ۶۵/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود و کمترین مقدار میانگین آن در نقطه $S_۶$ برابر ۸۷/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود(جدول ۵)، که با توجه به جدول ۵ اختلاف معنی داری بین تمام نقاط نمونه برداری (به جز نقاط $S_۴$،$S_۵$) دیده شد.

مطالعات و بررسی شاخص‌های آلودگی

مقدار شاخص I_{geo} برای فلز سرب در نقاط $S_۴$ و $S_۳$ در کلاس آلودگی متوسط تا زیاد قرار گرفت و برای سایر نقاط مقدار I_{geo}کمتر از صفر بود که در کلاس غیر آلوده قرار گرفتند (جدول ۶). نقاط $S_۱$،$S_۴$ و $S_۶$ از نظر شاخص آلودگی PI در کلاس غیر آلوده و نقاط $S_۴$ و $S_۳$ از نظر این شاخص در کلاس آلودگی زیاد نسبت به سایر نقاط قرار گرفتند. مقدار میانگین شاخص PIفلز سرب در تمام نقاط برابر ۳ بود که به طور کلی نقاط مورد بررسی در کلاس آلودگی متوسط قرار گرفت (جدول ۷).

بیشترین و کمترین مقدار I_{geo}برای فلز رویبه ترتیب در نقطه $S_۴$ برابر ۷/۴ و در نقطه $S_۶$ برابر ۲/۳ بود(جدول ۶). مقدار این شاخص بر اساس کلاس‌های آلودگی (جدول ۲) برای نقاط $S_۱$،$S_۴$ و $S_۳$ در محدوده‌ی آلودگی زیاد تا شدید و برای نقاط $S_۵$، $S_۴$ و $S_۶$در محدوده‌ی آلودگی زیاد قرار گرفت (جدول ۶). شاخص PI برای فلز روی در تمام نقاط در کلاس آلودگی زیاد قرار گرفت که مقدار آن بسیار بالا(در محدوده‌ی ۰/۱۴-۶/۳۸) با میانگین برابر ۷/۲۴ بود (جدول ۷).

بر اساس شاخص زمین انباشت مقدار I_{geo}برای فلز مس در نقاط نمونه برداری به ترتیب $S_۴$>$S_۳$>$S_۱$>$S_۵$>$S_۲$>$S_۶$بود (جدول ۶). نقاط $S_۱$، $S_۵$،$S_۴$ ، و $S_۶$ از نظر شاخص آلودگی (PI) درکلاس آلودگی کم وبرای نقاط $S_۲$ و $S_۳$ در کلاس آلودگی متوسط قرار گرفت (جدول ۷).

جدول۵. مقایسه‌ی میانگین فلزات سنگین بین نقاط نمونه برداری

سایت‌های نمونه برداری	Pb	Zn	Cu	Cd
$S_۱$	۲۵/۵۱۶a	۳۴/۴۴۲a	۴۴/۸۱a	۹۲۵/۳a
$S_۲$	۱۳۲۵۰b	۸۰/۵۱۹ab	۲۵/۶۹۶b	۹۸۵/۴b
$S_۳$	۷۵/۸۱۹۳c	۹۹/۵۹۶b	۱۳/۳۲۸c	۶۵۸/۶c
$S_۴$	۷۵/۶۱۸a	۱۸/۲۸۶c	۲۴/۴۵d	۴۶۸/۲d
$S_۵$	۱۷۲۵a	۳۳/۲۳۲c	۹۰/۷۰ad	۳۶۸/۲d
$S_۶$	۴۰۰a	۶۸/۲۱۷c	۱۰/۴۴d	۸۷۵/۱e

(P <۰۵/۰) حروف متفاوت درهر ستون نشان‌دهنده‌ی وجود تفاوت معنی دار بین نقاط نمونه برداری با استفاده از آنالیز مقایسهمیانگین دانکن .می‌باشد

مقدار I_{geo}برای فلزکادمیوم در نقطه S_6در کلاس غیر آلوده قرار گرفت و بیشترین مقدار متوسط کادمیوم در نقطه S_4یافت شد که این نقطه بر اساس شاخص I_{geo}در کلاس آلودگی متوسط قرار گرفت (جدول ۶). شاخص PI کادمیوم در نقاط S_4 ،S_1 و S_3 به ترتیب برابر ۴/۳ ، ۳/۴، ۳/۵ بود بنابراین این نقاط در کلاس آلودگی زیاد قرار گرفتند (جدول ۷).

به طور کلی مقدار شاخص I_{geo} برای فلز روی (تمام نقاط)، مس، سرب وکادمیوم (نقطه S_4 و S_2)، بیشتر از یک بود که نشان می‌دهد که نقاط مورد مطالعه در کلاس آلودگی متوسط تا به شدت آلوده قرار دارند که دلیل آن قرار گرفتن این نقاط در معرض فعالیت‌های معدن‌کاوی و معدن‌کاری می‌باشد.در بین فلزات، فلز روی بیشترین مقدار PI را در تمام نقاط دارد. با توجه به این شاخص نقاط S_4و S_2 آلوده‌ترین نقاط بودند به دلیل اینکه این نقاط در فاصله‌ی نزدیکتری نسبت به معدن قرار داشتند و بیشتر از سایر نقاط نمونه برداری تحت تاثیر فعالیت‌های معدن‌کاری قرار گرفته بودند. براساس مقدار میانگین PI در جدول ۸ مقدار این شاخص برای تمام فلزات در منطقه‌ی مورد مطالعه به ترتیب Zn> Cu > Cd > Pb می‌باشد. در مطالعات لیانگ و همکاران (۲۰۱۳) مقدار PIبرای فلزات مس، روی، سرب و کادمیوم به ترتیب Cd > Cu Zn> Pb بدست آمد.

فلزات سنگین برای نقاط مناطق مورد(I_{geo})جدول۷.مقادیر شاخص زمین انباشت مطالعه

فلزات	نقاط نمونه برداری						
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	میانگین
Pb	۲-	۷/۲	۲	۸/۱-	۳/۰-	۴/۱-	-۱/۰
Zn	۳/۴	۵/۴	۷/۴	۶/۳	۳/۳	۲/۳	۹/۳
Cu	۶/۰	۷/۳	۶/۲	۲/۰-	۴/۰	۳/۰-	۱/۲
Cd	۸/۰	۲/۱	۶/۱	۱/۰	۰۸/۰	۳/۰-	۶/۰

فلزات سنگین برای نقاط مناطق مورد مطالعه (PI)جدول۸.مقادیر شاخص آلودگی

فلزات	نقاط نمونه برداری						
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	میانگین
Pb	۴/۰	۶/۹	۹/۵	۴/۰	۲/۱	۳/۰	۰/۳
Zn	۶/۲۸	۶/۳۳	۶/۳۸	۵/۱۸	۰/۱۵	۰/۱۴	۷/۴۷
Cu	۱/۲	۸/۱۷	۴/۸	۲/۱	۸/۱	۱/۱	۴/۵
Cd	۴/۳	۳/۴	۸/۵	۱/۲	۱/۲	۶/۱	۲/۳

منابع

Bhattacharya A, Routh J, Jacks G, Bhattacharya P, Mo ¨rth M(۲۰۰۶) Environmental assessment ofabandoned mine tailingsin Adak, Va ¨sterbotten district (northern Sweden). Appl Geochem ۲۱:۱۷۶۰-۱۷۸۰.

Blaster, P.,S. Zimmermann, J. and Luster shotky, W. (۲۰۰۰) "Critical examination of trace element enrichment and depletion in soils: As, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in swiss forest soil" Science of The Total Environment . ۲۴۹۰ : ۲۵۷-۲۸۰.

Chen, T. B., Zheng, Y. M., Lei, M., Huang, Z. C., Wu, H. T., Chen, H., Fan, K. K., Yu, K., Wu, X. & Tian, Q. Z., (۲۰۰۱) "Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China". Chemosphere, ۶۰ (۴): ۵۴۲-۵۵۱.

Fuge R, Paveley CF, Holdham MT (۱۹۸۹) Heavy metal contaminationin the Tanat Valley, NorthWales. Environ Geochem Health۱۱:۱۲۷-۱۳۵.

Merain E, Anke M, Inant M, Stoeppler M (۲۰۰۴) Elements and theircompound in the environment, ۲nd edn. Wiley-VCH GMBH ۸CO, KGA, Weinheim, p ۱۲۴۷.

Muller, G.; ۱۹۷۹; "Schwermetalle in den sedimenten des Rheins Veranderungen seit ۱۹۷۱", Umschau Vol. ۷۹, No. ۲۴, pp. ۷۷۸- ۷۸۳.

Nimick DA, Moor JM (۱۹۹۱) Prediction of water-soluble metalconcentrations in fluvial deposited tailings sediments, UpperClark Fork Valley, Montana, USA. Appl Geochem ۶:۶۳۵-۶۴۶.
Siegel FR (۲۰۰۴) Environmental geochemistry of potentially toxicmetals. Springer, Heidelberg ۲۱۵ pp.
Sposito, G., Lund, L.J. and Chang, A. C. (۱۹۸۲) "Trace metal chemistry in arid zone field soils amended with sewage sludge: i. fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in solid phases . Soil sci. soc. Am. ۴۶: ۲۶۰-۲۶۴
Guo, G., Wu, F., Xiem F. & Zhang, R.)۲۰۱۲("Spatialdistribution and pollution assessment of heavy metals inurban soils from southwest China". Journal of Environmental Sciences, ۲۴ (۳): ۴۱۰-۴۱۸.

Abstract

The aim of this study was to evaluate development of soil heavy metals contamination in the surrounding mining Sormak Ahangran.Pollution of copper, zinc, lead and cadmiumwas determined in ۶ soil sampling points around the mine. Moreover, pollution indices, such as Index geo-accumulation(I_{geo}), Pollution index(PI) were used for distribution of heavy metal. As a result, high level of cadmium, copper, zinc and lead were located at $S_۲$ and $S_۱$ areas respectively. It was mainly due to mining activities. Generally the pollution rate for the metals decreased with distance from mine, inwhere site $S_۶$was far away from mine and I_{geo} for metals classified in not polluted.