

## غلظت فلزات سنگین در خاک‌های آلوده شده در اثر فعالیت کارخانه ذوب روی در جزیره قشم

فرید مر، ساره کارگر

دانشگاه شیراز- دانشکده علوم- بخش علوم زمین

فاطمه راست منش

دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده علوم زمین

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۳/۲۶

sarekargar@yahoo.com

### چکیده

یکی از راه‌های ورود فلزات سنگین بالقوه سمناک به محیط زیست و بوم سامانه خاک، کارخانه‌های ذوب کانسنگ‌های فلزی هستند. در این مطالعه غلظت فلزات سنگین در خاک اطراف کارخانه ذوب روی در جزیره قشم بررسی شد. با توجه به قرار گرفتن این کارخانه در نزدیکی ساحل خلیج فارس، ارزیابی آلودگی فلزات سنگین ناشی از فعالیت این کارخانه بر محیط زیست پیرامون آن ضرورت می‌یابد. نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های زیست محیطی ضریب زمین انباشت (I<sub>geo</sub>)، ضریب آلودگی (C<sub>f</sub>) و درجه آلودگی (C<sub>deg</sub>) نشان می‌دهد که خاک اطراف کارخانه نسبت به فلزات سنگین به ویژه فلزات Zn و As, Cd, Pb, Sb به شدت آلوده شده است. با افزایش فاصله از کارخانه از میزان آلودگی فلزات آلاینده کاسته می‌شود. محاسبه شاخص خطر بوم شناختی برای فلزات سنگین در نمونه‌های خاک، آلودگی بسیار بالا و در نتیجه افزایش خطر بوم شناختی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. آزمون تحلیل مولفه اصلی نیز تایید کننده نقش کارخانه ذوب روی در آلودگی خاک در منطقه می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** کارخانه ذوب روی، فلزات سنگین، آلودگی، خاک، جزیره قشم

### مقدمه

مقدار و نوع کانی‌های رسی، اکسی هیدروکسیدهای آهن-منگنز و ماده آلی) و خصوصیات فیزیکوشیمیایی (از قبیل pH و شرایط احیا) آن و همچنین به وسیله فرایندهای واکنشی از قبیل جذب و رسوب/باز رسوب تعیین می‌شود. این خصوصیات پیوندهای شیمیایی تشکیل شده عناصر و توزیع آن‌ها در فازهای اصلی و اجزای سیستم خاک را تعیین می‌کنند (Nannoni et al, 2011).

تاکنون مطالعات متعددی بر روی اثرات زیست محیطی ناشی از فعالیت کارخانه‌های ذوب فلزات صورت گرفته است. از جمله مطالعات انجام شده در ایران میتوان به موارد زیر اشاره کرد: مطالعه اثرات زیست محیطی کارخانه ذوب مس سرچشمه (راست منش، ۱۳۸۸)، مطالعه اثرات زیست محیطی کارخانه ذوب سرب و روی معدن انگوران (قشلاقی، ۱۳۸۸)، بررسی آلودگی فلزات سنگین حاصل از کارخانه ذوب آهن اصفهان بر منابع خاک و محصولات کشاورزی (صدرارحامی، ۱۳۸۵)، غلظت منگنز و نیکل در خاک و گونه‌های گیاهی در منطقه استقرار کارخانه ذوب آهن اصفهان (هودجی و صدرارحامی، ۱۳۸۶) و بررسی تاثیر کارخانه سرب و روی زنجان بر آلودگی خاک تا شعاع ۱۰ کیلومتری کارخانه (گلچین و شفیعی، ۱۳۸۵).

اثر انسان بر روی زیست کره بسیار وسیع و پیچیده بوده و اغلب منجر به تغییرات برگشت ناپذیری می‌شود. همه تغییرات انسان زاد تعادل طبیعی هر بوم سامانه‌ای که به تدریج طی یک دوره طولانی تشکیل شده را بر هم می‌زند. بنابراین، این تغییرات اغلب منجر به فروکاهی محیط زیست انسانی می‌شود (Stafilov et al, 2010). آلودگی زیست محیطی ایجاد شده به وسیله معدنکاری و صنایع ذوب فلزات یک مسئله جهانی بوده و موجب افزایش نگرانی در میان دانشمندان شده است. علاوه بر نابودی پوشش گیاهی و فرسایش زمین‌های کشاورزی که مستقیماً به وسیله فعالیت‌های معدنکاری و ذوب فلزات سبب می‌شود، رها سازی فلزات سنگین یک مسئله جدی برای محیط زیست است (Yang et al, 2009). فلزات سنگین به دلیل داشتن اثرات مضر، غالباً بخاطر ماندگاری و سمناکی، بر روی سلامتی انسان شناخته شده هستند (Stafilov et al, 2010). صنایع ذوب سرب و روی یکی از منابع اصلی ورود آلاینده‌های فلزی به محیط زیست می‌باشد که منجر به آلودگی خاک و اثرات زیست محیطی مضر می‌شود (Li et al, 2011). رفتار عناصر شیمیایی در خاک اساساً بوسیله ترکیب (از قبیل

ویژگی مناطق گرم، با رطوبت هوای نسبتاً بالا (که شامل یک فصل طولانی گرم و مرطوب هوا و یک فصل کوتاه معتدل است) خلاصه می‌شود. متوسط بارندگی سالیانه حدود ۱۵۵ میلی‌متر است. جهت وزش باد غالب از سمت جنوب غرب و جنوب و سرعت متوسط آن ۳/۵ تا ۵ متر بر ثانیه در پاییز و ۵/۵ تا ۸ متر بر ثانیه در زمستان است (امری کاظمی ۱۳۸۳). شرکت ذوب و احیای روی قشم در استان هرمزگان، در ۴۵ کیلومتری قشم و ۲۵ کیلومتری بندرعباس در ۲۶ درجه و ۵۳ دقیقه و ۵۶ ثانیه شمالی و ۵۵ درجه و ۵۲ دقیقه و ۲۲ ثانیه شرقی در مسیر جاده درگهان به لافت در شهرک صنعتی فراچین واقع شده است. ارتفاع این منطقه از سطح دریا ۸/۸۴ متر بوده و فاصله این کارخانه تا روستای لافت ۱۰ کیلومتر می‌باشد. این شرکت به همراه شرکت تولید روی بندرعباس از شرکت‌های تابعه کالسیمین به شمار می‌روند. این کارخانه در سال ۷۸-۱۳۷۷ توسط شرکت NFC چین مورد بهره برداری قرار گرفت. خوراک این شرکت کنسانتره روی و محصول خروجی این شرکت شمش روی می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

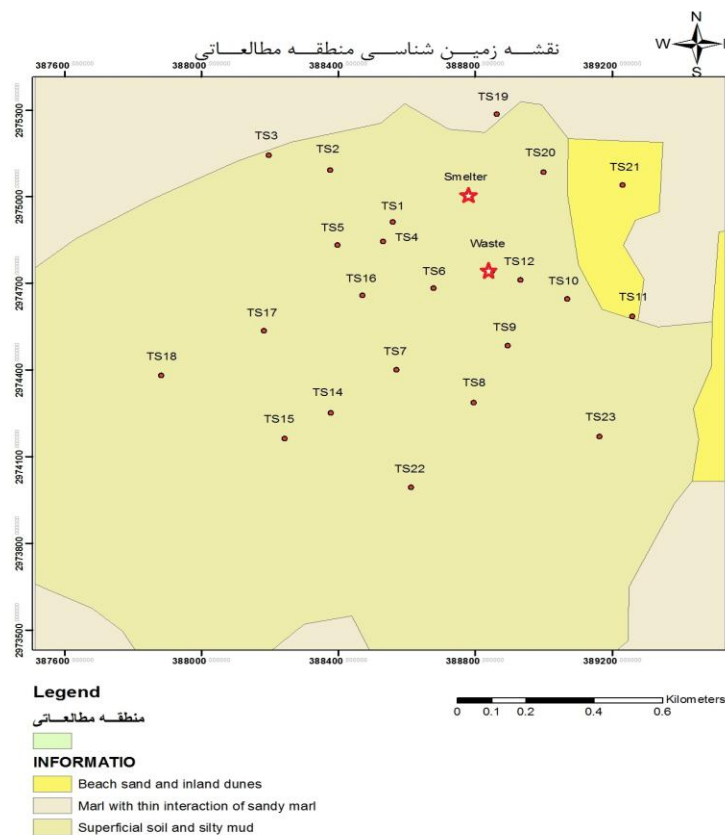
نمونه برداری از محیط زمین شیمیایی خاک از ۵-۰ سانتی‌متر (۲۳ نمونه) در جهت باد غالب در منطقه و خلاف جهت آن و همچنین اطراف کومه باطله انجام شد (شکل ۱). برای برداشت هر نمونه خاک سطحی، مساحتی با ابعاد ۱ متر مربع از خاک در نظر گرفته شد و پنج زیر نمونه از نقاط مختلف آن برداشت شده و مخلوط گردید تا از این طریق یک نمونه مرکب به وزن تقریبی ۱ کیلوگرم به دست آید.

ارزیابی خطرات زیست محیطی عناصر بالقوه سمناک، راهنمایی لازم برای اولویت بندی مشکلات زیست محیطی موجود، ارزیابی روش‌های فنی برای پاکسازی یا کاهش غلظت آن‌ها، و تخصیص بودجه برای پاکسازی را ارائه می‌دهد. کارخانه فراوری و ذوب روی باعث ورود فلزات بالقوه سمناک از قبیل کادمیم به صورت ذرات معلق به جو و حمل آن تا مسافت‌های طولانی می‌شود. از آنجا که کارخانه ذوب روی قشم در مجاورت ساحل خلیج فارس قرار دارد، ارزیابی اثرات زیست محیطی حاصل از فعالیت این کارخانه بر روی محیط زیست ضروری است. اهداف این مطالعه عبارت است از:

۱. تعیین غلظت فلزات سنگین Zn و As, Cd, Co, Pb, Sb, Se در ارتباط با فعالیت کارخانه ذوب روی؛
۲. ارزیابی وسعت آلودگی خاک به فلزات سنگین در اثر فعالیت کارخانه؛
۳. ارزیابی خطر زیست محیطی فلزات سنگین در خاک با استفاده از شاخص خطر زیست محیطی.

### موقعیت جغرافیایی و آب و هوایی منطقه

جزیره قشم با وسعت ۱۵۰۴ کیلومتر مربع بزرگ‌ترین جزیره خلیج فارس می‌باشد که در مختصات ۲۶ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۲۷ درجه عرض شمالی و ۵۵ درجه و ۱۶ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۱۷ دقیقه طول شرقی واقع شده است. ارتفاع جزیره از سطح دریا صفر تا ۳۸۰ متر می‌باشد. قشم در گروه سرزمین‌های گرم و خشک قرار می‌گیرد و این در حالی است که رطوبت نسبی هوا در قشم بالاست. دمای متوسط سالیانه جزیره قشم حدود ۲۶ درجه سانتی‌گراد است. آب و هوای جزیره قشم با



شکل ۱. نقشه زمین شناسی منطقه (برگرفته از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ قشم حقی پور و آقائاتی) و موقعیت نقاط نمونه برداری

وسعت آلودگی خاک به فلزات سنگین در منطقه شاخص‌های زیر استفاده شد. جهت تفکیک خاک‌های آلوده از غیرآلوده از ضریب زمین انباشت (Geoaccumulation Index) استفاده می‌شود. ضریب زمین انباشت در اصل به‌وسیله مولر (Muller) در سال ۱۹۶۹، برای تعیین و تعریف آلودگی فلزی در رسوبات، به‌وسیله مقایسه کردن غلظت فلزی حال حاضر با سطوح پیش از صنعتی شدن، تعریف شد (Qingjie et al, 2008). این ضریب از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$I_{geo} = \log_2(C_n / 1.5 B_n)$$

که  $C_n$  غلظت فلز در نمونه خاک مورد مطالعه، و  $B_n$  غلظت فلز در نمونه زمینه یا مرجع است. ضریب ۱.۵ برای حذف تاثیر لیتولوژی‌های مختلف در منطقه است. ارزیابی آلودگی خاک همچنین با استفاده از ضریب آلودگی (Contamination Factor) و درجه آلودگی (Contamination Degree) انجام می‌شود (Hakanson 1980; Rastmanesh et al 2010; Iqbal et al 2011).

ضریب آلودگی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$C_f^i = C^{i-1} / C_n^i$$

سپس نمونه‌ها در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده و درب آن کاملاً بسته شد و بر روی هر پاکت شماره و محل نمونه ثبت گردید، بعد از انتقال به آزمایشگاه، نمونه‌های خاک در دمای معمولی خشک گردید، پس از آن ذرات کوچکتر از ۲ میلی‌متر توسط الک جدا شدند. پس از آسیاب و همگن سازی نمونه‌ها، برای تعیین غلظت عناصر سنگین به روش (ICP-MS) به استرالیا ارسال شدند. کسر کوچکتر از ۲ میلی‌متر و آسیاب نشده نمونه‌ها برای تعیین بافت خاک به روش هیدرومتری استفاده شد. pH خاک به روش سوسپانسیون ۲/۵: ۱ خاک و آب مقطر توسط pH متر تعیین شد. برای تعیین ماده آلی خاک از روش "والکلی - بلاک" (Mc Cleod 1975) استفاده شد. در این روش خاک را در سولفوریک اسید غلیظ و بی کرومات قرار داده و بعد از اتمام واکنش اکسایش - کاهش، بی کرومات باقیمانده با فرو آمونیم سولفات تیترو می‌گردد. در جدول (۱) غلظت عناصر آرسنیک، روی، کادمیم، کبالت، آنتیموان، سلنیم و سرب و مقادیر pH و ماده آلی در نمونه‌های خاک منطقه مطالعاتی نشان داده شده است. در این جدول نمونه Cpoint (Control point) در فاصله ۲۰ کیلومتری کارخانه در خلاف جهت باد برداشت و به عنوان زمینه محلی در محاسبات به کار گرفته شد. برای ارزیابی

جدول ۱. غلظت عناصر و برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در نمونه‌های مطالعه شده

شماره نمونه	As(ppm)	Cd(ppm)	Co(ppm)	Pb(ppm)	Sb(ppm)	Se(ppm)	Zn(ppm)	pH	OC%
TS1	۵۶	۲۸/۶	۱۹	۲۳۸	۹/۴	۰/۰۹	۱۹۷۰	۷/۹۳	۰/۵۸
TS2	۱۹/۳	۴/۷۷	۱۲/۳	۵۳/۳	۱/۹	۰/۴۳	۴۰۲		
TS3	۱۷/۸	۳/۹۷	۱۱/۶	۵۵/۳	۱/۷	۰/۳۵	۳۰۲	۷/۵۵	۰/۲۹
TS4	۱۰۶	۵۱	۲۵/۴	۴۴۵	۱۵/۵	۰/۵۲	۳۹۵۰		
TS5	۲۱/۵	۱۳	۱۲/۹	۸۸/۷	۲/۵	۰/۰۵	۷۲۵		
TS6	۱۳۲	۱۳۷	۳۵/۱	۶۰۸	۱۸/۶	۰/۲	۵۲۱۰	۷/۹۳	۰/۱۴
TS7	۳۲/۴	۲۸/۷	۱۸/۴	۱۴۰	۴/۴	۰/۱۹	۱۰۵۰	۷/۸	۰/۴۷
TS8	۱۳/۳	۳/۳۸	۱۴/۲	۲۱/۴	۰/۶	۰/۳۲	۱۵۷	۷/۷۷	۰/۱۶
TS9	۱۶/۳	۷/۴	۱۳/۴	۳۶/۵	۱	۰/۵۴	۲۸۴	۸/۱	۰/۲
TS10	۸۰	۵۳/۹	۱۷/۷	۳۲۸	۵/۲	۰/۶	۷۵۵	۷/۲۵	۰/۷۴
TS11	۱۴/۸	۳/۱۳	۱۴/۷	۵۳/۹	۱/۳	۰/۲۲	۴۷۶	۸/۱۶	۰/۴۳
TS12	۱۳۵	۲۲۳	۴۶/۴	۹۴۰	۱۹	۰/۶۴	۳۴۶۰۰	۶/۵۸	۰/۵۹
TS14	۱۱/۱	۵/۲۴	۱۳/۱	۱۱۵	۰/۸	۰/۱۹	۲۲۶		
TS15	۲۱/۷	۱۳/۹	۱۸/۱	۷۷/۷	۲/۹	۰/۲۹	۷۴۶		
TS16	۵۶/۳	۳۴/۴	۲۱/۶	۲۰۷	۷/۹	۰/۲۱	۱۵۴۰	۷/۵۳	۰/۳۸
TS17	۱۴/۸	۴/۴۴	۱۳/۵	۳۲/۳	۱/۱	۰/۳۱	۳۲۸		
TS18	۹/۵	۲/۲۲	۱۱/۶	۱۵/۴	۰/۵	۰/۱۶	۱۲۱	۸/۲۱	۰/۰۹
TS19	۴۸/۱	۲۰/۹	۱۸/۴	۱۷۹	۱۰/۱	۰/۸۶	۱۵۸۰	۷/۳۷	۰/۳۴
TS20	۲۰۴	۱۵۷	۵۳/۱	۱۶۲۰	۳۷/۸	۰/۸۸	۱۶۶۰۰		
TS21	۷۶/۱	۶۳/۳	۲۲/۴	۳۲۸	۱۰/۴	۰/۱۹	۱۷۲۰	۷/۰۱	۰/۳۸
TS22	۱۱/۹	۱/۷۱	۱۳/۲	۱۷/۱	۰/۵	۰/۳۱	۸۰/۲	۷/۷	۰/۳۴
TS23	۶/۸	۰/۹۲	۱۲/۷	۹/۹	۰/۴	۰/۲۳	۶۲/۸	۷/۲۶	۰/۵
Cpoint	۶/۲	۰/۹۹	۱۲/۳	۶/۳	۰/۳	۰/۱	۸۹	۷/۷۸	۰/۷۶

در جدول (۲) شاخص‌های محاسبه شده در این مطالعه ارائه شده اند. در خاک‌ها، اکسیدهای (هیدروکسیدها) آهن و آلومینیم توانایی تثبیت قوی بر روی فلزات سنگین دارند، که به طور قابل توجهی دسترس پذیری آن‌ها در خاک را تحت تاثیر قرار می‌دهد. بنابراین، شاخصی به نام درجه اشباع فلزات (Saturation degree of metals) برای توصیف توانایی تثبیت اکسیدها (هیدروکسیدها) و دسترس پذیری فلزات سنگین در خاک‌ها معرفی شد. این شاخص از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$SDM = 1000 \times \sum(C_i / AW_i) / \sum(O_i / OAW_i)$$

که  $C_i$  غلظت فلز مورد نظر در خاک،  $AW_i$  وزن اتمی فلز مورد نظر،  $O_i$  غلظت آهن یا آلومینیم در خاک، و  $OAW_i$  وزن اتمی آهن یا آلومینیم است.  $SDM$  بالاتر دسترس پذیری بیشتر را نشان داده، در حالی که  $SDM$  پایین‌تر تثبیت قوی فلزات سنگین در خاک‌ها را نشان می‌دهد، که امکان تحرک یا تثبیت فلزات سنگین را پیشنهاد می‌کند (Yang et al, 2009).

آزمون تحلیل عاملی یکی از روش‌های تعیین ارتباط بین عناصر و دیگر پارامترهای مورد بررسی است. در این مطالعه از تحلیل مولفه اصلی (PCA) به عنوان روش استخراج و از varimax rotation برای نمایش بهتر داده‌ها استفاده شد.

که  $C_i^{-1}$  غلظت فلز در نمونه‌های خاک و  $C_{ii}^1$  مقادیر مرجع پیش از صنعتی شدن (مقادیر زمینه) برای فلز هستند. مجموع ضرایب آلودگی برای همه عناصر تجزیه شده، درجه آلودگی محیط زیست را نشان می‌دهد که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$C_{deg} = \sum C_f$$

در این مطالعه از مقدار زمینه محلی برای محاسبه شاخص‌های بالا استفاده شده است.

روش ارزیابی خطر بوم شناختی بالقوه (Potential ecological risk) اولین بار به وسیله هاکانسون (Hakanson, 1980) معرفی شد و به طور گسترده‌ای برای ارزیابی آلودگی خاک و رسوب به کار گرفته شد (Li et al 2011; Dehghan et al 2009; Liu et al 2009; Krupadam et al 2006). این شاخص از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$RI = \sum E_i = \sum T_i \times C_i$$

که  $RI$  شاخص خطر بوم شناختی بالقوه برای منطقه مورد مطالعه،  $E_i$  ضریب خطر بوم شناختی بالقوه برای آلاینده (i)،  $T_i$  ضریب سمیت - پاسخ برای یک آلاینده است، همانگونه که به وسیله هاکانسون محاسبه شد :

$$Cd = 30, As = 10, Co = Pb = 5, Zn = 1$$

$C_i$  ضریب آلودگی برای آلاینده‌های مختلف است.

جدول ۲. رده بندی شاخص‌های  $E_i$ ,  $C_{deg}$ ,  $C_f$ ,  $I_{geo}$  و  $RI$

مقادیر	کیفیت خاک	مقادیر	کیفیت خاک
$0 > I_{geo}$	نا آلوده	$E_i < 40$	خطر بوم شناختی پایین
$1 > I_{geo} > 0$	نا آلوده تا آلودگی متوسط	$40 \leq E_i < 80$	خطر بوم شناختی متوسط
$2 > I_{geo} > 1$	آلودگی متوسط	$80 \leq E_i < 160$	خطر بوم شناختی قابل توجه
$3 > I_{geo} > 2$	آلودگی متوسط تا شدید	$160 \leq E_i < 320$	خطر بوم شناختی بالا
$4 > I_{geo} > 3$	آلودگی شدید	$E_i \geq 320$	خطر بوم شناختی بسیار بالا
$5 > I_{geo} > 4$	آلودگی شدید تا بینهایت آلوده		
$I_{geo} > 5$	آلودگی بینهایت		
$C_f < 1$	ضریب آلودگی پایین	$RI < 150$	خطر بوم شناختی پایین
$1 \leq C_f < 3$	ضریب آلودگی متوسط	$150 \leq RI < 300$	خطر بوم شناختی متوسط
$3 \leq C_f < 6$	ضریب آلودگی قابل ملاحظه	$300 \leq RI < 600$	خطر بوم شناختی قابل توجه
$6 \leq C_f$	ضریب آلودگی بسیار بالا	$RI \geq 600$	خطر بوم شناختی بسیار بالا
$C_{deg} < 8$	درجه آلودگی پایین		
$8 \leq C_{deg} < 16$	درجه آلودگی متوسط		
$16 \leq C_{deg} < 32$	درجه آلودگی قابل ملاحظه		
$32 \leq C_{deg}$	درجه آلودگی بسیار بالا		

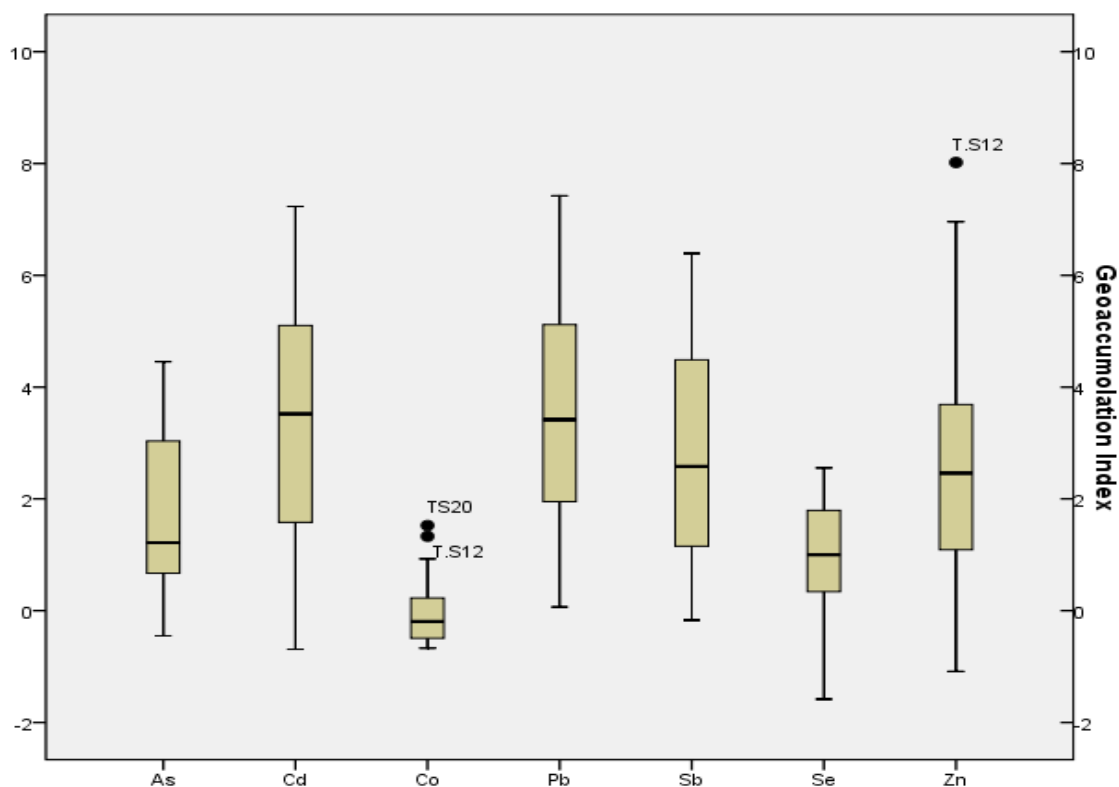
بحث

بر طبق جدول (۱) pH خاک در محدوده خنثی تا بازی بوده، و بنابراین انتظار می‌رود که تحرک فلزات محدود شود. درصد ماده آلی در خاک نسبتاً پایین بوده و بنابراین می‌توان انتظار داشت که نقش کمتری در تحرک یا عدم تحرک فلزات داشته باشد. بر اساس شاخص زمین انباشت As در محدوده آلودگی متوسط تا خیلی بالا، Pb، Cd، Sb و Zn در محدوده آلودگی متوسط تا فوق العاده بالا، Se در محدوده نا آلوده تا آلودگی متوسط و Co در محدوده نا آلوده قرار می‌گیرند. شکل (۲) نتایج محاسبه شاخص زمین انباشت را نشان می‌دهد.

نتایج آمار توصیفی مربوط به هفت فلز بالقوه سمناک آرسنیک، کادمیم، سرب، روی، کبالت، سلنیم و آنتیموان در جدول (۳) آورده شده است. با توجه به نتایج مشخص می‌شود که غلظت فلزاتی نظیر آرسنیک، کادمیم، سرب و روی در نمونه‌های خاک اطراف کارخانه بسیار بالا بوده، و فلز روی بیشترین میانگین و میانه را دارا است. تحرک عناصر در خاک تا حد زیادی به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بستگی دارد. در این میان pH و ماده آلی خاک می‌توانند تحرک فلزات را تغییر دهند (Denaix et al, 2001). pH و مقدار ماده آلی نسبتاً بالا تحرک فلزات را محدود می‌کنند (Kapusta et al, 2011).

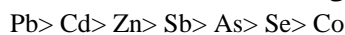
جدول ۳. آمار توصیفی غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک

Descriptive Statistics	As (ppm)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Pb (ppm)	Sb (ppm)	Se (ppm)	Zn (ppm)
Mean	۴۸/۳	۳۸/۷	۱۹/۶	۲۴۴/۲	۶/۷	۰/۳۴	۳۱۷۲/۸
Median	۲۱/۵	۱۳/۹	۱۴/۷	۸۸/۷	۲/۵	۰/۲۹	۷۲۵
Minimum	۶/۲۰	۰/۹۲	۱۱/۶	۶/۳	۰/۳	۰/۰۵	۶۲/۸
Maximum	۲۰۴	۲۲۳	۵۳/۱	۱۶۲۰	۳۷/۸	۰/۸۸	۳۴۶۰۰



شکل ۲. نمودار جعبه‌ای شاخص زمین انباشت

با توجه به شکل (۲) میزان آلودگی خاک به فلزات سنگین بر اساس شاخص زمین انباشت از توالی زیر پیروی می‌کند:



شکل (۳) نتایج حاصل از محاسبه ضریب آلودگی را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، ضریب آلودگی برای فلزات سرب، روی، کادمیم و آرسنیک در نمونه‌های مجاور کارخانه بی نهایت بالا بوده و با افزایش فاصله از کارخانه از میزان آلودگی خاک به فلزات سمناک کاسته می‌شود. ضریب آلودگی برای کبالت متوسط، برای آنتیموان متوسط تا بسیار بالا و برای سلنیم متوسط تا قابل ملاحظه، به جز برای نمونه‌های TS12، TS19 و TS20 که در محدوده بینهایت بالا قرار دارند، برآورد شد. بر اساس درجه آلودگی محاسبه شده، خاک اطراف کارخانه درجه آلودگی متوسط تا بینهایت بالا را نشان می‌دهند. در نقاط نزدیک به کارخانه و کومه باطله درجه آلودگی بینهایت بالا بوده و با دور شدن از کارخانه از میزان آلودگی کاسته می‌شود. خطر بوم شناختی بالقوه برای پنج فلز آرسنیک، کادمیم، کبالت، سرب و روی محاسبه شد که نتایج آن در شکل (۴) آورده شده است. با توجه به ضریب خطر ( $E_i$ ) محاسبه شده، درجه خطر برای هر فلز سنگین به صورت زیر است:

کادمیم: خطر بوم شناختی بسیار بالا.

آرسنیک: خطر بوم شناختی قابل توجه تا بالا در نواحی نزدیک به کارخانه ذوب

سرب: خطر بوم شناختی قابل توجه تا بسیار بالا

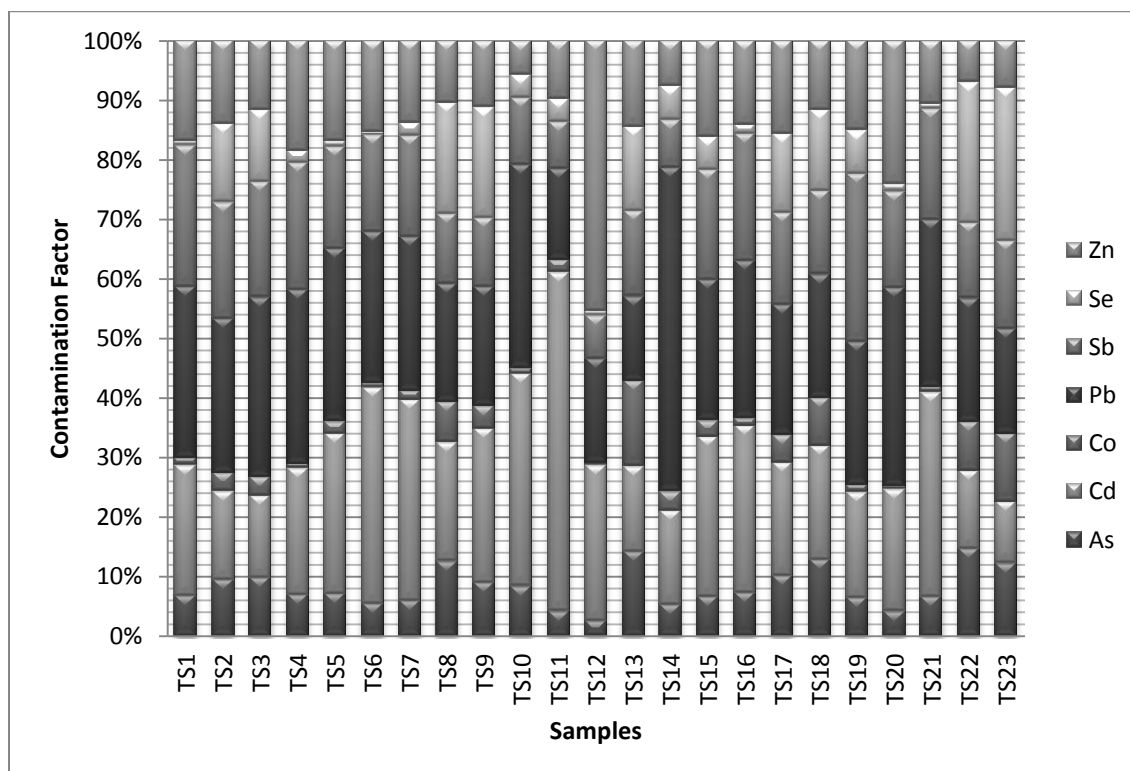
روی: خطر بوم شناختی پایین تا متوسط

کبالت: خطر بوم شناختی پایین.

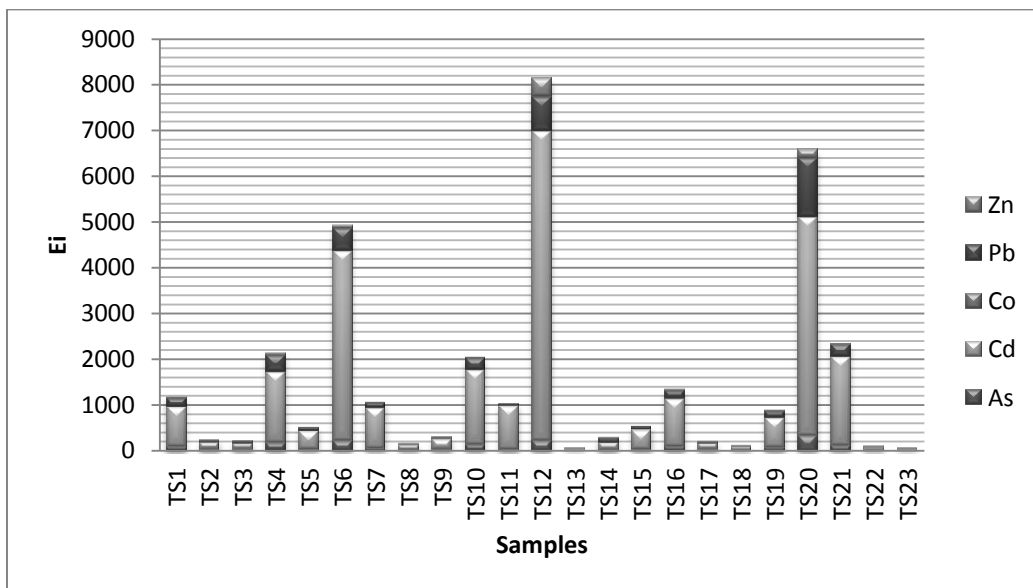
شاخص خطر بوم شناختی بالقوه (RI) محاسبه شده برای نمونه‌های خاک، در تمامی نقاط نزدیک به کارخانه و کومه باطله بسیار بالا بوده و در نتیجه میزان آلودگی بسیار بالا و افزایش خطر بوم شناختی در این نواحی را نشان می‌دهد. سهم عناصر سمناک مختلف در شاخص خطر بوم شناختی بالقوه (RI) به صورت زیر کاهش می‌یابد:



نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های زیست محیطی نشان می‌دهد که بیشترین مقدار این شاخص‌ها متعلق به نقاط نزدیک به کارخانه و کومه باطله است. همچنین مقادیر برای نقاط پیرامون کومه باطله (TS12 و TS20)، بسیار بیشتر از نقاط مجاور دودکش است. دلیل بالا بودن غلظت فلزات سنگین در نمونه TS20 (خلاف جهت باد غالب) را می‌توان به آبشویی این فلزات توسط رواناب سطحی ناشی از بارندگی، از کومه باطله و حمل آن به محیط پیرامون نسبت داد. جدول (۴) و شکل (۵) نتایج حاصل از محاسبه شاخص درجه اشباع فلزات را نشان می‌دهد.



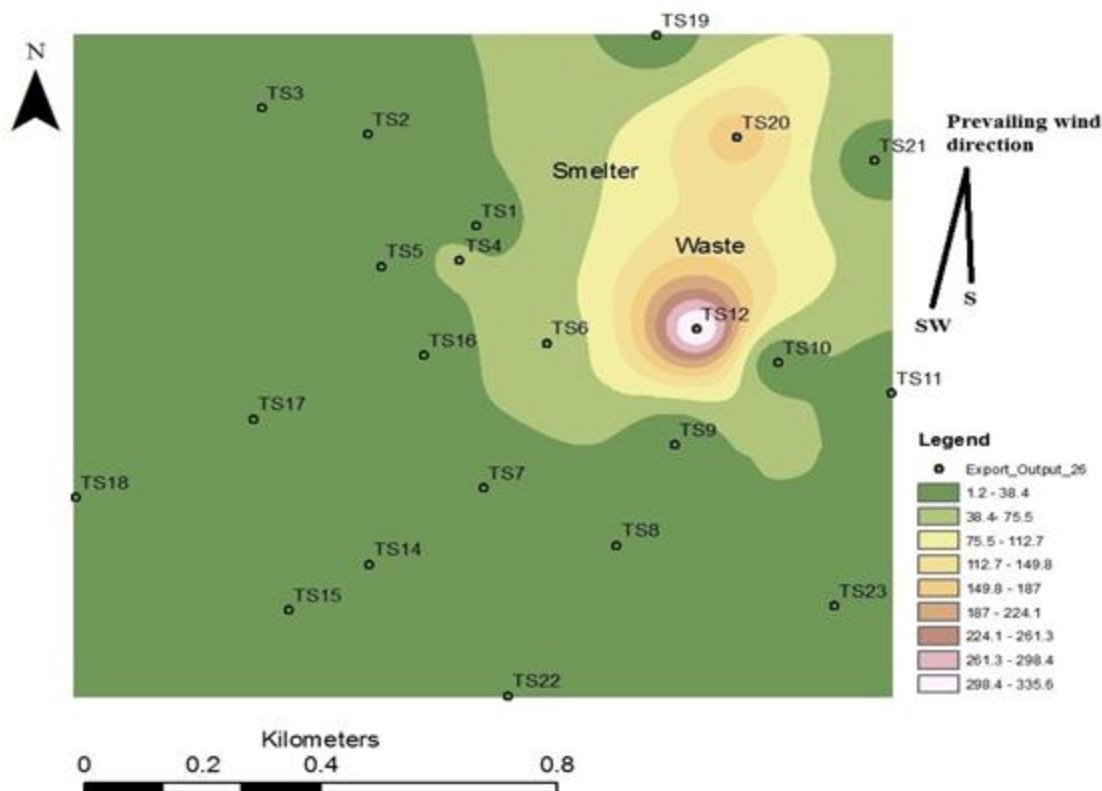
شکل ۳. محاسبه ضریب آلودگی برای نمونه‌های خاک



شکل ۴. ضریب خطر ( $E_i$ ) محاسبه شده برای فلزات مختلف در نمونه‌های خاک

جدول ۴ مقادیر SDM

Number	SDM
TS1	۲۲/۱
TS2	۵/۷
TS3	۵/۷
TS4	۴۶/۲
TS5	۱۰/۴
TS6	۶۳/۰
TS7	۱۲/۲
TS8	۱/۹
TS9	۳/۹
TS10	۱۲/۳
TS11	۵/۴
TS12	۳۳۵/۸
TS13	۱/۹
TS14	۳/۴
TS15	۷/۴
TS16	۱۹/۸
TS17	۴/۹
TS18	۱/۹
TS19	۲۰/۵
TS20	۱۶۵/۲
TS21	۲۰/۷
TS22	۱/۳
TS23	۱/۲



شکل ۵. نقشه پراکندگی فلزات بر اساس SDM

گسیل از دودکش و نهشته شدن بر روی خاک اطراف کارخانه، پراکنده شده‌اند. فاکتور دوم با ۲۵/۲ درصد واریانس کل، فاکتور وزنی مثبت و همبستگی بالایی را بین عناصر آهن، منگنز و آلومینیم نشان می‌دهد. این همبستگی بالا می‌تواند ناشی از رفتار زمین شیمیایی مشابه این عناصر باشد. قرارگیری این فلزات در یک فاکتور آماری ناشی از منشا مشترک آن‌ها و در ارتباط با فرایندهای زمین‌زاد (خاک‌زاد) می‌باشد. بنابراین نتایج آزمون تحلیل عاملی تایید کننده نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های زیست محیطی می‌باشد.

همان‌گونه که از شکل و جدول مشخص است، میزان این شاخص در نمونه‌های خاک مجاور کارخانه ذوب بسیار بالا بوده، و بسیار بیشتر از میزان این شاخص در نمونه زمينه است. بالا بودن این شاخص افزایش تحرک فلزات سنگین در خاک‌های مجاور کارخانه را نشان می‌دهد. با توجه به شکل و جدول بیشترین میزان شاخص درجه اشباع فلزات مربوط به نمونه TS12 بوده که در مجاورت کومه باطله قرار گرفته است. نتایج تحلیل مولفه اصلی نمونه‌های خاک با واریانس کل ۸۰/۸۶ در جدول (۵) آورده شده است. فاکتور اول با ۵۵/۷ درصد واریانس، بارگذاری مثبت و رابطه همبستگی بالایی را بین فلزات آرسنیک، کادمیم، مس، کبالت، آنتیموان، سرب و روی نشان می‌دهد. همچنین رابطه همبستگی معنی داری بین سلنیم و دیگر فلزات در این گروه وجود دارد.

قرار گرفتن این عناصر در یک مولفه تایید کننده منشا واحد آن‌ها می‌باشد و می‌توان نتیجه گرفت که در اثر فعالیت کارخانه ذوب روی، این فلزات به صورت



جدول ۵. نتایج تحلیل مولفه اصلی

Rotated Component Matrix

Elaments	Component	
	۱	۲
As	۰/۹۳۲	۰/۲۲۹
Cd	۰/۹۳۴	۰/۱۷۵
Co	۰/۹۴۳	۰/۳۰۶
Pb	۰/۹۴۴	۰/۲۳۸
Sb	۰/۹۱۲	۰/۲۶۷
Se	۰/۵۴۷	۰/۲۵۵
Zn	۰/۸۴۷	۰/۱۴۷
Fe	۰/۱۴۳	۰/۹۰۷
Al	۰/۳۸۱	۰/۶۸۱
Mn	۰/۱۸۹	۰/۹۱۶

### نتایج

نسبت داد. بر اساس شاخص **SDM** تحرک فلزات در محدوده ۵۰۰ متری اطراف کارخانه بسیار بالا بوده و با افزایش فاصله از میزان تحرک فلزات در خاک کاسته می‌شود. نتایج آزمون تحلیل عاملی نیز منشا واحد فلزات مورد مطالعه را تایید می‌کند. اگرچه خاک‌های با pH خنثی تا بازی، تحرک عناصر در خاک را محدود می‌کنند، اما بافت ماسه‌ای ظرفیت بافری خاک را محدود کرده، و آلودگی شدید خاک به فلزات سنگین در نتیجه آبشویی فلزات باعث آلودگی آب زیرزمینی در طول زمان می‌شود. با توجه به اینکه رواناب سطحی فلزات سنگین را با خود حمل کرده و در نهایت وارد محیط ساحل می‌شود، امکان آلودگی ساحل و بوم سامانه دریایی در دراز مدت دور از انتظار نخواهد بود. بر این اساس انجام مطالعات بیشتر در مورد اثرات ناشی از فعالیت کارخانه ذوب روی جزیره قشم بر بوم سامانه ساحلی خلیج فارس در آینده ضرورت دارد.

### قدردانی

نویسندگان این مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از کمیته تحقیق دانشگاه شیراز به دلیل حمایت همه جانبه ابراز می‌دارند. همچنین از همکاری دانشگاه شهید چمران اهواز قدردانی می‌شود.

نحوه توزیع و پراکندگی فلزات سنگین در نمونه‌های خاک پیرامون کارخانه ذوب روی نشان می‌دهد که فلزات سنگین مطالعه شده در خاک‌های مجاور کارخانه در جهت باد غالب (SW-S) و همچنین در نزدیکی کومه باطله بیشترین غلظت را نشان داده و با دور شدن از کارخانه از غلظت این فلزات در خاک به میزان قابل توجهی کاسته می‌شود. بیشترین غلظت همان‌گونه که از جدول (۱) و شکل (۱) نمایان شده مربوط به نمونه‌های TS12 و TS20 در مجاورت کومه باطله، و TS4 و TS6 در مجاورت کارخانه در جهت باد غالب است که نشان دهنده گسیل فلزات سنگین ناشی از فعالیت ذوب روی و ورود آن‌ها به اتمسفر و در نهایت رسوب آن‌ها بر روی خاک پیرامون کارخانه است. بر اساس شاخص‌های محاسبه شده، خاک نسبت به فلزاتی نظیر کادمیم، سرب، آرسنیک، روی و آنتیموان بسیار آلوده بوده و خطر بوم شناختی آلودگی کادمیم و سرب در منطقه مورد مطالعه بسیار بالا است. آلودگی خاک به فلزات سرب، کادمیم و آنتیموان در نمونه‌های خلاف جهت باد نیز بالا می‌باشد، که شاید بتوان آن را به آلودگی ناشی از شستشوی فلزات توسط رواناب حاصل از بارندگی از کومه باطله و یا عبور و مرور وسایل نقلیه در جاده اصلی لافت - قشم (حدود ۱۰۰ متری شمال کارخانه)

## منابع

۱. امری کاظمی، ع. اطلس ژئوتوریسم قشم (۱۳۸۳). سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور
  ۲. حقی پور، آ.، آقنابتی، آ.، (۲۰۰۵) نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ جزیره قشم، منطقه آزاد قشم
- Dehghan Madiseh, S. Savary, A. Parham, H. Sabzalizadeh, S. (2009). Determination of the level of contamination in Khuzestan coastal waters (Northern Persian Gulf) by using an ecological risk index. *Environ Monit Assess.* V. 159. P. 521-530
- Denaix, L, Semlali, R.M, Douay, F. (2001). Dissolved and colloidal transport of Cd, Pb, and Zn in a silt loam soil affected by atmospheric industrial deposition. *Environmental Pollution*, V. 113. P. 29-38
- Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research.* V. 14. P. 975-1001
- Iqbal, J. H. Shah, M. (2011). Distribution, correlation and risk assessment of selected metals in urban soils from Islamabad, Pakistan. *Journal of Hazardous Materials.* V. 192. P. 887-898
- Kapusta, P. Szarek-Lukaszewska, G. M, Stefanowicz, A. (2011). Direct and indirect effects of metal contamination on soil biota in a Zn-Pb post-mining and smelting area (S Poland). *Environmental pollution.* V. 159. P. 1516-1522
- Krupadam, R. J. Smita, P. Wate, R. (2006). Geochemical fractionation of heavy metals in sediments of the Tapi estuary. *Geochemical Journal.* V. 40. P. 513-522
- Li, Z. Feng, X. Li, G. Bi, X. Sun, G. Zho, J. Qin, H. Wang, J. (2011). Mercury and other metal and metalloid soil contamination near a Pb/Zn smelter in east Hunan province, China. *Applied Geochemistry.* V. 26. P. 160-166
- Muller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *GeoJournal.* V. 2. P. 108-118
- Nannoni, F, Protano, G, Riccobono, F. (2011). Fractionation and geochemical mobility of heavy elements in soils of a mining area in northern Kosovo. *Geoderma,* V. 161. P. 63-73
- Qingjie, G. Jun, D. Yunchuan, X. Qingfei, W. Liqiang, Y. (2008). Calculating pollution indices by heavy metals in ecological geochemistry assessment and a case study in parks of Beijing. *Journal of China University of Geosciences.* V. 19. P. 230-241
- Rastmanesh, F. Moore, F. Kharrati Kopaei, M. Keshavarzi, B. Behrouz, M. (2010). Heavy metal enrichment of soil in Sarcheshmeh copper complex, Kerman, Iran. *Environmental Earth Science.*
- Stafilov, T, Sajn, R, Pancevski, Z, Boev, B. (2010). Heavy metal contamination of topsoils around a lead and zinc smelter in the Republic of Macedonia. *Journal of Hazardous Materials.* V. 175. P. 896-914
- Yang, Y-G. Jin, Z. Bi, X. Li, F. Sun, L. Liu, J. Fu, Z. (2009). Atmospheric deposition-carried Pb, Zn, and Cd from a Zinc smelter and their effect on soil microorganisms. *Pedosphere.* V. 19. P. 422-433