

بررسی اثرات زیست‌محیطی فلزات سنگین در خاک‌های شمال برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ تربت‌جام، شمال شرق ایران

مجید اطاری^۱، رحیم دبیری^{۲*}

۱- کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست‌محیطی، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، مشهد، ایران

۲- دانشیار پترولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، مشهد، ایران

* عهده‌دار مکاتبات: rahimdabiri@yahoo.com

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۲/۷، پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۳/۲۲

چکیده

در دهه‌های اخیر، غلظت فلزات سنگین در خاک مورد توجه قرار گرفته است، چرا که این عناصر در مقایسه با آلاینده‌های آلی و رادیواکتیو غیر قابل تجزیه هستند. هدف از این پژوهش تعیین میزان و نحوه توزیع فلزات سنگین در خاک‌های شمال تربت‌جام بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی عناصر و همبستگی بین آنها در محیط خاک بود. جهت ارزیابی آلودگی خاک در نمونه‌ها، از فاکتور آلودگی، فاکتور غنی‌شدگی، شاخص زمین‌انباشت، درجه آلودگی اصلاح شده و شاخص بار آلودگی بهره گرفته شد. بررسی‌ها نشان داد که خاک‌های منطقه آلوده بوده و سطح عناصر آنتیموان، کبالت و بور از متوسط جهانی بالاتر است. بر اساس شاخص زمین‌انباشت، خاک‌های منطقه آلودگی شدید تا متوسط از عناصر بور، آنتیموان، سرب و روی دارند. نتایج درجه آلودگی اصلاح شده نشان می‌دهد که نمونه‌های خاک با داشتن مقادیر ۲/۸ تا ۵/۸ دارای آلودگی بالا می‌باشند. همچنین مقادیر شاخص بار آلودگی نشان می‌دهد که تمامی نمونه‌های مورد مطالعه آلوده هستند.

واژه‌های کلیدی: فاکتور آلودگی، فاکتور غنی‌شدگی، شاخص زمین‌انباشت، فلزات سنگین، آلودگی خاک

۱- مقدمه

خاک به عنوان یکی از منابع دیر تجدید شونده نقش مهمی در چرخه عناصر آلی و معدنی ایفا می‌کند و به عنوان یک محیط پویا، حیات موجودات را میسر می‌سازد (Fowler and Goering, 1991). در چند دهه اخیر یکی از مشکلات زیست‌محیطی که مورد توجه محققان بسیاری قرار گرفته است، آلودگی‌های خاک ناشی از سازندهای زمین‌شناسی و فعالیت‌های معدنکاری می‌باشد (Misra et al., 2009). در میان آلاینده‌های شیمیایی، فلزات سنگین به لحاظ تاثیرهای اکولوژیکی، بیولوژیکی و بهداشتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. فلزات سنگین از جمله کروم، نیکل، کبالت و وانادیم در سنگ‌های آذرین بازی و عناصری مانند لیتیم، بور و زیرکن در سنگ‌های آذرین اسیدی یافت می‌شود (Oze, 2003). این عناصر بدلیل غیر قابل تجزیه بودن و اثرات فیزیولوژیکی آنها بر موجود زنده در غلظت‌های کم، حائز اهمیت شناخته شده‌اند (Elinder and Friberg, 1986; Gebel, 1997). غلظت بالای فلزات سنگین در خاک می‌تواند برای اکوسیستم‌ها و انسان خطرات طولانی مدت به همراه داشته باشد. اگرچه فلزات سنگین در مقادیر متفاوت از مواد مادری خاک‌ها آزاد می‌شود آلودگی رو به تزاید محیط زیست به علت فعالیت بشر ایجاد می‌شود (Murciego et al., 2007). از اثرات این فلزات سنگین می‌توان به سردرد، فشارخون بالا، و بیماری‌های کلیوی اشاره کرد (Shah et al., 2012). این مقاله به ارزیابی آلودگی خاک با فلزات سنگین در شمال برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ تربت‌جام می‌پردازد.

۲- زمین‌شناسی منطقه

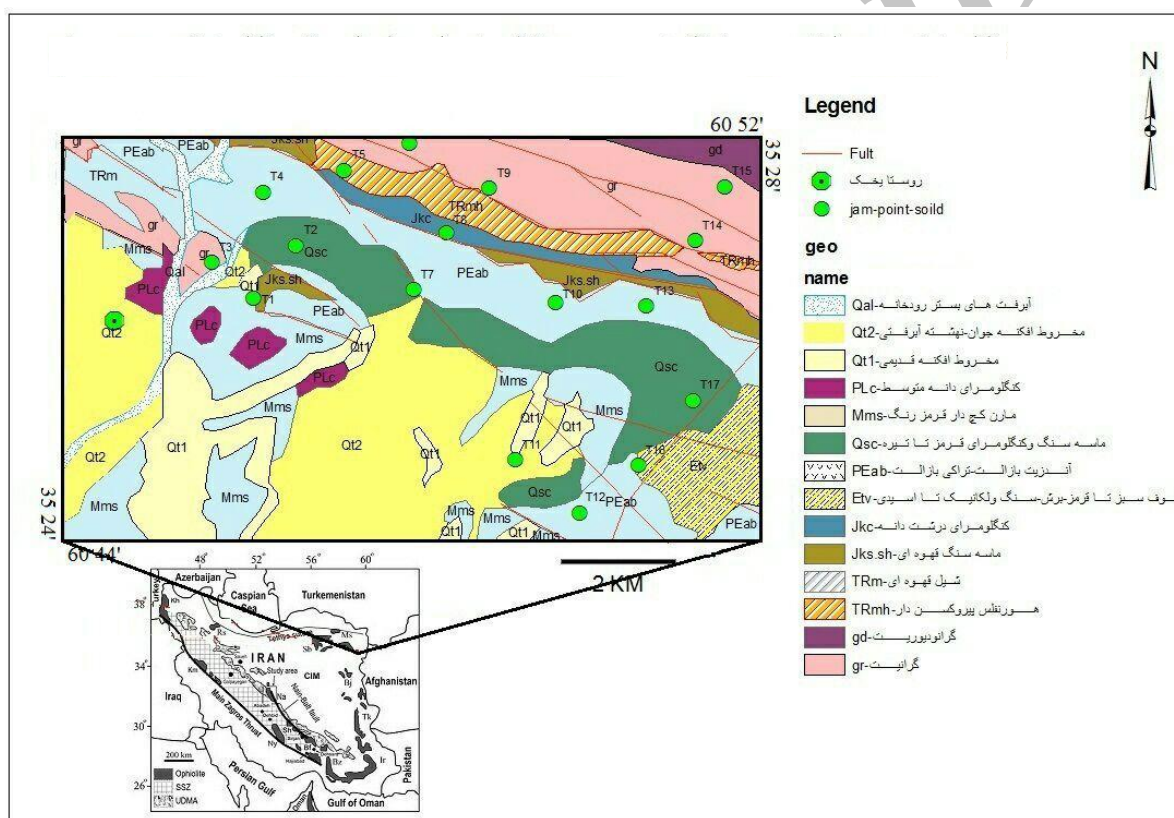
منطقه مورد مطالعه در ۲۰ کیلومتری شمال شرق شهرستان تربت‌جام و در محدوده روستاهای یخک، فیروزکوه و بوته‌گز واقع شده است. این ناحیه در زون ساختاری بینالود قرار گرفته که در واقع قسمتی از پهنه البرز شرقی محسوب می‌شود. از واحدهای سنگ آذرین درونی در منطقه مورد مطالعه می‌توان به توده‌های گرانیتوئیدی تربت‌جام با روند شمال‌غربی - جنوب‌شرقی اشاره کرد (شکل ۱). این توده‌ها در بعضی جاها تحت‌تاثیر آلتراسیون‌های سرسیتیک، سیلیسی و پروپلیتیک قرار گرفته‌اند (قلیچ‌خانی و همکاران، ۱۳۹۲). اغلب رگه‌های سیلیسی، پگماتیتی، آپلیتی و آثار اکسید آهن در درون آنها دیده می‌شود (علوی نائینی، ۱۳۸۵). از واحدهای سنگ آذرین بیرونی می‌توان به آندزیت‌ها و پیروکسن آندزیت‌های سبزرنگ (PEab)، گدازه‌های مگاپورفیری در تناوب با توف و توف برش اشاره کرد. واحد سنگی TRm مربوط به سازند میانکوهی با سن نورین - رسین است که بیشتر از شیل سیاه تا سبز تیره و قهوه‌ای‌رنگ تشکیل شده و بر روی سازند آتشفشانی سینا در ناحیه آق‌دربند جای گرفته است. واحدهای سنگی Jkc در منطقه مربوط به سازند کشفرواد است که در ناحیه تربت‌جام از نورین - رسین تا باژوسین زیرین ادامه داشته است. از واحد نئوژن نیز در منطقه می‌توان به واحد PLC اشاره کرد که رسوبات آن شامل کنگلومرا در بردارنده لایه‌بندی چلیپایی در قاعده و کنگلومرای خاکستری تیره دارای سیمان سست و قطعات گردشده تا زاویه‌دار در قسمت بالا پدید آمده است (علوی نائینی، ۱۳۸۵) (شکل ۱). براساس آمار منتشره از سوی سازمان صنایع و معادن استان خراسان رضوی هیچ‌گونه معدن فعال فلزی در منطقه تربت‌جام وجود ندارد لیکن نشانه‌های معدنی قابل توجهی

تربت جام، به منظور تعیین آلودگی فلزی انجام شد. به همین منظور ۱۷ نمونه از خاک منطقه برداشت شد. موقعیت نقاط نمونه برداری در شکل ۱ نشان داده شده است. به منظور جلوگیری از دخالت مواد آلی، نمونه‌های خاک از عمق ۱۰ سانتی متری برداشت شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه انتقال و پس از خشک شدن از الک عبور داده شد تا همگن سازی انجام شود. مقدار ۱۰ گرم از خاک منطقه (مواد عبوری از الک ۲۰۰) به آزمایشگاه ACME کانادا ارسال شد تا برای تعیین میزان فلزات سنگین به روش طیفسنجی جرمی پلاسمای القایی (ICP-MS) تجزیه شوند (جدول ۱). به منظور پردازش اطلاعات و ارزیابی آلودگی از ضریب غنی‌شدگی عناصر (Ef)، ضریب آلودگی (Cf)، شاخص زمین‌انباشت (Igeo)، درجه آلودگی اصلاح شده (Mcd) و ضریب بار آلودگی (PLI) استفاده شد.

از تنگستن، طلا، آنتیموان و آرسنیک در منطقه وجود دارد. شیل‌های ذغال‌دار در منطقه گل‌بانو در تناوب با ماسه‌سنگ‌های قهوه‌ای رنگ و در منطقه چشمه گل در تناوب با سیل‌های گرانیتی بودینه شده قرار گرفته‌اند. در حال حاضر، در این دو معدن بدلیل فنی و یا اقتصادی فعالیت صورت نمی‌گیرد. در نمونه‌های مینرالیزه شمال شرق یخک (شمال فیروزکوه) به میزان ۲۳ تا ۴۰ گرم در تن طلا گزارش گردیده است. افزون بر این در مناطق غرب یخک، شمال شرق بوته‌گز، غرب قلعه گک، غرب تقزسلفی و شمال شرق بشیرآباد نیز ناهنجاری طلا وجود دارد.

۳- مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری از خاک و رسوبات منطقه مورد مطالعه، شمال شرق



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ تربت جام (علوی نائینی، ۱۳۸۵)

جدول ۱- مقادیر پارامترهای ژئوشیمیایی و نتایج ICP-MS در نمونه‌های خاک و سنگ منطقه مورد مطالعه (مقادیر عناصر بر حسب ppm و مقادیر EC بر اساس $\mu\text{s}/\text{cm}$)

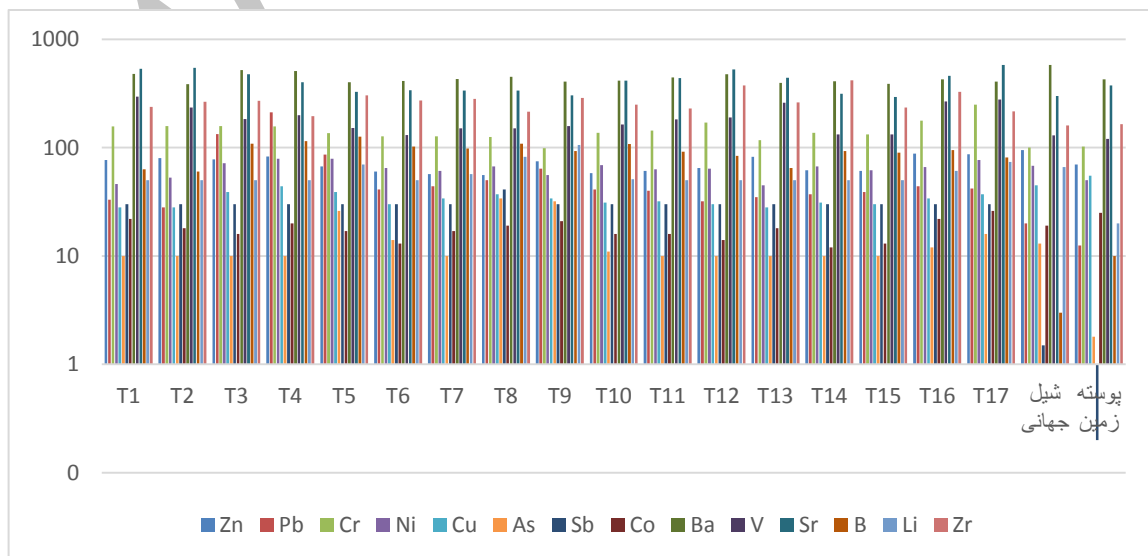
SAMPLE	Zn	Pb	Cr	Ni	Cu	As	Sb	Co	Ba	V	Sr	B	Li	Zr
حد تشخیص	1	1	1	1	1	0.1	0.5	1	5	1	1	1	1	5
T1	77	33	157	46	28	10	30	22	480	295	535	63	50	237
T2	80	28	158	53	28	10	30	18	384	235	546	60	50	265
T3	78	133	158	72	39	10	30	16	521	184	474	109	50	270
T4	83	212	157	79	44	10	30	20	508	199	400	115	50	195

T5	67	86	136	79	39	26	30	17	401	152	328	126	70	304
T6	60	41	127	65	30	14	30	13	411	131	339	102	50	272
T7	57	44	127	61	34	10	30	17	428	151	335	98	57	282
T8	56	50	125	67	37	34	41	19	450	151	335	109	82	215
T9	75	64	99	56	34	32	30	21	407	158	303	93	106	287
T10	58	41	137	69	31	11	30	16	416	163	416	108	51	249
T11	61	40	144	63	32	10	30	16	445	182	439	92	50	230
T12	65	32	170	64	30	10	30	14	476	190	528	84	50	374
T13	82	35	117	45	28	10	30	18	395	259	440	65	50	261
T14	62	37	137	67	31	10	30	12	408	132	314	93	50	418
T15	61	39	132	62	30	10	30	13	388	132	294	90	50	234
T16	88	44	177	66	34	12	30	22	427	267	458	95	61	327
T17	87	42	250	77	37	16	30	26	406	277	578	81	74	216

۴- بحث

نمونه‌ها کمی بیشتر از شیل جهانی و میانگین آن در پوسته زمین است. سرب در نمونه T3 و T4 بالاترین غلظت را دارد. می‌توان این امر را به واحدهای گرانیتی و آندزیت بازالت و تراکی‌بازالت مربوط دانست. کروم در نمونه T17 بیشترین غلظت را دارد. غلظت عنصر مس در همه نمونه‌ها کمتر از شیل جهانی و همچنین کمتر از میانگین آن در پوسته زمین است. غلظت آرسنیک و لیتیم در همه نمونه‌ها بالاتر از میانگین آن در پوسته زمین و برابر با شیل جهانی است. غلظت عنصر کبالت در اغلب نمونه‌ها پایین‌تر از میانگین آن در پوسته زمین و برابر با شیل جهانی است و در برخی نمونه‌ها مقدار آن بالاتر از شیل جهانی است. غلظت وانادیم و استرانسیم در همه نمونه‌ها بالاتر از شیل جهانی و مقدار آن در پوسته زمین است. بالابودن وانادیم در منطقه را می‌توان به سنگ‌های مافیک منطقه منتسب دانست. غلظت بور در همه نمونه‌ها بالاتر از شیل جهانی و پوسته زمین قرار گرفته است (شکل ۲).

به منظور تعیین میزان آلودگی خاک به فلزات سنگین، معمولاً از مقایسه میزان عناصر در منطقه با استانداردهای بین‌المللی بهره می‌گیرند (جدول ۲). در این راستا روش‌ها و عامل‌های مختلفی در ارزیابی آلودگی‌ها ارائه شده است. از آن جمله می‌توان به ضریب غنی‌شدگی (Enrichment factor)، ضریب آلودگی (Contamination factor) و درجه آلودگی (Contamination degree)، ضریب بار آلودگی (Pollution Load Index) و شاخص زمین‌انباشت (Geoaccumulation Index) اشاره کرد. مقایسه غلظت عناصر روی و باریم با شیل جهانی و میانگین آن در پوسته زمین نشان داد که غلظت عناصر یادشده در همه نمونه‌ها کمتر از شیل جهانی بوده و مقدار آن در خاک منطقه با مقدار آن در پوسته زمین نسبتاً برابر است. مقایسه غلظت عناصر سرب، کروم، نیکل و زیرکونیم با شیل جهانی و میانگین آن در پوسته زمین نشان داد که عناصر یادشده در اغلب



شکل ۲- مقایسه غلظت فلزات سنگین با شیل جهانی و میانگین آن در پوسته زمین

جدول ۲- میانگین عناصر در پوسته زمین و شیل جهانی (برگرفته از سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا)

SAMPLE	Zn	Pb	Cr	Ni	Cu	As	Sb	Co	Ba	V	Sr	B	Li	Zr
شیل جهانی	95	20	100	68	45	13	1.5	19	580	130	300	3	66	160
پوسته زمین	70	12.5	102	50	55	1.8	0.2	25	425	120	375	10	20	165

۴-۱- ضریب غنی‌شدگی عناصر (EF)

C_{ref1} غلظت عنصر مبنا (Al)، C_{x2} غلظت عنصر در محیط مبنا (پوسته زمین)، C_{ref2} غلظت عنصر مبنا (Al) در محیط مبنا (پوسته زمین) است. ضریب غنی‌شدگی برای نمونه‌های خاک منطقه محاسبه و مقادیر ضریب غنی‌شدگی میانگین عناصر مورد بررسی در شکل ۳ نشان داده شده‌اند. بر اساس طبقه‌بندی (Chen et al., 2007) (جدول ۳)، در خاک‌های منطقه روی، کروم، نیکل، مس، باریوم، استرانسیم بدون غنی‌شدگی و وانادیم، لیتیم با غنی‌شدگی اندک و سرب با غنی‌شدگی متوسط و آرسنیک و بور با غنی‌شدگی نسبتاً شدید و آنتیموان و کبالت غنی‌شدگی بی‌نهایت شدید دارند. نقشه پهنه‌بندی رسم‌شده منطقه نشان‌دهنده افزایش غنی‌شدگی عناصر کبالت و آنتیموان از مرکز منطقه مورد مطالعه به سمت غرب منطقه و به سمت روستای یخک است (شکل ۴). این امر ممکن است به دلیل وجود واحدهای مافیک در منطقه باشد.

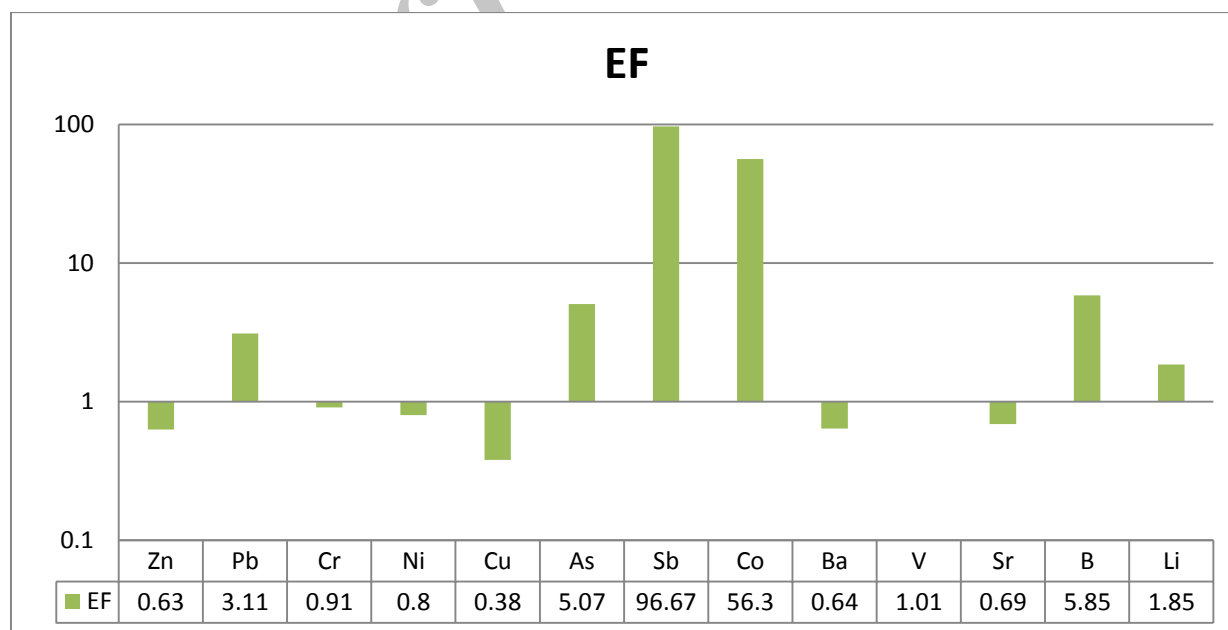
ضریب غنی‌شدگی عناصر بیانگر میزان تأثیر عامل خارجی بر رسوبات (Zhang et al., 2009) و روش مناسبی در تعیین تأثیر منشأ سنگ‌زاد و انسان‌زاد آلودگی هاست (Adamo et al., 2005). در این ضریب، غلظت عناصر نمونه را با غلظت آن عنصر در زمینه مقایسه می‌کنند. ضریب غنی‌شدگی براساس روش زیر محاسبه می‌شود (Loska et al., 1995).

$$EF = \frac{\frac{C_{x1}}{C_{ref1}} \text{ sample}}{\frac{C_{x2}}{C_{ref2}} \text{ background}}$$

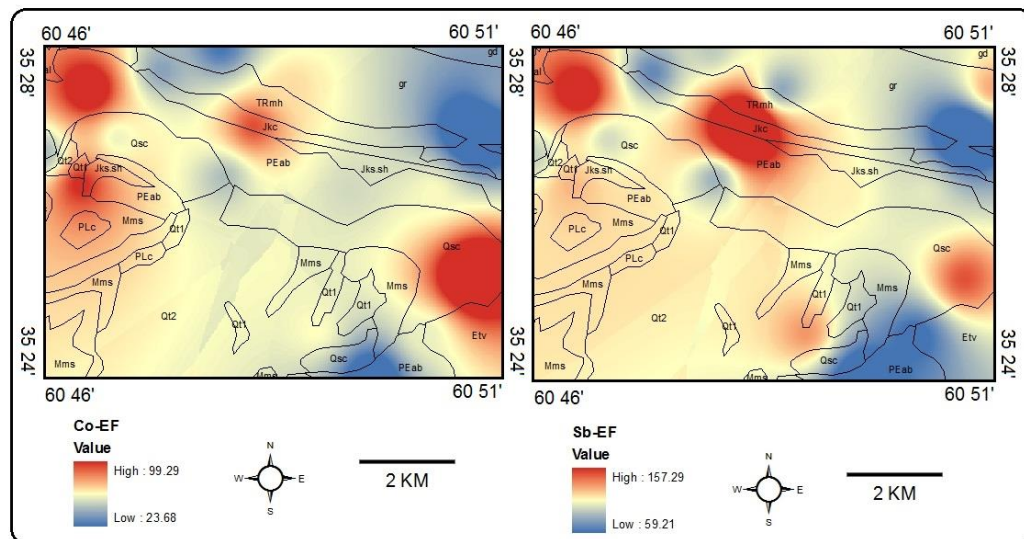
در این رابطه، EF ضریب غنی‌شدگی، C_{x1} غلظت عنصر بررسی‌شده،

جدول ۳- رده‌بندی ضریب غنی‌شدگی (Chen et al., 2007)

بی‌نهایت شدید	خیلی شدید	شدید	نسبتاً شدید	متوسط	اندک	بدون غنی‌شدگی	شدت غنی‌شدگی
بیشتر از ۵۰	بین ۲۵ تا ۵۰	بین ۱۰ تا ۲۵	بین ۵ تا ۱۰	بین ۳ تا ۵	بین ۱ تا ۳	کمتر از ۱	ضریب غنی‌شدگی EF



شکل ۳- فاکتور ضریب غنی‌شدگی عناصر در رسوبات و خاک منطقه مورد مطالعه



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی ضریب غنی‌شدگی عناصر کبالت و آنتیموان در رسوبات و خاک منطقه مورد مطالعه (واحدهای سنگی براساس شکل ۱)

۲-۴- ضریب آلودگی (CF)

داده شده است. بر اساس رده‌بندی Hakanson, (1980) (جدول ۴) کمترین میزان آلودگی با داشتن CF کمتر از یک مربوط به عناصری مانند روی، نیکل، مس، کبالت، باریم و لیتیم است. همچنین عناصری مانند کروم، سرب، آرسنیک، وانادیم، استرانسیم و روی آلودگی متوسطی در ناحیه دارند. این درحالی است که آنتیموان و بور بالاترین میزان آلودگی را در بین عناصر دارند (شکل ۵). نقشه پهنه‌بندی رسم‌شده در منطقه نشان‌دهنده افزایش آلودگی خاک به عناصر بور و آنتیموان در ناحیه شمالی منطقه مورد مطالعه است (شکل ۶). افزایش غلظت بور در ناحیه شمالی منطقه را می‌توان به واحدهای پلوتونیک و گرانیتی منطقه منتسب دانست.

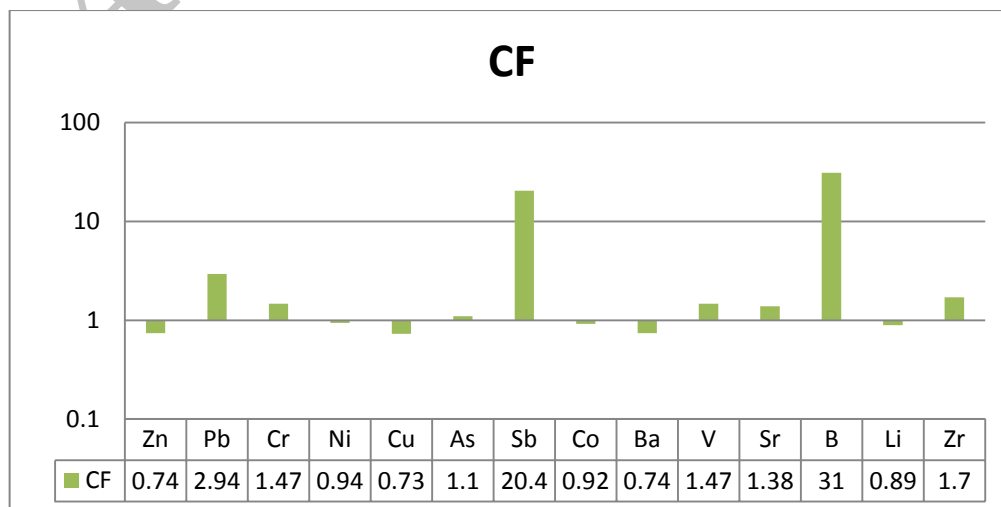
ضریب آلودگی، بیانگر میزان آلودگی رسوبات به عناصر سنگین است و از تقسیم‌کردن غلظت عنصر در نمونه برداشت‌شده به غلظت همان عنصر در نمونه زمینه به‌دست می‌آید (Abraham&Parker, 2008-Adomako et al., 2008). در این رابطه، CF ضریب آلودگی، C_{sample} غلظت عنصر مورد بررسی، $C_{background}$ غلظت عنصر در شیل جهانی است.

$$CF = \frac{C_{sample}}{C_{background}}$$

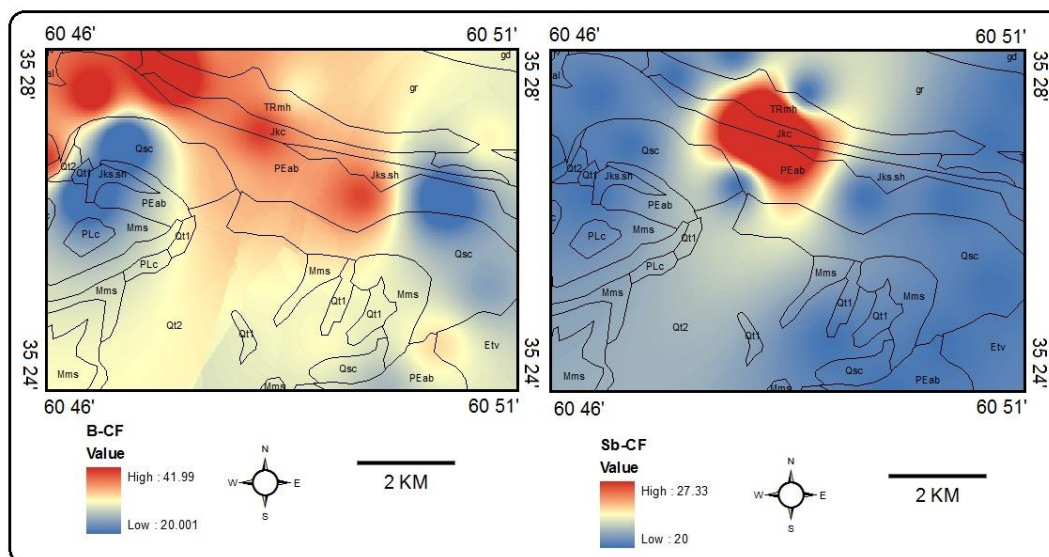
ضریب آلودگی محاسبه‌شده برای نمونه‌های خاک در شکل ۵ نشان

جدول ۴- رده‌بندی ضریب آلودگی (Hakanson, 1980)

مقدار آلودگی رسوب	پایین	متوسط	قابل توجه	بالا
CF	کمتر از ۱	بین ۱ تا ۳	بین ۳ تا ۶	بیش از ۶



شکل ۵- ضریب آلودگی عناصر در رسوبات و خاک منطقه مورد مطالعه



شکل ۶- نقشه پهنه‌بندی ضریب آلودگی عناصر بور و آنتیموان در رسوبات و خاک منطقه مورد مطالعه (واحدهای سنگی بر اساس شکل ۱)

۳-۴- شاخص زمین‌انباشت (Igeo)

عنصر در نمونه زمینه است. در این شاخص ضریب ۱,۵ برای حذف احتمالی زمینه به علت تأثیرات زمین‌شناختی اعمال می‌شود (Gonzales et al., 2000-Chen & Dong 2007-Ghrefat & Yusuf, 2006). این شاخص دارای ۷ گروه است که از غیرآلوده تا به شدت آلوده طبقه‌بندی شده است (Luoping et al., 2007) (جدول ۵). همان‌گونه که ملاحظه می‌شود بور دارای بالاترین میزان زمین‌انباشت بوده که براساس شکل ۷ آلودگی شدید تا بی‌نهایت را در منطقه نشان می‌دهد. عنصر آنتیموان آلودگی شدید را نشان می‌دهد. عناصر سرب و روی که بدون آلودگی تا آلودگی متوسط را نشان می‌دهند. بقیه عناصر آلودگی در منطقه براساس شاخص فوق آلودگی نشان نمی‌دهند.

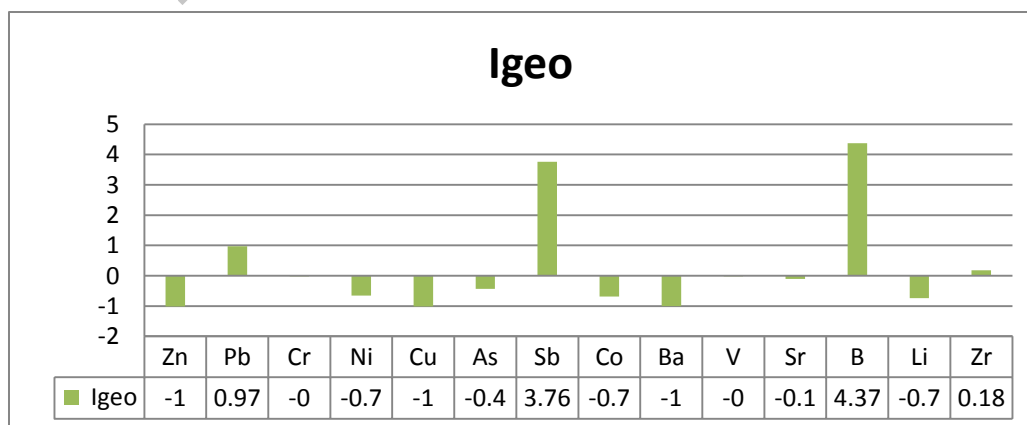
این شاخص برای نخستین بار توسط مولر بیان و به‌عنوان شاخص مولر شناسایی شد (Muller, 1979). این شاخص برای ارزیابی میزان آلودگی فلزات سنگین در رسوبات به کار می‌رود (Audry et al., 2004). شاخص یادشده به روش زیر محاسبه می‌شود.

$$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_n}{1.5 B_n} \right]$$

در شاخص زمین‌انباشت Cn غلظت عنصر در نمونه، Bn غلظت همان

جدول ۵- طبقه‌بندی شاخص زمین‌انباشت (Luoping et al., 2007)

شدت آلودگی	بدون آلودگی	بدون آلودگی تا متوسط	متوسط	متوسط تا شدید	شدید	شدید تا بی‌نهایت	بی‌نهایت
Igeo	کمتر از صفر	بین صفر تا ۱	بین ۱ تا ۲	بین ۲ تا ۳	بین ۳ تا ۴	بین ۴ تا ۵	بیشتر از ۵



شکل ۷- شاخص زمین‌انباشت عناصر در رسوبات و خاک منطقه مورد مطالعه

۴-۴- درجه آلودگی اصلاح‌شده (Mcd)

استفاده می‌شود. این شاخص بر اساس ضریب غلظت هر عنصر در خاک محاسبه می‌شود و با تقسیم غلظت هر عنصر در خاک به غلظت آن در نمونه مرجع (CF) به دست می‌آید (Angulo, 1996). شاخص بار آلودگی برای مجموعه‌ای از فلزات آلاینده به صورت میانگین هندسی غلظت همه فلزات موردنظر محاسبه می‌شود. اگر غلظت PLI به عدد ۱ نزدیک باشد، نشان‌دهنده نزدیک بودن غلظت به مقدار زمینه است در حالی که PLI بالاتر از یک آلودگی خاک را نشان می‌دهد (Qishlag et al., 2007). آلودگی کلی فلزی در منطقه با استفاده از این شاخص و از رابطه زیر به دست می‌آید (Mapanda et al., 2007).

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 * CF_2 * \dots * CF_n}$$

با توجه به رابطه PLI ، همچنان که در نمودار شکل ۹ مشخص است میزان PLI در همه نمونه‌ها بالاتر از غلظت زمینه ($PLI > 1$) بوده و نشان‌دهنده آلوده بودن رسوبات در منطقه است. نقشه پهنه‌بندی ضریب بار آلودگی نشان‌دهنده افزایش آلودگی خاک به عناصر سنگین در ناحیه شمال و شمال غربی و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه است (شکل ۱۰).

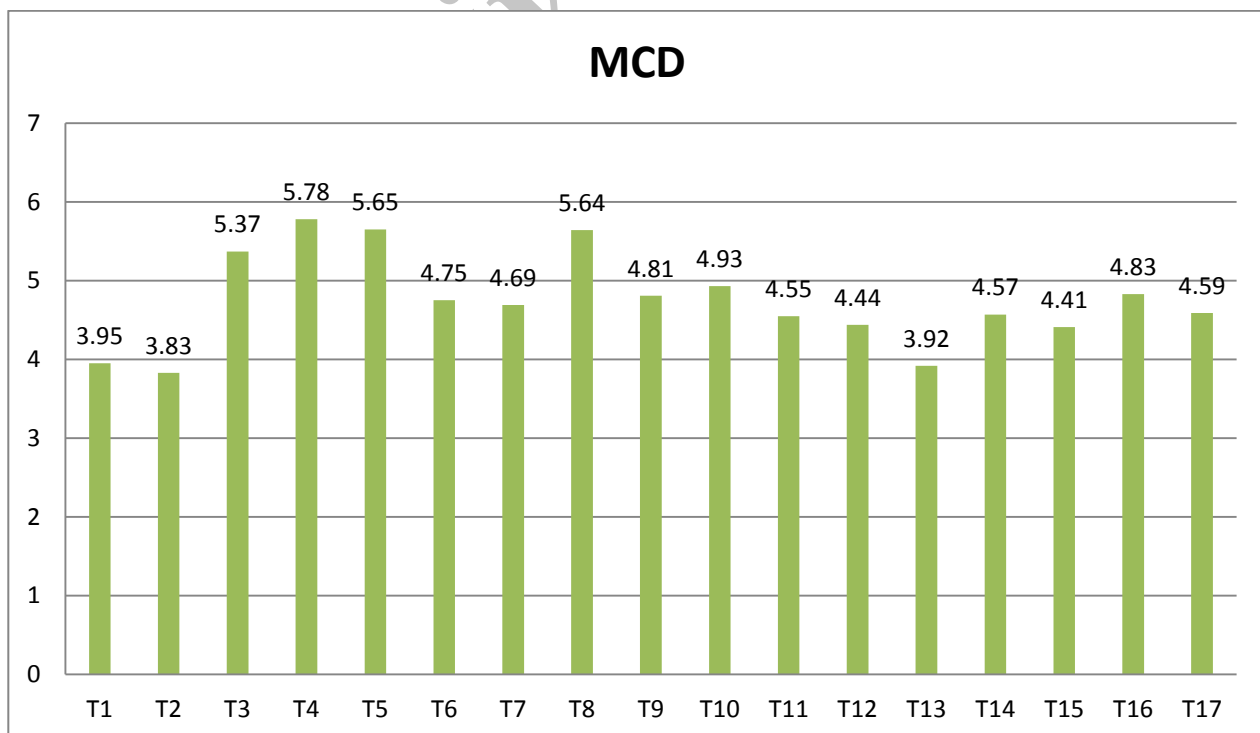
برای ارزیابی میزان آلودگی در رسوبات منطقه مورد مطالعه از درجه آلودگی اصلاح‌شده بهره گرفته می‌شود. ارزیابی درجه آلودگی اصلاح‌شده که از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود (Abraham, 2008). اگر نمونه‌ای از ضریب ۱٫۵ بیشتر باشد بر اساس رده‌بندی Abraham، آلوده به‌شمار می‌آید. ارزیابی درجه آلودگی اصلاح‌شده نشان داد، همه نمونه‌ها دارای غلظت بیشتر از ۱٫۵ بوده و آلوده هستند (شکل ۸). نقشه پهنه‌بندی درجه آلودگی اصلاح‌شده نشان‌دهنده افزایش آلودگی خاک به عناصر سنگین در ناحیه شمال-شمال غربی منطقه مورد مطالعه است (شکل ۱۰).

$$Mcd = \frac{\sum_{i=1}^n c}{n}$$

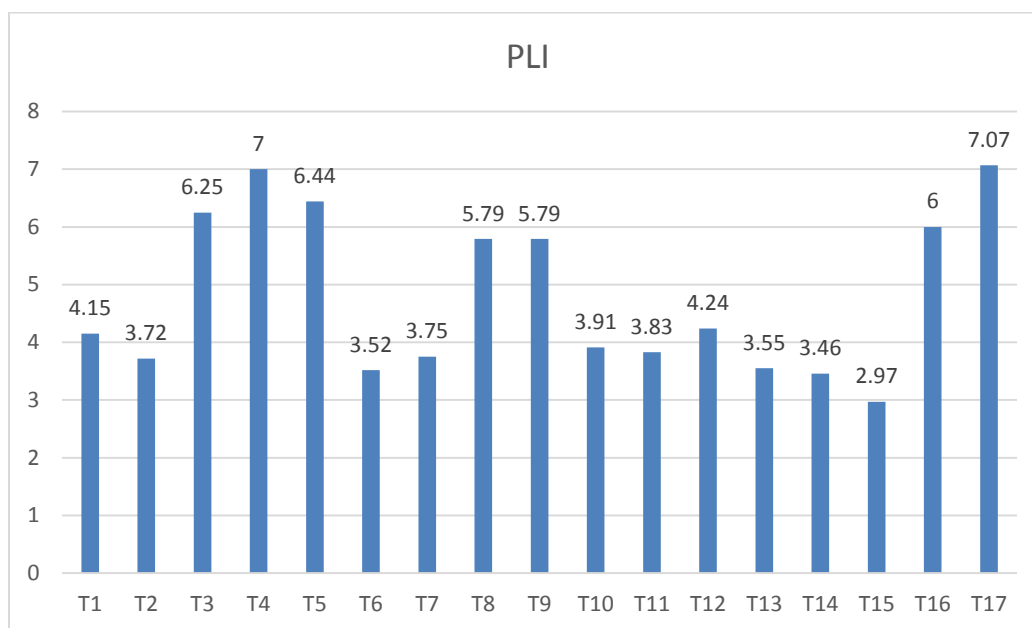
mCd = درجه آلودگی تصحیح‌شده، c ضریب آلودگی عنصر، n تعداد عناصر

۴-۵- شاخص بار آلودگی (PLI)

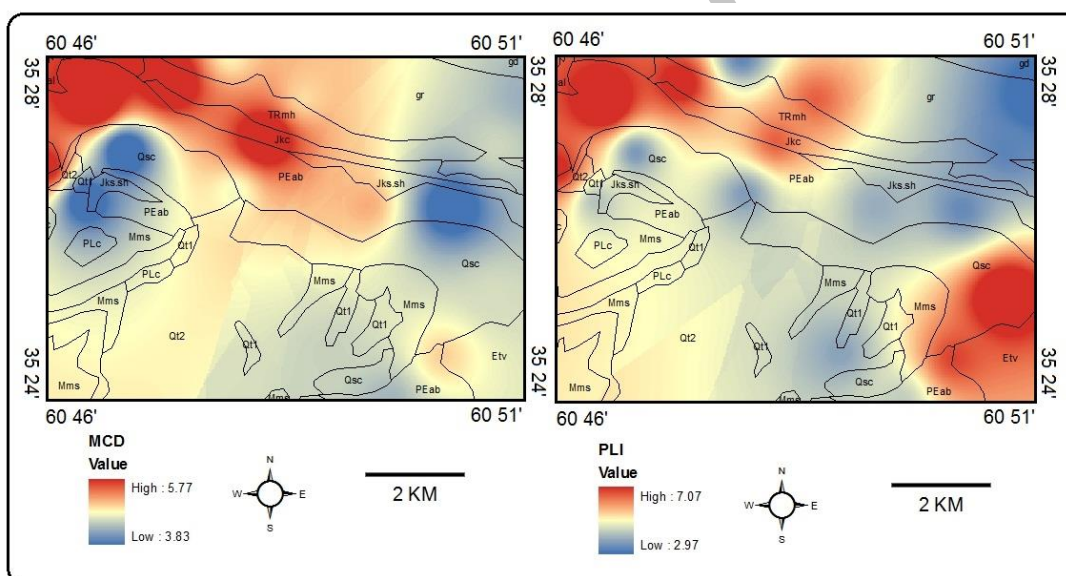
برای ارزیابی و برآورد شدت آلودگی خاک معمولاً از شاخص بار آلودگی



شکل ۸- درجه آلودگی اصلاح‌شده در رسوبات و خاک منطقه مورد مطالعه



شکل ۹- میزان ضریب بار آلودگی (PLI) محاسبه شده در خاک و رسوبات منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۰- نقشه پهنه‌بندی ضریب بار آلودگی و درجه آلودگی اصلاح شده در رسوبات و خاک منطقه مورد مطالعه (واحد های سنگی براساس شکل ۱)

نتیجه‌گیری

آرسنیک، وانادیم، استرانسیم و روی دارای آلودگی هستند. نقشه پهنه‌بندی نشان‌دهنده آلوده بودن خاک به عناصر بور و آنتیموان در ناحیه شمالی منطقه مورد مطالعه است. افزایش غلظت بور در ناحیه شمالی منطقه نشان‌دهنده تأثیر واحد فلسیک بالاخص گرانیت در منطقه است. بر اساس شاخص زمین‌انباشت، بور آلودگی شدید تا بی‌نهایت و آنتیموان آلودگی شدید دارد. همچنین بر اساس درجه آلودگی اصلاح شده، خاک منطقه آلوده است. محاسبه مقادیر PLI نشان می‌دهد که اغلب خاک‌های منطقه آلوده به عناصر سنگین هستند و افزایش آلودگی خاک به عناصر سنگین در ناحیه شمال و شمال غربی و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود.

منطقه مورد مطالعه دارای گستره متنوعی از سنگ‌های با ماهیت گرانیتوئیدی، مافیک، آذرآواری و رسوبی است. مطالعات انجام شده بر روی منابع خاک منطقه مورد مطالعه نشان داد که بور غنی‌شدگی نسبتاً شدید و آنتیموان و کبالت غنی‌شدگی بی‌نهایت شدید دارند. افزایش غنی‌شدگی عناصر کبالت و آنتیموان از مرکز منطقه مورد مطالعه به سمت غرب منطقه است که نشان‌دهنده تأثیر واحدهای مافیک در خاک منطقه است. ضریب آلودگی نشان داد، که آنتیموان و بور دارای آلودگی بالا، کروم، سرب،

ution control: a sedimentological approach", *Water Research*, 14:P.975-1001.

Luoping Zhang, X. Y., HuanFeng, Y. J., Tong Ouyang, X. Y., Rongyuan Liang, C. G., Weiqi, C., 2007, "Heavy metal contamination in western Xiamen Bay sediments and its vicinity, China", *Mar Pollut Bull* 54, P. 974-982.

Loska, K., Chebual, J., Pleczar, J., Wiechla, D., Kwapulin-ski, J., 1995, "Use of environment and contamin-ation factors togheder with geoaccumulation indexes to elevate the content of Cd, Cu and Ni in the Rybink water reservoir in Poland, *Water, Air and Soil pollution*", 93, P. 347-365.

Mapanda, F, Mangwayana, E.N, Nyamangara, J, Giller, K.E, 2007, "Uptake of heavy metals by vegetables irrigated using wastewater And the subsequent trisks in Harare, Zimb-abwe", *Physics and Chemistry of the Earth* 32, P.1399-1405.

Misra, S. G., Dinesh Mani, 2009, "Soil Pollution, Published by S.B.," *Nangia, New Delhi*.

Muller, G., 1979, "Schwermetalle in den sedimenten des RheinsVeranderungenseit 1971", *Umschau Vol. 79, No. 24, P. 778- 783*.

Murciego Murciego a, A. Garci'a Sa'nchez b, M.A. Rodri'guez Gonza'lez a,E. Pinilla Gil c, C. Toro Gordillo c, J. Cabezas Ferna'ndez d, T. Buyolo Triguero, 2007, "Anti-mony distribution and mobility in topsoils and plants (*Cytisus striatus*, *Cistus ladanifer* and *Dittrichia viscos* from polluted Sb-mining areas in Extremadura (Spain)", *Environmental Pollution* 145, P.15e21.

Oze, J. C., 2003, "Chromium geochemistry of serpentinite and serpentin soils", *Department of Geology and Environmen-tal Sciences and the Committee on Graduate Studies of Stanfor-d University. P. 1- 24*.

Qishlag, A., Moore, F., Forghani, G., 2007, "Impact of untreated wastewater irrigation on soils and crops in Shiraz suburban area, SW Iran", *Environmental Monitiring Assessm-ent* 149, P.254-262.

Shah, M.T., Ara, J., Khan, S., Tariq, S., 2012, "Health risk assessment via surface water and sub-surface water consump-tion in the mafic and ultramafic terrain, mohmand agency, northern Pakistan", *Journal of Geochemical Exploration, V:8, P. 120-134*.

Angulo, E., 1996, "The Tomlinson Pollution Load Index applied to heavy metal, 'Mussel-Watch' data: a useful index to assess coastal pollution", *Science of the Total Environment*, 187, P.19-56.

Zhang, W., Feng, H., Chang, J., Qu, J., Xie, H. and Yu, L., 2009, "Heavy metal contamination in surface sediments of Yangtze River intertidal zone:An assessment from different indexes", *Environmental Pollution Vol.1-11, P. 1533-1543*.

مراجع

علوی نائینی، م.، ۱۳۸۵، "نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تربت جام" وزارت صنعت، معدن و تجارت، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. قلیچ خانی، م.، ملک زاده شفارودی، آ. و حیدریان شهری م.، ۱۳۹۲، "زمین شناسی، کانی سازی و ژئوشیمی منطقه اکتشافی فیروزکوه، شمال شرق تربت جام" مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، سال ۲۱، شماری ۴: صفحات ۶۸۵ - ۷۰۲.

Abraham, G. M. S., Parker, R. J.; 2008; "Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree contamination in marine sediments from Tamaki. Estuary, Auckland", *New Zealand, Environmental Monitoring and Assessment* 136, P. 227-238.

Adamo, P., Arenzo, M., Imperato, M., Naimo, D., Nardi, G., Stanzione, D., 2005, "Distribution and partition of heavy metal in surface and sub-surface sediments of Naples city Por", *Chemosphere, v. 61, P. 800-809*.

Adomako, D., Nyarko, B.J.B, Dampare, S.B., Serfor-Armah, Y., Osaе, S., Fianko, J.R., Akaho, E, H.; 2008, "Determination of toxic elements in (waters and sediments from River Subin in the) Ashanti Region of Ghana", *Environmental Monitoring Assessment* 141, P. 165-175.

Audry, S., Schafer, J., Blanc, G., Jouanneau, JM, 2004, "Fifty-year sedimentary record of heavy metal pollution (Cd, Zn, Cu, Pb) in the Lot River reservoirs (France)", *Environmental Pollution* Vol.132, No. 3, P. 413-426.

Chen, C.W., Kao, C.M., Chen, C.F., & Dong, C.D.; 2007; "Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan", *Chemosphere Vol. 66, No. 8, P. 1431-1440*.

Elinder, C.G., Friberg, L., 1986, "Antimony. In: Friberg, L., Nordberg, G.S, Vouk, L. (Eds.), *Handbook on the Toxicology of Metals*", 2nd edn. Elsevier Amsterdam, P. 26e42.

Fowler, B.A., Goering, P.L., 1991, "Antimony. In: Merian, E. (Ed.), *Metals and their Compounds in the Environment. VCH*", *Weinheim, New York, Basel, Cambridge*, P. 743-750.

Gebel, T., Christensen, S., Dunkelberg, H., 1997, "Comparative and environmental genotoxicity of antimony and arsenic", *Anticancer Research* 17,P. 2603e2608.

Ghrefat, H., Yusuf, N.; 2006, "Assessing Mn, Fe, Cu, Zn and Cd pollution in bottom sediments of Wadi AL-Arab Dam, Jordan", *Chemosphere* 65, P. 2114-2121.

Gonzales, A., Rodriguez, M., Sanchez, J.C., Espinosa, A.J. and La Rosa, F.J.; 2000, "Assessment of metals in sediments in a tributary of GUADALQUIVIR river (Spain). Heavy metal partitioning and relation between the water and sediment system water", *Air and soil pollution* 121, P. 11-29.

Hakanson L. 1980, "An ecological risk index for aquatic poll-