بررسی ژئوشیمی زیست محیطی عناصر در ناحیه اطراف دریاچه ارومیه محدوده استان آذربایجان غربی

عبدالرضا کرباسی[۱]، راضیه لک[۲]، مهسا سنایی[۳،*]

۱-عبدالرضا کرباسی، دانشیار دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران akarbasi@ut.ac.ir

۲-راضیه لک، استادیار سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور lak_ir@yahoo.com

۳-نویسنده مسئول، مهسا سنایی، دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران mahsa.sanee@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۵/۶/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۵/۸/۱۰

چکیده

مطالعه حاضر با هدف بررسی ژئوشیمی عناصر سنگین از محتویات فلزی خاک و رسوبات سطحی ناحیه اطراف دریاچه ارومیه محدوده استان آذربایجان غربی را ارائه می‌دهد. بررسی ژئوشیمی زیست محیطی فلزات سنگین در خاک و رسوبات کشور ایران و محدوده دریاچه ارومیه اندک است. همان طور که مشاهده می‌شود علاوه بر عوامل زمین شناسی و زمین ساخت و سازندهای ناحیه، عوامل انسان ساخت و فعالیت های صنعتی نیز باعث حضور فلزات سنگین در خاک و رسوبات نواحی حوزه آبریز رود ارس می‌باشند.

آنالیز خوشه ای ارتباط معناداری بین تقریبا تمامی عناصر (به غیر از نقره، سرب، آرسنیک، کادمیوم و مس) در این مطالعه نشان داد. به نظر می رسد که توافق خوبی بین دو شاخص شدت آلودگی به کار رفته Igeo و EF وجود دارد. هر دو شاخص شدت آلودگی به کار رفته عدم آلودگی را برای عناصر کادمیوم، کبالت، کروم، مس، منگنز، نیکل، سرب، وانادیوم، روی و آهن نشان دادند و برای باقی عناصر تطابق نداشتند که می تواند به دلیل استفاده از محیط پایه متفاوت باشد (مانند مقادیر شیل، مقادیر پوسته و مقادیر پس زمینه).

کلمات کلیدی

"خاک"، "رسوبات"، "آلودگی"، "فلز"، "شاخص شدت آلودگی"

۱- مقدمه

بهره‌گیری از علم ژئوشیمی رسوبات، مطمئن ترین روش در برآورد دقیق میزان آلودگی و منشأیابی آن است. از سال ۱۹۶۰ کاربرد علمی ژئوشیمی در تشخیص انواع آلاینده های معدنی محیط زیستی افزایش یافت. بدلیل ثبت آلاینده ها از یک طرف و عدم تغییرات فصلی در غلظت فلزات سنگین در رسوبات، بهره‌گیری از علم ژئوشیمی تحت عنوان ژئوشیمی محیط زیستی، بعنوان یک وسیله موثق و مطمئن در بین علوم زیست محیطی جایگاه خاصی یافته است (خراط صادقی و کرباسی ۱۳۸۵). عناصر سنگین به طور طبیعی در سنگها و خاکها وجود دارند اما مقدار این عناصر در خاکها بر اثر فعالیتهای کشاورزی و صنعتی انسان در حال افزایش است (هوشمند فیروزآبادی و همکاران ۱۳۹۳). فلزات سنگین به دلیل دارا بودن خواص سمیت و تجزیه ناپذیری در محیط به عنوان آلاینده‌های خطرناک محسوب می‌شوند. رشد و توسعه فعالیت های شهری و صنعتی در طی چند دهه اخیر منجر به آلودگی محیط زیست به فلزات سنگین شده است (وصالی ناصح و همکاران ۱۳۹۱). منابع طبیعی فلزات سنگین را می‌توان سنگ های آتشفشانی، رسوبی، دگرگونی و هوازدگی تشکیلات خاک در نظر گرفت و منابع غیر طبیعی این فلزات را می توان متأثر از فعالیت های انسان همچون معدنکاری، کشاورزی و فعالیت های صنعتی دانست (Bradl, 2005). فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی از جمله آلاینده های پایدار در خاک بوده و چون توسط موجودات خاک تجزیه نمی‌شوند، از خاک به گیاه، محصولات کشاورزی و در نتیجه فرآورده های دامی منتقل شده و وارد چرخه غذایی انسان می‌گردند. بعضی از فلزات سنگین مثل آرسنیک، کادمیم، سرب، کروم و جیوه بسیار سمی بوده و باعث آسیب جدی به سلامت انسان می شوند. با توجه به اینکه منابع معدنی خصوصاً کانسارهای فلزی حاوی مقادیر قابل توجه فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی هستند، تماس آب های سطحی و زیرزمینی با سنگ میزبان و توده ها و رگه های معدنی، و هوازدگی سنگ ها در کانسارها باعث آزادسازی عناصر مختلف شده و مقدار زیادی از فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی را در رسوبات پایین دست و خاک های مجاور برجای می‌گذارد (دهرآزما و همکاران ۱۳۹۳). منابع مهم انسانی ورود فلزات سنگین به خاک شامل معدن کاری، صنایع ، حمل و نقل جاده ای، کوره سوزانی پسماند و استفاده از کودها و سموم شیمیایی کشاورزی می‌باشد. همچنین انتشار از طریق آتشفشان ها، فرآیندهای گاززدایی در پوسته زمین، آتش سوزی جنگل یا ترکیب شیمیایی مواد مادری نیز می تواند از منابع طبیعی ورود آنها به خاک باشد (Lado, 2008). آلودگی فلزات سنگین نه تنها به طور مستقیم بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک ، کاهش فعالیت بیولوژیکی و کاهش دستیابی زیستی مواد مغذی خاک تأثیر می‌گذارند، بلکه هم چنین خطر جدی برای سلامتی انسان از طریق ورود در زنجیره غذایی و امنیت زیست محیطی از طریق نفوذ در آبهای زیرزمینی محسوب می‌شوند (خدا کرمی و همکاران ۱۳۹۰).

قائمی و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه ژئوزیست محیطی فلزات سنگین در قهرود، در مرکز ایران، در کمربند ماگمایی قوس ارومیه- دختر (UMDA) برای توصیف سطح تغییرات ژئوشیمیایی خاک در رابطه با زمین شناسی، سنگ شناسی، و فعالیت های هیدروترمالی به بررسی میزان آلودگی در منطقه قهرود پرداخته اند. نتایج نشان داد که مس، مولیبدن، سرب، روی دارای غلظت آلوده بوده اند. زمین شناسی و فعالیت های هیدروترمالی در منطقه مورد مطالعه به بالا رفتن غلظت برخی از فلزات سنگین منجر شده است، اما غلظت فلزات دیگر به طور قابل توجهی تغییر نکرده است. مقدار شاخص های EF ، I_{geo} برای مس، سرب، مولیبدن و روی به عنوان آلاینده در خاک پیشنهاد شده است. تجزیه و تحلیل خوشه ای نشان داده که به طور عمده تغییرات دگرسانی گرمابی باعث غلظت این عناصر بوده است. چویچ و همکاران (۲۰۱۶) مطالعه ای روی ارزیابی زیست محیطی فلزات سنگین در اطراف بزرگترین نیروگاه زغال سنگ سوز در صربستان انجام دادند. غلظت فلزات سنگین (CD، Co، CR، Cu، Fe، Mn، Ni، Pb، V، Zn) با استفاده از طیف سنجی جذب اتمی اندازه گیری شدند. برای فلزات بررسی شده، مقادیر میانگین، غنی سازی ناکافی تا حداقل فلزات سنگین را در منطقه نشان دادند. بیشترین ضریب آلودگی برای نیکل، سپس روی، کبالت و کادمیوم مشخص شد.

مچندر و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی آلودگی عناصر در خاک های اطراف حوضه رودخانه Chinnaeru ، منطقه Nalgonda در هند، غلظت عناصری مانند باریوم، آرسنیک، کبالت، کروم، مس، نیکل، سرب، ربیدیوم،

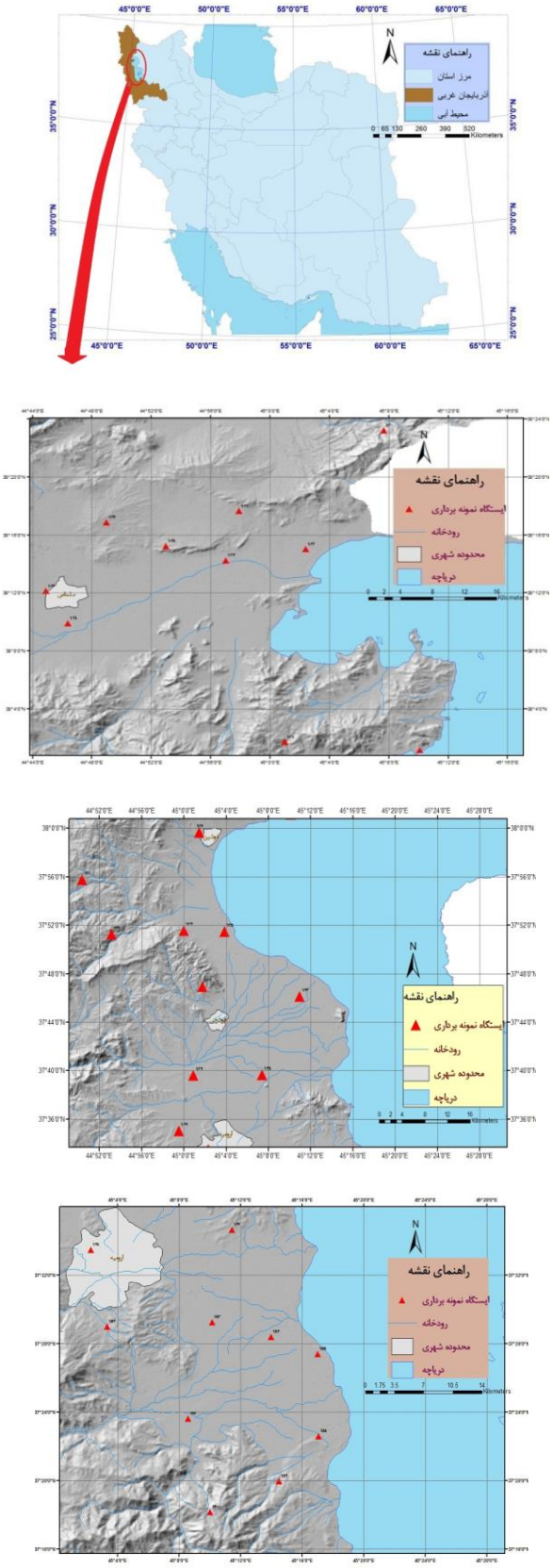
استرانسیوم، وانادیوم و روی در خاک را مورد مطالعه قرار داده اند . آلودگی خاک بر اساس شاخص های (I_{geo}) و (EF) مورد بررسی قرار گرفت. داده ها نشان داده که خاک در منطقه مورد مطالعه ، به طور قابل توجهی آلوده بوده است. غلظت بالای به دست آمده برای برخی از عناصر کمیاب در نمونه‌های خاک، نشان داده که آلودگی قابل توجهی از فلزات سنگین وجود دارد که می‌تواند به علت استفاده بیش از حد از کود و آفت کش مورد استفاده برای کشاورزی و یا ممکن است به علت فرایندهای طبیعی در geogenic منطقه باشد. غلظت بالای آرسنیک، باریم، کروم، مس، سرب و روی به دست آمده در خاک منطقه مورد مطالعه نشان داده است که آلودگی این عناصر در منطقه به طور عمده از استفاده بیش از حد از کود، آفت کش و فرآیندهای زمین شناسی طبیعی در منطقه سرچشمه گرفته است.

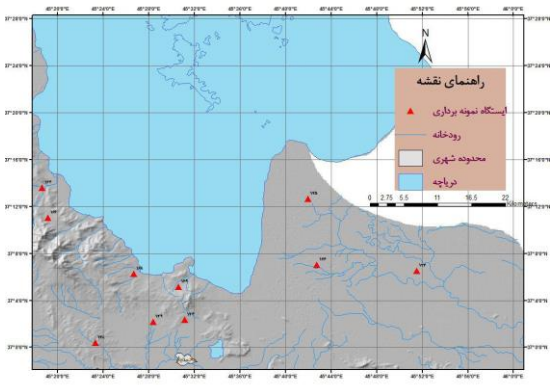
این تحقیق با هدف بررسی آلودگی خاک سطحی به فلزات سنگین و بررسی علت آلودگی در جنوب دریاچه ارومیه در استان آذربایجان غربی با استفاده از شاخص‌های شدت آلودگی I_{geo} ،EF و تحلیل ارتباط عناصر با یک دیگر توسط آنالیز خوشه ای انجام گرفته است.

۲- روش کار

- **منطقه مورد مطالعه**

در این تحقیق، غلظت پیشینه عناصر (فلزات سنگین) در خاک سطحی در ۴۰ ایستگاه (نمونه) در ناحیه اطراف دریاچه ارومیه محدوده استان آذربایجان غربی اندازه‌گیری شد. نمونه برداری به روش سیستماتیک انجام گرفت. با توجه به اهداف اصلی تحقیق که مطالعه میزان آلودگی عناصر می باشد، جهت تعیین ایستگاه های نمونه‌برداری در ابتدا از نقشه زمین شناسی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ استفاده گردید (نقشه زمین شناسی استان آذربایجانغربی، ۱۳۷۹). سپس موقعیت ایستگاه ها روی نقشه ها در محیط نرم افزار ArcGIS نهایی شدند (شکل ۱).





شکل ۱- موقعیت ایستگاه های نمونه برداری در ناحیه اطراف دریاچه ارومیه محدوده استان آذربایجان غربی

- **روش نمونه برداری**

جهت انجام نمونه برداری در هر ایستگاه به صورت شعاعی یک نقطه مرکزی و ۵ نقطه در اطراف نقطه مرکزی نمونه برداری و سپس نمونه های جمع آوری شده از ۶ نقطه برداشتی با هم بصورت همگن مخلوط شد. به منظور تعیین خصوصیات خاک از مجاور هر نقطه، نمونه‌هایی از لایه سطحی (صفر تا ۱۵ سانتیمتر) تهیه و به آزمایشگاه منتقل گردید. غلظت کل فلزات در ایستگاه های نمونه برداری با استفاده از دستگاه‌های پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES) و طیف سنج فلوئورسانی پرتو ایکس (XRF)تعیین شدند.

برای تعیین شدت آلودگی در محیط زیست می توان با استفاده از شاخص های مختلف نسبت به شناسایی و تعیین شدت آلودگی اقدام کرد. یکی از قدیمی ترین شاخص‌های شدت آلودگی، شاخص ژئوشیمیایی مولر است که در سال 1979 تدوین شد. فرمول آن به شرح زیر می‌باشد (Muller, 1979):

$$I_{geo} = Log_2\left[\frac{Cn}{Bnx1.5}\right] \qquad (۱)$$

غلظت فعلی عنصر در خاک و رسوب =Cn

غلظت عنصر در شیل=Bn

فاکتور تصحیح شیل=1/5

در این فرمول به لحاظ آنکه غلظت پیشین عنصر از طریق تجزیهٔ کامل به دست نمی‌آید باید از غلظت شیل که نوعی سنگ رسوبی است، استفاده کرد . چون متوسط غلظت عناصر در شیل نسبت به متوسط غلظت عناصر در رسوبات غیرآلوده کمتر است، بنابراین باید برای متعادل سازی آن را در عدد ۱/۵ ضرب شود (Anagnostou, et al., 1997; Abrahim and Parker, 2008). خط کشی برای تعیین شدت آلودگی به کار گرفته می شود که این خط کش درجدول ۱ آورده شده است.

شاخص EF در سال 1977 از سوی چستر و هوگس ارائه شد و فرمول به شرح زیر است:

$$EF = \frac{\frac{Cn}{Fe}}{\frac{Bn}{Fe}} \qquad (۲)$$

EF : فاکتور تجمع (Enrichment Factor)

$\frac{Cn}{Fe}$: غلظت فعلی عنصر در نمونه تقسیم بر غلظت آهن در نمونه

$\frac{Bn}{Fe}$: غلظت عنصر به آهن در پوسته زمین

در این فرمول در صورت کسر غلظت عنصر مورد نظر تقسیم بر غلظت آهن در همان محیط می‌شود سپس، حاصل تقسیم بر کسر دوم که مربوط به غلظت های پوسته زمین است، مجدداً تقسیم می‌شود (Abrahim and Parker, 2008). خط کشی برای تعیین شدت آلودگی به کار گرفته می شود که این خط کش درجدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- طبقه بندی آلودگی براساس شاخص های شدت آلودگی

شاخص	بدون آلودگی	آلودگی کم	آلودگی متوسط	آلودگی شدید	آلودگی وحشتناک
EF	<2	2-4	4-16	16-32	>32
I_{geo}	<0.42	0.42-1.42	1.42-3.42	3.42-4.42	>4.42

آنالیز خوشه ای روشی آماری است که به وسیلهٔ آن می‌توان گروهی از عناصر که رفتاری مشابه یا خوشه هایی را که ارتباط زیادی با هم دارند مشخص کرد. نتایج آنالیز خوشه ای به شکل دندروگرام نمایش داده می‌شود (Davis,1973) اگر در آنالیزهای آماری ارتباط قوی بین عنصر و مواد آلی دیده شود، عنصر منشأ آلی خواهد داشت (Karbassi, et al., 2005). به منظور تجزیه و تحلیل ارتباط عناصر با هم و همچنین ، با عناصر شاخص آلودگی و در نهایت با شاخص های تعیین کنندهٔ منشأ عناصر (Karbassi, et al., 2001) با استفاده از نرم افزار MVSP و رسم دندوگرام های مربوطه و تجزیه و تحلیل آنها به منشایابی عناصر پرداختیم.

۳- نتایج

نتایج مربوط به آلودگی خاک و رسوبات این ده ایستگاه اندازه گیری شده در جدول ۲ آورده شده است.

٤- بحث و بررسی نتایج

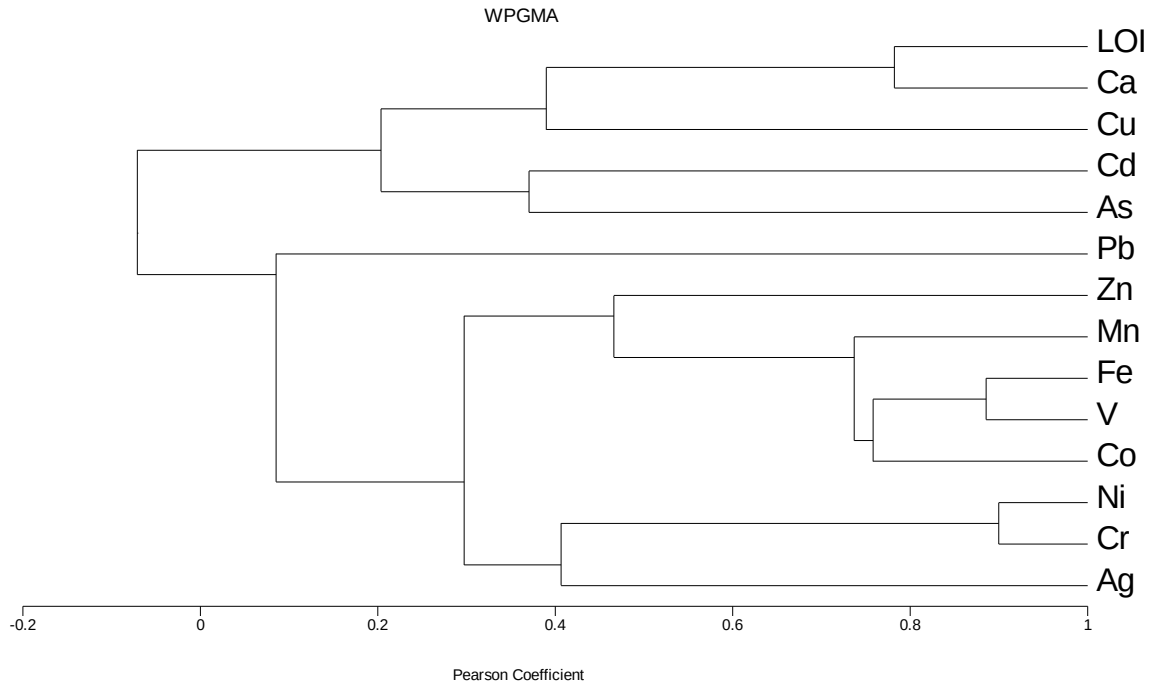
آنالیز خوشه ای داده ها در شکل ۲ آورده شده است. همان طور که مشاهده می شود عناصر نقره، سرب، آرسنیک، کادمیوم و مس هیچ ارتباط معناداری با شاخص های زمینی، نفتی، بیوزنیک وآلی ندارند. عناصری چون آهن، وانادیوم، منگنز، وکبالت در یک شاخه حضور دارند. از آنجائیکه آهن شاخص زمینی است و عناصر این شاخه تحت ضریب تشابه بالا به یک دیگر اتصال یافته اند، می توان اظهار داشت که منشاء عناصر در این شاخه، زمینی است. گرچه وانادیوم به عنوان شاخص نفتی شناخته شده است لیکن در زمانیکه این عنصر با آهن ارتباط دارد نمی توان در برابر شاخص قوی تر و بارزتر از آن به عنوان شاخص آلودگی نفتی یاد کرد. بنابراین وانادیوم نیز دارای منشا زمینی است. LOI و کلسیم در یک شاخه هستند. از آنجایی که کلسیم شاخص بیوژنیک و LOI شاخص آلی می باشد اگر کلسیم با LOI ارتباط داشته باشد می‌توان گفت که کلسیم منشاء آلی دارد چون کلسیم بر دو نوع آلی و معدنی است پس قسمت اعظم کلسیم از مواد آلی بوده است. نیکل، کروم در یک شاخه حضور دارند و چون نیکل شاخص نفتی است در نتیجه می توان بیان داشت که کروم منشا نفتی دارد.

جدول ۲- غلظت فلزات در خاک ناحیه اطراف دریاچه ارومیه محدوده استان آذربایجان غربی

شماره ایستگاه	mg/kg											%		
	Ag	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn	Fe	Ca	LOI
120	0.5	ND	0.3	24	299	37	949	196	8	120	144	6.2	8.4	11.2
122	0.5	ND	0.4	16	212	28	1019	76	9	111	114	5.2	4.2	5.6
123	15.6	ND	0.8	25	355	39	973	238	15	114	249	5.7	8.4	13.8
124	0.5	ND	0.5	15	110	30	619	46	8	89	256	4.8	6.6	9.7
125	0.5	ND	0.2	9	75	18	591	27	6	57	83	3.8	8.2	7.9
126	0.5	ND	0.7	16	112	50	815	46	15	139	169	7.1	5.1	12.1
127	0.5	ND	0.3	15	173	36	890	62	11	129	98	6.4	7.3	9.1
128	0.5	ND	0.4	16	118	45	810	44	18	114	139	5.4	5.9	13.6
131	0.5	11	0.42	8	60	15	260	31	21	34	52	4.6	3.5	5.6
132	2.5	20	0.65	4	37	158	166	11	5	24	40	1.2	29.6	34.4
130	0.74	6	0.3	23	88	44	1162	31	73	212	129	9.6	7.9	6.7
133	0.5	5	0.41	23	58	19	757	16	29	110	126	6.4	2.4	3.5
134	0.5	31	0.81	15	133	30	681	55	29	102	85	5.1	2.1	6.4
135	3.1	25	0.32	5	60	20	264	21	10	29	7	1.5	26.2	32.9
136	0.5	3	0.67	9	96	18	353	48	12	49	53	3.7	5.2	7.9
139	0.5	13	0.43	15	141	38	618	73	16	102	99	5	7.6	14
142	0.5	9	0.5	28	237	56	1094	82	16	162	142	7.4	2.9	6.9
143	2.5	12	0.56	17	131	43	733	71	21	123	81	5.3	5.5	14.4
145	0.5	13	0.21	15	124	30	631	50	17	102	69	4.6	7.3	14.3
149	0.5	12	0.4	13	89	32	447	45	19	96	42	5	6.5	11.2
147	0.5	8	0.1	6	51	22	534	19	10	66	30	3.2	6.5	5.7
148	0.5	9	0.7	10	105	91	615	46	15	79	75	4.3	10.1	15.9
152	0.68	10	0.45	15	116	28	671	51	20	114	65	4.3	9	17.2
153	0.5	11	0.41	12	111	28	561	39	17	92	73	4.4	7.4	15.2
154	0.5	11	0.45	30	266	43	846	241	13	122	69	5.4	5.9	16.2
155	1	19	0.22	10	208	14	600	74	16	52	79	3.2	14.6	22.5
157	0.5	8	0.45	18	194	40	695	118	15	131	88	5.5	3.9	20
158	0.5	6	0.52	23	272	24	722	219	12	94	67	4.9	7.6	13.7
159	0.5	12	0.47	15	141	26	575	69	11	103	68	4.1	16.9	23.5
160	0.5	12	0.67	13	128	26	574	71	14	87	69	3.9	13	27.1
164	0.5	68	0.89	15	124	31	894	68	14	124	81	5.3	8.8	17.9
166	0.5	14	0.52	19	252	41	861	116	20	135	44	6.9	3.5	18.2
168	0.5	8	0.73	14	140	30	839	64	9	93	56	3.2	9.2	19.8
169	0.5	13	0.58	14	146	59	640	85	12	98	63	4	13.4	23.9
174	0.5	11	0.6	15	191	28	699	83	32	120	32	5.4	7.6	12.1
175	0.5	ND	0.1	18	108	33	1333	58	26	106	141	4.4	6.1	10.8
176	0.5	ND	0.5	13	104	28	907	45	19	103	134	4.3	6	10.3
177	0.5	ND	0.2	7	98	19	500	20	8	57	73	2.7	4.5	6
178	0.5	9	0.33	12	186	22	453	64	9	69	32	3.2	15.8	22.6
179	0.5	ND	0.7	14	133	29	538	67	12	102	190	3.2	9.6	35
Min	0.5	3	0.1	4	37	14	166	11	5	24	7	1.2	2.1	3.5
Max	15.6	68	0.89	30	355	158	1333	241	73	212	256	9.6	29.6	35
Mean	1.0655	13.89286	0.47175	15.1	144.55	36.2	697.225	72.15	16.55	99.125	92.65	4.745	8.505	14.87
STD ±	2.430144	12.12692	0.19546	5.943322	72.27935	24.30385	244.5049	56.73761	11.09851	36.15011	54.97158	1.569248	5.682133	8.04284
Mean Crust	0.07	1	0.3	19	90	45	850	80	12	130	95	4.72	3.3	ND
Shale	0.07	13	0.3	19	90	45	850	68	16	130	95	47200	22100	ND
Martin & Meybeck Surficial Rock	ND	7.9	0.2	13	71	32	720	49	16	97	127	35900	45000	ND

جدول ۳- متوسط شدت آلودگی در خاک و رسوبات ده ایستگاه نمونه برداری

		Ag	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn	Fe	Ca
Mean of 10	I_{geo}	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Station	EF	19.46	18.01	1.81	0.80	1.66	1.07	0.84	0.90	1.38	0.76	0.99	1	3.85



شکل ۲- دندوگرام آنالیز خوشه ای فلزات در خاک ناحیه اطراف دریاچه ارومیه محدوده استان آذربایجان غربی

۵- نتیجه گیری

بررسی ژئوشیمی زیست محیطی فلزات سنگین در خاک و رسوبات کشور ایران و محدوده دریاچه ارومیه اندک است. مطالعه حاضر داده های پایه ای از محتویات فلزی خاک و رسوبات اطراف دریاچه ارومیه را ارائه می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود علاوه بر عوامل زمین شناسی و زمین ساخت و سازندهای ناحیه عوامل انسان ساخت و فعالیت های صنعتی نیز باعث حضور فلزات سنگین در خاک و رسوبات نواحی اطرف دریاچه ارومیه می‌باشند.

مقادیر Igeo و EF برای همه ایستگاه ها محاسبه شدند. متوسط مقادیر Igeo و EF برای ده ایستگاه نمونه برداری در جدول ۳ آورده شده است. مقایسه جدول ۳ و جدول ۱ نشان داد که براساس شاخص Igeo در ایستگاه های اندازه گیری شده نقره با آلودگی کم می باشد. باقی عناصر بر اساس این شاخص بدون آلودگی می باشند.

بر اساس شاخص غنی شدگی EF نقره و آرسنیک دارای آلودگی شدید می باشند. کلسیم دارای آلودگی کم می باشد. کادمیوم، کبالت، کروم، مس، منگنز، نیکل، سرب، وانادیوم، روی و آهن بدون آلودگی می باشند .

آنالیز خوشه ای ارتباط معناداری بین تقریبا تمامی عناصر (به غیر از نقره، سرب، آرسنیک، کادمیوم و مس) در این مطالعه نشان داد. به نظر می رسد که توافق خوبی بین دو شاخص شدت آلودگی به کار رفته Igeo و EF وجود دارد. هر دو شاخص شدت آلودگی به کار رفته عدم آلودگی را برای عناصر کادمیوم، کبالت، کروم، مس، منگنز، نیکل، سرب، وانادیوم، روی و آهن نشان دادند و برای باقی عناصر تطابق نداشتند که می تواند به دلیل استفاده از محیط پایه متفاوت باشد (مانند مقادیر شیل، مقادیر پوسته و مقادیر پس زمینه). ما توسعه سطوح پس زمینه ژئوشیمیایی محتوای فلزی را بر اساس تکنیک تفکیک شیمیایی قویا پیشنهاد می کنیم. زمانی که این داده های پس زمینه شیمیایی منطقه مورد مطالعه در دست باشد مقادیر شاخص های شدت آلودگی بازبینی و اصلاح خواهند شد.

٦- سپاسگزاری

انجام این پروژه بدون راهنمایی و همکاری عزیزانی که ما را در این امر یاری نمودند ممکن نمی‌شد. از مدیر محترم گروه برنامه ریزی، فناوری اطلاعات و بودجه سرکار خانم دکتر راضیه لک و استاد راهنمای گرامی‌مان در دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران جناب آقای دکتر کرباسی و سرپرست فنی‌مان جناب آقای دکتر وثوق که در مراحل انجام این پروژه حضور داشته و با نظرات ارزشمند خود یاری گر ما بودند تشکر و قدردانی می‌گردد. از رانندگان واحد نقلیه سازمان زمین شناسی و مسئولین محترم آزمایشگاه و تمامی دوستانی که به هر نحوی ما را یاری نمودند سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

خدا کرمی، ل. سفیانیان، ع. میرغفاری، ن. افیونی، م و گلشاهی، ا. ۱۳۹۰. پهنه بندی غلظت فلزات سنگین کروم، کبالت و نیکل در خاک های سه زیر حوزه آبخیز استان همدان با استفاده از فناوری های GIS و زمین آمار، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال پانزدهم، شماره پنجاه و هشتم

خراط صادقی، م. ۱۳۸۵. بررسی غلظت و منشأ عناصرسنگین در رسوبات بستر رودخانه شیرود، علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره هشتم، شماره ۳

دهرآزما، ب. آذرپیکان، آ. مدبری، س و سیاره ، ع . ۱۳۹۳. ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک منطقه معدن متروکه سرب – روی آی قلعه سی، جنوب خاور تکاب. مجله زمین شناسی مهندسی و محیط زیست، سال بیست و چهارم، شماره ۹۴، صص ۱۲۹ تا ۱۳۸ .

نقشه زمین شناسی آذربایجان غربی (۱:۲۵۰۰۰۰) توسط سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشوردر سال ۱۳۷۹.

وصالی ناصح، م. کرباسی، ع. غضبان، ف. و باغوند، ا. ۱۳۹۱. تحلیل ارتباط بین میزان فلزات سنگین در نمونه های آب و رسوب تالاب انزلی، مجله تحقیقات نظام سلامت، سال هشتم، شماره اول.

هوشمند فیروزآبادی، ف. کریمیان، ع. علمی، م و عظیم زاده، ح. ۱۳۹۳. پراکنش عناصر سنگین ناشی از کاربریهای انسانی در خاک پارک ملی بمو، مجله پژوهشهای خاک، علوم خاک و آب، شماره ۲۸.

Abrahim, G. M. S., & Parker, R. J. 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. Environmental Monitoring and Assessment, 136(1-3), 227-238.

Anagnostou, C., Kaberi, H., & Karageorgis, A. 1997. Environmental impact on the surface sediments of the bay and the gulf of Thessaloniki according to the Geoaccumulation Index classification. Paper presented at the Rajar J, Brebbia CA (eds) Water pollution IV – measuring, modelling and prediction.

Boisson, J., Ruttens, A., Mench, M., Vangronsveld, J., 1999. *Evaluation of hydroxyapatite as a metal immobilizing soil additive for the remediation of polluted soils. Part 1. Influence of hydroxyapatite on metal exchange ability in soil, plant growth and plant metal accumulation*, Environmental Pollution,104,pp. 225–
233.

Bradl, H. B., 2005- Heavy elements in environment, Elsevier Ltd, 283 pp.

Briki, M., et al. (2015). "Characterization, distribution, and risk assessment of heavy metals in agricultural soil and products around mining and smelting areas of Hezhang, China." Environmental monitoring and assessment **187**(12): 1-21.

Chester,R.; Hughes, M.,(1977).A chemical technique for the separation of ferromanganez minerals,carbonat minerals and adsorbed trace elements from plagic sediments. J.chem. Geo., (2): 242-262

Ćujić, Mirjana, et al. "Environmental Assessment of Heavy Metals around the Largest Coal Fired Power Plant in Serbia." *CATENA* 139 (2016): 44-52. Print.

Davis (1973). Wie Statistics and Data Analysis in Geology: Wiley.

Ghaemi, Zohreh, et al. "Evaluating Soil Metallic Pollution and Consequent Human Health Hazards in the Vicinity of an Industrialized Zone, Case Study of Mubarakeh Steel Complex, Iran." *Journal of Environmental Health Science and Engineering* 13.1 (2015): 1. Print.

Karbassi, A. R., Shankar, R., & Manjunatha, B. R. 2001. Geochemistry of shelf sediments off Mulki on southwestern coast of India and their palaeo-environment significance. Journal of the Geological Society of India, 58, 37–44.

Karbassi, A. R., Nabi-Bidhendi, G. R., & Bayati, I. 2005. Environmental geochemistry of heavy metals in a sediment core off Bushehr, Persian Gulf. Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering, 2(4), 255-260.

Lado, L. R., 2008, *Heavy metals in European soils: A geostatistical analysis of the FOREGS Geochemical database*. Geoderma. Vol. 148. 189-199.

Machender, G., et al. (2012). "Assessment of trace element contamination in soils around Chinnaeru River Basin, Nalgonda District, India." Environmental Earth Sciences **70**(3): 1021-1037.

Muller, G. 1979. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins Veranderungenseit. Umschau, 79 (24), 778 –783.