

بررسی ژئوشیمی زیست محیطی عناصر سمی در ناحیه غرب شهر خوی تا مرز رازی

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.sanaei@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۸/۱۰

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۶/۲۵

چکیده

مطالعه حاضر با هدف بررسی ژئوشیمی عناصر سمی از محتویات فلزی خاک و رسوبات سطحی ناحیه غرب شهرستان خوی تا مرز رازی در استان آذربایجان غربی انجام گرفته است. بررسی ژئوشیمی زیست محیطی فلزات سنگین در خاک و رسوبات کشور ایران اندک است. همان طور که مشاهده می شود 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 غرب شهرستان خوی تا مرز رازی می باشد.

آنالیز خوشه ای ارتباط معناداری بین تقریباً تمامی عناصر (به غیر از کادمیوم و مس) در این مطالعه نشان داد. به نظر می رسد که توافق خوبی بین دو شاخص شدت آلودگی به کار رفته I_{geo} و EF وجود دارد. هر دو شاخص شدت آلودگی به کار رفته عدم آلودگی را برای عناصر کادمیوم، کبالت، 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

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 آلاینده های خطرناک محسوب می شوند. 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 می توان 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).

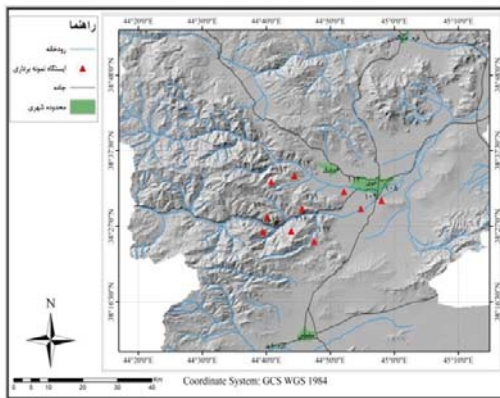
بهره گیری از علم ژئوشیمی رسوبات، مطمئن ترین روش در برآورد دقیق میزان آلودگی و منشأ یابی آن است. از سال ۱۹۶۰ کاربرد علمی ژئوشیمی در تشخیص انواع آلاینده های معدنی محیط زیستی افزایش یافت. بدلیل ثبت آلاینده ها از یک طرف و عدم تغییرات فصلی در غلظت فلزات سنگین در رسوبات، بهره گیری از علم ژئوشیمی تحت عنوان 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

فلزات سنگین منجر شده است، اما غلظت فلزات دیگر به طور قابل توجهی تغییر نکرده است. مقدار شاخص های EF، Igeo، 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 گرمایی 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 (Co، CD، 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، سرب، 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، رییدیوم، استرانسیوم، وانادیوم و روی در خاک را مورد مطالعه قرار داده اند. آلودگی خاک بر اساس شاخص های (Igeo) 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 نمونه های خاک، نشان داده که آلودگی قابل توجهی از فلزات سنگین وجود دارد که می تواند 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، باریوم، 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 فرایندهای زمین شناسی طبیعی در منطقه سرچشمه گرفته است. این تحقیق با هدف بررسی آلودگی خاک سطحی به فلزات

فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی از جمله آلاینده های پایدار در خاک بوده و چون توسط موجودات خاک تجزیه نمی شوند، از خاک به گیاه، محصولات کشاورزی و در نتیجه فرآورده های دامی منتقل شده و وارد چرخه غذایی انسان می گردند. 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 می گذارد (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 می باشد. 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 می گذارند، 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 می شوند (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



شکل ۱- موقعیت ایستگاه های نمونه برداری در ناحیه غرب شهرستان خوی تا مرز رازی در 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، نمونه هایی از لایه سطحی (صفر تا ۱۵ سانتیمتر) تهیه و به آزمایشگاه منتقل گردید. غلظت کل فلزات در ایستگاه های نمونه برداری با استفاده از دستگاه های پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES) و طیف سنج فلورسانسی 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 شاخص های شدت آلودگی، شاخص ژئوشیمیایی مولر است که در سال ۱۹۷۹ تدوین شد. فرمول آن به شرح زیر می باشد (Muller, 1979):

$$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{Cn}{Bn \times 1.5} \right] \quad (1)$$

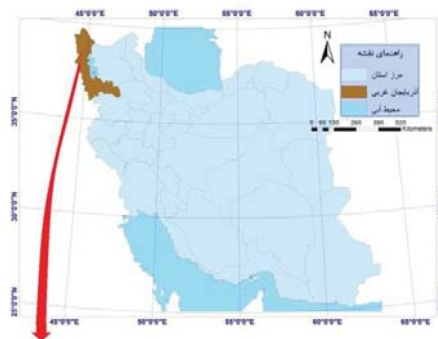
Cn= غلظت فعلی عنصر در خاک و رسوب

سنگین و بررسی علت آلودگی در ناحیه غرب شهرستان خوی تا مرز رازی در استان آذربایجان غربی با استفاده از شاخص های شدت آلودگی Igeo، EF، و تحلیل ارتباط عناصر با یک دیگر توسط آنالیز خوشه ای انجام گرفته است.

۲- روش انجام تحقیق

منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق، غلظت پیشینه عناصر (فلزات سنگین) در خاک سطحی در ۱۰ ایستگاه (نمونه) در ناحیه غرب شهرستان خوی تا مرز رازی در استان آذربایجان غربی اندازه گیری 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 نمونه برداری در ابتدا از نقشه زمین شناسی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ استفاده گردید (نقشه زمین شناسی استان آذربایجان غربی، ۱۳۷۹). سپس موقعیت ایستگاه ها روی نقشه ها در محیط نرم افزار ArcGIS نهایی شدند (شکل ۱).



Bn= غلظت عنصر در شیل

1/5= فاکتور تصحیح شیل

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 وسیله آن می توان 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 می شود (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 کننده 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 ناحیه غرب شهرستان خوی تا مرز رازی در جدول ۲ آورده شده است.

برای عنصر نقره در همه ایستگاه ها به دلیل عدم تشخیص توسط دستگاه نمی توان نظر دقیقی داد.

حداکثر غلظت کادمیوم 0.8 mg/kg در ایستگاه ۱۱۷ و حداقل آن 0.07 mg/kg در ایستگاه ۱۱۶ مشاهده شد. بیشترین غلظت در جنوب غربی شهرستان خوی در نزدیکی روستای یزدکان بوده است و کمترین غلظت در همان حوالی در نزدیکی روستای استران بوده است. کادمیوم در ایستگاه ۱۱۱ از مقادیر میانگین داده ها و میانگین پوسته

در این فرمول به لحاظ آنکه غلظت پیشین عنصر از طریق تجزیه کامل به دست نمی آید 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; Abraham and Parker, 2008) خط کشی برای تعیین شدت آلودگی به کار گرفته می شود که این خط کش در جدول ۱ آورده شده است.

شاخص EF در سال ۱۹۷۷ از سوی چستر و هوگس ارائه شد و فرمول به شرح زیر است:

$$EF = \frac{Cn}{Bn} \frac{Fe}{Fe} \quad (2)$$

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 می شود سپس، حاصل تقسیم بر کسر دوم که مربوط به غلظت های پوسته زمین است، مجدداً تقسیم می شود (Abraham and Parker, 2008). خط کشی برای تعیین شدت آلودگی به کار گرفته می شود که این خط کش در جدول ۱ آورده شده است.

جهانی بالاتر است. در ایستگاه ۱۰۹ از مقادیر میانگین داده ها و میانگین پوسته جهانی بالاتر است به دلیل آنکه از نظر زمین شناسی کنگلومرای رودخانه ای، کنگلومرا و ماسه سنگ کوهپایه ای می باشد. در ایستگاه ۱۱۰ از مقادیر

میانگین داده ها و میانگین پوسته جهانی بالاتر است چون از نظر زمین شناسی ماسه سنگ، کنگلومرا، مارن و سنگ آهک شن و ماسه می باشد. در ایستگاه ۱۱۱ از مقادیر میانگین داده ها کمتر ولی از میانگین پوسته جهانی بالاتر

است چون از نظر زمین شناسی لیمستون پلاژیک، سنگ چرت رادیولری و شیل در ارتباط با بازالت و گدازه آندزیتی بازالت بالشی قرار دارد. در ایستگاه ۱۱۲ از مقادیر میانگین داده ها و میانگین پوسته جهانی بالاتر است چون از نظر زمین شناسی نهشته های تراسه ای دره ای و وزشی کوهپایه ای در ارتفاعات بالا دست می باشد. در ایستگاه ۱۱۳ از مقادیر میانگین داده ها و میانگین پوسته جهانی بالاتر است از نظر زمین شناسی لیمستون گلوبوترونکا می باشد. در ایستگاه ۱۱۵ از مقادیر میانگین داده ها کمتر ولی از میانگین پوسته جهانی بالاتر است چون از نظر زمین شناسی لیمستون گلوبوترونکا می باشد. بر اساس شاخص Igeo در ایستگاه های ۱۰۹ و ۱۱۰ و ۱۱۲ و ۱۱۳ دارای آلودگی کم و در باقی نقاط بدون آلودگی می باشد. بر اساس شاخص EF کروم در ایستگاه های ۱۱۰ و ۱۱۱ و ۱۱۲ و ۱۱۳ و ۱۱۵ دارای آلودگی کم و در باقی نقاط بدون آلودگی می باشد.

حداقل غلظت مس 43 mg/kg در ایستگاه ۱۱۵ و حداکثر آن 82 mg/kg در ایستگاه ۱۱۲ مشاهده شد. بیشترین غلظت در زمین کشاورزی یونجه زار در نزدیکی روستای کورتی در غرب شهر خوی بوده است و کمترین غلظت در نزدیکی پاسگاه حفاظتی دره خان در غرب شهرستان خوی در مسیر مرز رازی و کوهستانی و صعب العبور بوده است. در ایستگاه ۱۱۲ از مقادیر میانگین داده ها و میانگین پوسته جهانی بالاتر است چون از نظر زمین شناسی نهشته های تراسه ای دره ای و وزشی کوهپایه ای در ارتفاعات بالا دست می باشد. بر اساس شاخص Igeo در تمامی نقاط بدون آلودگی می باشد. بر اساس شاخص EF در تمامی نقاط بدون آلودگی می باشد.

حداقل غلظت منگنز 902 mg/kg در ایستگاه ۱۱۱ و حداکثر آن 1477 mg/kg در ایستگاه ۱۰۸ مشاهده شد. کمترین غلظت در

جهانی بالاتر است به دلیل آنکه از نظر زمین شناسی لیمستون پلاژیک، سنگ چرت رادیولری و شیل در ارتباط با بازالت و گدازه

آندزیتی بازالت بالشی می باشد. در ایستگاه ۱۱۵ از مقادیر میانگین داده ها کمتر ولی از میانگین پوسته جهانی بالاتر است چون از نظر زمین شناسی لیمستون گلوبوترونکا می باشد. در ایستگاه ۱۱۷ از

مقادیر میانگین داده ها و میانگین پوسته جهانی بالاتر است چون از نظر زمین شناسی لیمستون پلاژیک تمایز نیافته و سنگ چرت رادیولری می باشد. بر اساس شاخص Igeo در تمامی نقاط بدون آلودگی می باشد. بر اساس شاخص EF کادمیوم در ایستگاه های ۱۱۱ و ۱۱۵ و ۱۱۷ دارای آلودگی کم و در باقی نقاط بدون آلودگی می باشد.

حداقل غلظت کبالت 15 mg/kg در ایستگاه ۱۱۵ و حداکثر آن 44 mg/kg در ایستگاه ۱۱۴ مشاهده شد. کمترین غلظت در نزدیکی پاسگاه حفاظتی دره خان در غرب شهرستان خوی در مسیر مرز رازی و کوهستانی و صعب العبور بوده است و بیشترین غلظت در غرب فیرورق در نزدیکی خرابه بدلان بوده است. در ایستگاه ۱۱۴ از مقادیر میانگین داده ها و میانگین پوسته جهانی بیشتر است به دلیل آنکه از نظر زمین شناسی لیمستون پلاژیک، سنگ چرت رادیولری و شیل در ارتباط با بازالت و گدازه آندزیتی بازالت بالشی می باشد. بر اساس شاخص Igeo در تمامی نقاط بدون آلودگی می باشد. بر اساس شاخص EF در تمامی نقاط بدون آلودگی می باشد.

حداکثر غلظت کروم 537 mg/kg در ایستگاه ۱۱۰ مشاهده شد. بیشترین غلظت در نزدیکی روستای آلمالو در غرب شهرستان خوی در مسیر مرز رازی و کوهستانی و صعب العبور بوده است. حداقل غلظت کروم 152 mg/kg در ایستگاه ۱۱۱ مشاهده شد. کمترین غلظت در نزدیکی روستای بیانلو در غرب شهرستان خوی در مسیر مرز رازی و کوهستانی و صعب العبور بوده است. میانگین داده های ایستگاه های کروم نسبت به میانگین پوسته

آندزیتی بازالت بالشی می باشد. در ایستگاه ۱۱۵ از مقادیر میانگین داده ها و میانگین پوسته جهانی بیشتر است به دلیل آنکه از نظر زمن شناسی لیمستون گلوبوترونکا می باشد. بر اساس شاخص Igeo در تمامی نقاط بدون آلودگی می باشد. بر اساس شاخص EF سرب در ایستگاه های ۱۱۱ و ۱۱۵ دارای آلودگی متوسط و در باقی نقاط بدون آلودگی می باشد.

حداقل غلظت وانادیوم 59 mg/kg در ایستگاه 115 و حداکثر آن 259 mg/kg در ایستگاه 114 مشاهده شد. کمترین غلظت در نزدیکی پاسگاه حفاظتی دره خان در

غرب شهرستان خوی در مسیر مرز رازی و کوهستانی و صعب العبور بوده است و بیشترین غلظت در غرب فیرورق در نزدیکی خرابه بدلان بوده است. در ایستگاه 114 از مقادیر میانگین داده ها و میانگین پوسته جهانی بالاتر است به دلیل آنکه از نظر زمین شناسی لیمستون پلاژیک، سنگ چرت رادیولری و شیل در ارتباط با بازالت و گدازه آندزیتی بازالت بالشی می باشد. بر اساس شاخص Igeo در تمامی نقاط بدون آلودگی می باشد. بر اساس شاخص EF در تمامی نقاط بدون آلودگی می باشد.

حداقل غلظت روی 105 mg/kg در ایستگاه 116 و حداکثر آن 196 mg/kg در ایستگاه 110 مشاهده شد. کمترین غلظت در نزدیکی روستای استران در غرب شهرستان خوی در مسیر مرز رازی کوهستانی و صعب العبور بوده است و بیشترین غلظت در نزدیکی روستای آمالو در غرب شهرستان خوی در مسیر مرز رازی و کوهستانی و صعب العبور بوده است. در ایستگاه ۱۱۰ از مقادیر میانگین داده ها و میانگین پوسته جهانی بیشتر است چون از نظر زمین شناسی ماسه سنگ، کنگلومرا، مارن و سنگ آهک شن و ماسه می باشد. در ایستگاه ۱۱۱ از مقادیر میانگین داده ها و میانگین پوسته جهانی بیشتر است چون از نظر زمین شناسی لیمستون پلاژیک، سنگ چرت رادیولری و شیل در ارتباط با بازالت و گدازه آندزیتی بازالت بالشی می باشد. در ایستگاه ۱۱۵ از مقادیر میانگین داده ها و میانگین پوسته جهانی بیشتر است چون از نظر زمین شناسی لیمستون گلوبوترونکا می باشد. بر اساس شاخص Igeo در تمامی

نزدیکی روستای بیانلو در غرب شهرستان خوی در مسیر مرز رازی و کوهستانی و صعب العبور بوده است و بیشترین غلظت در جنوب شهر خوی در نزدیکی روستای شیرین کندی بوده است. در ایستگاه ۱۰۸ از مقادیر میانگین داده ها و میانگین پوسته جهانی بیشتر است به دلیل آنکه از نظر زمین شناسی نهشته های تراسه ای دره ای و وزشی کوهپایه ای در ارتفاعات بالا دست می باشد. بر اساس شاخص Igeo در تمامی نقاط بدون آلودگی می باشد. بر اساس شاخص EF در تمامی نقاط بدون آلودگی می باشد. حداقل غلظت نیکل 71 mg/kg در ایستگاه 116 و حداکثر آن 314 mg/kg در ایستگاه 112 مشاهده شد. کمترین غلظت در نزدیکی روستای استران در غرب شهرستان خوی در مسیر مرز رازی کوهستانی و صعب العبور بوده است و بیشترین غلظت در زمین کشاورزی یونجه زار در نزدیکی روستای کورتی در غرب شهر خوی بوده است. در ایستگاه ۱۱۲ از مقادیر میانگین داده ها و میانگین پوسته جهانی بالاتر است به دلیل آنکه از نظر زمین شناسی نهشته های تراسه ای دره ای و وزشی کوهپایه ای در ارتفاعات بالا دست می باشد. بر اساس شاخص Igeo در ایستگاه ۱۱۲ دارای آلودگی کم و در باقی نقاط بدون آلودگی می باشد. بر اساس شاخص EF در ایستگاه ۱۱۲ دارای آلودگی کم و در باقی نقاط بدون آلودگی می باشد.

حداقل غلظت سرب 4 mg/kg در ایستگاه 116 و حداکثر آن 39 mg/kg در ایستگاه 111 مشاهده شد. کمترین غلظت در نزدیکی روستای استران در غرب شهرستان خوی در مسیر مرز رازی کوهستانی و صعب العبور بوده است و بیشترین غلظت در نزدیکی روستای بیانلو در غرب شهرستان خوی در مسیر مرز رازی و کوهستانی و صعب العبور بوده است. در ایستگاه ۱۱۱ از مقادیر میانگین داده ها و میانگین پوسته جهانی بالاتر است به دلیل آنکه از نظر زمین شناسی لیمستون پلاژیک، سنگ چرت رادیولری و شیل در ارتباط با بازالت و گدازه

تمامی نقاط بدون آلودگی می باشد. بر اساس شاخص EF کلسیم در ایستگاه های ۱۱۷ دارای آلودگی کم و در ایستگاه های ۱۱۱ و ۱۱۵ دارای آلودگی متوسط و در باقی نقاط بدون آلودگی می باشد. حداقل مقدار ماده آلی ۵٫۹٪ در ایستگاه ۱۱۶ و حداکثر آن ۲۹٫۵٪ در ایستگاه ۱۱۵ مشاهده شد. بیشترین غلظت در نزدیکی پاسگاه حفاظتی دره خان در غرب شهرستان خوی در مسیر مرز رازی و کوهستانی و صعب العبور بوده است. کمترین غلظت در نزدیکی روستای استران در غرب شهرستان خوی در مسیر مرز رازی کوهستانی و صعب العبور بوده است. در ایستگاه ۱۱۵ از مقادیر میانگین داده ها بالاتر است چون از نظر زمین شناسی لیمستون گلوبوترونکا می باشد.

آنالیز خوشه ای داده ها در شکل ۲ آورده شده است. همان طور که مشاهده می شود عناصر مس و کادمیوم هیچ ارتباط معناداری با هیچ کدام از شاخص های بیوزنیک، آلی، زمینی و نفتی ندارند. سرب، کلسیم و LOI در یک شاخه می باشند که کلسیم شاخص بیوزنیک و LOI شاخص آلی می باشند و منشا یکدیگر می توانند باشند. اگر کلسیم با LOI ارتباط داشته باشد می توان گفت که کلسیم منشاء آلی دارد چون کلسیم بر دو نوع آلی و معدنی است پس قسمت اعظم کلسیم از مواد آلی بوده است. همچنین سرب نیز منشا آلی داشته است. عناصر کبالت، نیکل، کروم، منگنز، وانادیوم، آهن و روی در یک شاخه حضور دارند که آهن شاخص زمینی می باشد در نتیجه عناصر این شاخه با ارتباط مثبت و معنی دار دارای منشا زمینی می باشند. گرچه نیکل و وانادیوم به عنوان شاخص های نفتی شناخته شده اند لیکن در زمانیکه این دو عنصر با آهن ارتباط دارند نمی توان در برابر شاخص قوی تر و بارزتر از آنها به عنوان شاخص آلودگی نفتی یاد کرد. بنابراین نیکل و وانادیوم نیز دارای منشا زمینی هستند.

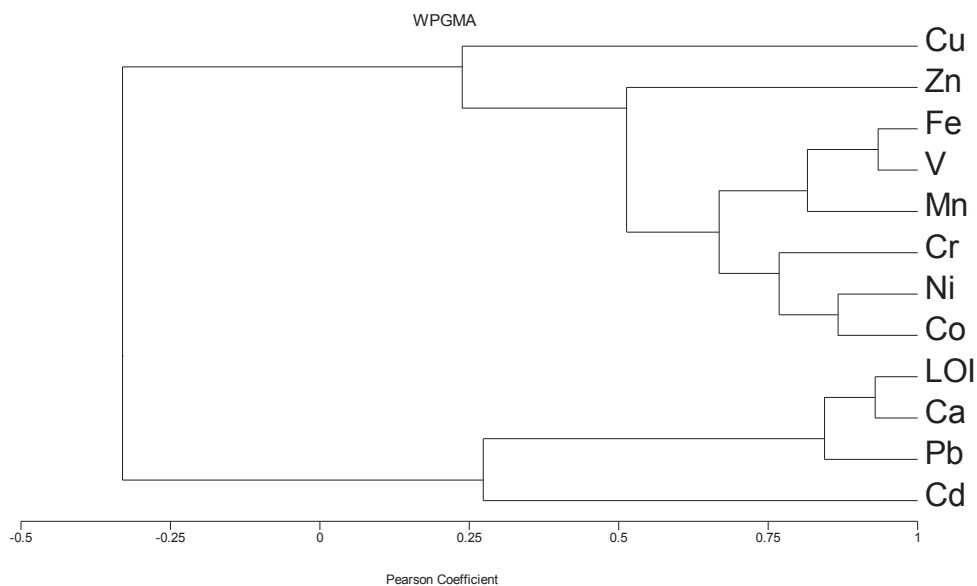
نقاط بدون آلودگی می باشد. بر اساس شاخص EF روی در ایستگاه ۱۱۱ و ۱۱۵ دارای آلودگی کم و در باقی نقاط بدون آلودگی می باشد. حداقل غلظت آهن ۲٫۸٪ در ایستگاه ۱۱۵ و حداکثر آن ۱۱٫۳٪ در ایستگاه ۱۱۰ مشاهده شد. کمترین غلظت در نزدیکی پاسگاه حفاظتی دره خان در غرب شهرستان خوی در مسیر مرز رازی و کوهستانی و صعب العبور بوده است و بیشترین غلظت در نزدیکی روستای آمالو در غرب شهرستان خوی در مسیر مرز رازی و کوهستانی و صعب العبور بوده است. آهن در ایستگاه ۱۱۰ از مقادیر میانگین داده ها و میانگین پوسته جهانی بیشتر است چون از نظر زمین شناسی ماسه سنگ، کنگلومرا، مارن و سنگ آهک شن و ماسه

می باشد. بر اساس شاخص Igeo در تمامی نقاط بدون آلودگی می باشد. بر اساس شاخص EF در تمامی نقاط بدون آلودگی می باشد.

حداکثر غلظت کلسیم ۲۴٫۲٪ در ایستگاه ۱۱۵ مشاهده شد. بیشترین غلظت در نزدیکی پاسگاه حفاظتی دره خان در غرب شهرستان خوی در مسیر مرز رازی و کوهستانی و صعب العبور بوده است. حداقل غلظت کلسیم ۳٫۹٪ در ایستگاه ۱۱۶ بوده است. کمترین غلظت در نزدیکی روستای استران در غرب شهرستان خوی در مسیر مرز رازی کوهستانی و صعب العبور بوده است. کلسیم در ایستگاه ۱۱۱ از مقادیر میانگین داده ها و میانگین پوسته جهانی بالاتر است. به دلیل آنکه از نظر زمین شناسی لیمستون پلاژیک، سنگ چرت رادیولری و شیل در ارتباط با بازالت و گدازه آندزیتی بازالت بالشی می باشد. در ایستگاه ۱۱۵ از مقادیر میانگین داده ها و میانگین پوسته جهانی بالاتر است چون از نظر زمین شناسی دارای لیمستون گلوبوترونکا می باشد. در ایستگاه ۱۱۷ از مقادیر میانگین داده ها و میانگین پوسته جهانی بالاتر است چون از نظر زمین شناسی دارای لیمستون پلاژیک تمایز نیافته و سنگ چرت رادیولری می باشد. بر اساس شاخص Igeo

شماره ایستگاه	mg/kg										%		
	Ag	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn	Fe	Ca	LOI
108	0.5	0.78	29	303	63	1477	85	6	202	165	9.5	8.5	10.2
109	0.5	0.4	38	362	69	1214	197	6	204	155	9.5	8.5	9.5
110	0.5	0.41	36	537	56	1275	231	9	254	196	11.3	4.1	7.8
111	0.5	0.62	17	152	62	902	83	39	96	146	3.5	15.8	22
112	0.5	0.32	42	378	82	1367	314	11	197	155	8.4	5.4	11.1
113	0.5	0.55	43	366	72	1275	267	12	192	127	8.3	6.2	16.5
114	0.5	0.26	44	308	78	1389	234	10	259	169	11.1	4	7.5
115	0.5	0.36	15	153	43	931	94	33	59	122	2.8	24.2	29.5
116	0.5	0.07	28	189	73	1215	71	4	243	105	7.4	3.9	5.9
117	0.5	0.8	19	159	68	1160	86	14	108	142	4.6	11.9	19.5
Min	0.5	0.07	15	152	43	902	71	4	59	105	2.8	3.9	5.9
Max	0.5	0.8	44	537	82	1477	314	39	259	196	11.3	24.2	29.5
Mean	0.5	0.46	31.1	290.7	66.6	1220.5	166.2	14.4	181.4	148.2	7.64	9.25	13.95
STD ±	0	0.23	11.14	127.09	11.30	185.76	91.88	11.86	69.95	26.11	3.04	6.51	7.67
Mean Crust	0.07	0.3	19	90	45	850	80	12	130	95	4.72	3.3	ND
Shale	0.07	0.3	19	90	45	850	68	16	130	95	47200	22100	ND
Martin & Meybeck Surficial Rock	ND	0.2	13	71	32	720	49	16	97	127	35900	45000	ND

جدول ۲- غلظت فلزات در خاک ناحیه غرب شهرستان خوی تا مرز رازی



شکل ۲- دندوگرام آنالیز خوشه ای فلزات در خاک سطحی ناحیه غرب شهرستان خوی تا مرز رازی

۴- نتیجه گیری

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

	Ca	0	2.89
	Fe	0	1
	Zn	0.01	1.14
	V	0	0.87
	Pb	0	1.27
	Ni	0.15	1.34
	Mn	0	1.02
	Cu	0	1.07
	Cr	0.29	2.06
	Co	0.01	1.06
	Cd	0	1.22
	Ag	0.68	5.48
Station	I _{geo}		
	EF		
	Mean of 10		

بررسی ژئوشیمی زیست محیطی فلزات سنگین در خاک و رسوبات کشور ایران اندک است. مطالعه حاضر داده های پایه ای از محتویات فلزی خاک و رسوبات ناحیه غرب شهرستان خوی تا مرز رازی را ارائه می دهد. همان طور که مشاهده می شود 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 می باشند.

مقادیر I_{geo} و EF برای همه ایستگاه ها محاسبه شدند. متوسط مقادیر I_{geo} و EF برای ده ایستگاه نمونه برداری در جدول ۳ آورده شده است. مقایسه جدول ۳ و جدول ۱ نشان داد که براساس شاخص I_{geo} 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 دارای آلودگی متوسط می باشند. کادمیوم، کبالت، مس، منگنز، نیکل، سرب، وانادیوم، روی و آهن بدون آلودگی می باشند. کلسیم و کروم با آلودگی کم می باشد.

آنالیز خوشه ای ارتباط معناداری بین تقریباً تمامی عناصر (به غیر از کادمیوم و مس) در این مطالعه نشان داد. به نظر می رسد که توافق خوبی بین دو شاخص شدت آلودگی به کار رفته I_{geo} و EF وجود دارد. هر دو شاخص شدت آلودگی به کار رفته عدم آلودگی را برای عناصر کادمیوم، کبالت، 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 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.

سپاسگزاری

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