

## مدل سازی ژئوشیمیایی در بررسی آلودگی زیست محیطی عناصر سنگین با تاکید بر Cu-Pb با استفاده از دورسنجی در جنوب کاشان

مهران فرهمندیان، علی قاسمی، سهراب افشاری، مهدی شبانکاره

استادیار دانشگاه واحد صنعتی اصفهان. farahmandian@acecr.ac.ir

تاریخ تصویب: ۹۳/۶/۳۱

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۸

### چکیده

منطقه جنوب کاشان از دیدگاه زمین ساختاری بخشی از زون ارومیه- دختر محسوب می شود. سنگ های آتشفشانی انوسن در این ناحیه تحت تاثیر سیالات تاخیری ناشی از توده های گرانودیوریتی الیگومیوسن قرار گرفته و باعث دگرسانی های آرژلیک، سریتیک، پروپلیتیک، کالکسیلیکاته و سیلیسی شدن در سنگ های انوسن گردیده است. بر اساس نتایج تجزیه خوشه ای بر روی نمونه ها، عناصر مورد بررسی را به دو گروه **Pb-Zn-As** و **Cu-Co-Cd** می توان تفکیک نمود. توزیع فلزات گروه اول انطباق نسبتا خوبی با زون دگرسانی آرژلیک و گروه دوم با سنگ های اسکارنی دارد. کمینه و بیشینه غلظت عناصر **Pb, Cu, Zn, Cd, As, Co** در نمونه ها به ترتیب بین (۱/۵-۴۵۹)، (۱-۶۲۳)، (۲/۹۷-۲۱)، (۱۴-۴۱۳)، (۰/۵-۲۱) و (۱/۵-۱۷) میلی گرم بر کیلوگرم می باشد. بنابر استانداردهای موجود، غلظت **Pb** و **Cu** بیش از حد طبیعی است. محاسبات هاله مرکب ضربی، مبین همبستگی بالای آلودگی مس و سرب با دگرسانی آرژلیک و به مقدار کمتر دگرسانی کالکسیلیکاته است. تخمین به روش کریچینگ نشان دهنده بالاترین توزیع غلظت **Pb** و **Cu** به صورت لکه هایی در قسمت جنوبی منطقه بر روی سنگ بستر آذرین می باشد. بنابر داده های موجود در این پژوهش، منشا آلودگی **Pb** و **Cu** توده گرانودیوریتی بوده و دگرسانی گرمایی سیالات برخاسته از این توده سبب افزایش غلظت عناصر فوق شده است.

واژگان کلیدی: مدل سازی ژئوشیمیایی، آلودگی فلزات سنگین، دورسنجی، دگرسانی، جنوب کاشان

### مقدمه

دگرسانی اطلاق می شود که شدت و نوع آن به خواص سنگ درونگیر و مشخصه های فیزیکی شیمیایی سیال بستگی دارد (Lagat 2009). واکنش های دگرسانی سبب افزایش غلظت عناصر فلزی می شود. از مهم ترین انواع آن می توان به دگرسانی آرژلیک، سریتیک، پروپلیتیک و پتاسیک اشاره نمود (Robb 2004).

همچنین آب های اسیدی ایجاد شده به وسیله فعالیت های معدنکاری سبب تشکیل اسید سولفوریک می شود که به کانی های دیگر حمله کرده و محلول هایی را به وجود می آورد که ممکن است عناصر سمی (As, Cd) و... را وارد محیط زیست کند (Nordberg et al. 1985). سنجش از دور امروزه در مطالعات زمین شناسی از اهمیت ویژه ای برخوردار است به طوری که این فناوری می تواند اطلاعات ارزشمندی در خصوص مطالعات ساختاری از جمله شناسایی زونهای دگرسانی، پدیده های ژئوموفولوژیکی و غیره در اختیار ما قرار دهد (Amer et al. 2010). منطقه

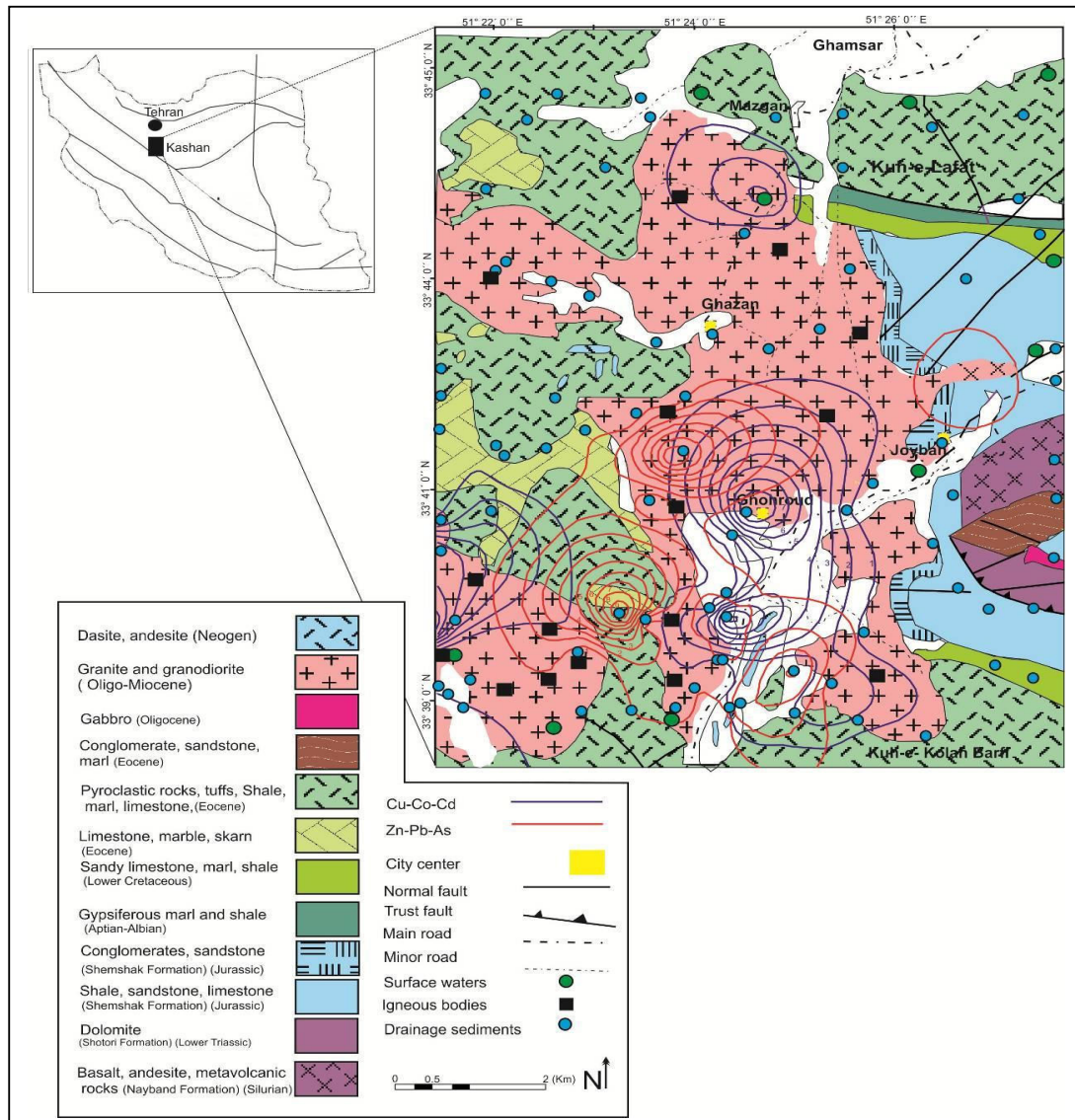
فلزات و ترکیبات فلزی بین هواکره، آبکره، سنگ کره و زیست کره در حرکت است (Bargagli 2000). پراکندگی آن ها در محیط زیست توسط فرآیندهای طبیعی (آتشفشان، فرسایش، چشمه های معدنی و فعالیت های باکتریایی) و فعالیت انسان زاد (سوزاندن سوخت های فسیلی، فرآیندهای صنعتی، معدنی و کشاورزی) کنترل می شود (Tume 2010) عناصری نظیر **Pb, Hg, Cd, Zn, Se** در خاک بسیار ساکن هستند و افزایش غلظت آن ها در خاک سبب ایجاد آلودگی محیط زیست و بروز مسمومیت می شود (Oliveira 2011). این عناصر از مهمترین آلاینده های آب هستند و به راحتی توسط خاک جذب می شوند. از دیدگاه ژئوشیمیایی اکثریت آن ها، جزء گروه عناصر کمیاب بوده و پتانسیل بالایی برای تمرکز در سنگ های گرانیتوئیدی دارند (Liu et al. 2006). به کلیه تغییرات بافتی، کانی شناسی و شیمیایی که تحت تاثیر آب های ماگمایی و گرمایی در سنگ اولیه ایجاد می گردد،

۲۸° ۵۱' طول شرقی و ۳۸° ۳۳' الی ۴۵° ۳۳' عرض شمالی آلودگی ژئوشیمیایی انجام نشده است. بنابراین پژوهش حاضر با هدف شناسایی ارتباط کانی‌زایی و آلودگی‌های زیست محیطی در منطقه انجام گرفته است.

### روش تحقیق

پس از بررسی منابع موجود با استفاده از دانش دورسنجی، محل‌های مناسب نمونه‌برداری مشخص و در مجموع تعداد ۱۲۰ نمونه خاک، سنگ و آب برداشت گردید که در آزمایشگاه بهین آزمون سپاهان بر روی آن‌ها تجزیه ICP-MS انجام شد.

مورد مطالعه در ۴۵ کیلومتری جنوب کاشان در ۲۱° ۵۱' الی واقع شده (شکل ۱) و در پهنه ساختاری ارومیه- دختر قرار دارد. توده نفوذی منطقه ماهیت کالکوالکالن دارد و موقعیت تکتونیکی آن کمان قاره‌ای است (آهنکوب، ۱۳۹۱). پیشروی یک دریای کم عمق در اوایل دوران سوم در مجاورت فعالیت‌های ماگمایی ائوسن سبب ایجاد دگرسانی گرمابی در سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری منطقه شده است (کبیری، ۱۳۹۰). مطالعات پراکنده‌ای در قالب گزارش‌ها و پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد در زمینه سنگ‌شناسی و کانه‌زایی در بخش‌هایی از این منطقه انجام گرفته است و تاکنون مطالعه جامعی در خصوص مدل‌سازی



شکل ۱- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه با موقعیت نمونه‌ها به همراه ترازهای آلودگی برای مس - کبالت - کادمیوم و سرب - روی - آرسنیک

تشکیل زون‌های غنی از اپیدوت و کانی‌سازی هماتیت شده است.

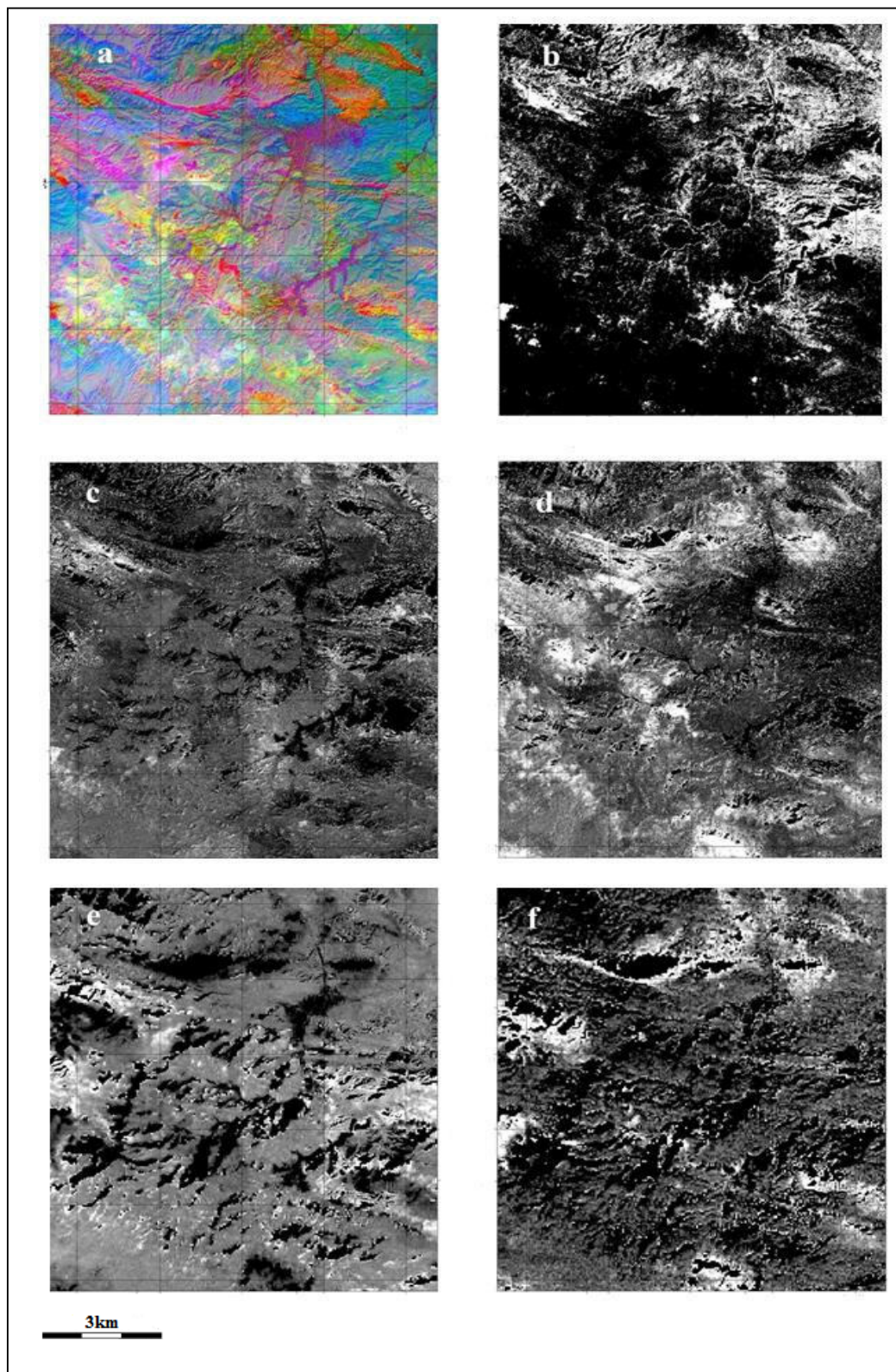
### دورسنجی زون‌های دگرسانی

دورسنجی با رقوم‌کردن انرژی امواج الکترومغناطیسی منعکس شده از سطح زمین و ذرات اتمسفری به صورت تابعی از طول موج، سبب تفکیک زون‌های دگرسان شده می‌شود (Kurucz et al., 1984). اطلاعات بدست آمده از تصاویر دورسنجی، به ندرت از برهم‌کنش یک ماده همگن حاصل می‌شود (Adams & Smith, 1986). در واقع به دلیل ناهمگنی پوشش‌های سطح زمین، چند پوشش خالص با هم در یک پیکسل ظاهر می‌شوند و برخی از پوشش‌ها نیز به طور ذاتی طبیعت آمیخته دارند (Gebbinck Klein, 1995). سنجنده استر، یکی از ۵ سنجنده مستقر بر روی ماهواره ترا است، که اطلاعات طیفی منابع زمینی را در ۱۴ باند طیفی و سه زیرسیستم مرئی-فروسرخ نزدیک با سه باند طیفی در اختیار کاربر قرار می‌دهد (Fujisada & Ono, 1994). روش پردازشی تصویر- پایه تحلیل مؤلفه اصلی Principal Component Analysis (PCA) از بهترین روش‌های کالیبراسیون بر روی مجموعه داده‌های خام استر می‌باشد (تنگستانی و جعفری، ۱۳۹۱). بر این اساس سنگ‌های آذرین به رنگ آبی-سبز و سنگ‌های رسوبی به رنگ قرمز-نارنجی مشاهده می‌شوند. مناطق زرد متمایل به سفید نواحی دگرسان شده را نمایش می‌دهد (شکل ۲-ا). کانی‌های رسی حاصل از دگرسانی آرژیلیک دارای یک یا چند باند هیدروکسید می‌باشند. این باند هیدروکسیدی رفتاری متفاوت در باندهای محدوده SWIR دارد. ولی هیدروکسیدها بایستی بازتاب شدیدی در باند ۴ و جذب شدیدی در باند ۵ داشته باشند. لذا با تقسیم باند ۴ بر باند ۵ می‌توان اثر هیدروکسیدها را شاخص نمود (Kanlinowski & Oliver, 2004) (شکل ۲). جهت شناسایی دگرسانی سربیسیتیک نسبت بانندی (B5+B7)/B6 استفاده شد (شکل ۲-ب). این دگرسانی در واحدهای سنگی آتشفشانی ائوسن مشاهده می‌شود. بخش‌هایی که بازتاب سفید نارنجی دارند زون کائولینیتی است که گسترش فراوانی یافته است. به منظور جداسازی دگرسانی پروپیلیتیک از نسبت بانندی (B7+B9)/B8 استفاده شد (شکل ۲-د). این شاخص بر اساس قدرت بازتاب کانی‌ها در باندهای ۷ و ۹ و جذب در باند ۸ طراحی شده است (Kanlinowski & Oliver, 2004). جهت استخراج سنگ‌های غنی از سیلیس از نسبت بانندی ۱۴ به ۱۲ در باندهای حرارت بهره گرفته می‌شود. زون‌های غنی از سیلیس بر روی

از آنجا که بر اساس ترکیب سنگ‌شناسی، اکثر نمونه‌ها جزء خانواده گرانیتوئیدهاست، از استانداردهای JR-2 و JR-3 استفاده شد. به منظور تعیین همبستگی عناصر از تجزیه خوشه‌ای و روش هاله‌ی مرکب ضربی استفاده شد. مدلسازی زمین‌آماری عناصر سنگینی چون Cu، Cd، Co، As، Zn و Pb به روش کریجینگ انجام گرفته و در محیط نرم افزارهای ArcGIS ترسیم شده است.

### زمین‌شناسی عمومی

منطقه مورد مطالعه بخشی از پهنه‌ی آتشفشانی ارومیه-دختر است. قدیمی‌ترین واحدهای سنگی مربوط به دوران پالئوزوئیک می‌باشد. این مجموعه توسط نهشته‌های مزوزوئیک با دگرشیبی زاویه‌ای پوشیده می‌شود که در بین آن‌ها سازندهای ناپیند، شمشک و سنگ‌های کرتاسه برونزد بیشتری دارند (آهنکوب ۱۳۹۱). واحدهای دوران سنوزوئیک متشکل از توف‌های برشی و سیلیسی همراه با لایه‌های آهکی نومولیت‌دار و گدازه‌های آندزیتی و آذرآواری می‌باشند. نفوذ سنگ‌های گرانودیوریتی و تونالیتی و به مقدار کمتر دایک‌های ریبوداسیتی در آهک‌های ائوسن سبب دگرگونی مجاورتی شده است. رسوبات عهدحاضر شامل رسوبات آبرفتی، کنگلومرا، میان لایه‌های رسی-ماسه‌ای، رسوبات آبراهه‌ای و رودخانه‌ای بوده که مجموعه فوق را می‌پوشاند (شکل ۱). بخش‌های مرکزی، شمالی و باختری ناحیه توسط گدازه‌های آندزیتی در بر گرفته می‌شود و بر روی آن‌ها گدازه‌هایی با ترکیب داسیت آندزیتی قرار می‌گیرد. نهشته‌های الیگوسن زیرین به صورت کنگلومرا، ماسه‌سنگ و مارن قرمز همراه با ادخال‌هایی از سنگ‌های آندزیتی در دامنه شمالی کوه کنگرون واقع در جنوب شرق محدوده نقشه رخنمون دارد. و بر روی آن‌ها نهشته‌های سازند قم (الیگوسن-میوسن) با لیتولوژی آهک، مارن و ماسه‌سنگ بخش اصلی ارتفاع کنگرون را می‌سازد. در بخش‌های غرب، شرق و شمال و مرکز، توده‌های گرانودیوریتی سبب دگرگونی در توف‌ها و آهک‌های ائوسن گردیده که گاهی توسط دایک‌های ریو-داسیتی قطع شده است. تأثیر سیالات تأخیری حاصل از توده‌های نفوذی الیگومیوسن بر روی سنگ‌های ولکانیک ائوسن باعث انواع دگرسانی‌های آرژیلیک، سربیسیتیک و پروپیلیتیک شده و از طرف دیگر متاسوماتیسم در آهک‌های ائوسن سبب اسکارن‌زایی،



شکل ۲- سنگ‌های آذرین، رسوبی و مناطق دگرسانی بر روی تصویر تجزیه مؤلفه‌های اصلی، به رنگ‌های آبی- سبز، قرمز- نارنجی و زرد- سفید (a). پیکسل‌های روشن، نمایانگر دگرسانی‌های آرژلیک (b)، سربستیک (c)، پروپلیتیک (d)، سیلیسیک (e) و کالک‌سیلیکاته (f).

## پهنه‌بندی عناصر سنگین با استفاده از کریجینگ

با روش کریجینگ می‌توان توزیع فلزات سنگین را در خاک و سنگ تخمین زد (Webster & Oliver, 2007). با کاربرد روش مذکور نقشه پهنه‌بندی عناصر مس، سرب، کادمیوم، آرسنیک، کبالت و روی برای منطقه مورد مطالعه ترسیم شده است (شکل ۴). بالاترین توزیع غلظت مس به صورت لکه‌هایی در جنوب منطقه بر روی سنگ بستر آذرین قرار گرفته است (شکل ۴-ا). بیشترین تجمع سرب در قسمت جنوبی بر روی سنگ بستر سنگ آذرین و سنگ‌های آذرآواری ائوسن (شکل ۴-ب) و کادمیوم در بخش جنوب غرب منطقه مورد مطالعه (شکل ۴-ج) دیده می‌شود. توزیع آرسنیک در رسوبات آبراهه‌ای بویژه در مرکز تا جنوب منطقه بر روی واحدهای شیل، آهک و آذرین قرار دارد (شکل ۴-د). بیشترین غلظت روی در شرق منطقه (شکل ۴-ه) و بیشترین تجمع کبالت در رسوبات آبراهه‌ای و به صورت لکه‌هایی روی سنگ بستر آذرین و شیل در بخش‌های مرکز و شمال شرق قرار گرفته است (شکل ۴-ف).

## بحث

## بررسی‌های آماری

علم زمین آمار به شناسایی مشخصه‌های زمین و تهیه نقشه از آن می‌پردازد (Webster & Oliver, 2007). تجربه نشان داده است که اگر ترکیبی از مقادیر یک گروه از عناصر معرف به جای مقدار یک عنصر خاص به کار گرفته شود، هاله‌های ژئوشیمیایی بهتر مشخص می‌گردند. این ترکیب مقادیر به دو طریق ترکیب جمعی و ترکیب ضربی صورت می‌پذیرد. هاله‌های جمعی از طریق جمع ساده مقدار عناصر که در مقابل میانگین مقدار زمینه نرمالیزه شده‌اند، بدست می‌آید. در این حالت هاله‌ها از طریق بزرگی کل حداقل مقدار آنومالی عناصر معرف، یعنی همان کل حد آستانه این عناصر مشخص می‌شوند. در مقایسه با هاله‌های یک عنصری، هاله‌های مرکب جمعی به مراتب بزرگتر و بارزترند. بعلاوه اثرات خطاهای تصادفی در آنها به حداقل کاهش می‌یابد و به این دلیل هاله‌های جمعی نسبت به سیمای ساختمانی- زمین‌شناسی مرتبط با توزیع آلودگی، رابطه نزدیکتری را نشان می‌دهد. این امر به نوبه خود در تفسیر دقیق این هاله‌ها سهم مهمی دارد. حال اگر به جای جمع این مقادیر آنها در یکدیگر ضرب شوند.

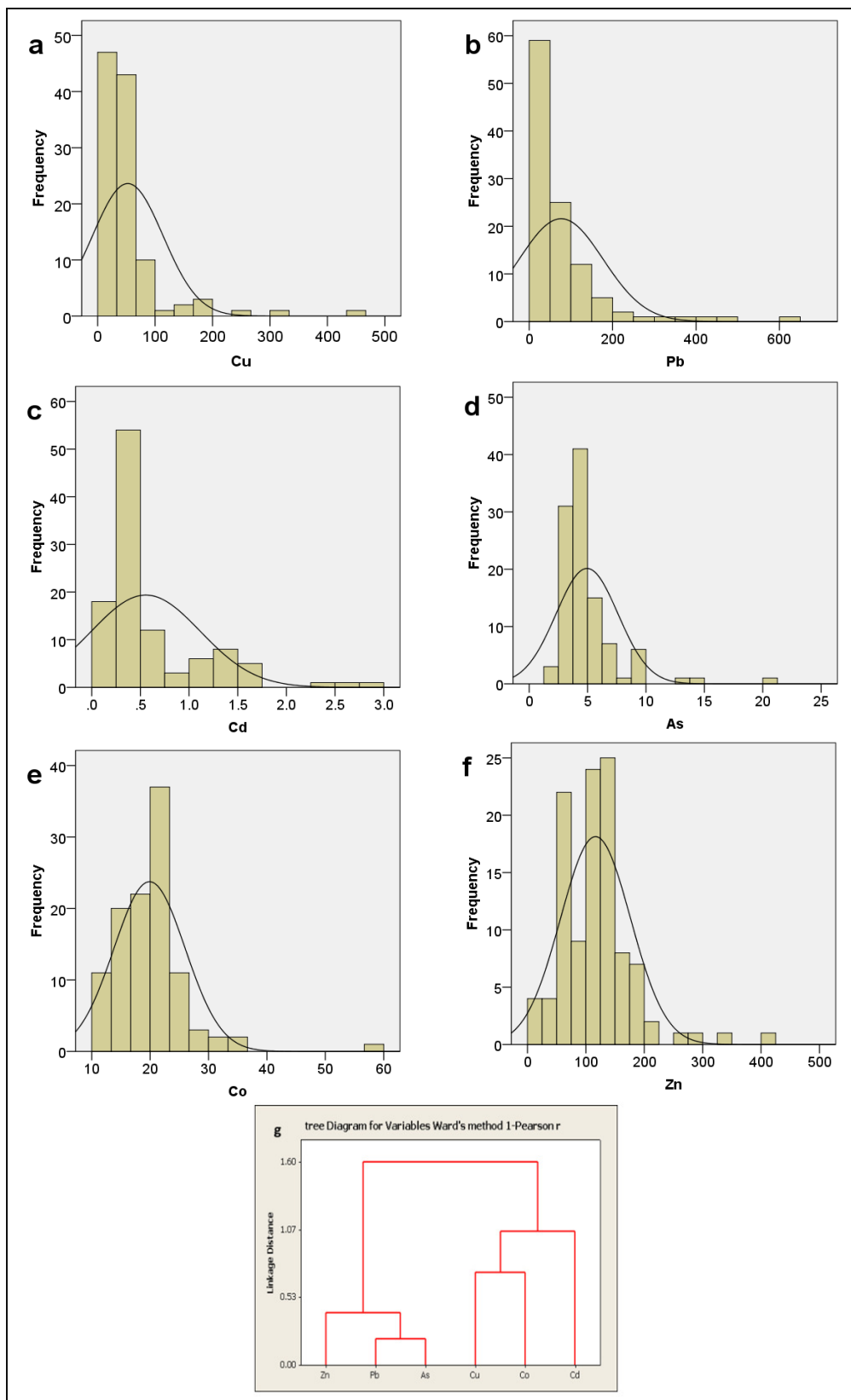
تصویر پردازش‌شده به رنگ روشن مشخص شده است (شکل ۲-ه). شاخص جداسازی دگرسانی کالک سیلیکاته نسبت بانندی ۱۳ به ۱۴ است (Kanlinowski & Oliver, 2004). در شکل (۲-ف) بخش‌های روشن نشانگر زون دگرسانی کالک سیلیکاته در سنگ‌های اسکارنی است.

## ژئوشیمی فلزات سنگین

میانگین غلظت عناصر اندازه‌گیری شده‌ی نمونه‌های مورد مطالعه و تجزیه آماری آنها در جدول (۱) آورده شده است. غلظت عناصر دارای توزیع نابهنجار است.

برای نمایش توزیع داده‌ها از نمودار فراوانی استفاده می‌شود (شکل ۳-ا-f). برخی فلزات سنگین همبستگی معناداری با یکدیگر و با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سنگ‌ها دارند. از این همبستگی می‌توان به عنوان معیاری برای تعیین ارتباط بین عناصر و تشخیص منشأ احتمالی آنها استفاده کرد (Laxmi et al., 2011). هنجارسازی داده‌ها و محاسبه ضریب همبستگی پیرسون برای تمامی عناصر نشان دهنده همبستگی قوی بین سرب، روی و آرسنیک است (جدول ۲). یکی از دیدگاه‌های مهم در علم داده‌کاوی برای تفسیر و بررسی تعداد زیادی از داده‌ها و نمونه‌ها با مشخصه‌های گوناگون، خوشه‌بندی می‌باشد (قناد پور و همکاران، ۱۳۹۱) تجزیه خوشه‌ای یکی از روش‌های گروه‌بندی عنصری بر اساس همگن‌سازی ویژگی‌های ژئوشیمیایی است (Adama et al., 2005). نمودار خوشه‌ای عناصر در نمونه‌ها بر اساس ضریب همبستگی به روش وارد ترسیم شد. بر مبنای این نمودار دو گروه عنصری قابل تشخیص است. شاخه اول شامل عناصر Pb-Zn-As بوده و گروه دوم شامل عناصر Cu-Co-Cd است. این مسئله حاکی از قابلیت تحرک متفاوت این عناصر در محیط ثانویه است (شکل ۳-گ).

غلظت عناصر مس و سرب در نمونه‌های مورد بررسی بالاتر از حد استاندارد و غلظت کادمیوم، آرسنیک، کبالت و روی زیر حد آلودگی است (جدول ۱). کمینه و بیشینه غلظت عناصر مس، سرب، کادمیوم، آرسنیک، کبالت و روی در نمونه‌ها به ترتیب بین ۱/۵-۴۵۹ ppm (شکل ۳-ا)، ۱-۶۲۳ ppm (شکل ۳-ب)، ۲/۹۷ ppm < (شکل ۳-ج)، ۰/۵-۲۱ ppm (شکل ۳-د)، ۱/۵-۱۷ ppm (شکل ۳-ه) و ۱۴-۴۱۳ ppm (شکل ۳-ف) است.



شکل ۳- تجزیه آماری عناصر مس (a)، سرب (b)، کادمیوم (c)، آرسنیک (d)، کبالت (e)، روی (f) و خوشه‌ای (g) نسبت به استاندارد (Mielke, 1979, Salminen and Tarvainen, 1997) برای نمونه‌های مورد مطالعه ترسیم شده است.

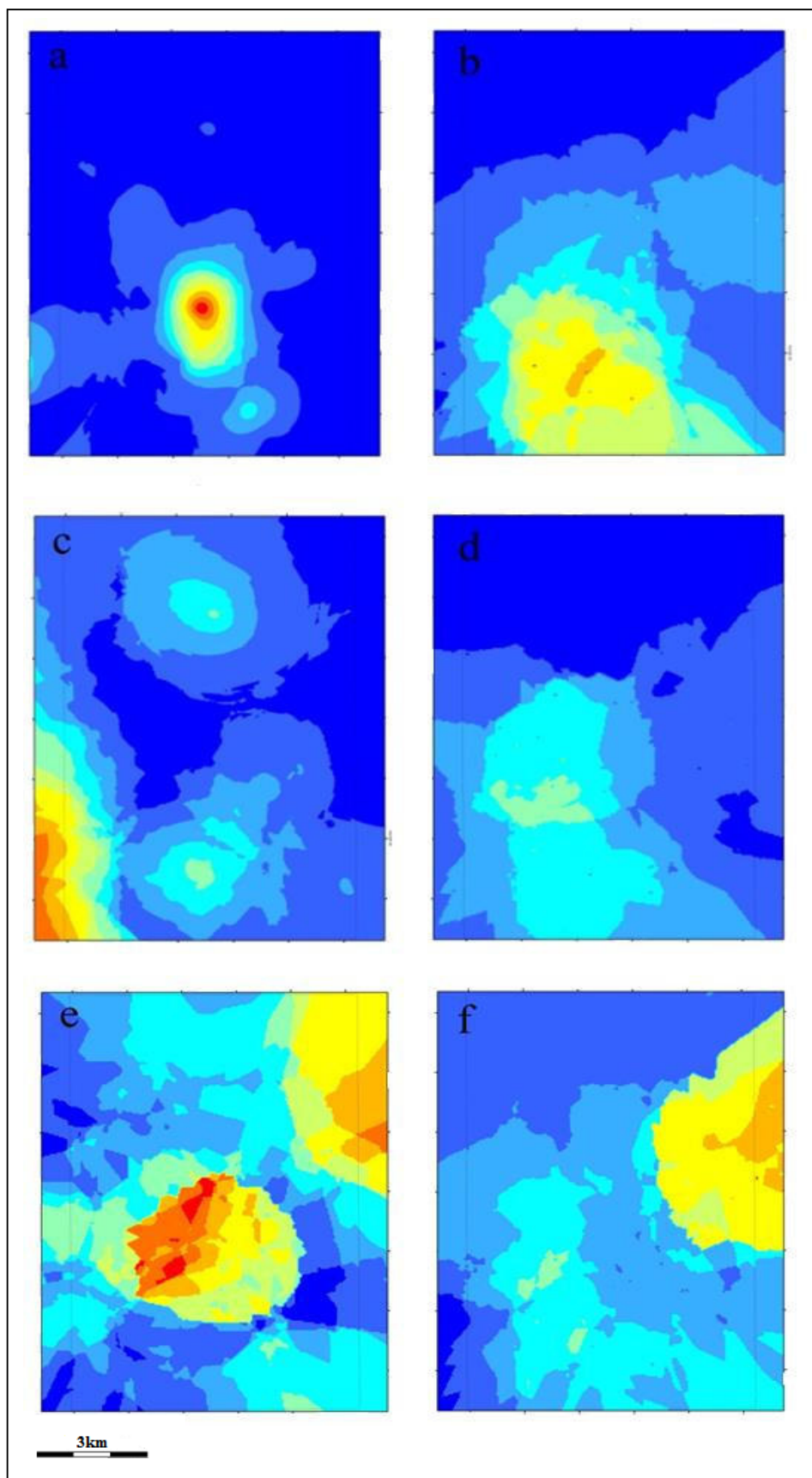
جدول ۱. میانگین تجزیه‌های ICP-MS بر روی نمونه‌های آب سطحی، سنگ‌های گرانیتوئیدی و آبراه‌های و محاسبات آماری

Water, n=11	W1	W2	W3	W4	$\bar{x}$	SD	Min	Q1	Med	Q3	Max	$(\bar{x} \pm 3sd)$	Guide line Value *
Zn	191	175	231	185	209	19	175	193	214	223	231	209±57	>200
Pb	0.86	1.45	0.97	1.48	1.59	0.41	0.86	1.43	1.63	1.88	2.11	1.59±1.23	>50
Cu	1.57	2.45	3.22	4.16	3.09	0.70	1.57	2.76	3.22	3.46	4.16	3.09±2.1	>50
As	0.89	1.10	0.43	1.37	1.35	0.44	0.43	1.08	1.49	1.66	1.84	1.35±1.32	>30
Cd	0.57	1.34	1.22	1.65	1.55	0.42	0.57	1.39	1.65	1.81	2.10	1.55±1.26	>2.5
Co	1.42	1.47	1.43	2.47	2.42	0.78	1.42	1.81	2.47	2.97	3.59	2.42±2.34	>50
Granotoids, n=14	L1	L2	L3	L4	$\bar{x}$	SD	Min	Q1	Med	Q3	Max	$(\bar{x} \pm 3sd)$	Guideline Value
Zn	103	70	45	54	61	15	42	54	59	64	103	61±45	55ppm
Pb	18	14	19	15	15.28	2.95	10.80	13.6	14.5	18.1	20.1	15.28±8.8	17
Cu	51	40	31	37	33	10	15	25	35	39	51	33±30	25
As	5.50	4.70	2.30	1.60	3.31	1.16	1.60	2.53	3.10	4.00	5.50	3.31±3.48	1.7
Cd	0.20	0.00	0.00	0.00	0.06	0.08	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	0.06±0.24	0.13
Co	15	15	11.90	11.1	13.62	1.38	11.10	12.7	13.5	14.7	15.8	13.62±4.1	
Drainage, n=95	D1	D2	D3	D4	$\bar{x}$	SD	Min	Q1	Med	Q3	Max	$(\bar{x} \pm 3sd)$	Guide line Value
Zn	147	102	250	62	125	60	14	95	123	147	413	125±180	>500
Pb	29.0	33	404	19.0	85.52	104	5	29	52	104	623	85.52±314	>150
Cu	24.6	25.7	89.24	49.7	55.23	65.2	5.65	24.6	40.2	57.9	459	55.23±195	>100
As	3.44	3.43	21.22	3.48	5.20	2.72	2.71	3.69	4.47	5.28	21.2	5.2±8.16	>30
Cd	0.85	0.26	0.27	0.27	0.63	0.57	0.21	0.27	0.27	0.80	2.97	0.63±1.71	>5
Co	13	12	13	11	12.82	5.98	10	18	12	14	17	12.82±17.9	>50

\*: Mielke, 1979, Salminen and Tarvainen, 1997

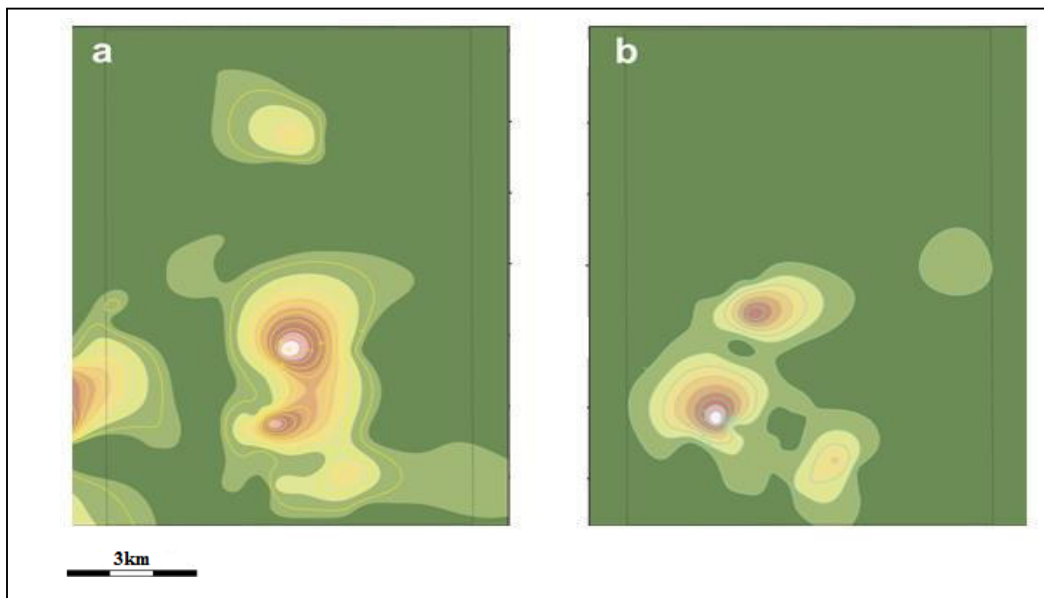
جدول ۲- ضریب همبستگی پیرسون برای نمونه‌های آب سطحی، گرانیتوئید و رسوبات آبراه‌های محاسبه شده است

Water					Granitoids					Drainage sediments					
Cd Co Cu Pb Zn					Pb As Co Cu Zn					Zn Pb Cu As					
Co	0.624				As	-0.150				Pb	0.696				
Cu	0.523	0.399			Co	-0.005	0.683			Cu	0.006	0.295			
Pb	0.650	0.749	0.439		Cu	0.321	0.330	0.495		As	0.586	0.792	0.237		
Zn	0.332	0.263	0.257	0.367	Zn	0.216	0.605	0.569	0.625	Cd	-0.351	-0.167	0.142	-0.032	
As	0.718	0.818	0.303	0.705	0.086	Cd	-0.345	0.455	0.257	0.221	Co	0.156	0.271	0.236	-0.082
							0.525								

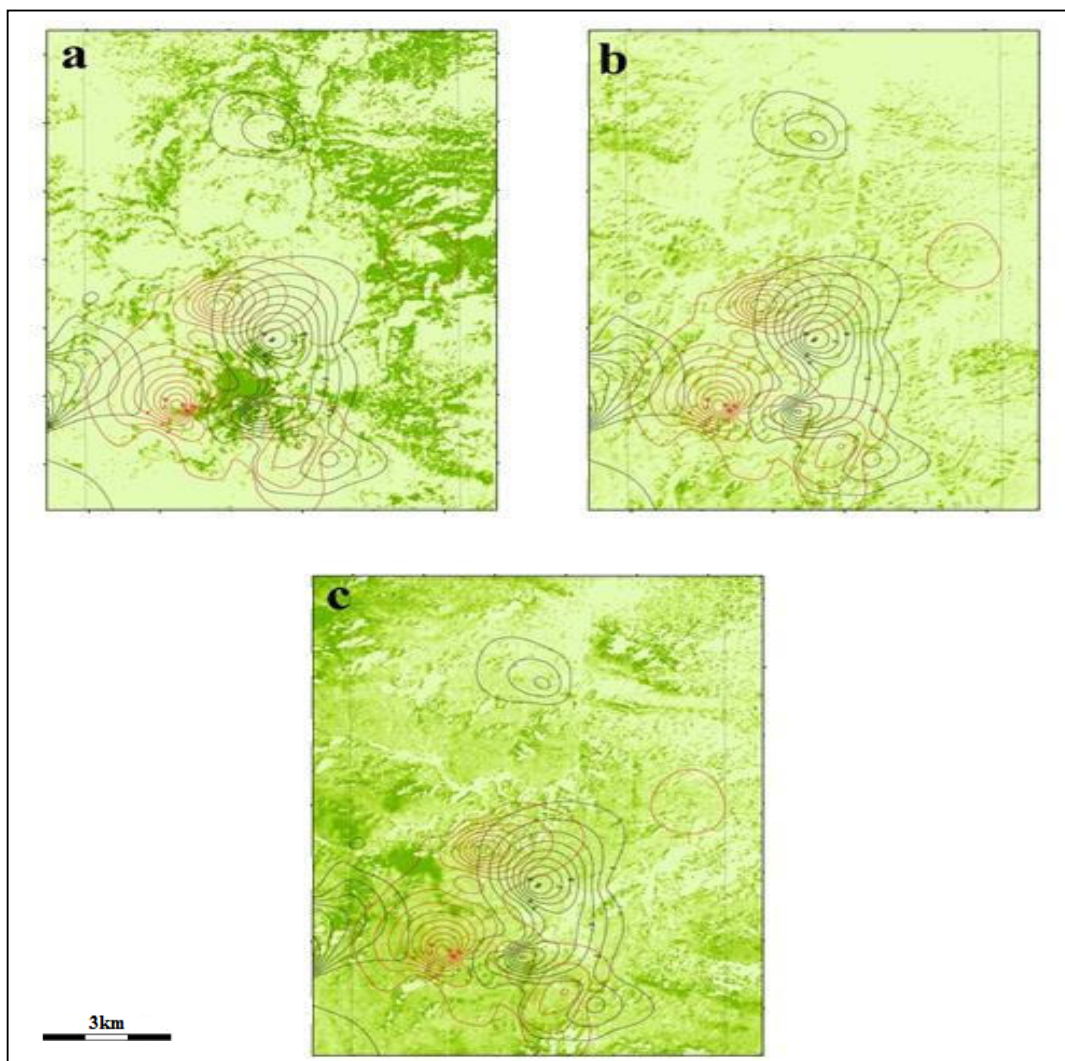


شکل ۴- پهنه‌بندی عناصر مس (a)، سرب (b)، کادمیوم (c)، آرسنیک (d)، کبالت (e) و روی (f)





شکل ۵- تراز ۹ گانه آلودگی بر اساس محاسبات هاله ضربی عناصر مس - کبالت - کادمیوم (a). سرب - روی - آرسنیک (b).



شکل ۶- همبستگی تراز آلودگی با زون‌های دگرسانی آرزلیتی (a)، کالک سیلیکاته (b) و پروپیلپیتیک (c) به رنگ سبز است.

## بحث و نتایج

مطالعات ژئوشیمیایی می‌تواند گام مؤثری برای یافتن منشأ، الگوی پراکنش عناصر و ارزیابی زیست محیطی وضعیت موجود در یک منطقه باشد (Warren et al., 2011). معمولاً آلودگی‌های یونی در اثر حرکت آب‌های جاری و زیرزمینی با سرعت‌های گوناگونی جابجا می‌شوند که این جابجایی معمولاً در اثر نیروی ثقل بوده و در جهت شیب توپوگرافی است (Govindasamy et al., 2011). عناصر فلزی سنگین می‌توانند یکی از مهمترین منابع آلوده کننده طبیعی باشند که از سنگ‌ها و تخریب آن‌ها سرچشمه می‌گیرند. توزیع عناصر مذکور در خاک به مقدار اولیه آن‌ها در سنگ مادر (Rawlins et al., 2003)، اندازه دانه‌های سنگ و غلظت عناصر فوق در مواد آلی و گیاهان (Tume et al., 2010) بستگی دارد. از طرف دیگر دگرسانی به عنوان یک فرآیند طبیعی، تغییرات ترکیبی و کانی‌شناسی مهمی در سنگ‌های اولیه به وجود می‌آورد و باعث آزادسازی، تمرکز و تخلیه برخی از عناصر فلزی سنگین می‌شود (Bodruddoza Mia & Fujimitsu, 2012). متعاقباً گسترش و پراکندگی عناصر سمی سنگین سبب بروز آلودگی‌های طبیعی شدید (Selvam et al., 2012) می‌گردد. منطقه مورد مطالعه بخشی از زون ارومیه- دختر می‌باشد، که به عنوان یک زون متالوژن بزرگ مطرح است (Shahabpour, 1999). ماگماتیسم ائوسن در منطقه تحت تاثیر سیالات ناشی از توده‌های گرانودیوریتی الیگومیوسن قرار گرفته‌اند (فرهمندیان و همکاران، ۱۳۹۲). ضمن تفریق ماگمای گرانودیوریتی غلظت عناصر فلزی در مذاب افزایش می‌یابد (Bodruddoza Mia & Fujimitsu, 2012). بررسی تجزیه‌های شیمیایی انجام شده بر روی نمونه‌ها، بیانگر همبستگی کلاس‌های آلودگی با نقشه زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی است (شکل ۱). همچنین استنباط می‌شود که بیشترین تمرکز آلودگی مربوط به گروه مس، کبالت و کادمیوم مرتبط با سنگ‌های گرانودیوریتی و آلودگی حاصل از گروه سرب، روی و آرسنیک همراه با رخساره‌های همبری و اسکارن می‌تواند باشد. تلفیق اطلاعات ژئوشیمیایی و تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد که آتشفشان‌های ائوسن در این منطقه تحت تأثیر سیالات تأخیری حاصل از توده‌های گرانودیوریتی الیگومیوسن قرار گرفته و مجموعه دگرسانی‌های کائولینیتی،

آرژیلیتی و پروپلیتیکی را در منطقه ایجاد نموده است. در منطقه اندیس‌های آهن، مس، سرب و روی نیز وجود دارد (فرهمندیان و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین در همبری سنگ‌های کربناته با واحدهای نفوذی یا آتشفشانی، زون‌های دگرسانی کالک‌سیلیکاته، کلریتی‌شدن و اپیدوتی‌شدن گسترش یافته است. محلول‌های گرمابی ناشی از توده نفوذی حاوی مقدار زیادی عناصر فلزی است که ضمن سرد شدن عناصر فلزی محلول در سیال رسوب می‌نماید (Bodruddoza Mia & Fujimitsu, 2012). ضمن دور شدن از توده اصلی مقدار آلودگی عناصر فلزی نیز کاهش می‌یابد. معمولاً میزان تحرک عناصر فلزی سنگین (مس، کادمیوم و کبالت) بسیار پایین است و کمی آلودگی این عناصر در مجاورت سنگ‌های اسکارنی را می‌توان بدینوسیله توجیه نمود. مقدار عناصر موجود در این نوع دگرسانی نشان‌دهنده حد زمینه بوده و در واقع در این بخش آلودگی به حداقل مقدار خود می‌رسد و نشانگر آن است که سنگ‌های رسوبی قدیمی، قبل از وارد شدن توده نفوذی دارای آلودگی نبوده‌اند و پس از ورود توده نفوذی و سیالات هیدروترمال به محدوده، تغییرات شیمیایی گسترده‌ای بوجود آمده و باعث ایجاد آلودگی‌های فلزی در محدوده شده است. سنگ منشأ و کانی‌سازی احتمالی عامل موثر در افزایش غلظت مس در رسوبات آبراه‌های می‌باشد. غلظت مس بیشتر و آرسنیک و روی کمتر از حد مجاز است.

## نتیجه‌گیری

نفوذ توده‌های گرانودیوریتی الیگومیوسن در داخل آتشفشان‌های ائوسن و سنگ‌های کربناته منطقه منجر به رخداد زون‌های دگرسانی آرژیلیکی، کائولینیتی، پروپلیتیکی، اکسید آهن، سیلیسی و کالک‌سیلیکاته شده است. غلظت بالای عناصر سرب، روی، آرسنیک، مس، کبالت و کادمیوم در نزدیکی توده نفوذی، نشان می‌دهد منشأ آلودگی فلزات ذکر شده، توده گرانودیوریتی منطقه بوده و میزان آلودگی در بخش‌های دگرسان نسبت به بخش‌های غیردگرسان بیشتر می‌باشد. شستشوی یون‌ها مورد بررسی به دو شاخه سرب- روی- آرسنیک (همراه با سنگ‌های اسکارنی) و مس- کبالت- کادمیوم (همراه با سنگ‌های گرانودیوریتی، بویژه بخش‌های دگرسان شده)

rightsreserved.doi:10.1016/j.jafrearsci. 2009.06.04

9-Bargagli R., (2000). Trace metals in Antarctica related to climate change and increasing human impact. *Rev Environ Contam Toxicol* 166, 129–173.

10-Bodruddoza Mia, M.D., Fujimitsu, Y., (2012). Mapping hydrothermal altered mineral deposits using Landsat 7 ETM+ image in and around Kuju volcano, Kyushu, Japan. *J. Earth Syst. Sci.* 121, No. 4, pp. 1049–1057.

11-Fujisada, H. & Ono, A., (1994). Observational performance of ASTER instrument on EOS AMI spacecraft. *Adv. Space Res.* 14, 147-150.

12-Gebbinck Klein, Th. E., (1995). Schouten Decomposition of mixed pixels. In J.Desachy, editor, *Image and Signal Processing for Remote Sensing II*, page 104, SPIE 2579, Paris.

13-Govindasamy, C., Arulpriya, M., Ruban, P., Francisca Jenifer, L., Ilayaraja, A., (2011). Concentration of heavy metals in Seagrasses tissue of the Palk Strait, Bay of Bengal. *International Journal of Environ. Sci.*, 2, No 1, 0976 – 4402.

14-Kanlinowski, A. and Oliver, S., (2004). ASTER Mineral Index Processing. *Remote Sensing Application Geoscience Australia*

15-Kurucz, R. L., Furenid, I., Brault, J. & Testerman, L., (1984). The Solar Flux Atlas from 296 to 1300 nm (Sunspot, NM: National Solar Observatory) First citation in article, NASAADS, NOAO Atlas No. 1.

16-Lagat, J., (2009). Hydrothermal alteration mineralogy in geothermal fields with case examples from olkaria domes geothermal field, Kenya. Presented at Short Course IV on Exploration for Geothermal Resources, organized by UNU-GTP, KenGen and GDC, November 1 - 22.

17-Laxmi Priya S, Senthilkumar B, Hariharan G, PaneerSelvam A, Purvaja R, Ramesh R., (2011). Bioaccumulation of heavy metals in mullet (*Mugilcephalus*) and oyster (*Crassostreamadrasensis*) from Pulicatlake, south east coast of India. *Mar*;27(2):117-26.

18-Liu, X., Jahn, B., Zhao, Y., Li, M., Li, H., Liu, X., (2006). Late Pan-African granitoids from the Grove Mountains, East Antarctica: Age, origin and tectonic implications. *Precambrian Research* 145, 131–154.

19-Nordberg GF, Goyer RA, Clarkson TW., (1985). Impact of effects of acid precipitation on toxicity of metals. *Environ Health Perspect* 63, 169–180.

20-Oliveira, S.M.B, Pessenda, L.C.R., Gouveia, S.M., and Favaro, D.T., (2011). Heavy metal concentrations in soils from a remote oceanic island. *Fernando de Noronha, Brazil, Anais da Academia Brasileira de Ciências* 83(4): 1193-1206.

قابل تفکیک است. با توجه به عدم وجود صنایع به نظر می‌رسد عامل اصلی بالا بودن غلظت این عناصر، ساختار زمین‌شناسی باشد. همبستگی بالا بین عناصر فوق، احتمالاً ناشی از ورود آنها از طریق منابع دیگر (کشاورزی، اتمسفر و یا سنگ مادر) در رسوبات آبراهه‌ای می‌باشد.

### سپاسگزاری

پژوهش حاضر در قالب طرح مصوب معاونت پژوهش و فناوری جهاددانشگاهی (کد ۱۱-۱۹۱۱) انجام شده است. نگارندگان بدینوسیله از حمایت‌های مالی جهاددانشگاهی تشکر و قدردانی می‌نمایند.

### منابع

۱- آهنکوب، م، (۱۳۹۱)، بررسی پترولوژیکی و ژئوشیمیایی هاله دگرگونی توده گرانیتوئیدی قهرود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان، ۹۶ ص.

۲- تنگستانی، م و جعفری، ل، (۱۳۹۱)، اثر کالیبراسیون داده‌های استر در بارزسازی‌های سنگ‌شناختی؛ مطالعه موردی کمپلکس افیولیتی نیریز، شماره ۸۴، صفحه ۱۲۹ تا ۱۳۸.

۳- فرهنگیان، م، افشاری، س و کیانپوریان، ص، (۱۳۹۲)، پهنه‌بندی ژئوشیمیایی آلودگی‌های زیست‌محیطی فلزات سنگین با کاربرد GIS در منطقه قمصر- قهرود، سی و دومین همایش علوم زمین، رشت.

۴- قنادپور، س، هزارخانی، ا و عشقی، ج، (۱۳۹۱)، بررسی چگونگی رفتار عیار دو عنصر مس و مولیبدن نسبت به هم از کانسار مس پورفیری پرکام با استفاده روش خوشه بندی فازی میان مرکز، سی و یکمین همایش علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور.

۵- کبیری، س، (۱۳۹۰)، مطالعات کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی دگرسانی گرمابی در سنگ‌های آتشفشانی و آذر آواری قمصر- جنوب کاشان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان، ۱۵۲ ص.

6-Adama et al., (2005). Heavy metals in soils, second edition, Blackie academic and professional, London, 368.

7-Adams J. B., Smith M.O., (1986). Spectral mixture modeling: A new analysis of rock and soil types at the Viking Lander 1 site. *Journal of Geophysical Research*, Vol.91, 8098-8112.

8-Amer, R., Kusky, T. & Ghulam, A., (2010). Lithological mapping in the Central Eastern Desert of Egypt using ASTER data. 1464-343X/\$-see front matter-2009 Elsevier Ltd. All

- 21-Rawlins, B.G., Webster, R., Lister, T.R., (2003). The influence of parent material on topsoil geochemistry in eastern England. *Earth Surf. Process. Land.* 28, 1389–1409.
- 22-Robb, L., (2004). *Introduction to Ore-Forming Processes.* Wiley-Blackwell, 384.
- 23-Salminen R. and Tarvainen T. (1997). The problem of defining geochemical baselines: A case study of selected elements and geological materials in Finland. *J.Geochem.Explor.* 60, 91-98.
- 24-Selvam, A.P., Laxmi Priya, S., Banerjee, K., Hariharan, G., Purvaja, R., Ramesh, R., (2012). Heavy metal assessment using geochemical and statistical tools in the surface sediments of Vembanad Lake, Southwest Coast of India, *Environ Monit Assess* 184:5899–5915.
- 25-Shahabpour, J., (1999). The role of deep structures in the distribution of some major ore deposits in Iran, NE of the Zagros thrust zone. *Geodynamics*, 27: 237-250.
- 26-Tume, P., Bech, J., Reverter, F., Bech, J., Longan, L., Tume, L., Sepúlveda, B., (2010). Concentration and distribution of twelve metals in Central Catalonia surface soils, *Journal of Geochemical Exploration.*
- 27-Waldhoff, G., Bubenzer, O., Bolten, A., Koppe, W., Bareth. G., (2007). Spectral analysis of aster, hyperion, and quickbird data for geomorphological ana geological research in Egypt.
- 28-Warren, C., Duzgoren-Aydin, N.S., Weston, J., Willett, K.L., (2011). Trace element concentrations in surface estuarine and marine sediments along the Mississippi Gulf Coast following Hurricane Katrina, *Environ Monit Assess.*