

اکتشاف ژئوشیمیایی رسوب آبراه‌های و لیتوزئوشیمیایی در منطقه خونیک، (شمال شرق قاین)

حسین فتاحی^{۱*}، ایرج رسا^۲، محمد یزدی^۲، مسعود حسینی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- دانشیار زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۳- مدیر عامل شرکت زرناب اکتشاف، تهران، ایران

* عهده‌دار مکاتبات: khosrofattahi@gmail.com

دریافت مقاله: ۹۱/۲/۲۰، پذیرش مقاله: ۹۱/۵/۲۵

چکیده

منطقه خونیک در شمال شرق قاین در استان خراسان جنوبی قرار دارد. واحدهای سنگی این محدوده شامل آندزیت، تراکی آندزیت، آندزیت بازالت، آگلومرا و توف است. سنگ‌های آتشفشانی این منطقه مربوط به فعالیت آتشفشانی ائوسن هستند. دگرسانی‌های سرسیتی، آرژیلی، کلریتی، کربناتی و سیلیسی در محدوده، به خصوص در امتداد گسل‌ها دیده می‌شوند. کانی‌سازی مس اغلب به صورت مالاکیت و آزوریت، در واحدهای آندزیتی تشکیل شده است. به منظور اکتشاف مقدماتی مس در منطقه، از اکتشاف ژئوشیمیایی رسوب آبراه‌های استفاده شده است. بدین منظور تعداد ۴۲ نمونه رسوب آبراه‌های و برای بررسی وجود بی‌هنجاری نیز، ۱۱ نمونه سنگی برداشت شده است. نتایج به دست آمده از تجزیه شیمیایی نمونه‌ها برای ۶ عنصر Pb, Zn, Cu, Ag, Au, As، وجود بی‌هنجاری عنصر مس در محدوده مورد مطالعه را نشان داد. بیشترین همبستگی بین عناصر Cu, Zn و Pb دیده می‌شود.

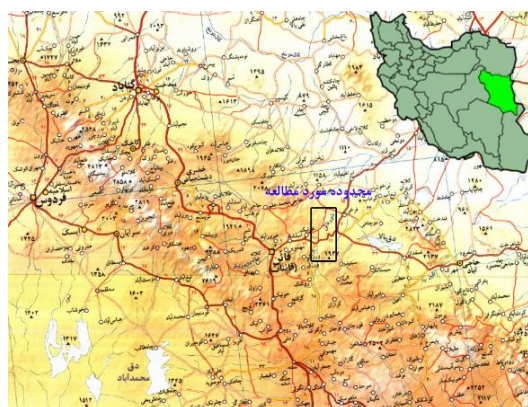
واژه‌های کلیدی: خونیک، قاین، مس، ژئوشیمی سنگی، رسوب آبراه‌های

۱- مقدمه

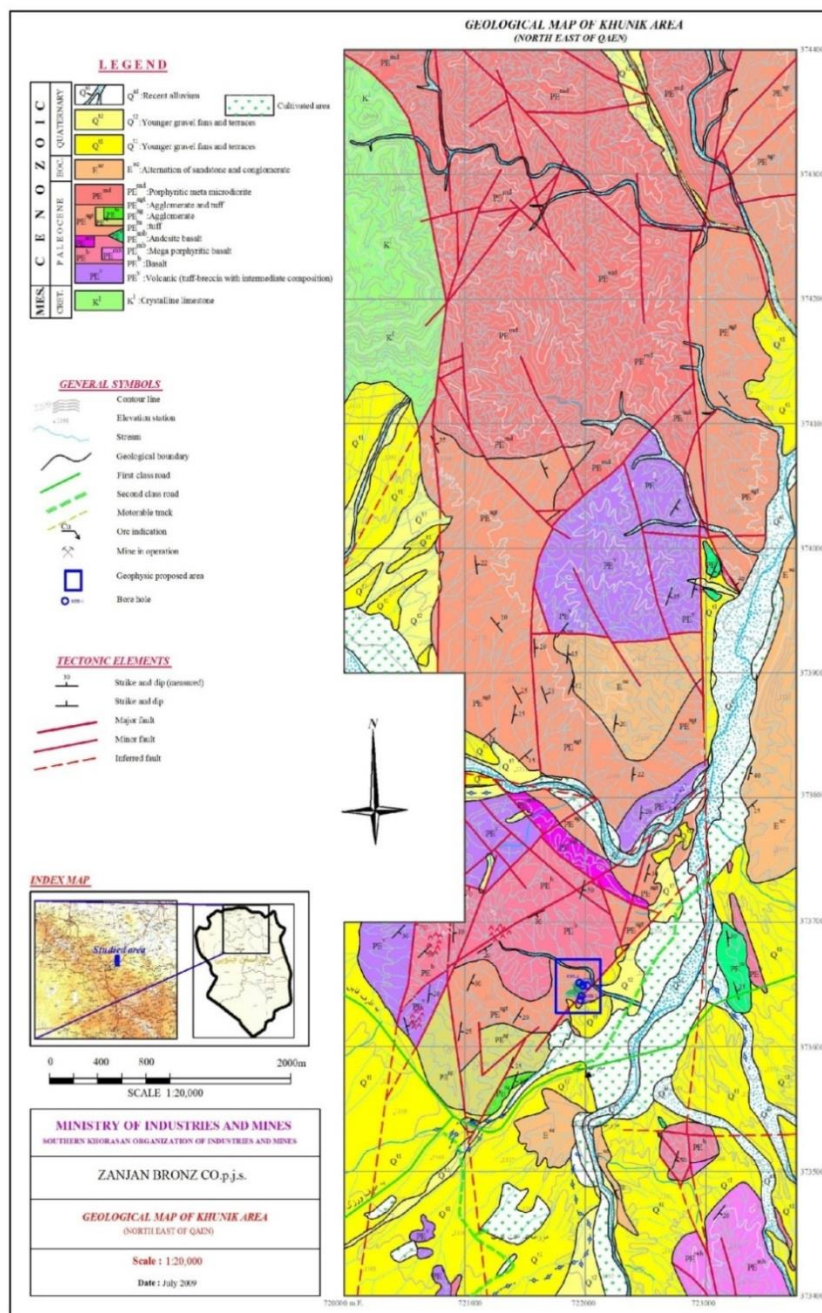
منطقه خونیک در استان خراسان جنوبی و در ۱۷ کیلومتری شرق - شمال شرق شهرستان قاین واقع است. محدوده مطالعاتی خونیک- قاین در بخش شرقی محدوده برگه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ قاین واقع شده است. برای دسترسی به این محدوده می‌توان از کیلومتر ۲۲ جاده آسفالتی قاین اسفندان استفاده نمود. محدوده مورد مطالعه در ۳ کیلومتری شرق روستای خونیک قرار دارد (شکل ۱).

۲- زمین‌شناسی عمومی محدوده

با توجه به نقشه تقسیم‌بندی پهنه‌های ساختاری ایران، منطقه قاین در پهنه شرق ایران قرار گرفته است. پهنه شرق ایران، خود به دو نیم پهنه لوت و نیم پهنه فلیشی تقسیم می‌شود و منطقه قاین نیز ویژگی‌های این دو نیم پهنه را دارا است، به گونه‌ای که بخش غربی منطقه در پهنه لوت و بخش شرقی آن در پهنه فلیشی قرار می‌گیرد. فعالیت ماگمایی لوت شمالی از کرتاسهٔ پسین آغاز شده و ۵ میلیون سال ادامه داشته است. سنگ‌های ماگمایی از نوع گدازه‌های بازالتی، آندزیتی، داسیتی، ریولیتی و همچنین مقدار کمتری نفوذی‌های نیمه‌عمیق هستند. ویژگی‌های ژئوشیمیایی این سنگ‌ها می‌رساند که همه از نوع کلسیمی- قلیایی هستند و همه شکل‌های آتشفشانی کنارهٔ قاره، مرز صفحه‌های همگرا در آن‌ها دیده می‌شوند (آقاباتی، ۱۳۸۳). این محدوده از نظر تاریخچه مطالعاتی مورد توجه معدن کاران کهن بوده، به گونه‌ای که معدن کاری گسترده‌ای در بسیاری از نقاط این رشته کوه‌ها آشکار است و راهنمای اکتشافی خوبی به شمار می‌آیند. واحدهای سنگی که در این محدوده رخمون دارند شامل آندزیت، تراکی آندزیت، آندزیت - بازالت و آگلومرا می‌باشد (شکل ۲). ترکیب شیمیایی این سنگ‌ها آندزیت کالک‌آلکان و مربوط به محیط زمین‌ساختی کمان حاشیه قاره هستند.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه خونیک



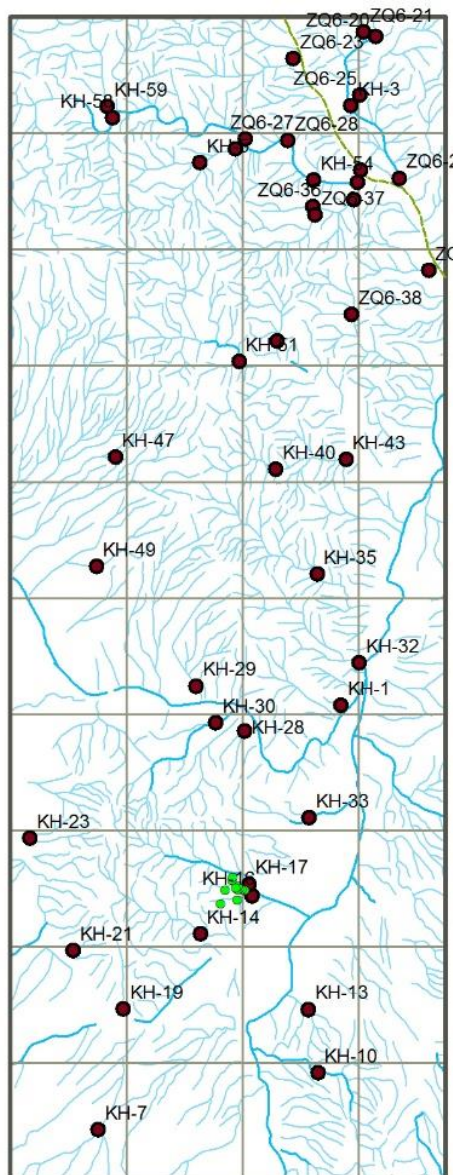
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ منطقه خونیک

۳- روش تحقیق

درست نمایی کوهن (حسینی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰)، این مقادیر با مقادیر میانگین جایگزین شده است. علاوه بر نمونه‌های رسوب آبراه‌های، تعداد ۱۱ نمونه سنگی نیز به منظور اکتشاف ژئوشیمیایی سنگی و برای بررسی وجود بی‌هنجاری در محدوده (Carranza, 2011)، برداشت شده است.

داده‌های به دست آمده از تجزیه نمونه‌ها، در نرم‌افزار SPSS 18 بهنجار شده و پس از محاسبات پارامترهای آماری ساده، نسبت به رسم نمودارهای هیستوگرام، محاسبه همبستگی‌ها، ضریب غنی‌شدگی و رسم نقشه‌های بی‌هنجاری عناصر توسط نرم‌افزار Surfer 10 انجام شد.

در محدوده خونیک، ۴۲ نمونه رسوب آبراه‌های با اندازه ۸۰ مش، با توجه به نقشه توپوگرافی- زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ محدوده خونیک و با محل نمونه‌های از پیش تعیین شده، برداشت شد (Segura et al., 2006) (شکل ۳). نمونه‌ها در آزمایشگاه زرآما به روش ICP-OES تجزیه شیمیایی شدند. عناصر تجزیه شده شامل شش عنصر Au, Ag, As, Cu, Pb, Zn است. از ۴۲ نمونه تجزیه شده برای Au, Ag, As ۲۷ نمونه به صورت داده‌های سنسورد گزارش شده است و با استفاده از روش بیشترین



شکل ۳- محل نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای و سنگ ژئوشیمی در محدوده ۱:۲۰۰۰۰ خونیک
نقاط سیاه نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای و نقاط سبز رنگ نمونه‌های سنگ ژئوشیمی می‌باشند

۴- بحث و بررسی

۴-۱-۱-۴- تحلیل‌های آماری

در این مطالعه برای بهنجارسازی داده‌ها، از روش تبدیل لگاریتمی استفاده شده است (حسینی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰). در جدول ۱ پارامترهای آماری مهم برای ۶ عنصر هدف، Au, Ag, As, Cu, Pb, Zn با داده‌های خام نشان داده شده است. جدول ۲ پارامترهای آماری مهم برای ۶ عنصر هدف، Au, Ag, As, Cu, Pb, Zn با داده‌های لگاریتمی و بهنجارسازی شده نشان می‌دهد.

۴-۱-۲- اکتشاف ژئوشیمی رسوب آبراهه‌ای

به طور کلی، میزان تراکم نمونه‌برداری به تراکم آبراهه‌ها نیز بستگی دارد (Chaffee, 1975). معمولاً نمونه‌ها را در محل آبراهه‌های اصلی از حاشیه آبراهه‌های فرعی از محل انشعاب بر می‌دارند و نمونه را از رسوبات جدید و از محل آبراهه خشک از عمق حدود نیم‌متر به بعد برداشت می‌کنند تا اثر آلودگی‌ها به حداقل برسد (حسینی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰).

جدول ۱- برخی از مهمترین پارامترهای آماری در داده‌های خام محدوده خونیک

عناصر	میانہ	مینیمم	ماکسیمم	میانگین	انحراف معیار	واریانس	چولگی	کشیدگی
Au (ppb)	۰.۵۶	۰.۵	۱	۰.۵۸	۰.۱۰۳	۰.۰۱۱	۳.۸۷۱	۱۵.۳۲۲
Ag (ppm)	۰.۲۸	۰.۱۹	۰.۳۴	۰.۲۸	۰.۰۲۶	۰.۰۰۱	-۰.۶۷۷	۴.۱۹۳
As (ppm)	۱۴.۵	۱۰.۳	۱۹.۶	۱۴.۵۱	۱.۵۹	۲.۵۵	۰.۸۸۸	۴.۰۴
Cu (ppm)	۳۰.۷	۲۰	۹۰	۳۰.۷۳	۱۱.۱۲	۱۲۳.۷۸	۳.۸۴	۱۹.۷۴۳
Pb (ppm)	۱۳.۲	۰.۱	۴۰	۱۳.۲۳	۹.۷۹	۹۵.۸۹	۰.۵۶۹	-۰.۱۰۵
Zn (ppm)	۵۲.۹	۲۰	۹۱	۵۲.۸۶	۱۹.۳	۳۷۲.۷۵	۰.۲۹۶	-۰.۵۰۳

جدول ۲- برخی از مهمترین پارامترهای آماری در داده‌های لگاریتمی (نرمال) محدوده خونیک

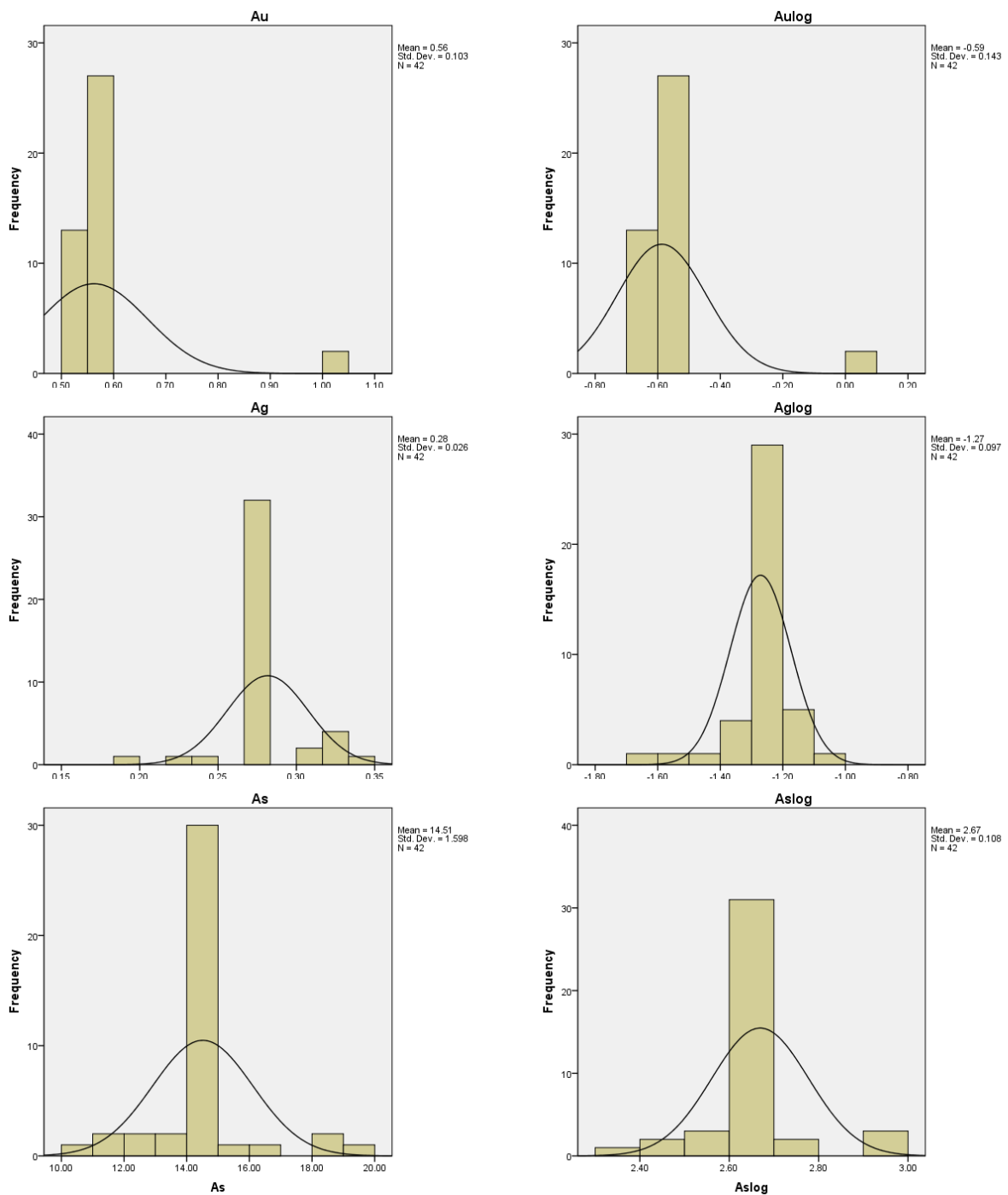
عناصر	میانہ	مینیمم	ماکسیمم	میانگین	انحراف معیار	واریانس	چولگی	کشیدگی
Au log (ppb)	-۰.۵۸	-۰.۶۹۳۱۴۷۲	۰	-۰.۵۸	۰.۱۴۲۸۷۹۹	۰.۰۲۰۴۱۴۷	۳.۴۲۱۵۸۷۱	۱۲.۹۹۷۵۰۸
Ag log (ppm)	-۱.۲۷	-۱.۶۶۰۷۳۱۲	-۱.۰۷۸۸۰۹۷	-۱.۲۷	۰.۰۹۷۴۱۹۶	۰.۰۰۹۴۹۰۶	-۱.۴۸۳۱۱۱	۶.۴۶۴۵۸۶۲
As log (ppm)	۲.۶۶	۲.۳۳۲۱۴۲۹	۲.۹۷۵۵۲۹۶	۲.۶۷	۰.۱۰۸۳۳۴۶	۰.۰۱۱۷۳۶۴	۰.۰۶۳۲۹۷۵	۳.۶۹۷۱۴۳
Cu log (ppm)	۳.۳۸	۲.۹۹۵۷۳۲۳	۴.۴۹۹۸۰۹۷	۳.۳۶	۰.۲۶۷۵۰۸۴	۰.۰۷۱۵۶۰۷	۱.۷۵۹۰۴۱۴	۶.۱۳۲۸۵۶۳
Pb log (ppm)	۲.۰۴	-۲.۳۰۲۵۸۵۱	۳.۶۸۸۸۷۹۵	۲.۶۴	۱.۴۲۱۸۶۲۴	۲.۰۲۱۶۹۲۸	-۱.۶۶۵۴۹۴۶	۲.۶۷۹۶۱۰۴
Zn log (ppm)	۳.۸۹	۲.۹۹۵۷۳۲۳	۴.۵۱۰۸۵۹۵	۳.۹۲	۰.۳۹۸۴۸۶۸	۰.۱۵۸۷۹۱۷	-۰.۵۶۰۴۹۹۶	-۰.۰۹۶۲۳۲۱

با توجه به داده‌های به دست آمده در جدول ۱، مقدار واریانس به دست آمده برای نمونه‌ها، با مقدار میانگین و میانہ، متفاوت است که این تفاوت به دلیل وجود بی‌هنجاری ژئوشیمیایی در محدوده مورد مطالعه است (جانسون، ۱۳۹۱). به صورتی که در صورت نبود بی‌هنجاری، مقدار

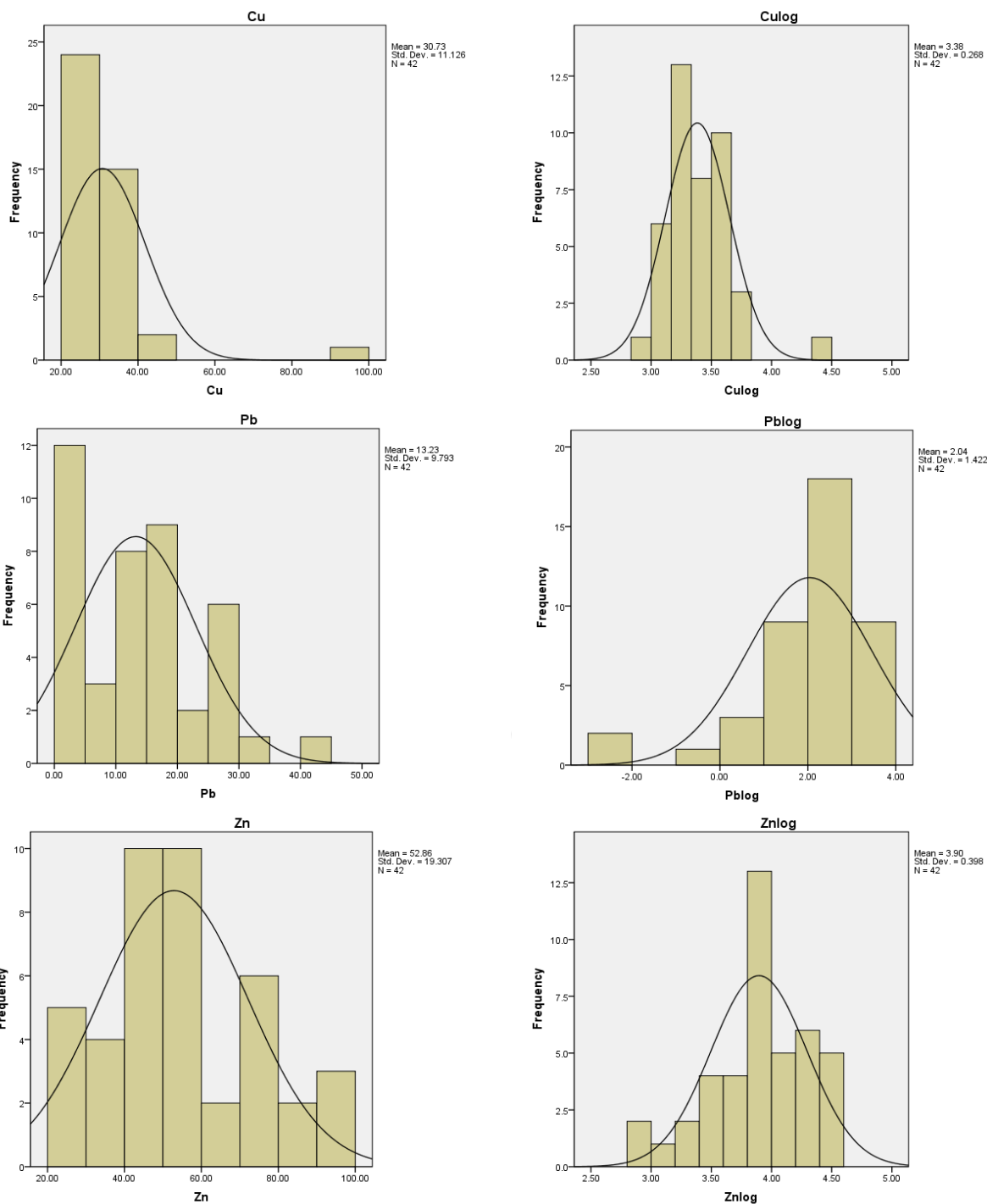
۴-۱-۲- نمودار هیستوگرام عناصر Au, Ag, As, Cu, Pb, Zn

به منظور مشاهده نحوه عملکرد بهنجارسازی داده‌ها، با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS 18 نمودارهای هیستوگرام شش عنصر Au, Ag, As, Cu, Pb, Zn در دو حالت داده خام و داده لگاریتمی (نرمال‌سازی شده) رسم شده است. نمودار هیستوگرام عنصر طلا در دو حالت نرمال و غیر نرمال به سمت چپ تمایل دارد است که این حالت بیانگر تهی‌شدگی عنصر طلا در محدوده مورد مطالعه است (Cheng, 1999). نمودار عنصر نقره، در حالت نرمال (Aglog)، نمودار حالت تقارن دارد و این بدان معناست که بی‌هنجاری امید بخش وجود ندارد. عنصر آرسنیک در هر دو حالت غیر نرمال (As) و نرمال (Aslog)، تقریباً حالت تقارن دارد که نشان‌دهنده نبود بی‌هنجاری بالاست. نمودار عنصر مس در داده‌های نرمال (Culog)، به حالت تقارن نزدیک شده است که نشان‌دهنده غنی‌شدگی بی‌هنجاری واقعی و بالای عنصر مس است. نمودار عنصر سرب و روی بیانگر غنی‌شدگی در حالت نرمال (Pblog, Znlog) می‌باشند که نشان‌دهنده بی‌هنجاری واقعی و بالای عنصر سرب است (شکل ۴).

مقدار واریانس به دست آمده در جدول ۱، مقدار واریانس به دست آمده برای نمونه‌ها، با مقدار میانگین و میانہ، متفاوت است که این تفاوت به دلیل وجود بی‌هنجاری ژئوشیمیایی در محدوده مورد مطالعه است (جانسون، ۱۳۹۱). به صورتی که در صورت نبود بی‌هنجاری، مقدار پارامترهای یاد شده، تقریباً برابر می‌شود. همچنین در جدول پارامترهای آماری در داده‌های لگاریتمی (نرمال) و پارامترهای آماری در داده‌های خام (غیر نرمال)، پارامترهای میانہ و میانگین در داده‌های خام، دارای اختلاف زیادی هستند و این نشان از غیر نرمال بودن این داده‌ها دارد ولی در داده‌های لگاریتمی، این اختلاف به مراتب کمتر شده و در برخی عناصر بسیار به هم نزدیک شده است که نشان از نزدیک بودن داده‌ها به توزیع نرمال دارد (یزدی، ۱۳۸۱). مقدار چولگی نیز در داده‌های خام، در بیشتر عناصر، نزدیک به صفر است. و مقدار کشیدگی در داده‌های لگاریتمی به یکدیگر و به عدد ۳ که نشان از نرمال بودن داده‌ها دارد، نزدیک‌تر شده است (بهبودیان، ۱۳۸۸). که این حالت بیانگر تهی‌شدگی عنصر طلا در محدوده مورد مطالعه است (Cheng, 1999). نمودار عنصر نقره، در حالت نرمال (Aglog)، نمودار حالت تقارن دارد و این بدان معناست که بی‌هنجاری امید بخش وجود ندارد. عنصر آرسنیک در هر دو حالت غیر نرمال (As) و نرمال (Aslog)، تقریباً حالت تقارن دارد که نشان‌دهنده نبود بی‌هنجاری است. نمودار عنصر مس در داده‌های نرمال (Culog)، به حالت تقارن نزدیک شده است که نشان‌دهنده غنی‌شدگی و بی‌هنجاری واقعی و بالای عنصر مس است. نمودار عنصر سرب و روی بیانگر غنی‌شدگی در حالت نرمال (Pblog, Znlog) می‌باشند که نشان‌دهنده بی‌هنجاری واقعی و بالای عنصر سرب است (شکل ۴).



شکل ۴- نمودار هیستوگرام عناصر Au, Ag, As در دو حالت غیر نرمال (Au, Ag, As) و نرمال (Aulog, Aglog, Aslog) در داده‌های ژئوشیمی رسوب آبراهه‌ای



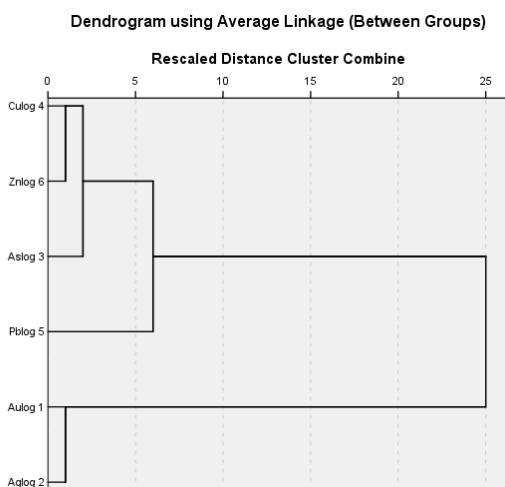
شکل ۴ (ادامه) - نمودار هیستوگرام عناصر Cu, Pb, Zn در دو حالت غیر نرمال (Cu, Pb, Zn) و نرمال (Culog, Pblog, Znlog) در داده‌های ژئوشیمی رسوب آبراه‌های

وابستگی به واحد اندازه‌گیری داده‌ها، از ضریب همبستگی استفاده می‌شود. در محاسبه ضریب همبستگی نیز مانند بسیاری از پارامترهای آماری دیگر فرض نرمال بودن داده‌ها الزامی است (حسینی پاک و شرف الدین، ۱۳۸۰). بنابراین ضریب همبستگی به دو روش اسپیرمن (برای

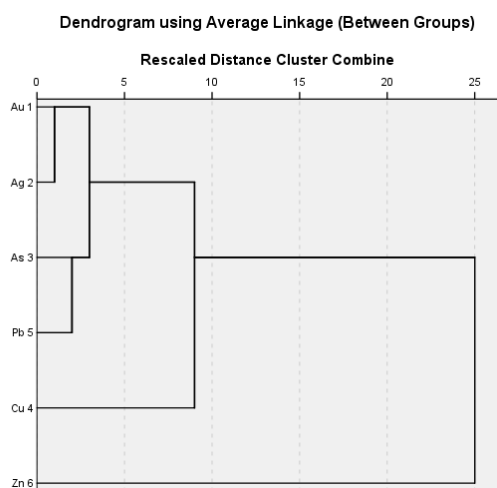
۳-۱-۴ - ضریب همبستگی عناصر Au, Ag, As, Cu, Pb, Zn

برای داشتن معیاری از همبستگی و ارتباط دو متغیر بدون

متغیرهای با شباهت بیشتر با استفاده از روش بازگشتی به هم متصل می‌شوند (حسینی پاک و شرف الدین، ۱۳۸۰). در شکل ۵ و ۶ نمودار خوشه‌ای برای داده‌های خام و لگاریتمی نشان داده شده است.



شکل ۵- نمودار خوشه‌ای حاصل از تحلیل خوشه‌ای داده‌های غیر نرمال



شکل ۶- نمودار خوشه‌ای حاصل از تحلیل خوشه‌ای داده‌های نرمال

۴-۱-۵- ضریب غنی‌شدگی و بی‌هنجاری ژئوشیمیایی

ضریب غنی‌شدگی عبارت است از نسبت فراوانی غلظت یک عنصر به میانگین فراوانی غلظت همان عنصر در جامعه‌ای که نمونه بدان تعلق دارد و از تقسیم کردن غلظت میانگین عنصر مورد نظر بر غلظت همان عنصر در کلارک (جدول ۵) در همان سنگ مشابه به دست می‌آید (Ranasinghe et al., 2009) (جدول ۶).

جدول ۵- میانگین غلظت عناصر در پوسته زمین (Gocht et al., 1988)

Cu(ppm)	Pb(ppm)	Zn(ppm)	Au(ppb)	Ag(ppm)
۵۰	۱۰	۷۰	۰.۰۰۳	۰.۰۷

داده‌های غیر نرمال) و پیرسون (برای داده‌های نرمال) در جدول‌های شماره ۳ و ۴ محاسبه شده است.

جدول ۳- همبستگی پیرسون عناصر طلا، نقره، آرسنیک، مس، سرب و روی

همبستگی پیرسون						
عناصر	Au	Ag	As	Cu	Pb	Zn
Au	۱					
Ag	-۰.۲۲۳	۱				
As	۰.۰۹۵	۰.۳۱۸	۱			
Cu	-۰.۰۳۳	۰.۱۸۸	۰.۲۴	۱		
Pb	۰.۰۰۴	-۰.۰۴۹	۰.۰۳۳	۰.۳۷۳	۱	
Zn	۰.۰۳۸	۰.۰۰۶	۰	۰.۳۵۴	۰.۲۹۲	۱

با توجه به جدول شماره ۳ موارد زیر را می‌توان نتیجه‌گیری کرد: عنصر Ag دارای همبستگی بالایی با عناصر As و Cu به ترتیب به مقدار ۰.۳۱۸ و ۰.۱۸۸ می‌باشد.

عنصر Cu دارای همبستگی نسبتاً بالایی با عناصر Ag, As, Pb, Zn است.

عنصر Pb با عناصر Cu و Zn همبستگی خوبی نشان می‌دهد.

جدول ۴- همبستگی اسپیرمن عناصر طلا، نقره، آرسنیک، مس، سرب و روی

همبستگی اسپیرمن						
عناصر	Au	Ag	As	Cu	Pb	Zn
Au	۱					
Ag	-۰.۱۴۷	۱				
As	۰.۰۹۲	۰.۳۱۸	۱			
Cu	-۰.۰۷۱	۰.۲۶۴	۰.۳۴۴	۱		
Pb	۰.۶۲۹	۰.۰۶	۰.۱۰۸	۰.۱۳۴	۱	
Zn	۰.۰۹۱	۰.۰۷۵	-۰.۰۲۳	۰.۲۲	۰.۲۲۱	۱

در جدول ۴ نکات زیر قابل توجه است:

عنصر Au با عناصر As و Pb دارای همبستگی مثبت است.

عنصر Ag با عناصر As و Cu دارای همبستگی مثبت است.

عنصر As با عناصر Ag, Cu, Pb دارای همبستگی بیشتری نسبت به Au است.

۴-۱-۴- تحلیل خوشه‌ای

تجزیه و تحلیل خوشه‌ای، یکی از روش‌های چند متغیره است که هدف از آن دست یافتن به ملاکی برای طبقه‌بندی هر چه مناسب‌تر متغیرها و یا نمونه‌ها براساس تشابه هر چه بیشتر درون گروهی و اختلاف هر چه بیشتر بین گروهی است. روش‌های مختلفی برای خوشه‌بندی داده‌ها وجود دارد. یکی از این روش‌ها، روش اتصال است که در آن به ترتیب نمونه‌ها و یا

کنتوری و به روش کریجینگ در نرم افزار Surfer 10 رسم شده است (شکل ۷).

با توجه به نقشه‌های بی‌هنجاری، می‌توان اطلاعات زیر را نتیجه گرفت:
- همپوشانی کاملاً معنی‌دار بی‌هنجاری Zn, Pb, Cu در بخش جنوبی و ارتباط آن با کانی‌سازی بالا دست این آبراهه‌ها.
- شواهد کانی‌سازی در بخش جنوبی با توجه به عیارهای به دست آمده از نمونه‌های کانی‌سازی شده مشروط بر گسترش سطحی و عمقی می‌تواند حائز اهمیت و حاوی پتانسیل تلقی شود.
- علت پایین بودن عیار نمونه‌ها، احتمالاً به دلیل شستشوی ضعیف سنگ‌های بالادست است، به گونه‌ای که عیار در نمونه‌های کانی‌سازی شده به مراتب بالاتر از نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای است (Sheppard et al., 2009).

۴-۲- اکتشافات سنگ ژئوشیمیایی

برخی از مهمترین پارامترهای آماری که در مورد داده‌های نرمال و غیر نرمال تجزیه نمونه‌های سنگ ژئوشیمیایی محدوده خونیک محاسبه شده، در جدول ۸ و ۹ آورده شده است.
با توجه به جدول‌های شماره ۸ و ۹، اختلاف پارامترهای میانه و میانگین در داده‌های لگاریتمی، نسبتاً کم بوده و در برخی عناصر بسیار به هم نزدیک شده است که نشان از نزدیک بودن داده‌ها به توزیع نرمال دارد. همچنین مقدار چولگی در داده‌های خام، در بیشتر عناصر، نزدیک به صفر است که نشان از نرمال بودن داده‌ها دارد (بهبودیان، ۱۳۸۸). مقدار واریانس، با مقدار میانگین و میانه، تفاوت دارد و این تفاوت به دلیل وجود بی‌هنجاری ژئوشیمیایی در محدوده مورد مطالعه است (Fletcher, 1997).

جدول ۸- برخی از مهمترین پارامترهای آماری در داده‌های خام (غیر نرمال) محدوده خونیک

عناصر	میانه	مینیمم	ماکسیمم	میانگین	انحراف معیار	واریانس	چولگی	کشیدگی
Au (ppb)	۳.۴	۰.۵	۶	۰.۵۸	۱.۸۲	۳.۳۴	-۰.۰۴۷	-۰.۷۸
Ag (ppm)	۶.۵۴	۰.۵	۱۵.۵	۰.۲۸	۵.۰۶	۲۵.۶۷	۰.۶۱	-۰.۸۸
As (ppm)	۲۳.۲۷	۷	۵۸	۱۴.۵۱	۲۰.۱۴	۴۰۶.۰۱	۰.۹۸	-۰.۹۱
Cu (ppm)	۱۲۸۰۷.۲۷	۵۹۴۰	۲۴۳۰۰	۳۰.۷۳	۷۰۳۳.۸۹	۴۹۴۷۵۷۴۱.۸۱	۰.۶۹	-۱.۰۹
Pb (ppm)	۳۷۹.۹	۸	۳۶۸۰	۱۳.۲۳	۱۰۹۶.۳۳	۱۲۰۱۹۴۰.۲۹	۳.۲۹	۱۰.۹
Zn (ppm)	۹۶۰	۷۶	۸۶۶۰	۵۲.۸۶	۲۵۵۸.۲۱	۶۵۴۴۴۷۰.۴	۳.۲۹	۱۰.۸۹

جدول ۶- ضریب غنی‌شدگی عناصر Au, Ag, Cu, Pb, Zn

Au	Ag	Cu	Pb	Zn
۱۹۲.۲۳	۴	۰.۶۱۴	۱.۲۲۳	۰.۷۵

عناصر طلا بیشترین غنی‌شدگی (تقریباً ۲۰۰ برابر) را در بین عناصر فوق نشان می‌دهد.

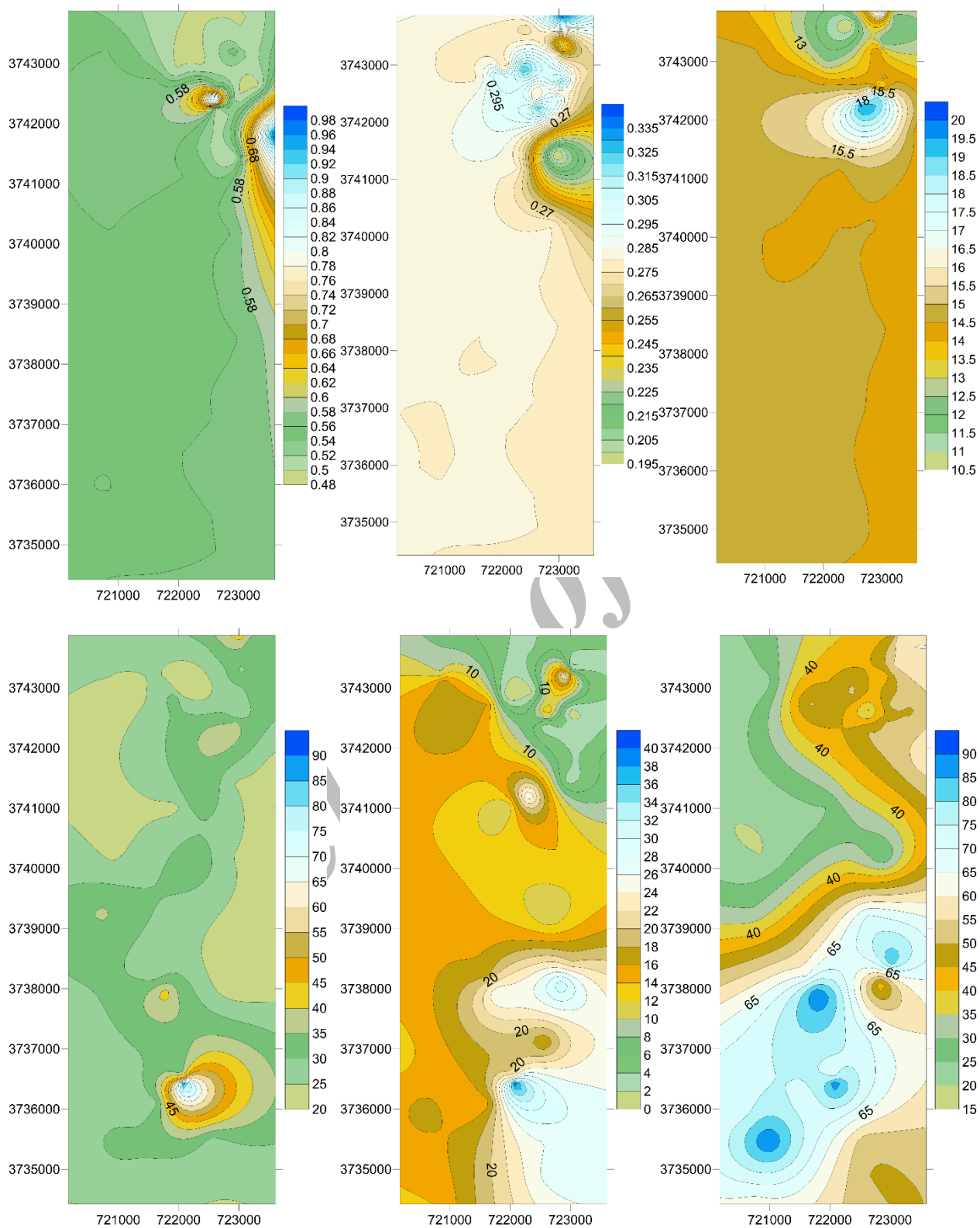
در برداشت‌های ژئوشیمیایی، معمولاً $\bar{X} + 2S$ را برای تعیین حد آستانه انتخاب می‌کنند. به عبارت دیگر مقادیر بزرگتر از $\bar{X} + 2S$ به عنوان بی‌هنجاری در نظر می‌گیرند (Hawkes & Webb, 1962). مقادیر بین $\bar{X} + 2S$ و $\bar{X} + 3S$ را به عنوان بی‌هنجاری‌های ممکن و مقادیر بزرگتر از $\bar{X} + 3S$ تحت عنوان بی‌هنجاری‌های احتمالی رده‌بندی کردند. در جدول ۷ مقادیر بی‌هنجاری ممکن، بی‌هنجاری احتمالی و بی‌هنجاری قطعی برای عناصر Cu, Pb, Zn آورده شده است.

جدول ۷- مقادیر بی‌هنجاری ژئوشیمیایی عناصر Cu, Pb, Zn

Zn	Pb	Cu	انومالی ژئوشیمیایی
۴۱۵.۴۵۹۵	۱۱۳.۳۹۷۴	۱۴۶.۵۸۳۲	$> \bar{x} + s$ انومالی ممکن
۷۸۸.۲۱۹	۲۰۹.۲۹۴۸	۲۷۰.۳۶۶۴	$> \bar{x} + 2s$ انومالی احتمالی
۱۱۶۰.۹۷۸۵	۳۰۵.۱۹۲۲	۳۹۴.۱۴۹۶	$> \bar{x} + 3s$ انومالی قطعی
۱۵۳۳.۷۳۸	۴۰۱.۰۸۹۶	۵۱۷.۹۳۳۸	$> \bar{x} + 4s$ انومالی قطعی

۴-۱-۶- رسم نقشه بی‌هنجاری‌ها

در نمونه‌برداری رسوبات آبراهه‌ای، توزیع نقاط داده یا نمونه‌برداری کاملاً نامنظم است. نقشه‌های کنتوری، نقشه‌هایی هستند که با ایجاد پیوستگی در مقدار متغیر ناپیوسته از طریق رسم خطوط تراز یا کنطور، حاصل می‌شوند (رولینسون، ۱۹۹۳). چون درک تغییرپذیری و گرادیان تغییرات در این نوع نقشه‌ها آسان است، نقشه بی‌هنجاری عناصر به صورت



شکل ۷- نقشه آنومالی رسوب آبراهه‌ای عناصر Au, Ag, As, Cu, Pb, Zn، به ترتیب از چپ به راست

جدول ۹- برخی از مهمترین پارامترهای آماری در داده‌های لگاریتمی (نرمال) محدوده خونیک

عناصر	میانگین	مینیمم	ماکسیمم	میانگین	انحراف معیار	واریانس	چولگی	کشیدگی
Au log (ppb)	۱.۰۲	-۰.۶۹	۱.۷۹	۱.۱	۰.۷۶	۰.۵۹	-۱.۳۳	۱.۴۲
Ag log (ppm)	۱.۴۹	-۰.۶۹	۲.۷۴	۱.۷۹	۱.۰۵	۱.۱	-۰.۸۲	۰.۲۶
As log (ppm)	۲.۸۲	۱.۹۴	۴.۰۶	۲.۳	۰.۸۲	۰.۶۷	۰.۶۶	-۱.۵۲
Cu log (ppm)	۹.۳۲	۸.۶۸	۱۰.۰۹	۹.۳۳	۰.۵۴	۰.۲۹	۰.۲۶	-۱.۶۲
Pb log (ppm)	۳.۶۵	۲.۰۷	۸.۲۱	۲.۷۷	۱.۹	۳.۶۲	۱.۵۱	۲.۳۱
Zn log (ppm)	۵.۳۵	۴.۳۳	۹.۰۶	۴.۸۷	۱.۴	۱.۹۷	۲.۰۹	۴.۹۱

- عنصر As با عناصر Pb و Zn دارای همبستگی مثبت و در حدود ۰.۶ می‌باشد.

- عنصر Cu بالاترین همبستگی را با عنصر Ag به مقدار حدود ۰.۴ نشان می‌دهد.

- عناصر Pb و Zn دارای همبستگی بسیار بالا و در حدود ۱ دارند.

جدول ۱۱- همبستگی اسپیرمن عناصر طلا، نقره، آرسنیک، مس، سرب و روی

همبستگی اسپیرمن						
عناصر	Au	Ag	As	Cu	Pb	Zn
Au	۱					
Ag	۰.۴۵۷	۱				
As	۰.۱۲۱	۰.۷۶۳	۱			
Cu	۰.۴۱	۰.۴۵۱	۰.۰۸۷	۱		
Pb	۰.۱۶۴	۰.۷۸۵	۰.۹۴۹	۰.۱۱۴	۱	
Zn	۰.۲۴۹	۰.۷۰۱	۰.۷۵۸	-۰.۰۱۴	۰.۶۹۹	۱

با توجه به جدول ۱۱ می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد:

- عنصر Au تنها با عناصر Ag و Cu همبستگی دارد.

- عنصر Ag با عناصر Au, As, Cu, Pb و Zn همبستگی دارد.

- عنصر Cu با عناصر Au و Ag همبستگی مثبت دارد.

۴-۲-۳- تحلیل خوشه‌ای

با توجه به شکل ۹ و ۱۰ که همبستگی خوشه‌ای عناصر Au, Ag,

Cu, Zn, Pb, As را در دو حالت غیر نرمال و نرمال نشان می‌دهند، می‌

توان چنین نتیجه‌گیری کرد:

- در نمودار مربوط به داده‌های غیر نرمال، بالاترین همبستگی بین

عنصر مس و سرب می‌باشد.

- در نمودار مربوط به داده‌های نرمال، بین عناصر As, Au, Ag, Cu

همبستگی وجود دارد.

- بالاترین همبستگی در نمودار همبستگی داده‌های نرمال، بین عناصر Cu

و Ag دیده می‌شود.

۴-۲-۱- نمودار هیستوگرام عناصر Au, Ag, As, Cu, Pb, Zn

نمودار هیستوگرام عنصر طلا در داده‌های غیر نرمال (Au) حالت تقارن دارد که نشان‌دهنده نبود بی‌هنجاری است ولی در حالت نرمال (Aulog)، نمودار به صورت راستگرد می‌باشد، که نشان‌دهنده غنی‌شدگی این عنصر است (Nuchanong et al., 1991). نمودار هیستوگرام عنصر نقره، نیز همانند عنصر طلا، در داده‌های غیر نرمال (Ag)، حالت تقارن دارد که نشان‌دهنده عدم غنی‌شدگی است ولی در حالت نرمال (Aglog)، نمودار حالت راستگرد دارد و این بدان معناست که عنصر نقره دچار غنی‌شدگی شده است. در نمودار هیستوگرام عنصر مس، نمودار از حالت چپگرد در داده‌های غیر نرمال (Cu) به حالت تقارن در داده‌های نرمال (Culog) نزدیک شده است که نشان‌دهنده غنی‌شدگی و بی‌هنجاری واقعی عنصر مس است. نمودار هیستوگرام عنصر آرسنیک، سرب و روی، در هر دو حالت غیر نرمال (Pb) و نرمال (Pblog)، به صورت چپگرد و بیانگر تهی‌شدگی این عنصر است (شکل ۸).

۴-۲-۲- ضریب همبستگی

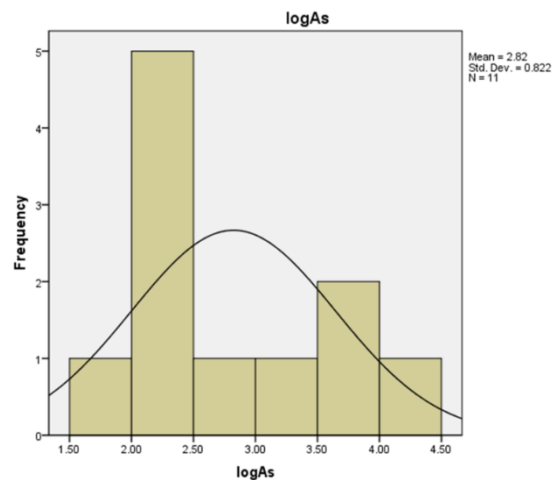
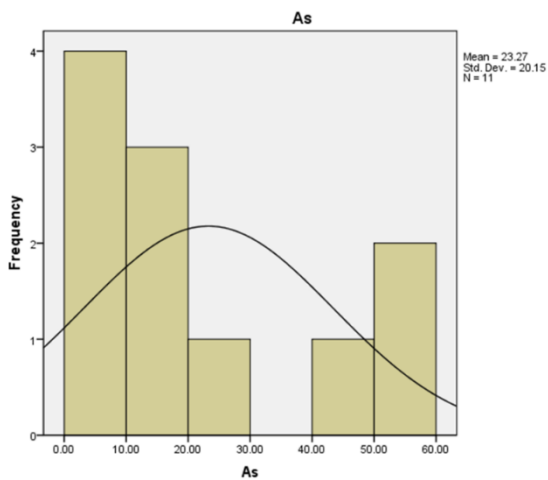
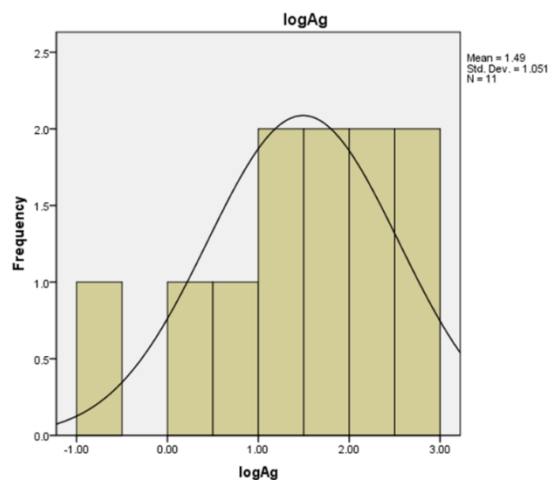
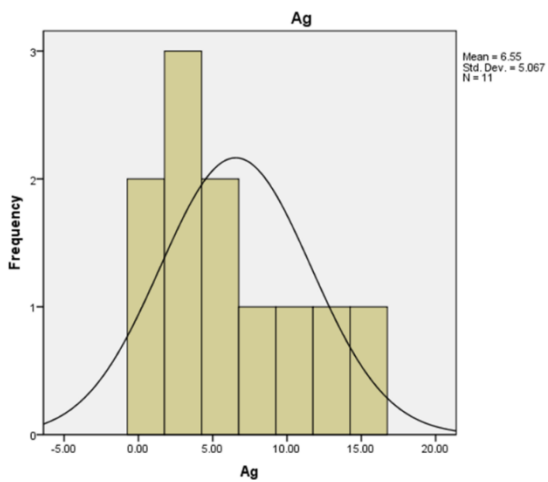
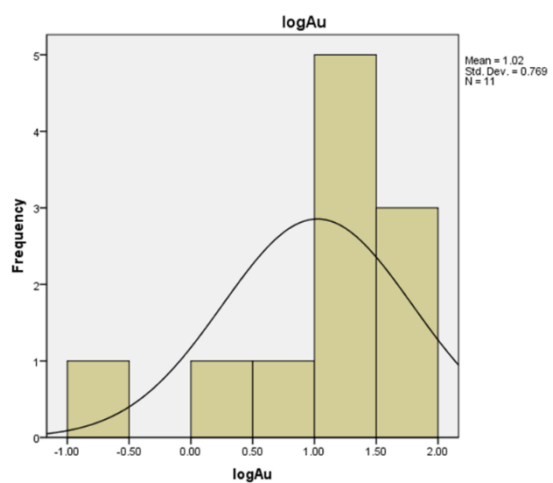
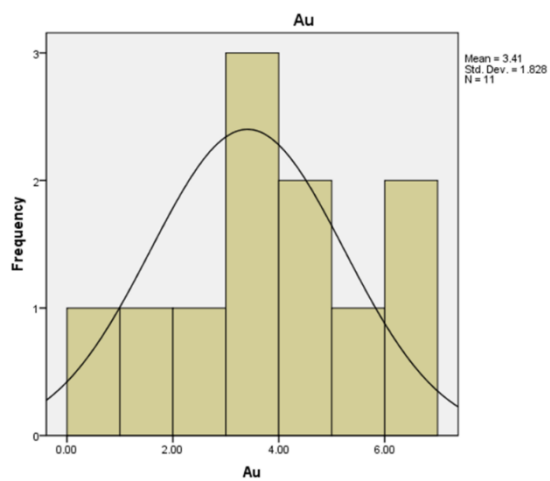
جدول ۱۰- همبستگی پیرسون عناصر طلا، نقره، آرسنیک، مس، سرب و روی

همبستگی پیرسون						
عناصر	Au	Ag	As	Cu	Pb	Zn
Au	۱					
Ag	۰.۴۲۷	۱				
As	۰.۲۶۷	۰.۸۵۴	۱			
Cu	۰.۲۷	۰.۴۷	۰.۱۶	۱		
Pb	-۰.۰۴۹	۰.۲۰۹	۰.۶۱۴	-۰.۲۷۶	۱	
Zn	-۰.۰۴۹	۰.۲۰۶	۰.۶۰۶	-۰.۲۶۸	۰.۹۹۹	۱

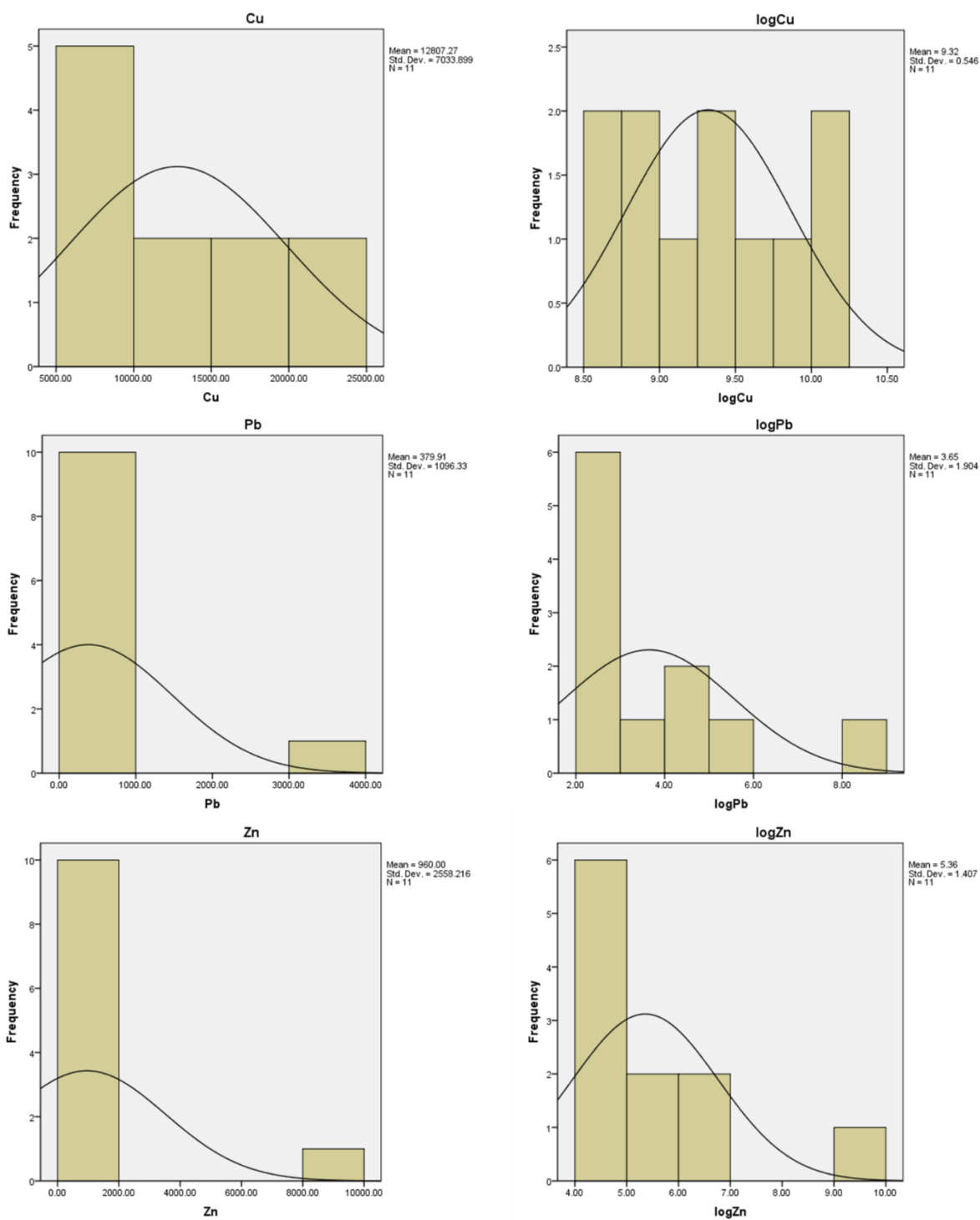
با توجه به جدول ۱۰ می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد:

- بین عنصر Au و عناصر Ag, As, Cu و همچنین بین عنصر Ag

با عناصر As, Au, Cu همبستگی مثبت وجود دارد.



شکل ۸- نمودار هیستوگرام عناصر Au, Ag, As در دو حالت غیر نرمال (Au, Ag, As) و نرمال (Aulog, Aglog, Aslog) در داده‌های سنگ ژئوشیمی



شکل ۸ (ادامه) - نمودار هیستوگرام عناصر Cu, Pb, Zn در دو حالت غیر نرمال (Cu, Pb, Zn) و نرمال (Culog, Pblog, Znlog) در داده‌های سنگ ژئوشیمی

غنی‌شدگی، در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۱۲- ضریب غنی‌شدگی عناصر Au, Ag, Cu, Pb, Zn

Au	Ag	Cu	Pb	Zn
۱۱۳۶.۳۶۴	۹۳.۵	۲۵۶.۱۴	۳۷.۹۹	۱۳.۷۱

با توجه به جدول ۱۲ دیده می‌شود که عنصر طلا دارای بیش از ۱۰۰۰ برابر غنی‌شدگی است و این مقدار غنی‌شدگی به حد اقتصادی نیز رسیده است و همچنین عنصر مس نیز دارای ضریب غنی‌شدگی بالا و بیش از ۲۵۰ برابر است که غنی‌شدگی قابل توجهی است.

۴-۲-۵- رسم نقشه بی‌هنجاری‌ها

با استفاده از نرم‌افزار Surfer 10 و با روش کریجینگ، نقشه بی-هنجاری عناصر رسم شده است که نتایج آن به شرح زیر است (شکل ۱۱).
- بالاترین بی‌هنجاری طلا و نقره در بخش غربی و جنوب‌شرقی محدوده مشاهده می‌شود.

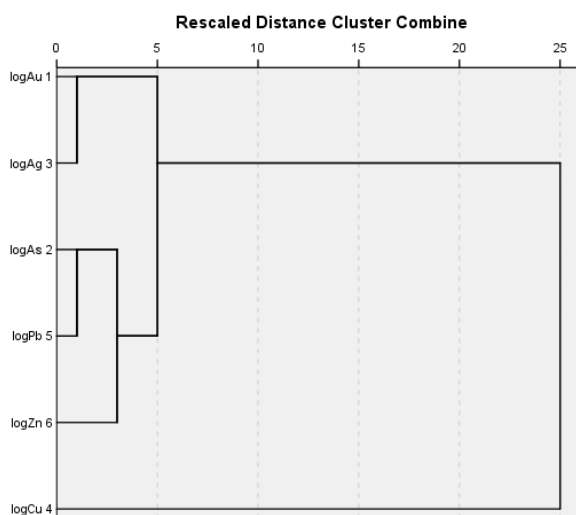
- بیشترین بی‌هنجاری آرسنیک و مس در بخش شرقی محدوده قرار دارد. با توجه به همسستگی نزدیک بین عناصر Zn و Pb نقشه بی‌هنجاری این دو عنصر شباهت و ارتباط زیادی با یکدیگر دارند.

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعات ژئوشیمیایی و نتایج به دست آمده از شرح نقشه‌ها و محاسبات آماری می‌توان نتیجه گرفت که محدوده خونیک از نظر کانی-سازی مس دارای اهمیت است و همچنین عناصر همراه مس مانند سرب و روی نیز بی‌هنجاری خوبی نشان دادند زیرا همپوشانی کاملاً معنی‌دار بی-هنجاری Cu, Pb, Zn در بخش جنوب‌شرقی محدوده دیده می‌شود و ارتباط آن با کانی‌سازی فرادست این آبراهه‌ها، بارزترین نتیجه بررسی‌ها و رسم نقشه‌ها بوده است.

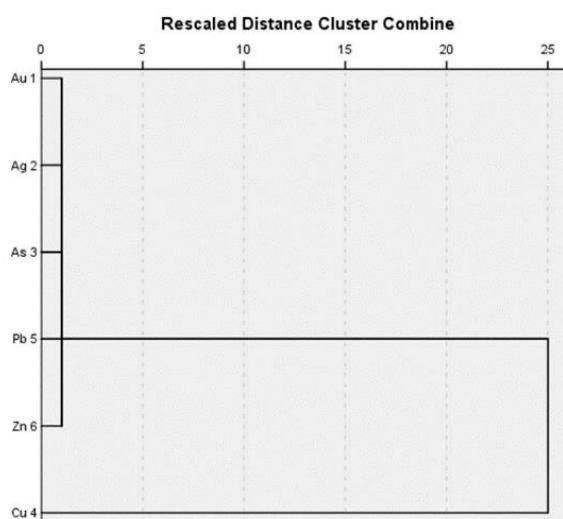
سایر بی‌هنجاری‌های این سه عنصر هیچ‌گونه انطباقی را با یکدیگر نشان نمی‌دهند. منطقه مورد مطالعه از نظر کانی‌سازی طلا و نقره فاقد پتانسیل است. شواهد کانی‌سازی در بخش جنوب‌شرقی با توجه به عیارهای به دست آمده از نمونه‌های کانی‌سازی شده مشروط بر گسترش سطحی و عمقی می-تواند حائز اهمیت تلقی شده و به عنوان منطقه حاوی پتانسیل در مسیر ادامه عملیات اکتشافی قرار گیرد.

Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)



شکل ۹- نمودار خوشه‌ای حاصل از تحلیل خوشه‌ای داده‌های نرمال

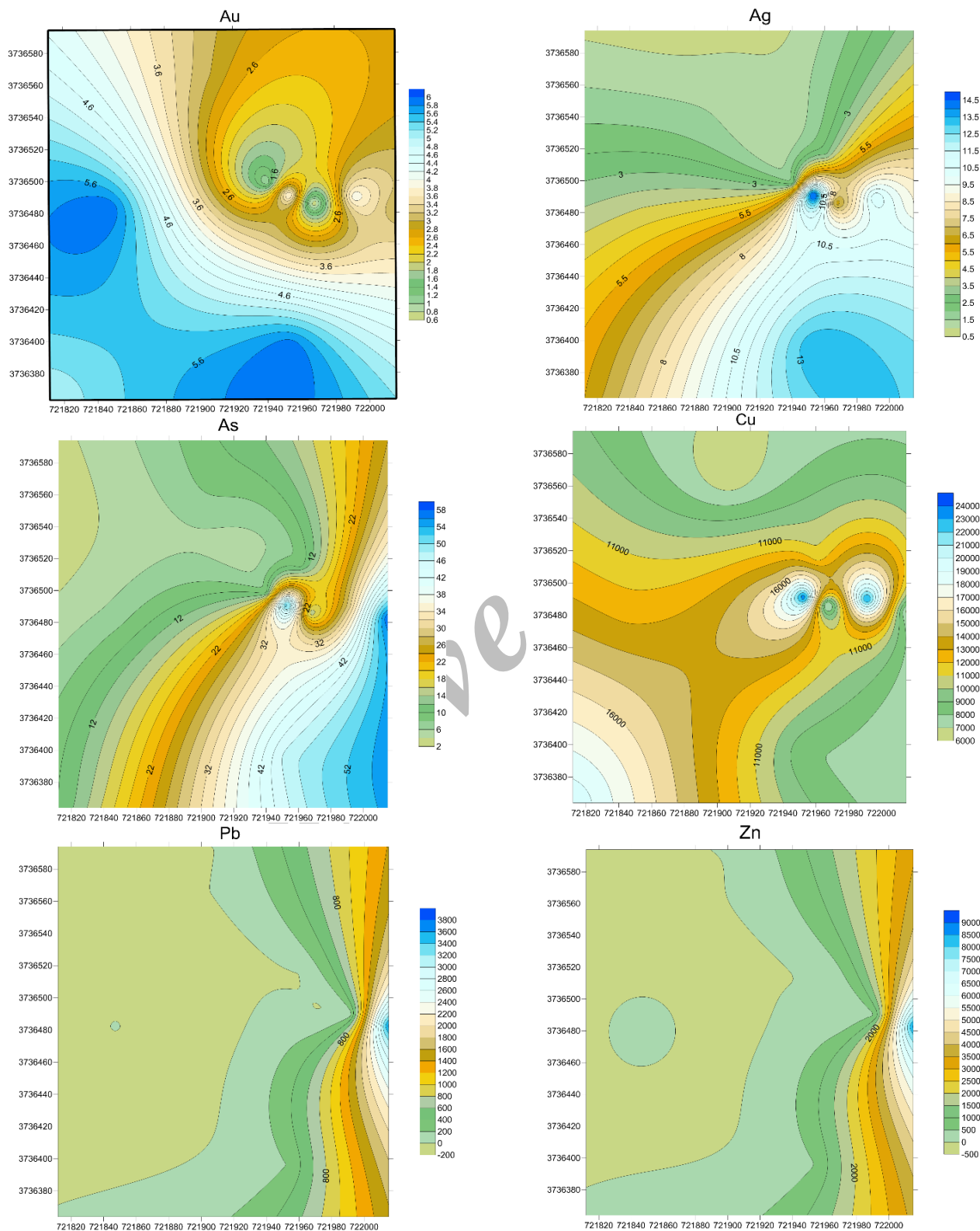
Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)



شکل ۱۰- نمودار خوشه‌ای حاصل از تحلیل خوشه‌ای داده‌های غیر نرمال

۴-۲-۴- ضریب غنی‌شدگی

مقدار کلارک عناصر Cu, Pb, Zn, Au, Ag جهت محاسبه ضریب



شکل ۱۱- نقشه بی‌هنجاری سنگ ژئوشیمی عناصر Au, Ag, As, Cu, Pb, Zn به ترتیب از چپ به راست

مراجع

- Cheng, Q., 1999, "Spatial and Scaling Modelling for Geochemical Exploration", P.175-194.
- Fletcher, W.K., 1997, "Stream Sediment Geochemistry in Today's Exploration World", *University of British Columbia*, P.249-260.
- Gocht, W. R., Zantop, H., Eggert, R. G., 1988, "International Mineral Economics", *Springer-Verlag*, P.271.
- Hawkes, H.E., Webb L.S., 1962, "Geochemistry in Mineral Exploration", *Harper and Row, New York*, P.415.
- Nuchanong, T., Owen P. Lavin, Nichol, I., 1991, "Geochemical dispersion of gold related to copper-gold mineralization in northeastern Thailand", *13th International Geochemical Exploration Symposium*, P.49-71.
- Ranasinghe P.N., Fernando, G.W.A.R, Dissanayake, C. B., Rupasinghe, M.S., Witter, D.L., 2009, "Statistical evaluation of stream sediment geochemistry in interpreting the river catchment of high-grade metamorphic terrains", *Journal of Geochemical Exploration*, P.97-114.
- Segura, R., Arancibia, V., Zúñiga, M.C., Pastén, P., 20-06, "Distribution of copper, zinc, lead and cadmium concentrations in stream sediments from the Mapocho River in Santiago, Chile", *Elsevier pub*, P.9.
- Sheppard, D.S., Christie, A.B., Goff, J. Carver, R., 2009, "Stream sediment geochemical survey in an area of volcanichosted epithermal Au-Ag-Zn-Pb-Cu deposits and porphyry Cu prospects", *Thames, Coromandel Peninsula, New Zealand* P.3.
- آقانباتی، س.ع.، ۱۳۸۳، "زمین‌شناسی ایران" انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، ۵۸۶ صفحه.
- حسنی پاک، ع.ا.، شرف‌الدین، م.، ۱۳۸۰، "تحلیل داده‌های اکتشافی" انتشارات دانشگاه تهران، ۹۸۷ صفحه.
- رولینسون، ه.آ.، ۱۹۹۳، مترجم: مر، ف.، مدبری، س.، "کاربرد داده‌های زمین‌شیمیایی" انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، ۴۵۲ صفحه.
- باتاچاریا، گ.، جانسون، ر.، مترجم: ابن شهر آشوب، م.، میکائیلی، ف.، ۱۳۹۱، "مفاهیم و روش‌های آماری (جلد اول)" مرکز نشر دانشگاهی، ۳۸۲ صفحه.
- یزدی، م.، ۱۳۸۱، "روش‌های مرسوم در اکتشافات ژئوشیمیایی" انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، ۱۸۰ صفحه.
- بهبودیان، ج.، ۱۳۸۸، "آمار و احتمال مقدماتی" انتشارات دانشگاه امام رضا(ع)، ۱۴۵ صفحه.
- Carranza, E.J.M., 2011, "Analysis and Mapping of Geochemical Anomalies Using Logratio Transformation Stream Sediment Data with Censored Values", *Journal of Geochemical Exploration* 110, P.167-185.
- Chaffee, M A., 1975, "Geochemical Exploration Techniques Applicable in the Search for Copper Deposits", *USGS Professional Paper*, P.26.

Archive