

2-1- مقدمه

در عملیات اکتشافات ژئوشیمیایی 1: 25/000، نظر به وسعت محدوده‌ی تحت پوشش، هاله‌های ژئوشیمیایی ثانویه مورد بررسی قرار می‌گیرند. اکثر این مطالعات به نحوه‌ی توزیع عناصر در هاله‌های ثانویه‌ی سطحی مانند رسوبات رودخانه‌ای، آبرفت‌ها، یخرفت‌ها و خاک بستگی دارد. هدف از نمونه‌برداری و سایر عملیات‌های اکتشافی در این مقیاس، کشف تمرکزهای غیرعادی از عناصر مرتبط با کانی‌سازی احتمالی در محیط‌های ثانویه‌ی حاصل از فرسایش خواهد بود. در این خصوص هر چه هاله‌ی ثانویه وسیع‌تر و به هاله‌ی اولیه نزدیک‌تر باشد و یا الگوی توزیع آن همبستگی ژنتیکی و انطباق فضایی بیشتری را نسبت به هاله‌ی اولیه نشان دهد از ارزش اکتشافی بالاتری برخوردار خواهد بود. واضح است که رخدادهای متعددی باعث می‌گردد تا هاله‌ی ثانویه توسعه یافته در نواحی پایین‌دست نقاط کانی‌سازی شده، توزیع دوباره یابد و همبستگی ژنتیکی و انطباق فضایی مورد نظر مغشوش شود. این نوع اغتشاشات کار تفسیر هاله‌های ثانویه را در جهت تعیین هر چه دقیق‌تر منشأ دشوار ساخته و از این نظر از ارزش اکتشافی آن‌ها خواهد کاست. به عنوان مثال می‌توان به این موضوع اشاره کرد که روش اکتشافات آبراهه‌ای، رسوبات رودخانه‌هایی که در سنگ بستر حفر شده‌اند از ارزش اکتشافی بالاتری نسبت به رودخانه‌ای که در آبرفت‌ها و یا محیط‌های ثانویه‌ی دیگر حفر گردیده برخوردارند.

همان‌طور که اشاره شد یکی از محیط‌های تحت پوشش اکتشافات ژئوشیمیایی، محیط رسوبات رودخانه‌ای است که تحت شرایط آب و هوایی گوناگون قابل نمونه‌برداری هستند. استفاده از ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای به مدت بیش از 50 سال نشان داده است که این روش، یک متد مستقل و مفید برای تشخیص نواحی با پتانسیل بالای معدنی می‌باشد. بنیادی‌ترین پیش‌فرض در این روش آن است که یک رسوب آبراهه‌ای معرف محصولات هوازگی و فرسایش در بالادست محل نمونه‌برداری می‌باشد. به هر ترتیب برداشت و آنالیز سیستماتیک نمونه‌های آبراهه‌ای یک روش معمول در اکتشافات کانساری، هم در مقیاس ناحیه‌ای و هم در عملیات تفصیلی‌تر در اغلب نقاط جهان است. برخی از مزایای که باعث کارآمدی این روش گردیده است عبارتند از:

الف- وجود شرایط اکسیدان در محیط‌های رودخانه‌ای و آبرفتی که خود موجب تحرك عناصر کانساری و در نتیجه افزایش وسعت هاله‌های آن‌ها می‌گردد.

ب- بزرگی میدان اثر نمونه‌ها

ج - سهولت نمونه‌برداری و آماده‌سازی

در مقابل این مزایا بالا بودن پتانسیل آلودگی برای محیط‌ها، به خصوص در صورت وجود مواد آلی که تفسیر داده‌ها را کمی پیچیده خواهد نمود یک نقص برای این روش اکتشافی محسوب می‌گردد.

متغیرهای مؤثر در تمرکز عناصر در رسوبات رودخانه‌ای زیاد هستند. در حالت کلی نسبت اجزاء آواری و دانه‌بندی آن‌ها، میزان تمرکز مواد کلوئیدی در رسوبات و بالاخره pH و Eh محیط از عمده‌ترین عوامل کنترل‌کننده‌ی تمرکز عناصر می‌باشند.

با توجه به موارد برشمرده، اکتشافات ژئوشیمیایی آبراهه‌ای می‌تواند تا حد زیادی، روشن‌کننده‌ی روند کانی‌سازی و خصوصیات اقتصادی ناحیه‌ی مورد مطالعه باشد. بنابراین، این روش به عنوان اصلی‌ترین لایه اطلاعاتی جهت تشخیص پتانسیل‌های معدنی احتمالی در محدوده‌ی اکتشافی 1:25000 فردوس(1) مورد استفاده و تجزیه و تحلیل قرار گرفت که شرح فعالیت‌های انجام شده در ادامه خواهد آمد. اما در ورقه‌ی مورد مطالعه فعلی بخش وسیعی از منطقه توسط خاک پوشیده شده که این امر امکان نمونه‌برداری رسوبات آبراهه‌ای را در برخی از قسمت‌ها ناممکن می‌سازد و باعث ایجاد یک خلأ نمونه‌برداری در برخی مناطق خواهد شد.

2-2- طراحی شبکه‌ی نمونه‌برداری

در انتخاب و تشخیص نواحی دارای احتمال کانه‌زایی آنچه مدنظر است محدود کردن مناطق امیدبخش از چند ده کیلومتر مربع به چند کیلومتر مربع، به وسیله عملیات ژئوشیمیایی و مؤلفه‌های فضایی شناخته شده می‌باشد. از آنجا که تکنیک‌های بعد از این مرحله تفصیلی و گران هستند، ضروری است که طراحی و تعیین اهداف مورد نظر و محدود ساختن آن‌ها به مناطق حتی‌الامکان کوچک‌تر، با دقت هرچه تمام‌تر صورت گیرد. برای رسیدن به این مقصود از اطلاعات ذیل بهره گرفته شده است:

الف - نقشه‌ی زمین‌شناسی 1:100,000 فردوس

ب- نقشه‌های توپوگرافی 1:25,000 مهوید و مصعبی

ج - نقشه‌ی ژئوشیمیایی 1:100,000 ورقه فردوس

با توجه به رخنمون عمدتاً سنگی در محدوده و وضعیت خاص توپوگرافی آن که امکان پوشش کامل محدوده توسط نمونه‌های آبراهه‌ای را می‌داد و با توجه به شرح قرار داد تعداد 350 نقطه برای برداشت نمونه‌های ژئوشیمیایی رسوب آبراهه‌ای طراحی گردید که از این تعداد 69 نمونه نیز حاوی کانی‌سنگین بوده‌اند. معیارهای طراحی شبکه نمونه برداری عبارتند از:

الف- اولویت دادن به رسوبات آبراهه‌ای که سنگ بستر خود را قطع می‌کنند.

ب- در صورت کاهش تعداد حوضه‌های آبریز، مساحت آن‌ها و یا تعداد انشعابات آن‌ها که عموماً از ویژگی مناطق با توپوگرافی متوسط تا آرام می‌باشند و عاملی تا آبراهه‌هایی که قدرت حفر بستر خود را دارند کم شوند، رسوبات رودخانه‌هایی که سنگ بستر را قطع نمی‌کنند به عنوان گزینه‌ای اجباری و البته در مقایسه با سایر گزینه‌ها بهترین انتخاب، در اولویت هستند.

ج- دسترسی آسان به نقاط مورد نظر از پارامترهای مؤثر در انتخاب محل نمونه‌برداری خواهد بود. این امر در کاهش مدت زمان نمونه‌برداری مؤثر می‌باشد.

نقشه‌ی شماره‌ی 1 در قطع A3 و در انتهای این گزارش موقعیت 350 نقطه به‌مراه نوع آن‌ها را نشان می‌دهد. این نقاط پس از اعمال تمامی معیارهای فوق تعیین گردیده به علاوه نقاط نمونه‌برداری کانی‌سنگین که 69 نقطه می‌باشد نیز در این نقشه نشان داده شده است. البته باید توجه کرد که نقاطی که از آن‌ها نمونه‌ی کانی‌سنگین برداشت شده‌است، نمونه‌ی رسوب آبراهه‌ای نیز برداشت گردیده‌است (لازم بذکر است تعداد نمونه‌های طراحی شده با نمونه‌های برداشت شده (بخش نمونه‌برداری) متفاوت بوده و درحین برداشت نمونه‌ها بنابر دید کارشناسان و شرایط موجود این تعداد تغییر کرده است).

2-3- نمونه‌برداری

در نمونه‌برداری ژئوشیمیایی به ویژه از رسوبات رودخانه‌ای باید هرگونه تفریق ممکن را مورد توجه قرار داد، زیرا فرایند تفریق ممکن است موجب کاهش شدت تمرکز در رسوبات گردد. برای مثال تغییرات موسمی آب و هوا، افزایش شدت بارندگی در فصلی خاص و خشک یا آبدار بودن رودخانه‌های فصلی به شدت در مقدار تمرکز عناصر کمیاب اثر می‌گذارد. بدین جهت سعی بر آن شد تا کل عملیات نمونه‌برداری از یک محدوده‌ی اکتشافی طی یک فصل و آن هم در مدت زمانی کوتاه انجام پذیرد تا از ثابت بودن این متغیرها حداکثر اطمینان حاصل گردد. از این رو تمامی برداشت‌های آبراهه‌ای در مرداد ماه 1387 و طی 5 روز انجام پذیرفت.

در نمونه‌برداری از رسوبات آبراهه‌ای که به طور عمده دارای اجزاء آواری می‌باشند، الگ کردن رسوبات و برداشت اجزایی در اندازه‌ی مناسب امری ضروری است. این اندازه بر اساس تجربه بدست آمده از عملیات

ژئوشیمیایی 1:100000 فردوس (و بر اساس شرح خدمات سازمان زمین‌شناسی) 80- مش در نظر گرفته شد. مقدار رسوب برداشت شده با این اندازه در حدود 200 گرم می‌باشد.

تعداد 2 نقطه از نقاط طراحی شده بعلت قرار گرفتن در زمین‌های کشاورزی و عدم وجود آبراهه مناسب در حین عملیات صحرائی حذف گردیدند. در نهایت 348 نمونه آبراهه‌ای و 69 نمونه کانی‌سنگین برداشت شد.

4-2- آنالیز نمونه‌ها

پس از اتمام عملیات برداشت صحرائی، تمامی نمونه‌ها به آزمایشگاه شرکت زراعت جهت آماده‌سازی و آنالیز، منتقل گردید.

آنگاه تمامی نمونه‌ها برای 44 عنصر به شرح ذیل آنالیز گردیده است. روش آنالیز برای تمامی عناصر ICP-OES می‌باشد. برای بالا بردن دقت آنالیز طلا، نمونه‌ها برای آنالیز طلا به روش Fire Assay آماده‌سازی شده است. در ذیل عناصر مورد آنالیز به همراه حد حساسیت هر یک آورده شده است. پیوست الف نتایج آنالیز نمونه‌ها را برای نمونه‌های آبراهه‌ای نشان می‌دهد.

جدول 1-2: عناصر تجزیه شده به همراه حد حساسیت هر یک از آن‌ها

Element	Au	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	K
(Unit)	ppb	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%
Detection Limit	1	0.01	0.01	0.2	10	0.05	0.01	0.01	0.02	0.01	0.1	1	0.05	0.2	0.01	0.05
Element	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Nb	Ni	P	Pb	Rb	Re	S	Sb	Sc	Se
(Unit)	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm
Detection Limit	0.5	0.2	0.05	5	0.05	0.01	0.1	0.2	10	0.5	0.1	0.002	0.01	0.05	0.1	1
Element	Sn	Sr	Te	Th	Ti	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr				
(Unit)	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm				
Detection Limit	0.2	0.2	0.05	0.1	0.005	0.02	0.1	1	0.1	0.1	2	0.5				

5-2- تهیه نمونه‌های تکراری

به منظور کنترل دقت آزمایشگاه اقدام به تهیه 30 نمونه تکراری نیز شده است. این نمونه‌ها پس از انتخاب در حضور ناظر و نماینده آزمایشگاه تقسیم و کدگذاری گردیده و به همراه دیگر نمونه‌ها به آزمایشگاه ارسال شده‌اند. نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های تکراری در ابتدای بخش بعدی گزارش به طور کامل آورده شده است.

6-2- پردازش‌های آماری

پردازش داده‌های ژئوشیمیایی فاز مستقلی را در بین فازهای مختلف عملیات اکتشافی تشکیل می‌دهد که چنانچه به طریق مناسبی صورت پذیرد موجب تسهیل فاز تحلیل داده‌ها می‌گردد. این مرحله یکی از مشکل‌ترین و مهم‌ترین مراحل در کاربرد موفقیت‌آمیز ژئوشیمی اکتشافی است. اگرچه مقالات و نوشتارهای آماری متنوعی وجود دارد که دامنه وسیعی از تکنیک‌های پردازش داده‌ها را معرفی می‌کنند ولی با در نظر گرفتن این که هر کدام از آن‌ها در جای خاصی کاربرد داشته و مزیت خاصی دارند، افراد معمولی و غیر متخصص را با مسئله‌ی تصمیم‌گیری در مورد انتخاب روش مناسب برای پردازش داده‌های حاصل از یک عملیات ژئوشیمیایی روبرو می‌کند. تجزیه و تحلیل داده‌های اکتشافی در بیشتر موارد تجربی بوده و این امر به علت خصلت اساساً عددی این داده‌ها و نبود مدل‌های ریاضی لازم جهت

توصیف نوع منبع، چگونگی مهاجرت، تفریق، ته‌نشست و تمرکز عناصر کمیاب در سنگ‌ها است. از این رو جای تعجب نیست که داده‌های ژئوشیمیایی، در معرض تجزیه و تحلیل آماری قرار گیرند. یکی دیگر از علل تجزیه و تحلیل آماری ژئوشیمیایی شناسایی آنومالی‌های مرتبط با کانی‌سازی از انواع بی‌اهمیت است. به طور کلی عملیات اکتشافات ژئوشیمیایی زمانی می‌تواند نتیجه بخش باشد که برای هر مورد خاص در انتخاب بهترین روش اکتشافی، محیط نمونه‌برداری، اندازه و بزرگی ذرات تشکیل‌دهنده نمونه، فواصل بهینه‌ی نمونه‌برداری و روش‌های آماری که باید به منظور تفسیر تغییرات موجود در داده‌ها به کار گرفته شوند، توجه لازم به عمل آید.

تنوع روش‌های آماری باعث می‌گردد تا کاربر بتواند تعداد زیادی تجزیه و تحلیل از داده‌ها انجام دهد اما آنچه مهم است این‌که آیا چنین روش‌هایی در تفسیر کلی جوامع مورد پردازش مؤثرند یا خیر؟ لذا به جهت عدم ارایه‌ی مطالب زاید دو ملاک در انجام هر پردازش مدنظر قرار گرفت که عبارتند از :

وجود داده‌های کافی جهت انجام هر پردازش

مفید بودن پردازش مورد نظر به لحاظ یافت جواب سؤالات مجهول مورد توجه در بحث اکتشاف

2-6-1- تعیین خطای آنالیز نمونه‌ها برای عناصر مختلف

به منظور استفاده مطلوب از نتایج اندازه‌گیری‌ها، باید از میزان دقت و صحت داده‌ها آگاه باشیم. بدین‌منظور آزمایشات کنترل کیفیت جهت تعیین خطای آنالیز انجام می‌شود. بطور کلی قابلیت اعتماد به داده‌های حاصل از اندازه‌گیری تابع مقدار خطای تصادفی و سیستماتیک است.

خطاهای تصادفی در اثر عوامل خارج از کنترل شخص عمل‌کننده حاصل می‌گردند و بدین‌لحاظ وجود آنها (نه بزرگی آنها) اجتناب‌ناپذیر است ولی با بکارگیری دستگاه‌های دقیق و روش‌های مناسب می‌توان مقدار آن را کاهش داد. از ویژگی‌های آماری این نوع خطا این است که جمع جبری آنها حول میانگین باید صفر باشد.

خطای سیستماتیک باعث می‌شود که میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده یک کمیت به اندازه‌ای معین از مقدار حقیقی آن کمتر یا بیشتر شود. باید توجه داشت که منظور از خطا در نمونه‌برداری، خطای سیستماتیک است زیرا خطای تصادفی صرفاً در اثر تغییرات تصادفی ذاتی ایجاد می‌شود و در هر نوع اندازه‌گیری کم و بیش وجود دارد. در پروژه‌های اکتشافی اهمیت صحت و دقت اندازه‌گیری‌ها بستگی به مقیاس عملیات دارد. به عنوان مثال در عملیات اکتشافی تا قبل از مرحله تعیین ذخیره، آنچه که بیشتر اهمیت دارد دقت اندازه‌گیری‌هاست، زیرا در این مقیاس از عملیات سنجش‌ها نسبی است نه مطلق و کاهش یا افزایش مقدار ثابتی به همه‌ی داده‌ها در وضعیت نسبی آنها بی‌تأثیر نیست. در مرحله تخمین ذخیره، اگرچه دقت و صحت هر دو مهم است ولی خطر اصلی کاهش صحت است.

2-6-1-1- روش محاسبه

به منظور تعیین دقت آزمایشگاه یکسری نمونه تکراری تهیه و به آزمایشگاه فرستاده شده است تا بتوان دقت اندازه‌گیری‌ها را محاسبه کرد. در این پروژه تعداد 30 عدد نمونه تکراری تهیه و به آزمایشگاه ارسال شده است. برای محاسبه خطای نسبی آنالیزها از یک روش ساده محاسباتی بصورت زیر استفاده گردیده است. این خطا از رابطه ذیل محاسبه می‌گردد:

$$e = 2/n \left[\sum |x_i - y_i| / (x_i + y_i) \right] \times 100$$

که در آن n تعداد نمونه‌های تکراری، X_i و Y_i مقادیر اندازه‌گیری شده در نمونه اصلی و نمونه تکراری متناظر آن است. جدول 2-2 نتایج حاصل از اندازه‌گیری نمونه‌های اصلی و تکراری را در بین نمونه‌های آبراهه‌ای این ناحیه نشان می‌دهد.

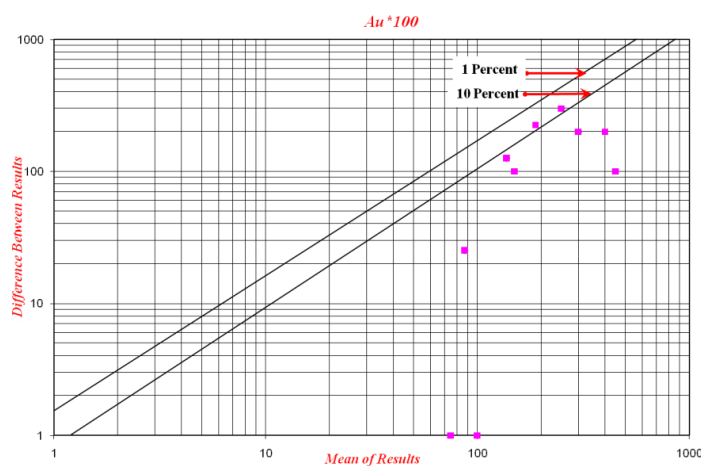


جدول 2-2- خطای عناصر تجزیه شده بدست آمده بروش محاسباتی

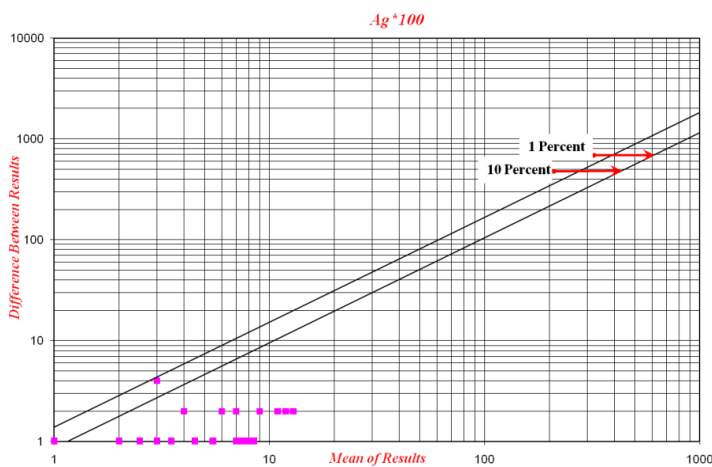
Element	Au	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe
Error(%)	58.0	83.4	0.0	5.9	5.2	12.7	7.3	4.0	20.8	7.7	4.8	3.8	6.4	6.7	3.3
Element	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Nb	Ni	P	Pb	Rb	S	Sb	Sc
Error(%)	3.4	8.4	16.1	2.8	5.1	6.0	4.3	6.7	0.0	3.2	4.6	0.0	2.2	5.8	10.1
Element	Se	Sn	Sr	Te	Th	Ti	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr		
Error(%)	50.9	5.6	5.4	19.7	7.2	6.9	0.0	9.2	2.4	7.6	9.2	5.3	7.3		

همانطور که از جدول (2-2) قابل فهم است، اکثر عناصر خطایی زیر 20 درصد را دارا می‌باشند که خطایی قابل قبول بر اساس این روش است، اما برای عناصر طلا، نقره، سلنیم و تا حدی کادمیم خطا بیش از حد بالاست. در مورد این عناصر بایست گفت که چون داده‌های مربوط به این عناصر نزدیک به حد تشخیص دستگاه است، بنابراین وجود خطای نسبتاً بالا در آن‌ها طبیعی می‌باشد. اصولاً در این‌گونه مواقع خطا برای دو حالت زیر 10 برابر حد تشخیص دستگاه و بالای 10 برابر حد تشخیص دستگاه بطور جداگانه محاسبه می‌شود اما چون در این‌جا همه‌ی داده‌ها (برای این 4 عنصر) زیر 10 برابر حد تشخیص دستگاه است، بنابراین چنین جداسازی‌ای صورت نپذیرفته است.

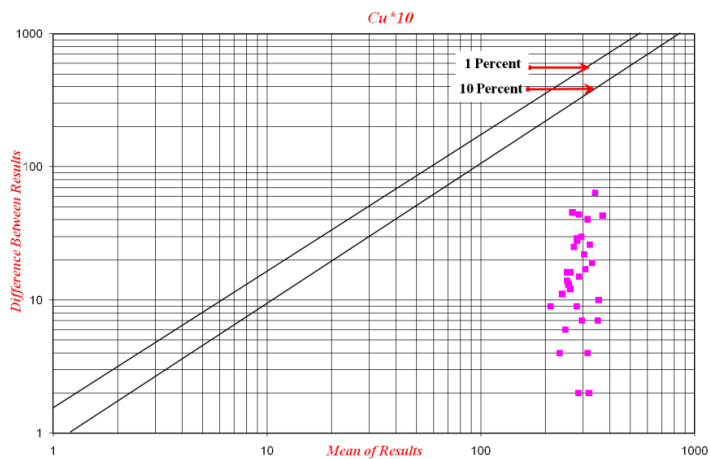
علاوه بر این روش، روش ترسیمی تامپسون- هوارث نیز اجرا گردیده که نمودارهای مربوط به این روش در پیوست گزارش بطور کامل برای تمامی عناصر ارائه شده است. در این روش وجود نقاط زیر خط 10 درصد نشان از خطای قابل پذیرش است. تصاویر (1-2-الف) الی (1-2-ث) نشان‌دهنده‌ی این گراف‌ها برای 5 عنصر کانساری مهم است.



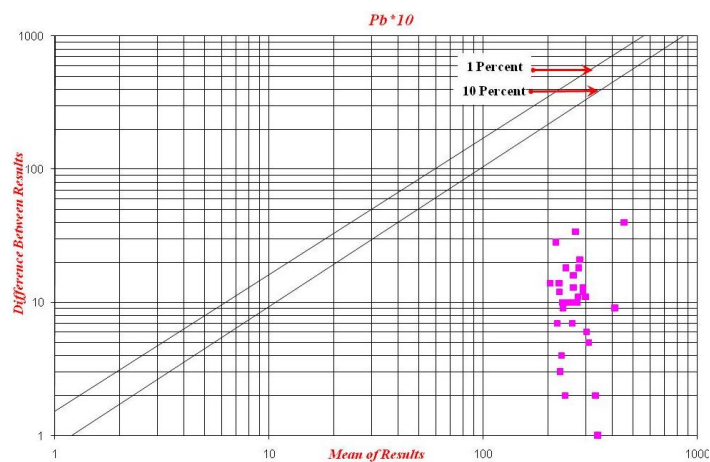
تصویر 1-2-الف- نمودار تامپسون-هوارث برای عنصر طلا



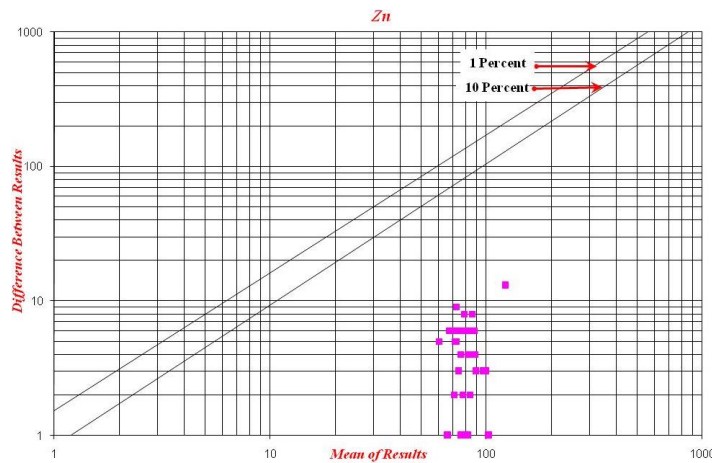
تصویر 2-1-ب- نمودار تامپسون-هوارث برای عنصر نقره



تصویر 2-1-پ- نمودار تامپسون-هوارث برای عنصر مس



تصویر 2-1-ت- نمودار تامپسون-هوارث برای عنصر سرب



تصویر 2-1-ث- نمودار تامپسون-هوارث برای عنصر روی

2-6-2- فایل‌بندی داده‌های خام

اولین قدم در انجام مراحل مختلف پردازش داده‌ها، وارد کردن و فایل‌بندی داده‌های حاصل از آنالیز در رایانه و تهیه بانک اطلاعاتی مورد نظر است. این کار برای تمامی 348 نمونه به‌مراه مختصات، شماره نمونه، روش آنالیز و حد حساسیت برای هر عنصر و با استفاده از نرم‌افزارهای Excel، SPSS و Arc GIS انجام گردید. همچنین نقشه‌های اولیه و پایه نیز در نرم‌افزارهای AutoCAD و ArcGIS وارد شدند.

2-6-3- پردازش داده‌های خارج از حدود (سنسورد)

داده‌های سنسورد به‌داده‌هایی گفته می‌شود که در بین آن‌ها به علت بالا بودن حد حساسیت دستگاه‌های اندازه‌گیری، تعدادی داده به صورت مقادیر کوچکتر و یا بزرگتر از حد حساسیت دستگاه یافت می‌شود. وجود چنین اعدادی در بین یکسری داده می‌تواند بررسی‌های آماری را دچار اختلال کند زیرا (1) روش‌های آماری نیاز به مجموعه کاملی از داده‌های غیر سنسورد دارد. (2) در مواردی که سنجش‌های نسبی صورت می‌گیرد مانند جداسازی زمینه از آنومالی، وجود داده‌های سنسورد موجب ارزیابی‌های غیر دقیق می‌شود. اگر داده‌های سنسورد تخمین زده شوند و جایگزین گردند، مقدار زمینه و شدت آنومالی‌ها دقیق‌تر محاسبه خواهد شد.

روش‌های مختلفی برای تخمین مقادیر سنسورد وجود دارد که هم برای داده‌های سنسورد شده از بالا و هم برای داده‌های سنسورد شده از پایین مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این پروژه از یک روش جایگزینی ساده استفاده شده است. در ضمن در میان داده‌های موجود، داده‌های سنسورد شده از بالا وجود ندارد. در این روش ساده مقادیر کمتر از حد حساسیت در مرز پایینی را با 3/4 آن جایگزین می‌کنیم. معمولاً اگر تعداد داده‌های سنسورد در مقابل کل داده‌ها ناچیز باشد (حدود 10-15 درصد) می‌توان از این روش استفاده کرد. جدول 2-3 نتیجه این جایگزینی را در میان عناصر دارای داده سنسورد در نمونه‌های محدوده 1:25000 فردوس 1 نشان می‌دهد. همانطور که از این جدول برمی‌آید تنها 6 عنصر دارای داده‌های سنسورد هستند. داده‌های عنصر رنیوم 85 درصد سنسورد هستند که امکان جایگزینی‌ای در مورد آن وجود نداشته و تنها اقدام به حذف نمونه‌های حاوی داده‌های سنسورد از این عنصر گردیده تا بدین طریق از سایر داده‌ها موجود استفاده گردد. در مورد سایر عناصر بعلاوه پایین بودن تعداد داده‌های سنسورد (جدول 2-3) جایگزینی بروش ذکر شده صورت پذیرفته است.

جدول 2-3- نتایج حذف داده‌های سنسورد از نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای فردوس 2 (خانه‌ی قرمز نشان دهنده‌ی عدم جایگزینی و خانه‌ی سبز نشان‌دهنده‌ی جایگزینی پس از حذف سنسورد است).



Sample ID	Au	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe
Unit	ppb	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%
Detection Limit	1	0.01	0.01	0.2	10	0.05	0.01	0.01	0.02	0.01	0.1	1	0.05	0.2	0.01
No. Of Censored	53	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Censored (%)	15.2	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Replaced?	Yes	Yes	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
replaced with	0.75	0.0075	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Sample ID	Ge	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Nb	Ni	P	Pb	Rb	Re	S
Unit	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%
Detection Limit	0.050	0.05	0.5	0.2	0.05	5	0.05	0.01	0.1	0.5	10	0.5	0.1	0.002	0.01
No. Of Censored	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	298	1
Censored (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	85.6	0.3
Replaced?	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	No	Yes
replaced with	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0.0075
Sample ID	Sb	Sc	Se	Sn	Sr	Te	Th	Ti	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr
Unit	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Detection Limit	0.05	0.1	1	0.2	0	0.05	0.1	0.005	0.02	0.1	1	0.1	0.1	2	0.5
No. Of Censored	0	0	9	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Censored (%)	0.0	0.0	2.6	0.0	0.0	6.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Replaced?	--	--	Yes	--	--	Yes	--	--	--	--	--	--	--	--	--
replaced with	--	--	0.75	--	--	0.0375	--	--	--	--	--	--	--	--	--

4-6-2- حذف مقادیر خارج از رده (Outlier)

اکثر جوامع آماری که در پروژه‌های اکتشافی با آن‌ها سر و کار داریم، غیر نرمال بوده و دارای چولگی مثبت می‌باشند. این گونه جوامع دارای مقادیر پرعیاری در کرانه سمت راست توزیع هستند که به جامعه زمینه یا جامعه‌ای با عیار میانگین اضافه شده‌اند. این مقادیر غیر عادی بالا در واقع آنومالی‌ها (در مقیاس ناحیه‌ای) و یا بیکره‌های کانسنگ پرعیار (در مقیاس محلی) را شامل می‌شوند.

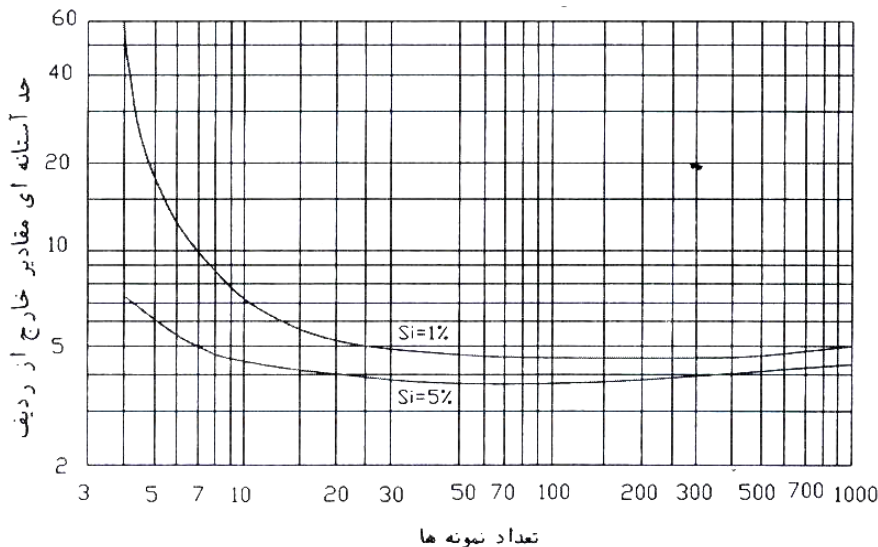
مقادیر پرعیار در صورتی که غیر قابل قبول تشخیص داده شوند، به عنوان مقادیر خارج از ردیف یا باید از بین داده‌ها حذف گردند و یا تصحیح شوند. اکثر روش‌هایی که کار گرفته شده بدین منظور زمینه تئوری ندارند و فقط به عنوان روش‌های تجربی مورد استفاده قرار می‌گیرند. روشی که تا حد زیادی در امور تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی بکار می‌رود، روش دورفل (Doerffel) می‌باشد. در روش دورفل نموداری برای تعیین حد آستانه‌ای مقادیر خارج از رده در دو سطح معنی‌دار پنج درصد و یک درصد تهیه شده است که این نمودار در شکل (2-2) آورده شده است. در اکثر امور مهندسی و آماری سطح معنی‌دار پنج درصد بکار می‌رود و بهمین ترتیب در تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی نیز از این سطح استفاده می‌شود.

برای انجام آزمون مقادیر خارج از رده دورفل، میانگین (X) و انحراف معیار داده‌ها (s) بدون در نظر گرفتن بزرگترین مقدار داده‌ها محاسبه می‌شود. سپس بزرگترین مقدار داده‌ها (XA) در صورتی که در رابطه زیر صدق کند یک مقدار خارج از رده در نظر گرفته می‌شود.

$$X_A \geq \bar{X} + s.g$$

g در این فرمول حد آستانه‌ای مقادیر خارج از رده است که از نمودار دورفل به دست می‌آید. این روش تا جایی ادامه پیدا می‌کند که دیگر میزان XA در معادله بالا صدق نکند.

بر این اساس برخی از عناصر دارای مقادیر خارج از رده می‌باشند که تعداد و مقادیر جایگزین در جدول (4-2) ارائه شده‌اند.



شکل 2-2- نمودار دورفل برای دو سطح معنی‌دار 1 و 5 درصد.

جدول 4-2- جدول حد آستانه‌ای مقادیر خارج از ردیف با روش دورفل

Element	Au	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe
No Of Replaced	4	1	0	9	1	1	2	3	1	10	1	1	1	0	0
Replaced With	7.55	0.51	--	24.12	478	2.99	0.560	5.81	0.24	106.8	24.4	144	12.3	--	--
Unit	ppb	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%
Element	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Nb	Ni	P	Pb	Rb	Re	S	Sb
No Of Replaced	0	13	4	0	2	0	0	9	0	3	6	3	--	4	10
Replaced With	--	50.5	73.3	--	1355	--	--	17.0	--	928	41.9	183	--	0.03	2.41
Unit	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm
Element	Sc	Se	Sn	Sr	Te	Th	Ti	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr	
No Of Replaced	1	0	2	2	0	7	0	1	14	0	10	21	1	0	
Replaced With	20.6	--	3.9	290	--	18.1	--	0.79	3.4	--	2.52	22.1	123	--	
Unit	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	

همانطور که در جدول (2-4) دیده می‌شود، برای اکثر عناصر تعداد داده‌های خارج از رده بسیار محدود می‌باشد و تنها برای برخی از عناصر داده‌های خارج از رده دارای تعداد نسبتاً بالایی هستند که این عناصر نیز اکثراً عناصری غیر مهم (از لحاظ کانی‌زایی) می‌باشند مانند عناصر لانتانیم و ایتربیم.

2-6-5- نرمال‌سازی داده‌ها

پس از حذف مقادیر خارج از ردیف و اصلاح آن‌ها، جامعه آماری تا حدود زیادی به نرمال نزدیک می‌گردد ولی هنوز تا نرمال شدن به شکل واقعی فاصله زیادی دارد. اکثر روش‌های آماری فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها را به همراه دارند. در مسائل اکتشافی با داده‌هایی سر و کار داریم که کمتر اتفاق می‌افتد که شرایط نرمال بودن را داشته باشند. در این شرایط می‌توان با استفاده از توابع تبدیل مختلف، داده‌ها را طوری تبدیل کرد که مقادیر تبدیل یافته آن‌ها دارای توزیع نرمال باشد. اگر داده‌ها دارای توزیع نرمال باشند، میانگین جامعه نمونه، تخمین معتبرتری از میانگین جامعه کل بدست می‌دهد. اگر چه تبدیل توزیع داده‌ها به نرمال دارای مزایایی است ولی نباید تحت هر شرایطی از آن استفاده کرد. به طور خلاصه تصمیم‌گیری در مورد اینکه چه وقت می‌توان از تبدیل استفاده کرد، بستگی به شرایط دارد. اگر بتوان بر اساس مقادیر تبدیل یافته به نتیجه مطلوب رسید، به خصوص وقتی که برگرداندن داده‌ها با مشکلات

چندانی همراه نباشد و یا در شرایطی که به سادگی بتوان تبدیل معکوس را انجام داد، می‌توان از تبدیل‌ها استفاده کرد. اگر تخمین بر اساس داده‌های اصلی از دقت کافی برخوردار باشد، بهتر است حتی‌الامکان از تبدیل صرف‌نظر کرد. با توجه به مباحث مطرح شده، در این پروژه برای نزدیک ساختن توزیع داده‌ها به نرمال از تبدیل لگاریتمی در پایه نپرین (LN) استفاده شده است. جدول (2-5) پارامترهای آماری توزیع عناصر را به صورت خام (قبل و پس از حذف داده‌های خارج از رده [بروش دورفل]) و پس از تبدیل در جامعه سنگی نشان می‌دهد. همچنین در این جدول نوع توزیع نهایی مورد استفاده (خام یا لگاریتمی) بعنوان توزیع نرمال ارائه شده است. پارامترهای آماری ارائه شده برای توزیع نرمال بصورت تبدیل‌های برگردان ارائه شده‌اند. بطوریکه در آن‌ها میزان میانگین و انحراف معیار از فرمول‌های زیر بدست آمده‌اند:

$$\bar{X} = e^{\alpha + (\beta^2/2)} \quad S = \bar{X} \times \sqrt{(e^{\beta^2} - 1)}$$

در این فرمول‌ها α و β بترتیب میانگین و انحراف معیار داده‌های لگاریتمی می‌باشند. علاوه بر این پارامترها، مقدار تابع F نیز در این جدول ارائه گردیده است. تابع F تابع تعیین‌کننده برای تشخیص نوع نرمال داده‌هاست:

$$F = 2 |Sk| + |3 - K|$$

که در آن مقدار چولگی و K میزان کشیدگی در توزیع داده‌هاست. بر این اساس هر توزیعی که (خام یا لگاریتمی) میزان F آن به صفر نزدیکتر باشد نرمالتر است.



جدول 2-5- قطع A3

با توجه به جدول (2-5) می‌توان دید که اکثر عناصر در حالت لگاریتمی نسبت به حالت خام به وضعیت نرمال نزدیکتر هستند.

همچنین با نگاهی به ردیف ماکزیمم در داده‌های خام (بدون حذف مقادیر خارج از رده) می‌توان دید که برای بسیاری از داده‌های موجود این مقدار بسیار ضعیف است، بطوریکه احتمال کانی‌سازی برای این عناصر را کم می‌کند. بعنوان بارزترین نمونه می‌توان به طلا اشاره کرد که در داده‌های آن مقدار ماکزیمم تنها 10ppb است که رقم قابل توجهی نمی‌باشد (البته برای داده‌های آبراهه‌ای نمی‌توان این رقم را تنها مربوط به حد زمینه دانست، بلکه بالاتر از مقدار زمینه نیز می‌باشد ولی ممکن است وجود مواد آلی در رسوبات این غنی‌شدگی را بوجود آورده باشد). نقره نیز عنصر کانساری است که در میان داده‌های آن داده‌ی قابل توجهی دیده نمی‌شود. مقدار 0/44ppm در یک نمونه نشان از غنی‌شدگی ضعیف این عنصر در حوضه نمونه‌ی برداشت شده دارد. با این حال این مقدار نیز مقدار چندان پایینی نیست.

عناصر آرسنیک و بیسموت نیز بعنوان دو ردیاب مهم برای طلای هیدروترمالی در این محدوده عیار خاصی را نشان ندادند اما عنصر آنتی‌مون با حداکثر عیار 10/1ppm عیاری نسبتاً بالا را نشان می‌دهد. برای عنصر مس نیز ماکزیمم عیار تنها 43ppm است که نشان‌دهنده‌ی عیار پایین برای این عنصر است که احتمال کانی‌زایی برای این عنصر با توجه به این عیار بسیار ضعیف می‌باشد. ماکزیمم عیار روی نیز چندان بالا نبوده و 154 ppm می‌باشد. البته عنصر منگنز نیز میزان نسبتاً بالایی را با مقدار 3960ppm در داده‌ها نشان می‌دهد.

میانگین داده‌ها در جدول (2-5) (پس از حذف داده‌های خارج از رده) مقادیر پایین برای عناصر کانساری را نشان می‌دهد که می‌توان گفت با توجه به این پدیده نباید انتظار کانی‌سازی وسیع در منطقه داشت. پارامتر دیگری که در جدول 2-5 برای مقایسه عناصر با یکدیگر ارائه شده است، پارامتر ضریب تغییرات است که برابر جذر پراش تعریف می‌شود و بعنوان ملاکی برای سنجش تغییرپذیری نسبی عناصر به کار می‌رود. در این پارامتر هم مقدار میانگین و هم مقدار انحراف معیار منظور شده است به طوری که با افزایش مقدار میانگین، مقدار ضریب تغییرات کاهش یافته و به سمت صفر میل می‌کند. براساس جدول 2-5 تنها عنصر نقره دارای مقدار نسبتاً بالایی از این پارامتر است بنابراین می‌توان چنین استنباط نمود که نقره در مقادیر بزرگتر از آنچه برای آن مورد انتظار بوده تمرکز یافته و از این رو ممکن است آنومالی‌هایی برای آن در سری داده‌ها یافت شود.

همچنین میزان مناسب چولگی و کشیدگی (چولگی نزدیک به صفر و کشیدگی نزدیک به 3) در داده‌های لگاریتمی برای اکثر عناصر نشان از عملکرد مناسب تبدیل لگاریتمی برای این داده‌ها دارد.

2-6-6- رسم هیستوگرام‌ها و نمودارهای توزیع تجمعی

به منظور مشاهده‌ی عینی نحوه‌ی عملکرد تبدیلات نرمال‌سازی بر روی داده‌ها، هیستوگرام و نمودارهای توزیع تجمعی عناصر کم‌ک شایانی در این زمینه بدست می‌دهد. شکل 2-3 (در پنج صفحه) هیستوگرام و نمودارهای توزیع تجمعی 5 عنصر مهم را برای داده‌های خام (اولیه و بدون خارج از رده) و لگاریتمی در جامعه نمونه‌های آبراهه‌ای نشان می‌دهد. در انتهای گزارش و بصورت پیوست نتیجه این هیستوگرام‌ها و نمودارهای توزیع تجمعی برای تمامی عناصر موجود ارائه شده است.

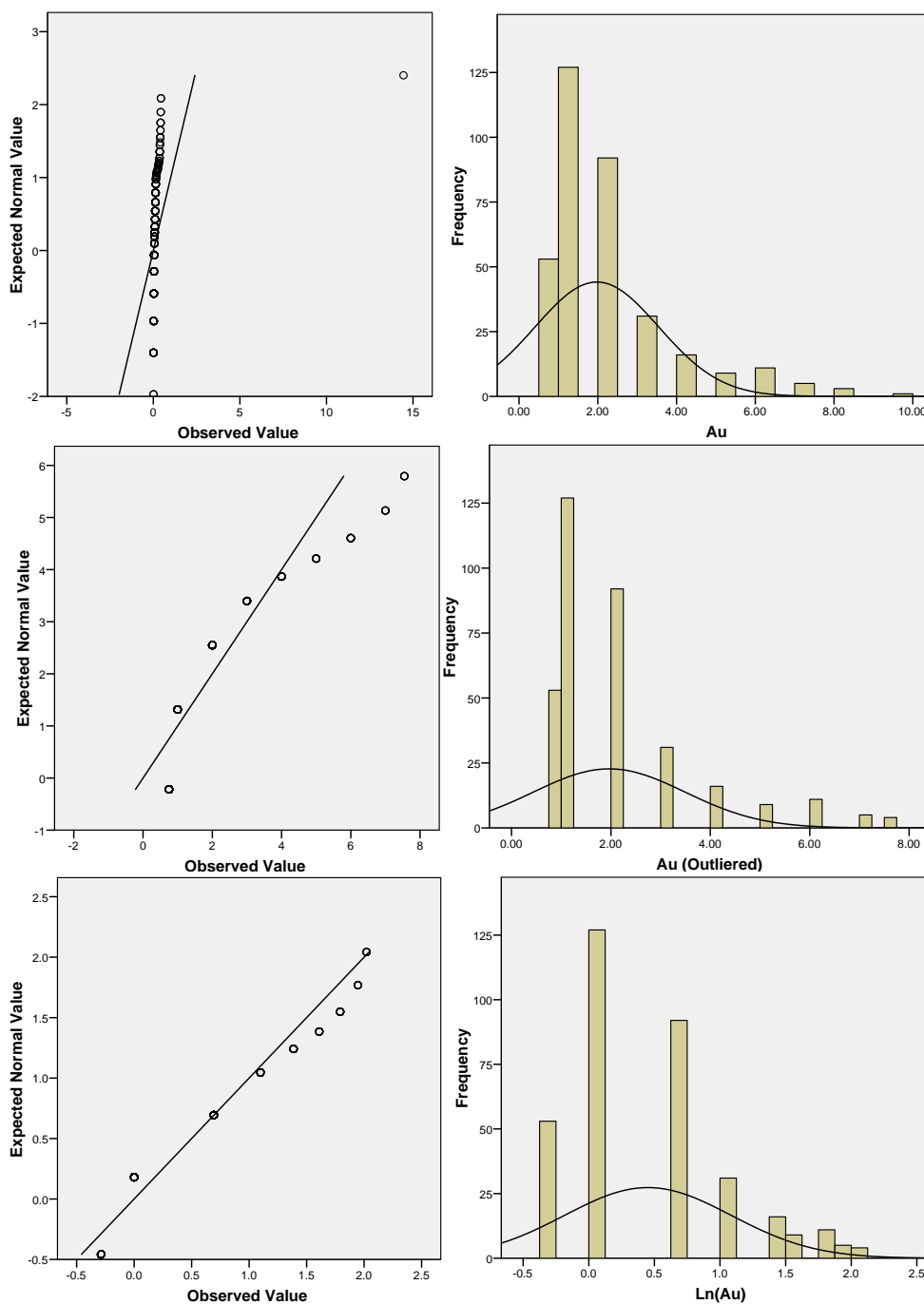
همانگونه که مشاهده می‌گردد، تبدیل لگاریتمی این داده‌ها به خوبی توانسته است توزیع این عناصر را به نرمال نزدیک سازد.

با مشاهده هیستوگرام‌ها می‌توان به این نتیجه رسید که در اکثر این هیستوگرام‌ها کشیدگی نسبتاً کم و بازه‌ی توزیع اعداد بازه‌ی نسبتاً کوچکی می‌باشد. این پدیده حالتی است معمولی که عموماً در محدوده‌های فاقد اثری از کانی‌زایی

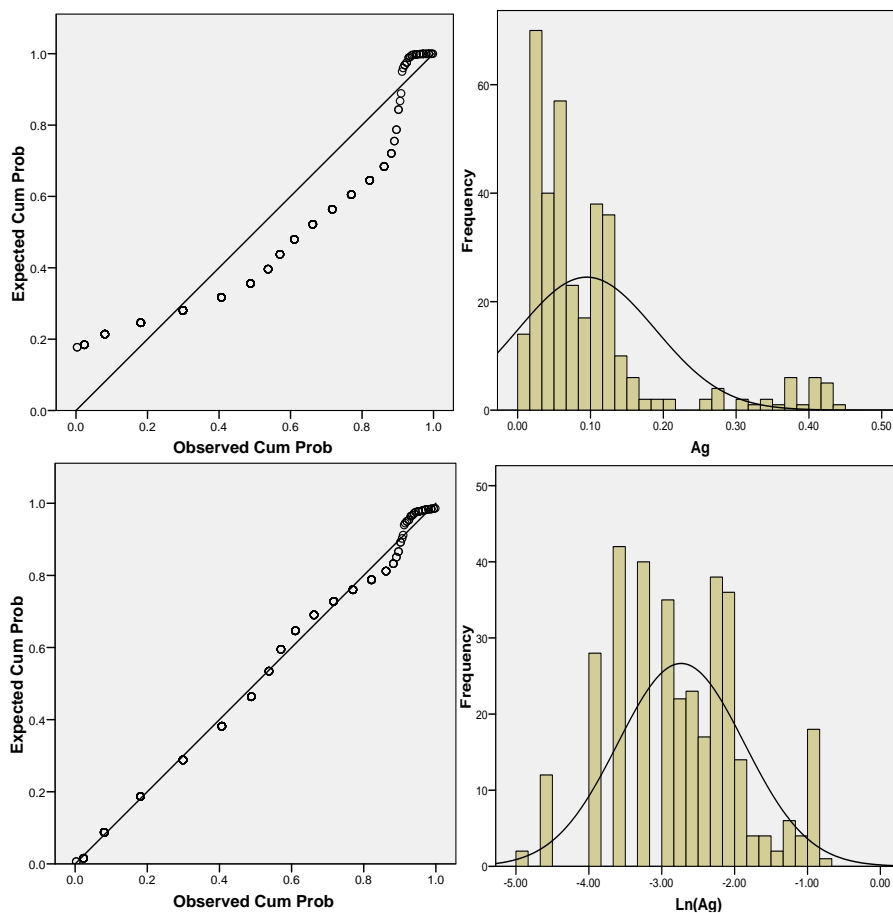


مهم رخ می‌دهد. در واقع داده‌ی بالایی در بین اکثر عناصر (کانساری و یا ردیاب) دیده نمی‌شود که در نتیجه‌ی آن کشیدگی کوتاه و چولگی یا تقارن محدود می‌شود. به همین دلیل است که تفاوت فاحشی بین پارامترهای داده‌های خام و لگاریتمی در فرایند نرمالیزاسیون دیده نمی‌شود.

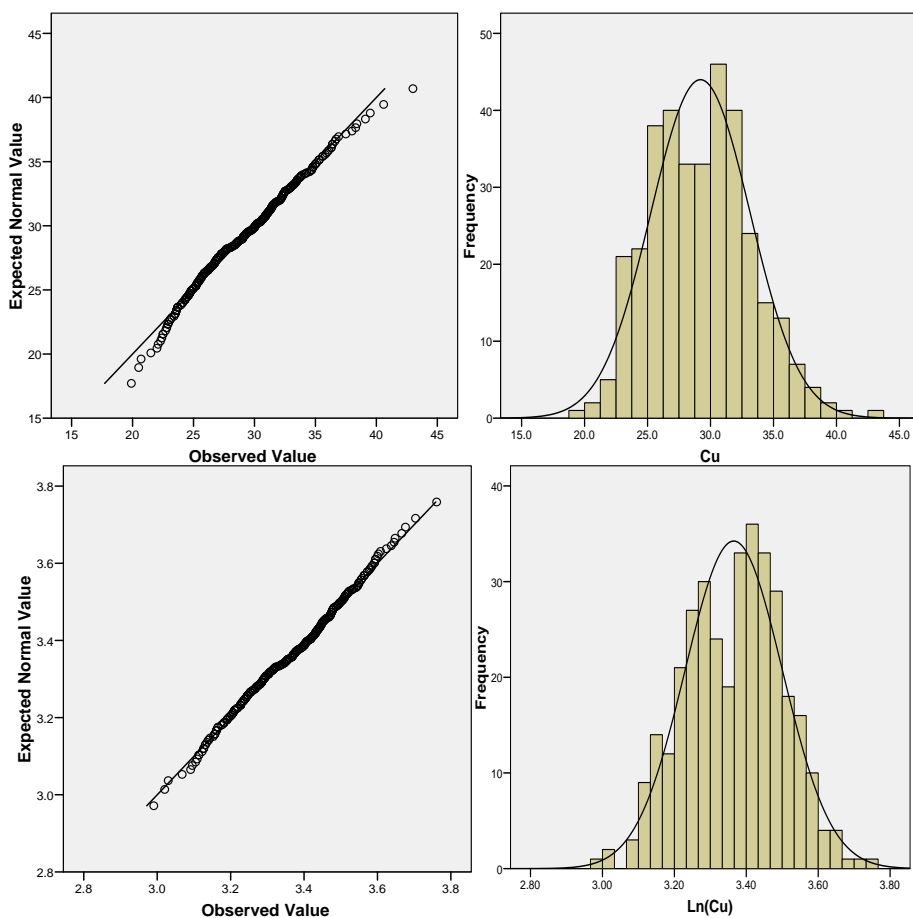
عدم وجود جوامع پرعیار در داده‌های عناصری مانند سرب، مس و طلا بخوبی دیده می‌شود. در واقع با توجه به این هیستوگرام‌ها می‌توان بیان نمود که کانی‌زایی قدرتمندی در میان اعداد دیده نمی‌شود.



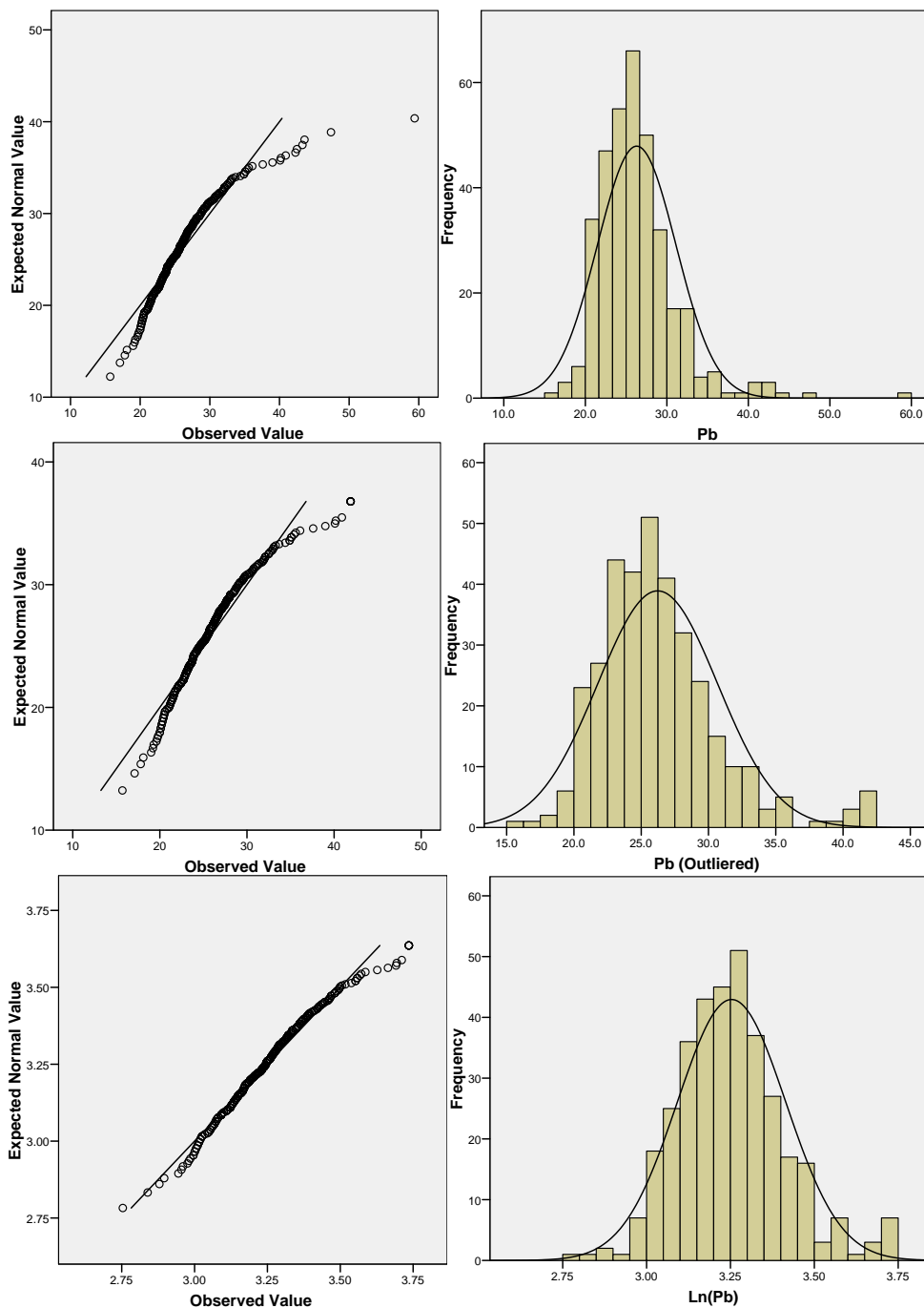
شکل 2-3- الف-هیستوگرام‌ها و نمودارهای توزیع تجمعی عنصر طلا، قبل و بعد از حذف داده‌های خارج از رده و پس از تبدیل به حالت لگاریتمی



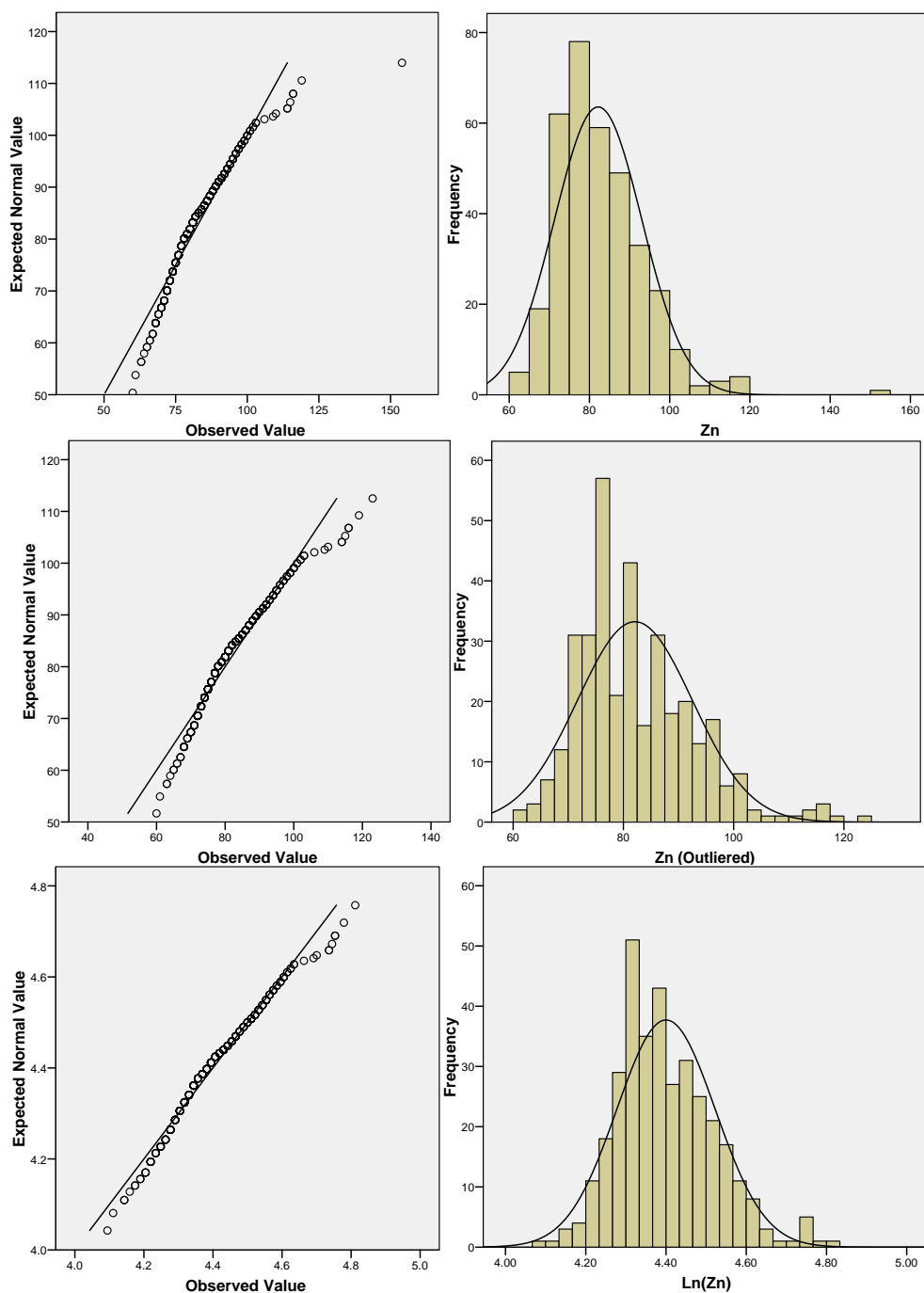
شکل 2-3-ب-هیستوگرام‌ها و نمودارهای توزیع تجمعی عنصر نقره برای داده‌های خام و پس از تبدیل به حالت لگاریتمی (در این‌جا داده‌ی خارج از رده وجود ندارد).



شکل 2-3- پ-هیستوگرام‌ها و نمودارهای توزیع تجمعی عنصر مس، قبل و پس از تبدیل به حالت لگاریتمی



شکل 2-3-ت- هیستوگرام‌ها و نمودارهای توزیع تجمعی عنصر سرب، قبل و بعد از حذف داده‌های خارج از رده و پس از تبدیل به حالت لگاریتمی



شکل 2-3-ث- هیستوگرام‌ها و نمودارهای توزیع تجمعی عنصر روی، قبل و بعد از حذف داده‌های خارج از رده و پس از تبدیل به حالت لگاریتمی

2-6-7- مطالعات آماری چند متغیره

روش‌های چند متغیره امکان آنالیز آماری هم‌زمان چندین متغیر را فراهم می‌کنند. مسایل مربوط به يك، دو و یا سه متغیر را می‌توان تصور کرده و به طور گرافیکی نمایش داد، ولی مسایل اکتشافی اغلب با يك فضای چندین متغیره روبرو هستند که این باعث دشواری در بررسی و تشخیص رابطه بین آن‌ها می‌شود. در این گونه موارد لازم است با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره به کاهش تعداد بعدها در فضای مورد بررسی اقدام نمود، به طوری که مطالعه‌ی این ابعاد جدید و یا به عبارتی بهتر متغیرهای جدید، که تعدادی به مراتب کمتر از حالت اولیه دارند بتواند بخش اعظم تغییرپذیری داده‌ها را تشریح کند. به عنوان مثال در ژئوشیمی اکتشافی می‌توان تغییرپذیری هم‌زمان چندین عنصر یا متغیر را برای کشف دقیق‌تر آنومالی‌های احتمالی آن‌ها مورد بررسی قرار داد.

نکته‌ای که در آمار چند متغیره باید به آن توجه شود، تعداد نمونه‌ها در جوامع تحت بررسی است. معمولاً روش‌های چند متغیره نیازمند تعداد زیادی نمونه است. اعتبار این تحلیل‌ها تا حدودی تابع بزرگی جامعه نمونه تحت بررسی است.

2-6-7-1- محاسبه ضرائب همبستگی عناصر

برای داشتن درکی صحیح از چگونگی توزیع عناصر مختلف در يك ناحیه نیازمند در اختیار داشتن پارامترهایی هستیم تا بتوان نوع و ارتباط آن‌ها را تشریح کرد. با تفسیر پارامترهای این‌چنینی، امکان یافتن ارتباط ژنتیکی میان عناصر فراهم خواهد آمد. در این میان پارامترهای ضریب همبستگی به دلیل عدم وابستگی به واحد اندازه‌گیری بهترین گزینه محسوب می‌گردد. در محاسبه‌ی همبستگی نیز مانند بسیاری از پارامترهای آماری، فرض نرمال بودن داده‌ها الزامی است. در شرایطی که این فرض برقرار نباشد می‌توان داده‌ها را طوری تبدیل کرد، تا توزیع آن‌ها حالت نرمال به خود گیرد؛ البته در این گونه موارد تعبیر و تفسیر همبستگی متغیرها باید با دقت همراه باشد. بالاخره درحالی که توزیع داده‌ها نرمال نباشد و نتوان داده‌ها را تبدیل کرد برای محاسبه ضریب همبستگی باید از روش‌های ناپارامتری که به توزیع داده‌ها حساس نمی‌باشند استفاده نمود. در این پروژه از هر دو روش بهره گرفته شد سپس تفسیر نهایی با ادغام این دو روش ارائه گردید. جدول (2-6) نتایج همبستگی پارامتری پیرسون و جدول (2-7) نتایج نسبت ناپارامتری اسپیرمن را نشان می‌دهد.

با نگاهی به این دو جدول می‌توان بیان نمود که بین طلا و سایر عناصر در هیچ یک از دو جدول همبستگی خاصی دیده نمی‌شود و نمی‌توان بیان نمود که اصولاً طلا در این منطقه با عنصری خاص همبستگی نشان نمی‌دهد که البته می‌توان آن را به عدم وجود کانی‌سازی قوی این عنصر در منطقه نسبت داد. در مورد نقره هم وضع تا حد زیادی مشابه طلاست با این تفاوت که در همبستگی اسپیرمن بین نقره و مس همبستگی نسبتاً خوبی دیده می‌شود (برابر 0/51). این همبستگی از سطح اطمینان بالایی نیز برخوردار است که معنی‌دار بودن آن را می‌رساند. البته نکته‌ای که در مورد نقره باید گفت این است که همبستگی‌های ضعیفی از این عنصر با عناصری مانند کبالت و آهن دیده می‌شود که عناصری مافیک هستند و شاید بتوان بیان نمود که این همبستگی (با توجه به مقادیر پایین این عناصر) بیشتر مربوط به تغییرات لیتولوژیکی در منطقه است.

همبستگی‌های ضعیف مس با عناصر کبالت، آهن، آرسنیک، نیکل، منگنز، اسکاندیم و برخی از عناصر دیگر نمی‌تواند تنها بعنوان نشانه‌ای قدرتمند از کانی‌زایی در این منطقه اطلاق گردد. باید توجه کرد که اگر بخواهیم همه‌ی این عناصر را عناصری پارائزنی مرتبط با کانی‌زایی بدانیم آنوقت می‌بایست وجود انواع کانی‌زایی‌ها را در منطقه تایید کرد، درحالی‌که مشاهدات صحرایی چنین چیزی را به هیچ‌وجه نشان نمی‌دهد.



حتی عنصر سرب با عنصری بغیر از روی (آنهم تنها در جدول پیرسون) همبستگی نشان نمی‌دهد درحالی‌که این وضعیت در مورد روی صادق نیست و با اکثر عناصر همبستگی نشان می‌دهد. باید چنین بیان نمود که در مورد این محدوده کانی‌زایی برجسته‌ای وجود ندارد که باعث بوجود آمدن همبستگی در بین داده‌ها گردد تا بدین‌وسیله روابطها تشکیل شوند و پاراژنرها مشخص گردند. درواقع بیشتر داده‌های این منطقه حاکی از عدم کانی‌زایی (و یا حداقل کانی‌زایی قدرتمند) در منطقه است.





جدول 2-7

2-7-6-2- آنالیز خوشه‌ای

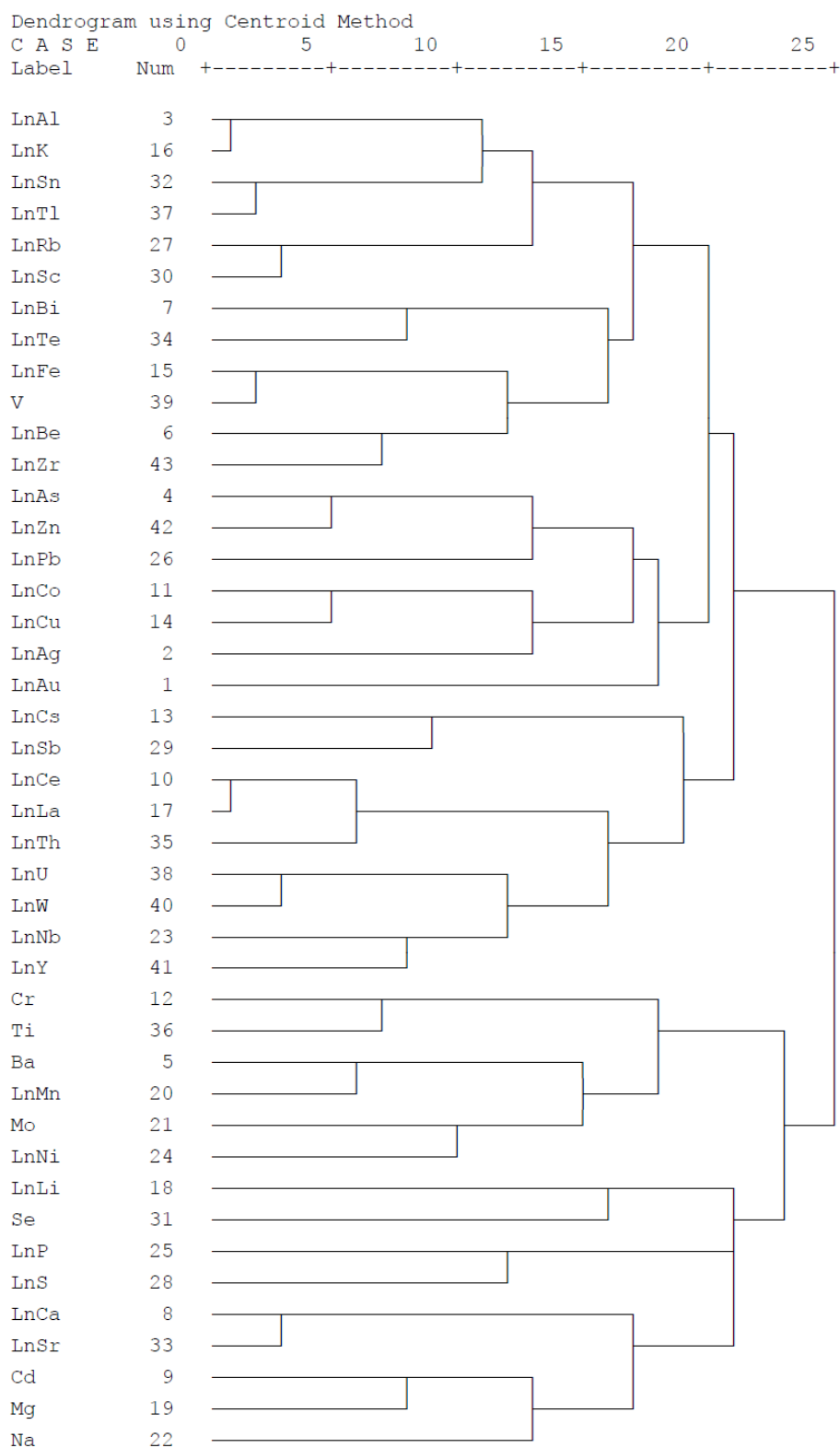
تجزیه و تحلیل خوشه‌ای یکی از روش‌های چند متغیره است که هدف از آن دست یافتن به ملاکی برای طبقه‌بندی هر چه مناسبتر متغیرها و یا نمونه‌ها بر اساس تشابه هر چه بیشتر درون گروهی و اختلاف هر چه بیشتر بین گروهی است. در اینجا ملاک شباهت ضریب همبستگی و الگوریتم خوشه‌بندی روش مرکزی (Centroid) بوده است. شکل (2-4) دندروگرام حاصل از آنالیز کلاستری داده‌های آبراهه‌ای محدوده 1:25000 فردوس 1 را نشان می‌دهد.

با توجه به دندروگرام ارائه گردیده، نتایج ذیل قابل استنتاج است :

در این دندروگرام یک خوشه نسبتاً فرعی دیده می‌شود که از هفت عنصر کانساری و ردیاب As، Zn، Pb، Co، Cu، Ag و Au تشکیل شده است. بنظر می‌رسد روش خوشه‌ای توانسته اثری از یک همراهی بین عناصری پارائز در فرایندهای هیدروترمالی نشان دهد. با این حال روابط درونی در درون این خوشه نیز نتوانسته‌اند بخوبی ساماندهی شوند بطوریکه آرسنیک و روی، مس و کبالت جفت عناصری هستند که روابط بسیار نزدیکی نشان می‌دهند درحالیکه طلا و نقره دورترین ارتباطات را در بین این عناصر نشان می‌دهد.

بسیاری از روابط موجود در این دندروگرام را نمی‌توان روابطی منطقی دانست، بعنوان مثال رابطه بین عناصر مولیبدن و نیکل، سزیم و آنتی‌موان، قلع و تالیم نمی‌توانند روابطی منطقی باشند و بیشتر بدلیل عدم وجود ارتباط حقیقی بین این عناصر در منطقه و عدم توانایی تفکیک این عناصر در این روش، چنین ارتباطاتی بدست آمده است.

برخی از ارتباطات نیز ارتباطاتی منطقی هستند که مربوط به تغییرات لیتولوژیکی می‌باشند، مانند ارتباطات مربوط به عناصر نادر خاکی، عناصر آهنی و برخی از ارتباطات دیگر.



تصویر 2-4- نتیجه‌ی آنالیز خوشه‌ای بر روی داده‌های آبراهه‌ای ورقه فردوس

2-6-7-3- آنالیز فاکتوری

در روش‌های مبتنی بر مقادیر ویژه با استفاده از مقادیر ویژه و بردارهای ویژه جهت‌هایی با حداکثر تغییرپذیری شناسایی می‌شود. سپس با تعریف متغیرهای جدیدی که ترکیب خطی از متغیرهای اولیه است تعداد ابعاد (متغیرها) کاهش یافته و نقش هر یک از متغیرها در تغییرپذیری مشخص می‌گردد. این روش‌ها عمدتاً شامل تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تجزیه و تحلیل عاملی می‌باشد. با توجه به این که در صورت انجام صحیح و تفسیر منطقی نتایج تجزیه و تحلیل آماری غالباً نتایج تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی را نیز در خود نهفته دارد، در این پروژه صرفاً از تجزیه و تحلیل عاملی (آنالیز فاکتوری) که بر روی داده‌های نرمال انجام پذیرفت، استفاده گردید. در ضمن بعلت عدم وجود داده کافی برای عنصر رنیوم و حذف امتیازهای فاکتوری در صورت حضور این عنصر در آنالیز، این عنصر از آنالیز فاکتوری حذف گردید.

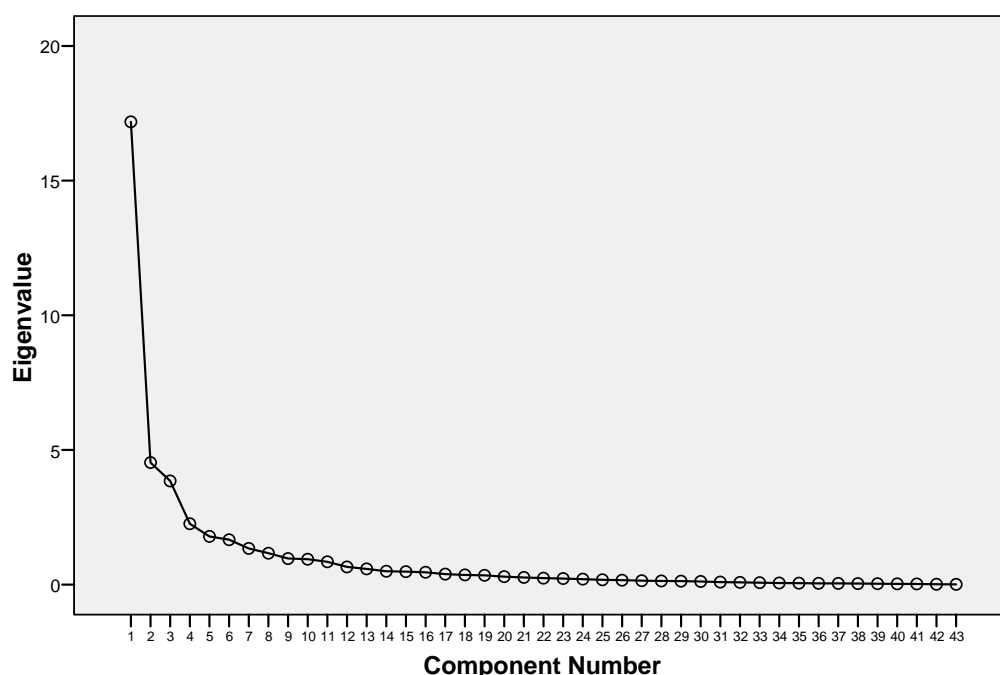
با اعمال تجزیه و تحلیل عاملی (Factor Analysis) ابعاد داده‌ها از تعداد 43 عنصر به تعداد کمتری عامل کاهش پیدا می‌کند. این عوامل دارای دو خاصیت مهم هستند:
الف) بخش اعظم تغییرپذیری را توجیه می‌کنند.
ب) متغیرهای جدید (فاکتور) که محصول ترکیب خطی متغیرهای اولیه هستند بین خود همبستگی نشان نمی‌دهند.
این امر کاربرد روش مورد نظر را آسان می‌کند.

یکی از پارامترهای گزارش شده در هنگام پردازش عاملی مقدار KMO (Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Adequacy Sampling) است. مقادیر بزرگ KMO دلالت بر تأیید تجزیه عاملی و مقادیر کوچک آن دلالت بر عدم تأیید تجزیه عاملی دارد. این مقدار در مورد نمونه‌های محدوده $1:25000$ فردوس (1) بر اساس جدول 2-8، برای داده‌ها $0/88$ می‌باشد که بر اساس بازه‌های تعریفی این کمیت در کتاب‌های زمین‌آمار (بعنوان مثال، حسنی‌پاک، 1380) تجزیه‌ی عاملی را در رده مناسب قرار می‌دهد. همچنین بوسیله‌ی روش Scree Plot نیز این آزمون مورد آزمایش قرار گرفت (تصویر 2-5) که همانطور که در تصویر نیز دیده می‌شود در این نمودار افتادگی در حدود 5 الی 7 پارامتر مستقل دیده می‌شود و این آزمایش نشان‌دهنده‌ی فاکتورهای بین 5 الی 7 است.



جدول 2-8- پارامترهای گزارش شده در هنگام پردازش عاملی مقدار KMO برای ضرایب غنی شدگی

KMO and Bartlett's Test		
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.	0.88	
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	19734
	df	903
	Sig.	0



تصویر 2-5- نمودار Scree Plot برای داده‌های آبراهه‌ای فردوس (1) که در آن می‌توان تعداد 5 الی 7 فاکتور را مساعد دانست.

پارامتر دیگر ارائه شده در حین این پردازش‌ها درصد مشارکت (Cumulative Percent) برای هر عضو است که در جدول 2-9 آمده است. بر اساس جدول مذکور تمامی عناصر دارای درجه مشارکت با ضریب یک هستند و این بدان معناست که این عناصر ماهیت ژئوشیمیایی خود را در تجزیه و تحلیل عاملی نشان داده‌اند. در نهایت و پس از استفاده از تعداد فاکتورهای مختلف، آنالیزی برپایه 5 فاکتور بعنوان بهترین نتیجه بدست آمد که این آنالیز با چرخش بروش (Varimax) حاصل گردید. نتیجه این آنالیز در جدول (2-11) ارائه شده‌است و همچنین در جدول (2-10) نیز میزان واریانسی که توسط این آنالیز مشخص شده‌است دیده می‌شود.



جدول 2-9- درصد مشارکت عناصر مختلف در آنالیز فاکتوری پس از محاسبه ضرایب غنی‌شدگی

Communalities		Communalities	
Ele.	Initial	Ele.	Initial
Ln(Au)	1.00	Ln(Nb)	1.00
Ln(Ag)	1.00	Ln(Ni)	1.00
Ln(Al)	1.00	Ln(P)	1.00
Ln(As)	1.00	Ln(Pb)	1.00
Ba	1.00	Ln(Rb)	1.00
Ln(Be)	1.00	Ln(S)	1.00
Ln(Bi)	1.00	Ln(Sb)	1.00
Ln(Ca)	1.00	Ln(Sc)	1.00
Cd	1.00	Se	1.00
Ln(Ce)	1.00	Ln(Sn)	1.00
Ln(Co)	1.00	Ln(Sr)	1.00
Cr	1.00	Ln(Te)	1.00
Ln(Cs)	1.00	Ln(Th)	1.00
Ln(Cu)	1.00	Ti	1.00
Ln(Fe)	1.00	Ln(Tl)	1.00
Ln(K)	1.00	Ln(U)	1.00
Ln(La)	1.00	V	1.00
Ln(Li)	1.00	Ln(W)	1.00
Mg	1.00	Ln(Y)	1.00
Ln(Mn)	1.00	Ln(Zn)	1.00
Mo	1.00	Ln(Zr)	1.00
Na	1.00		

جدول 2-10- میزان واریانس‌های فاکتورهای بدست آمده از آنالیز فاکتوری

Component	Total Variance Explained		
	Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %
1	11.2	26.0	26.0
2	7.8	18.1	44.0
3	4.2	9.7	53.7
4	4.0	9.3	63.0
5	2.5	5.8	68.9

جدول 2-11- نتیجه آنالیز فاکتوری بر روی داده‌های محدودی 1:25000 فردوس (1)

Rotated Component Matrix(a)



	Component				
	1	2	3	4	5
Ln(La)	0.92	0.10	-0.02	0.10	0.02
Ln(Th)	0.90	0.18	-0.01	-0.01	0.06
Ln(Ce)	0.90	0.16	0.01	0.01	0.09
Ln(U)	0.89	0.19	-0.14	0.05	-0.04
Ln(W)	0.89	0.08	-0.13	0.08	0.20
Ln(Rb)	0.80	0.49	-0.14	-0.01	-0.07
Ln(Y)	0.78	0.10	0.24	0.18	-0.05
Ln(Sn)	0.72	0.48	-0.29	0.07	0.06
Ln(Al)	0.71	0.56	-0.19	0.10	-0.13
Ln(K)	0.69	0.61	-0.21	0.02	-0.16
Ln(Tl)	0.65	0.62	-0.07	0.00	-0.05
Ln(Sc)	0.65	0.55	-0.02	-0.03	0.22
Ln(Cs)	0.64	0.20	0.27	0.01	0.39
Ln(Nb)	0.61	0.14	-0.14	0.51	0.26
Ln(Cu)	0.05	0.75	-0.11	0.42	0.14
Ln(Zn)	0.40	0.71	-0.10	0.16	0.03
Ln(Co)	0.38	0.69	0.04	0.38	-0.02
Ln(Be)	0.54	0.65	-0.01	-0.14	0.00
Ln(As)	0.37	0.65	-0.28	0.18	0.21
V	0.58	0.60	-0.42	0.20	-0.15
Ln(Fe)	0.44	0.59	-0.38	0.27	-0.20
Ln(Zr)	0.44	0.53	-0.41	0.21	-0.28
Ln(Te)	0.30	0.51	-0.28	0.27	0.16
Ln(Bi)	0.50	0.51	-0.18	-0.07	-0.14
Ln(Pb)	0.27	0.50	0.41	0.08	-0.14
Ln(Au)	-0.03	0.50	-0.21	-0.11	0.07
Cd	-0.23	-0.06	0.76	0.05	0.29
Mg	-0.30	-0.12	0.73	0.08	-0.12
Ln(Sr)	-0.35	-0.44	0.59	0.08	0.39
Na	-0.08	-0.47	0.58	0.19	-0.39
Ln(P)	0.35	-0.11	0.56	0.18	0.11
Mo	0.02	0.01	0.53	0.52	-0.13
Se	0.10	-0.11	0.23	-0.09	0.05
Cr	-0.14	-0.21	0.14	0.82	0.12
Ti	0.18	0.04	-0.11	0.75	0.12
Ln(Ni)	-0.27	0.42	0.33	0.68	0.02
Ba	0.25	0.39	0.21	0.63	-0.16
Ln(Mn)	0.08	0.52	0.17	0.55	-0.26
Ln(Ag)	0.17	0.25	-0.24	0.39	-0.16
Ln(Li)	0.04	0.04	-0.04	-0.07	0.73
Ln(Ca)	-0.35	-0.37	0.40	-0.29	0.59
Ln(Sb)	0.31	0.21	0.02	0.17	0.54
Ln(S)	0.03	-0.03	0.04	0.03	0.32

همانطور که دیده می‌شود 5 فاکتور بعنوان نتیجه‌ی نهایی با توضیح حدود 69 درصد تغییرات بهترین نتیجه برای این آنالیز می‌باشند. فاکتور 1 با شرکت عناصری مانند La، Th، Ce، U، W، Rb، Y، Sn، Al، K، Tl، Sc، Cs و Nb و با واریانس حدوداً 26 درصدی در واقع نشان‌دهنده‌ی مجموعه‌ای از عناصر اصلی و عناصر نادر خاکی است که تشکیل‌دهنده‌های اصلی خاک می‌باشند و مسئول اصلی تغییر در مقادیر این عناصر تغییرات لیتولوژیکی است. فاکتور دوم با تغییر پذیری حدود 18 درصد و با شرکت عناصری مانند Cu، Zn، Co، Be، As، V، Fe، Zr، Te، Bi، Pb و Au در واقع مهمترین فاکتور موجود است که نشان دهنده‌ی عناصر عمدتاً کانساری و یا ردیاب می‌باشد. حضور سرب، روی، مس و طلا با هم در این فاکتور نشان‌دهنده‌ی وجود عواملی دال بر غنی‌شدگی نسبی این عناصر دارد (هرچند ممکن است این غنی‌شدگی بسیار ضعیف باشد اما حداقل می‌توان گفت که آنالیزی مانند آنالیز فاکتوری آن را نشان داده است). فاکتور سوم با پاسخگویی به حدود 10 درصد تغییرات توسط عناصری مانند Cd، Mg، Sr، Na، P و Mo ایجاد شده است که عموماً متغیرهایی در ترکیبات لیتولوژیکی مافیکی هستند. البته حضور عناصری مانند کادمیم (که یک ردیاب برای سرب و روی) و مولیبدن (ردیاب مس و یا عنصری کانساری) در این فاکتور را نیز می‌توان به برخی از فعالیت‌های هیدروترمالی احتمالی نسبت داد اما با توجه به سایر عناصر بنظر می‌رسد این تغییرات بیشتر مربوط به ترکیبات لیتولوژیکی در محدوده باشد. فاکتور چهارم با حدود 9 درصد واریانس و با حضور عناصری مانند Cr، Ti، Ni، Ba و Mn مشابه فاکتور 3 رفتارهای لیتولوژیکی را نشان می‌دهد. فاکتور 5 حضور عناصری را شاهد است که توانایی قرار گیری در فاکتورهای دیگر را نداشته و نمی‌توانند تشکیل گروه‌هایی با رفتارهای مشابه بدهند

نکته‌ای که در پایان این بخش (آنالیزهای چند متغیره) می‌بایست بدان اشاره کرد در مورد نوع این آنالیزها و توانایی‌های آن‌هاست. در واقع این آنالیزها زمانی قادر به پاسخگویی و تفکیک مناسب می‌باشند که تنها بر روی یک سیستم کانه‌زایی بکار روند و زمانی که چندین سیستم کانه‌زایی متفاوت با ساختارهای ژنتیکی مختلف موجود باشد کارایی این آنالیزها بشدت پایین می‌آید. بنابراین حضور تغییرات لیتولوژیکی فراوان با توجه به محدوده‌ی وسیع عملیاتی، احتمال وجود کانه‌زایی‌های با تیپ‌های متفاوت در منطقه همگی از کارایی‌های این آنالیزها بشدت می‌کاهد و در تفسیر آن‌ها با چشم‌پوشی از بسیاری از وقایع زمین‌شناسی صورت می‌پذیرد که ممکن است چندان درست نباشد.

2-7- تکنیک‌های رسم نقشه و جداسازی مناطق آنومال

در این پروژه، استخراج نواحی آنومال توسط محاسبه‌ی مقادیر زمینه، حد آستانه‌ای و آنومالی‌های هر عنصر و همچنین فاکتورها در دستور کار قرار گرفت. برای رسم نقشه‌های ژئوشیمیایی مربوط به رسوبات آبراهه‌ای نمی‌توان از نرم‌افزارهای متداول تخمین استفاده کرد زیرا این نمونه‌ها برخلاف نمونه‌های ژئوشیمیایی مربوط به بخش سنگ یا خاک (که معرفی از اطراف خود هستند)، معرفی از حوضه‌ی آبریز است یعنی هر نمونه از حوضه‌ی آبریز آبراهه‌ای که از آن برداشت گردیده تاثیر می‌پذیرد. بدین منظور از نرم‌افزار ArcGIS کمک گرفته شد و در این نرم‌افزار با استفاده از لایه‌ی نقشه‌های توپوگرافی 1:25000 حوضه‌ی آبریز هر نمونه رسم گردید. سپس اقدام به رتبه‌بندی این پلیگون‌ها با استفاده از مقادیر مربوط به نمونه‌ی آن‌ها گردید. در این رتبه‌بندی برای ارزش‌دهی به نمونه‌ها از مقادیر خام آن‌ها استفاده گردید اما برای رتبه‌بندی و تعیین پارامترهای این مقادیر خام (پارامترهای میانگین و انحراف معیار) از داده‌های نرمال استفاده گردید که در جدول (2-5) آمده است. بدین ترتیب مقادیر پلی‌گون‌ها با توجه به انحراف‌معیارها به 5 رده‌ی رنگی زیر تقسیم‌بندی شد:

$x <$ با رنگ خاکستری کم‌رنگ

$\bar{x} < X < \bar{x}$ با رنگ خاکستری پررنگ

$\bar{x} + S < X < \bar{x} +$ با رنگ سبز

$\bar{x} + 2S < X < \bar{x} +$ با رنگ زرد

$\bar{x} + 3S <$ با رنگ قرمز

نقشه‌های 2 الی 49 در انتهای همین فصل که در قطع A3 ارائه گردیده نشان‌دهنده‌ی 48 نقشه‌ی ژئوشیمیایی تک عنصره و فاکتورهای بدست آمده از آنالیز فاکتوری است.