تعیین دگرسانی‌های هیدروترمال مس پورفیری با استفاده از روش‌های آنالیز چند متغیره بر روی داده‌های لیتوژئوشیمیایی در منطقه حراران، استان کرمان

سمیه عباس‌زاده*[1]، عبدالحمید انصاری[2]، غلامرضا رحیمی‌پور[3]

1-دانشجوی دکتری مهندسی معدن، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد

2- دانشیار، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد

3- استادیار، بخش مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان

(دریافت: بهمن 1393 پذیرش: اسفند 1394)

چکیده

روش‌های آماری چند متغیره کاربردهای زیادی در علوم وابسته به زمین شناسی خصوصاً ژئوشیمی پیداکرده اند. در این مطالعه از آن‌ها به‌عنوان کاربردی جدید برای تشخیص دگرسانی‌های نوع آرژیلیک، پتاسیک و پروپلیتیک (دگرسانی‌های عمده موجود در کانسارهای مس پرفیری) استفاده شده است. برای تعیین مناطق دگرسان شده از 607 نمونه لیتوژئوشیمیایی استفاده شده است؛ این نمونه‌ها از منطقه حراران واقع در نقشه 1:100000 شهرستان بافت استان کرمان اخذ شده‌اند که در این منطقه کانی‌زایی مس پورفیری رخ داده است. نمونه‌ها برای 45 عنصر به روش *ICP-MS* و در آزمایشگاه *Amdel* استرالیا آنالیز شده‌اند که از بین آن‌ها عناصر *Ca, Na, Al, Fe, S, K, Rb, Mg* برای انجام این پژوهش انتخاب شدند. نتایج آنالیز خوشه‌ای بر روی متغیرها و بر روی نمونه‌ها دو خوشه نشان دادند: خوشه اول شامل عناصر *K, Rb, S* که منطبق بر دگرسانی نوع پتاسیک و آرژیلیک و خوشه دوم نیز شامل عناصر *Mg, Ca, Na, Al, Fe* است که دگرسانی نوع پروپلیتیک را نشان می‌دهند. نتایج آنالیز فاکتوری نیز نتایج فوق را تائید کردند و حتی نقشه فاکتور اول در قسمت‌های جنوبی منطقه، نواحی کوچکی از آلتراسیون آرژیلیک و پتاسیک را نیز مشخص کرد که این مناطق توسط روش آنالیز خوشه‌ای بر روی نمونه‌ها مشخص نشده بودند.

واژگان کلیدی

دگرسانی پتاسیک، دگرسانی آرژیلیک، دگرسانی پروپلیتیک، آنالیز چند متغیره

Archive of SID

ارجاع به این مقاله:

عباس‌زاده، س.، انصاری، ع.، رحیمی‌پور، غ.، (1394)، تعیین دگرسانی‌های هیدروترمال مس پورفیری با استفاده از روش‌های آنالیز چند متغیره بر روی داده‌های لیتوژئوشیمیایی در منطقه حراران، استان کرمان، روش‌های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن، 5(10)، 15-26.

* عهده‌دار مکاتبات: abbaszadeh115@yahoo.com

www.SID.ir

1- مقدمه

منطقه مورد مطالعه در جنوب کرمان و شمال شرق شهرستان بافت و در طول جغرافیایی ″56°,39′,30 تا ″56°,43′,00 و عرض جغرافیایی ″29°,26′,30 تا ″29°,29′,30 قرار دارد. بر اساس تقسیمات تکتونیکی دیمیتریویچ (1973)، منطقه مورد مطالعه در زون دهج – ساردوئیه در استان کرمان و در بخش جنوبی کمربند آتشفشانی ارومیه-دختر جای دارد[1]. این کمربند در جهت شمال غرب – جنوب شرق گسترش دارد و میزبان چندین ذخیره مس پرفیری و اپی ترمال است که بزرگ‌ترین ذخایر مس پرفیری ایران (مس سرچشمه و مس سونگون) در آن قرار دارند[2]. کانسار موجود در منطقه از نوع مس پورفیری است که این نوع ذخایر، الگوی تقریباً متحدالمرکزی از زون‌های دگرسانی گرمابی نشان می‌دهند که دلالت بر تغییرات سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و ساختاری در محیط قبل از تشکیل کانسار دارد بنابراین شناسایی زون‌های دگرسانی برای اکتشاف این نوع کانسارها بسیار اهمیت دارد[3].

دگرسانی‌های هیدروترمال در انواع کانی‌زایی‌های مختلف نقش کلیدی ایفا می‌کنند[4]. روش‌های معمول برای شناسایی زون‌های دگرسانی هیدروترمال بر اساس مطالعات مینرالوژیکی، سنگ شناسی و بررسی‌های صحرایی است[5]. اما برخی از محققین از روش‌های دیگری برای شناسایی زون‌های دگرسانی استفاده کردند. برای مثال، مختاری (2014) از روش آنالیز چند متغیره رگرسیون منطقی برای شناسایی زون‌های دگرسانی پتاسیک، آرژیلیک، فیلیک و پروپلیتیک بر روی داده‌های لیتوژئوشیمیایی به‌دست‌آمده از منطقه کوه پنج واقع در استان کرمان استفاده کرد[4]. همچنین سلطانی و همکاران (2014) از ترکیب روش‌های شبیه سازی زمین آماری و فراکتال برای شناسایی زون های دگرسان شده (پتاسیک، آرژیلیک و پروپلیتیک) در زون هیپوژن مس پورفیری سونگون و بر روی داده‌های لیتوژئوشیمیایی حاصل از گمانه استفاده کردند[5]. در این مطالعه نیز سعی شده است که در یک کاربردی جدید از روش‌های آنالیز چند متغیره (آنالیز فاکتوری و آنالیز خوشه‌ای) برای شناسایی زون‌های دگرسان شده در منطقه حراران استفاده شود.

روش‌های آماری چند متغیره این امکان را فراهم می‌کند تا تعداد متغیرهای بیشتری استفاده شود. آنالیز فاکتوری و آنالیز خوشه‌ای از روش‌های آماری چند متغیره هستند که برای تفسیر نتایج و کشف و تفسیر روابط بین متغیرها به‌کاربرده می‌شوند[6].

1-1- مروری بر پژوهش‌های مشابه

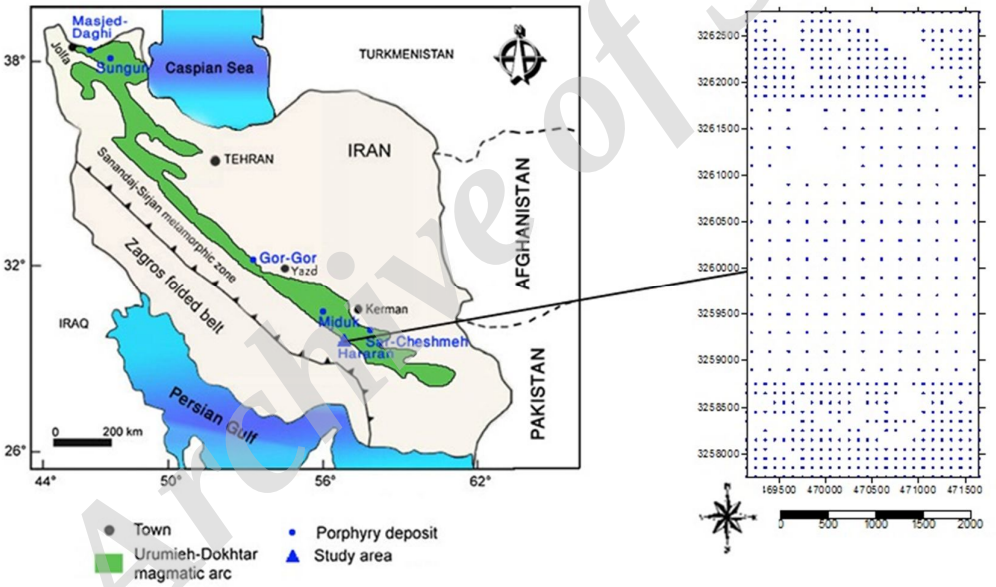
روش های آماری فوق برای اهداف متفاوتی توسط محققین متفاوتی به کاربرده شده‌اند. در ژئوشیمی اکتشافی، این روش‌ها برای شناسایی آنومالی‌های ماده معدنی توسط محققین مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: یکی از قدیمی‌ترین پژوهش‌هایی که از این روش‌ها استفاده شده است، توسط روی (1981) انجام شده است، در این مطالعه از روش آنالیز خوشه‌ای برای شناسایی عناصر ردیاب در معدن سرب و روی "سرگیپالی" واقع در کشور هند، استفاده شده است[7]. از روش‌های آنالیز چند متغیره بر روی داده‌های ژئوشیمیایی و برای شناسایی عناصر ردیاب طلا، ال مکی (2011) در معدن طلای گرایات واقع در کشور مصر، نیود و همکاران (2012) در معدنی واقع در شمال کشور غنا، امبویی و همکاران (2013) در معدنی واقع در شمال کشور کامرون، بیلالی و همکاران(2012) در معدنی واقع در منطقه آرزولار ترکیه و درویش و همکاران (2010) در معدنی واقع در شمال مصر استفاده نمودند[8-12]. کاربرد روش‌های آنالیز چند متغیره را اکبرپور و همکاران (2012) و هنر پژوه و همکاران (2013) برای شناسایی مناطق مس پورفیری به ترتیب در مناطقی واقع در شمال غرب و شمال ایران، بررسی کردند[2، 13]. محققان زیادی از روش‌های آنالیز چند متغیره برای شناسایی مناطق آلوده و همچنین عناصر سنگین استفاده نموده‌اند که برای مثال می‌توان از مطالعات خراسانی‌پور و همکاران (2012) برای شناسایی مناطق آلوده در اطراف معدن سرچشمه، ایدریس (2008) برای شناسایی عناصر سنگین بر روی رسوبات واقع در ساحل دریای سرخ، هانگ و همکاران(2013) برای شناسایی منابع فلزات سنگین در زمین‌های کشاورزی اطراف معدن سرب و روی در منطقه‌ای از چین، نام برد[14-16]. صحرایی پاریزی و سامانی (2013) و سین و همکاران (2010) از روش‌های فوق به ترتیب برای ارزیابی

Archive of SID
www.SID.ir

کیفیت منابع آب در معدن سرچشمه و سنجش کیفیت آب زیرزمینی منطقه شی والکیس در ایالت پنجاب پاکستان استفاده نمودند[۱۷،۱۸]. موریسون و همکاران (2011)، کاربرد روش‌های آنالیز چند متغیره خوشه‌ای را برای شناسایی منابع زمین‌شناسی خاص (مناطق مرتبط با ماسیو سولفیدها و ...) در مناطقی از کالیفرنیای شمالی به مساحت تقریباً 22 کیلومترمربع بررسی نمودند[19]. این روش‌ها همچنین در صنعت نفت به کاررفته است که از آن جمله می‌توان به مطالعه سفیداری و همکاران (2012) اشاره کرد که از روش‌های آنالیز چند متغیره برای پیش بینی کربن آلی استفاده نمودند[20].

1-2- نمونه‌ها

در منطقه مورد مطالعه، 607 نمونه لیتوژئوشیمیایی در یک شبکه نامنظم نواحی جنوبی و شمالی، شبکه متراکم تر (100×100 متر) و در مرکز با فواصل (200×200 متر) برداشت شده است. نمونه‌برداری تقریباً در سراسر منطقه مورد مطالعه انجام شده است که ترکیب غالب سنگ‌شناسی آنها، سنگ‌های آندزیتی تا داسیتی هستند. نمونه‌ها توسط شرکت کاوشگران گستره کویر و به صورت سطحی برداشت شده‌اند. نمونه‌های گرفته‌شده برای آنالیز 44 عنصر و به روش *ICP-MS* توسط آزمایشگاه *Amdel* استرالیا تجزیه شدند که از بین عناصر آنالیز شده، عناصر *Ca, Na, Al, Fe, S, K, Rb, Mg* برای آنالیز چند متغیره این پژوهش استفاده شده است. نقشه منطقه مورد مطالعه به همراه موقعیت نقاط نمونه برداری آن در شکل 1 نشان داده شده است.

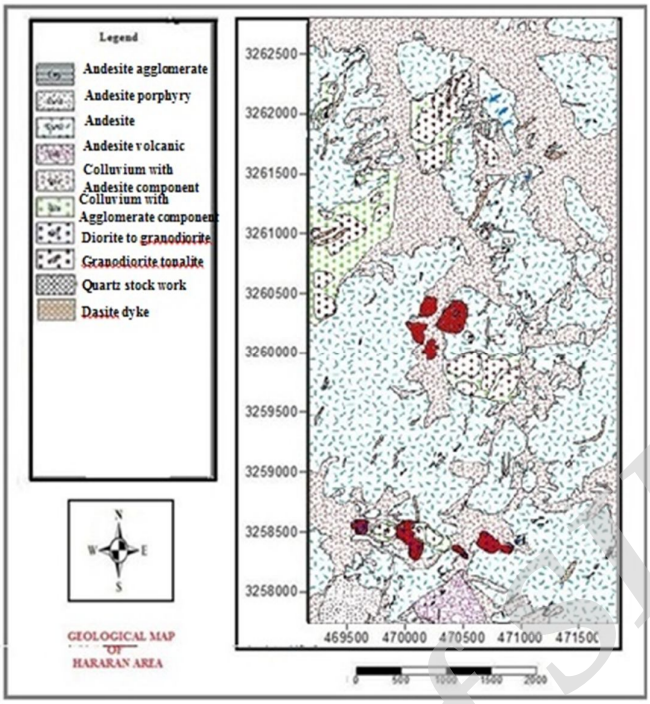


شکل 1: نقشه منطقه مورد مطالعه به همراه نقاط نمونه‌برداری آن

1-3- زمین‌شناسی منطقه

همان طور که در شکل 2 دیده می شود، اکثر واحدهای سنگ‌های قدیمی متعلق به دوره ائوسن هستند و در بیشتر نواحی منطقه رخنمون دارند و شامل سنگ‌های آندزیت و آندزیت پرفیری هستند که در شمال منطقه واقع شده‌اند، سنگ‌های آندزیتی برشی شده نوع دیگری از این واحدهای سنگی هستند که در جنوبی‌ترین قسمت از ناحیه مورد مطالعه قرار گرفته‌اند؛ همچنین سنگ‌های دیوریت وگرانودیوریت قرار گرفته در جنوب منطقه و سنگ‌های تونالیت و گرانودیوریت که در قسمت‌هایی از مرکز، غرب و شمال غرب منطقه واقع شده‌اند، متعلق به واحدهای سنگی ائوسن هستند. دیگر رخنمون‌ها شامل کولوویم با ولکانیک آندزیتی، کولوویم با اگلومرا، استوک ورک کوارتزی هستند. دایک‌های داسیتی با روند شمال شرق- جنوب غرب در اکثر قسمت‌های منطقه پخش شده‌اند.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل 2: نقشه زمین‌شناسی منطقه حراران

دگرسانی‌های آرژیلیک و پتاسیک به‌دست‌آمده از این پژوهش، بیشتر در سنگ‌های دیوریتی و گرانودیوریتی و به میزان کمتر در سنگ‌های آندزیتی دیده می‌شوند. دگرسانی پروپلیتیک در سنگ‌های آندزیتی دیده می‌شود و تقریباً اکثر مناطق را فرا گرفته است که با نقشه زمین‌شناسی منطقه تطابق دارد به‌طوری‌که اکثر سنگ‌های منطقه را سنگ‌های ذکرشده در برگرفته‌اند. شایان ذکر است که معمولاً در اکثر کانسارهای مس پورفیری، دگرسانی پتاسیک و آرژیلیک در فاصله نزدیک به توده نفوذی و دگرسانی پروپلیتیک در فاصله دورتر نسبت به آن‌ها و در سنگ‌های درون‌گیر دیده می‌شود.

2- مواد و روش‌ها

2-1- آلتراسیون‌های موجود در ذخایر مس پرفیری

ذخایر مس پرفیری شامل حجم زیادی از سنگ‌هایی هستند که در اثر محلول هیدروترمال تحت دگرسانی قرار گرفته‌اند؛ محققین زیادی تلاش کردند که خواص آنها را با استفاده از کانی‌هایی که در هر دگرسانی وجود دارد و کشف رابطه بین آنها شناسایی کنند[21]. معمول ترین دگرسانی‌ها در کانسارهای مس پرفیری عبارت‌اند از پتاسیک، فیلیک، آرژیلیک و پروپلیتیک که نحوه قرار گرفتن آن ها نسبت به یکدیگر و کانی‌های موجود در هر زون دگرسانی به‌طور خلاصه در شکل 3 نشان داده شده است.

2-2- روش‌های آماری چند متغیره

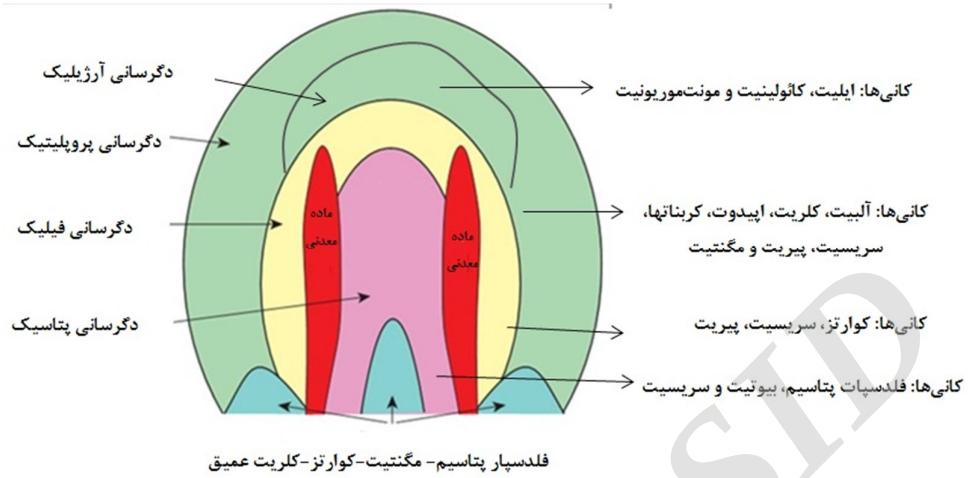
روش‌های آنالیز چند متغیره به علت هزینه پایین و سریع بودن در بسیاری از برنامه‌های اکتشافی، برای شناسایی آنومالی‌های ژئوشیمیایی به کار برده می‌شوند. هنگامی‌که یک برنامه نمونه‌برداری شامل هزاران نمونه است، ماتریس نتایج خیلی بزرگ است درنتیجه استفاده از یک روش آنالیز چند متغیره می تواند بسیار مفید واقع شود. با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره می‌توان الگوهای ژئوشیمیایی در ارتباط با زمین شناسی، هوازدگی، دگرسانی و کانی‌زایی را می‌توان شناسایی و تفسیر کرد[9].

2-2-1- آنالیز فاکتوری

این روش که ابتدا به‌وسیله روانشناسان گسترش یافت. هدف اصلی آن این است که تغییرپذیری بین داده‌های چند متغیره به وسیله تعداد کمی فاکتور که تا حد امکان روابط پنهان بین متغیرها را آشکار می‌کنند را نشان دهند. واژه

Archive of SID
www.SID.ir

فاکتور که به وسیله روانشناسان مورد استفاده قرار می‌گیرد، معادل "فرآیند کنترل" در ژئوشیمی است. بنابراین از لحاظ تئوری، این روش برای ارائه اطلاعات ضروری پنهان داده های ژئوشیمیایی با تجزیه‌وتحلیل تعداد زیادی از عناصر مناسب است[23].



شکل 3: نقشه نحوه قرار گرفتن انواع دگرسانی‌ها در کانسارهای مس پرفیری[22]

روش آنالیز فاکتوری در ژئوشیمی یک مزیت دارد و آن اینکه به جای اینکه نقشه 40-50 عنصر یا بیشتر رسم شود، نقشه تعداد کمتری (در حدود 4-6 فاکتور) رسم می‌شود که شامل درصد زیادی از اطلاعات یک نقشه تنهاست. ذکر این نکته ضروری است که اگر از آنالیز فاکتوری برای استخراج ساختار چند متغیره ناشناخته در داده‌ها استفاده شود، ممکن است نشانگر فرآیندهای ژئوشیمی خاص در ژئوشیمی اکتشافی یا منابع معدنی باشد[23].

پس همان طور که قبلاً ذکر شد، این روش برای کاهش دادن ابعاد داده‌های ژئوشیمیایی مفید است به این طریق که به‌جای استفاده از متغیرهای خام، می‌توان از ضرایب فاکتور برای تفسیر آنومالی های مشاهده شده استفاده کرد[2].

در واقع هدف از تجزیه‌وتحلیل فاکتوری تشخیص اصلی ترین متغیرهای کنترل کننده از متغیرهایی با نقش کمتر است. در این صورت می‌توان با حداقل تعداد متغیرهای فاکتوری، حداکثر تغییرپذیری بین داده‌ها را توجیه کرد و سهم نسبی هر یک از متغیرهای فاکتوری را در توجیه تغییرپذیری مشخص نمود[24].

2-2-2- آنالیز خوشه‌ای

این آنالیز الگوهایی در بین داده‌ها جستجو می‌کند تا بر اساس آن داده‌ها در داخل گروه‌های مشخص قرار دهد. هدف این است که یک گروه‌بندی بهینه پیدا کند که مشاهدات داخل آن بیشترین شباهت را داشته باشند اما گروه‌ها (خوشه‌ها) بیشترین اختلاف را با هم داشته باشند[25].

برای گروه‌بندی مشاهدات داخل یک خوشه‌های مختلف معیارهای مختلفی وجود دارند که شباهت بین آنها را مشخص می‌کنند از آن جمله می‌توان "فاصله" را در نظر گرفت. همچنین می‌توان معیار ضریب همبستگی بین مشاهدات را به‌عنوان معیار خوشه‌بندی در نظر گرفت[25].

2-2-2- الف آنالیز خوشه‌ای سلسله مراتبی

روش‌های سلسله مراتبی و دیگر الگوریتم‌های خوشه‌بندی با به کار بردن یک روش کارا از نظر محاسباتی سعی می‌کنند تا خوشه‌های مناسب را ارائه نمایند. این روش خوشه‌بندی به این نحو عمل می‌کند که در ابتدا هر نقطه را به‌عنوان یک خوشه مجزا در نظر گرفته و شباهت سایر نقاط را نسبت به آن می‌سنجد و نقاط مشابه را در یک خوشه قرار می‌دهد و این عمل تکرار می‌شود تا تمامی نقاط خوشه‌بندی شوند[25].

روش فوق یکی از معمول‌ترین روش‌های خوشه‌بندی است که در آنالیزهای زمین‌شناسی و هیدرولوژی بر مبنای پیدا کردن خوشه‌هایی از نمونه‌ها با بیشترین شباهت، به کار می‌رود. این روش برای آنالیز مجموعه داده‌هایی برای

Archive of SID
www.SID.ir

خوشه‌هایی که شامل خارج از ردیف هستند، بسیار قدرتمند است[9].

معمولاً نتایج حاصل از محاسبات تحلیل خوشه‌ای را به‌صورت یک نمودار سلسله مراتبی به نام دندروگرام نمایش می‌دهند. دندروگرام یک ساختار سلسله مراتبی است که نحوه اتصال نمونه‌ها و یا متغیرها را به یکدیگر نشان می‌دهد. در این نمودار یک مقیاس خطی افقی در بالای آن قرار داده می‌شود. محل اتصال هر نمونه با یک خوشه یا یک خوشه به خوشه دیگر روی این مقیاس خطی متناظر با درجه شباهت آن است[9].

2-2-2- ب آنالیز خوشه‌ای برحسب نمونه‌ها[1]

روش خوشه‌بندی برحسب نمونه‌ها برای اولین بار در سال 1956 اختراع شد[26]. هدف این روش این است که همه مشاهدات را با کم کردن معیاری که از پیش تعیین شده است، داخل گروه‌هایی تقسیم‌بندی کند[27]. سه روش خوشه‌بندی غیر سلسله مراتبی وجود دارد: روش جزءبندی، مخلوط کردن توزیع‌ها و تخمین چگالی که از بین آنها روش جزءبندی درروش خوشه‌بندی برحسب نمونه‌ها استفاده می‌شود[25]. الگوریتم های متفاوتی برای این هدف وجود دارد که از بین آنها هارتیگان (1975) و مک کویین معمول تر هستند. اگر از فاصله مانهاتان استفاده شود مرکز ثقل آنها، میانه هر خوشه است. نتایج این الگوریتم ها به تعداد خوشه اولیه بستگی دارد که اگر بد انتخاب شود، الگوریتم جزءبندی متناوب به یک مقدار بهینه محلی می‌رسد که مقدار زیادی از میانگین جهانی فاصله دارد. این مشکل می‌تواند با بکار بردن مقدارهای اولیه متفاوت و انتخاب بهترین نتیجه پایان یابد[28].

این روش از روش‌های جزء بندی آنالیزهای خوشه‌ای است که تلاش می‌کند تا مجذور میانگین بین مشاهدات و مرکز خوشه آنها حداقل شود. با انتخاب k خوشه اولیه شروع می‌شود که مثلاً k به صورت تصادفی می‌تواند تعداد مشاهدات باشد. این روش به این طریق است که هر مشاهده را در مرکز ثقلش قرار می‌دهد (مثلاً با به کار بردن فاصله اقلیدسی) و دوباره مرکز هر خوشه مشخص می‌شود و به‌طور متناوب مرکز هر خوشه محاسبه می‌شود[28].

در این پژوهش از روش‌های آنالیز چند متغیره خوشه‌ای (برحسب نمونه‌ها و برحسب متغیرها) و روش آنالیز فاکتوری برای شناسایی زون‌های دگرسان شده در منطقه حراران استفاده شده است. همان‌طور که در مقدمه بیان شد، این روش‌ها برای موارد زیادی استفاده شده‌اند. همچنین برای رسم زون‌های دگرسانی از روش‌های خاصی که معمول‌ترین آنها رسم نقشه‌های دگرسانی بر اساس اطلاعات حاصل از زمین شناسی اقتصادی و بازدیدهای صحرایی است، استفاده می‌شود. در این پژوهش، روشی معرفی شده است که از نتایج آنالیز عناصری که در کانی‌های هر زون دگرسانی وجود دارد، استفاده می‌شود.

3- نتایج و بحث

برای انجام این پژوهش، از نتایج آنالیز 607 نمونه سنگی استفاده شد که این نمونه‌ها برای 44 عنصر مورد آنالیز قرار گرفتند که از بین آن‌ها عناصر *Ca, Na, Al, Fe, S, K, Rb, Mg* برای شناسایی زون‌های دگرسان در منطقه حراران انتخاب شدند.

3-1- پیش‌پردازش

پیش پردازش‌های انجام‌گرفته روی داده‌های فوق که شامل جایگزینی داده‌های سنسورد و مقادیر خارج از ردیف است، انجام گرفت و 3/4 حد تشخیص دستگاهی جهت جایگزینی داده‌های سنسورد لحاظ گردید. همچنین برای تشخیص مقادیر خارج از ردیف از روش‌های نمودار جعبه‌ای عناصر و رسم نمودار *Q-Q-Plat* استفاده شد که این دو روش نتایج یکسانی نشان دادند. سپس مقادیر خارج از رده مشخص شده با ماکزیمم مقدار پس از آن جانشین شد. برای مثال نمودار جعبه‌ای و *Q-Q Plot* عنصر آهن به ترتیب در شکل‌های 4 و 5 نشان داده شده است که نمونه‌های شماره ۱۷۶،۴۵۴ و 500 به عنوان نمونه‌های خارج از ردیف در آن معرفی شده‌اند.

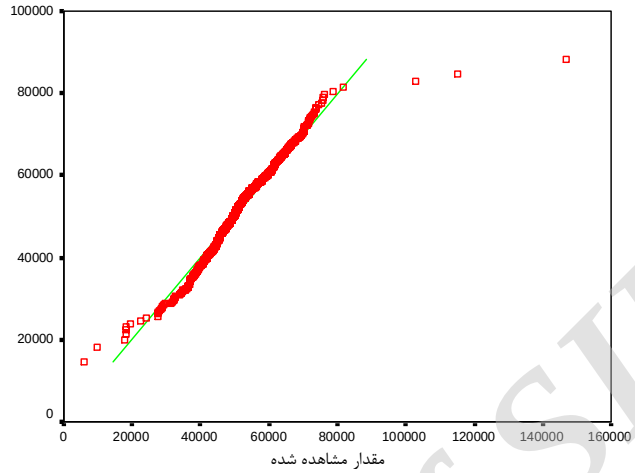
3-2- محاسبه ضریب همبستگی

یکی از راه های شناسایی ارتباط بین عناصر، استفاده از ضریب همبستگی میان آنها است. این عمل به منظور کشف همبستگی بین عناصر و تخمین مقدار یک عنصر از روی عنصر یا عناصر دیگر صورت می‌گیرد. ازاین‌رو از ضریب همبستگی برای مشخص کردن روابط بین عناصر *Ca, Na, Al, Fe, S, K, Rb, Mg* استفاده شد که نتایج آن در جدول 1 نشان داده شده است. همان‌طور که در

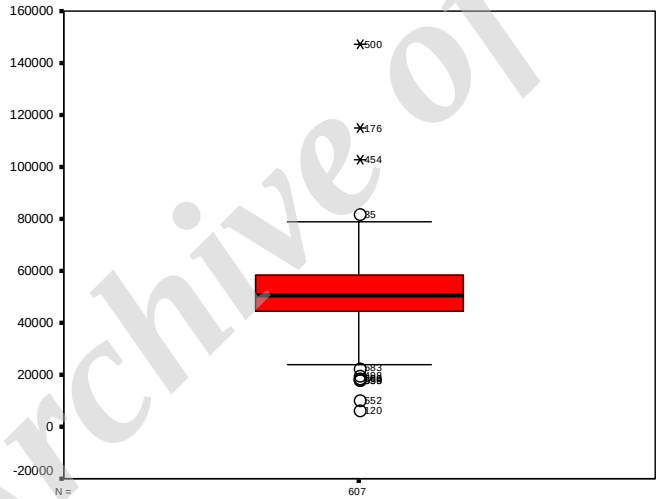
Archive of SID

www.SID.ir

جدول مشاهده می‌شود عنصر منیزیم با عناصر آلومینیوم، کلسیم، آهن و سدیم همبستگی بالایی نشان می‌دهد به‌طوری‌که دارای ضریب همبستگی بالای 0/5 هستند که ضریب همبستگی این عناصر در جدول به رنگ قرمز نشان داده شده است؛ همچنین عنصر پتاسیم با عناصر روبیدیم و گوگرد همبستگی بالایی نشان می‌دهد که ضریب همبستگی بین آنها نیز به رنگ آبی در جدول نشان داده شده است.



شکل 4: نمودار *Q-Q plot* عنصر آهن بر روی داده‌های لیتوژئوشیمیایی در منطقه حراران



شکل 5: نمودار جعبه¬ای عنصر آهن بر روی داده‌های لیتوژئوشیمیایی در منطقه حراران

جدول 1- ضریب همبستگی بین مقادیر 8 عنصر در منطقه حراران

	آلومینیوم	کلسیم	آهن	پتاسیم	منیزیم	سدیم	روبیدیم	گوگرد
آلومینیوم	1/00	0/60	0/54	-0/37	0/62	0/41	-0/31	-0/20
کلسیم	0/60	1/00	0/51	-0/66	0/83	0/57	-0/68	-0/51
آهن	0/54	0/51	1/00	-0/29	0/60	0/15	-0/23	-0/07
پتاسیم	-0/37	-0/66	-0/29	1/00	-0/60	-0/55	0/91	0/45
منیزیم	0/62	0/83	0/60	-0/60	1/00	0/50	-0/59	-0/46
سدیم	0/41	0/57	0/15	-0/55	0/50	1/00	-0/58	-0/55
روبیدیم	-0/31	-0/68	-0/23	0/91	-0/59	-0/58	1/00	0/45
گوگرد	-0/20	-0/51	-0/07	0/45	-0/46	-0/55	0/45	1/00

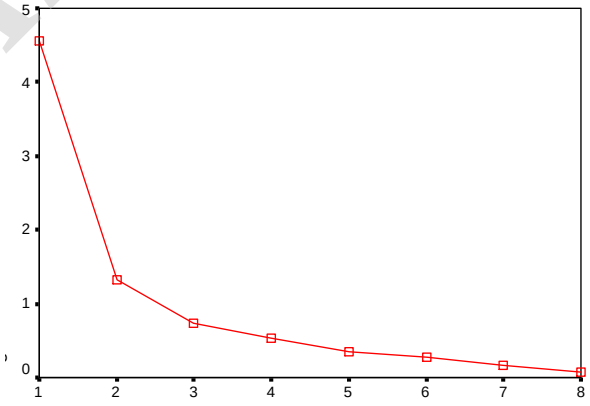
Archive of SID
www.SID.ir

3-3- نتایج حاصل از آنالیز فاکتوری

برای انجام آنالیز فاکتوری، بعد از نرمال‌سازی داده‌ها، به نرم افزار *SPSS* منتقل شده و این آنالیز بر روی داده‌های استاندارد و بدون مقادیر خارج از رده انجام شد. درواقع در آنالیز فاکتوری توسط فاکتورها ارتباط پیچیده بین متغیرها شناسایی می‌شود و همان‌طور که در مبحث 2-2-1 اشاره شد، به جای بررسی تک تک متغیرها، فاکتورهای استخراج شده از آنها مطالعه می‌شود که هر فاکتور ارتباط بین عناصری که منشأ یکسان دارند را مشخص می‌کند. در این روش، مشخص کردن تعداد فاکتورها مهم است، یکی از معیارهای اصلی تعداد فاکتورها، توجیه میزان تغییرپذیری داده‌ها است، به‌طوری که داده‌های جدید (فاکتورهای به‌دست‌آمده) باید بتوانند حداکثر میزان تغییرپذیری کل داده‌ها را توجیه کنند. تعداد فاکتورهای جدید از طریق جدول توجیه پذیری کل (جدول 2) تعیین شد. در این جدول پارامترهای آماری شامل مقادیر ویژه واریانس و واریانس تجمعی هر مؤلفه محاسبه گردیده است. بیشترین مقدار ویژه در ارتباط با مؤلفه اول (فاکتور 1) و برابر 41/63% است. همان طور که گفته شد واریانس تجمعی، معیاری جهت تعیین تعداد فاکتورها است. با توجه به جدول مذکور مشاهده می شود که تعداد 2 فاکتور می توانند تقریباً 73% کل تغییرپذیری را توجیه کنند که مقدار قابل قبولی است. بنابراین بر اساس آنالیز فاکتوری برای داده‌های این تحقیق 2 فاکتور معرفی شده است. این تعداد فاکتور از روی نمودار صخره‌ای نیز قابل تأیید است، (شکل 6). در نمودار صخره‌ای[2]، مقادیر ویژه برحسب اهمیت آنها از بزرگ ترین تا کوچک ترین مقدار ردیف می‌شوند و جایی که مقادیر ویژه ثابت می‌مانند و دیگر تغییر نمی‌کند به عنوان نقطه انفصال و تعداد فاکتور منطبق بر آن در نظر گرفته می‌شود که تقریباً همان دو فاکتور است.

جدول 2: درصد واریانس مؤلفه¬ها حاصل از روش آنالیز فاکتوری در منطقه حراران

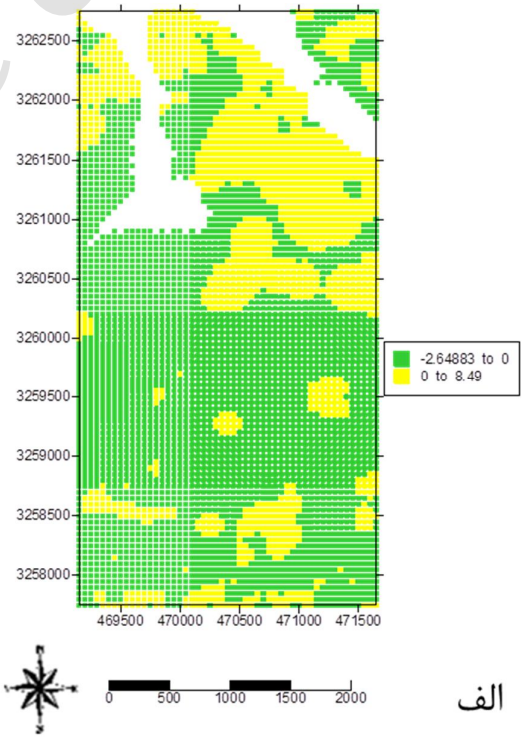
مجموع مؤلفه‌های دوران یافته			بردارهای ویژه اولیه			
واریانس تجمعی (%)	واریانس (%)	کل	واریانس تجمعی (%)	واریانس (%)	کل	مؤلفه
41/63	41/63	3/33	57/02	57/02	4/56	1
73/59	31/96	2/56	73/59	16/56	1/33	2
			82/71	9/12	0/73	3
			89/27	6/56	0/52	4
			93/58	4/31	0/34	5
			97/04	3/47	0/28	6
			99/06	2/02	0/16	7
			100/00	0/94	0/08	8

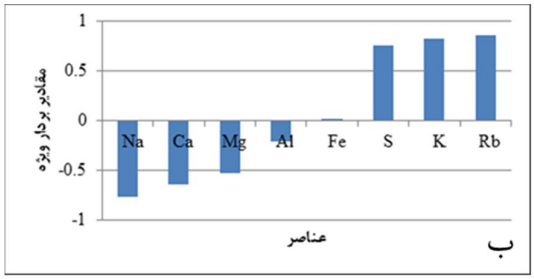


شکل 6: نمودار صخره‌ای حاصل از روش آنالیز فاکتوری بر روی داده‌های لیتوژئوشیمیایی در منطقه حراران

Archive of SID
www.SID.ir

دو فاکتور به دست آمده با استفاده از این روش به نرم افزار *Surfer* منتقل شدند و نقشه هر فاکتور رسم شد. نقشه هر فاکتور همراه با مقادیر ویژه آن بررسی و درنهایت مشخص شد که در فاکتور اول، عناصر *K, Rb, S* دارای مقادیر ویژه بالا و عناصر *Fe, Ca, Al, Na, Mg* دارای مقدار ویژه پایین هستند. در کنار هم قرار گرفتن عناصر دارای مقادیر ویژه بالا نشان‌دهنده دگرسانی پتاسیک و آرژیلیک و عناصر با مقادیر ویژه پایین نشان‌دهنده دگرسانی پروپلیتیک هستند. با بررسی کانی‌های تشکیل دهنده هر دگرسانی و نهایتاً عناصر تشکیل دهنده آنها مشخص می‌شود که اغلب کانی‌های تشکیل‌دهنده دگرسانی پروپلیتیک از عناصر *Fe, Ca, Al, Na, Mg* و اکثر کانی‌های تشکیل دهنده دگرسانی آرژیلیک و پتاسیک از عناصر *K, Rb, S* تشکیل یافته‌اند. نقشه فاکتور اول به همراه مقادیر ویژه آن در شکل 7 نشان داده شده است. در این نقشه دگرسانی پروپلیتیک با مقادیر ویژه منفی به رنگ سبز و دگرسانی آرژیلیک و پتاسیک با مقادیر ویژه مثبت به رنگ زرد نشان داده شده‌اند.





شکل 7: نقشه فاکتور شماره 1 (الف) به همراه مقادیر بردارهای ویژه آن (ب) در منطقه حراران

3-4- نتایج حاصل از آنالیز خوشه‌ای

3-4-1- نتایج آنالیز خوشه‌ای سلسله مراتبی

برای انجام آنالیز خوشه‌ای سلسله مراتبی از روش وارد استفاده شد و نتایج آن به‌صورت نمودار درختی[3] در شکل 8 نشان داده شده است همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، عناصر در دو خوشه جداگانه قرار گرفته‌اند که شامل موارد زیر است:

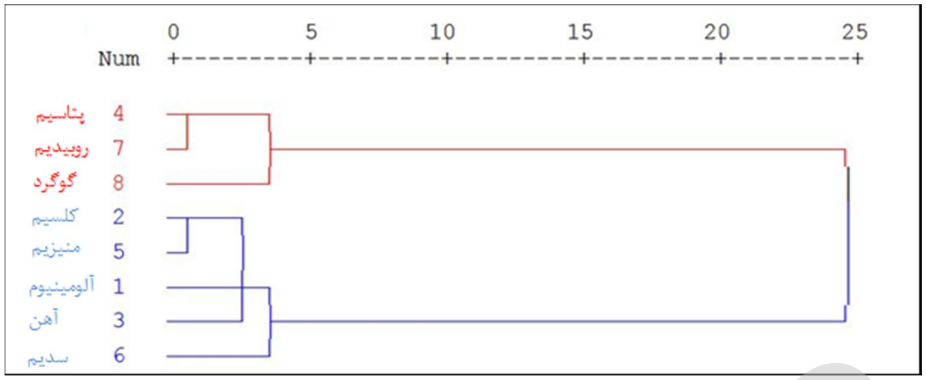
خوشه اول شامل عناصر پتاسیم، روبیدیم و گوگرد است و به رنگ قرمز در نقشه مذکور نشان داده شده‌اند. این عناصر تشکیل‌دهنده کانی‌های موجود در دگرسانی پتاسیک و آرژیلیک هستند؛ همچنین قرار گرفتن عناصر کلسیم، منیزیم، آلومینیوم، آهن و سدیم در کنار هم و در خوشه دوم را می‌توان به‌عنوان عناصر تشکیل‌دهنده دگرسانی پروپلیتیک در نظر گرفت.

3-4-2- نتایج آنالیز خوشه‌ای برحسب نمونه‌ها

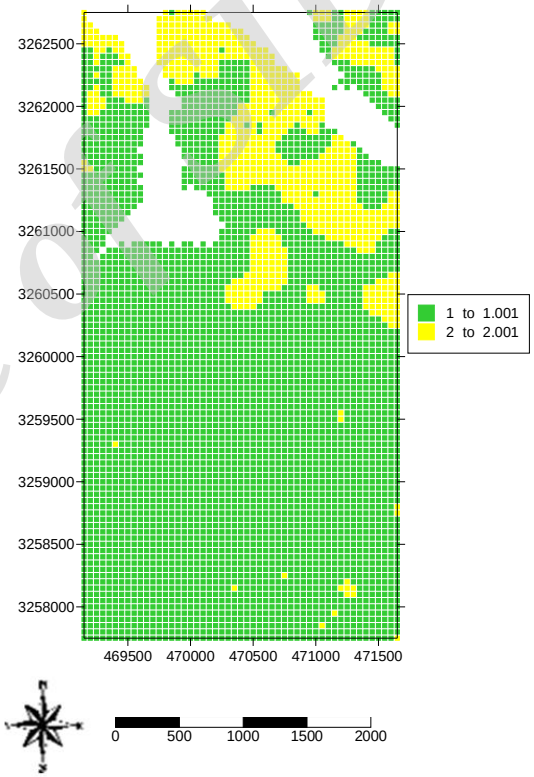
جهت انجام تجزیه‌وتحلیل آنالیز خوشه‌ای برحسب نمونه‌ها، ابتدا از فایل داده‌های خام آبراهه‌ای توسط نرم‌افزار *Surfer* یک فایل تخمین شبکه ای جدید برای هر عنصر شامل 4643 نقطه و در یک شبکه 50×50 متری تهیه گردید. انجام این کار برای تحت پوشش قرار دادن تمامی نقشه انجام گرفت. ذکر این نکته ضروری است که از روش کریجینگ برای تخمین داده‌ها استفاده شد. این آنالیز خوشه‌ای بر اساس نمونه‌ها و برای خوشه‌های متفاوتی انجام گرفت که درنهایت 2 خوشه مناسب‌تر بود. بنابراین نمونه‌ها به 2 خوشه تقسیم شدند. هدف اصلی از این آنالیز به نقشه درآوردن خوشه‌ها بود که نتایج آن کاملاً با نتایج آنالیز خوشه‌ای سلسله مراتبی تطابق داشتند. خوشه اول به رنگ سبز نشانگر دگرسانی پروپلیتیک و خوشه دوم به رنگ زرد

Archive of SID
www.SID.ir

نشان‌دهنده دگرسانی آرژیلیک و پتاسیک هستند. نتایج آنالیز فوق در شکل 9 نشان داده شده است.



شکل 8: دندروگرام حاصل از روش آنالیز خوشه¬ای سلسله مراتبی بر روی داده‌های لیتوژئوشیمیایی منطقه حراران



شکل 9: نقشه حاصل از نتایج آنالیز خوشه‌ای برحسب نمونه‌ها بر روی داده‌های لیتوژئوشیمیایی منطقه حراران

4- بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله از روش‌های آنالیز چند متغیره (فاکتوری و خوشه‌ای) برای شناسایی مناطق دگرسانی هیدروترمال، به عنوان کاربردی جدید از این روش‌ها استفاده شد. از نتایج آنالیز نمونه‌های لیتوژئوشیمیایی به دست آمده از کانی‌زایی مس پرفیری حراران واقع در استان کرمان برای این هدف استفاده شد. نتایج آنالیزهای خوشه‌ای دو خوشه جداگانه نشان دادند که دگرسانی ها را کاملاً از هم تفکیک کردند. نتایج آنالیز فاکتوری، نتایج فوق را تائید کردند حتی در مواردی مناطقی در جنوب منطقه را نیز به عنوان دگرسانی آرژیلیک و پتاسیک مشخص کرد که آنالیز خوشه‌ای قادر به تفکیک آن ها نبود. البته در مناطقی هم این دو دگرسانی باهم مخلوط شده‌اند که ناشی از حضور اکسید آهن است که در هر دو دگرسانی وجود دارد و در خاتمه می‌توان گفت که از این روش‌ها به‌عنوان کاربردی جدید، برای شناسایی مناطق دارای دگرسانی استفاده نمود.

مراجع

[1] Khakzad, A.Jafari, H. R. (2003). Mineralogy, paragenesis and economic geology of copper deposits in the Hararan area, Kerman province. Proc. 10th Symposium of Crystallography and Mineralogy of Iran. (In Persian.(

[2] Akbarpour, A.,Gholami, N.,Azizi, H.Torab, F. M. (2012). Cluster and R-mode factor analyses on soil geochemical data of Masjed-Daghi exploration area, northwestern Iran. Arabian Journal of Geosciences, 6 (9), 3397-3408.

[3] Hassanipak, A. A. (*2005*).Designing of exploration projects (geochemical, geophysical and drilling).Tehran University Press. (In Persian(

[4] Mokhtari, A. R. (2014). Hydrothermal alteration mapping *through* multivariate logistic regression analysis of lithogeochemical data. Journal of Geochemical Exploration, 145 (0), 207-212.

Archive of SID
www.SID.ir

sediment around the *Sarcheshmeh* copper mine, SE Iran. Environmental Earth Sciences, 66 (2), 589-605.

[15] Idris, A. M. (2008). Combining multivariate analysis and geochemical approaches for assessing heavy metal level in sediments from Sudanese harbors *along* the Red Sea coast. Microchemical Journal, 90 (2), 159-163.

[16] Huang, L.-M.,Deng, C.-B.,Huang, N.Huang, X.-J. (2013). Multivariate statistical approach to identify heavy metal sources in agricultural soil around an abandoned Pb–Zn mine in Guangxi *Zhuang* Autonomous Region, China. Environmental Earth Sciences, 68 (5), 1331-1348.

[17] Parizi, H. S.Samani, N. (2013). Geochemical evolution and quality assessment of water resources in the Sarcheshmeh copper mine area (Iran) using multivariate statistical techniques. Environmental Earth Sciences, 69 (5), 1699-1718.

[18] Singh, C. K.,Shashtri, S.Mukherjee, S. (2011). *Integrating* multivariate statistical analysis with GIS for geochemical assessment of groundwater quality in Shiwaliks of Punjab, India. Environmental Earth Sciences, 62 (7), 1387-1405.

[19] Morrison, J. M.,*Goldhaber*, M. B.,Ellefsen, K. J.Mills, C. T. (2011). Cluster analysis of a regional-scale soil geochemical dataset in northern California. Applied Geochemistry, 26S105-S107.

[20] Sfidari, E.,Kadkhodaie-Ilkhchi, A.Najjari, S. (2012). Comparison of intelligent and statistical clustering approaches to predicting total organic carbon using intelligent systems. Journal of Petroleum Science and Engineering, 86190-205.

[21] Beane, R. E.Bodnar, R. J. (1995). hydrothermal fluids and alteration in porphyry copper deposits. Arizona Geological Society Digest, 2083-93.

[22] Berger, B. R. (2008).Preliminary model of porphyry copper *deposits*.US Geological Survey.

[23] Reimann, C.,Filzmoser, P.Garrett, R. G. (2002). Factor *analysis* applied to regional geochemical data: problems and possibilities. Applied Geochemistry, 17 (3), 185-206.

[24] Hassanipak, A. A.Sharafodin, M. (2011). Exploratory data analysis. *Tehran* University Press, Third edition. (In Persian*(*

[25] Rencher, A. C.Christensen, W. F. (2012).Methods of multivariate analysis.John Wiley & Sons.

[26] Chen, Z.Shixiong, X. (2009, edn.), 'K-means Clustering Algorithm with Improved *Initial* Center', in Editor (Ed.)^(Eds.): 'Book K-means Clustering Algorithm with Improved Initial Center' pp. 790-792.

[5] Soltani, F.,Afzal, P.Asghari, O. (2014). Delineation of alteration zones based on Sequential Gaussian Simulation and concentration–volume fractal modeling in the hypogene zone of Sungun copper deposit, NW Iran. Journal of Geochemical Exploration, 140 (0), 64-76.

[6] Praveena, S.,Ahmed, A.,Radojevic, M.,Abdullah, M. H.Aris, A. (2007). Factor-cluster analysis and enrichment study of mangrove sediments-an example from Mengkabong, Sabah. Malaysian J.Anal.Sci, 11 (2), 421-430.

[7] Roy, A. (1981). Application of cluster analysis in the *interpretation* of geochemical data from the Sargipalli lead-zinc mine area, Sundergarh district, Orissa (India). Journal of Geochemical Exploration, 14245-264.

[8] El-Makky, A. M. (2011). Statistical Analyses of La, Ce, Nd, Y, Nb, Ti, P, and Zr in Bedrocks and Their Significance in Geochemical Exploration at the Um Garayat Gold Mine Area, Eastern Desert, Egypt. Natural resources research, 20 (3), 157-176.

[9] Nude, P. M. (2012). Identifying Pathfinder Elements for *Gold* in Multi-Element Soil Geochemical Data from the Wa-Lawra Belt, Northwest Ghana: A Multivariate Statistical Approach. International Journal of Geosciences, 03 (01), 62-70.

[10] Embui, V. F.,Omang, B. O.,Che, V. B.,Nforba, M. T.*Suh*, E. C. (2013). Gold grade variation and stream sediment geochemistry of the Vaimba-Lidi drainage system, northern Cameroon (West Africa). Natural Science, 5282.

[11] Yaylalı-Abanuz, G.,Tüysüz, N.Akaryalı, E. (2012). Soil *geochemical* prospection for gold deposit in the Arzular area (NE Turkey). Journal of Geochemical Exploration, 112 (0), 107-117.

[12] Darwish, M. a. G.Poellmann, H. (2010). Geochemical exploration for gold in the Nile Valley Block (A) area, Wadi Allaqi, South Egypt. Chemie der Erde-Geochemistry, 70 (4), 353-362.

[13] Honarpazhouh, J.,Hassanipak, A. A.Seifpanahi Shabani, K. (2013). Integration of Stream Sediment Geochemical and Aster Data for Porphyry Copper Deposit Exploration in Khatun Abad, North West of Iran/Integracja geochemicznych danych o osadach dennych oraz danych pozyskanych z systemu aster do poszukiwań geologicznych w *rejonie* złóż miedzi porfirytowej w khatun abad, w północno-zachodniej części iranu. Archives of Mining Sciences, 58 (1), 37-54.

[14] Khorasanipour, M.,Tangestani, M.Naseh, R. (2012). Application of multivariate statistical methods to indicate the origin and geochemical behavior of potentially hazardous elements in

Archive of SID

www.SID.ir

[27] Meshkani, S. A.,Mehrabi, B.,Yaghubpur, A.Alghalandis, Y. F. (2011). The application of geochemical pattern recognition to regional prospecting: A case study of the Sanandaj–Sirjan metallogenic zone, Iran. Journal of Geochemical Exploration, 108 (3), 183-195.

[28] Templ, M.,Filzmoser, P.Reimann, C. (2008). Cluster analysis applied to regional geochemical data: Problems and possibilities. Applied Geochemistry, 23 (8), 2198-2213.

Archive of SID

1- K-means Cluster
2- Scree Plot
3- Dendrogram

www.SID.ir

Determination of Cu Porphyry Hydrothermal Alterations Using Multivariate Analysis Methods on Lithogeochemical Data in Hararan Area, Kerman Province

S. Abbaszadeh[1*], A. Ansari[2], G. Rahimipour[3]

1- PhD. Student in Mining, Dept. of Mining and Metallurgy, Yazd University, Iran

2- Associate Professor, Dept. of Mining and Metallurgy, Yazd University, Iran

3- Assistante Professor, Dept. of Mining, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

* Corresponding Author:Abbaszadeh115@yahoo.com

(Received: February 2015, Accepted: March 2016)

Keywords

Potassic Alteration
Argillic Alteration
Propylitic Alteration
Multivariate Analysis

English Extended Abstract

Summary

In geological sciences, especially geochemistry, multivariate statistical methods have many applications. So that, they were employed as a new application for recognition main alterations in Cu-Mo porphyry system such as argillic, potassic, and propylitic alterations. For determination of alteration areas, results of 607 lithogeochemical samples were utilized in Hararan area, which appears to possess the potentiality for porphyry mineralization and locates in Baft sheet (1:100,000 series) in the southeast of Iran. 607 rock samples were analyzed by ICP-MS in Amdel laboratory for 45 elements. However, it used just the results of Ca, Na, Al, Fe, S, K, Rb, Mg elements for this paper. Results of hierarchical cluster and k- means Cluster methods showed two different clusters: K, Rb, S elements and Mg, Ca, Na, Al, Fe elements have been in cluster 1 and cluster 2, respectively. Cluster1 and cluster2 introduced as potassic and argillic alterations and propylitic alteration, respectively. The results of factor analysis not only confirmed the above results but also the first factor map depicted small areas of argillic and potassic alterations in the southern parts of the region, so that these areas did not identify by k-means cluster method.

Introduction

Hydrothermal Alteration plays a key role in types of mineralization. For recognition of alteration zones, there are common techniques such as mineralogical, lithological studies and field surveys. Researchers used different methods for identifying alteration zones. Therefore, in this study, it was utilized multivariate analysis techniques as a new application for mentioned objective.

Methodology and Approaches

In regional geochemistry an advantage would be that instead of presenting maps for 40–50 (or more) elements only maps of 4–6 factors may have to be presented, containing a high percentage of the information of the single element maps. It is even more informative if factor analysis can be used to reveal unrecognized multivariate structures in the data that may be indicative of certain geochemical processes, or, in exploration geochemistry, of hidden mineral deposits. Cluster analysis is used to delineate the relationships between elements and shows which elements tend to have similar variations in concentrations.

Results and Conclusions

In this study, 607 lithogeochemical samples were analyzed for 44 elements. But Ca, Na, Al, Fe, S, K, Rb, Mg were selected to recognize alteration zones in Hararan area. Before performing multivariate analysis, the preprocessing of geochemical data was performed including the replacement of censored and outlier data. The results of factor and cluster analysis showed that Fe, Ca, Al, Na, Mg elements and K, Rb, S elements represented Propylitic and argilic alteration, respectively.

Cite this paper:

Abbaszadeh, S., Ansari, A., Rahimipour, G., (2015). "Determination of Cu Porphyry Hydrothermal Alterations Using Multivariate Analysis Methods on Lithogeochemical Data in Hararan Area, Kerman Province" Journal of Analytical and Numerical Methods in Mining Engineering **5**(10): 15-26.

Archive of SID

www.SID.ir