

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

سمیه عباس‌زاده^{1*}، عبدالحمید انصاری²، غلامرضا رحیمی‌پور³
 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 زمین‌شناسی خصوصاً ژئوشیمی پیدا کرده‌اند. در این مطالعه از آن‌ها به‌عنوان کاربردی جدید برای تشخیص دگرسانی‌های نوع آرژیلیک، پتاسیک و پروپلیتیک (دگرسانی‌های عمده موجود در کانسارهای مس پورفیری) استفاده شده است. برای تعیین مناطق دگرسان شده از 607 نمونه لیتوزئوشیمیایی 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 تأیید 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

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 لیتوزئوشیمیایی در منطقه حراران، استان کرمان، روش‌های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن، 5(10)، 15-26.

1- مقدمه

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 به کار برده می‌شوند [6].

1-1- مروری بر پژوهش‌های مشابه

روش‌های آماری فوق برای اهداف متفاوتی توسط محققین متفاوتی به کار برده 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 "سرگیالی" 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

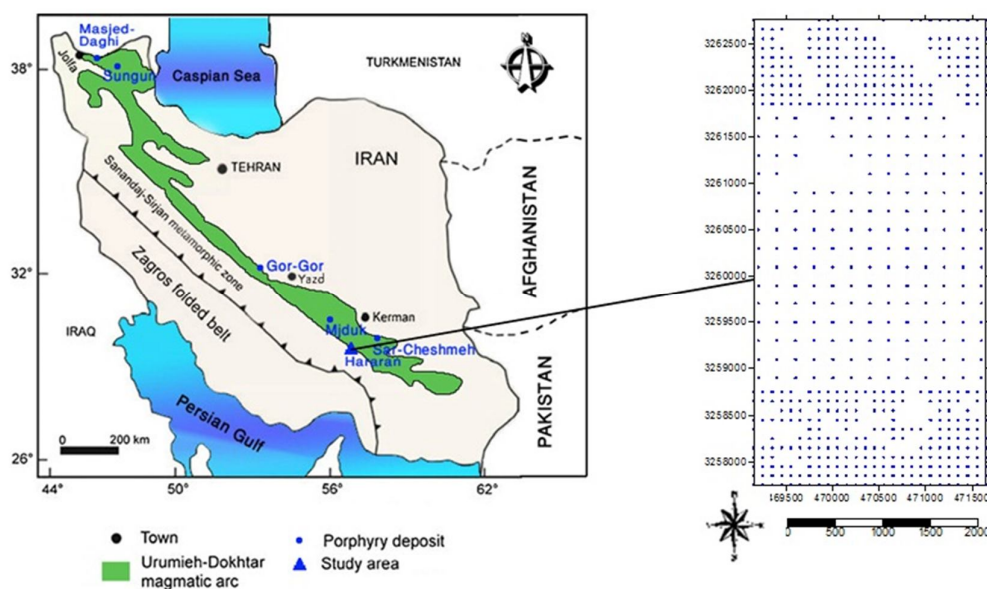
منطقه مورد مطالعه در جنوب کرمان و شمال شرق شهرستان بافت و در طول جغرافیایی $56^{\circ}39'30''$ تا $56^{\circ}43'00''$ و عرض جغرافیایی $29^{\circ}26'30''$ تا $29^{\circ}29'30''$ قرار دارد. بر اساس تقسیمات تکتونیکی دیمیترویویچ (1973)، منطقه مورد مطالعه در زون دهج - ساردوئیه در استان کرمان و در بخش جنوبی 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 گرمایی 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، سنگ‌شناسی 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 به دست آمده از منطقه کوه پنج واقع در استان کرمان استفاده کرد [4]. همچنین سلطانی و همکاران (2014) از ترکیب روش‌های شبیه‌سازی زمین آماری و فراکتال برای شناسایی زون‌های دگرسان شده (پتاسیک، آرژیلیک و پروپلیتیک) در زون هیپوزن مس پورفیری سونگون و بر روی داده‌های لیتوژئوشیمیایی حاصل از گمانه استفاده کردند [5]. در این مطالعه نیز سعی شده است که در یک کاربرد جدید از روش‌های آنالیز چند متغیره (آنالیز فاکتوری و آنالیز خوشه‌ای) برای شناسایی زون‌های دگرسان شده در منطقه حراران استفاده شود.

در منطقه مورد مطالعه، 607 نمونه لیتوژئوشیمیایی در یک شبکه نامنظم نواحی جنوبی و شمالی، شبکه مترکم 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 گرفته شده 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.

کیفیت منابع آب در معدن سرچشمه و سنجش کیفیت آب زیرزمینی منطقه شی والکس در ایالت پنجاب پاکستان استفاده نمودند [17، 18]. 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 کالیفرنیا شمالی به مساحت تقریباً 22 کیلومتر مربع 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 پیش‌بینی کربن آلی استفاده نمودند [20].

2-1- نمونه‌ها

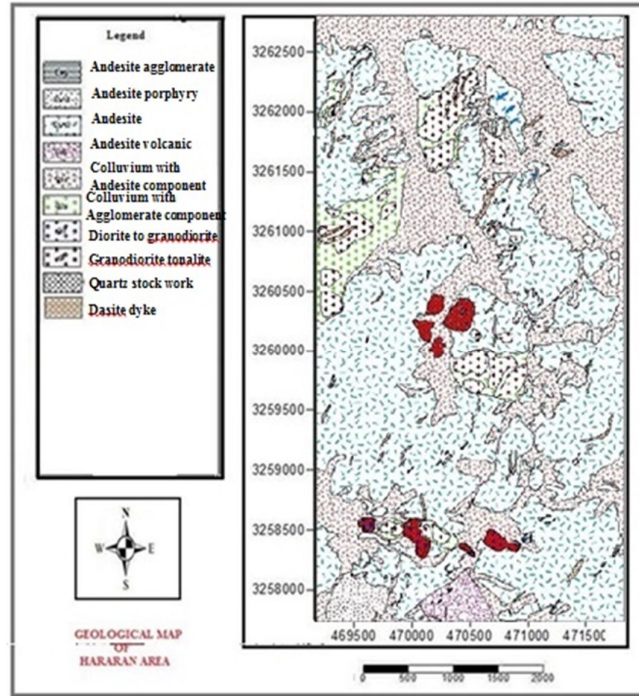


شکل 1: نقشه منطقه مورد مطالعه به همراه نقاط نمونه‌برداری آن

و گرانودیوریت 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.

3-1- زمین‌شناسی منطقه

همان‌طور که در شکل 2 دیده می‌شود، 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



شکل 2: نقشه زمین شناسی منطقه حراران

پتاسیک، فیلیک، آرژیلیک و پروپلیتیک که نحوه قرار گرفتن آن ها نسبت به یکدیگر و کانی های موجود در هر زون دگرسانی به طور خلاصه در شکل 3 نشان داده شده است.

2-2- روش های آماری چند متغیره

روش های آنالیز چند متغیره به علت هزینه پایین و سریع بودن در بسیاری از برنامه های اکتشافی، برای شناسایی آنومالی های ژئوشیمیایی به کار برده می شوند. هنگامی که یک برنامه نمونه برداری شامل هزاران نمونه است، ماتریس نتایج خیلی بزرگ است در نتیجه استفاده از یک روش آنالیز چند متغیره می تواند بسیار مفید واقع شود. با استفاده از روش های آماری چند متغیره می توان الگوهای ژئوشیمیایی در ارتباط با زمین شناسی، هوازگی، دگرسانی و کانی زایی را می توان شناسایی و تفسیر کرد [9].

2-2-1- آنالیز فاکتوری

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

دگرسانی های آرژیلیک و پتاسیک به دست آمده از این پژوهش، بیشتر در سنگ های دیوریتی و گرانودیوریتی و به میزان کمتر در سنگ های آندزیتی دیده می شوند. دگرسانی پروپلیتیک در سنگ های آندزیتی دیده می شود و تقریباً اکثر مناطق را فرا گرفته است که با نقشه زمین شناسی منطقه تطابق دارد به طوری که اکثر سنگ های منطقه را سنگ های ذکر شده در برگرفته اند. 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 آن ها و در سنگ های درون گیر دیده می شود.

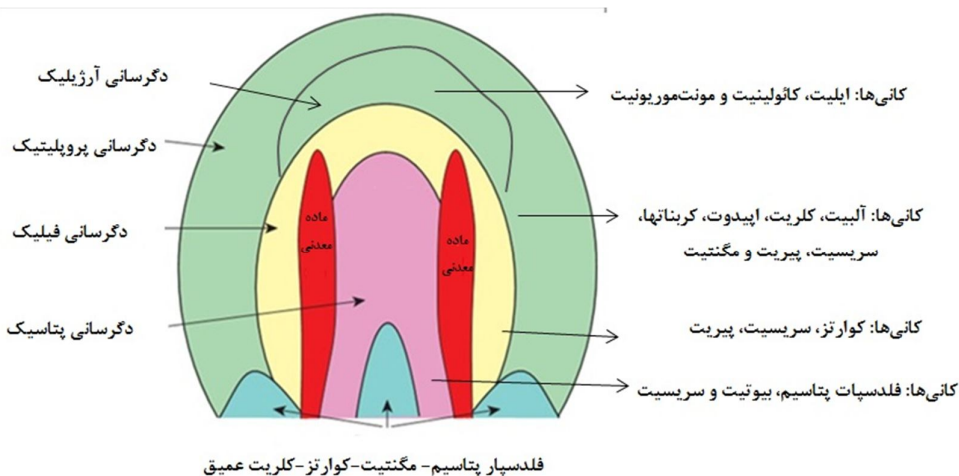
2- مواد و روش ها

2-1- آلتراسیون های موجود در ذخایر مس پرفیری

ذخایر مس پرفیری شامل حجم زیادی از سنگ هایی هستند که در اثر محلول هیدروترمال تحت دگرسانی قرار گرفته اند؛ محققین زیادی تلاش کردند که خواص آنها را با استفاده از کانی هایی که در هر دگرسانی وجود دارد و کشف رابطه بین آنها شناسایی کنند [21]. معمول ترین دگرسانی ها در کانسارهای مس پرفیری عبارتند از

داده‌های ژئوشیمیایی با تجزیه و تحلیل تعداد زیادی از عناصر مناسب است [23].

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



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

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 به عنوان 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 به عنوان 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

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 به جای استفاده از متغیرهای خام، می‌توان از ضرایب فاکتور برای تفسیر آنومالی‌های مشاهده شده استفاده کرد [2].

در واقع هدف از تجزیه و تحلیل فاکتوری تشخیص اصلی‌ترین متغیرهای کنترل‌کننده 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.

حراران استفاده شده است. همان طور که در مقدمه بیان شد، این روش ها برای موارد زیادی استفاده شده اند. همچنین برای رسم زون های دگرسانی از روش های خاصی که معمول ترین آنها رسم نقشه های دگرسانی بر اساس اطلاعات حاصل از زمین شناسی اقتصادی و باز دیده های صحرایی است، استفاده می شود. در این پژوهش، روشی معرفی شده است که از نتایج آنالیز عناصری که در کانی های هر زون دگرسانی وجود دارد، استفاده می شود.

3- نتایج و بحث

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

3-1- پیش برداش

پیش برداش های انجام گرفته روی داده های فوق که شامل جایگزینی داده های سنسورد و مقادیر خارج از ردیف است، انجام گرفت و $3/4$ حد تشخیص دستگامی جهت جایگزینی داده های سنسورد لحاظ گردید. همچنین برای تشخیص مقادیر خارج از ردیف از روش های نمودار جعبه ای 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 جعبه ای و $Q-Q Plot$ عنصر آهن به ترتیب در شکل های 4 و 5 نشان داده شده است که نمونه های شماره ۱۷۶،۴۵۴ و 500 به عنوان نمونه های خارج از ردیف در آن معرفی شده اند.

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 می گیرد. از این رو 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. همان طور که در

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

معمولاً نتایج حاصل از محاسبات تحلیل خوشه ای را به صورت یک نمودار سلسله مراتبی به نام دندروگرام نمایش می دهند. دندروگرام یک ساختار سلسله مراتبی است که نحوه اتصال نمونه ها و یا متغیرها را به یکدیگر نشان می دهد. در این نمودار یک مقیاس خطی افقی در بالای آن قرار داده می شود. 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 خوشه ای بر حسب نمونه ها¹

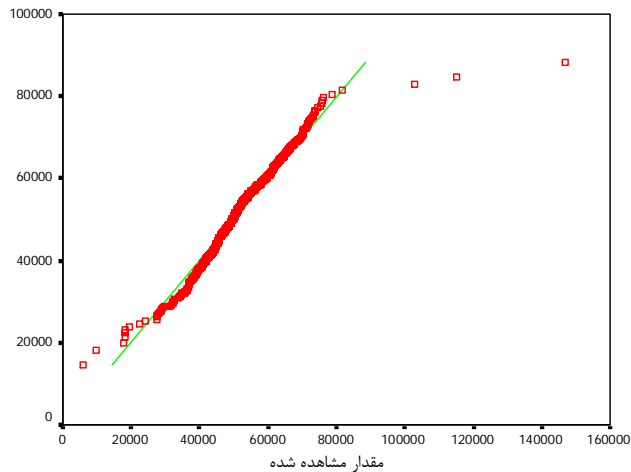
روش خوشه بندی بر حسب نمونه ها برای اولین بار در سال 1956 اختراع شد [26]. هدف این روش این است که همه مشاهدات را با کم کردن معیاری که از پیش تعیین شده است، داخل گروه هایی تقسیم بندی کند [27]. سه روش خوشه بندی غیر سلسله مراتبی وجود دارد: روش جزء بندی، مخلوط کردن توزیع ها و تخمین چگالی که از بین آنها روش جزء بندی در روش خوشه بندی بر حسب نمونه ها استفاده می شود [25]. الگوریتم های متفاوتی برای این هدف وجود دارد که از بین آنها هارتینگان (1975) و مک کوپین 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 جزء بندی متناوب به یک مقدار بهینه محلی می رسد که مقدار زیادی از میانگین جهانی فاصله دارد. این مشکل می تواند با بکار بردن مقدارهای اولیه متفاوت و انتخاب بهترین نتیجه پایان یابد [28].

این روش از روش های جزء بندی آنالیزهای خوشه ای است که تلاش می کند تا مجذور میانگین بین مشاهدات و مرکز خوشه آنها حداقل شود. با انتخاب k خوشه اولیه شروع می شود که مثلاً k به صورت تصادفی می تواند تعداد مشاهدات باشد. این روش به این طریق است که هر مشاهده را در مرکز ثقلش قرار می دهد (مثلاً با به کار بردن فاصله اقلیدسی) و دوباره مرکز هر خوشه مشخص می شود و به طور متناوب مرکز هر خوشه محاسبه می شود [28].

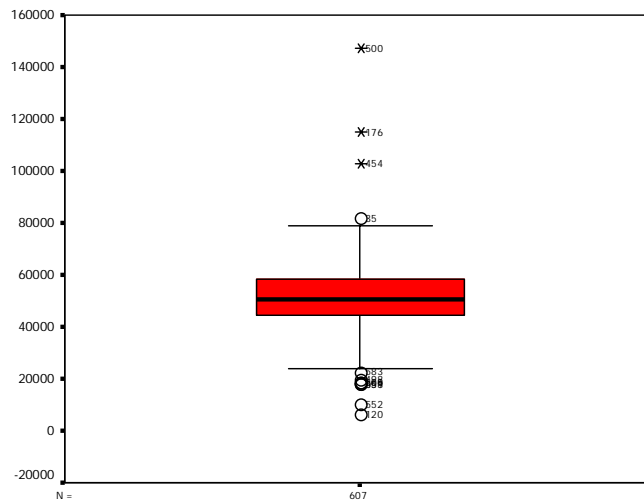
در این پژوهش از روش های آنالیز چند متغیره خوشه ای (بر حسب نمونه ها و بر حسب متغیرها) و روش آنالیز فاکتوری برای شناسایی زون های دگرسان شده در منطقه

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.

جدول مشاهده می‌شود عنصر منیزیم با عناصر آلومینیوم، کلسیم، آهن و سدیم همبستگی بالایی نشان می‌دهد به طوری که دارای ضریب همبستگی بالای 0/5 هستند که ضریب همبستگی این عناصر در جدول به رنگ قرمز نشان



شکل 4: نمودار $Q-Q$ عنصر آهن بر روی داده‌های لیتوزئوشیمیایی در منطقه حراران



شکل 5: نمودار جعبه‌ای عنصر آهن بر روی داده‌های لیتوزئوشیمیایی در منطقه حراران

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

	آلومینیوم	کلسیم	آهن	پتاسیم	منیزیم	سدیم	روبییدیم	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
روبییدیم	-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

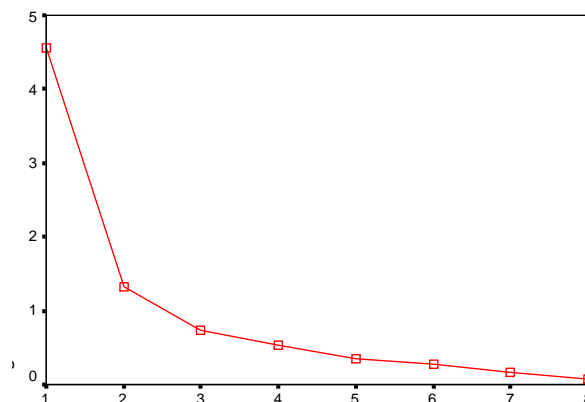
3-3- نتایج حاصل از آنالیز فاکتوری

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. در واقع 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، به طوری که داده‌های جدید (فاکتورهای به دست آمده) 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

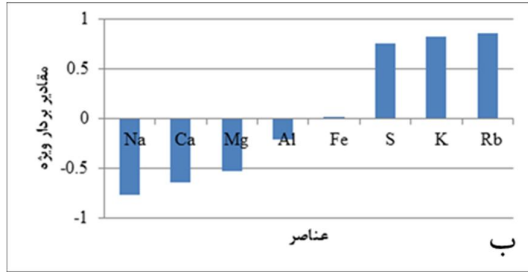
جدول پارامترهای آماری شامل مقادیر ویژه واریانس و واریانس تجمعی هر مؤلفه محاسبه گردیده است. بیشترین مقدار ویژه در ارتباط با مؤلفه اول (فاکتور 1) و برابر 41/63% است. همان‌طور که گفته شد واریانس تجمعی، معیاری جهت تعیین تعداد فاکتورها است. با توجه به جدول مذکور مشاهده می‌شود که تعداد 2 فاکتور می‌تواند تقریباً 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 صخره‌ای²، مقادیر ویژه برحسب اهمیت آنها از بزرگ‌ترین تا کوچک‌ترین 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 مؤلفه‌ها حاصل از روش آنالیز فاکتوری در منطقه حراران

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



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



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

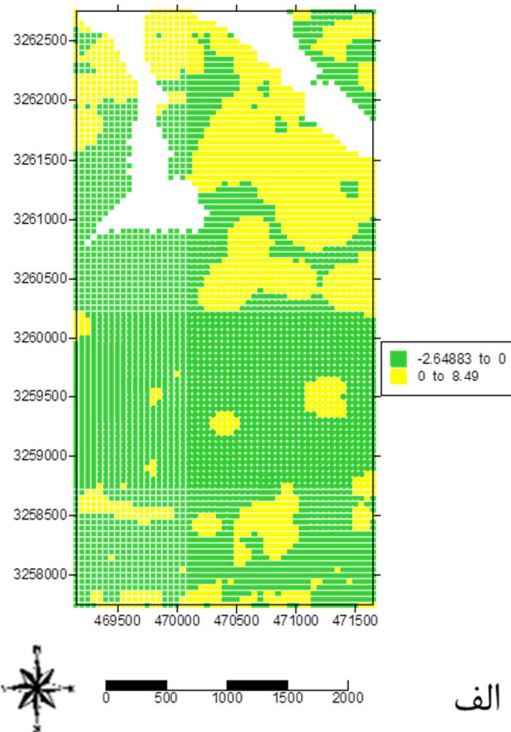
برای انجام آنالیز خوشه‌ای سلسله مراتبی از روش وارد استفاده شد و نتایج آن به صورت نمودار درختی³ در شکل 8 نشان داده شده است همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، عناصر در دو خوشه جداگانه قرار گرفته‌اند که شامل موارد زیر است:

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 به عنوان عناصر تشکیل‌دهنده دگرسانی پروپلیتیک در نظر گرفت.

3-4-2- نتایج آنالیز خوشه‌ای برحسب نمونه‌ها

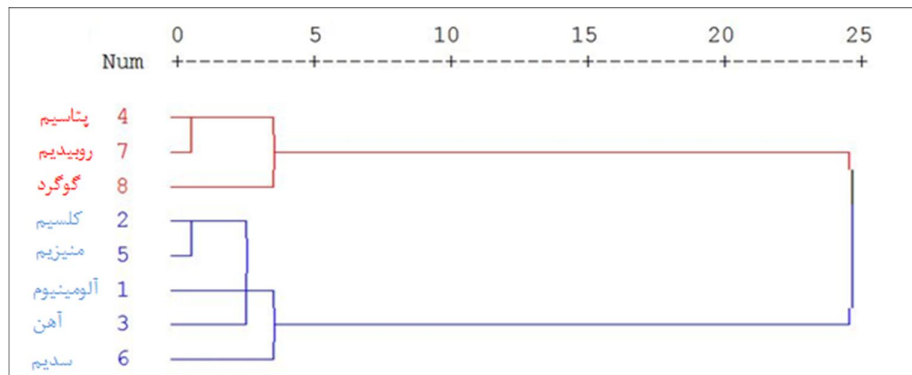
جهت انجام تجزیه و تحلیل آنالیز خوشه‌ای برحسب نمونه‌ها، ابتدا از فایل داده‌های خام آبراه‌های توسط نرم‌افزار *Surfer* یک فایل تخمین شبکه ای جدید برای هر عنصر شامل 4643 نقطه و در یک شبکه 50×50 متری تهیه گردید. انجام این کار برای تحت پوشش قرار دادن تمامی نقشه انجام گرفت. ذکر این نکته ضروری است که از روش کریجینگ برای تخمین داده‌ها استفاده شد. این آنالیز خوشه‌ای بر اساس نمونه‌ها و برای خوشه‌های متفاوتی انجام گرفت که در نهایت 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

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 در نهایت 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 تشکیل‌دهنده هر دگرسانی و نهایتاً عناصر تشکیل‌دهنده آنها مشخص می‌شود که اغلب کانی‌های تشکیل‌دهنده دگرسانی پروپلیتیک از عناصر *Fe, Ca, Al, Na, Mg* و اکثر کانی‌های تشکیل‌دهنده 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.



الف

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

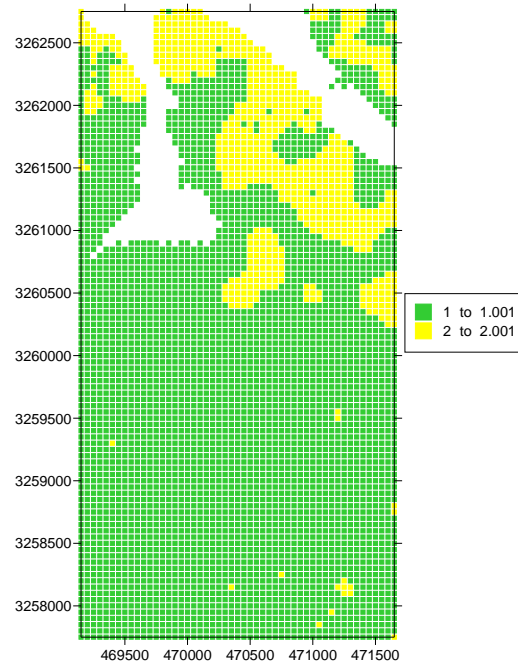


شکل 8: دندروگرام حاصل از روش آنالیز خوشه‌ای سلسله مراتبی بر روی داده‌های لیتوژئوشیمیایی منطقه حراران

استفاده شد. نتایج آنالیزهای خوشه‌ای دو خوشه جداگانه نشان دادند که دگرسانی‌ها را کاملاً از هم تفکیک کردند. نتایج آنالیز فاکتوری، نتایج فوق را تأیید کردند حتی در مواردی مناطقی در جنوب منطقه را نیز به عنوان دگرسانی آرژیلیک و پتاسیک مشخص کرد که آنالیز خوشه‌ای قادر به تفکیک آن‌ها 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 به عنوان 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 litho-geochemical data. Journal of Geochemical Exploration, 145 (0), 207-212.



0 500 1000 1500 2000

شکل 9: نقشه حاصل از نتایج آنالیز خوشه‌ای بر حسب 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

- 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] Yaylı-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 porfirytovej w khatun abad, w północno-zachodniej części iran. *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

[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.

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

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

S. Abbaszadeh^{1*}, A. Ansari², G. Rahimpour³

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

* Corresponding Author: Abbaszadeh115@yahoo.com

(Received: February 2015, Accepted: March 2016)

<i>Keywords</i>	<i>English Extended Abstract</i>
<p>Potassic Alteration Argillic Alteration Propylitic Alteration Multivariate Analysis</p>	<p>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 lithochemical 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.</p>

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 lithochemical 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 argillic alteration, respectively.

Cite this paper:

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