

بررسی رفتار سرب نسبت به روی و آهن در کانسار مس پورفیری پرکام، شهر بابک، کرمان با استفاده از روش گروه بندی

سید سعید قنادپور¹، اردشیر هزارخانی^{2*}

1- دانشجوی دکترای اکتشاف، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

2-استاد دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

پذیرش مقاله: 1392/2/22

تأیید نهایی مقاله: 1392/10/19

چکیده

در مقاله پیش رو با به کارگیری روش K-Means برای کلاس بندی گمانه های حفاری شده در کانسار پرکام، تحت سه مقدار عیار عناصر سرب، روی و آهن مقدار بهینه K در هر مورد محاسبه شده و سپس به کلاس بندی داده های مذکور، و تجزیه و تحلیل رفتار آنها نسبت به یکدیگر پرداخته شده است. در این پژوهش به منظور مشخص نمودن مقدار مناسب K جهت تعیین تعداد کلاس ها، از معیار مناسبی استفاده گردیده که با توجه به آن تعداد کلاس ها از K=3 الی K=10 تغییر داده می شوند و سپس به کمک معیار مذکور گروه بندی های حاصل شده مورد تحلیل قرار می گیرند تا K بهینه انتخاب شود. به استناد نتایج حاصل شده، خوشه بندی با تعداد K=3 در مورد سرب و روی و K=4 در مورد سرب و آهن، نسبت به تعداد کلاس های دیگر در هر مورد، مناسب تر بوده و با توجه به کلاس بندی صورت گرفته با موارد فوق الذکر، مشاهده گردیده است که با افزایش عیار عنصر سرب، عیار عنصر روی نیز افزایش یافته و درصد عنصر آهن در ابتدا افزایش و سپس کاهش می یابد. بنابراین می توان با استفاده از روش پیشنهادی فوق به بررسی میزان تغییرات عناصری چون مس و یا سرب با دیگر عناصر موجود در آنالیزهای انجام شده پرداخت که خود می تواند دیدگاه بسیار مناسبی را پیش روی تصمیم گیران این صنعت ایجاد نماید.

واژه های کلیدی: K-Means، کلاس بندی، سرب، روی، آهن، پرکام.

مقدمه

با توجه به فرار گرفتن نواحی میدوک و پرکام در کمربند کرمان (به طول 500 کیلومتر و حاوی 35 کانسار پورفیری) و وجود منابع غنی مس در این منطقه (شرکت مهندسين مشاور کان ایران، 1388)، ضرورت یافتن اطلاعات دقیقی چون تعیین مشخصات آماری مانند میانگین و واریانس و به خصوص تعیین ارتباط و چگونگی رفتار عناصر مس، مولیبدن، سرب، روی و آهن نسبت به یکدیگر در گمانه‌های حفاری شده در این محدوده برای تخمین عیار و تعیین امید بخش بودن منطقه، اهمیت می‌یابد (مطالعه و تعیین مشخصات آماری در مورد این چهار عنصر محدوده پرکام در مطالعات (قنادپور و هزارخانی، 2012؛ قنادپور و همکاران، 2013؛ قنادپور، 1392 و قنادپور و همکاران، 1391) صورت گرفته است). زیرا علاوه بر مس و مولیبدن که دو عنصر اصلی و مهم کانسارهای مس پورفیری به حساب می‌آیند، عناصر سرب، روی و آهن نیز عناصر بسیاری مهمی در تعیین وسعت و گسترش هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه محسوب می‌شوند و حتی در بعضی از موارد دیده شده است که تا حد کانسار نیز افزایش یافته‌اند (کریم‌پور و همکاران، 1387) لذا برای اینکه بتوانیم برآورد دقیق‌تری از پیدایش و وسعت هاله‌های ژئوشیمیایی کانسارهای مس پورفیری به کمک عناصر مذکور داشته باشیم، یافتن ارتباط و چگونگی رفتار این عناصر نسبت به یکدیگر می‌بایست مورد بررسی قرار گیرند. بدین منظور در تحقیق حاضر برای تعیین رفتار برخی از عناصر مذکور، روش‌های موجود در علم داده‌کاوی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

یکی از دیدگاه‌های مهم در علم داده‌کاوی برای تحلیل و بررسی روی حجم زیادی از داده‌ها و نمونه‌ها با مشخصه‌های گوناگون، دیدگاه خوشه-

بندی می‌باشد که خود شامل روش‌های و تکنیک‌های مهمی (مانند مطالعاتی نظیر (اندربرگ، 1973 و دوايجر و کیتلر، 1982) در ادبیات موضوع است و تاکنون توسط پژوهشگران مختلف به کار گرفته شده است. شایان ذکر است که در این دیدگاه فرض می‌گردد که مجموعه M متشکل از m نمونه به صورت $\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ تعریف می‌گردد که هر نمونه x_i در آن به صورت یک برداری در مجموعه M تعریف می‌گردد و این بردار نشان‌دهنده مشخصه‌های متفاوت برای آن نمونه می‌باشد (نلسون و همکاران، 2012). فرض می‌گردد تصمیم بر آن است که این نمونه‌ها در K کلاس و یا دسته به صورت C_1, C_2 تا C_K دسته‌بندی گردند. لازم به ذکر است که برای این دسته‌بندی می‌بایست که یکسری فرضیات پایه‌ای رعایت گردند که این فرضیات به شرح روابط (1) الی (3) می‌باشند و در ادامه تحت عنوان شرایط توجیه‌پذیری رعایت می‌گردند (جان، 2012) و (یلگ و مر، 2000):

$$C_i \neq \emptyset, \text{ for } i=1, \dots, K \quad \text{رابطه 1}$$

$$C_i \cap C_j = \emptyset, \text{ for } i \neq j \quad \text{رابطه 2}$$

$$\bigcup_{i=1}^K C_i = M \quad \text{رابطه 3}$$

مطابق با روابط (1) الی (3) همان‌طور که مشاهده می‌گردد، فرض اول بیان‌گر این مطلب می‌باشد حتماً می‌بایست هر کدام از K دسته مورد نظر دارای عضو باشد و دسته تهی نباید وجود داشته باشد. همچنین در فرض دوم بیان شده است هر نمونه تنها می‌بایست که در یک دسته قرار گیرد و دسته‌ها دارای اشتراک نمونه‌ای نباشند. فرض سوم نیز بیان‌کننده این مطلب می‌باشد که تمام نمونه‌ها می‌بایست که در یک دسته قرار گیرند و نمونه بدون دسته‌ای وجود نداشته باشد. یکی از روش‌های معروف و در عین حال ساده خوشه‌بندی در داده‌کاوی، روش K-Means می‌باشد که به

نموده‌اند. به عنوان نمونه می‌توان از پژوهش‌های (کریشما و نرسیما، 1999)، (چیونگ، 2003) و (مورثی و چاهوری، 2003) نام برد که از جمله مهم‌ترین مطالعات در این حوزه به شمار می‌روند.

الگوریتم K-Means

همان‌طور که در گذشته نیز بیان گردید، یکی از روش‌های معروفی که در دیدگاه خوشه‌بندی مطرح می‌باشد، الگوریتم K-Means است. این روش با یک مقداری مشخص برای K (تعداد دسته‌ها) شروع کرده و سعی می‌نماید که مجموعه‌ای از یک نمونه‌های مشخص را در این K گروه دسته‌بندی نماید به طوری که فرضیات بیان شده در روابط (4) و (5) رعایت گردند (سها، 2013). همچنین لازم به ذکر است که معیار تخصیص هر نمونه به یک کلاس نیز در این روش حداقل مسافت اقلیدسی هر نمونه از نقطه میانی (مرکزی یا نماینده) هر کلاس یا دسته می‌باشد. مراحل مهمی که در این الگوریتم طی می‌گردد به طور خلاصه به شرح ذیل می‌باشد (جان، 2012) و (بی و ژانگ، 2013):

1. تشکیل K کلاس و یا دسته به صورت $\{C_1, C_2, \dots, C_K\}$ برای خوشه‌بندی m نمونه از مجموعه M.

2. محاسبه بردار z_j بر اساس رابطه (4) که نشان‌دهنده مرکز یا نماینده هر دسته C_j می‌باشد.

$$z_j = \frac{\sum_{x \in C_j} x}{\#C_j} \quad \text{for } j = 1, 2, \dots, K \quad (\text{رابطه 4})$$

در این رابطه، X نشان‌دهنده بردار یک نمونه‌ای است که در C_j عضو می‌باشد و $\#C_j$ نشان‌دهنده تعداد نمونه‌هایی می‌باشد که در کلاس C_j عضو می‌باشند. لازم به ذکر است که رابطه (4) برای محاسبه مرکز هر دسته در خلال حل استفاده می‌گردد و در شروع الگوریتم معمولاً به صورت

طور وسیعی توسط پژوهشگران مختلف مورد بررسی قرار گرفته است و در تلاش است که به خوشه‌بندی تعدادی نمونه با تعداد دسته مشخص (K) بپردازد، به نحوی که مجموع فواصل اقلیدسی هر یک از نمونه‌ها از مرکز دسته‌ای که به آن تخصیص یافته است، کمینه گردد. در مطالعات مختلفی دیده می‌شود که رفتار عناصر به روش‌های گوناگونی نسبت به یکدیگر سنجیده می‌شوند که می‌توان به عنوان مثال از مطالعات (منارد، 1995)، (لیلو و همکاران، 2012) و (ترکیان، 1999) نام برد. ولی در بررسی ادبیات موضوع نیز، مطالعات ارزشمند بی شماری یافت می‌شود که با کمک روش‌های کلاستریک به خصوص روش K-Means به کلاس‌بندی آنالیزهای موجود از یک برداشت و یا مطالعه پرداخته شده تا بتوان به کمک آن تحلیلی مناسبی از رفتار داده‌ها و آنالیزهای موجود نسبت به یکدیگر داشت. در این مورد می‌توان به تقسیم بندی عوارض زمین شناسی (یانگ و همکاران، 2012)، تقسیم بندی تأثیر پوشش گیاهی و بازیابی سلامتی آب در جنگل‌های ساحل مدیترانه (مرا و همکاران، 2012)، ارائه برنامه شناسایی الگوهای ژئوشیمیایی در مناطق معدنی به کمک روش K-Means (مشکانی و همکاران، 2011)، پیش‌گویی در مورد ارگانیک‌های کربن در سیستم‌های هوشمند با استفاده از مقایسه روش K-Means و روش هوشمند (اسفایندی و همکاران، 2012) و تعیین اثر پخش شونده‌گی گاز در محیط شهری با استفاده از آنالیز کلاستریک (ونگر و همکاران، 2012) با استفاده از روش K-Means اشاره نمود. همچنین پژوهش‌هایی نیز مشاهده می‌شود که به مطالعه روش K-Means با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته فراابتکاری پرداخته‌اند و جواب‌های بسیار خوبی را نیز تولید

(قربانی، 1381).

ذخیره پورفیری پرکام واقع در 2 کیلومتری معدن مس پورفیری میدوک در نقشه‌های زمین شناسی 1:250000 انار و 1:100000 شهر بابک قرار دارد. این محدوده بخشی از زون ارومیه - دختر (سهند - بزمان) است (شکل 1). واحدهای سنگی در برگزیده در محدوده مورد مطالعه عمدتاً شامل کمپلکس رسوبی - آتشفشانی ائوسن می‌باشد که میزبان توده‌های ساب ولکانیک و کانی سازی پورفیری است. در این ناحیه مجموعه سنگ‌های آتشفشانی، توف و پیروکلاستیک دارای ترکیب آندزیت بازالت و آندزیت هستند که گاه لایه بندی دارند. توده‌های نفوذی ساب ولکانیک منطقه شامل دیوریت و میکروکوارتز دیوریت پورفیری می‌باشد (شکل 2) که با سیستم دگرسانی و کانی سازی ارتباط نشان می‌دهند (کاظمی، 1389). این واحدهای سنگی توسط دایک‌هایی از نوع دیوریت قطع شده‌اند. دگرسانی در محدوده پرکام نسبتاً شدید است و حاوی پتاسیک، فیلیک، آرژیلیک و پروپلیتیک می‌باشد. واحدهای زمین شناسی موجود در این محدوده به شرح زیراند:

تصادفی K نمونه انتخاب می‌گردند و به عنوان مرکز هر دسته در نظر گرفته می‌شوند.

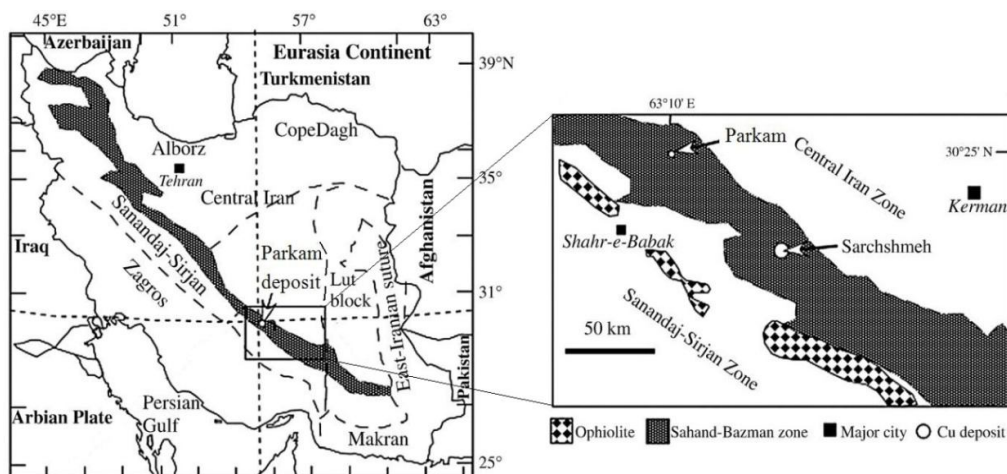
3. محاسبه تابع هدف ناشی از دسته‌بندی $\{C_1, C_2, \dots, C_K\}$ بر اساس رابطه (5) که به محاسبه مجموع فواصل نمونه‌ها از مرکز دسته‌ها می‌پردازد.

4. کمینه نمودن تابع هدف رابطه (5) و یافتن دسته‌بندی مناسب روی مجموعه M با تعداد دسته K.

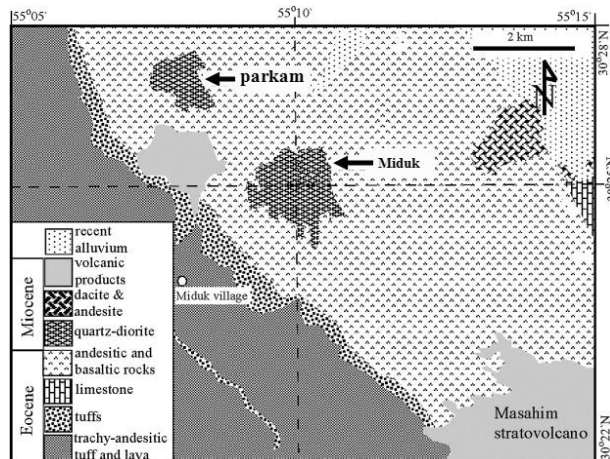
$$\text{رابطه 5} \quad f(C_1, C_2, \dots, C_K) = \sum_{j=1}^K \sum_{x \in C_j} \|x - z_j\|^2$$

معرفی و زمین شناسی محدوده پرکام

سیستم پورفیری پرکام (سارا) با مختصات جغرافیایی $54^{\circ} 8' 55''$ طول شرقی و $24' 26''$ عرض شمالی در 50 کیلومتری شمال شهر بابک و در کمربند فلز زایی کرمان قرار دارد. کمربند کرمان که بخش جنوبی ایالت فلز زایی ارومیه - دختر (سهند - بزمان) را تشکیل می‌دهد غنی‌ترین کمربند مس در ایران به شمار می‌رود. در این کمربند با طول حدود 450 کیلومتر و پهنای حدود 80 کیلومتر بیش از 200 کانسار و نشانه معدنی شناخته شده است که مقداری از آنها از جمله ذخیره پرکام از نوع پورفیری است



شکل 1: نقشه زون‌های لیتوتکتونیک ایران. موقعیت نهشته پورفیری پرکام، نهشته عظیم سرچشمه و شهر بابک بزرگ نمای شده است. بخش هاشور خورده نوار سهند - بزمان را نشان می‌دهد (بربریان و کینگ، 1981).



شکل 2: نقشه زمین شناسی ناحیه‌ای شهر بابک (ساریک و همکاران، 1971).

درون سنگ‌های ولکانیکی ائوسن رخنمون دارند (شرکت مهندسی مشاور کان ایران، 1388).

ائوسن فوقانی

ائوسن فوقانی شامل ولکانیک‌های ائوسن می‌باشد که به ترتیب سن عبارتند از (شرکت مهندسی مشاور کان ایران، 1388):

الف) سنگ‌های آندزیت بازالتی به ضخامت چند صد متر ب) توف‌های قرمز و رسوبات توفی با 60 متر ضخامت ج) یک افق با سنگ‌های آندزیت تراکیتی و بازالت تراکیتی د) توف و ماسه سنگ توفی با ضخامت 70 متر که یک متر آهک در پایین و 10 متر ایگنمبریت در بالا برای شناسایی وجود دارد ه) سنگ‌های آندزیت تراکیتی و بازالت تراکیتی و گدازه بازالتی و آگلومراها و) سنگ‌های بافت پورفیری که متشکل از فنوکریست‌های پلاژیوکلاز، کلینو پیروکسن و الیوین با ماتریکس پلاژیوکلاز، پیروکسن، فلدسپار و میکرولیت می‌باشد. در قسمت‌های شمال و خاور چهارگوش یک صد هزارم شهر بابک واحد بزرگی از ولکانیک‌های ائوسن مشاهده می‌شود. همین‌طور در بخش‌های شمال باختری کوه‌های مساحیم ولکانیک‌های ائوسن از جنس آندزیت - بازالت، بازالت تراکیتی و آندزیت تراکیتی و گدازه آتشفشانی و پورفیری

کرتاسه

از سری رخنمون‌های کرتاسه موجود در این برکه آمیزه‌های رنگی است که به صورت مجموعه سنگ‌های سرپانتینیت تا گابرو در قسمت باختر نقشه رخنمون یافته است. این برون زدهای بسیار کوچک قدیمی‌ترین سنگ‌های موجود در منطقه هستند (شرکت مهندسی مشاور کان ایران، 1388).

ائوسن تحتانی

به طور کلی ائوسن تحتانی به ترتیب از قدیم به جدید شامل واحد رسوبات فلیشی، کنگلومرای، ماسه سنگ قرمز، آهک و مارن می‌باشد. قدیمی‌ترین واحد سنگی ائوسن رسوبات فلیشی است که بخشی از شمال چهارگوش شهر بابک و کوه مساحیم را شامل می‌شود. روی زمین رسوبات فلیشی از افق‌های بالایی و پایینی تشکیل شده‌اند که بر روی نقشه 1:100000 این واحدها به خوبی تفکیک نشده‌اند. در بخش‌های جنوبی این رسوبات فلیشی توسط دایک‌ها قطع شده‌اند. البته واحدهای کنگلومرای ائوسن نیز در درون این رسوبات فلیشی برون زد دارند. همین‌طور مارن و آهک‌های ائوسن نیز در بخش‌های خاور منطقه در

قرار گرفته‌اند (شرکت مهندسی مشاور کان ایران، 1388).

نئوژن تحتانی

نئوژن تحتانی شامل دو بخش لایه‌های قرمز ماسه سنگی و آگلومراهای آندزیتی است. لایه‌های ماسه سنگ در بخش بسیار کوچکی در ناحیه شمال باختری منطقه مشاهده می‌شوند و آگلومراهای آندزیتی که جوان تر از ولکانیک‌های ائوسن می‌باشند نیز در بخشی از منطقه برون زد دارند. این واحدها نیز در ناحیه شمال باختری منطقه در کنار ولکانیک‌های ائوسن بخش کوچکی را به خود اختصاص داده‌اند (شرکت مهندسی مشاور کان ایران، 1388).

نئوژن میانی

نئوژن میانی شامل ولکانیک‌های نئوژن می‌باشد. کوه مساحیم که در قسمت میانی منطقه با وسعت زیاد قرار گرفته است تماماً متشکل از ولکانیک‌های نئوژن می‌باشد و تعدادی مخروط‌های پیروکلاستیک در بخش‌های شمالی آن مشاهده می‌شوند (شرکت مهندسی مشاور کان ایران، 1388).

الف) سکانس ولکانیک‌های نئوژن با پیروکلاستیک‌ها شروع می‌شود که به صورت چین‌های قرار می‌گیرند و شامل سنگ‌های داسیت، هورنبلند داسیتوئید با بیوتیت و اوژیت و آندزیت می‌باشند. این پیروکلاست‌ها در کنگلومرا و ماسه سنگ‌های ولکانیکی کوه مساحیم به صورت رخنمون‌های پراکنده مخروطی مشاهده می‌شوند. ب) کنگلومراها و ماسه‌سنگ‌های ولکانیکی که بر روی پیروکلاستیک‌ها قرار می‌گیرند و بخش‌های وسیعی را شامل می‌شوند. ج) هورنبلند آندزیت با 20 متر ضخامت.

نئوژن فوقانی

نئوژن فوقانی شامل سنگ‌های دگرسان شده، دیوریت و کنگلومراها می‌باشد. بخش بزرگی از سنگ‌های دگرسان شده از ولکانیک‌های کالدرای کوه مساحیم تشکیل شده است. کانی‌های سولفیدی همراه سنگ‌های دگرسان شده وجود دارند و سنگ‌های دگرسان ناحیه میدوک همراه با ولکانیک‌های نئوژن به وجود آمده‌اند. واحدهای کنگلومرای نئوژن فوقانی نیز در دو قسمت کوچک در باختر منطقه شهر بابک مشاهده می‌شوند (شرکت مهندسی مشاور کان ایران، 1388).

کواترنری

در بخش شمالی شهر بابک دشت بزرگی از نهشته‌های کواترنری و پادگانه‌ها تشکیل شده است و پوششی از ماسه سنگ و مخروط افکنه‌ها نیز مشاهده می‌شود که به ترتیب از قدیم به جدید عبارتند از (شرکت مهندسی مشاور کان ایران، 1388):

الف) دشت، مخروط‌های گراولی قدیمی ب) دشت، مخروط‌های گراولی جدید ج) دشت، آبرفت تازه د) مخروط واریزه‌ای ه) زمین‌های ماسه‌ای.

مطالعه موردی

در این بخش به کارگیری روش خوشه بندی K-Means در حل یک مطالعه موردی واقعی درخصوص نمونه برداری از مغزه‌های حاصل از حفاری‌های غیر سیستماتیک در محدوده پرکام مورد بررسی قرار می‌گیرد. حفاری‌ها توسط صنایع ملی مس ایران صورت گرفته است و روش تجزیه شیمیایی عناصر، فلور سانس پرتو ایکس (XRF) می‌باشد. در طی این تجزیه شیمیایی، تعداد 1260 نمونه مورد آنالیز قرار گرفته که مقدار سه عنصر روی، سرب و مولیبدن بر حسب ppm و مقدار دو عنصر آهن و مس بر حسب درصد در مورد هر

گمانه گزارش شده است (قنادپور و هزارخانی، 2012).

بررسی میزان تغییرات مقدار عناصر اندازه گیری شده در هر متر از هر گمانه می‌تواند دیدگاه بسیار مناسبی را پیش روی تصمیم گیران این صنعت ایجاد نماید. هر متر حفاری صورت گرفته در هر گمانه در عملیات اکتشاف و حفاری که در این پژوهش به عنوان یک بردار نمونه (X) در مجموعه حفاری‌های شرکت ملی مس که متشکل از چند ده هزار متر حفاری در نظر گرفته شده است، به صورت یک برداری با شاخصه‌هایی نظیر مقدار عیار عنصر روی، عیار عنصر سرب، عیار عنصر مولیبدن، درصد آهن و درصد عنصر مس می‌باشد که تحلیل بر اساس هر کدام می‌تواند دیدگاه مناسبی را برای تصمیم‌گیری ایجاد نماید. به عنوان مثال کلاس‌بندی‌هایی که می‌تواند برای تصمیم گیران این صنعت مفید واقع شود، در ذیل به دست آمد:

• بررسی درصد عنصر مس با عیار عنصر روی

• بررسی درصد عنصر مس با عیار عنصر مولیبدن

- بررسی عیار عنصر مولیبدن با درصد آهن
- بررسی عیار عنصر مس و عیار عنصر سرب
- و غیره

در این قسمت به عنوان نمونه بررسی، عیار عنصر سرب با عیار عنصر روی و عنصر آهن که عناصر بسیاری مهمی در تعیین وسعت و گسترش هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه محسوب می‌شوند، برای خوشه‌بندی جهت آنالیز و تحلیل رفتاری در نظر گرفته شده‌اند.

در این پژوهش به منظور تعیین K مناسب جهت تعیین تعداد کلاس‌ها، تعداد دسته‌ها از $K=3$ الی $K=10$ تغییر داده شده است و گروه‌بندی‌های حاصل شده مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. به منظور ارزیابی گروه‌های تعیین شده به ازای مقادیر مختلف K، رابطه مطلوبیتی مطابق با رابطه (6) تعیین گردیده است که بر اساس آن دسته‌بندی‌های انجام شده مورد سنجش قرار می‌گیرد (یقینی و همکاران، 1387).

$$S(i) = \frac{\text{Min}(AVEG_BETWEEN(i,k)) - AVEG_WITHIN(i)}{\text{Max}\{AVEG_WITHIN(i), \text{Min}(AVEG_BETWEEN(i,k))\}} \quad \text{رابطه (6)}$$

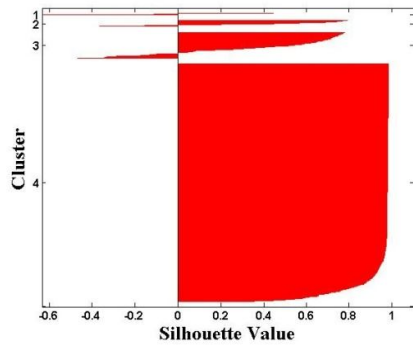
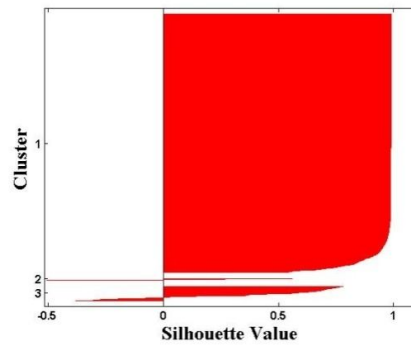
قرار گرفته است. عدد صفر به این معنا می‌باشد که حضور نمونه مورد نظر در دسته فعلی و یا دسته دیگری دارای اهمیت چندانی نمی‌باشد و عدد (+1) نیز بیان کننده دسته‌بندی مناسب است. بنابراین برای هر نمونه مقدار رابطه (6) محاسبه می‌گردد و سپس با محاسبه میانگین اعداد حاصل شده تحت عنوان میانگین مطلوبیت دسته‌بندی انجام شده، به تحلیل نتایج پرداخته می‌شود.

بررسی رفتار سرب نسبت به روی

نمودار شکل 3 نیم‌رخ کلاس‌ها و میزان مطلوبیت هر نمونه را به ازای دسته‌بندی بهینه انجام شده با $K=3$ و $K=4$ در مورد دو عنصر سرب و روی نشان می‌دهد.

در رابطه (6)، $S(i)$ بیان کننده میزان مطلوبیت نمونه i ام در کلاس مورد نظر خودش، پارامتر $AVEG_WITHIN(i)$ نشان‌دهنده میانگین فاصله نمونه i ام از سایر نمونه‌های دیگر در آن کلاسی است که خود نمونه i ام وجود دارد و پارامتر $AVEG_BETWEEN(i,k)$ بیان‌کننده میانگین فاصله نمونه i ام از سایر نمونه‌هایی می‌باشد که در دسته دیگری مانند K قرار دارند (یقینی و همکاران، 1387).

مطابق با رابطه (6)، میزان مطلوبیت هر نمونه در یک کلاس مورد نظر می‌تواند بین (-1) تا (+1) تغییر نماید. که عدد (-1) بیان کننده این می‌باشد که نمونه مورد نظر در دسته بندی نامناسب

دسته‌بندی با $K=4$ با مقدار متوسط $0/8759$ دسته‌بندی با $K=3$ با مقدار متوسط $0/9283$

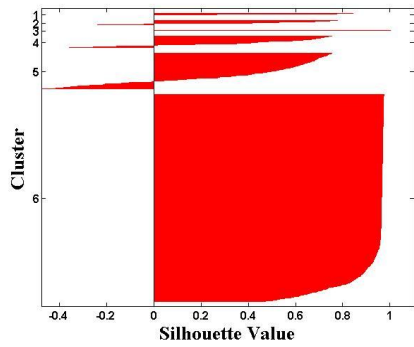
شکل 3: نیم‌رخ کلاس‌ها و مقادیر مطلوبیت برای دسته‌بندی با $K=3$ و $K=4$ مربوط به دو عنصر سرب و روی.

مشاهده گردید، دسته‌بندی روی نمونه‌های تعریف شده با مشخصه‌های عیار عنصر سرب و مقدار عیار روی به ازای $K=3$ دارای بهترین دسته‌بندی می‌باشد. مراکز دسته‌های تعیین شده به ازای $K=3$ به صورت نمودار شکل 5 می‌باشد و همچنین میزان مطلوبیت آن نیز که از سایر دسته‌بندی‌ها مناسب‌تر می‌باشد در نمودار شکل 5 نمایش داده شده است.

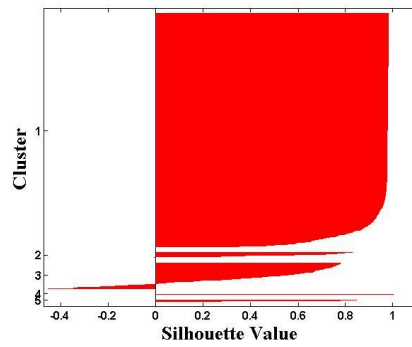
بر اساس این دسته‌بندی که در شکل 5 به وضوح مشخص می‌باشد، در گمانه‌های حفاری شده توسط شرکت ملی مس در محدوده پرکام، به ازای افزایش عیار عنصر سرب، عیار عنصر روی نیز افزایش می‌یابد و روند این افزایش به شکل خطی می‌باشد. معادله خط برازش شده به صورت $y = 2.558x \pm 120.97$ و ضریب همبستگی آن نیز برابر با $R^2 = 0.9984$ گزارش شده است.

خط برازش شده به مرکز دسته بندی‌های صورت گرفته در مورد دو عنصر سرب و روی، در شکل 6 نمایش داده شده است.

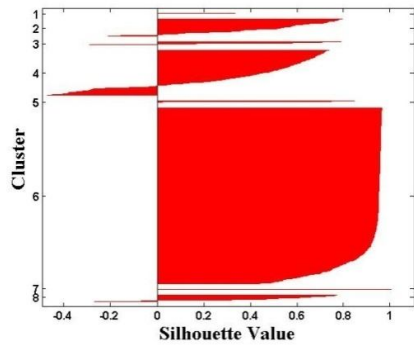
مطابق با این نمودار همان‌طور که مشاهده می‌شود، به ازای $K=3$ ، دسته اول و دوم دارای مقادیر مناسبی می‌باشند و در دسته‌بندی انجام شده برای دسته دوم مقادیر منفی تقریباً کمی در آن دیده می‌شود. همچنین همان‌طور که در شکل نیز بیان گردیده است مقدار متوسط مطلوبیت در این دسته بندی برابر با $0/9283$ است. به همین صورت نمودار شکل 3 (سمت چپ) میزان مطلوبیت نمونه‌ها را به ازای $K=4$ نشان می‌دهد و همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر منفی نیز در این دسته‌بندی نیز دیده می‌شود. با توجه به شکل، مقدار میانگین مطلوبیت در دسته‌بندی با $K=4$ برابر است $0/8759$ که بیان کننده برتری دسته‌بندی نمونه‌ها با $K=3$ نسبت به $K=4$ می‌باشد. به همین صورت این عمل برای $K=5$ الی $K=10$ نیز صورت گرفته است که نتایج حاصل از آن در نمودار 4 نشان داده شده است. در نتیجه بر اساس نتایج حاصل شده به ازای مقادیر متفاوت برای K از 3 الی 10، همان‌طور که



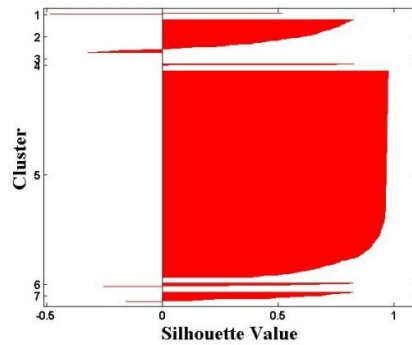
دسته‌بندی با K=6 با مقدار متوسط 0/8142



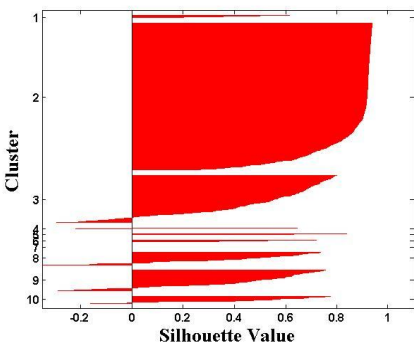
دسته‌بندی با K=5 با مقدار متوسط 0/8829



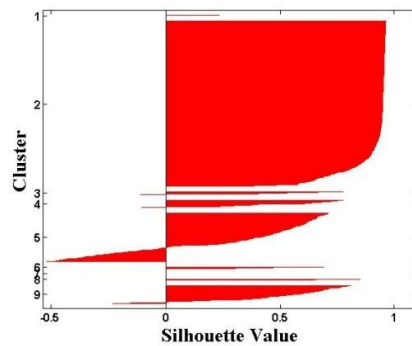
دسته‌بندی با K=8 با مقدار متوسط 0/7657



دسته‌بندی با K=7 با مقدار متوسط 0/8373

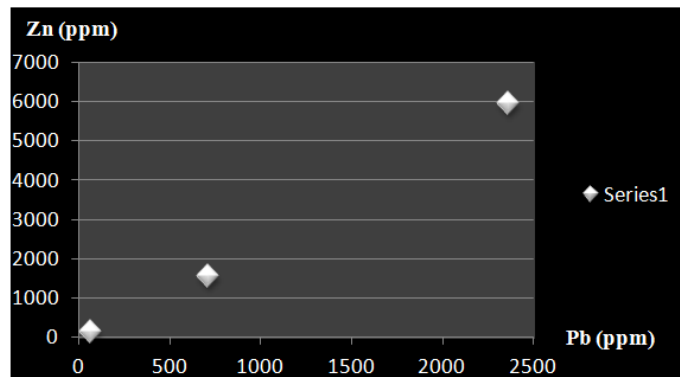


دسته‌بندی با K=10 با مقدار متوسط 0/7105

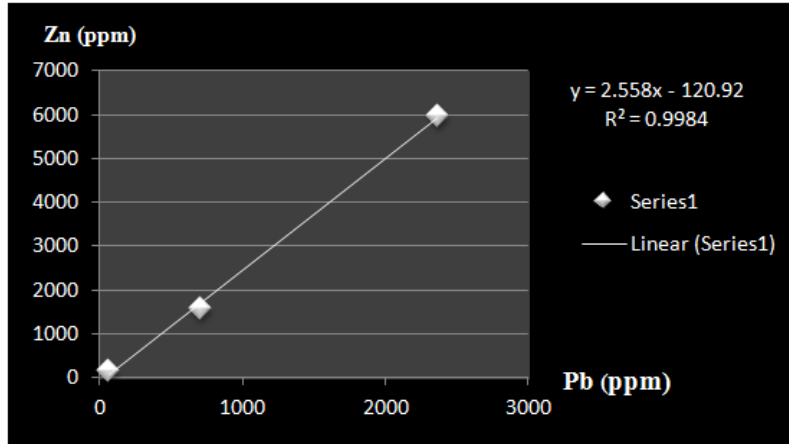


دسته‌بندی با K=9 با مقدار متوسط 0/7226

شکل 4: نیم‌رخ کلاس‌ها و مقادیر مطلوبیت برای دسته‌بندی با K=5 تا K=10 مربوط به دو عنصر سرب و روی.



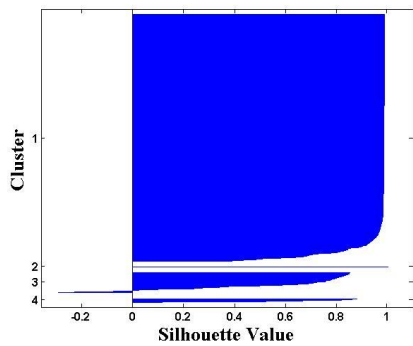
شکل 5: نمایش مراکز دسته‌ها به ازای K=3 در مورد دو عنصر سرب و روی.



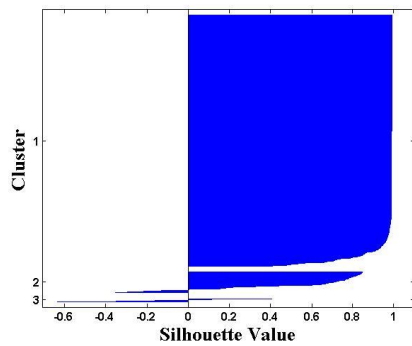
شکل 6: خط برازش شده به مرکز دسته‌ها در مورد دو عنصر سرب و روی.

بهینه انجام شده برای مقادیر $K=3$ الی $K=10$ در مورد دو عنصر سرب و آهن نشان می‌دهد.

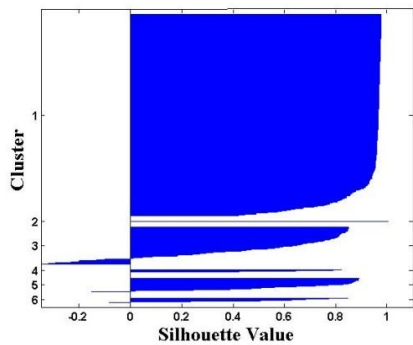
بررسی رفتار سرب نسبت به آهن نمودارهای موجود در شکل 7 نیم‌رخ کلاس‌ها و میزان مطلوبیت هر نمونه را به ازای دسته‌بندی



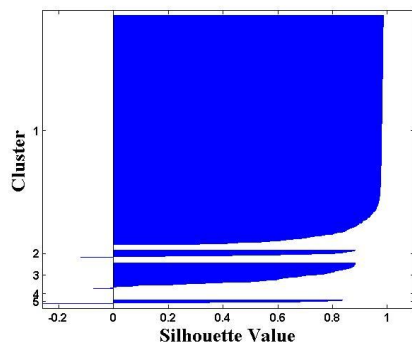
دسته‌بندی با $K=4$ با مقدار متوسط 0/9296



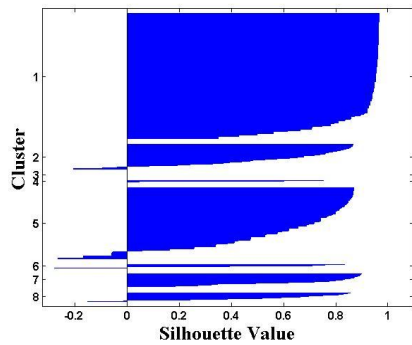
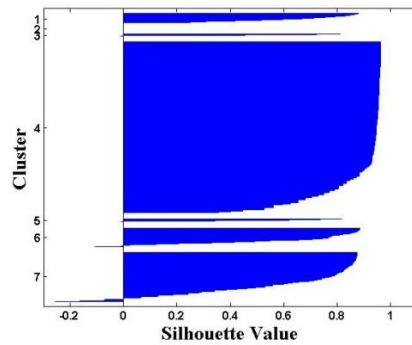
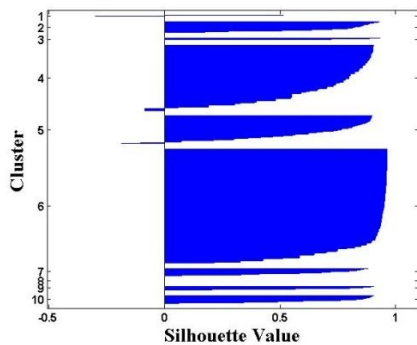
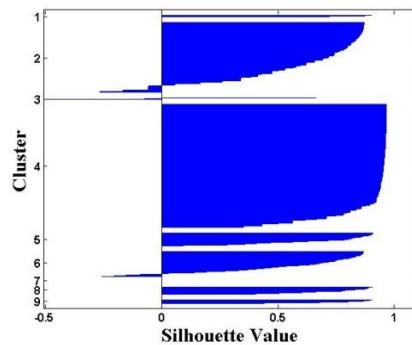
دسته‌بندی با $K=3$ با مقدار متوسط 0/9167



دسته‌بندی با $K=6$ با مقدار متوسط 0/8394



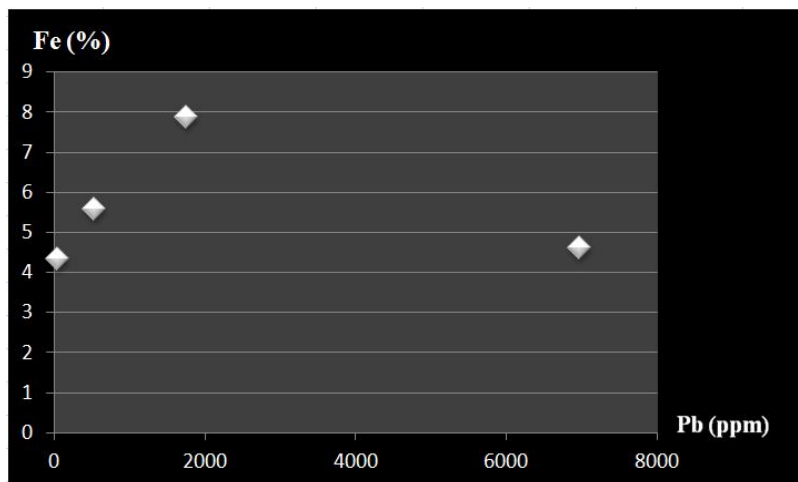
دسته‌بندی با $K=5$ با مقدار متوسط 0/9042

دسته‌بندی با $K=8$ با مقدار متوسط 0/7395دسته‌بندی با $K=7$ با مقدار متوسط 0/7966دسته‌بندی با $K=10$ با مقدار متوسط 0/7772دسته‌بندی با $K=9$ با مقدار متوسط 0/7491

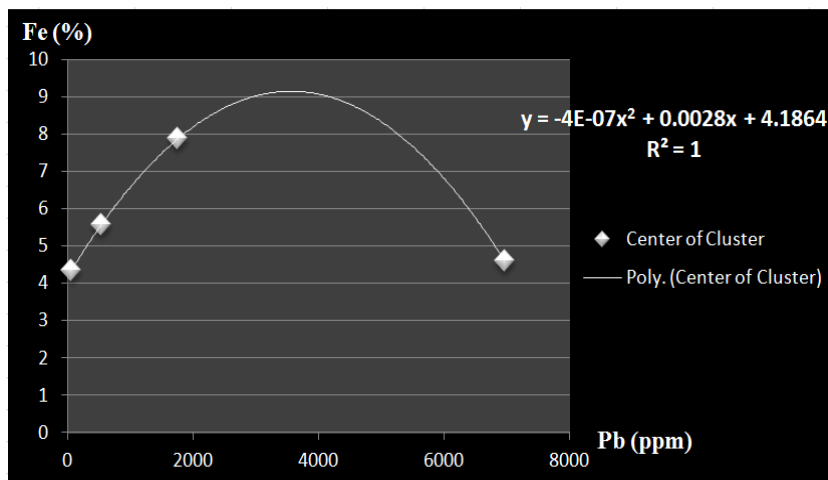
شکل 7: نیم‌رخ کلاس‌ها و مقادیر مطلوبیت برای دسته‌بندی با $K=3$ تا $K=10$ مربوط به دو عنصر سرب و آهن. در نتیجه بر اساس نتایج حاصل شده به ازای مقادیر متفاوت برای K از 3 الی 10، همان‌طور که مشاهده گردید، دسته‌بندی روی نمونه‌های تعریف شده با مشخصه‌های عیار عنصر سرب و درصد

عنصر آهن به ازای $K=4$ دارای بهترین دسته‌بندی می‌باشد. مراکز دسته‌های تعیین شده به ازای $K=4$ به صورت نمودار شکل 8 می‌باشد.

در نتیجه بر اساس نتایج حاصل شده به ازای مقادیر متفاوت برای K از 3 الی 10، همان‌طور که مشاهده گردید، دسته‌بندی روی نمونه‌های تعریف شده با مشخصه‌های عیار عنصر سرب و درصد

شکل 8: نمایش مراکز دسته‌ها به ازای $K=4$ در مورد دو عنصر مس و آهن.

می‌باشد. معادله منحنی مذکور به صورت $y = -4 \times 10^{-7}x^2 - 0.0028x + 4.1864$ و ضریب همبستگی آن برابر با $R^2 = 1$ گزارش شده است. شکل شماره (9) منحنی برازش شده به مرکز دسته بندی‌های صورت گرفته در مورد دو عنصر سرب و آهن را نشان می‌دهد.



شکل 9: منحنی برازش شده به مرکز دسته‌ها در مورد دو عنصر سرب و آهن.

کلاس‌بندی در مورد این دو عنصر به کمک معیار معرفی شده، 0/9296 بدست آمده است. با افزایش عیار عنصر سرب در منطقه، عیار عنصر روی نیز افزایش می‌یابد، روند این افزایش به صورت خطی بوده و معادله منحنی برازش شده به آن به صورت $y = 2.558x \pm 120.97$ می‌باشد. ضریب همبستگی معادله برازش شده به مرکز دسته‌ها نیز برابر با $R^2 = 0.9984$ است.

- در مورد سرب و آهن، برای مقادیر متفاوت K از 3 الی 10، خوشه‌بندی با تعداد $K=4$ نسبت به مابقی مناسب‌تر بوده و بهترین میزان مطلوبیت کلاس‌بندی در مورد این دو عنصر به کمک معیار معرفی شده، 0/9283 به دست آمده است.

- با افزایش عیار عنصر سرب در منطقه، عیار عنصر آهن در ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. با توجه به این افزایش و کاهش تغییرات آهن

بر اساس این دسته‌بندی که در شکل (8) به وضوح مشخص می‌باشد، در گمانه‌های حفاری شده توسط شرکت ملی مس در محدوده پرکام، به ازای افزایش عیار عنصر سرب، درصد عنصر آهن در ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. با توجه به این افزایش و کاهش، بهترین منحنی برازش شده به آن، منحنی درجه 2 با تععر منفی

نتیجه‌گیری

همان طور که ملاحظه گردید در تحقیق حاضر به کلاس‌بندی داده‌های موجود از آنالیز حاصل از حفاری‌های انجام شده در محدوده پرکام پرداخته شد. در روش K-Means، K می‌بایست صحیح انتخاب شود و سپس کلاس‌بندی داده‌ها صورت پذیرد، لذا در این پژوهش به منظور تعیین مقدار مناسب برای دسته‌ها (K) که یکی از مشکلات روش K-Means به حساب می‌آید، از معیار مناسبی استفاده گردید و با استفاده از آن به تحلیل نتایج پرداخته شد. و پس از تحلیل‌ها و بررسی‌های مختلف نتایج زیر حاصل گردیده است:

- در مورد سرب و روی، برای مقادیر متفاوت K از 3 الی 10، خوشه‌بندی با تعداد $K=3$ نسبت به مابقی مناسب‌تر بوده و بهترین میزان مطلوبیت

$y = -4 \times 10^7 x^2 - 0.0028x + 4.1864$ می-باشد. ضریب همبستگی معادله برازش شده به مرکز دسته‌ها نیز برابر با $R^2 = 1$ است.

دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان.

- کاظمی مهرنیا، ا.، 1389. شناخت خصوصیات پوشش شسته شده و تکامل غنی شدگی سوپرژن کانسارهای مس - مولیبدن پورفیری شمال باختری کمر بند کرمان، پایان نامه دکتری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ص 91 تا 96.

- کریم‌پور، م.ح.، ملک‌زاده، آ. و حیدریان، م.ر.، 1387. اکتشاف ذخایر معدنی (مدلهای زمین شناسی، ژئوشیمی، ماهواره‌ای و ژئوفیزیکی)، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ص 290 تا 296.

- یقینی، م.، قنادپور، س.ف. و خدمتلو، س.، 1387. ارائه یک روش ابتکاری خوشه‌بندی در داده‌کاوی با استفاده از الگوریتم ژنتیک و حل یک مطالعه موردی واقعی در صنعت حمل و نقل ریلی، کنفرانس داده‌کاوی ایران، دانشگاه امیرکبیر (پلی تکنیک تهران).

statistical specifications of Copper and molybdenum elements in Porphyry Copper ore deposit in kerman: International Mining Congress and Expo.

- Ghannadpour, S.S., Hezarkhani, A., and Sabetmobarhan, E., 2013. Some statistical analyses of Cu and Mo variates and geological interpretations for Parkam Porphyry Copper system, Kerman, Iran: Arabian Journal of Geosciences, doi: 10.1007/s12517-013-1096-x.

- Jain, A.K., 2012. Data clustering: 50 years beyond K-Means: Elsevier, Pattern Recognition Letters, v. 31, p. 651-666.

نسب به افزایش سرب، بهترین منحنی برازش شده به مرکز دسته‌ها در حالت درجه 2 با تععر منفی بوده است و معادله این منحنی به صورت

منابع

- شرکت مهندسی مشاور کان ایران، 1388. مطالعات زمین شناسی و آلتراسیون محدوده پرکام در مقیاس 1:5000، گزارش کار، ص 13 تا 25.

- قربانی، م.، 1381. زمین شناسی اقتصادی ذخایر معدنی و طبیعی ایران، انتشارات آرین زمین، تهران، ص 179 تا 181.

- قنادپور، س.س.، 1392. مطالعات ژئوشیمیایی کانسار مس پورفیری پرکام - کرمان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ص 139 تا 163.

- قنادپور، س.س.، هزارخانی، ا.، ماهوش، ن. و فرح بخش، ا.، 1391. بررسی و تعیین توزیع جوامع عیار عنصر روی در گمانه‌های اکتشافی محدوده پرکام، اولین همایش زمین شناسی فلات ایران،

- Anderberg, M.R., 1973. Cluster Analysis for Application: Academic Press, New York.

- Berberian, M., and King, G.C., 1981. Towards a Paleogeography and Tectonic Evolution of Iran: Can. J. Earth, Sci v. 18, p. 210-265.

- Cheung, Y.M., 2003. K-Means: A new generalized K-Means clustering algorithm: Pattern Recognition Letters, v. 24, p. 2883-2893.

- Devijver, P.A. and Kittler, J., 1982. Pattern Recognition: A Statistical Approach: Prentice-Hall International, Hemel Hemstead, Hertford Shire, UK.

- Ghannadpour, S.S., and Hezarkhani, A., 2012. Determine the initial

- Peleg, D., and Moore, A., 2000. Accelerating Exact K-Means Algorithm with Geometric Reasoning: (Technical report CMU-CS-00-105) Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA. Also available from <http://www.cs.cmu.edu/dpelleg/>.
- Saha, S., and Bandyopadhyay, S., 2013. A generalized automatic clustering algorithm in a multi objective framework: Elsevier, Applied Soft Computing, v. 13, p. 89-108.
- Saric, A., Diordjevic, M., and Dimitrijevic, M.N., 1971. Geological map of Shahre-e-Babak, 1:100,000 Series. Geological Survey of Iran: Tehran, Iran.
- Sfidari, E., Kadkhodaie-Ilkhchi, A., and Najjari, S., 2012. Comparison of intelligent and statistical clustering approaches to predicting total organic carbon using intelligent systems: Elsevier, Journal of Petroleum Science and Engineering, v. 86-87, p. 190-205.
- Tarkian, M., and Stribrny, B., 1999. Platinum-group elements in porphyry copper deposits: a reconnaissance study: Springer-Verlag, Mineralogy and Petrology, v. 65, p. 161-183.
- Wegner, T., Hussein, T., Hämeri, K., Vesala, T., Kulmala, M., and Weber, S., 2012. Properties of aerosol signature size distributions in the urban environment as derived by cluster analysis: Elsevier, Atmospheric Environment, v. 61, p. 350-360.
- Yang, J., Zhuang, Y., and Wu, F., 2012. ESVC- based extraction and segmentation of texture features: Elsevier, Computers and Geosciences, v. 49, p. 238-247.
- Yi, X., and Zhang, Y., 2013. Equally contributory privacy-preserving K-Means clustering over vertically partitioned data: Elsevier, Information Systems, v. 38, p. 97-107.
- Krishna, K., and Narasimha-Murty, M., 1999. Genetic K-Means Algorithm: IEEE Transactions on Systems, MAN, and Cybernetics – Part B: Cybernetics, v. 29, p. 433-439.
- Leiluo, X., Xianwu, B., Ruizhong, H., and Xingchun, Z., 2012. Relationships between porphyry Cu–Mo mineralization in the Jinshajiang–Red River metallogenic belt and tectonic activity: Constraints from zircon U–Pb and molybdenite Re–Os geochronology: Elsevier, Ore Geology Reviews, v. 48, p. 460–473.
- Menard, J.J., 1995. Relationship between altered pyroxene diorite and the magnetite mineralization in the Chilean Iron Belt, with emphasis on the El Algarrobo iron deposits (Atacama region, Chile): Springer-Verlag, Mineral. Deposita, v. 30, p. 268-274.
- Meshkani, S.A., Mehrabi, B., Yaghubpur, A., and Alghalandis, Y.F., 2011. The application of geochemical pattern recognition to regional prospecting: A case study of the Sanandaj–Sirjan metallogenic zone, Iran: Elsevier, Journal of Geochemical Exploration, v. 108, p. 183-195.
- Mora, J.L., Armas-Herrera, C.M., Guerra, J.A., Rodríguez-Rodríguez, A., and Arbelo, C.D., 2012. Factors affecting vegetation and soil recovery in the Mediterranean woodland of the Canary Islands (Spain): Elsevier, Journal of Arid Environments, v. 87, p. 58-66.
- Murthy, C.A., and Chowdhury, N., 1996. In Search of Optimal Clusters Using Genetic Algorithm: Pattern Recognition Letters, v. 17, p. 825-832.
- Nelson, P.A., Bellugi, D., and Dietrich, W.E., 2012. Delineation of river bed-surface patches by clustering high-resolution spatial grain size data: Elsevier, Geomorphology, v. 205, p. 109-115.