

بررسی چگونگی رفتار عنصر مس نسبت به عناصر مولیبدن، سرب و روی در کانسار مس پورفیری پرکام در استان

کرمان، با استفاده از روش *K-Means*

سید سعید قنادپور

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران

اردشیر هزارخانی

استاد دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

تاریخ پذیرش: ۹۲/۸/۱۵

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۲۳

ardehez@aut.ac.ir

چکیده

یکی از دیدگاه‌های مهم در علم داده کاوی برای تحلیل و بررسی روی حجم زیادی از داده‌ها و نمونه‌ها با مشخصه‌های گوناگون، دیدگاه خوشه‌بندی می‌باشد که خود شامل روش‌ها و تکنیک‌های مهمی همچون روش سلسله مراتبی، روش میانگین K ، روش‌های بر مبنای چگالی، روش کوهونن، و غیره در ادبیات موضوع است و تاکنون توسط پژوهشگران مختلف به کار گرفته شده است. یکی از معروف‌ترین الگوریتم‌های خوشه‌بندی، الگوریتم K میانگین (K -Means) است. این الگوریتم تلاش می‌کند که بر اساس یک معیار فاصله، داده‌ها را به K خوشه تقسیم کند. در مقاله پیش رو با بکارگیری روش K -Means برای کلاس بندی گمانه‌های حفاری شده در کانسار پرکام، تحت چهار مقدار عیار عناصر مس، مولیبدن، سرب و روی، مقدار بهینه K در هر مورد محاسبه شده و سپس به کلاس بندی داده‌های 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 کلاس‌ها، از معیار مناسبی استفاده گردیده که با توجه به آن تعداد کلاس‌ها از $K=3$ الی $K=10$ تغییر داده می‌شوند و سپس به کمک معیار مذکور گروه‌بندی‌های حاصل شده مورد تحلیل قرار می‌گیرند تا K بهینه انتخاب شود. به استناد نتایج حاصل شده، خوشه‌بندی با تعداد $K=3$ در مورد مس و مولیبدن، $K=4$ در مورد مس و سرب و همچنین خوشه بندی با مقدار $K=3$ در مورد مس و روی، نسبت به تعداد کلاس‌های دیگر در هر مورد، مناسب‌تر بوده و با توجه به کلاس بندی صورت گرفته با موارد فوق‌الذکر، مشاهده گردیده است که با افزایش عیار عنصر مس، عیار عنصر مولیبدن با شدت بیشتری افزایش می‌یابد، عیار عنصر سرب تا 0.16 کاهش شدید و سپس افزایش یافته و عیار عنصر روی نیز مانند سرب ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان با استفاده از روش پیشنهادی فوق به بررسی میزان تغییرات عنصر مس با دیگر عناصر موجود در آنالیزهای انجام شده پرداخت که خود می‌تواند دیدگاه بسیار مناسبی را پیش روی تصمیم گیران این صنعت ایجاد نماید. بنابر این علاوه بر کاربرد وسیع در اکتشاف معادن مس، می‌تواند امکان پیش‌بینی رفتار کانه‌های فلزی در حین فرآیندهای فرآوری مانند تعیین درجه آزادی و پیش‌بینی بهترین سایز را نیز فراهم می‌نماید.

کلمات کلیدی: پرکام، K -Means، مس، مولیبدن، سرب، روی.

مقدمه

افزایش یافته‌اند (عرفانی، ۱۳۷۴؛ شهاب‌پور، ۱۳۸۰). لذا برای اینکه بتوانیم برآورد دقیق‌تری از پیدایش و وسعت هاله‌های زمین شیمیایی 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 عناصر مذکور، روش‌های موجود در علم داده کاوی 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 خوشه‌بندی می‌باشد که خود شامل روش‌های و تکنیک‌های مهمی (مانند Anderberg, 1973 و Devijver and Kittler, 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 مجموعه‌ی M متشکل از m نمونه به صورت $\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$

تعریف می‌گردد که هر نمونه‌ی x_i در آن به صورت یک برداری در مجموعه‌ی M تعریف می‌گردد و این بردار نشان‌دهنده‌ی مشخصه‌های متفاوت برای آن نمونه

با توجه به قرار گرفتن نواحی میدوک و پرکام در کمربند آتشفشانی - نفوذی کرمان (به طول ۵۰۰ کیلومتر و حاوی ۳۵ کانسار پورفیری) و وجود منابع غنی مس در این منطقه (شرکت مهندسی مشاور کان‌ایران، ۱۳۸۸)، ضرورت یافتن اطلاعات دقیقی چون تعیین مشخصات آماری مانند میانگین و واریانس و به خصوص تعیین ارتباط و چگونگی رفتار عناصر مس، مولیبدن، سرب و روی 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، ۱۳۹۱)، (Ghannadpour et al, 2012) و (قنادپور و هزارخانی، ۱۳۹۰) صورت گرفته است))، زیرا علاوه بر مس و مولیبدن که دو عنصر اصلی و مهم کانسارهای مس پورفیری به حساب می‌آیند، عناصر سرب و روی نیز عناصر بسیاری مهمی در تعیین وسعت و گسترش هاله‌های زمین شیمیایی اولیه محسوب می‌شوند (حسنی پاک، ۱۳۹۰) و حتی در بعضی از موارد دیده شده است که تا حد کانسار نیز

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 (۴) و (۵) رعایت گردند (Saha and Bandyopadhyay, 2013). همچنین لازم به ذکر است که معیار تخصیص هر نمونه به یک کلاس نیز در این روش حداقل مسافت اقلیدسی هر نمونه از نقطه‌ی میانی (مرکزی یا نماینده) هر کلاس یا دسته می‌باشد. مراحل مهمی که در این الگوریتم طی می‌گردد به طور خلاصه به شرح ذیل می‌باشد (Jain, 2012) و (Yi and zhang, 2013):

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

۲. محاسبه‌ی بردار z_j بر اساس رابطه‌ی (۴) که نشان‌دهنده‌ی مرکز یا نماینده‌ی هر دسته‌ی C_j می‌باشد.

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

در این رابطه، x نشان‌دهنده‌ی بردار یک نمونه‌ای است که در C_j عضو می‌باشد و $\#C_j$ نشان‌دهنده‌ی تعداد نمونه‌هایی می‌باشد که در کلاس C_j عضو می‌باشند. لازم به ذکر است که رابطه‌ی (۴) برای محاسبه‌ی مرکز هر دسته در خلال حل استفاده می‌گردد و در شروع الگوریتم معمولاً به صورت تصادفی K نمونه انتخاب می‌گردند و به عنوان مرکز هر دسته در نظر گرفته می‌شوند.

۳. محاسبه‌ی تابع هدف ناشی از دسته‌بندی $\{C_1, C_2, \dots, C_K\}$ بر اساس رابطه‌ی (۵) که به محاسبه‌ی مجموع فواصل نمونه‌ها از مرکز دسته‌ها می‌پردازد.

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

۴. کمینه نمودن تابع هدف رابطه‌ی (۵) و یافتن دسته‌بندی مناسب روی مجموعه‌ی M با تعداد دسته‌ی K.

زمین شناسی کانسار پرکام

محدوده اکتشافی پرکام با مساحتی در حدود ۴ کیلومتر مربع در فاصله حدود ۵۰ کیلومتری شمال شهر بابک با موقعیت جغرافیایی UTM (۳۳۷۱۰۰۰ و ۳۲۲۲۰۰ شمال خاور و ۳۳۶۹۰۰۰ و ۳۲۲۲۰۰ جنوب باختر) قرار گرفته است. این محدوده بخشی از ورقه یک‌صد هزارم شهر بابک است و در نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ انار قرار دارد.

واحدهای سنگی موجود در ورقه شهر بابک، محدوده سیستم پورفیری پرکام که بخش شمال باختری منطقه می‌باشد عمدتاً شامل سنگ‌های آتشفشانی ائوسن می‌باشد. علاوه بر این واحد بخش‌های شمال خاوری برگه نیز مربوط به سنگ‌های رسوبی ائوسن است. همچنین بخش‌های مرکزی این نقشه خصوصاً قسمت‌های شمالی را می‌توان قلمرو سنگ‌های آذرآواری نئوژن دانست. همین طور بخش اعظم ورقه شهر بابک که قسمت جنوبی منطقه می‌باشد عمدتاً از جنس دشت و رسوبات آبرفتی کواترنری می‌باشد. موقعیت نهشته پورفیری پرکام در زون‌های سنگ -

می‌باشد (Nelson et al, 2012). فرض می‌شود تصمیم بر آن است که این نمونه‌ها در K کلاس و یا دسته به صورت C_1, C_2, \dots, 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 (۱) الی (۳) می‌باشند و در ادامه تحت عنوان شرایط توجیه‌پذیری رعایت می‌گردند (Jain, 2012) و (Pelleg and Moore, 2000):

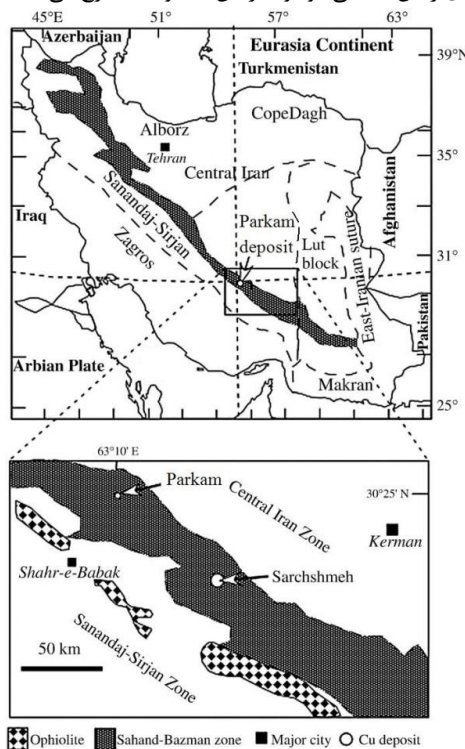
$$C_i \neq \emptyset, \quad \text{for } i = 1, \dots, K \quad (1)$$

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

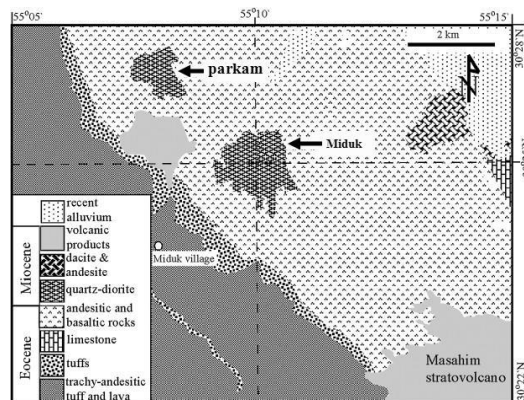
$$\bigcup_{i=1}^K C_i = M \quad (3)$$

مطابق با روابط (۱) الی (۳) همانطور که مشاهده می‌گردد، فرض اول بیان‌گر این مطلب می‌باشد حتماً می‌بایست هر کدام از K دسته‌ی مورد نظر دارای عضو باشد و دسته‌ی 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 بیان‌کننده‌ی این مطلب می‌باشد که تمام نمونه‌ها می‌بایست که در یک دسته قرار گیرند و نمونه‌ی بدون دسته‌ای وجود نداشته باشد. یکی از روش‌های معروف و در عین حال ساده‌ی خوشه‌بندی در داده‌کاوی، روش K-Means می‌باشد که به طور وسیعی توسط پژوهشگران مختلف مورد بررسی قرار گرفته است و در تلاش است که به خوشه‌بندی تعدادی نمونه با تعداد دسته‌ی 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 (Menard, 1995)، (Leiluo et al, 2012) و (Tarkian, 1999) نام برد. ولی در بررسی ادبیات موضوع نیز، مطالعات ارزشمند بی شماری یافت می‌شود که با کمک روش‌های کلاسترینگ 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 (Yang et al, 2012)، تقسیم بندی تأثیر پوشش گیاهی و بازیابی سلامتی آب در جنگل‌های ساحل مدیترانه (Mora et al, 2012)، ارائه برنامه شناسایی الگوهای زمین شیمیایی در مناطق معدنی به کمک روش K-Means (Meshkani et al, 2011)، پیش‌بینی در مورد آرگانیک‌های کربن در سیستم‌های هوشمند با استفاده از مقایسه روش K-Means و روش هوشمند (Sfidari et al, 2012) و تعیین اثر پخش شونده‌ی گاز در محیط شهری با استفاده از آنالیز کلاسترینگ (Wenger et al, 2012) با استفاده از روش K-Means اشاره نمود. همچنین پژوهش‌هایی نیز مشاهده می‌شود که به مطالعه روش K-Means با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته‌ی فرا ابتکاری پرداخته‌اند و جواب‌های بسیار خوبی را نیز تولید نموده‌اند. به عنوان نمونه می‌توان از پژوهش‌های (Krishna and Narasimha, 1999) و (Murthy, 2003) نام برد که از جمله مهمترین مطالعات در این حوزه به شمار می‌روند.

ساختاری ایران و نقشه زمین شناسی ناحیه‌ای شهر بابک در (شکل ۱) آورده شده است. واحدهای زمین شناسی موجود در این محدوده به شرح می‌باشند:



الف



ب

شکل ۱. الف) نقشه زون‌های سنگ - ساختاری ایران. موقعیت نهشته پورفیری پرکام، نهشته عظیم سرچشمه و شهر بابک بزرگ نمای شده است. بخش هاشور خورده نوار سهند- بزمان را نشان می‌دهد (Berberian and King 1981) (modified after) و (ب) نقشه زمین شناسی ناحیه‌ای شهر بابک (Saric et al. 1971).

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 کان‌ایران، ۱۳۸۸).

ائوسن تحتانی

بطور کلی ائوسن تحتانی به ترتیب از قدیم به جدید شامل واحد رسوبات فلیشی، کنگلومرای، ماسه سنگ قرمز، آهک و 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 ۱:۱۰۰۰۰۰ 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 ماسه سنگ‌های قرمز و مارن و آهک‌های ائوسن نیز در بخش‌های خاور منطقه در درون سنگ‌های آتشفشانی ائوسن رخنمون دارند (شرکت پارس اولنگ، ۱۳۸۸).

ائوسن فوقانی

بطور کلی ائوسن فوقانی شامل آتشفشانی‌های ائوسن (معادل آذرآوری‌ها و آتشفشانی‌های تشکیلات کرج در البرز) می‌باشد که به ترتیب از قدیم به جدید عبارتند از (شرکت مهندسی مشاور کان‌ایران، ۱۳۸۸):

الف) سنگ‌های آندزی بازالت به ضخامت چند صد متر (ب) توف‌های قرمز و رسوبات توفی با ۶۰ متر ضخامت (ج) یک افق با سنگ‌های آندزیت تراکیتی و بازالت تراکیتی (د) توف و ماسه سنگ توفی با ضخامت ۷۰ متر که یک متر آهک در پایین و ۱۰ متر ایگنمبریت در بالا برای شناسایی وجود دارد. (ه) سنگ‌های آندزیت تراکیتی و بازالت تراکیتی و گدازه بازالتی و آگلومراها (و) سنگ‌های با بافت پورفیری که متشکل از فنوکریست‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن مونوکلینیک و الیوین با ماتریکس پلاژیوکلاز، پیروکسن، فلدسپار و میکروولیت می‌باشد.

در قسمت‌های شمال و خاور چهارگوش یک صد هزارم شهر بابک واحد بزرگی از آتشفشانی‌های ائوسن مشاهده می‌شود. همین طور در بخش‌های شمال باختری کوه‌های مساحیم آتشفشانی‌های ائوسن از جنس آندزیت - بازالت، بازالت تراکیتی و آندزیت تراکیتی و گدازه آتشفشانی و پورفیری قرار گرفته‌اند (شرکت مهندسی مشاور کان‌ایران، ۱۳۸۸).

نئوزن تحتانی

نئوزن 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 آتشفشانی-های ائوسن می‌باشند نیز در بخشی از منطقه برون زد دارند. این واحدها نیز در ناحیه شمال باختری منطقه در کنار آتشفشانی‌های ائوسن بخش کوچکی را به خود اختصاص داده‌اند (شرکت مهندسی مشاور کان‌ایران، ۱۳۸۸).

نئوزن میانی

نئوزن میانی شامل آتشفشانی‌های نئوزن می‌باشد. کوه مساحیم که در قسمت میانی منطقه با وسعت زیاد قرار گرفته است تماماً متشکل از آتشفشانی‌های نئوزن می‌باشد و تعدادی مخروط‌های پیروکلاستیک در بخش‌های شمالی آن مشاهده می‌شوند (شرکت پارس اولنگ، ۱۳۸۸).

الف) سکانس آتشفشانی‌های نئوزن 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

مطابق با رابطه‌ی (۶) تعیین گردیده است که بر اساس آن دسته‌بندی‌های انجام شده مورد سنجش قرار می‌گیرد (یقینی و همکاران، ۱۳۸۷).

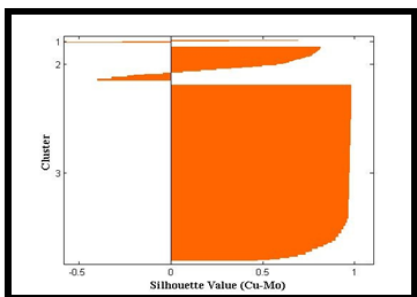
$$S(i) = \frac{\text{Min}(AVEG_BETWEEN(i,k)) - AVEG_WITHIN(i)}{\text{Max}\{AVEG_WITHIN(i), \text{Min}(AVEG_BETWEEN(i,k))\}} \quad (6)$$

در رابطه‌ی (۶)، $S(i)$ بیان‌کننده‌ی میزان مطلوبیت نمونه‌ی i ام در کلاس مورد نظر خودش، پارامتر $AVEG_WITHIN(i)$ نشان‌دهنده‌ی میانگین فاصله‌ی نمونه‌ی i ام از سایر نمونه‌های دیگر در آن کلاسی است که خود نمونه‌ی i ام وجود دارد و پارامتر $AVEG_BETWEEN(i,k)$ بیان‌کننده‌ی میانگین فاصله‌ی نمونه‌ی i ام از سایر نمونه‌هایی می‌باشد که در دسته‌ی دیگری مانند K قرار دارند (یقینی و همکاران، ۱۳۸۷).

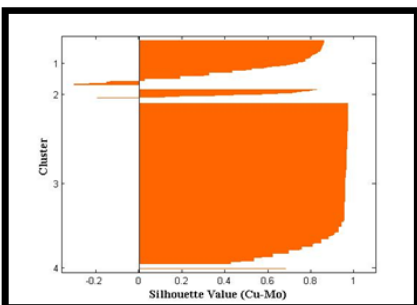
مطابق با رابطه‌ی (۶)، میزان مطلوبیت هر نمونه در یک کلاس مورد نظر می‌تواند بین (-۱) تا (+۱) تغییر نماید. که عدد (-۱) بیان‌کننده‌ی این می‌باشد که نمونه‌ی مورد نظر در دسته‌بندی نامناسب قرار گرفته است. عدد صفر به این معنا می‌باشد که حضور نمونه‌ی مورد نظر در دسته‌ی فعلی و یا دسته‌ی دیگری دارای اهمیت چندانی نمی‌باشد و عدد (+۱) نیز بیان‌کننده‌ی دسته‌بندی مناسب است. بنابراین برای هر نمونه مقدار رابطه‌ی (۶) محاسبه می‌گردد و سپس با محاسبه‌ی میانگین اعداد حاصل شده تحت عنوان میانگین مطلوبیت دسته‌بندی انجام شده، به تحلیل نتایج پرداخته می‌شود.

بررسی رفتار مس نسبت به مولیبدن

(شکل ۲) نیمرخ کلاس‌ها و میزان مطلوبیت هر نمونه را به ازای دسته‌بندی پهنه‌ی انجام شده با $K=3$ و $K=4$ در مورد مس و مولیبدن نشان می‌دهد.



دسته‌بندی با $K=3$ با مقدار متوسط 0.8437 .



دسته‌بندی با $K=4$ با مقدار متوسط 0.8218 .

شکل ۲. نیمرخ کلاس‌ها و مقادیر مطلوبیت برای دسته‌بندی با $K=3$ و $K=4$ مربوط به دو عنصر مس و مولیبدن.

آتشفشانی کوه مساحیم به صورت رخنمون‌های پراکنده مخروطی مشاهده می‌شوند. (ب) کنگلومراها و ماسه‌سنگ‌های آتشفشانی که بر روی پیروکلاستیک‌ها قرار می‌گیرند و بخش‌های وسیعی را شامل می‌شوند. (ج) هورنبلند آندزیت با ۲۰ متر ضخامت.

نئوزن فوقانی

نئوزن فوقانی شامل سنگ‌های دگرسان شده، دیوریت و کنگلومراها می‌باشد. بخش بزرگی از سنگ‌های دگرسان شده از آتشفشانی‌های کالدرا کوه مساحیم تشکیل شده است. کانی‌های سولفیدی همراه سنگ‌های دگرسان شده وجود دارند و سنگ‌های دگرسان ناحیه میدوک همراه با آتشفشانی‌های نئوزن به وجود آمده‌اند. واحدهای کنگلومرای نئوزن فوقانی نیز در دو قسمت کوچک در باختر منطقه شهربابک مشاهده می‌شوند (شرکت پارس اولنگ، ۱۳۸۸).

کواترنری

در بخش شمالی شهربابک 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 پارس اولنگ، ۱۳۸۸): الف) دشت، مخروط‌های گراولی قدیمی (ب) دشت، مخروط‌های گراولی جدید (ج) دشت، آبرفت تازه (د) مخروط واریزه‌ای.

روش مطالعه

در این تحقیق با استفاده از روش خوشه بندی K-Means به حل یک مطالعه‌ی موردی واقعی از گمانه‌های حفر شده در محدوده پرکام پرداخته شده است. در چند سال گذشته شرکت ملی مس اقدام به حفر چند حلقه گمانه در نقاط مختلف در محدوده پرکام کرده است که با نمونه‌برداری از نقاط مختلف و آنالیز آنها مقدار سه عنصر روی، سرب و مولیبدن را بر حسب ppm و مقدار دو عنصر آهن و مس را بر حسب درصد بیان نموده است (قنادپور و هزارخانی، ۱۳۹۱). بررسی میزان تغییرات مقدار عناصر اندازه گیری شده در هر متر از هر گمانه می‌تواند دیدگاه بسیار مناسبی را پیش روی تصمیم‌گیران 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 اکسید 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 تصمیم‌گیران این صنعت مفید واقع شود، بصورت بررسی درصد عنصر مس با عیار عنصر روی، بررسی درصد عنصر مس با عیار عنصر مولیبدن، بررسی عیار عنصر مولیبدن با درصد اکسید آهن، بررسی درصد عنصر مس با عیار عنصر سرب می‌باشند.

در این قسمت به عنوان نمونه بررسی، درصد عنصر مس با عیار عنصر مولیبدن که دو عنصر اصلی و مهم در کانسارهای مس پورفیری به حساب می‌آیند و همچنین با عیار دو عنصر سرب و روی که عناصر بسیاری مهمی در تعیین وسعت و گسترش هاله‌های زمین شیمیایی 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 ، رابطه‌ی مطلوبیتی

عیار عنصر سرب در ابتدا با شدت زیادی کاهش یافته و سپس از ۰/۱۶ به بعد، با شدتی کمتر، افزایش می‌یابد. با توجه به این کاهش و افزایش، بهترین منحنی برازش شده به آن توسط نرم‌افزار MATLAB، منحنی درجه ۲ با تقعر مثبت می‌باشد. معادله منحنی مذکور به صورت

$$y = 10^6 x^2 - 431877x + 41741$$

و ضریب همبستگی آن برابر با $R^2 = 0.951$ گزارش شده است.

بررسی رفتار مس نسبت به روی

در این قسمت نیز نمیرخ کلاس‌ها و میزان مطلوبیت هر نمونه را به ازای دسته‌بندی بهینه‌ی انجام شده برای مقادیر $K=3$ الی $K=10$ در مورد دو عنصر مس و روی در (شکل ۷) مشاهده می‌کنیم. در نتیجه بر اساس نتایج حاصل شده به ازای مقادیر متفاوت برای K از ۳ الی ۱۰، همانطور که مشاهده گردید، دسته‌بندی روی نمونه‌های تعریف شده با مشخصه‌های درصد عنصر مس و مقدار عیار روی به ازای $K=3$ دارای بهترین دسته‌بندی می‌باشد. مراکز دسته‌های تعیین شده به ازای $K=3$ به صورت (شکل ۸) می‌باشد و همچنین میزان مطلوبیت آن نیز که از سایر دسته‌بندی‌ها مناسب‌تر می‌باشد در (شکل ۸) نمایش داده شده است. بر اساس این دسته‌بندی که در (شکل ۸) به وضوح مشخص می‌باشد، در گمانه‌های حفر شده توسط شرکت ملی مس در محدوده پرکام، مانند تغییر رفتار سرب نسبت به مس، به ازای افزایش عیار عنصر مس، عیار عنصر روی نیز در ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. ولی این افزایش و کاهش مانند تغییرات سرب نسبت به مس، چندان واضح و روشن نیست زیرا در مورد مس و سرب ۴ کلاس موجود است و روند کاهش و افزایش بیشتر درک می‌شود ولی در حالتی که با ۳ کلاس مواجه هستیم و مرکز دسته‌ها به صورت نامنظم نسبت به یکدیگر قرار گرفته‌اند، نمی‌توان به صورت قطعی به روند کاهش و افزایش اشاره نماییم. البته با این وجود، منحنی از نوع درجه ۲ با تقعر مثبت به مرکز دسته‌ها برازش گردیده که معادله منحنی برازش شده به صورت

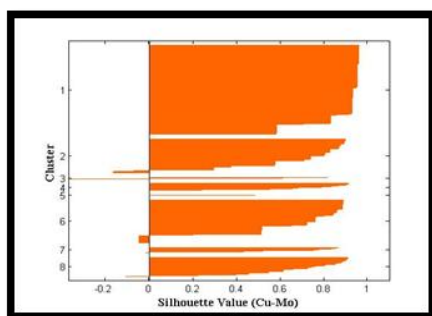
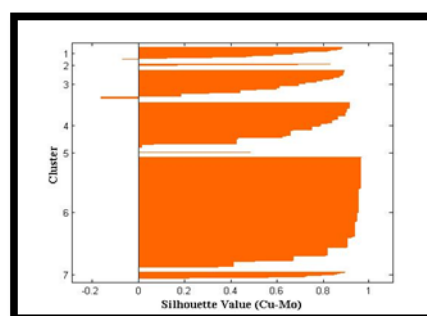
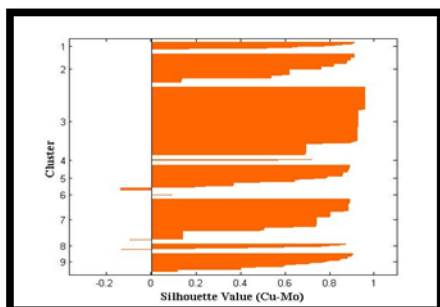
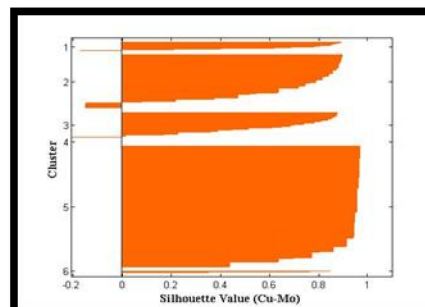
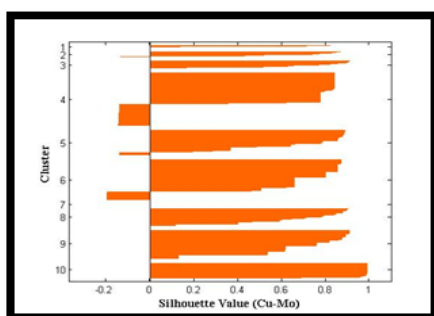
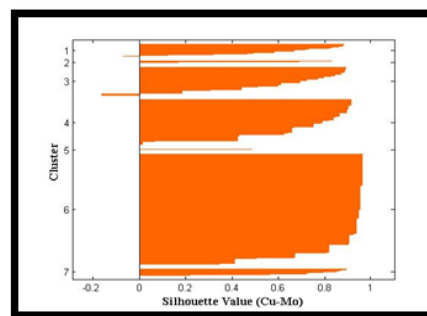
$$y = 2 \times 10^6 x^2 - 761065x + 67355$$

با ضریب همبستگی $R^2 = 0.973$ می‌باشد.

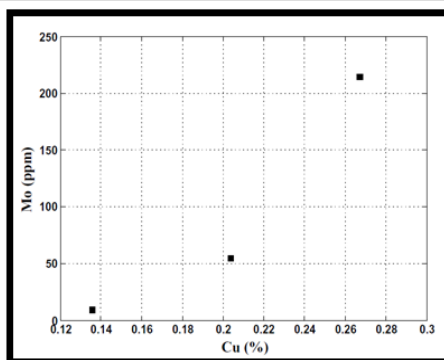
مطابق با این شکل همانطور که مشاهده می‌شود، به ازای $K=3$ ، دسته‌ی اول و دوم دارای مقادیر مناسبی می‌باشند و در دسته‌بندی انجام شده برای دسته‌ی دوم مقادیر منفی تقریباً کمی در آن دیده می‌شود. همچنین همانطور که در شکل نیز بیان گردیده است مقدار متوسط مطلوبیت در این دسته‌بندی برابر است با ۰/۸۴۳۷. به همین صورت (شکل ۲) (نمودار پایین) 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 ۰/۸۲۱۸ که بیان‌کننده‌ی 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 (شکل ۳) نشان داده شده است. در نتیجه بر اساس نتایج حاصل شده به ازای مقادیر متفاوت برای K از ۳ الی ۱۰، همانطور که مشاهده گردید، دسته‌بندی روی نمونه‌های تعریف شده با مشخصه‌های درصد عنصر مس و مقدار عیار مولیبدن به ازای $K=3$ دارای بهترین دسته‌بندی می‌باشد. مراکز دسته‌های تعیین شده به ازای $K=3$ به صورت شکل (۴) می‌باشد و همچنین میزان مطلوبیت آن نیز که از سایر دسته‌بندی‌ها مناسب‌تر می‌باشد در (شکل ۴) نمایش داده شده است. بر اساس این دسته‌بندی که در (شکل ۴) به وضوح مشخص می‌باشد، در گمانه‌های حفاری شده توسط شرکت ملی مس در محدوده پرکام، به ازای افزایش عیار عنصر مس، عیار عنصر مولیبدن نیز افزایش می‌یابد و روند این افزایش به شکل نمایی می‌باشد، زیرا بهترین منحنی برازش شده به آن توسط نرم‌افزار MATLAB، در حالت نمایی بوده است. معادله منحنی برازش شده به صورت $y = 0.3544e^{24.179x}$ و ضریب همبستگی آن نیز برابر با $R^2 = 0.9966$ گزارش شده است.

بررسی رفتار مس نسبت به سرب

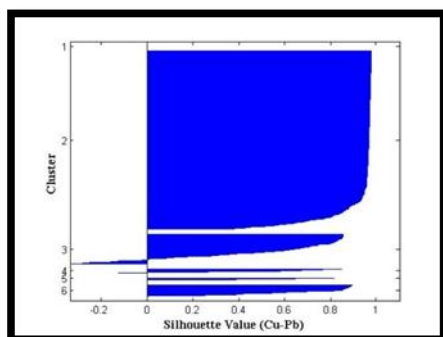
(شکل ۵) نمیرخ کلاس‌ها و میزان مطلوبیت هر نمونه را به ازای دسته‌بندی بهینه برای مقادیر $K=3$ الی $K=10$ در مورد مس و سرب نشان می‌دهد. در نتیجه بر اساس نتایج حاصل شده به ازای مقادیر متفاوت برای K از ۳ الی ۱۰، همانطور که مشاهده گردید، دسته‌بندی روی نمونه‌های تعریف شده بامشخصه‌های درصد عنصر مس و مقدار عیار سرب به ازای $K=4$ دارای بهترین دسته‌بندی می‌باشد. مراکز دسته‌های تعیین شده به ازای $K=4$ به صورت شکل (۶) می‌باشد. بر اساس این دسته‌بندی که در (شکل ۶) به وضوح مشخص می‌باشد، در گمانه‌های حفاری شده توسط شرکت ملی مس در محدوده پرکام، به ازای افزایش عیار عنصر مس،


 دسته‌بندی با $K=8$ با مقدار متوسط 0.7483

 دسته‌بندی با $K=5$ با مقدار متوسط 0.7847

 دسته‌بندی با $K=9$ با مقدار متوسط 0.7294

 دسته‌بندی با $K=6$ با مقدار متوسط 0.7926

 دسته‌بندی با $K=10$ با مقدار متوسط 0.5881

 دسته‌بندی با $K=7$ با مقدار متوسط 0.7808

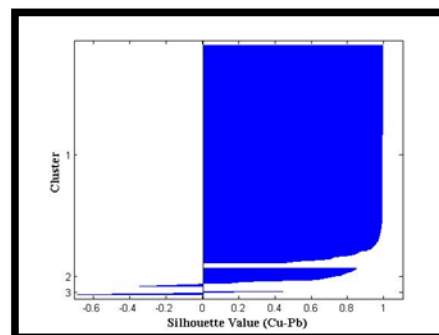
شکل ۳. نیمرخ کلاس‌ها و مقادیر مطلوبیت برای دسته‌بندی با $K=5$ تا $K=10$ مربوط به دو عنصر مس و مولیبدن.



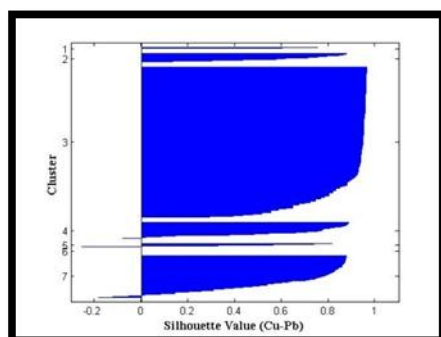
شکل ۴. نمایش مراکز دسته‌ها به ازای $K=3$ در مورد دو عنصر مس و مولیبدن.



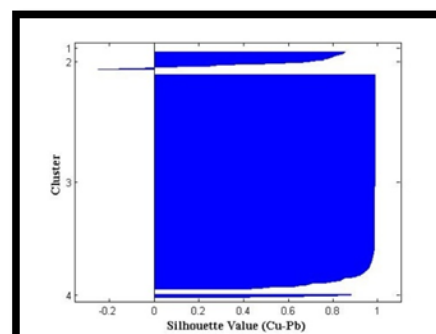
دسته‌بندی با $K=6$ با مقدار متوسط ۰/۸۴۶۹



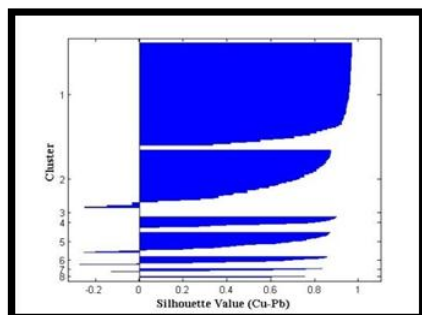
دسته‌بندی با $K=3$ با مقدار متوسط ۰/۹۱۶۱



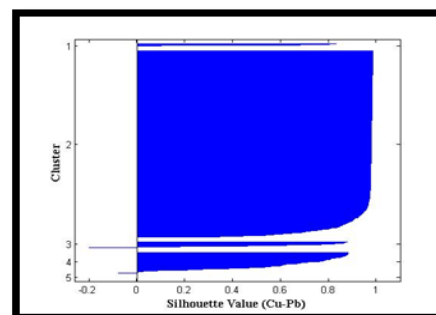
دسته‌بندی با $K=7$ با مقدار متوسط ۰/۷۹۷۲



دسته‌بندی با $K=4$ با مقدار متوسط ۰/۹۲۹۲

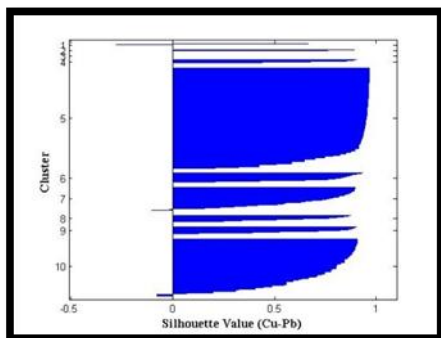


دسته‌بندی با $K=8$ با مقدار متوسط ۰/۷۴۳۹

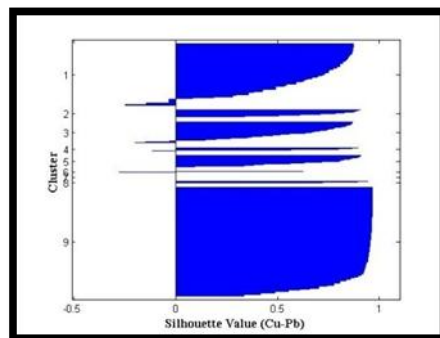


دسته‌بندی با $K=5$ با مقدار متوسط ۰/۹۰۵۲

شکل ۵. نیمرخ کلاس‌ها و مقادیر مطلوبیت برای دسته‌بندی با $K=3$ تا $K=10$ مربوط به دو عنصر مس و سرب.

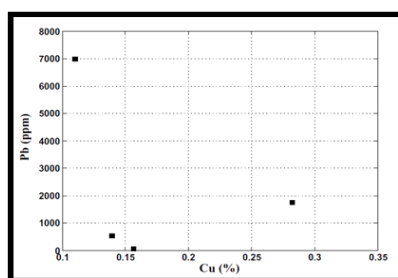


دسته‌بندی با $K=10$ با مقدار متوسط 0.7310 .

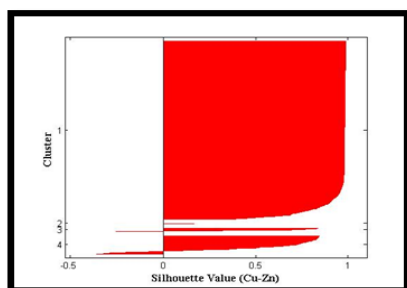


دسته‌بندی با $K=9$ با مقدار متوسط 0.7537 .

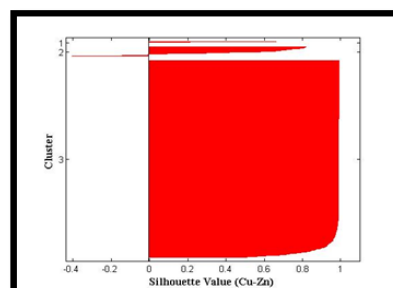
ادامه شکل ۵.



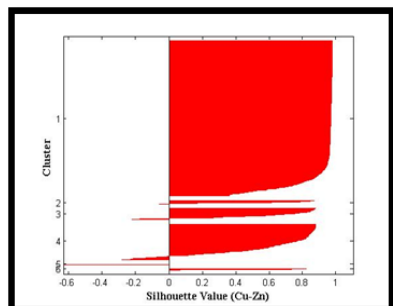
شکل ۶. نمایش مراکز دسته‌ها به ازای $K=4$ در مورد دو عنصر مس و سرب.



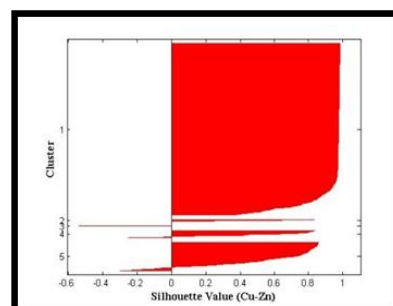
دسته‌بندی با $K=4$ با مقدار متوسط 0.8985 .



دسته‌بندی با $K=3$ با مقدار متوسط 0.9439 .

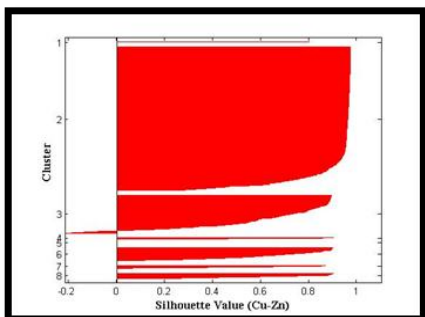


دسته‌بندی با $K=6$ با مقدار متوسط 0.8385 .

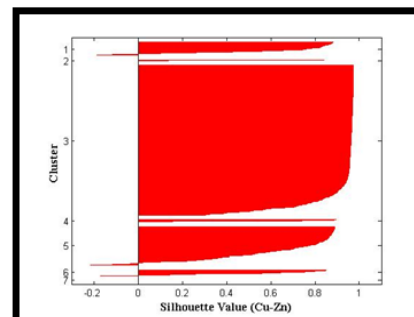


دسته‌بندی با $K=5$ با مقدار متوسط 0.8587 .

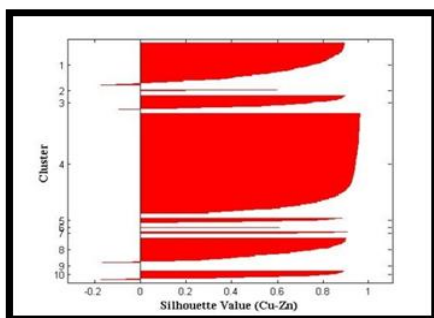
شکل ۷. نیمرخ کلاس‌ها و مقادیر مطلوبیت برای دسته‌بندی با $K=3$ تا $K=10$ مربوط به دو عنصر مس و روی.



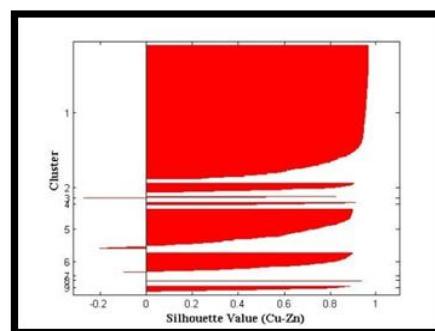
دسته‌بندی با $K=8$ با مقدار متوسط 0.8293 .



دسته‌بندی با $K=7$ با مقدار متوسط 0.8296 .

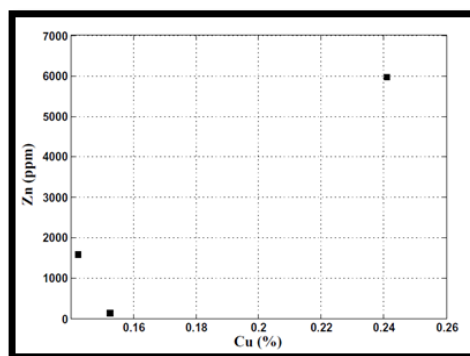


دسته‌بندی با $K=10$ با مقدار متوسط 0.7640 .



دسته‌بندی با $K=9$ با مقدار متوسط 0.8033 .

ادامه شکل ۷



شکل ۸. نمایش مراکز دسته‌ها به ازای $K=3$ در مورد دو عنصر مس و روی.

نتیجه گیری

همان طور که گفته شد با توجه به قرار گرفتن نواحی میدوک و پرکام در کمربند کرمان (به طول ۵۰۰ کیلومتر و حاوی ۳۵ کانسار پورفیری) و وجود منابع غنی مس در این منطقه، ضرورت یافتن اطلاعاتی در مورد ارتباط و چگونگی رفتار عناصر مس، مولیبدن، سرب و روی نسبت به یکدیگر در گمانه‌های حفاری شده در این محدوده برای پیدایش و تعیین وسعت هاله‌های زمین شیمیایی کانسارهای مس پورفیری، تعیین امید بخش بودن منطقه و تخمین عیار اهمیت می‌یابد و می‌بایست مورد بررسی قرار گیرند. بدین منظور در تحقیق حاضر برای تعیین رفتار عناصر نام برده، با استفاده از روش معروف و کارآمد K-Means که یکی از روش‌های خوشه‌بندی محسوب می‌شود، به کلاس‌بندی داده‌های موجود از آنالیز حاصل از حفاری‌های انجام شده در محدوده پرکام پرداخته شد. یکی از مشکلات روش K-Means این می‌باشد که در مجموعه‌هایی با حجم انبوه و با تعداد دسته‌ی بالا معمولاً با مشکل مواجه است و احتمال دارد که در دام نقاط بهینه‌ی محلی قرار گیرد، این موضوع با توجه به مقدار کم داده‌ها در این تحقیق، مشکلی به وجود نمی‌آورد. در روش مذکور، K تعداد کلاس‌ها می‌باشد که می‌بایست صحیح انتخاب شود و سپس کلاس‌بندی داده‌ها صورت پذیرد، لذا در تحقیق حاضر همچنین به منظور تعیین مقدار مناسب برای دسته‌ها (K) نیز که یکی دیگر از مشکلات روش K-Means به حساب می‌آید، معیار مناسبی تعریف گردید و با استفاده از آن به تحلیل نتایج پرداخته شد. و پس از تحلیل‌ها و بررسی‌های مختلف نتایج زیر حاصل گردیده است:

۱- در مورد مس و مولیبدن، برای مقادیر متفاوت K از ۳ تا ۱۰، خوشه‌بندی با تعداد $K=3$ نسبت به مابقی مناسب‌تر بوده و میزان مطلوبیت کلاس‌بندی در مورد این دو عنصر به کمک معیار معرفی شده، 0.8437 بدست آمده است. ۲- با افزایش عیار عنصر مس در منطقه، عیار عنصر مولیبدن نیز افزایش می‌یابد، روند این افزایش به صورت نمایی بوده و معادله منحنی برازش شده به آن به صورت $y = 0.3544e^{24.179x}$ می‌باشد. ضریب همبستگی معادله برازش شده به مرکز دسته‌ها نیز برابر با $R^2 = 0.9966$ است.

منابع

۳- در مورد مس و سرب، برای مقادیر متفاوت K از ۳ الی ۱۰، خوشه‌بندی با تعداد $K=4$ نسبت به مابقی مناسب‌تر بوده و میزان مطلوبیت کلاس‌بندی در مورد این دو عنصر به کمک معیار معرفی شده، 0.9292 به دست آمده است. ۴- با افزایش عیار عنصر مس در منطقه، عیار عنصر سرب در ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. با توجه به این کاهش و افزایش تغییرات سرب نسبت به افزایش مس، بهترین منحنی برازش شده به مرکز دسته‌ها در حالت درجه ۲ با تقعر مثبت بوده است و معادله این منحنی به صورت می‌باشد.

$$y = 10^6x^2 - 431877x + 41741$$

ضریب همبستگی معادله برازش شده به مرکز دسته‌ها نیز برابر با است.

$$R^2 = 0.951$$

۵- در مورد مس و روی، برای مقادیر متفاوت K از ۳ الی ۱۰، خوشه‌بندی با تعداد $K=3$ نسبت به مابقی مناسب‌تر بوده و بهترین میزان مطلوبیت کلاس‌بندی در مورد مس و روی به کمک معیار معرفی شده، 0.9439 به دست آمده است. ۶- با افزایش عیار عنصر مس در منطقه، عیار عنصر روی نیز به ظاهر در ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. ولی این کاهش و افزایش همانند عنصر سرب مشخص و بارز نیست. چرا که در مورد عنصر سرب این تصمیم‌گیری بر اساس ۴ کلاس بندی صورت گرفته و با وجود ۴ نقطه (به عنوان مرکز ۴ کلاس) و طرز قرارگیری آنها، این اظهار نظر (یعنی روند کاهش و سپس افزایش) شکل گرفته شده است. پس با توجه به تعداد کلاس‌ها و همچنین قرارگیری نامنظم آنها نسبت به یکدیگر، نمی‌توان عکس‌العمل مشخصی در مورد عنصر روی در برابر افزایش عنصر مس در نظر گرفت. شایان ذکر است یک منحنی به مرکز دسته‌ها در این حالت نیز برازش شده است تا در صورت کاهش و افزایش واقعی در مورد عنصر روی (نسبت به افزایش مس)، معادله آن در دسترس باشد. بهترین منحنی برازش شده، با توجه به روند کاهش و افزایش احتمالی، از نوع درجه ۲ با تقعر مثبت بوده و معادله آن به صورت $y = 2 \times 10^6x^2 - 761065x + 67355$ با ضریب همبستگی $R^2 = 0.973$ می‌باشد.

حسینی پاک‌ع.ا.، ۱۳۹۰، اصول اکتشافات ژئوشیمیایی، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، چاپ هشتم
شرکت پارس اولنگ، ۱۳۸۸، معرفی محدوده اکتشافی کانسار پرکام، گزارش کار.
شرکت مهندسی مشاور کان‌ایران، ۱۳۸۸، مطالعات زمین شناسی و آلتراسیون محدوده پرکام در مقیاس ۱:۵۰۰۰.
شهاب پورج.، ۱۳۸۰، زمین شناسی اقتصادی، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان.
عرفانی‌ح.، ۱۳۷۴، زمین شناسی اقتصادی (کانسارها)، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، چاپ چهارم.
قنادپور.س.س.، هزارخانی.ا.، ۱۳۹۰، بررسی و محاسبه پارامترهای اولیه زمین آماری عنصر مس از کانسار مس پورفیری پرکام در استان کرمان، دومین همایش صنایع معدنی.
قنادپور.س.س.، هزارخانی.ا.، ۱۳۹۱، محاسبه دقیق برخی از پارامترهای زمین آماری مس و مولیبدن در سیستم مس پورفیری پرکام - کرمان، فصلنامه زمین شناسی کاربردی پیشرفته. (تحت داوری)

قنادپور.س.ف.، یقینی.م.، خدمت‌لو.س.، ۱۳۸۷، کلاس بندی به روش X-Means و مقایسه با روش K-Means با مطالعه موردی بر روی قطارهای مسافری شرکت رجا، کنفرانس داده کاوی ایران، دانشگاه امیرکبیر (پلی تکنیک تهران).
یقینی.م.، قنادپور.س.ف.، خدمت‌لو.س.، ۱۳۸۷، ارائه یک روش ابتکاری خوشه‌بندی در داده کاوی با استفاده از الگوریتم ژنتیک و حل یک مطالعه‌ی موردی واقعی در صنعت حمل و نقل ریلی، کنفرانس داده کاوی ایران، دانشگاه امیرکبیر (پلی تکنیک تهران).

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

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

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

Ghannadpour.S.S., Hezarkhani.A., 2012, Determine the initial statistical specifications of Copper and molybdenum elements in

- Porphyry Copper ore deposit in kerman, International Mining Congress & Expo.
- Jain.A.K., 2012, Data clustering: 50 years beyond K-Means, Elsevier, Pattern Recognition Letters, 31, 651-666.
- Krishna.K., Narasimha.M., 1999, Genetic K-Means Algorithm, IEEE Transactions on Systems, MAN, and Cybernetics – Part B: Cybernetics, 29: 433-439.
- Leiluo.X., Xianwu.B., Ruizhong.H., Xingchun.Z., 2012, Relationships between porphyry Cu–Mo mineralization in the inshajiang–Red River metallogenic belt and tectonic activity: Constraints from zircon U–Pb and molybdenite Re–Os geochronology, Elsevier, Ore Geology Reviews 48, 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 30, 268-274.
- 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, Elsevier, Journal of Geochemical Exploration, 108, 183-195.
- Mora.J.L., Armas-Herrera.C.M., Guerra.J.A., Rodríguez-Rodríguez.A., Arbelo.C.D., 2012, Factors affecting vegetation and soil recovery in the Mediterranean woodland of the Canary Islands (Spain), Elsevier, Journal of Arid Environments, 87, 58-66.
- Murthy.C.A., 1996, In Search of Optimal Clusters Using Genetic Algorithm, Pattern Recognition Letters, 17: 825-832.
- Nelson.P.A., Bellugi.D., Dietrich.W.E., 2012, Delineation of river bed-surface patches by clustering high-resolution spatial grain size data, Elsevier, Geomorphology.
- Peleg.D., 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., Bandyopadhyay.S., 2013, A generalized automatic clustering algorithm in a multiobjective framework, Elsevier, Applied Soft Computing, 13, 89-108.
- Saric.A., Diordjevic.M., Dimitrijevic.M.N., 1971, Geological map of Shahre-e-Babak, 1:100,000 Series. Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
- Sfidari.E., Kakhodaie-Ilkhchi.A., 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, 86-87, 190-205.
- Tarkian.M., Stribny.B., 1999, Platinum-group elements in porphyry copper deposits: a reconnaissance study, Springer-Verlag, Mineralogy and Petrology 65, 161-183.
- Wegner.T., Hussein.T., Hämeri.K., Vesala.T., Kulmala.M., Weber.S. 2012, Properties of aerosol signature size distributions in the urban environment as derived by cluster analysis, Elsevier, Atmospheric Environment, 61, 350-360.
- Yang.J., Zhuang.Y., Wu.F., 2012, ESVC-based extraction and segmentation of texture features, Elsevier, Computers & Geosciences, 49, 238-247.
- Yi.X., Zhang.Y., 2013, Equally contributory privacy-preserving K-Means clustering over vertically partitioned data, Elsevier, Information Systems, 38, 97-107.