نشریه علمی-پژوهشی "مهندسی معدن"

دوره چهارم، شماره هشتم، سال ۱۳۸۸، صفحه ۵۱ تا ۵۸

Iranian Journal of Mining Engineering (IRJME)

Vol. 4, No. 8, 2009, pp.51-58

مقایسه روش‌های جداسازی جوامع سنگی و خوشه‌بندی فازی میان مرکز برای حذف مؤلفه سنژنتیک در اکتشافات ناحیه‌ای رسوبات آبراهه‌ای قره‌چمن-آذربایجانشرقی

محمدجعفرمحمدزاده[1*]، اینور ناصری[2]، امیدمحمودیان [3]

۱- دانشیار دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی سهند- تبریز، شماره‌تماس:۰۹۱۴۱۱۴۵۰۱۸، Email: mohammadzadeh@sut.ac.ir

۲- عضوهیأت علمی‌گروه مهندسی معدن، دانشگاه آزاد اسلامی‌واحد اهر

۳ - دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی سهند

(دریافت ۲۰ مهر ۱۳۸۷، پذیرش ۲۲ آذر ۱۳۸۸)

چکیده

منطقه قره چمن در آذربایجانشرقی بر روی زون ارومیه دختر واقع شده و بیشتر منطقه از سنگ‌های ولکانیکی حد واسط تا اسیدی و رسوبی تشکیل شده است. به منظور اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای تعداد ۶۹۸ رسوب رودخانه‌ای از منطقه برداشت و در راستای بهینه‌سازی روش‌ها با هدف‌ایجاد مدل اکتشافی مناسب، پروسه داده‌ها با استفاده از دو روش جداسازی جوامع سنگی و خوشه‌بندی فازی میان مرکز (FCMC) برای حذف مؤلفه سنژنتیک اقدام گردید.

در روش خوشه‌بندی فازی میان مرکز (FCMC)، پردازش بر روی داده‌های نرمال در منطقه صورت پذیرفت و عناصر با داده‌های سنسورد بالا حذف و روی داده‌ها تحلیل فاکتوری انجام گرفت. سپس باتوجه به امتیازات فاکتوری، فقط یک یا دو عنصر از هر گروه انتخاب شده وروش FCMC روی آنها اعمال گردید. نتایج حاصل ازاین روش تعداد ۶خوشه را به‌عنوان خوشه بهینه معرفی کرده و با رسم نقشه مقادیر بازماند، مناطق امیدبخش کانی‌زایی مشخص گردید. نتایج حاصل از اعمال FCMC بر روی داده‌های ژئوشیمیایی منطقه که بر اساس منطق فازی استوار است نشان می‌دهد که با عضویت هر نمونه در چند خوشه و محاسبه مقادیر بازماند، مؤلفه سنژنتیک خنثی و آنومالی‌های ماسک شده آشکار می‌شوند.

مقایسه دو روش بر روی داده‌های رسوبات رودخانه‌ای در قره‌چمن بیانگر این واقعیت است که بکارگیری روش خوشه‌بندی فازی قابلیت اعمال آن را در مدت زمان کمتر و با دقت بیشتر جهت ثبت آنومالی‌های منطقه‌ای تأیید و کارآمدی این روش در مقایسه با روش جداسازی جوامع سنگی خصوصاً در مرحله اکتشافات ناحیه‌ای که تعداد نمونه‌ها بسیار زیادند را نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی

اکتشافات ژئوشیمیایی، جوامع سنگی، خوشه‌بندی فازی میان مرکز، حذف مؤلفه سنژنتیک، قره‌چمن

---

[*] عهده‌دار مکاتبات

۱- مقدمه

اکتشافات ناحیه‌ای ژئوشیمیایی با هدف تعیین پتانسیل کانی‌زایی منطقه وسیعی انجام می‌گیرد که در هر منطقه با توجه به شرایط موجود اقدام به نمونه‌برداری می‌شود. یکی از متداول‌ترین روش‌های نمونه‌برداری از رسوبات آبراهه‌ای است که حاصل تخریب فیزیکوشیمیایی لیتولوژی‌های موجود، کانی‌سازی، زون‌های آلتراسیونی و احتمالاً آلودگی در منطقه مورد بررسی است.

تغییرات مقدار غلظت عناصر در حوضه‌های آبریز تابع دو مؤلفه سنژنتیک و اپی‌ژنتیک است. دخالت مؤلفه سنژنتیک در اکتشافات ژئوشیمیایی موجب افزایش مقدار عددی زمینه و ماسک آنومالی‌های واقعی در ارتباط با مؤلفه اپی‌ژنتیک می‌شود که معمولاً با روش‌های متفاوت آماری اقدام به حذف اثر نامطلوب سنژنتیک و تفکیک آن از اپی‌ژنتیک صورت می‌پذیرد. این مطالعه مقایسه روش‌های متداول در حذف مؤلفه سنژنتیک با هدف بهینه‌سازی روش‌های اکتشافی را مد نظر قرار می‌دهد و دراین راستا دو روش جداسازی جوامع سنگی که معمولاً در اکثر پروژه‌ها بطور معمول انجام می‌گیرد را با تکنیک خوشه‌بندی فازی میان مرکز (FCMC)[1] که بر اساس منطق فازی استوار است، مقایسه می‌کند[۱]، [۲].

۱-۱-زمین‌ناسی منطقه

منطقه قره‌چمن در استان آذربایجانشرقی دذ شمالغرب کشور و بر روی کمربند متالوژنی آلپ– هیمالیا قرار گرفته است که به لحاظ دارا بودن ذخایر مس و احتمالاً در بعضی نقاط پاراژنزهای پلی‌متال آن حائز اهمیت است. وسعت محدوده ۲۴۲۰ کیلومترمربع می‌باشد که درعرض جغرافیایی شمالی ۳۰ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۸ درجه و طول جغرافیائی شرقی ٤٧ درجه تا ۴۷درجه و ۳۰ دقیقه قرار دارد.

ناحیه مورد بررسی به دو زون (زون بزگوش و زون شهرچای – قره‌چمن) تقسیم‌بندی شده است (شکل ۱). زون ائوسن بزگوش در شمال منطقه قرار دارد و بیشتر شامل سری‌های رسوبی و ولکانیکی است. سنگ‌های وابسته به الیگوسن در این زون به دو صورت توده‌های نفوذی- نیمه نفوذی و سنگ‌های ولکانیکی و رسوبی گسترش دارند. واحد شهرچای- قره‌چمن در جنوب منطقه واقع شده است. واحدهای ائوسن و الیگوسن آن بیشتر سنگ‌های ولکانیکی، توده‌های نفوذی و به مقدار کم سری‌های رسوبی است. واحد الیگو- میوسن‌این زون بیشتر از سنگ‌های رسوبی تشکیل یافته است. رسوبات عهد حاضر وسعت زیادی از منطقه را پوشانده‌اند. محدوده به لحاظ تقسیم بندی ساختارهای زمین‌شناسی با توجه به رسوبات ولکانو سدیمنت ائوسن مربوط به زون ارومیه دختراست. منطقه از لحاظ وجود خروج سنگ‌های ولکانیکی و توده‌های نفوذی حائزاهمیت است که در کانی‌سازی‌ها نقش مؤثری دارند [۳] و [۴].

۱-۲- متالوژنی منطقه

متالوژنی منطقه مؤید این مطلب است که واحدهای کهن‌تر از ائوسن در منطقه مشاهده نشده ولی آثاری از پی سنگ‌های ائوسن صرفاً در مرز شرقی و غربی محدوده با یک دگرشیبی وابسته به دوران ترشیر تجلی می‌یابد که به فاز چین‌خوردگی لارمید تعلق دارد[۴].

آنالیز ژئوشیمیایی سنگ‌های ولکانیکی الیگوسن منطقه آلکالن بودن خاستگاه ماگمایی آنها را نشان می‌دهد و در فاز تکتونیکی پالئوژن فعالیت ماگمایی بزرگی (فاز پیرنه) موجب گشته تا سنگ‌های آذرین نفوذی با حجم گسترده‌ای به سطح زمین راه یابند که بسیاری از توده‌های نفوذی ایران در همین فاز به‌وجود آمده‌اند و اکثر کانسارهای فلزی به ویژه مس، سرب و روی ایران به همین فاز وابسته‌اند[۴]. این مسئله در منطقه قره‌چمن بیشتر به صورت توده‌های بزرگ نفوذی گرانیتی و سینیتی نمایان شده‌اند. محدوده قره‌چمن در اثر خروج سنگ‌های ولکانیکی که خاستگاه ماگمایی دارند و تأثیر توده‌های نفوذی آذرین و فعالیت مجدد محلول‌های هیدروترمالی از پتانسیل بالقوه معدنی برخوردار است. آثار پیریت و کالکوپیریت در سنگ‌های ولکانیکی در اثر نفوذ محلول‌های هیدروترمالی ناشی از توده‌های گرانیتی و سینیتی به صورت محلی سولفیدی شده‌اند. نفوذ محلول‌های هیدروترمالی اسیدی باعث دگرسانی سنگ‌ها وکانی‌های مربوطه گردیده است بطوریکه هیدرولیز سیلیکات‌های آهن و منیزم‌دار در مراحل اولیه و سپس در مراحل بعدی آلتراسیون فلدسپات‌ها به‌وقوع پیوسته که محصولات کائولینیتی و سپس سرسیتی را در منطقه منجر شده است.

۲- مواد و روش‌ها

اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای با هدف پی‌جویی فلزات پایه و طلا در منطقه قره‌چمن با برداشت ۶۹۸ رسوب رودخانه‌ای که حداکثر سازگاری را با روش مرکز ثقل داشتند برداشت و برای ۴۴ عنصر توسط ICP-MS و ICP-E تجزیه شدند و عنصر طلا به‌روش قال‌گذاری[2] اندازه‌گیری شد. تعدادی از داده‌های

حاصل از آنالیز نمونه‌ها مقادیر کمتر و تعدادی دیگر بیشتر از حد حساسیت دستگاه را نشان می‌دادند.

دراین بررسی با توجه به ماهیت داده‌ها از روش بیشترین درستنمائی کوهن [۱] و [۵] برای جایگزینی داده‌های سنسورد استفاده شد. داده‌ها تحت تست کولموگروف- اسمیرنوف [۱]، [۵] و [۶] قرار گرفته و عناصری که توزیع نرمال نداشتند با روش‌های تبدیل لگاریتمی و لگاریتمی سه پارامتری نرمال شدند. مقایسه مؤلفه سنژنتیک برای عناصرمختلف در منطقه انجام گرفت که دراین مقاله نتایج آن برای دو عنصر طلا و سرب ارائه شده است چونکه بعضی از عناصرمانند Bi، Sb و As بدلیل فرار بودن[۳] و دیگر ماهیت‌های ژئوشیمیایی دارای مقادیر بالای سنسورد بودند و عناصری همچون Ba که به‌روش تر با ICP تجزیه شد در محیط سولفیدی ایجاد سولفات و هم رسوبی[۴] می‌نمایند لذا دارای داده‌های تقریبی بودند و اعمال روش بهینه‌سازی FCMC بر روی دو عنصرPb و Au با هدف تست این روش برای بهینه‌سازی در منطقه اعمال گردید تا مؤثربودن روش‌های حذف اثر لیتولوژی و نهایتاً ثبت نقاط آنومال منطقه مقایسه و روش بهینه تعیین گردد.

جداسازی جوامع سنگی که در آن پس از مشخص کردن جامعه سنگی مربوط به گروه‌های مختلف نمونه‌برداری شده با توجه به سنگ بالادست، فاکتور غنی شدگی برای نمونه‌های متعدد در گروههای مختلف محاسبه می‌شود و در نهایت مجدداً داده‌ها گروه‌بندی شده و بدین طریق اثر مؤلفه سنژنتیک حذف و نمونه‌های آنومال مشخص می‌گردد[۷].

روش خوشه‌بندی فازی میان مرکز از روش‌های مهم نوین در خنثی‌سازی اثر مؤلفه سنژنتیک در اکتشافات ژئوشیمیایی است که بر پایه منطق فازی استوار بوده و در آن بحث تابع عضویت و تعلق یک نمونه به چند خوشه مطرح است بطوریکه در تعریف هر مجموعه علاوه بر ذکر اعضاء باید مقدار درجه عضویت اعضاء نسبت به مجموعه نیز بیان شود. در این منطق هر متغیر می‌تواند با درجه عضویت مختلف در چندین مجموعه عضویت داشته باشد. مقایسه این روش با روش‌های خوشه‌بندی محدود[۵] نشان می‌دهد که در روش خوشه‌بندی محدود، هر نمونه فقط می‌تواند به یک خوشه تعلق داشته باشد لذا با توجه به چنین محدودیتی گاهاً نتایج قابل قبولی حاصل نمی‌شود. به عنوان مثال نمونه‌های مرزی، نمونه‌هایی که میزان تعلق آنها به چند خوشه یکسان است یا مقادیر خارج از ردیف[۶] در اعمال این روش‌ها مشکل ساز هستند. اما در روش‌های فازی با توسل به این اصل که هر نمونه می‌تواند به چندین خوشه تعلق داشته باشد می‌توان محدودیت‌ها و مشکلات ایجاد شده را حل کرد[۲] ، [۶] و [۸].

رانتیچ[۷] در سال ۲۰۰۰ با استفاده از این روش اقدام به حذف اثر سنژنتیک کرد. در تحقیقات انجام یافته توسطاین محقق بیشتر سعی بر انطباق خوشه‌های بدست آمده از این روش با جوامع سنگی منطقه شده بطوریکه حتی المقدور هر خوشه نماینده یک و گاهی دو جامعه باشد[۶]. بررسی حاضر بر روی داده‌های قره‌چمن، مقایسه نقاط آنومال حاصل از دو روش و معرفی روش بهینه در اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای است. اعمال روش‌های مذکور به‌عنوان مطالعات موردی جهت انتخاب بهینه پروسه داده‌ها برای ثبت آنومالی‌های منطقه ارائه شده است.

۲-۱-جداسازی نمونه‌ها بر اساس واحدهای سنگی مؤثر

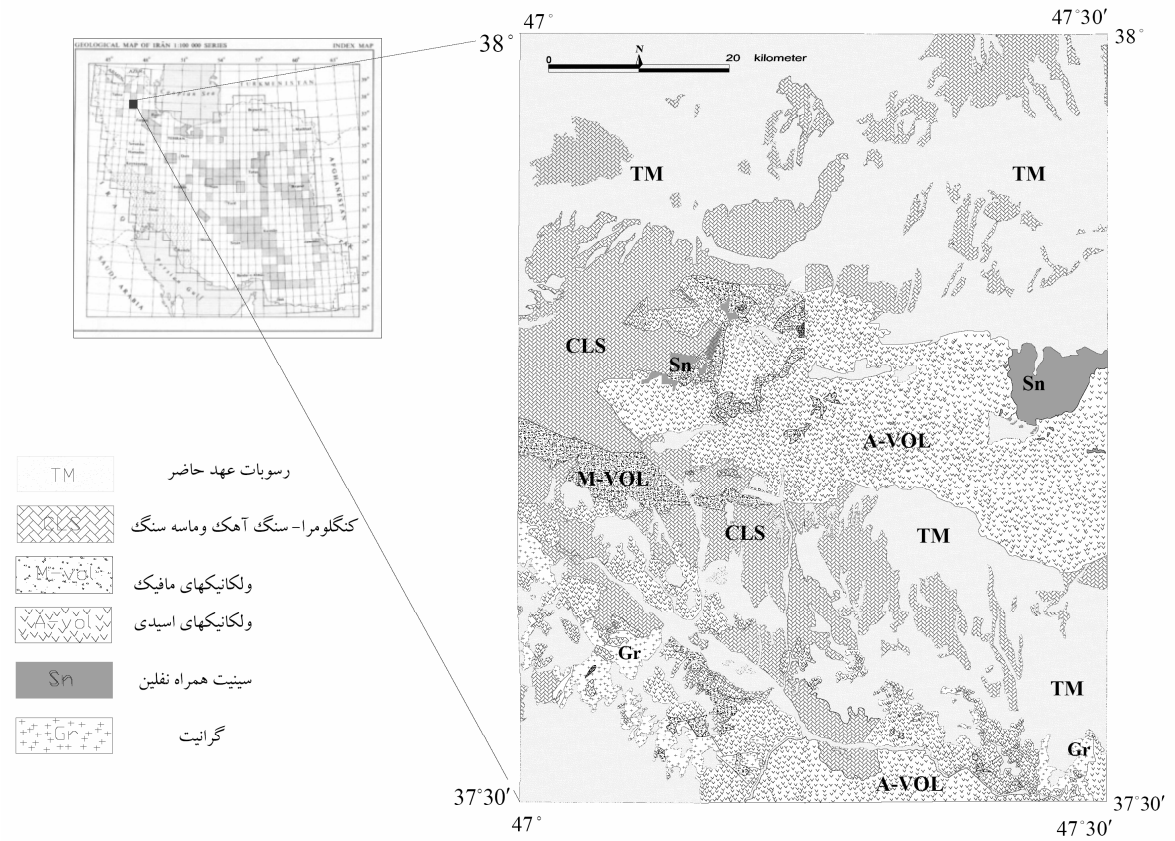
برای حذف اثر مؤلفه سنژنتیک باید جوامع سنگی مؤثر در هر نمونه را مشخص کرد. در برداشت‌های ناحیه‌ای با رسوبات آبراهه‌ای، واحدهای سنگی مؤثردر مؤلفه سنژنتیک واحدهایی هستند که در بالا دست نمونه در حوضه آبریز قرار دارند. در این حالت لازم است نقشه نمونه‌برداری بر نقشه زمین‌شناسی منطبق شود. سپس با مشخص کردن حوضه آبریز هر نمونه (بالا دست نمونه) تمامی واحدهای سنگی که رسوبات حاصل از فرسایش آن‌ها سهمی در تشکیل نمونه داشته‌اند شناسایی می‌شوند. نمونه‌های با سنگ بالا دست مشابه در یک گروه قرار گرفته و تشکیل جوامع سنگی جداگانه‌ای را می‌دهند. مقدار میانه در هر جامعه به عنوان مقدار زمینه آن جامعه در نظر گرفته شده و پس از تعیین مقدار زمینه برای خنثی‌سازی مؤلفه سنژنتیک از شاخص غنی شدگی (رابطه ۱) استفاده شده است.

$$E_i = \frac{C_i}{C_m} \qquad (۱)$$

که دراین رابطه C_i غلظت عنصر مورد نظر در نمونه i ام از جامعه مورد نظر، C_m مقدار میانه یا میانگین جامعه مورد نظر و E_i شاخص غنی شدگی است[۲]. پس از محاسبه شاخص غنی شدگی تمامی‌داده‌ها را دوباره در یک گروه قرار داده و در نهایت مقدار زمینه از آنومالی جدا می‌گردد.

۲-۲-حذف اثرمؤلفه سنژنتیک با استفاده از روش خوشه‌بندی فازی

روش خوشه‌بندی فازی میان مرکز روشی است که بر اساس منطق فازی شکل گرفته و در آن بحث تابع عضویت و تعلق یک نمونه به چند خوشه مطرح است. از مهم‌ترین فرضیاتی که



شکل ۱: نقشه زمین شناسی تغییریافته وساده شده منطقه برگرفته از یکصدهزارقره چمن

دراین روش وجود دارد این است که مجموع درجه عضویت هر نمونه در کل خوشه‌ها باید برابر یک باشد (رابطه ۲).

$$\sum_{I=1}^{c} \mu_i = 1 \qquad (۲)$$

که در آن c تعداد خوشه‌ها، μ_i درجه عضویت نمونه در خوشه i ام است.

با فرض برداشت n نمونه و اندازه‌گیری m عنصر برای آنها، جهت تقسیم نمونه‌ها به c خوشه با مرکز معلوم بای n الگوریتم زیر رعایت شود:

۱- ابتدا برای هر نمونه نسبت به هر خوشه یک درجه عضویت تصادفی انتخاب شود.

۲- با استفاده از درجه عضویت اولیه و مختصات مرکز خوشه‌ها لازم است که مختصات مرکز جدید خوشه‌ها از رابطه ۳ محاسبه گردد.

$$\mu_{ik} = \frac{\left(d_{ik}^{2}\right)^{\frac{-1}{q-1}}}{\sum_{k=1}^{c} \left(d_{ik}\right)^{\frac{-1}{q-1}}} \qquad (۳)$$

که در آن c_{ij} مقدار متغیر iام از مرکز خوشه jام، μ_{ki} درجه عضویت نمونه k ام به خوشه I ام، x_{kj} مقدار متغیر j ام در نمونه k ام است. q معرف مقدار فاز شدگی متغیر j ام در نمونه k ام است که ضریب فازی شدن[۸] نامیده می‌شود. در مورد مقدار q هیچ تئوری مشخصی وجود ندارد اما برحسب اختیار مقداری بین ۱/۳تا ۳ اختیار می‌کند که در اکثشافات ژئوشیمیایی بیشتر نزدیک ۳ /۱تا۱/۵ است[۱] و [۹].

۳- پس از محاسبه مراکز جدید خوشه‌ها لازم است درجه عضویت هر نمونه به مرکز هر خوشه بر مبنای یکی از روش‌های اندازه‌گیری فاصله محاسبه شود دراینجا از فاصله اقلیدسی استفاده شده است (رابطه ۴).

$$\mu_{ik} = \left(d_{ik}^{2}\right)^{-1/q-1} / \sum_{k=1}^{c} \left(d_{ik}^{2}\right)^{-1/q-1} \qquad (۴)$$

که در آن d_{ik} فاصله نمونه k ام از مرکز خوشه iام است که در روش فاصله اقلیدسی به‌این صورت محاسبه می‌شود.

$$\left(d_{ik}^2\right)=\sum_{j=1}^{k}\left[\left(x_{kj}-c_{ij}\right)/\,s_j\right]^2 \qquad (۵)$$

۴- محاسبه تابع هدف: تابع هدف متغیر j در محیطی که ضریب فازی شدگی q باشد به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$j_q=\sum_{i=1}^{c}\sum_{k=1}^{n}\left(j_{ik}\right)^q\left(d_{ik}^2\right)^q \qquad (۶)$$

۵- تکرار محاسبات تا زمانی که فاصله بین توابع هدف محاسبه شده در دو مرحله متوالی از یک مقدار بحرانی از پیش تعیین شده ε که ما بین 10^{-5}تا10^{-3} است، کمتر باشد[۲] و [۹].

در این روش در همان ابتدا سه پارامتر باید از پیش تعیین شوند که عبارتند از c تعداد کلاس‌ها، q ضریب فازی شدگی و ε مقدار بحرانی. دو پارامتر F ضریب افراز یا جداسازی و H آنتروپی کلاس‌بندی کمک می‌کند تا مشخص شود که آیا مقادیر انتخابی درست بوده و آیا مدل حاصل شده با محیط سازگاری دارد یا خیر. برای نیل به این هدف مقدار F باید به یک و مقدار H به صفر نزدیک باشد[۱] ، [۱۰] و [۱۱].

۳- بحث و نتایج

۳-۱- حذف مؤلفه سنژنتیک به روش جدایش جوامع سنگی

اشکال۲ و۳ به‌ترتیب مناطق آنومال برای دو عنصر طلا، سرب در منطقه قره‌چمن که بر اساس حذف مؤلفه سنژنتیک به روش جدایش جوامع سنگی به‌دست آمده را نشان می‌دهند. شکل۲ بیانگر الگوی مناسب گسترش آنومالی‌های طلا با روند تقریبی شمال - جنوب منطبق بر لیتولوژی‌های ولکانیکی اسیدی است، در حالیکه آنومالی‌های سرب الگوی تقریباً شمالغرب- جنوب‌شرق را نشان می‌دهند که با توده‌های نفوذی گرانیتی-گرانودیوریتی مرتبط می‌باشد و در بعضی مناطق نیز سولفیداسیون محلی بدلیل ورود محلول‌های کانه‌ساز اتفاق افتاده است. انطباق آنومالی‌های این دو عنصر با لیتولوژی‌های مربوطه احتمالاً مؤید دو فاز فلززایی متفاوت در منطقه باشدکه برای Pb احتمالاً نه تنها ورود سیالات کانه‌دار هیدروترمالی موجب افزایش غلظت آن شده بلکه عجین شدن‌این عنصر با توده‌های نفوذی و جایگزینی آن در پلاژیوکلازهای خصوصاً پتاسیک توده‌های گرانیتوئیدی در شمالغرب- جنوب‌شرق موجب افزایش غلظت این عنصر در منطقه شده است. براساس مطالعات دقیق‌تر در منطقه قره چمن[۴] تأئید آنومالی‌های ثبت شده طلا را با کانی‌های سنگین و همچنین انطباق آن با عناصر Ag و Cu بر روی لیتولوژی‌های ولکانیکی (اشکال۲و۴) به‌صورت shear zone کانی زایی از نوع هیدروترمال ولکانوژنیکی با سولفیداسیون کم را در منطقه محتمل دانست.

۳-۲- حذف مؤلفه سنژنتیک به روش خوشه‌بندی فازی میان مرکز(FCMC) در منطقه قره‌چمن

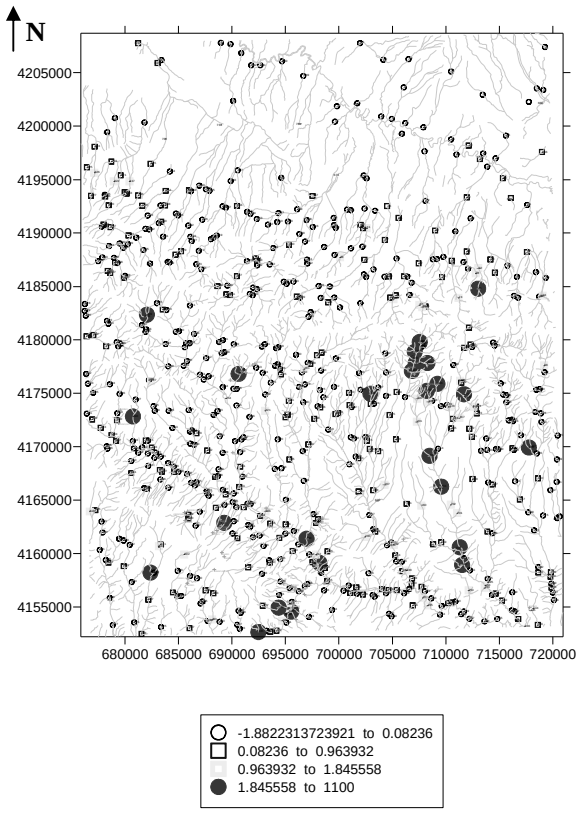
نظر به اینکه داده‌های غیر نرمال خوشه‌بندی را مختل می‌سازند و خصوصیات محیط را منعکس نمی‌کنند لذا خوشه‌بندی بر روی داده‌های نرمال شده در منطقه صورت گرفت. همچنین در خوشه‌بندی داده‌ها لازم نیست تمام عناصر شرکت داده شوند و عناصر با داده‌های سنسورد بالا جایگزین شوند زیرا عملاً داده‌های این نوع عناصر به‌دلیل بیشترین تعداد جایگزینی اکثراً صوری و بی تأثیر می‌شوند و به‌عبارتی اگر عنصری دارای درصد بیشتر سنسورد باشد حساسیت قابل قبولی نداشته وآنومالی‌های ثبت شده نمی‌توانند تصویر واقعی از این عنصر در فیلد نشان دهند. بنابراین بر روی داده‌ها تحلیل فاکتوری انجام گرفته و از میان گروه عناصری که در یک فاکتور ضرایب بالایی دارند، فقط یک یا دو عنصر از هر گروه انتخاب شدند. جهت بکارگیری روش FCMC و انتخاب تعداد خوشه‌های مناسب سه عامل مد نظر قرار گرفت:

۱- مقادیر F و H بهینه، به گونه‌ای که مقدار F به یک و مقدار H به صفر نزدیک شود.

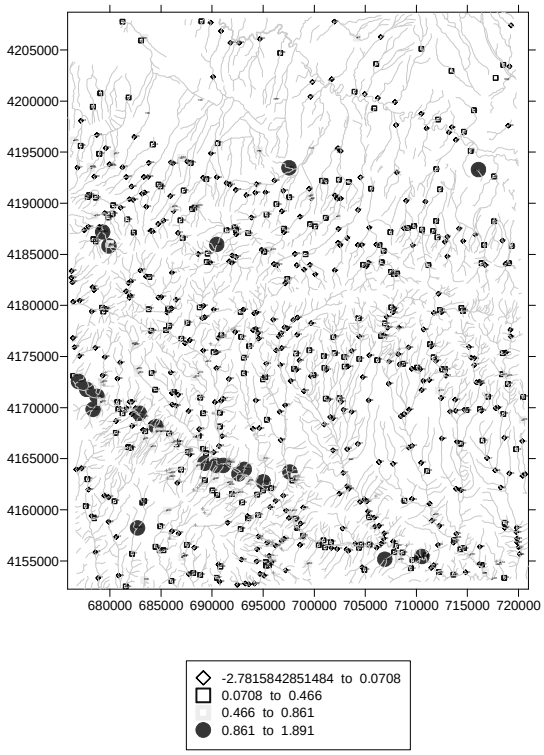
۲- تعداد خوشه‌ها باید توجیه کننده محیط نمونه‌برداری باشد. اگر مقدار خوشه‌ها کم باشد میانگین چند واحد سنگی به عنوان یک مرکز خوشه در نظر گرفته می‌شود که مطلوب نیست. بالعکس اگر تعداد خوشه‌ها زیاد باشد هر مرکز خوشه به طور محلی محاسبه می‌شود و درنتیجه مقادیر آنومالی‌ها نیز در مراکز خوشه منعکس می‌شود که این امر موجب کاهش شدت آنومالی‌ها می‌گردد.

۳-انتخاب تعداد خوشه‌ها باید به‌گونه‌ای باشد که در کل مقادیر بازماند منفی کمتری را به‌وجود آورد.

در اکتشافات ناحیه‌ای رسوبات آبراهه‌ای، با توجه به گسترده بودن منطقه نمونه‌برداری و تعداد زیاد نمونه‌ها معمولاً تعداد۴ الی ۸ خوشه تعداد بهینه‌ای است[۲]. با توجه به مقادیر F و H (جدول ۱)، گسترده بودن منطقه و این مطلب که در حالت ۶ خوشه‌ای مقادیر بازماند منفی کمتری ایجاد می‌شود. لذا حالت ۶ خوشه به عنوان حالت بهینه معرفی شد.



شکل ۲: نقشه توزیع آنومالی‌های طلا در منطقه قره‌چمن با استفاده از روش جداسازی جوامع سنگی و شاخص غنی شدگی



شکل ۳: نقشه توزیع آنومالی‌های سرب در منطقه قره چمن با استفاده از روش جداسازی جوامع سنگی و شاخص غنی‌شدگی

جدول ۱: مقادیر توابع اعتباری F و H برای حالت‌های مختلف خوشه‌ها

تعداد خوشه‌ها	H	F
۴	۰/۳۶۶	۰/۵۲
۵	۰/۳	۰/۴۴۴
۶	۰/۲۷	۰/۴

پیرو محاسبه مرکز خوشه‌ها و درجه عضویت نمونه‌ها به هر خوشه، اقدام به محاسبه مقدار هر یک از متغیرهای ژئوشیمیایی در مرکز هر خوشه گردید که برابر با میانگین وزن‌دار همان متغیر در نمونه‌های موجود در آن خوشه است (جدول ۲). پس از محاسبه مقدار متغیر در مرکز خوشه‌ها می‌توان اقدام به محاسبه مقدار متغیر در نقاط نمونه‌برداری شده با درجه عضویت معلوم نسبت به خوشه‌ها کرد.

جدول ۲: میانگین مقادیرتبدیل یافته لگاریتمی‌عناصر مختلف در خوشه‌های شش گانه

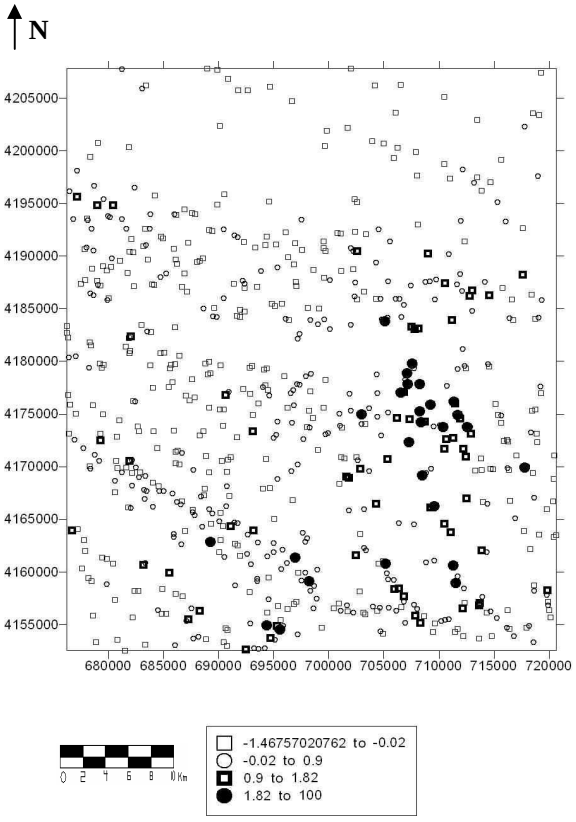
عناصر	خوشه۱	خوشه۲	خوشه۳	خوشه۴	خوشه۵	خوشه۶
Au	۰/۹۹۶	۱/۱۰۱	۱/۲۰۸	۱/۳۷۳	۱/۰۱۱	۰/۸۳۴
Pb	۲/۹۹۵	۲/۹۰۹	۲/۸۲۵	۳/۱۹۶	۲/۹۱۷	۲/۹۴۳

باتوجه به‌اینکه مقدار عنصر محاسبه شده با مقدار اندازه‌گیری شده معمولاً برابر نیست و همواره اختلافی وجود دارد لذا این اختلاف را که مقدار بازماند نامیده می‌شود می‌توان از رابطه ۷ محاسبه کرد.

$$\sigma_{kj} = X_{kj} - \sum_{i=1}^{c} \mu_{ik} c_{ij} \qquad (۷)$$

که در آن X_{kj} مقدار عنصر jام در نمونه k، μ_{ik} درجه عضویت نمونه k ام در خوشه i ام و c_{ij} مقدار میانگین عنصر j ام در خوشه i ام است. درتفسیر مقادیر بازماند از دیدگاه ژئوشیمی می‌توان بیان کرد که مقادیر بازماند مثبت می‌تواند بیانگر وجود آنومالی در منطقه باشد که با رسم نقشه ژئوشیمیایی مربوط به آن، مناطق کانی‌زایی مشخص می‌گردد و مقادیر بازماند منفی که ریشه در مقادیر کمتر از حد زمینه، ناهمگنی محیط نمونه‌برداری و خطاهای آنالیز و نمونه‌برداری دارد احتمالاً ماهیت سنژنتیکی داشته باشد.

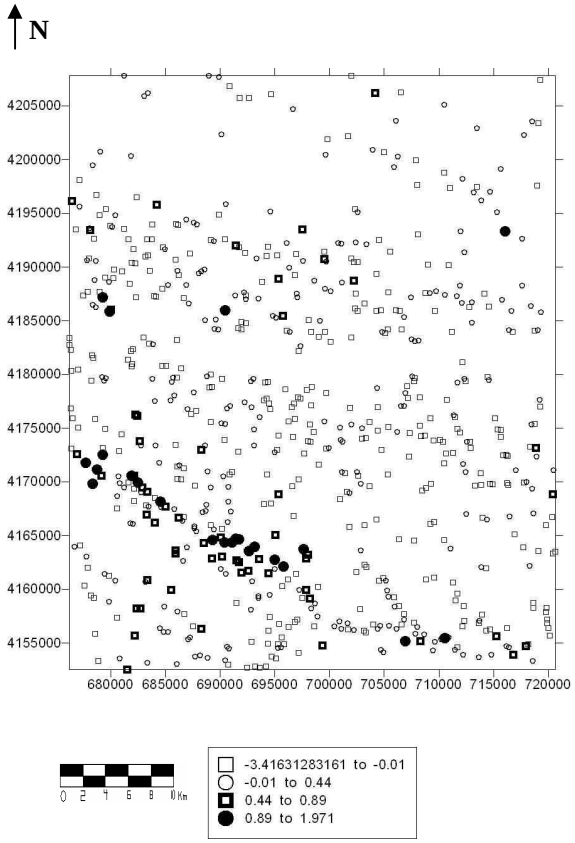
نقشه مقادیر بازماند حاصل از عملکردروش FCMC در منطقه قره‌چمن برای عناصر طلا و سرب به‌ترتیب در اشکال ۴ و ۵ نشان داده شده است.



شکل ۴: نقشه توزیع آنومالی‌های طلا در منطقه قره چمن با استفاده از روش خوشه‌بندی فازی میان مرکز

۴- نتیجه گیری

توجه به نتایج حاصل از مطالعه حاضر در منطقه قره چمن مبین این مطلب است که روش خوشه‌بندی فازی میان مرکز (FCMC) در مقایسه با روش جدایش جوامع سنگی که متداول‌ترین روش حذف مؤلفه سنژنتیک در مطالعات ژئوشیمی اکتشافی است، به‌مراتب از زمان عملکرد کمتر و دقت بالاتری برخوردار است بطوریکه مقایسه نقشه‌های نقاط آنومال حاصل از دو روش نشان‌دهنده قابلیت کاربرد این روش نوین را در ثبت آنومالی‌های پنهان شده و انعطاف‌پذیری آن در ثبت آنومالی‌های جدیدتر و شناخت دقیق‌تر محدوده آنها که از مسائل مهم جهت ادامه فعالیت‌های اکتشافی است، می‌باشد. به‌عبارت دیگر این روش تعداد نقاط آنومالی را بیشتر، تقریباً سرشکن شدگی و تعداد آنومالی‌ها را بطور بهینه قابل ثبت می‌نماید بطوریکه با استفاده از این روش تعداد محدودی از آنومالی‌ها که قبلاً ثبت نشده بودند احتمال ثبت می‌یابند. ضمناً حدالمقدور بهینه‌سازی تمرکز آنومالی‌ها میسر می‌گردد. مهم‌ترین مسأله‌ای که در بکارگیری روش (FCMC) باید مد نظر قرار گیرد، انتخاب صحیح تعداد خوشه‌ها و درجه فازی شدگی است وجهت نیل به این هدف علاوه بر شروط مذکور در متن مقاله بایستی لیتولوژی منطقه و مطالعات زمین‌شناسی آن نیز مد نظر قرار گیرد. بعبارت دیگر هر خوشه تقریباً دارای تیپ سنگ‌های مشابه باشد.



شکل ۵: نقشه توزیع آنومالی‌های سرب در منطقه قره‌چمن با استفاده از روش خوشه‌بندی فازی میان مرکز

تشکر وقدردانی

بدینوسیله از زحمات آقای مهندس حسین همتیان، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور بخاطر ارائه اطلاعات مفید ناحیه قره‌چمن و از آقای مرتضی منافی دوست و همکار عزیزمان دردانشکده مهندسی معدن بخاطر تایپ مجدد مقاله صمیمانه تشکروقدردانی می‌گردد.

منابع

[۱]حسنی پاک، علی اصغر و شرف الدین، محمد؛ ۱۳۸۰، "**تحلیل داده‌های اکتشافی**"، انتشارات دانشگاه تهران، صفحه۹۷۷.

[2] Templ, M., Filzmoser,P.and Reimann,C.; 2006; *"Cluster analysis applied to regional geochemical data"* :Problems and possibilities ,Report, P.40.

[۳] امامی، محمدهاشم، ۱۳۷۰، **"نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ قره چمن"**، سازمان زمین شناسی واکتشافات معدنی کشور.

[۴] محمودیان، امید،۱۳۸۵، **"اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای فلزات پایه وطلا در منطقه قره چمن"**؛ تز کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن،دانشگاه صنعتی سهند، صفحه ۱۶۰.

[5] Sanford, F.,Pierson,T.,Crovelli,R.A.; 1993; "A*n objective replacement method for censored geochemical data*"; Elsevier , J.of Mathematical Geology (27) ,pp. 59-79.

[6] Rantitsch, G.; 2000; "*Application of fuzzy clusters to quantify lithological background concentrations in stream-sediment geochemistry*"; Elsevier, J. Geochem. Explor(71), pp. 73–82.

[7] Govettt,G.J.S.;1994; "H*and book of exploration chemistry (Drainage geochemistry)*", Vol:6.Elsevier,P.766.

[8] Kramar, U.; 1995; "*Application of limited fuzzy clusters to anomaly recognition in complex geological environments*", Elsevier, Journal of Geochemical Exploration (55), pp. 81-92.

[9] Bezdek, J.C., Ehrlich, R. & Full,W.; 1984; "FCM: the fuzzy c-means Clustering algorithm", J. Computers & Geosciences (10), pp.191-20.

[10] Knox-Robinson, C. M.; 2000; "*Vectorial fuzzy logic; a novel technique for enhanced mineral prospectivity mapping, with reference to the orogenic gold mineralization potential of the Kalgoorlie Terrane, Western Australia: Australian*"; Journal of Earth Sciences(47), pp. 929-941.

[11] Brown, W., Groves, D., and Gedeon, T.; 2003; "*Use of fuzzy membership input layers to combine subjective geological knowledge and empirical data in a neural network method for mineral-potential mapping: Natural Resources Research*", International Association for Mathematical Geology, Special issue on Neural networks (12), pp.183-200.

[12] Frapporti, G., Vriend, S.P., van Duijvenbooden, W.; 1993a; "*Hydrogeochemistry of Dutch groundwater:classification into natural homogeneous groupings with fuzzy c-means clustering*"; Applied Geochemistry (8), pp. 273-276.

[13] Urbat, M., Dekkers, M. J., and Vriend, S. P.; 1999; "*The isolation of diagenetic groups in marine sediments using fuzzy c-mean cluster analyses*"; Palaeomagnetism and diagenesis in sediments (151), pp. 85-93.

پی‌نوشت‌ها

[1] Fuzzy C-means Clustering
[2] Fire Assay
[3] volatile
[4] Co precipitation
[5] Hard Clustering
[6] outlier
[7] Rantitsch
[8] fuzziness coefficient