گروه معدنی رســـا

ژئوشیمی اکتشافی رسوبات آبراهه ای

تهیه شده در واحد فنی گروه معدنی رسا

سیده معصومه عبادی راد

https://rasamining.ir/

بهار ۱۳۹۹

فهرست مطالب

۱- ۱- طراحی شبکه نمونه برداری:..... ۱
۱-۲- نمونه برداری:..... ۲
۱-۲-۱- کدگذاری و ثبت اطاعات صحرایی نمونه ها..... ۳
۱-۲-۱- آماده سازی نمونه ها..... ۳
۲- تجزیه نمونه ها..... ۳
۳- پردازش داده ها..... ۴
۴-کنترل صحرایی آنومالیهای ژئوشیمیایی (آنومالی چکینگ)..... ۸

مقدمه

هدف از اکتشافات ژئوشیمیایی، معرفی ناهنجاریهای ژئوشیمیایی در ارتباط با کانی سازی می باشد. ولی نباید تصور کردکه منظور از این ناهنجاری وجود مقادیر بسیار بالای یک یا چند عنصر در محیط نمونه برداری رسوبات آبراهه ای می باشد، بلکه چنین ناهنجاری بر اساس میزان انحراف داده های ژئوشیمیایی از یک سری مقادیر ناحیه ای که تحت عنوان زمینه نامیده می شود، شناخته و مشخص می گردد. وظیفه چنین شناخت و جدایشی بر عهده پردازش آماری داده های ژئوشیمیایی است. در واقع در پردازشهای آماری نتایج حاصل از آنالیز نمونه های ژئوشیمیایی تحت عنوان یک جامعه آماری توسط روشهای مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند، سپس ارتباط عناصر با یکدیگر بررسی می گردد، مقادیر زمینه شناسایی شده و بر اساس آن آنومالی معرفی می گردد. نمونه برداری، تجزیه نمونه ها و تفسیر نتایج سه بخش اساسی در ژئوشیمی اکتشافی می باشد. در صورتیکه خطایی درتجزیه نمونه ها رخ دهد باید بار دیگر آن را تکرار کرد و به تفسیر مجدد داده ها پرداخت. به طور کلی جهت کشف هاله های ژئوشیمیای می بایست مراحل مربوط به نمونه برداری، آماده سازی، آنالیز شیمیایی، پردازش و تفسیر داده ها را طی کرد. یکی از محیطهای تحت پوشش اکتشافات ژئوشیمیایی محیط رسوبات رودخانه ای می باشد که در شرایط آب و هوایی گوناگون قابل نمونه برداری است و به عنوان یک روش مستقل و مفید برای تشخیص نواحی مستعد با پتانسیل بالای معدنی استفاده می شوند.

۱- عوامل موثر در اکتشافات ژئوشیمی

۱- ۱- طراحي شبکه نمونه برداری:

نمونه برداری از رسوبات آبراهه ای باید به گونه ای صورت پذیردکه حداکثر یکنواختی را در توزیع داشته باشد. برای طراحی شبکه نمونه برداری به منظور اکتشافات ژئوشیمیایی از داده هایی مانند نقشه زمین شناسی، ژئوفیزیک هوابرد، شبکه آبراهه ای و حوضه زهکشی ، نقشه گسلها و شکستگی ها و نقشه آلتراسیون ها استفاده می شود. در نواحی حضور گسلها و توده های آذرین احتمال رخداد کانه سازی مرتبط با آنها تراکم نمونه برداری علاوه بر در نظر گرفتن فاکتورهای فوق باید موارد زیر مورد توجه قرار گیرد:

- دستیابی به توزیع یکنواخت نمونه‌ها در سطح منطقه
- رعایت نسبی چگالی نمونه‌برداری بر اساس شرح خدمات
- توزیع همگون و حتی‌الامکان متناسب نمونه‌ها در سطح حوضه آبریز و تعداد انشعاب آن

- اولویت طراحی نمونه‌ها از آبراهه‌هایی که سنگ بستر خود را قطع کرده‌اند
- نظر داشتن اصل مهم Sample Junction
- بررسی امکانات جاده‌ای و مواصلاتی
- پرهیز از مناطق کشاورزی و فرودست روستاها

پس از طراحی محل نمونه‌ها بر روی نقشه توپوگرافی، با استفاده از امکانات نرم افزاری، موقعیت UTM محل نمونه‌ها و شماره گذاری آنها انجام می گردد. مختصات وارد شده در GPS در اختیارکارشناسان و گروههای نمونه‌برداری قرار میگیرد.

۱-۲- نمونه برداری:

نمونه ها باید از بستر آبراهه ها و با استفاده از بخش عبور کرده از الک با مش تعیین شده برداشت شود. وزن نمونه های برداشت شده باید بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ گرم باشد. محل برداشت نمونه ها باید طوری انتخاب شوند که نمونه برداشت شده نمایانگر رسوبات تخریبی حوضه آبگیر بالادست خود باشد. نمونه ها معمولا از بخش رس و سیلت و از وسط آبراهه ها برداشت می شوند. در صورتیکه عرض آبراهه بیش از ۵ متر باشد، بهتر است که در امتداد عرضی آبراهه از چندین نقطه نمونه برداری شده و پس از اختلاط با یکدیگر یک نمونه معرف تهیه و مشخصات نمونه های تلفیقی درکارت نمونه برداری ثبت شود.

فاصله نمونه ها از یکدیگر بر اساس درجه بندی آبراهه ها انتخاب می‌شود به طوریکه آبراهه های درجه یک (آبراهه های سرشاخه) دارای اهمیت بیشتری هستند. معمولا محل برداشت هر نمونه باید در منتهی الیه آبراهه و قبل از پیوستن به آبراهه های بعدی انتخاب شود. برداشت نمونه های کانی سنگین از آبراهه های درجه ۴ و ۵ (آبراهه های عریض که چندین آبراهه فرعی به آن می پیوندند) با هدف اکتشاف کانسارهای آبرفتی انجام می شود. نمونه کانی سنگین باید از نقاطی برداشت شود که ضمن نشان دادن رابطه تمرکز کانی های سنگین با حوضه بالا دست خود، بیشترین تمرکز کانی ها را نیز داشته باشد.

کارشناسان پس از پیداکردن محل نمونه های از پیش طراحی شده با استفاده از نقشه و تطبیق آن با مختصات ذخیره شده در GPS ضمن اطمینان از مناسب بودن محل نمونه - به صورتی که نمونه برداشت شده حتی المقدور معرف نواحی بالادست باشد – اقدام به برداشت نمونه خواهند کرد. در صورت مشاهده مواردی از جمله کانی‌سازی و آلتراسیون در آبراهه‌های فرعی که در آنها نمونه‌ای طراحی نشده بود، به کارشناس نمونه‌بردار اختیار طراحی و برداشت نمونه از آبراهه‌های مذکور داده شده‌است.

در بعضی نقاط که با مشکلاتی از قبیل عدم نمونه‌دهی توسط آبراهه، جایگیری نامناسب نقطه در آبراهه موردنظر، خطای مکانی در نقطه از پیش تعیین شده و.... روبه رو می شویم امکان حذف و یا جابه جایی با نقطه دیگری را داریم.

۱-۲-۱- کدگذاری و ثبت اطاعات صحرایی نمونه ها:

کارشناس نمونه بردار باید علاوه بر برداشت نمونه، کارت نمونه برداری را برای هر نمونه تکمیل کند. اطلاعات مورد نیاز برای تکمیل این کارت عبارتند از:

- اطلاعات کلی شامل شماره نمونه ، نام پروژه، نام محل، سیستم مختصات جغرافیایی مورد استفاده، مشخصات نمونه و نام نمونه بردار.
- ویژگی های محیط نمونه برداری شامل عمق، ابعاد، افق ها، رطوبت، رنگ و ساختار نمونه بکر.
- وضعیت مورفولوژی و شیب منطقه.
- اطلاعات مربوط به وجود کانی سازی و دگرسانی.
- سنگ شناسی محدوده به صورت برجا و نابرجا.
- اطلاعات مربوط به آلودگی های احتمالی که با توجه به ماهیت و اهداف اکتشافی ویژه هر منطقه می توان مواردی بر حسب مورد به اطلاعات کارت نمونه برداری اضافه کرد.

۱-۲-۲- آماده سازی نمونه ها:

اولین مرحله آماده سازی نمونه ها با انتخاب ابعاد بهینه رسوبات به وسیله الک مورد نظر در صحرا انجام می شود. سپس در آزمایشگاه، نمونه ها طی مراحل خردایش و نرمایش تا ابعاد مشخصی پودر می شوند. بخشی از نمونه جهت تجزیه شیمیایی انتخاب و مابقی نمونه بایگانی می شود.

آماده سازی نمونه های کانی سنگین باید توسط کارشناس دارای آگاهی و تجربه کافی انجام شود. نمونه های کانی سنگین باید از بخش ناهمگن و درشت دانه رسوبات آبراهه ای و از عمق ۲۰ الی ۴۰ سانتی متری رسوبات برداشت شود.

۲- تجزیه نمونه ها

تجزیه نمونه ها در اکتشاف ژئوشیمیایی نقش اساسی دارد و در موفقیت و یا عدم موفقیت آن موثر است. به طوریکه اگر تجزیه های شیمیایی از صحت و دقت لازم برخوردار نباشند، اهداف اکتشاف محقق نخواهد شد. عوامل موثر در انتخاب روشهای تجزیه شیمیایی آزمایشگاهی شامل: ۱- مقیاس عملیات اکتشافی ، ماهیت نمونه و عناصر مورد نظر و حد تشخیص اندازه گیر عناصر می باشد.

مقیاس عملیات اکتشافی: در مرحله شناسایی مطالعات اکتشافی که مناطق وسیعی را در بر میگیرد. استفاده از آنالیزهای ICP-MS، ICP-OES و XRF پیشنهاد می شود، زیرا این روشها به دلیل امکان اندازه گیری تعداد بسیار زیاد عناصر کاربرد مناسبی دارند.

ماهیت نمونه و عناصر موردنظر: روش تجزیه بر اساس ماهیت نمونه و عناصر مورد نظر انتخاب می شود. به عنوان مثال برای تجزیه عناصر در نمونه های خاک با اهداف اندازه گیری بخشی از عناصر نظیر Mn، Fe، Mg ، Ca ، K، Na و یا عناصر گروه پلاتین یا عناصر آلوده کننده مانند سلنیوم، فلوئور، آرسنیک و نظایر آنها از روشهایی مانند WMA Wamtech Technique که مقدار طلا، الماس، عناصر ردیاب را به طور بخشی اندازه میگیرد، استفاده می شود.

حد تشخیص اندازه گیری عناصر: انتخاب روش تجزیه شیمیایی بستگی مستقیم به حداقل و حداکثر عیار قابل اندازه گیری دارد. اگر اندازه گیری عیار اقتصادی عناصر و مواد معدنی مورد توجه باشد، حد بالای اندازه گیری و در صورتی که هدف شناسایی پتانسیل عناصر در محدوده اکتشافی باشد، حد پایین اندازه گیری مورد نیاز است.

۳- پردازش داده ها

منظور از داده‌های خام همان نتایج آنالیز است که از آزمایشگاه تحویل گرفته‌شده و هیچ کاری روی آن‌ها انجام نشده‌است (بجز جایگزینی مقادیر سنسورد). قبل از انجام هر تحلیل و پردازشی بر روی داده‌های ژئوشیمی خام، ابتدا باید ویژگی‌های آماری و ماهیت تابع توزیع آن مشخص شود، چرا که انجام پردازش‌های آماری بر روی داده‌ها اگر بدون شناخت باشد نتیجه مطلوب بدست نمی‌آید. برای این منظور بایستی پارامترهای آماری از جمله میانگین، میانه، انحراف معیار، چولگی، کشیدگی، مینیمم و ماکزیمم مقدار با استفاده از نرم افزار آماری SPSS محاسبه گردد و سپس هیستوگرام مربوط به تمام عناصر جهت مشخص شدن وضعیت توزیع این عناصر ترسیم شود. در پردازش‌های آماری داده‌های ژئوشیمیایی استفاده از برخی روش‌ها منوط به نرمال بودن تابع توزیع متغیرهای مورد مطالعه است.

همانطورکه می دانیم در یک تابع توزیع نرمال، چولگی دارای مقدار صفروکشیدگی نیز مقدار ۳ می باشد و هرچه مقدار چولگی افزایش یابد، جامعه از حالت نرمال فاصله می گیرد. همچنین مقادیر بالای چولگی در یک تابع توزیع ژئوشیمیایی وجود کانی سازی احتمالی و یا غیرعادی بودن آن عنصر را گواهی می نماید.

پس از اعلام نتایج آنالیز توسط آزمایشگاه، و قبل از استفاده از داده ها برای تفسیر ژئوشیمیایی باید روی آن پیش پردازش صورت گیرد. پیش پردازش داده های ژئوشیمی، شامل جایگزینی داده های سنسورد، حذف اثر جامعه سنگی، جایگزینی مقادیر خارج از ردیف و نرمال سازی داده های غیر نرمال است.

الف: جایگزینی داده‌های سنسورد:

داده‌های سنسورد به داده‌هایی اطلاق می‌شود که به صورت مقادیرکمتر از و یا بیشتر از حد حساسیت دستگاهی (<,>) گزارش شده‌اند. این داده‌ها با توجه به مقادیر بسیار زیاد و یا بسیار کم عناصر و با عنایت به حد تشخیص دستگاه گزارش می‌شوند. بدیهی است که

سنجش مقادیر کمتر از حد حساسیت دستگاه در توانایی دستگاه نبوده و آنرا با نماد (<) نشان می‌دهد. با توجه به اینکه این مقادیر، ویژگی کمیتی (Quantitative) نداشته، لذا نمی‌توانند بصورت یک داده عددی در سیستم داده پردازی وارد شوند. در ضمن حذف آنها از سیستم نیز منجر به نادیده گرفتن بخشی از اطلاعات می‌شود. جایگزینی و تخمین داده‌های سنسورد با روشهای مختلفی انجام می‌شود:

۱- تعداد داده‌های سنسورد بیش از ۵۰ درصد کل داده‌ها باشد. در این حالت عنصر مورد نظر از گردونه پردازش‌های آماری و ترسیم نقشه‌های آنومالی حذف می‌شود.

۲- تعداد داده‌های سنسورد کمتر از ۵۰ درصد کل داده‌ها باشد. در این حالت مقادیر سنسورد باید توسط یکی از روش‌های زیر جایگزین شود:

الف. روش جایگزینی ساده (در مواقعی که تعداد داده‌های سنسورد کمتر از ۱۰ درصد کل داده‌ها باشد) که شامل جایگزینی نصف با ۳/۴ حد حساسیت برای مقادیر کوچکتر و ۴/۳ برای مقادیر بزرگتر از حد حساسیت دستگاهی می‌باشد.

ب. روش بیشترین درست نمائی کوهن (در مواردی که تعداد داده‌های سنسورد بیشتر از ۱۰ درصد کل داده‌ها است).

ب: جدایش جوامع سنگی جهت حذف اثر سنگ‌شناسی:

یکی از شرایط اصلی لازم جهت تحلیل صحیح داده‌های ژئوشیمیایی همگن‌بودن آن‌هاست، بطوری‌که بتوان آن‌ها را یک جامعه آماری واحد در نظر گرفت. انحراف از صحت چنین فرضی می‌تواند سبب ایجاد خطا در تحلیل داده‌ها و نتایج حاصله شود. یکی از متغیرهایی که می‌تواند موجب ناهمگنی در داده‌ها شود، نوع سنگ بستر رخنمون‌دار می‌باشد که نقش منشاء را برای رسوبات حاصل از فرسایش در حوضه آبریز ایفا می‌کند. تغییرات سنگ‌شناسی در ناحیه منشاء می‌تواند زیاد باشد و مقادیر زمینه عناصر مورد بررسی نیز در سنگ‌های مختلف می‌تواند تا چندین برابر تغییر کند بنابراین برخی از آنومالی‌ها ممکن است در ارتباط با کانه‌زایی نبوده و تغییرات لیتولوژیکی آن‌ها را ایجاد کند به عنوان مثال می‌توان به بالابودن زمینه عناصر Sr، Pb، Ba و Be در سنگ‌های آذرین فلسیک، عناصر Cr، Co و Ni در سنگ‌های آذرین مافیک و اولترامافیک و عناصر Sr و Ba در سنگ‌های آهکی و دولومیتی اشاره کرد، همچنین شیل‌ها (بویژه شیل‌های سیاه رنگ غنی از کربن و موادآلی) بعلت جذب کاتیونی بالا، سبب ایجاد آنومالی کاذب برای بسیاری از عناصر می‌شود؛ بنابراین فاکتور تغییرات سنگ‌شناسی در رسوبات می‌تواند بعنوان یکی از عوامل مهم در ایجاد ناهمگنی در جامعه نمونه‌های ژئوشیمیایی باشد، پس لازم است تا چنین اثری با جدایش نمونه‌ها براساس نوع واحدهای سنگی بالادست و نرمالیزه کردن داده‌های این گروه‌های سنگی نسبت به مقادیر استاندارد، خنثی گردد.

با توجه به مطالب فوق می‌توان بیان کرد که در اکتشافات ژئوشیمیایی با دو مولفه اصلی در تغییرپذیری عناصر رو به رو هستیم که عبارتند از:

مولفه سن‌ژنتیک که مربوط به تغییرات سنگ منشاء می‌باشد.

مولفه اپی‌ژنتیک که در ارتباط با فرآیند کانی‌سازی است.

از بین دو مولفه فوق، مولفه اپی‌ژنتیک به لحاظ اکتشافی اهمیت داشته و باید شناسایی شود و مولفه سن‌ژنتیک باید خنثی شود.

برای خنثی سازی اثر سنگ‌شناسی از دو روش مستقیم و غیر مستقیم استفاده می‌شود. در روش مستقیم به منظور شناسایی واحدهای سنگی بالادست هر نمونه، از نقشه زمین‌شناسی هم مقیاس استفاده می‌شود که پس از شناسایی تیپ سنگ‌های بالادست و تطبیق نقشه نمونه برداری با آن، نمونه‌ها براساس واحد یا واحدهای سنگی که منشا آن‌ها بوده‌اند در جوامع آماری جداگانه‌ای قرار می‌گیرند. در روش غیرمستقیم نیازی به شناخت تغییرات سنگ‌های بالادست نبوده و با استفاده از تحلیل چند متغیره و آنالیز فاکتور با توجه به اینکه اثر سنگ‌شناسی معمولا در فاکتورهای اول تا دوم ظاهر می‌شود؛ جهت حذف این عامل سنگ شناسی استفاده می‌گردد.

ج: بررسی مقادیر خارج از ردیف:

هنگام بررسی داده‌ها به مقادیری برمی‌خوریم که در کرانه‌های بالا و پایین جامعه داده‌ها قرار دارند و از جامعه اصلی جدا افتاده‌اند. به این داده‌ها مقادیر خارج از ردیف گفته می‌شود؛ بنابراین قبل از انجام هر کاری روی داده‌ها اقدام به بررسی این مقادیر گردیده تا ماهیت و اعتبار آن‌ها شناسایی شود و تصمیم درستی در قبال آنها اتخاذ گردد. مقادیر خارج از ردیف به سه حالت مختلف ممکن است وجود داشته باشد که عبارتند از:

۱. خطای سیستماتیک به هنگام نمونه‌برداری، آماده‌سازی یا تجزیه نمونه‌ها که باید از مرحله پردازش داده‌ها حذف شود.
۲. مشاهداتی که به صورت یک پدیده فوق‌العاده نمود پیدا می‌کنند که پس از بررسی اعتبار آن‌ها باید در مورد حفظ یا حذف آن تصمیم گرفت. مثل: رگه معدنی
۳. مشاهدات فوق‌العاده‌ای که هیچ‌گونه توضیح مناسبی برای آن‌ها وجود ندارد و باز هم تصمیم‌گیری در مورد آن‌ها طبق نظر کارشناس است.

وجود مقادیر خارج از ردیف در جامعه نمونه‌ها موجب افزایش واریانس جامعه و چولگی آن شده و سبب بروز خطا در برخی مراحل کار می‌شود. برای کاهش این اثر یا باید از روش‌های ناپارامتری (که نسبت به غیرنرمال بودن داده‌ها حساس نمی‌باشند) استفاده کرد یا این‌که در برخی از مراحل، داده‌های خارج از ردیف از جامعه داده‌ها حذف یا تعدیل گردند. برای مشخص شدن داده‌های خارج از ردیف باید اقدام به ترسیم نمودارهای جعبه‌ای برای تمامی عناصر مورد استفاده در پردازش کرد.

د: نرمال سازی داده ها:

تفکیک بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی از مقادیر زمینه در کارهای اکتشافی یکی از اساسی‌ترین مراحل تحلیل داده‌های ژئوشیمی می‌باشد. بی‌هنجاری‌های ژئوشیمی در حقیقت معرف مناطقی است که تمرکز یک عنصر خاص در آنجا بیشتر از حد آستانه باشد. روش‌های تحلیل آماری ساده براساس پارامترهای آماری توزیع مثل: میانگین، میانه و انحراف معیار در محاسبه حد آستانه استفاده می‌شوند. بطور کلی حد آستانه در ژئوشیمی از حاصل جمع میانگین (X) و ۱/۵ تا ۳ برابر انحراف معیار (S) به دست می‌آید. مقادیر بزرگ‌تر از حد آستانه به عنوان بی‌هنجاری انتخاب می‌شوند.

طبق نظر هاکس و وب (۱۹۶۲) زمینه را می‌توان مقدار میانه داده‌های ژئوشیمیایی در نظر گرفت. علت استفاده از مقدار میانه آن است که میانه برخلاف میانگین نسبت به تغییرات حداکثر و حداقل حساس نمی‌باشد و مستقل از مقادیر کرانه‌ایی و تابع توزیع عمل می‌کند. همچنین مقادیر بین X+2S و X+3S به عنوان بی‌هنجاری‌های ممکن و مقادیر بزرگ‌تر از X+3S به عنوان بی‌هنجاری‌های احتمالی طبقه‌بندی می‌شوند. در این روش با وجود کاربرد گسترده محدودیت‌هایی وجود داشته و ممکن است بعضی همپوشی‌ها بین داده‌های زمینه و بی‌هنجاری‌ها دیده شود و بعضی بی‌هنجاری‌های کوچک بارزسازی نشود. در کنار این روش‌های ساده، روش‌های آماری پیچیده‌تری مثل: تحلیل خوشه‌ای، تحلیل فاکتور، تحلیل رگرسیون و تحلیل مولفه‌های اصلی هم در جداسازی این بی‌هنجاری‌ها استفاده می‌شوند که از دقت بالاتری برخوردار هستند.

ه: پردازش آماری

پس از بررسی خطای تجزیه شیمیایی در صورت بروز خطا باید بلافاصله عنصر یا عناصری که دارای خطای بیش از حد مجاز هستند به آزمایشگاه اعلام شود و ضمن گزارش علت خطا، مجددا تجزیه شوند. پردازش آماری در سه مرحله انجام می شود:

الف – پردازش آماری تک متغیره :

همچنان که می دانیم هر عنصر در محیطهای ژئوشیمیایی مختلف دارای تابع توزیع خاص خود بوده و رفتار ژئوشیمیایی عناصر در محیطها و شرایط مختلف تغییر می نماید . برای شناخت هر تابع توزیع ، نیازمند به داشتن پارامترهای آماری معینی ، از آن تابع می باشیم . بدین منظور داده های خام عناصر بعد از ورود به محیط نرم افزار spss و اجرای فایل بندی ، جهت محاسبه پارامترهای آماری عناصر آماده می شوند . در مبحث پردازش داده های خام ، مقادیر اولیه آماری ، هیستوگرام و منحنی تجمعی p-p هر عنصر محاسبه می گردد.

ب - مطالعات آماری دو متغیره (روش تحلیل ضرایب همبستگی)

ضریب همبستگی، ارتباط و وابستگی متغیرهای مختلف را نشان می دهد. در مطالعات ژئوشیمیایی عوامل مختلفی از قبیل عوامل ژنتیکی و .. می تواند در ارتباط و وابستگی متغیرها به یکدیگر موثر باشد و مقدار این وابستگی را می توان با یک عدد بیان نمود که همان ضریب همبستگی است (حسنی پاک و شرف الدین، ۱۳۸۰). برای محاسبه ی ضریب همبستگی به روش پیرسون باید حتما توزیع داده ها نرمال باشد (Wellmer,1997).

ج - تحلیل های آماری چند متغیره (روش آنالیز خوشه ای)

برای خوشه بندی داده ها از روش اتصال (Linkage) استفاده می شود که در آن به ترتیب اشیاء (نمونه ها و یا متغیرها) با استفاده از روش بازگشتی به هم متصل می شوند. تمامی روشهای خوشه بندی مبتنی بر ماتریس شباهت ها می باشند (Davis, 2002). در مرحله اول دو نمونه و یا دو متغیری که بیشترین شباهت را دارند و در هر تکرار، شبیه ترین زوج خوشه ها یا اشیاء به هم وصل می شوند . هدف دستیابی به ملاکی برای طبقه بندی هر چه مناسبتر متغیرها بر اساس تشابه هر چه بیشتر درون گروهی و اختلاف هر چه بیشتر بین گروهی است (حسنی پاک و شرف الدین، ۱۳۸۰).

٤- کنترل صحرایی آنومالیهای ژئوشیمیایی (آنومالی چکینگ)

پس از ترسیم نقشه های آنومالی ژئوشیمی و مشخص شدن نقاط آنومالی ، کنترل صحرایی زونهای ناهنجاری مهمترین بخش از کنترل کیفیت اکتشاف ژئوشیمیایی است . در این مرحله آنومالی های واقعی از آنومالی های کاذب تشخیص داده می شوند. طی این مرحله باید موارد زیر مشخص شود:

- تعیین رابطه زونهای آنومالی با کانی سازی منطقه.
- تعیین رابطه زونهای آنومالی با پدیده های زمین شناسی نظیر واحد های سنگی، زونهای آلتراسیون و سیستم ساختاری و ساختمانهای زمین شناسی منطقه.
- تعیین رابطه زونهای آنومالی با حضور رگه های سیلیسی برشی و دایکهای کانی ساز.
- تعیین رابطه زونهای آنومالی با کانسار معادن فعال و متروکه و دیگر اندیسهای فلز و غیر فلزی موجود در منطقه.

مراحل اکتشاف ژئوشیمیایی بزرگ مقیاس رسوبات آبراهه ای به طور خلاصه در قالب شکل زیر آورده شده است:

مساحت قابل اکتشاف

↓

جمع آوری اطلاعات و نقشه های پایه

↓

تلفیق اطلاعات جمع آوری شده شامل زمین شناسی، ژئوشیمیایی، ژئوفیزیک و معدنی به منظور طراحی

↓

طراحی و اجرای مطالعات توجیهی به منظور بهینه سازی روشن ها و طرح نمونه برداری

↓

طراحی شبکه نمونه برداری با توجه به مشخصات زمین شناسی توپوگرافی و اطلاعات حاصل از مطالعات توجیهی با تراکم ۴ تا ۱۰ و در مناطقی تا ۲۰ نمونه در کیلومتر مربع برای نمونه های ژئوشیمیایی و ۱۰٪ از کل نمونه ها برای نمونه برداری کانی سنگین

↓

برداشت ۸۰ تا ۹۰ درصد نمونه های ژئوشیمیایی کنی سنگین و ثبت اطلاعات صحرایی و آماده سازی اولیه نمونه ها

↓

آماده سازی و تجزیه شیمیایی نمونه ها برای عناصر مورد نظر

↓

دریافت نتایج انجام محاسبات خطای نتایج آزمایشگاهی

↓

پردازش داده ها تهیه نمودارها و نقشه های آنومالی نمونه های ژئوشیمیایی و کانی سنگین

↓

مرحله کنترل آنومالی ها

کنترل صحرایی آنومالی های ژئوشیمیایی و کانی های سنگین و تطبیق آن ها با زونهای کانی ساز، دگرسانی واحد های سنگی، برداشت نمونه های باقی مانده و نمونه های چکشی از زونهای کانی ساز و پتانسیل دار و در صوت لزوم حفر ترانشه برداشت نمونه از دیواره ترانشه ها رگه ها و تهیه مقاطع زمین شناسی ترانشه ها

↓

آماده سازی و تجزیه شیمیایی نمونه های مرحله کنترل آنومالی ها

↓

ارزیابی و تلفیق داده های مرحله کنترل آنومالی ها و تصحیح مجدد نقشه ها

↓

تهیه گزار ش و نقشه های پایانی