

شناسایی الگوهای ژئوشیمیایی با استفاده از آنالیز تطبیقی خوشه‌ای چندمتغیره در برگه عشین

یوسف قنبری*^۱، کاوه پازند^۲

۱- دانشجوی دکتری تخصصی، مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشکده فنی و مهندسی

(#عهده دار مکاتبات - Ghanbari.yousef@Gmail.com)

چکیده

آنالیز تطبیقی خوشه‌ای چندمتغیره (MCACA) که برای نخستین بار در این مقاله توسعه داده شده است، مزایای آنالیز تطبیقی چندمتغیره و آنالیز هوشه‌ای سلسله مراتبی را به کار برده و آنالیز خوشه‌ای R_Mode و Q_Mode را به طور هم‌زمان برای مجموعه بزرگی از داده‌ها اعمال می‌نماید. براساس این روش یک برنامه سیستماتیک به منظور شناسایی الگوهای ژئوشیمیایی تهیه شده است. توسط این برنامه، مراحل پیچیده تفسیر داده‌ها را می‌توان در یک مرحله اجرا نمود و اطلاعات ژئوشیمیایی مهم را می‌توان با یک نمودار مانند دندروگرام نمایش داد. به عنوان مثال موردی، کار بر روی شناسایی الگوهای ژئوشیمیایی ناحیه‌ای برگه عشین در استان اصفهان انجام شده است. نتایج به دست آمده، الگوهای ژئوشیمیایی پنهان زیادی را نشان می‌دهد که با لیتولوژی، شرایط ساختاری و ... در ارتباط است و الگوهای ژئوشیمیایی اصلی با الگوهای زمین‌شناسی معین در ارتباط هستند. با درک ارتباط بین الگوهای ژئوشیمیایی و الگوهای زمین‌شناسی، نتایج حاصل از برنامه MCACA به تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه کمک می‌کند. داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای به دست آمده از اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای در ایران، اطلاعات مفیدی را براساس زمین‌شناسی و سایر عوامل در اختیار قرار می‌دهد و روش ارائه شده در این مقاله راهی جدید در ارزیابی این منابع فراهم می‌کند.

کلمات کلیدی: آنالیز تطبیقی، آنالیز خوشه‌ای، دندروگرام، رسوبات آبراهه‌ای، الگوهای ژئوشیمیایی.

۱- مقدمه

از دهه ۱۹۷۰، تکنیک‌های تشخیص الگو برای شناسایی اطلاعات زمین‌شناسی، اقتصادی و کانی‌سازی پنهان در داده‌های ژئوشیمیایی و تعیین الگوی زمینه ژئوشیمیایی چندمتغیره به کار گرفته شده‌اند (Castillo-Munoz and Howarth, 1976; Gustavsson and Bjorklund, 1976; Xie, 1979; Lindqvist and et al., 1987; Cheng, 1999; Li and et al., 1999; Cheng, 2000; Cheng, 2004; Agterberg, 2001 and Kaminskas, 2004). اخیراً این روش‌ها در بررسی روابط بین الگوهای ژئوشیمیایی ناحیه‌ای و ذخایر بزرگ معدنی نیز استفاده شده‌اند (Xie and et al., 2004; Deng and et al., 2001; Deng and et al., 2007; Deng and et al., 2008 and Wang and et al., 2007).

روش‌های مهم تشخیص الگو که در اکتشاف ژئوشیمیایی به کار می‌رود شامل آنالیز تفریقی و آنالیز خوشه‌ای هستند (Castillo-Munoz and Howarth, 1976; Ji and Chen, 1993 and Clemens and et al., 2002).

کاربرد آنالیز تفریقی دارای محدودیت‌های است چرا که به دست آوردن نقاط آموزشی اغلب دشوار است (Cheng and et al., 1994; Reimann and et al., 2002 and Ji and et al., 2007).

آنالیز خوشه‌ای به‌عنوان ابزاری برای تشخیص الگوهای ژئوشیمیایی ابتدا باید برای حجم بزرگی از داده‌ها آماده شوند زیرا اولاً، به‌طور مشخص در اکتشاف ژئوشیمیایی ناحیه‌ای نمونه‌های زیادی برداشته می‌شوند؛ ثانیاً نمایاندن رابطه بین خوشه R_Mode و Q_Mode مطلوب خواهد بود به نحوی که بتوان نوع نمونه را مطابق با نوع متغیر تفسیر نمود. اما با روش‌های آنالیز خوشه‌ای فعلی تأمین این شرایط مشکل خواهد بود.

روش‌های کلاسه‌بندی برای مجموعه بزرگی از داده‌ها شامل روش‌های غیرسلسله مراتبی می‌شوند (Mather, 1976; Treiger and et al., 1995; Eddy and et al., 1996; Velthuisen and et al., 1997 and Wei and et al., 2003) و آنالیز خوشه‌ای c-mean به‌طور موفقیت آمیز در اکتشاف ژئوشیمیایی به‌کار برده شده است (Rantitsch, 2000 and Hanesch and et al., 2001).

یک روش کلاسه‌بندی که می‌تواند ارتباط بین خوشه‌های R-mode و Q-mode را نشان دهد روش آنالیز خوشه‌ای تطبیقی سلسله مراتبی (HCCA) است که توسط جی و ژونگ (Ji and Zhong, 1991) و Ji و همکاران (۱۹۹۵) توسعه داده شده است. این روش در حال حاضر به‌طور موفقیت آمیزی در مطالعات ژئوشیمی زیست محیطی (Ge and Wu, 1995)، داروهای عناصر (Ji and et al., 2004)، علم اقتصاد (Jia and Hong, 2000 and Hong and et al., 1998)، جامعه‌شناسی (Ji and et al., 1995) و ... استفاده شده است. متأسفانه این روش کاربرد مناسبی در مورد مجموعه داده‌های بزرگ ندارد.

روش به‌کار رفته در این مقاله، استفاده هم‌زمان از آنالیز تطبیقی چندمتغیره و آنالیز خوشه‌ای (MCACA) است که هدف از آن یافتن الگوها و آنومالی‌های ژئوشیمیایی رسوبات آبراه‌های برگه ۱:۱۰۰،۰۰۰ عشین بوده و یک روش کلاسه‌بندی جدید آنالیز تطبیقی خوشه‌ای چندمتغیره (MCACA) را معرفی می‌کند.

۲- زمین‌شناسی

۲-۱- موقعیت جغرافیایی

ورقه یکصد هزارم عشین در منطقه ایران مرکزی و در شمال شهرستان نائین واقع شده است. این ورقه بین طولهای جغرافیایی $53^{\circ}00'$ تا $53^{\circ}30'$ خاوری و عرضهای جغرافیایی $33^{\circ}00'$ تا $33^{\circ}30'$ شمالی گسترش دارد. منطقه مورد مطالعه آب و هوای خشک و کویری دارد و تنها وزش بادهای منطقه سبب ایجاد گرد و غبار شدید در منطقه می‌شود.

این منطقه از طریق جاده آسفالت نائین-انارک که از بخش جنوب خاوری ورقه یکصد هزارم عشین می‌گذرد قابل دسترسی است (شکل ۱). جاده آسفالت دیگری که از ایستگاه راه‌آهن نائین از جاده مذکور جدا می‌شود موازی راه آهن تهران- بندرعباس پس از گذر از بخشهای مرکزی ورقه عشین به شهرستان زواره منتهی می‌شود.

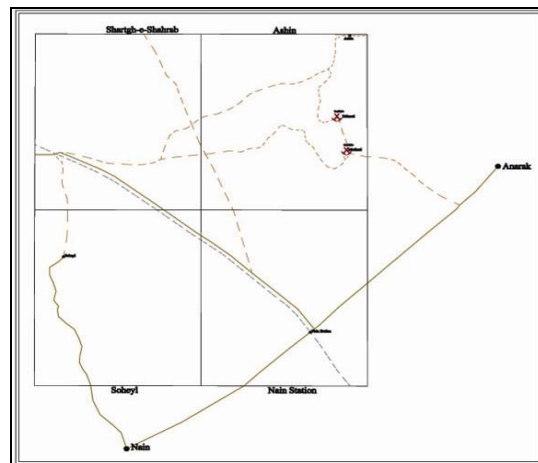
۲-۲- زمین‌شناسی

به‌طور کلی ورقه یکصد هزارم عشین متشکل از واحدهای دگرگونی پروتروزوئیک فوقانی بوده که با کنتاکت گسلی در کنار واحدهای کرتاسه فوقانی و سنوزوئیک قرار گرفته است (رومانکو).

واحدهای پروتروزوئیک فوقانی متشکل از شیست، مرمر و کوارتزیت بوده و از آن به‌کمپلکس دگرگونی انارک یاد می‌شود. درون طبقات شیستی گاهی عدسی‌های سیاه‌رنگ مسکویت- کوارتز- آلبیت شیست، شیست‌های دومیکا، مسکوویت-کلریت شیست، اپیدوت- کلریت شیست، اپیدوت- اکتینولیت-کلریت شیست و انواع مختلف کربنات‌ها به‌صورت کم در همه جا گسترده است.

رخنمون‌های جداگانه‌ای از سنگ‌های کرتاسه در ناحیه مورد بررسی پراکنده شده است که بیشتر آن‌ها در بخش شمالی متمرکز گردیده‌اند. ردیف رسوبی کرتاسه با سنگ‌های کربناته و کربناته تخریبی مشخص می‌شوند. بخش قاعده‌ای رسوبات که به‌طور منطقه‌ای رخنمون پیدا کرده است، شامل کنگلومرا، گراول سنگ، ماسه سنگ و ندرتاً مارن و ماسه ساحلی است.

در بیشتر نواحی آهک‌های کرتاسه تحتانی به‌طور دگرشیب توسط کنگلومرای کرمان پوشانده شده‌اند. این رسوبات شامل کنگلومرا و ماسه‌سنگ‌هایی است که به‌طور گسترده در بخش باختری ناحیه در کوهستان عشین دیده می‌شود. کنگلومرای کرمان به‌گونه دگرشیب روی سنگ‌های کرتاسه و پروتروزوئیک را پوشانده و خود توسط ولکانیک‌های ائوسن پوشیده می‌شود.



شکل ۱: راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه

سنگ‌های ولکانیکی و آذرآواری در بخش باختری کوه عشین با دگرشیبی زاویه‌دار بر روی کنگلومرای قاعده کرمان و ندرتاً بر روی طبقات کرتاسه قرار گرفته‌اند. این سنگ‌ها شامل گدازه، توف و رسوبات آذرآوای هستند که به‌طور جانبی و عمودی به یکدیگر تبدیل می‌شوند. در درون این نهشته‌ها طبقاتی ظریف ارگانیکی نیز دیده می‌شوند. سنگ‌هایی که با سن ائوسن-الیگوسن در باختر ناحیه در معدن تالمسی و مسکنی رخنمون دارد، با یک دگرشیبی زاویه‌دار بر روی واحدهای سنگی ائوسن و یا قدیم‌تر همچون سازند سهل، واحدهای ولکانیکی، کنگلومرای کرمان و... قرار گرفته‌اند. این سنگ‌ها اغلب نهشته‌های تخریبی هستند اما در فاصله بسیار کوتاهی تغییر رخساره می‌دهند.

سه سازند مختلف با سن الیگو-میوسن در ناحیه شناسایی شده‌اند که شامل سازند قرمز زیرین و فوقانی با رخساره قرمز تخریبی و واحد کربناته قم که در بخش وسط آن دو لایه مارنی استقرار دارد. این مجموعه دارای گسترش قابل ملاحظه‌ای در منطقه است. این مجموعه در بخش باختری برگه توپوگرافی عشین و در خاور و شمال برگه توپوگرافی سهیل گسترش دارد.

رسوبات متعلق به پلیوسن در باختر ناحیه رخنمون دارد و پوشش‌های کوچکی در روی سنگ‌های اولترابازیک و دگرگونه‌های انارک تشکیل می‌دهند. این نهشته‌ها به‌رنگ قهوه‌ای روشن بوده و کنگلومراها با سیمان سست ماسه‌ای، گچی و کربناته و قلوه‌های درشت و نیز عدسی‌های ماسه‌سنگی و طبقات گچی در میان این سازند دیده می‌شود. این رسوبات به سهولت فرسوده می‌شوند و در کل چند ده متر بیشتر ضخامت ندارند.

نهشته‌های کوتاه‌تر در ناحیه مورد بررسی گستره بزرگی را پوشانده است. این رسوبات حوضه‌های مسطح دشت و ته دره بین کوه‌ها را پر کرده و گاهی به‌صورت پرتگاه‌های شبیه تراس دیده می‌شود.

سنگ‌های آذرین که در محدوده‌های معادن و اندیس‌های معدنی رخنمون دارد به مجموعه‌های افیولیتی، ولکانو-پلوتونیک و اولترابازیکی (سرپانتینیت و پریدوتیت) تقسیم می‌شوند.

افیولیت‌های کرتاسه-اوسن در محدوده ورقه مورد اکتشاف به افیولیت‌های نائین-بافت یا زون افیولیتی نائین-زوار معروف است. این مجموعه را با توجه به قرابت پتروگرافیک، به سنگ‌های آتشفشانی زون آمیزه رنگین، به همان مجموعه نسبت دهند. در میان این سنگ‌ها دایک‌هایی از جنس پلاژیوگرانیت و دیوریت پورفیری با روندی شمالی-جنوبی نفوذ نموده و شکل این سنگ‌ها در مواردی به صورت توده‌ای تظاهر پیدا می‌نماید.

۳- روش کار

۳-۱- نمونه‌برداری و آنالیز شیمیایی

با توجه به شرایط خاص آب و هوایی منطقه، از روش آبراه‌ای برای نمونه‌برداری ژئوشیمیایی استفاده شده است. طراحی شبکه نمونه‌برداری بهینه با به‌کارگیری کلیه اطلاعات موجود از جمله اطلاعات نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰، نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰,۰۰۰، نقشه مغناطیس هوایی، اطلاعات مربوط به معادن و کانسارهای محدوده مورد بررسی انجام گرفته است.

در مجموع تعداد ۳۸۰ نمونه ژئوشیمی با چگالی یک نمونه در هر $2/5-3 \text{ Km}^2$ برای رخنمون‌ها و یک نمونه در هر $7-10 \text{ Km}^2$ برای نواحی مسطح از جزء ۸۰-مش (۰/۱۸ میلی‌متر) وسط آبراه‌ها و از رسوبات جوان بستر برداشت گردید. موقعیت نمونه‌ها با استفاده از دستگاه GPS ثبت شد (شکل ۲). نمونه‌های فوق در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی کشور مورد آنالیز قرار گرفته و مقادیر ۲۴ عنصر در آنها اندازه‌گیری شده است. جهت آنالیز عناصر اصلی و عناصر فرعی از روش XRF استفاده شده است.

علاوه بر نمونه‌های فوق به منظور کنترل دقت مطالعات آزمایشگاهی و محاسبه میزان خطا تعداد ۳۰ نمونه تکراری تهیه و مورد آنالیز قرار گرفته است.

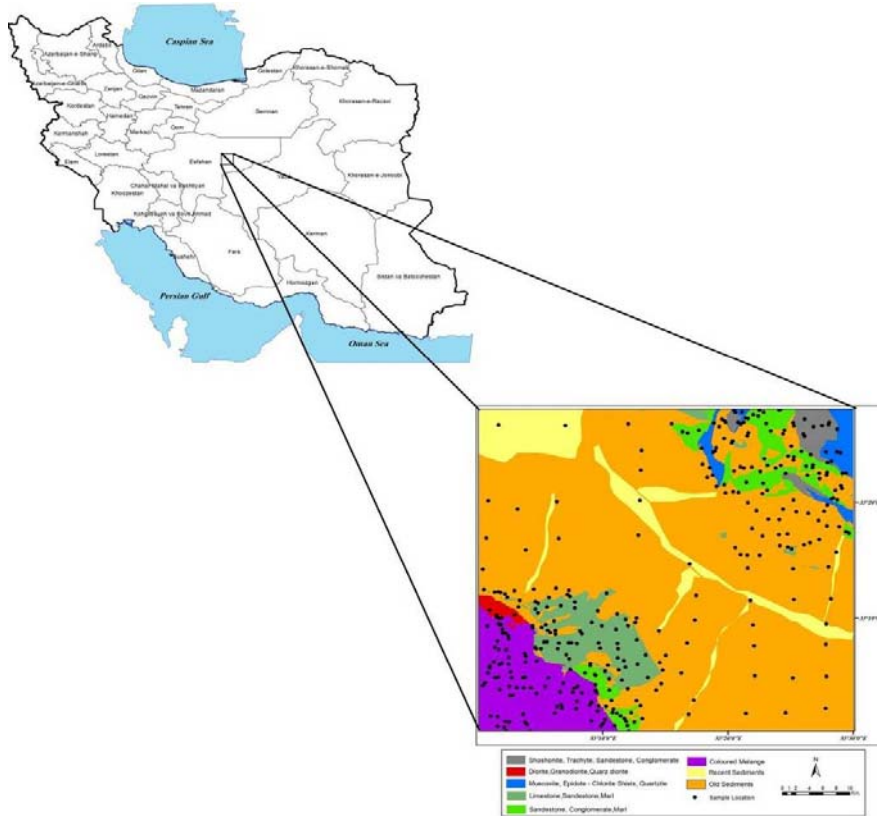
۳-۲- آنالیز تطبیقی چندمتغیره و آنالیز خوشه‌ای

آنالیز تطبیقی چندمتغیره (Greenacre, 1984 and Benzecri, 1980) یک روش تحلیل داده است که بر روی متغیرهای گروه‌بندی اعمال شده و اطلاعات ژئوشیمیایی را براساس متغیرهای گروه‌بندی شده، به صورت کمی دسته‌بندی می‌کند. بنابراین استفاده از آنالیز تطبیقی چندمتغیره امکان مطالعات چند عنصری را فراهم نموده و مشکلات ناشی از خطای نمونه‌برداری و تجزیه را تا حدی کاهش می‌دهد. مبنای تئوریک اصلی MCACA آنالیز تطبیقی است (Benzecri, 1973 and David and et al., 1974).

فرض می‌کنیم که یک ماتریس داده $X = (x_{ij})_{n \times m}$ با n نمونه و m متغیر داریم که در آن مقدار x_{ij} مقدار اندازه‌گیری شده i امین متغیر مربوط به i امین نمونه است، و $x_{ij} \geq 0$ و اگر $m+n$ مجموع فراوانی‌ها در ماتریس داده‌های X باشد، ماتریس نسبت $P = \{p_{ij}\}$ را که حاصل تقسیم عناصر ماتریس به $m+n$ است را تشکیل می‌دهیم. بنابراین

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{m+n} > 0; i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

ماتریس P تحت عنوان ماتریس تطبیقی نامیده می‌شود.



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی ساده شده بر گه ۱:۱۰۰,۰۰۰ عشین به همراه محل برداشت نمونه‌ها

سپس بردارهای I و C که معادل مجموع سطرها و ستون‌ها است و ماتریس‌های قطری R و C که عناصر روی قطر اصلی آن‌ها به ترتیب r و c خواهد بود را را تعریف می‌کنیم. پس داریم:

$$r_i = p_{i1} + p_{i2} + \dots + p_{im} > 0; i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$c_j = p_{1j} + p_{2j} + \dots + p_{nj} > 0; j = 1, 2, \dots, m. \quad (3)$$

$$[R] = \text{diag}(r_1, r_2, \dots, r_n) \quad (4)$$

$$[C] = \text{diag}(c_1, c_2, \dots, c_m) \quad (5)$$

ماتریس‌های ریشه دوم به شکل زیر تعیین می‌گردند:

$$[R]^{1/2} = \text{diag}(\sqrt{r_1}, \sqrt{r_2}, \dots, \sqrt{r_n}); \quad (6)$$

$$[R]^{-1/2} = \text{diag}\left(\frac{1}{\sqrt{r_1}}, \frac{1}{\sqrt{r_2}}, \dots, \frac{1}{\sqrt{r_n}}\right) \quad (7)$$

$$[C]^{1/2} = \text{diag}(\sqrt{c_1}, \sqrt{c_2}, \dots, \sqrt{c_m}); \quad (8)$$

$$[C]^{-1/2} = \text{diag}\left(\frac{1}{\sqrt{c_1}}, \frac{1}{\sqrt{c_2}}, \dots, \frac{1}{\sqrt{c_m}}\right) \quad (9)$$

ماتریس شباهت بین نمونه‌ها در آنالیز تطبیقی به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$[W] = [R]^{-1/2}[X][C]^{-1/2} \quad (10)$$

$$[L] = [W]^T[W] \quad (11)$$

که در آن W^T ترانهاده ماتریس W است. بزرگ‌ترین مقدار ویژه L برابر ۱ است، اما این مقدار به یک بردار ویژه بدون مفهوم اشاره دارد (Dong and et al., 1979). بنابراین، از مقدار ویژه برابر ۱ صرف‌نظر کرده و سایر p ($p \leq m$) مقدار ویژه بزرگتری که $1 \geq \lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$ است را انتخاب و بردار ویژه معادل آن به شکل زیر خواهد بود

$$[s_j] = (s_{1j}, s_{2j}, \dots, s_{mj})^T; j = 1, 2, \dots, p. \quad (12)$$

ماتریس‌های D و S به صورت زیر خواهند بود:

$$[D] = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p) \quad (13)$$

$$[S] = \text{diag}(s_1, s_2, \dots, s_p) \quad (14)$$

سپس دو نتیجه مهم حاصل از آنالیز تطبیقی به صورت ذیل تعریف می‌گردد:

$$[F] = [C]^{-1/2}[S][D]^{1/2} \quad (15)$$

$$[K] = [R]^{-1/2}[W][S] \quad (16)$$

که در آن F ماتریس $m \times p$ بعدی فاکتورها برای حالت R -mode بوده و m سطر معرف m متغیر در فضای p بعدی است و K ماتریس $n \times p$ بعدی فاکتورها برای حالت Q -mode بوده که در آن n سطر معرف n نمونه در فضای p بعدی است. بر مبنای اصول آنالیز تطبیقی، مشخصات نمونه‌ها را می‌توان در ارتباط با متغیرها تفسیر نمود. بنابراین مجموعه داده‌های بزرگ را می‌توان در دو مرحله طبقه‌بندی کرد.

اولین مرحله، تقسیم انواع متغیرها به وسیله آنالیز خوشه‌ای سلسله مراتبی است. شباهت‌های بین متغیرهای i و j را می‌توان با معادله زیر بیان کرد:

$$d_{ij} = \left[\sum_{k=1}^p (f_{ik} - f_{jk})^2 \right]^{1/2}; i, j = 1, 2, \dots, m \quad (17)$$

که $D = (d_{ij})$ ($i, j = 1, 2, \dots, m$) به ماتریس فاصله معروف است. با انجام آنالیز خوشه‌ای سلسله مراتبی بر روی ماتریس D ، دندروگرامی برای m متغیر به دست می‌آید.

دومین مرحله، تشخیص نوع نمونه‌ها به وسیله آنالیز خوشه‌ای سلسله مراتبی است. مشابه با روش خوشه‌بندی c -mean متغیرها به عنوان مراکز خوشه‌بندی در نظر گرفته شده و شباهت بین نمونه i و متغیر j توسط معادله زیر تعریف می‌شود:

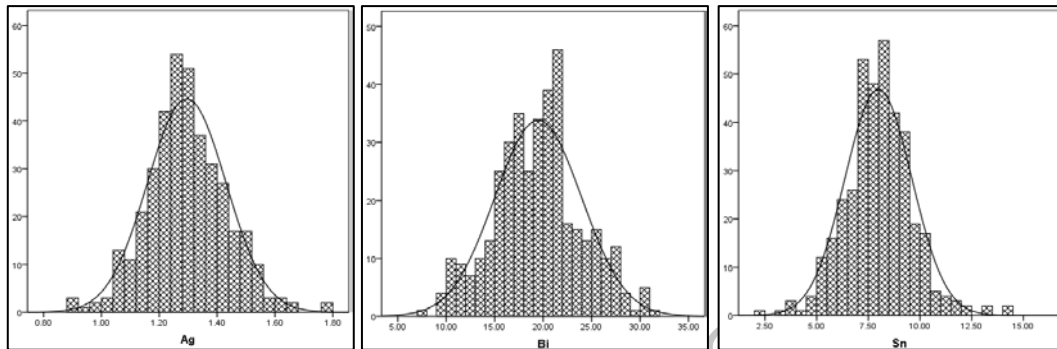
$$d_{ij} = \left[\sum_{k=1}^p (k_{ik} - k_{jk})^2 \right]^{1/2}; i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m \quad (18)$$

واضح است که در این روش، مزایای آنالیز تطبیقی، آنالیز خوشه‌ای سلسله مراتبی و غیر سلسله مراتبی با هم ترکیب می‌شوند. به دلیل استفاده هم‌زمان آنالیز تطبیقی چندمتغیره، آنالیز خوشه‌ای سلسله مراتبی (سلسله مراتبی)، این روش تحت عنوان آنالیز تطبیقی خوشه‌ای چندمتغیره (MCACA) نامیده می‌شود.

۴- بحث

۴-۱- پردازش آماری

جدول (۱) برخی از پارامترهای آماری را برای ۲۴ عنصر مورد استفاده در این مطالعه نشان می‌دهد. مقایسه مقادیر میانگین، میانه و چولگی نشان می‌دهد که عناصر Ag, Bi, As, Nb و Sn دارای جوامع با توزیع نرمال می‌باشند و شکل (۳) هیستوگرام عناصر Ag, Bi و Sn را نشان می‌دهد.



شکل ۳: هیستوگرام عناصر Ag, Bi, Sn دارای توزیع نرمال

۴-۲- آنالیز تطبیقی چندمتغیره و آنالیز خوشه‌ای

تشخیص الگوی ژئوشیمیایی با اجرای برنامه MCACA (برنامه تهیه شده توسط Matlab) بر روی یک ماتریس 24×380 انجام شد؛ تعداد فاکتورها (p) ۲۳ انتخاب گردید. براساس دندروگرام به دست آمده (شکل ۴)، عناصر به دو گروه به صورت زیر تقسیم گردیدند.

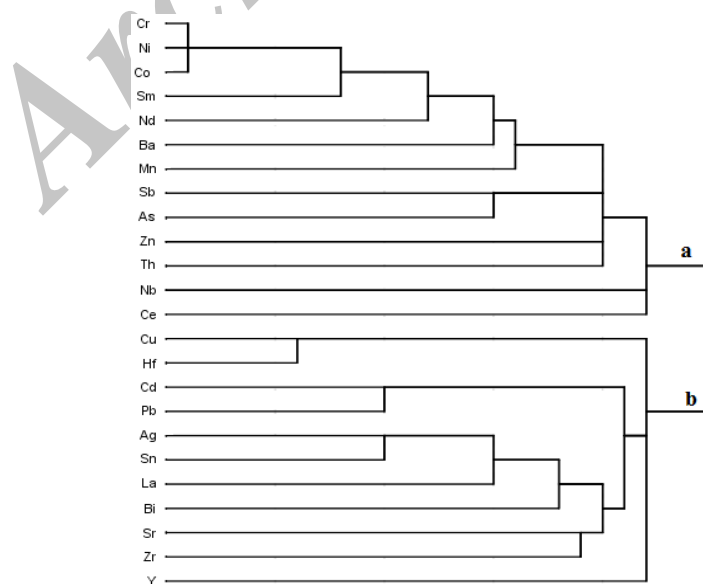
- a. Cr, Ni, Co, Sm, Nd, Ba, Mn, Sb, As, Zn, Th, Nb and Ce;
b. Cu, Hf, Cd, Pb, Ag, Sn, La, Bi, Sr, Zr and Y;

تعداد ۳۸۰ نمونه به دو گروه تقسیم گردید که این تقسیم‌بندی نیز براساس متغیرهای مورد مطالعه یعنی عناصر تجزیه شده هستند. از کل این نمونه‌ها، تعداد ۲۸۹ نمونه در گروه a و تعداد ۹۱ نمونه نیز در گروه b جای گرفتند. ارتباط معنی‌داری از لحاظ زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی بین عناصر هر گروه وجود دارد. عناصر موجود در گروه a بیشتر معرف سنگ‌های اولترابازیک و دگرگونی هستند که غالباً در قسمت جنوبی و غربی نقشه واقع شده‌اند که منطبق با حضور آمیزه‌های رنگی و افیولیت‌ها هستند. در این گروه حضور عناصری از قبیل As, Ba و Zn می‌تواند دلالت بر حضور سنگ‌های نفوذی مانند دیوریت، گرانودیوریت و کوارتز دیوریت باشد. همچنین حضور عناصر گروه a را می‌توان با ماسه‌سنگ‌ها و کنگلومراهای واقع در بخش جنوب غربی منطقه در ارتباط دانست که حاصل تخریب ولکانیکی و افیولیت‌ها هستند.

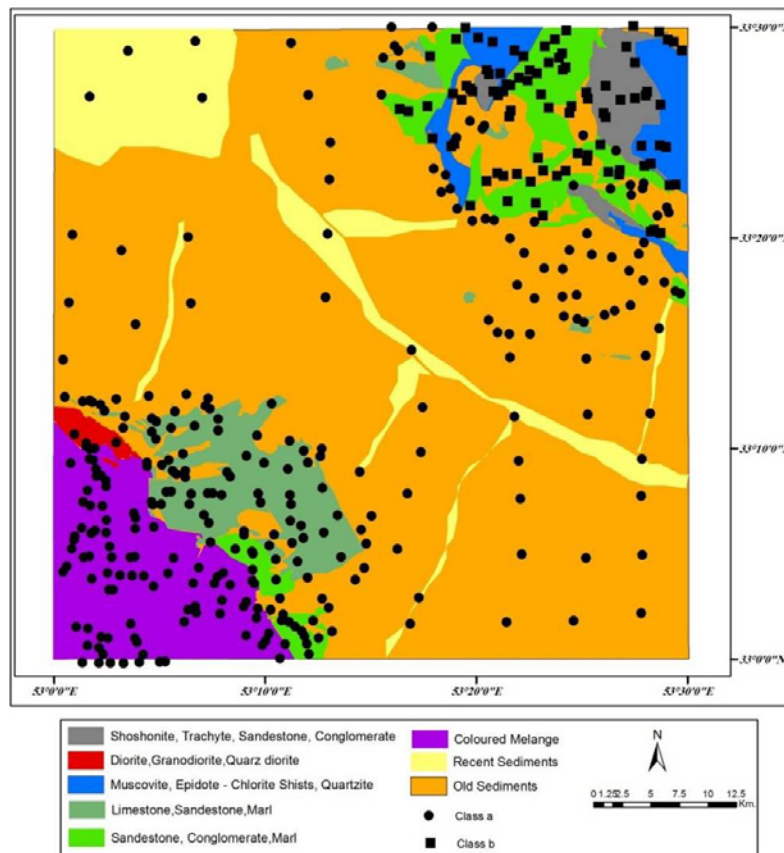
عناصر گروه b که در هر دو بخش شمال شرقی و جنوب غربی قابل رویت هستند، بیشتر می‌تواند بیانگر محصولات فرآیند هیدروترمال در منطقه باشد که در ارتباط با سنگ‌های نفوذی از قبیل دیوریت، گرانودیوریت و کوارتز دیوریت که غالباً در بخش شمال شرقی منطقه واقع شده‌اند. همچنین دلیل حضور این عناصر در یک گروه را می‌توان به سنگ‌های کربناته و ماسه‌سنگ‌ها و کنگلومراهای منطقه نسبت داد که حاصل تخریب سنگ‌های نفوذی منطقه هستند (شکل ۵).

جدول ۱: پارامترهای آماری مهم برای ۲۴ متغیر مورد مطالعه

متغیر	میانگین	میانه	حداقل	چارک اول	چارک سوم	حداکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات	چولگی
Ag	۱/۲۹	۱/۲۹	۰/۸۸	۱/۲۱	۱/۳۸	۱/۷۸	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۱۸
Bi	۱۹/۴۹	۱۹/۶۷	۷/۰۲	۱۶/۵۸	۲۱/۸۵	۳۱/۵۰	۴/۴۹	۰/۲۳	۰/۰۴
Cd	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۵۰	۰/۸۰	۱/۱۲	۹/۶۱	۰/۴۹	۰/۵۰	۱۴/۱۸
Co	۱۹/۵۹	۱۷/۴۶	۹/۵۵	۱۴/۰۳	۲۲/۲۲	۶۱/۹۵	۷/۸۰	۰/۴۰	۱/۷۸
Cr	۷۱/۶۶	۶۳/۰۹	۱۶/۱۸	۴۴/۹۰	۸۳/۹۴	۲۱۹/۱۶	۳۶/۰۲	۰/۵۰	۱/۴۵
Cu	۲۵/۱۷	۲۲/۶۰	۱۳/۹۰	۱۹/۵۱	۲۵/۸۷	۴۰۴/۴۸	۲۴/۰۶	۰/۹۶	۱۲/۶۴
Mn	۶۵۶/۲۴	۶۳۸/۳۷	۲۶۰/۳۸	۵۴۳/۲۱	۷۱۱/۵۵	۱۴۲۳/۳۱	۱۸۴/۸۸	۰/۲۸	۱/۴۹
Ni	۱۸۲/۷۴	۱۴۰/۱۰	۲۷/۹۰	۸۶/۰۴	۲۲۹/۰۱	۸۱۰/۰۳	۱۲۹/۴۸	۰/۷۱	۱/۳۲
Pb	۲۲/۹۱	۲۲/۸۴	۹/۴۴	۲۰/۹۳	۲۴/۴۷	۷۶/۳۷	۴/۶۱	۰/۲۰	۴/۸۰
Sb	۱۸/۱۰	۱۷/۰۴	۷/۹۸	۱۴/۹۵	۲۰/۱۶	۳۲/۶۵	۴/۳۷	۰/۲۴	۰/۹۱
Zn	۷۷/۴۲	۷۲/۶۴	۳۷/۹۰	۶۵/۲۶	۸۳/۶۸	۱۹۴/۱۲	۲۰/۳۸	۰/۲۶	۲/۲۰
As	۲/۲۱	۲/۲۰	۱/۹۹	۲/۱۴	۲/۲۸	۲/۶۹	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۹۶
Ba	۲۳۵/۲۹	۲۲۸/۷۴	۱۳۸/۸۰	۱۳۸/۸۰	۲۹۰/۲۵	۷۸۶/۳۸	۱۰/۱۳۷	۰/۴۳	۱/۳۸
Ce	۱۳۱/۱۴	۱۳۴/۴۴	۳۳	۱۲۱/۵۳	۱۴۴/۴۳	۱۷۴/۱۶	۲۰/۲۵	۰/۱۵	-۱/۲۲
Hf	۵/۱۰	۳/۱۲	۱/۸۲	۲/۶۲	۳/۵۷	۴۵۶	۳۷/۸۸	۵/۴۷	۱۴/۵۰
La	۸۴/۷۹	۱۲۰	۸/۲۵	۴۶/۱۱	۱۲۰	۱۳۳/۸۴	۴۱/۴۳	۰/۴۹	-۰/۶۳
Nb	۱۳/۱۰	۱۳/۱۲	۲/۶۳	۹/۹۸	۱۵/۹۴	۳۰/۳۱	۴/۷۵	۰/۳۶	۰/۲۵
Nd	۲۵/۸۷	۱۵/۷۵	۱۵/۷۵	۱۵/۷۵	۱۵/۷۵	۸۳/۷۰	۲۱/۳۸	۰/۸۳	۱/۹۶
Sm	۷/۱۰	۶/۹۹	۴/۳۷	۶/۳۷	۷/۶۷	۱۴/۴۰	۱/۱۷	۰/۱۷	۲/۰۶
Sn	۷/۹۹	۸/۰۱	۲/۱۸	۷/۱۱	۹/۹۸	۱۴/۰۳	۱/۶۲	۰/۲۰	۰/۱۹
Sr	۳۳۹/۳۲	۳۱۷/۶۷	۲۱۰/۹۱	۲۹۳/۷۴	۳۴۵/۶۴	۷۶۵/۸۷	۹۸/۷۱	۰/۲۹	۳/۲۱
Th	۵/۲۹	۳/۹۳	۲/۷۸	۲/۷۸	۶/۸۲	۱۹/۴۸	۳/۳۱	۰/۶۳	۱/۴۶
Y	۱۸/۶۲	۲۰/۴۳	۱/۶۳	۱۹	۲۲/۳۵	۳۰/۷۶	۷/۰۶	۰/۳۸	-۱/۷۶
Zr	۱۴۵/۶۶	۱۲۱/۵۰	۱۲۱/۵۰	۱۲۱/۵	۱۷۵/۴۳	۲۸۸/۶۳	۳۵/۴۳	۰/۲۴	۱/۱۶



شکل ۴: دندروگرام ۲۴ متغیر مطالعه شده برگه عشین در استان اصفهان



شکل ۵: موقعیت نمونه‌های تقسیم شده در دو گروه مختلف a و b

اولین موضوعی که باید مورد بحث قرار گیرد، موفقیت نتایج به دست آمده با روش MCACA است. تجربه نشان می‌دهد که مفید بودن نتایج به میزان قابل قبول بودن خوشه‌های تهیه شده بستگی دارد و گاهی اوقات ممکن است گروه‌های عناصر غیرقابل اطمینانی حاصل شوند. در چنین مواردی می‌توان نتایج را به صورت‌های زیر بهبود بخشید: انتخاب روش‌های مناسب و متنوع‌تر برای ساختن دندروگرام (Mather, 1976); لحاظ نمودن تأثیر مقادیر خارج از رده یا حذف برخی از متغیرهایی که چندان قابل تفسیر نیستند (Ji and Chen, 1993; Tao and Xia, 2003; and Howarth and Sinding-Larsen, 1983).

مورد بعدی، محدودیت‌های به کارگیری روش MCACA در تشخیص الگوهای ژئوشیمیایی است. تشخیص بهتر انواع مختلف الگوهای ژئوشیمیایی به تعداد عناصر شاخصی بستگی دارد که در اختیار داریم. اگر تعداد عناصر مفید محدود باشد، تعداد گروه‌های قابل تشخیص نیز محدود خواهد بود.

مورد سوم، مربوط به کاربرد تشخیص الگوهای ژئوشیمیایی در مناطق معدنی است. در واقع، MCACA از دهه ۱۹۹۰ به بعد در مناطق معدنی متعددی به طور موفقیت آمیزی به کار گرفته شده است که به عنوان مثال می‌توان به معدن طلای جی شان در استان شان دونگ چین اشاره کرد که منتشر گردیده (Ji and et al., 2005) و هیچ مقدمه‌ای از روش MCACA ارائه نکرده است. در آن مثال، ۴ واحد ژئوشیمیایی با استفاده از ۱۱ عنصر تشخیص داده شده است که یک زون‌بندی شلخص ژئوشیمیایی از مرکز به اطراف زون معدنی قابل ردیابی می‌باشد: گروه Ni, Co و Mo; گروه Au, Ag, Cu و Pb; گروه Hg, As, Sb و Sb; گروه Ba (Ji and et al., 2005).

۵- نتیجه‌گیری

روش آنالیز تطبیقی خوشه‌ای چندمتغیره که در این مقاله بدان پرداخته شده است، یک روش جدید در آنالیز آماری چندمتغیره است. این روش از مزایای آنالیز تطبیقی، آنالیز خوشه‌ای سلسله مراتبی و غیر سلسله مراتبی استفاده کرده و آنالیز خوشه‌ای R-mode و Q-mode را برای مجموعه داده‌های بزرگ یکسان‌سازی می‌نماید. یک روش تشخیص الگو براساس آنالیز تطبیقی خوشه‌ای نیمه سلسله مراتبی می‌تواند به‌عنوان یک برنامه تفسیر داده در اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای انتخاب گردد. این روش، کار تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی را با مراحل ساده انجام داده و اطلاعات ژئوشیمیایی و زمین‌شناسی بسیار مهمی را تنها در یک نمودار نمایش می‌دهد. منابع اطلاعاتی مرتبط با زمین‌شناسی و کانی‌شناسی که در داده‌های ژئوشیمیایی ناحیه‌ای دور از چشم مانده‌اند و یک روش جدید در استخراج این اطلاعات به‌وسیله آنالیز تطبیقی خوشه‌ای نیمه سلسله مراتبی پیشنهاد می‌گردد.

۶- منابع

۱. رومانکو، نقشه زمین‌شناسی بزرگ ۱:۱۰۰,۰۰۰ عشین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
۲. Agterberg, F., 2001, Multifractal simulation of geochemical map patterns. *J. China Univ. Geosci.* 12 (1), 31–39.
۳. Benzecri, J.P., 1973, *L'Analyse des Données*. Tome 1: La Taxonomie; 2: L'Analyse des Correspondence. Dunod, Paris. 619 pp.
۴. Benzecri, J.P., 1980, *L'analyse des donnees*. Tome 2: L'analyse des correspondences. Dunod, Paris.
۵. Castillo-Munoz, R. and Howarth, R.J., 1976, Application of the empirical discriminant function to regional geochemical data from the United Kingdom. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 87, 1567–1581.
۶. Cheng, Q.; Agterberg, F. and Ballantyne, S., 1994, The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods. *J. Geochem. Explor.* 51 (2), 109–130.
۷. Cheng, Q., 1999, Spatial and scaling modelling for geochemical anomaly separation. *J. Geochem. Explor.* 65 (5), 175–194.
۸. Cheng, Q., 2000, Multifractal theory and geochemical element distribution pattern. *Earth Sci.-J. China Univ. Geosci.* 25 (3), 311–318 (in Chinese, with English abstract).
۹. Cheng, Q., 2004, A new model for quantifying anisotropic scale invariance and for decomposition of mixing patterns. *J. Math. Gelo.* 36 (3), 345–360.
۱۰. Clemens, R.; Peter, F. and Robert, G., 2002, Factor analysis applied to regional geochemical data: problems and possibilities. *Appl. Geochem.* 17, 185–206.
۱۱. David, M.; Campiglio, C. and Darling, R., 1974, Progress in R- and Q-mode analysis: correspondence analysis and its application to the study of geological processes. *Can. J. Earth Sci.* 11, 131–146.
۱۲. Deng, J.; Fang, Y. and Yang, L., 2001, Numerical modeling of ore-forming dynamics of fractal dispersive fluid systems. *Acta Geol. Sin.* 75, 220–232.
۱۳. Deng, J.; Wang, Q.; Wan, L. and et al., 2007, Singularity of Au distribution in altered rock type deposit - an example from Dayingezhuang gold ore deposit. In: Zhao, P. (Ed.), *The 12th Conference of the International Association for Mathematical Geology*. China university of Geosciences Press, Wuhan, pp. 44–47.
۱۴. Deng, J.; Wang, Q.; Wan, L.; Yang, L.; Zhou, L. and Zhao, J., 2008, Random difference of the trace element distribution in skarn and marbles from Shizishan Orefield, Anhui province, China. *J. China Univ. Geosci.* 19 (4), 319–326.
۱۵. Dong, W.; Zhou, G. and Xia, L., 1979, *Theory of Quantification and its Application*. Jilin People's Publishing House, Changchun. 197 pp. (in Chinese).
۱۶. Eddy, W.F.; Mockus, A. and Ouc, S., 1996, Approximate single linkage cluster analysis of large data sets in high-dimensional spaces. *Comput. Stat. Data Anal.* 23, 29–43.
۱۷. Ge, X. and Wu, X., 1995, A primary study on relation of regional geochemistry to endemic disease in Heilongjiang province. *J. Changchun Univ. Earth Sci.* 25 (1), 63–69 (in Chinese, with English abstract).
۱۸. Greenacre, M., 1984, *Theory and Applications of Correspondence Analysis*. Academic Press, London.
۱۹. Gustavsson, N. and Bjorklund, A., 1976, Lithological classification of tills by discriminant analysis. *J. Geochem. Explor.* 5, 393–395.

20. Hanesch, M.; Scholger, R. and Dekkers, M.J., 2001, The application of fuzzy c-means cluster analysis and non-linear mapping to a soil data set for the detection of polluted sites. *Phys. Chem. Earth, Part A Solid Earth Geod.* 26 (11–12), 885–891.
21. Howarth, R.J. and Sinding-Larsen, R., 1983, Multivariate analysis. In: Howarth, R.J. (Ed.), *Statistics and Data Analysis in Geochemical Prospecting. Handbook of Exploration Geochemistry*, vol. 2. Elsevier, Amsterdam, pp. 207–291.
22. Hong, F.; Jia, Z. and Long, Z., 1998, Correspondence cluster analysis and the decision of state investment fields. *J. Southwest Inst. Ethn. Groups (Philos. Soc. Sci.)* 19 (2), 132–137 (in Chinese).
23. Ji, H. and Zhong, C., 1991. New graphic procedures in regional geochemical exploration. *J. Comput. Tech. Geophys. Geochem. Explor.* 13 (2), 98–104 (in Chinese, with English abstract).
24. Ji, H. and Chen, Y., 1993, Correspondence cluster analysis for qualitative data and its application. *J. Comput. Tech. Geophys. Geochem. Explor.* 15 (4), 300–306 (in Chinese, with English abstract).
25. Ji, H.; Li, C.; Wang, L. and Wang, A., 1995b. The application of correspondence cluster analysis to the teaching research. *Appl. Stat. Manag.* 5, 10–13 (in Chinese).
26. Ji, H.; Yu, Y.; Shi, Y.; Qi, Y. and Chao, L., 2004. An application of correspondence cluster analysis in study of element medicine. *Chin. J. Health Stat.* 21 (4), 248–249 (in Chinese).
27. Ji, H.; Sun, F.; Chen, M.; Hu, D.; Shi, Y. and Pan, X., 2005, Geochemical evaluation for uncovered gold-bearing structures in Jiaodong area. *J. Jilin Univ. (Earth Sci. Ed.)* 35 (3), 308–312 (in Chinese, with English abstract).
28. Ji, H.; Zeng, D.; Shi, Y. and et al., 2007, Semi-hierarchical correspondence cluster analysis and regional geochemical pattern recognition. *J. Geochem. Explor.* 93 (2), 109–119.
29. Jia, Z. and Hong, F., 2000, Application of correspondence cluster analysis to decide the investment for railway construction. *J. Southwest Univ. Natl. (Philos. Soc. Sci.)* 21 (1), 11–14 (in Chinese).
30. Kaminskas, D., 2004, Comparison of pattern-recognition techniques for classification of Silurian rocks from Lithuania based on geochemical data. *Nor. J. Geol.* 84 (2), 117–124.
31. Lindqvist, L.; Lundholm, I.; Nisca, D.; Esbensen, K. and Wold, S., 1987, Multivariate geochemical modelling and integration with petrophysical data. *J. Geochem. Explor.* 29, 279–294.
32. Li, C.; Ma, T.; Zhu, X. and et al., 1999, Fractal brownian motion and geochemical survey- a fractal approach to the spatial distribution of element contents in the crust. *Geol. Rev.* 45 (1), 76–84 (in Chinese, with English abstract).
33. Mather, P.M., 1976, *Computational Methods of Multivariate Analysis in Physical Geography*. John Wiley & Sons, London. 532 pp.
34. Reimann, C.; Filzmoser, P. and Garrett, R.G., 2002, Factor analysis applied to regional geochemical data: problems and possibilities. *Appl. Geochem.* 17, 185–206.
35. Rantitsch, G., 2000, Application of fuzzy clusters to quantify lithological background concentrations in stream-sediment geochemistry. *J. Geochem. Explor.* 71, 73–82.
36. Tao, F. and Xia, L., 2003. Stepwise correspondence analysis and study of physical characteristics of Chinese Ethnic Groups. *J. Biomathematics* 18 (2), 139–145.
37. Treiger, B.; Bondarenko, I.; Malderen, H.V. and Grieken, R.V., 1995, Elucidating the composition of atmospheric aerosols through the combined hierarchical, non-hierarchical and fuzzy clustering of large electron probe microanalysis data sets. *Anal. Chim. Acta* 317, 33–51.
38. Velthuizen, R.P.; Hall, L.O.; Clarke, L.P. and Silbiger, M.L., 1997, An investigation of mountain method clustering for large data sets. *Pattern Recogn.* 30 (7), 1121–1135.
39. Wang, Q.; Deng, J. and Wan, L., 2007, Fractal analysis of element distribution in Damoqujia gold deposit, Shandong province, China. *Proceedings of the 12th conference of the international association mathematical Geology*, vol. 8, pp. 262–265.
40. Wei, Chih-Ping, Lee, Yen-Hsien, Hsu, Che-Ming, 2003, Empirical comparison of fast partitioning-based clustering algorithms for large data sets. *Exper Systems with Applications* 24, 351–363.
41. Xie, X., 1979, *Regional Geochemical Prospecting*. Geological Press, Beijing. 192 pp. (in Chinese).
42. Xie, X.; Liu, D.; Xiang, Y.; Yan, G. and Lian, C., 2004, Geochemical blocks for predicting large ore deposits-concept and methodology. *J. Geochem. Explor.* 84, 77–91.