هاله‌های منفی ژئوشیمیایی و اهمیت آنها در اکتشافات منطقه‌ای قره‌چمن– دوزدوزان

آینور ناصری [۱]، محمدجعفر محمدزاده [۲*]، پریا محبی [۳] و پریناز جوانی [۴]

[۱] دانشجوی دکترا، گروه مهندسی معدن، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
[۲] دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران
[۳] دانشجوی دکترا، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران
[۴] دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۳/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۸/۲۷

چکیده

منطقه قره‌چمن– دوزدوزان در آذربایجان شرقی روی پهنه ارومیه– دختر قرار دارد و بیشتر از سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی میانگین تا اسیدی با سن الیگوسن و رسوبات عهد حاضر تشکیل یافته است. اکتشافات ژئوشیمیایی با برداشت ۳۹۴ نمونه رسوب رودخانه‌ای در مقیاس ناحیه‌ای شروع و با هدف تعیین مناطق پتانسیل‌دار برای ۴۴ عنصر تجزیه شدند. آنچه در بیشتر کارهای اکتشافی مدنظر قرار می‌گیرد، آشکارسازی بی‌هنجاری‌ها به‌ویژه هاله‌های مثبت عناصر کانساری است. ولی توجه به‌هاله‌های منفی بسیار کمتر مد نظر قرار می‌گیرد. این مقاله نشان می‌دهد که کاهش برخی عناصر همراه در منطقه نیز ممکن است در ارتباط با کانی‌زایی ویژه‌ای باشد بنابراین هاله‌های منفی نیز می‌توانند حائز اهمیت باشند. به طور معمول حد آستانه بی‌هنجاری های منفی نیز مشابه بی‌هنجاری‌های مثبت برآورد می‌شود که این امر موجب پوشش هاله و عدم ثبت و کارآیی آنها میشود. در این مقاله اقدام به مدل‌سازی توأم هاله‌های مثبت و منفی و ارتباط آنها در ثبت الگوهای بهینه ژئوشیمیایی شده است. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که هاله‌های منفی مهم ثبت شده بیشتر به تداعی از فرایندهای سینژنتیک و برخی نیز تحت تأثیر ورود سیال‌های کانه‌دار در منطقه ایجاد شده‌اند. از جمله آنها ثبت هاله‌های منفی عناصری مانند Sc, Sr, Na در کنار هاله‌های مثبت عناصری مانند Au, Cu, Pb, Zn, Mo, U که نشانگر کانی‌زایی عناصر پایه و دیگر عناصر مهم در منطقه است. به‌طور کلی نتایج، نشان از سه مدل از همراهی هاله‌های مثبت و منفی ژئوشیمیایی در منطقه قره چمن بود: ۱) مدل همپوشانی هاله‌های مثبت و منفی با همدیگر مثل هاله‌های عناصر (Rb, Sr)؛ ۲) احاطه و حضور هاله‌های منفی در پیرامون هاله مثبت مانند هاله Sc محاط کننده هاله‌های مثبت Rb/K Ce, و هاله منفی Sr محاط کننده نسبت Ba/Sr و پهنه فلسیک و کلریتی در منطقه؛ ۳) مدل شاخص و کاملاً مجزای هاله‌های منفی از هاله‌های مثبت مانند (Mo-Sr)، (U-Sr) و (Cu-Sr). مطالعه توأم هاله‌های مثبت و منفی به‌ویژه در اکتشافات ژئوشیمیایی مقدماتی می‌تواند در ردیابی نهشته‌های پنهان مؤثر باشد. انطباق پهنه‌های مرکب دگرسانی فلسیک و شاخص جمعی کلریتی با مدل شماره ۲ نشان می‌دهد که این مدل در ارتباط با بی‌هنجاری‌های مثبت Au و منفی Sr در منطقه است. نتایج نشانگر این واقعیت است که صرفاً بررسی تمرکز عناصر مثبت در راستای پهنه گسلش کافی نبوده بلکه انطباق مدل‌دار هاله‌های منفی با مثبت به انضمام نتایج حاصل از شاخص مرکب بیانگر تجمع کانی‌زایی قوی در راستای NW-SE است.

کلیدواژه‌ها: اکتشاف ژئوشیمیایی، هاله‌های منفی، کنتراست، منطقه قره‌چمن - دوزدوزان، آذربایجان‌شرقی.

***نویسنده مسئول:** محمدجعفر محمدزاده
E-mail: mohammadzadeh@sut.ac.ir

۱– پیش‌گفتار

بی‌هنجاری ژئوشیمیایی عبارت است از مقادیر بیشتر یا کمتر در یک یا مجموعه‌ای از عناصر در نمونه‌های مشخص و محیط معینی که توسط روش‌های تجزیه ویژه‌ای تعیین می‌شود (Govett, 1983). پرواضح است که بی‌هنجاری منفی بیانگر کاهش مقادیر عنصر در مقایسه با حد زمینه آن در منطقه است (Smeslov et al., 1985; Xie, 1981). معمولاً بی‌هنجاری‌های منفی در مقایسه با بی‌هنجاری‌های مثبت جدی گرفته نمی‌شوند (Rose et al., 1979). آنچه در اکتشافات ژئوشیمیایی کانسارها در نظر گرفته می‌شود، ثبت بی‌هنجاری‌های مهم و بررسی نحوه توزیع هاله‌های مثبت در ارتباط با نهشته معدنی بر پایه پارامترهای پراکندگی عناصر است. بی‌هنجاری‌های منفی چه در پژوهش‌های صورت پذیرفته در کشورمان و چه در دیگر کشورها کمتر مد نظر قرار داده می‌شوند و بیشتر تلاش‌ها برای ثبت هاله‌های مثبت انجام می‌گیرد. ولی توجه به بی‌هنجاری‌های منفی نیز می‌تواند به‌اندازه بی‌هنجاری‌های مثبت اهمیت و ارتباط معنی‌داری با کانسارهای احتمالی منطقه مورد بررسی داشته باشند. مطالعات بسیار کمی در مورد بی‌هنجاری‌های منفی در دهه‌های گذشته صورت پذیرفته است. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که تشکیل هاله‌های منفی می‌تواند در ارتباط با پدیده‌های زمین‌شناسی خاصی باشد که برای پی‌جویی و اکتشاف نهشته‌های کانساری مفید هستند.

Ma & Liu(1992) نشان دادند که کاهش منطقه‌ای Au و بی‌هنجاری‌های منفی محلی با کمربندهای طلادار و برخی از توده‌های کانی‌زایی دیگر همراه هستند. بی‌هنجاری‌های منفی به همراه بی‌هنجاری‌های مثبت در سنگ دیواره‌های معدن طلای Mobin دیده و به عنوان عامل قوی اکتشافی ثبت شده‌اند (Sun & Zhang, 1993). Goldberg (1988) قوانینی را برای شناسایی و ثبت نهشته‌های گرمابی با استفاده از بی‌هنجاری‌های منفی در گستردگی منطقه‌ای و مقیاس‌های گسترده ارائه کرده است.

همه الگوهای ژئوشیمیایی یادشده الگوهای اولیه در سنگ هستند و طی فرایندهای مختلف زمین‌شناسی تکوین یافته و در اثر هوازدگی و فرسایش در محیط‌های ثانویه تجلی و حمل‌ونقل می‌یابند.

۲–زمین‌شناسی منطقه قره‌چمن – دوزدوزان

ناحیه مورد بررسی در شمال باختر کشور، استان آذربایجان شرقی در عرض جغرافیایی ″۳۳/۰۱ ′۲۷ °۳۷ - ″۵۹/۷۹ ′۱۲ °۳۷ شمالی و طول جغرافیایی ″۵۹/۸۵ ′۴۹ °۴۶ - ″۲۱/۱۱ ′۴۲ °۴۶ خاوری قرار دارد. از شمال به برگه ۱/۱۰۰۰۰۰ اهر از جنوب به برگه هشترود از خاور به برگه سراب و از باختر به برگه بستان‌آباد محدود می‌شود. منطقه قره‌چمن و دوزدوزان بزرگ‌ترین آبادی‌های موجود هستند. این منطقه بیشتر از سنگ‌های آتشفشانی میانگین تا اسیدی و رسوبی تشکیل شده است. انتظار می‌رود که بیشتر بی‌هنجاری‌ها (بی‌هنجاری‌های مثبت یا منفی) در پیرامون سنگ‌های آتشفشانی که در ارتباط با گسل‌های اصلی منطقه هستند، دیده شوند. شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه قره‌چمن – دوزدوزان را نشان

می‌دهد. همچنین نحوه پراکندگی گسل‌های اصلی این منطقه با روند شمال باختر – جنوب خاور و خاوری – باختری در شکل ۲ ارائه شده است. مهم‌ترین گسل‌های اصلی و کارساز در دامنه شمالی و جنوبی رشته‌کوه بزگوش واقع شده که موجب پایین‌افتادگی دو سوی این رشته‌کوه شده و بخش مرکزی آن به‌صورت هورست بالا آمده است (امامی، ۱۳۷۱). گسل جنوب قره‌چمن و شهر چای با راستای شمال باختر – جنوب خاور که در مرز رسوبات الیگوسن و میوسن و نیز در درون رسوبات اتفاق افتاده است. این گسل در جدایش حوضه‌های رسوبی نقش سازنده‌ای را ایفا کرده و ادامه آن به‌سوی باختر به گسل اصلی تبریز می‌پیوندد. برخی از سامانه گسل‌های فرعی با روند شمال خاور – جنوب باختر نیز در منطقه دیده می‌شوند که از نظر تأثیر ساختاری حائز اهمیت نیستند. جمع‌بندی و نتایج حاصل از مطالعات ژئوشیمیایی در منطقه قره‌چمن – دوزدوزان نشان می‌دهند که خروج توده‌های آتشفشانی در دوران ائوسن و الیگوسن همراه با فعالیت‌های دوباره سیال‌های کانه‌دار درونی توأم با ایجاد معابر مناسب برای محلول‌ها در سنگ‌های میزبان شده است. فعالیت‌های دوباره سیال‌های درونی فاز اول کانی‌زایی را در سنگ‌های خروجی موجب شده است. پیرو آن نفوذ توده‌های گرانیتی – سینیتی در دوران الیگوسن همراه با فرایندهای کانی‌زایی فاز دوم در منطقه را تشکیل داده که توأم با دگرگونی و دگرسانی‌ها در منطقه همراه بوده است. مجموع این فرایندها منجر به تشکیل بی‌هنجاری‌های عناصری مانند Cu, Pb, Zn و احتمالاً Au, U که پاراژنز همدیگر بوده را ایجاد کرده است. مقایسه ویژگی‌های بی‌هنجاری‌ها، ماهیت سنگ میزبان و دگرسانی‌های ایجاد شده و عجین شدن بیشتر این بی‌هنجاری‌ها در راستای NW-SE و همراهی بی‌هنجاری‌ها حاصل از عناصر پایه و شواهد سنگ‌شناسی دیگر نشان از آن دارد که تجمع و تمرکز این عناصر را می‌توان از نوع آتشفشانی‌های گرمابی به‌شمار آورد. غنی‌شدگی عناصر منطقه منطبق بر پهنه‌های زمین‌ساختی ارائه شده در منطقه است و به طور عمده گسل‌خوردگی‌هایی را با امتداد شمال باختری- جنوب خاوری متحمل شده‌اند.

۳– بررسی کانی‌زایی منطقه قره‌چمن – دوزدوزان

گستره وسیعی از منطقه مورد نظر در اثر نفوذ و خروج سنگ‌های آتشفشانی به‌وجودآمده است و از نظر فلززایی حائز اهمیت است. آثار پیریت و کالکوپیریت در سنگ‌های توفی و گدازه‌های خروجی ائوسن، الیگوسن، میوسن به‌طور پراکنده در بیشتر جاها تظاهر می‌یابند. پیریت و کالکوپیریت موجود در سنگ‌های آتشفشانی در اثر نفوذ محلول‌های گرمابی ناشی از توده‌های گرانیتی و سینیتی به‌طور محلی سولفاتی شده‌اند. این محلول‌های اسیدی باعث دگرسانی سنگ‌ها شده و چون ترکیب سنگ‌ها بیشتر اسیدی تا متوسط هستند در اثر دگرسانی، کانی‌های فلدسپاری آلکالن و پلاژیوکلازها به کانی‌های ورقه‌ای مانند کائولینیت، مونت‌موریلونیت، ایلیت تبدیل شده‌اند (امامی، ۱۳۷۱).

وجود کانی‌های سیلیکاتی گروه زئولیت‌ها در توف‌های ریولیتی و مناطق آلتره و همچنین در سنگ‌های نیمه نفوذی تفریتی شایان ذکر است. سنگ پرلیت به مقدار فراوان در درون ریولیت‌ها و ایگنمبریت‌های الیگوسن و میوسن تشکیل شده که به لحاظ گستردگی و داشتن ذخایر درخور توجه از اهمیت اقتصادی برخوردار است. توده‌های نفوذی سینیتی در رشته‌کوه بزگوش با توجه به دارا بودن مقدار Al_2O_3 بالا می‌توانند ماده اولیه مناسبی برای به‌دست آوردن آلومین و سرامیک و کاشی باشند و همچنین برای سنگ‌نما مورد استفاده قرار گیرند. در این منطقه به‌ویژه در بخش‌های مرکزی و جنوب خاوری قره‌چمن – دوزدوزان احتمال برونزد رگه‌های معدنی Cu، Au و U وجود دارد.

۴– نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

طراحی نمونه‌برداری رسوبات آبراهه‌ای در منطقه بر پایه شناخت حوضه‌های آبریز و اشراف به اصل (Sample Junction) با بررسی نقشه‌های توپوگرافی، محدوده حوضه‌های آبریز و سامانه آبراهه‌ها صورت گرفت. سپس با استفاده از نقشه زمین‌شناسی محدوده با در نظر گرفتن واحدهای سنگی آماده کانی‌سازی، توده‌های نفوذی، همبری‌های مهم، سیستم‌های گسلی و مناطق دگرسانی، این طراحی تکمیل و برای نمونه‌برداری به معیارهای ذیل توجه خاص شد:

- برداشت نمونه‌های حدالامکان معرف از محیط‌های مناسب.

-دستیابی به بیشترین پراکندگی یکنواخت نمونه‌ها در کل محدوده متناسب با سطح حوضه آبریز و تعداد انشعابات.

-اولویت به‌رسوبات آبراهه‌ای که سنگ بستر خود را قطع می‌کند.

در مجموع ۷۴۵ نمونه از کل ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ قره‌چمن – ترکمن‌چای برداشت شد که از این تعداد ۳۹۴ نمونه به منطقه قره‌چمن- دوزدوزان (منطقه مورد مطالعه) تعلق دارد؛ ۴۵ نمونه از کانی‌های سنگین و بقیه نمونه‌ها از رسوبات رودخانه‌ای است که بیشترین سازگاری را با روش مرکز ثقل داشته است. در طراحی به روش مرکز ثقل چگالی نمونه‌برداری در پیرامون توده‌های نفوذی و خروجی و نواحی مجاور آنها (همبری‌ها) نواحی پیرامون گسل‌ها و تقاطع آنها، پهنه‌های دگرسان شده پس از ماگمایی و مناطقی که در بخش بالایی توده‌های نفوذی نیمه‌ژرف قرار دارند به علت پتانسیل معدنی بالاتر، از اهمیت بالاتری برخوردار بودند. هر نمونه ژئوشیمیایی متشکل از حدود ۱۰۰ تا ۲۰۰ گرم جزو ۸۰- مش رسوب آبراهه‌ای بود که پس از الک کردن رسوب خشک در محل برداشت شد. همه نمونه‌های ژئوشیمیایی برداشت شده پس از آماده‌سازی و تبدیل به ۲۰۰- مش برای ۴۴ عنصر کمیاب (Cu, Pb, Zn, Mo, Au, Ag, Bi, Sb, As, Hg, Cr, Ni, Co, Ba, Be, La, U, Th, Y, Li, Nb, Rb, Sr, Ce, Sc, Ti, Te, Cd, Zr, Sn, W) و اکسیدهای اصلی به روش ICP-MS مورد تجزیه قرار گرفتند.

۵– پروسه داده‌ها

نتایج حاصل از عملیات پیش‌پردازش و تحلیل روی داده‌های منطقه نشان داد که پراکندگی عناصری مانند Sr, Bi که دارای چولگی بودند به حالت نرمال نزدیک شد و دیگر عناصر مانند Mo, Co, Ti Au, Sb, As, Cu, Zn, Sn پس از تبدیل لگاریتمی به پراکندگی نرمال نزدیک شدند.

بنابراین تحلیل آماری داده‌های ژئوشیمیایی و تفسیر برخی از نسبت‌های معرف در منطقه مانند Rb/K , Rb/Sr , Ba/Sr و برخی از شاخص‌های جمعی که معرف دگرسانی‌های مهم مانند فلسیک و کلریتی است نشان می‌دهند که عناصری مانند Cu, Au, Mo, Zn, Pb, U از اهمیت به‌سزایی در منطقه برخوردار هستند.

۶– حد آستانه بی‌هنجاری‌های منفی

در بیشتر اکتشافات ژئوشیمیایی، هدف تعیین هاله یا بی‌هنجاری‌های مثبت در ارتباط با نهشته معدنی است و کمتر به هاله یا بی‌هنجاری‌های منفی اهمیت داده می‌شود. هاله‌های منفی در واقع در ارتباط با آن دسته از عناصری هستند که تحت تأثیر شرایط خاص در ارتباط با محلول‌های ماگمایی و یا گرمابی و فرایندهای زمین‌شناسی خاصی به‌وجود آمده‌اند که این شرایط می‌تواند در ارتباط با فرایندهای کانی‌زایی باشند. بنابراین هاله‌های منفی می‌توانند کمک شایان توجهی را در پی‌جویی نهشته معدنی داشته باشند.

با توجه به تعریف بی‌هنجاری ژئوشیمیایی که در واقع مقدار نامعمول افزایش یا کاهش غلظت یک عنصر به‌طور آشکار در نمونه‌های مشخص و محیط‌های معین که توسط روش ویژه‌ای تجزیه شوند اطلاق می‌شود. مقادیر حد آستانه بی‌هنجاری‌های منفی مانند حد آستانه‌ای بی‌هنجاری‌های مثبت به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$T = \overline{X} \pm 2S \qquad (۱$$

$$T = \overline{X} \pm 3S \quad (۲$$

که در آنها T حد آستانه‌ای بی‌هنجاری و $\overline{X}$ مقدار زمینه و S مقدار انحراف معیار هستند. با استفاده از این روش تعداد بی‌هنجاری‌های منفی کمتری زمانی که پراکندگی عناصر دارای چولگی مثبت است ثبت می‌شود. بی‌هنجاری‌های منفی در ناحیه HB (مقادیر بالاتر از حد زمینه) قادر به ثبت نبودند. به‌منظور رفع این نواقص، روش بهینه کنتراست برای ثبت بی‌هنجاری‌های مثبت و منفی توسط Xie et al. (1990b) پیشنهاد شده است که از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$T_C = \overline{X}_C - 1.65S_C \quad (۳$$

C نشان‌دهنده مقادیر مربوط به کنتراست است. بر پایه پراکندگی بی‌هنجاری‌های مثبت و منفی تک عنصره حاصل در منطقه، سه مدل قابل پیشبینی است:

- بی‌هنجاری‌های منفی همراه با بی‌هنجاری‌های مثبت ثبت شوند.
- ثبت تنها بی‌هنجاری‌های مثبت بدون این که بی‌هنجاری منفی در کنار آن باشد.
- ثبت تنها بی‌هنجاری‌های منفی، بدون اینکه بی‌هنجاری مثبت در کنار آن باشد.

هر کدام از این سه مدل، منعکس‌کننده شرایط زمین‌شناسی و همچنین نشان‌دهنده فرایندهای کانی‌زایی متفاوتی هستند. در منطقه قره‌چمن - دوزدوزان بیشتر آن دسته از عناصری که دارای بی‌هنجاری‌های منفی بودند در پیرامون بی‌هنجاری‌های مثبت و یا روی آنها قرار گرفته‌اند.

۷- الگوی پراکندگی بی‌هنجاری‌های مثبت و منفی چند عنصری

این الگو نشأت گرفته از فرایندهای زمین‌شناسی مختلف دو حالت را می‌تواند نشان دهد:

- ثبت بی‌هنجاری‌های مثبت برای یک گروه از عناصر و بی‌هنجاری‌های منفی برای گروه دیگری از عناصر همراه که می‌تواند منحصراً برای تعریف نهشته کانساری استفاده شود.
- بی‌هنجاری‌های مثبت چند عنصری ناحیه‌ای برخی از عناصر (عناصر مربوط به‌کانی‌زایی و یا عناصر همراه) که در بالای نهشته ظاهر می‌شوند و با بی‌هنجاری‌های منفی که در حواشی و پیرامون نهشته هستند همراهی می‌کنند. بی‌هنجاری‌های منفی ثانویه منطقه‌ای یا ناحیه‌ای در رسوبات آبراهه‌ای به‌ویژه در حاشیه بی‌هنجاری‌های مثبت وجود دارند. در منطقه قره‌چمن- دوزدوزان با توجه به نتایج حاصل از کاربرد هاله‌های منفی، هر دو حالت را می‌توان به این منطقه نسبت داد. گروهی از عناصر Au, Cu, U, Pb, Zn دارای بی‌هنجاری مثبت و گروه دیگری از عناصر که در ارتباط با بی‌هنجاری‌های منفی مانند Sr, Sc, Na هستند.

۸ - همپوشانی بی‌هنجاری‌های مثبت و منفی چند عنصره

بی‌هنجاری‌های مثبت یک گروه از عناصر، همراه با بی‌هنجاری‌های منفی عناصر دیگر توأم پدیدار شوند. ثبت هاله‌های منفی در منطقه قره‌چمن - دوزدوزان نشان می‌دهد که این هاله‌ها بیشتر در راستای هاله‌های مثبت پراکنده شده‌اند.

۹- ارتباط بی‌هنجاری‌های مثبت و منفی منطقه‌ای و گسل‌های ژرف ناحیه‌ای

چگونگی رخداد و پراکندگی بی‌هنجاری‌ها در منطقه تابع زمین‌شناسی منطقه است. این پراکندگی بی‌هنجاری‌ها و یا نواحی متالوژنیک، توسط گسل‌های ناحیه‌ای به‌ویژه گسل‌های ژرف کنترل می‌شوند (محمدزاده و محبی، ۱۳۸۷).حضور و وجود تناوبی از بی‌هنجاری‌های مثبت و منفی در امتداد خطوط و یا روندها روی سطح فرسایش یافته فرایندهای زمین‌شناسی خاص و معینی را مشخص می‌نمایند که این فرایندها در طول این خطوط، خیلی شدید هستند. نقشه بی‌هنجاری‌های منفی عناصر در منطقه نشان می‌دهند که بیشتر این هاله‌ها در پیرامون گسل‌های اصلی و ژرف منطقه با روند شمال باختر- جنوب خاور و خاوری- باختری کشیده شده‌اند. این نوع هاله‌های منفی احتمالاً در ارتباط با مجاری و کانال‌های اصلی سیال‌های درونی هستند.

۱۰- تفسیر و بررسی الگوهای مربوط به بی‌هنجاری‌های مثبت و منفی عناصر مختلف در منطقه قره‌چمن - دوزدوزان

تشخیص پاراژنزهای مهم کانی‌زایی در منطقه قره‌چمن از نظر جدایش عناصر همبسته منفی حائز اهمیت است. ضرایب همبستگی و هیستوگرام‌های رسم شده برای منطقه نشان از ضعف همبودهای منفی داشت. ارتباط مستقیمی میان عناصر منفی کانی‌زا و سنگ‌های میزبان در منطقه دیده شد، به‌ویژه که هاله‌های منفی بیشتر با پتروژنز همراه هستند و تا حدودی نیز با کانی‌زایی. برای ثبت این بی‌هنجاری‌ها از روش بهینه کنتراست و همچنین از مقادیر کمتر از $\overline{X}-S$ استفاده شد. کاربرد مقادیر کمتر از $\overline{X}-S$ برای تعیین بی‌هنجاری‌های منفی عناصر و بررسی آسان‌تر ارتباط آنها با بی‌هنجاری‌های مثبت انجام گرفت. الگوی پراکندگی هاله‌های مثبت و منفی نشان از آماده بودن منطقه برای کانی‌زایی فلزات پایه و عناصر خاکی کمیاب دارد به‌گونه‌ای که پراکندگی Au پیرو فرایندهای کانه‌زایی تکوین یافته و تجمع این عنصر با سنگ‌های سیلیسی یا آذرین خروجی مرتبط بوده، بنابراین عدم همبستگی این عنصر با Sr و تجلی آن به‌عنوان عکس همدیگر گویاست. ماهیت آلکالی عنصر Sr و برعکس ارتباط عناصر Zn, Au, Pb, Rb با محلول‌های اسیدی تا میانگین دلیلی بر عدم همسویی Sr با عناصر یادشده تلقی می‌شود. در این مورد $\overline{X}-S$ به عنوان حد آستانه‌ای منطقه‌ای Sr تعیین و نشان می‌دهد که بیشتر بی‌هنجاری‌های Au منطبق بر پهنه‌های تهی‌شدگی Sr منطبق هستند. شکل ۴ بی‌هنجاری‌های منفی Sr را در ارتباط با بی‌هنجاری‌های مثبت Au, Rb نشان می‌دهد. نحوه پراکندگی هاله منفی Sr در پیرامون بی‌هنجاری‌های مثبت Au تابع مدل۲ و در ارتباط با سیال‌های کانی‌زا پراکندگی شده است. انطباق بی‌هنجاری‌های Sr منفی بر پهنه‌های مثبت Rb نشان‌دهنده مدل ژئوشیمیایی همراهی بی‌هنجاری‌های مثبت و منفی با یکدیگر (مدل۱) و با پدیده سنگ‌زایی مرتبط است. بنابراین مدل پراکندگی شاخص‌های ژئوشیمیایی در جدایش پهنه‌های کانی‌زایی از عقیم می‌تواند مفید واقع شود.

پراکندگی عنصر Sc در منطقه گویای این مطلب است که این عنصر بیشتر با Al همراه است و از نظر خواص ژئوشیمیایی کاملاً لیتوفیل بوده و رفتار ژئوشیمیایی آن بیشترین انطباق را با Y دارد. با توجه به اینکه این عنصر کاملاً آلکالی است تمایل زیادی به پراکندگی دارد و تجمع Sc بیشترین پیرو فرایندهای مرحله نهایی ماگماهای گرانیتی صورت می‌پذیرد. به همین دلیل با توجه به عدم تشابه محلول‌های سنگ‌ساز منطقه قره چمن- دوزدوزان طبیعی است که کاهش شدید Sc، در سنگ‌های میزبان و موبلیتی بسیار بالا و سرشکن شدگی بیشتر و پیرو آن حمل و نقل بیشتر تا مسافت‌های دوردست موجب کاهش این عنصر در منطقه گردد. Sc یکی از عناصری است که جزو تولیدات جنبی ولفرم- کاسیتریت و کانی‌های مربوط استحصال می‌شود. عدم حضور چنین کانی‌هایی نیز در منطقه دلیل دیگری بر کاهش این عنصر و غلظت آن است. تهی‌شدگی این عنصر در منطقه در راستای جنوب- جنوب خاوری به بیشترین مقدار رسیده به گونه‌ای که کمبود این عنصر در منطقه هاله شدید منفی را ایجاد کرده است همراهی کم این عنصر با پهنه‌های احتمالی U در منطقه قابل بیان است. بی‌هنجاری‌های U نیز در پهنه‌های زمین‌ساختی با کاهش Sc همراه است. Ndjigui et al. (2009) بی‌هنجاری‌های منفی عنصر Ce را در پهنه ساپرولیتی پروفیل‌های سرپانتینیت در کمپلکس‌های اولترامافیک منطقه ایومی کامرون به‌عنوان وسیله قوی پی‌جویی به‌کار گرفت. شکل ۶ ارتباط منفی معنی داری را میان Ce با Sc در منطقه نشان می‌دهد به‌گونه‌ای که مدل ژئوشیمیایی هاله‌های منفی Sc کاملاً پراکندگی بی‌هنجاری‌های مثبت Ce را از پیرامون احاطه کرده است . حداکثر انطباق

و همراهی ژئوشیمیایی Sc با Mg در نتایج نمونه‌های برداشت شده از منطقه و سپس کانی‌های دارای Ti و Co دیده شد.

به نظر می‌رسد حداقل دو فاز کانی‌زایی متفاوت در منطقه به‌وقوع پیوسته است.

۱- همبود و همراهی عناصر Sn, Mo, Rb, K, Nb, U, Th, Be, La, Ce, Y در خوشه‌های دندروگرام (شکل۵- الف) مشاهده شد. همراهی برخی از عناصر REE با U و Th, Y, Rb, Mo, Sn, K احتمال ولکانوژنیکی بودن بی‌هنجاری‌های U در منطقه را قوت می‌بخشد.

۲- از سویی با توجه به همبود عناصر As, Sb, Ba, W, Cu, Au و ارتباط این عناصر با Ag به‌همراه Au و غنی‌شدگی قابل توجه Ag در منطقه به‌رغم سرشکن‌شدگی این عنصر در محیط ثانویه، می‌توان بی‌هنجاری‌های Au را مشتق از فرایندهای نیمه آتشفشانی گرمابی دانست .

دندروگرام مربوط به‌کانی‌های سنگین (شکل۵- ب) از همبود کانی‌های آپاتیت، باریت، زیرکن است که احتمالاً نشان‌دهنده تجمع ژئوشیمیایی بی‌هنجاری‌های Au-U با سنگ‌شناسی‌های اسیدی در نمونه‌های رسوبات رودخانه‌ای منطبق بر پهنه گسلش NW-SE است.

همبود کانی‌های سنگین هماتیت، آپاتیت، باریت، زیرکن و همراهی ایلمنیت، مگنتیت، اسفن با کانی‌های آمفیبول و پیروکسن در خوشه‌ها دیده شد. حضور قوی باریت در همبود اول می‌تواند به‌عنوان ردیاب مهمی در مقیاس محلی مطرح شود.

۱۱-بررسی نسبت‌های معرف و ارتباط آنها با بی‌هنجاری‌های مثبت و منفی در منطقه قره چمن-دوزدوزان

نسبت‌های عناصر به‌عنوان شاخصی در راستای جدایش مناطق عقیم از مناطق کانی‌زایی شده به‌کار می‌روند (Xie & Yin, 1993 ;Mohammadzadeh, 1993; کریم‌پور و سعادت، ۱۳۸۱). در این مطالعه از نسبت‌های معرف برای تأیید بی‌هنجاری‌های حاصل و همچنین جدایش پهنه‌های دگرسانی استفاده شد.

بررسی نسبت Ba/Sr در منطقه نشان می‌دهد که افزایش آن به‌عنوان ردیاب در راستای پهنه‌های زمین‌ساختی شمال باختر- جنوب خاور کشیده شده و کاملاً منطبق بر بی‌هنجاری‌های عناصر پایه است. الگوی این نسبت مؤید کانی‌زایی اپی‌ژنتیک در ارتباط با ساختمان‌های زمین‌ساختی منطقه است (شکل ۷). ارتباط معنی‌داری میان این نسبت با نقشه بی‌هنجاری‌های Rb, Au دیده شد. به‌گونه‌ای که پهنه‌های افزایش نسبت Ba/Sr کاملاً منطبق بر پهنه‌های تهی‌شدگی Sr در راستای گسل NW-SE و با بی‌هنجاری‌های عناصری مانند Ag, Zn, Pb, Cu همراه است. نسبت Rb/Sr نیز رفتاری مشابه Ba/Sr داشته و انطباق آن در راستای شمال باختر – جنوب خاور همراه با پهنه‌های زمین‌ساختی در ارتباط با بی‌هنجاری‌های Pb, U, Zn, Mo است.

نسبت Rb/K و Ba/Sr به‌عنوان ملاکی برای تخمین قدرت تولیدی کانساری در راستای پهنه گسلش NW-SE مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به‌این که در این پهنه حرارت متوسط تا کم و فشار کاهش یافته بنابراین شانس فرایند متاسوماتیسم کم و رانش محلول‌ها در راستای صفحه‌های زمین‌ساختی غالب بوده است . ارتباط معنی‌دار میان نسبت Rb/K با نقشه بی‌هنجاری‌های مثبت Ce و منفی Sc وجود دارد (شکل‌های۶ و ۸). پتاسیم به‌ویژه در بخش جنوب خاوری که احتمال می‌رود بی‌هنجاری ولکانوژنیکی Uوجود داشته باشد اهمیت ویژه ای دارد و از آنجا که Rb ایزومرف K است، می‌تواند جانشین K در منطقه شود و در مناطق دگرسانی مانند دگرسانی سریسیتی که جانشینی K یا سریسیتی به جای فلدسپار اتفاق می‌افتد می‌توان Rb را نیز دید. شکل ۸ پهنه‌های تهی‌شدگی عنصر Sc را در پیرامون پهنه‌های افزایشی Rb/K نشان می‌دهد. از سویی افزایش نسبت Rb/K بی‌هنجاری‌های مثبت Ce را همراهی می‌کنند و بی‌هنجاری‌های منفی Sc به‌صورت هاله‌ای پیرامون این نسبت را احاطه کرده‌اند (مدل- ۲). بنابراین می‌توان از این نسبت برای جدایش پهنه‌های کانی‌زایی U در مناطق دگرسانی استفاده کرد.

۱۲- ارتباط شاخص جمعی (دگرسانی‌های کلریتی و فلسیک) با بی‌هنجاری‌های مثبت و منفی منطقه

دگرسانی‌های مهم منطقه در ارتباط با کانی‌زایی عبارتند از دگرسانی‌های کلریتی و فلسیک. دگرسان پروپلیتیک در نتیجه افزوده شدن Mg, Fe به سنگ به‌صورت کلریت و کاهش CaO و Na_2O سنگ از راه تخریب فلدسپار ایجاد شده است . بررسی و ثبت دگرسان کلریتی با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی با شاخص $\frac{MgO+Fe_2O_3}{MgO+Fe_2O_3+2CaO+2Na_2O}$ انجام شد (شکل ۹). پهنه‌های افزایش شدت دگرسان کلریتی همراه با تهی‌شدگی Sr در پیرامون آن توأم بوده است. شاخص مرکب جمعی فلسیک $\frac{Na_2O+K_2O}{Na_2O+K_2O+CaO}$ انطباق خوبی را با عناصر U, Au, Pb, Zn نشان می‌دهد. شکل ۱۰ ارتباط معنی‌داری میان بی‌هنجاری‌های مثبت Au و شاخص جمعی فلسیک را نمایان می‌سازد. مقایسه دو نقشه نشان می‌دهد که بی‌هنجاری‌های منفی در پیرامون مناطقی با افزایش این شاخص ثبت و پراکنده‌اند . پراکندگی شاخص جمعی فلسیک دقیقاً منطبق بر پهنه‌های Au, U دار است و این شاخص بر سنگ‌شناسی‌های ریولیتی – آندزیتی، ریوداسیتی و توده‌های نفوذی گرانیتی منطبق است. بنابراین دگرسانی‌های کلریتی و فلسیک به‌عنوان تغییرات شیمیایی و کانیایی که تحت تأثیر محلول‌های ماگماتیکی و گرمابی در منطقه به‌وقوع پیوسته، می‌تواند شاخصی از (مدل- ۲) برای پهنه‌های کانی‌زایی به‌شمار آید.

مدل شاخص و کاملاً مجزای هاله‌های منفی از هاله‌های مثبت تحت تأثیر سیال‌های کانه‌دار با ماهیت اسیدی به منطقه ایجاد و موجب غنی‌شدگی عناصری همچون Cu, Mo, U و تهی‌شدگی شدید هاله‌های منفی از جمله Sr, Sc شده است به‌گونه‌ای که زون‌های هاله‌های مثبت و منفی بدون تداخل در یکدیگر با فاصله زیاد از هم جدا شده‌اند (شکل‌های ۱۱، ۱۲و ۱۳).

۱۳-نتیجه‌گیری

در کارهای گذشته، تمایز میان سنگ‌های آذرین نفوذی بارور و عقیم در کل تنها توسط بی‌هنجاری‌های مثبت انجام می‌گرفت ولی این بررسی نشان می‌دهد که کاربرد پراکندگی الگوی بی‌هنجاری‌های مثبت و منفی چند عنصره می‌تواند بیشتر مؤثر باشد. در تفسیر هاله‌ها و ثبت بی‌هنجاری‌ها و مدل‌سازی یک کانسار بهتر است که از تلفیق نتایج هاله‌های مثبت و منفی عناصر توأماً استفاده شود. توجه صرف به‌هاله‌های مثبت سبب پنهان ماندن برخی از بی‌هنجاری‌ها می‌شود. استفاده از مدل پراکندگی شاخص‌های ژئوشیمیایی بی‌هنجاری‌های مثبت و منفی می‌تواند شدت کانی‌زایی و بی‌هنجاری را در گستردگی منطقه‌ای با اطمینان بیشتری تأییدکند و در جدایی پهنه‌های کانی‌زایی از عقیم مفید واقع شود.

کاربرد بی‌هنجاری‌های منفی در منطقه قره چمن – دوزدوزان بیانگر سه مدل با اولویت زیر است:

۱- کاهش عناصر و هاله منفی ایجاد شده به تداعی از سنگ‌شناسی منطقه و همپوشانی بی‌هنجاری‌های مثبت و منفی.

۲- کاهش عناصر و هاله منفی ایجاد شده تا حدی هم تحت تأثیر محلول‌های کانی‌زا که موجب تشکیل مدل پیرامونی هاله‌های منفی و محاط کننده هاله‌های مثبت در وسط شده است. این عناصر عبارتند از Au, Cu, Pb, Zn, U و نسبت‌های Ba/Sr، Rb/K و شاخص‌های کلریتی و فلسیک که توسط هاله‌های منفی احاطه شده‌اند. انطباق شاخص جمعی فلسیک با مدل- ۲ برای جدایی پهنه‌های, Au U دار مفید است و این شاخص بر سنگ‌شناسی‌های ریولیتی – آندزیتی و ریوداسیتی و توده‌های نفوذی گرانیتی منطبق است.

۳- مدل شاخص و مجزای هاله‌های منفی از هاله‌های مثبت که با فاصله زیاد از هم تحت‌تأثیر ورود سیال‌های کانه‌دار با ماهیت اسیدی در منطقه ایجاد و ثبت شدند این مدل برای پی‌جویی پهنه‌های Moدار مؤثر است.

با توجه به همبستگی داده‌ها با سنگ‌شناسی‌های بارور ، به نظر می‌رسد حداقل ۲ فاز کانی‌زایی متفاوت در منطقه به‌وقوع پیوسته:

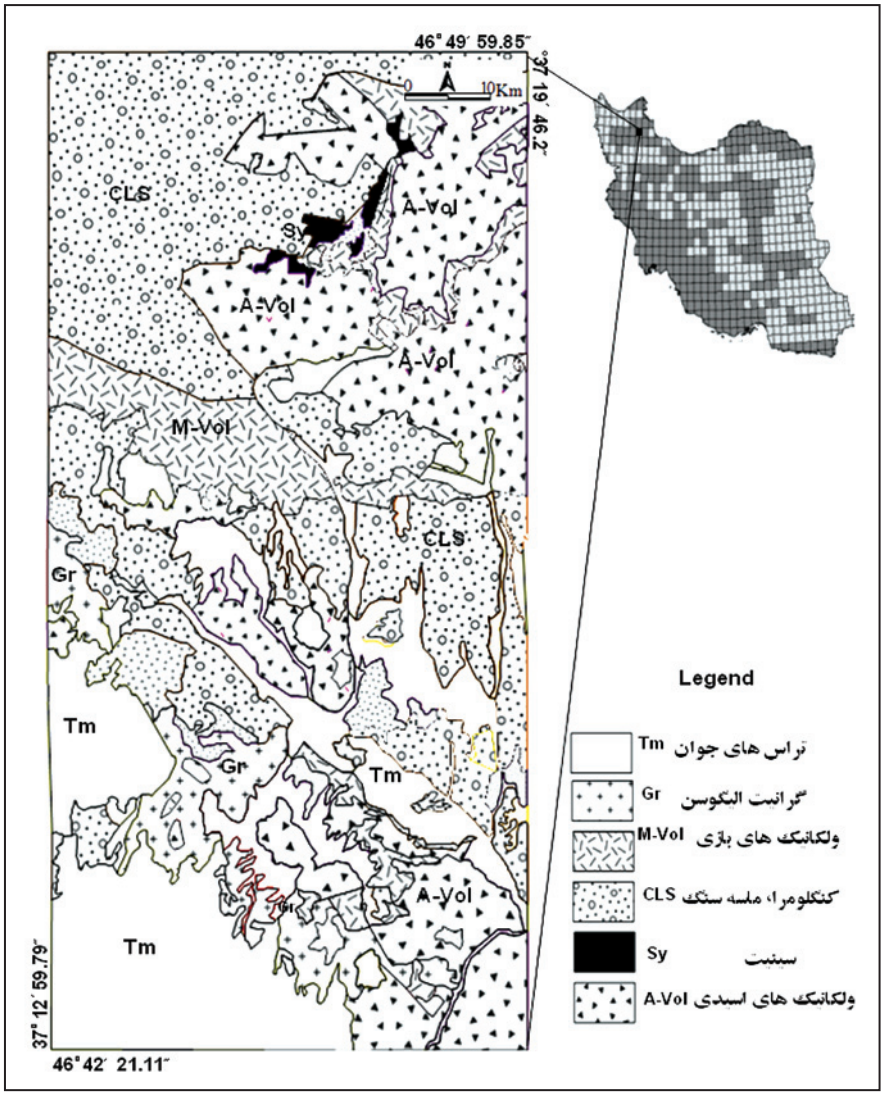
۱- همراهی و همبود عناصر Sn, Mo, Rb, K, Nb, U, Th, Be, La, Ce, Y در تجزیه خوشه‌ای و احتمالاً با فاز اول کانی‌زایی و همراهی REE با U و K, Sn, Mo دال بر احتمال ولکانوژنیکی بودن بی‌هنجاری‌های U در منطقه است.

۲- از سوی همبود عناصر As, Sb, Ba, W, Cu, Au و همراهی نزدیک عناصر Ba, Sb, Ag, As, Hg با طلا و غنی‌شدگی قابل توجه Ag در منطقه را می‌توان محتمل بر فاز بعدی و مشتق از فرایندهای نیمه‌آتشفشان گرمابی دانست.

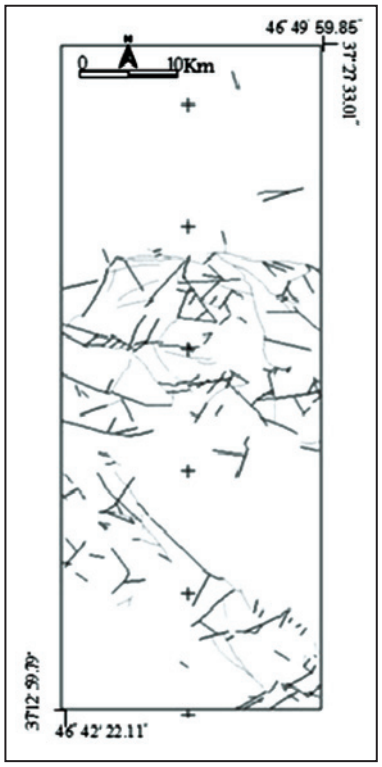
کاربرد عملی این بررسی را در سه گام می‌توان جمع‌بندی کرد، جدایی پهنه‌های مثبت و منفی عناصر کمیاب و دگرسانی‌های مربوط؛ انطباق هاله‌های ثبت شده با یکی از سه مدل ارایه شده؛ معرفی مدل یادشده به‌عنوان شاخص اکتشافی برای ادامه پی جویی در منطقه.

سپاسگزاری

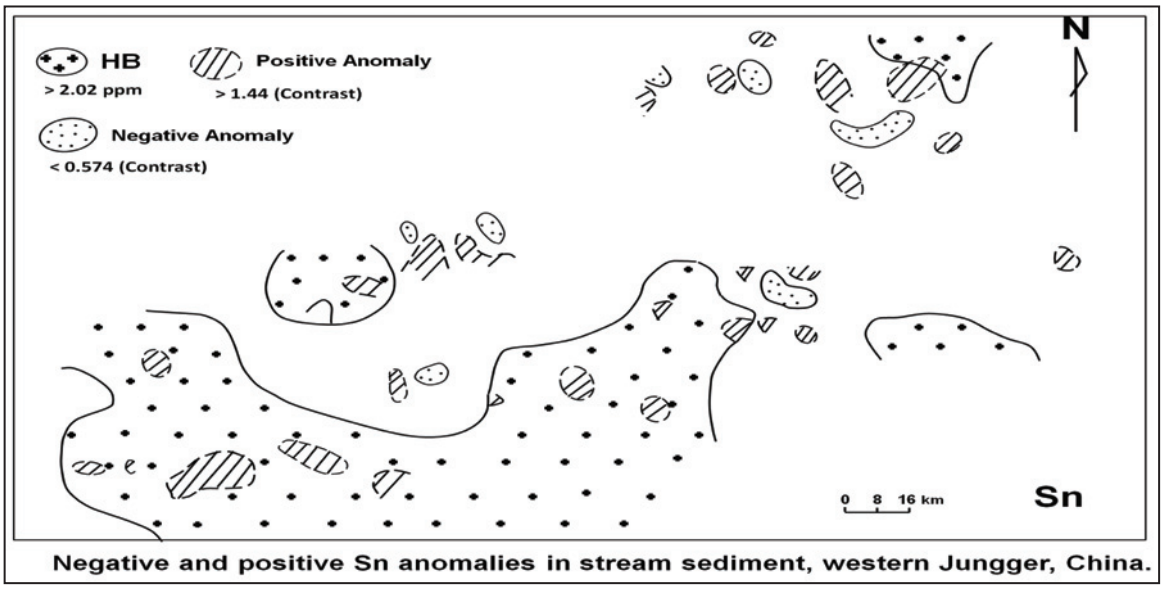
بدین وسیله نویسندگان سپاسگزاری خود را از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات کشور و آقای مهندس حسین همتیان به‌خاطر کمک‌هایشان در این مطالعه اعلام می‌دارند. همچنین از داوران محترم فصلنامه علوم زمین که با صبر و حوصله زحمت مطالعه و بررسی پی‌درپی مقاله را عهده‌دار بوده‌اند و همچنین کادر اجرایی فصلنامه علوم زمین کمال تشکر را دارد.



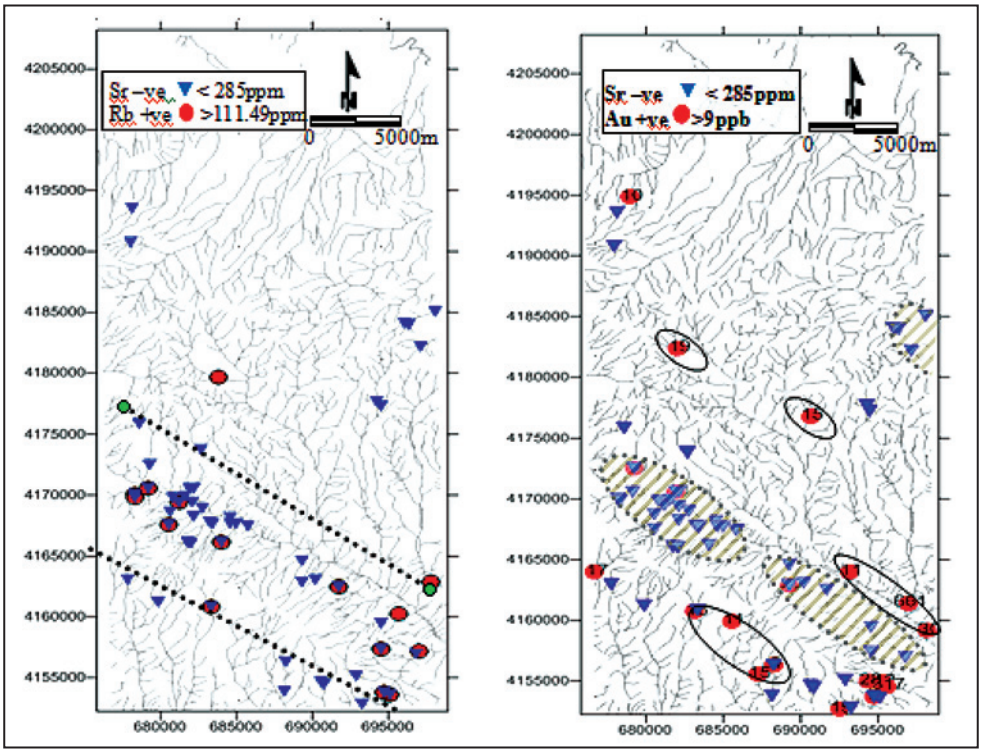
شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی تغییریافته و ساده شده قره‌چمن
(Modified & Simplified Geological Map-Gharacheman).



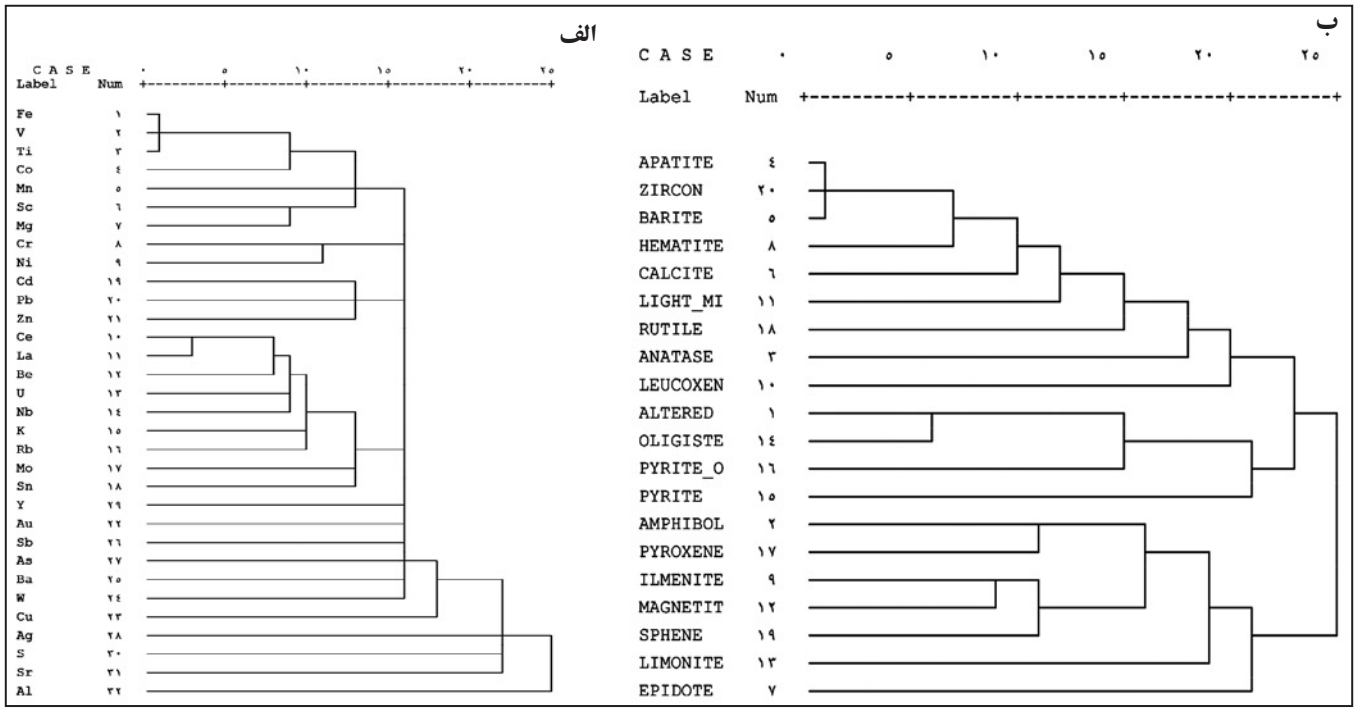
شکل ۲ - نقشه گسل‌های منطقه قره چمن- دوزدوزان.



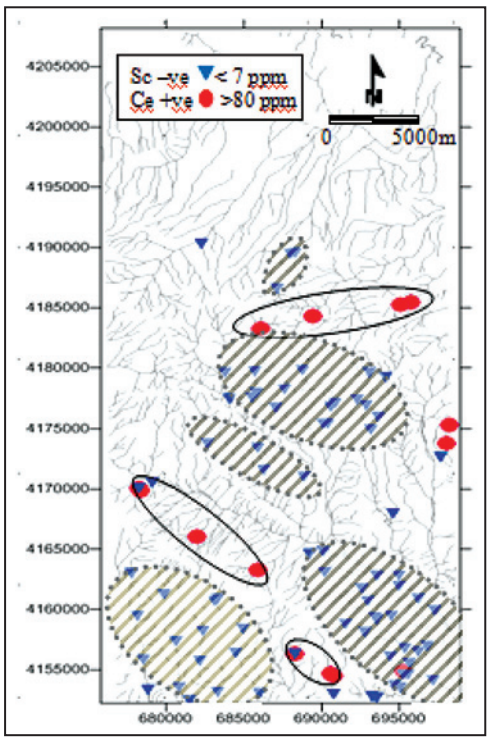
شکل۳- الگوی پراکندگی بی‌هنجاری‌های مثبت و منفی قلع را در رسوبات رودخانه‌ای چین نشان می‌دهد (Shi & Wang, 1995).



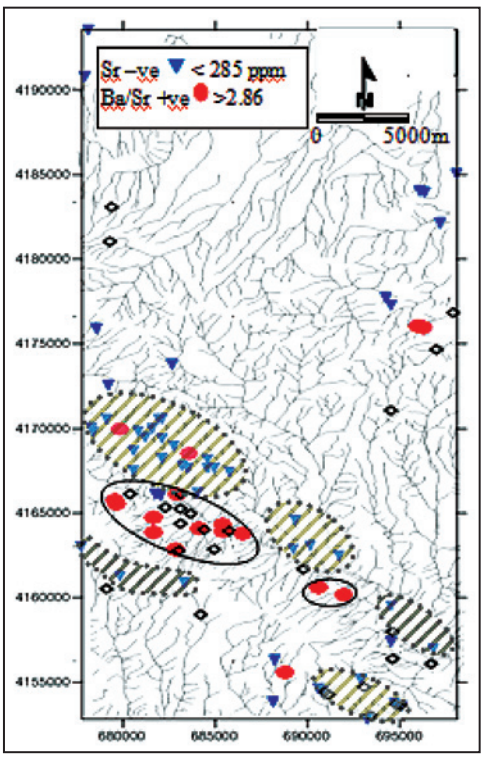
شکل ۴ - پراکندگی بی‌هنجاری‌های مثبت Au در مقایسه با Sr (مدل ۲) و انطباق بی‌هنجاری‌های مثبت Rb و منفی Sr (مدل ۱).



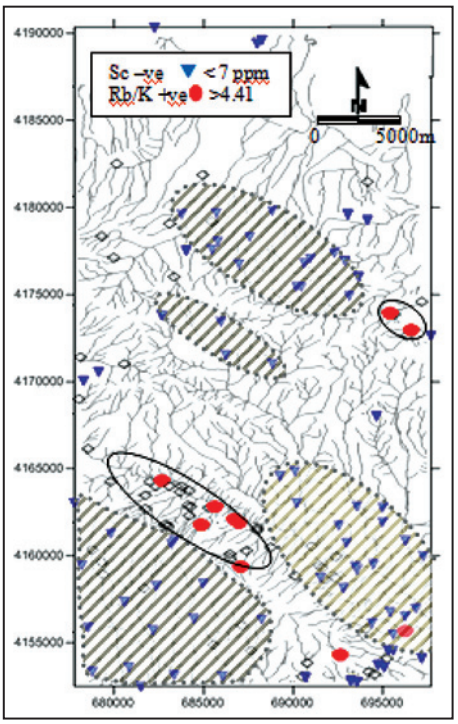
شکل۵- الف) دندروگرام عناصر مهم؛ ب) کانی‌های سنگین در منطقه قره‌چمن.



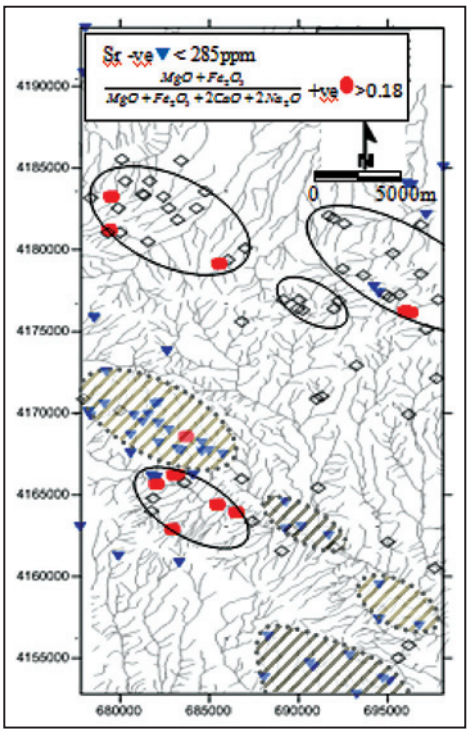
شکل ۶ – الگوی پراکندگی هاله‌های مثبت Ce در ارتباط با هاله منفی Sc (مدل۲).



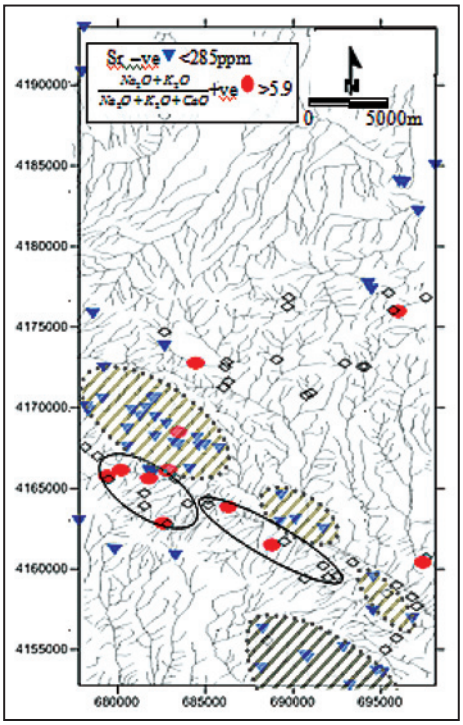
شکل ۷- الگوی پراکندگی نسبت Ba/Sr و منفی Sr (مدل۲).



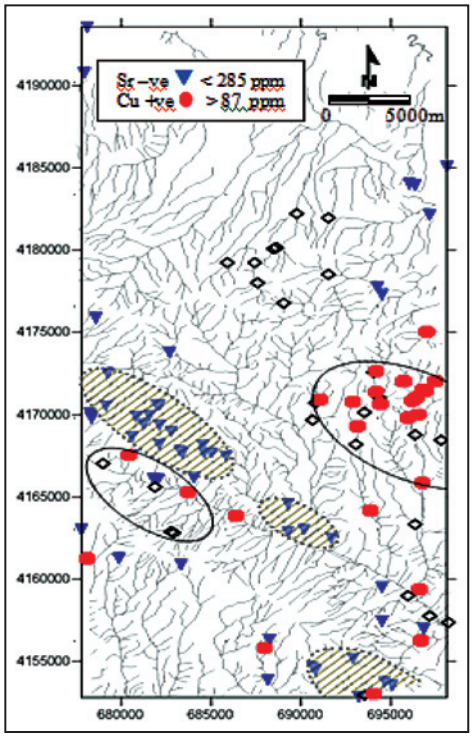
شکل ۸ - پراکندگی نسبت Rb/K در ارتباط با هاله منفی Sc (مدل۲).



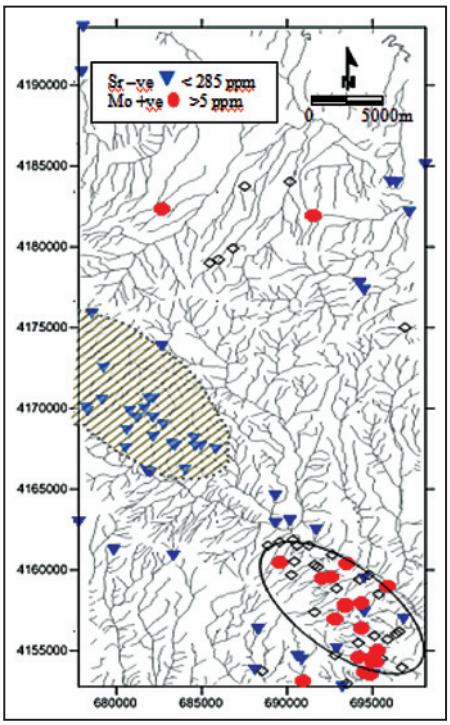
شکل ۹- الگوی پراکندگی شاخص کلریتی و هاله منفی Sr (مدل۲).



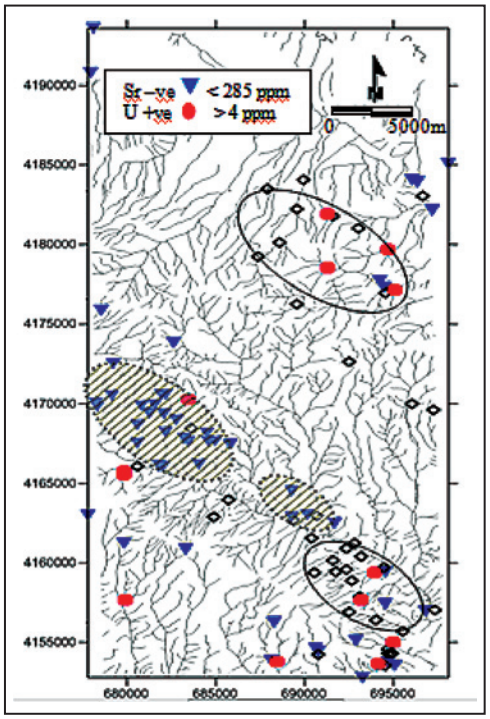
شکل ۱۰- پراکندگی شاخص جمعی فلسیک و هاله منفی Sr (مدل۲).



شکل ۱۱- پراکندگی هاله‌های مثبت عنصر Cu و مجزا از هاله‌های منفی Sr (مدل۳).



شکل ۱۲- پراکندگی هاله‌های مثبت عنصر Mo و مجزا از هاله‌های منفی Sr (مدل ۳).



شکل ۱۳- پراکندگی هاله‌های مثبت عنصر U و مجزا از هاله‌های منفی Sr (مدل ۳).

جدول۱- متغیرهای آماری داده‌های ژئوشیمیایی عناصر مهم در منطقه.

عنصر	Au	Ag	Rb	Cu	Mo	Sn	Pb	Zn	Nb	La	U	Ce	Y
Min	۰/۵۸	۰/۰۴	۱۰/۴	۱۶/۲	۰/۴	۰/۷	۰/۲	۴۶/۱	۴/۳	۱۳	۰/۵۶	۲۵	۷/۲۱
Max	۶۶۱	۱/۲۱	۱۸۸	۱۳۰	۱۱/۹	۸	۱۴۸	۵۲۸	۵۱/۴	۵۹	۱۶/۳	۱۲۴	۲۶/۴
$\bar{X}(ppm)$	۳/۱۵ppb	۰/۲۲	۶۰/۷۵	۵۰/۷۵	۲/۴۲	۱/۶	۲۲/۳	۹۳/۹	۱۳/۱	۲۹/۲۱	۲/۳۵	۵۴/۶۹	۱۴/۸۵
S	۲/۹۲	۰/۱۱	۲۵/۳۷	۱۷/۹۸	۱/۱۷	۰/۴۵	۱۵/۶۶	۳۱/۹۷	۳/۷	۶/۶۶	۰/۶۹	۱۲/۷	۳/۱۷
$\bar{X}+S$	۶/۰۷	۰/۳۳	۸۶/۱۲	۶۸/۷۳	۳/۵۹	۲/۰۵	۳۸/۹۶	۱۲۵/۸۷	۱۶/۸	۳۵/۸۷	۳/۰۵	۶۷/۴	۱۸/۰۲
$\bar{X}+2S$	۸/۹۹	۰/۴۴	۱۱۱/۴۹	۸۶/۷	۴/۷۶	۲/۵	۵۴/۶۲	۱۵۷/۸۵	۲۰/۵	۴۲/۵۳	۳/۷۵	۸۰/۱	۲۱/۱۹

جدول ۲ - متغیرهای آماری نسبت‌های معرف، نسبت‌های دگرسانی بر پایه شاخص جمعی و بی‌هنجاری‌های منفی عناصر.

	$\bar{X}$ (ppm)	S	$\bar{X}+S$	$\bar{X}+2S$
Ba/Sr	۱/۶۶	۰/۵۹	۲/۲۶	۲/۸۶
Rb/K	۲/۷۹	۰/۸۱	۳/۶	۴/۴۱
سریسیتی	۰/۵۵	۰/۱	۰/۶۶	۰/۷۶
کلریتی	۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۱۸
درجه فلسیک	۳/۷۶	۱/۰۷	۴/۸۳	۵/۹

عنصر	$\bar{X}$ (ppm)	S	$\bar{X}-S$	$\bar{X}-2S$
Sr	۴۳۸	۱۵۳	۲۸۵	۱۳۲
Sc	۱۰/۵۴	۳/۴۹	۷/۰۵	۳/۵۶

کتابنگاری

امامی، م.، ۱۳۷۱- نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ قره‌چمن- ترکمن‌چای، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات کشور.

کریم‌پور، م. و سعادت، س.، ۱۳۸۱- زمین‌شناسی اقتصادی کاربردی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ اول.

محمدزاده، م. و محبی، پ.، ۱۳۸۷- تلفیق و ارائه مدل اکتشافی پتانسیل‌های معدنی منطقه قره‌چمن - دوزدوزان ورقه یکصدهزار قره چمن- ترکمن‌چای آذربایجان شرقی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی سهند تبریز.

References

Goldberg, I. S., 1988- Geochemical negative anomalies used to prospect and evaluate epithermal deposits .Abstracts of Geophysical and Geochemical Exploration and remote sensing, 5(3):221(in Chinese, Russian paper published in 1987).

Govett, G. J. S. (Editor), 1983- Handbook of Exploration Geochemistry ,vol.3.Rock Geochemistry in Mineral Exploration., Elsevier publication, Amsterdam,461pp.

Ma, D. & Liu, Y., 1992-Geochemical characteristics and genesis of strata bound gold deposits in J iangnan gold metallogenic belt.Sci.Sin. (Ser,b),35(2):240-256.

Mohammadzadeh, M. J.,1993- Geochemical dispersion in mineralized and unmineralized soils near Malanjkhand Copper deposit (M.P) India. Journal of Geosciences G.S.I. Iran Vol: 3 No: 10.

Ndjigui, D. P., Bilong, P. & Bitom, D., 2009- Negative Cerium anomalies in the saprolite zone of serpentinite profiles in the lomie ultramafic complex, South east Comeroon Journal of AfricanEearthSci, Vol 53 PP 59-69.

Rose, A. W., Hawkes, H. & Webb, J. S., 1979- Geochemistry in Mineral Exploration .Academic press ,New york ,NY,657pp.

Shi, C. & Wang, C., 1995- Regional geochemical secondary negative anomalies and their significance ,journal of geochemical exploration, Vol 55 pp(11-23).

Shi, C., 1990- Preliminary study of the interpretation of regional geochemical anomalies .Unpubl.Master thesis, China Univ.Geosci.Wuhan(in Chainese).

Smeslov, A. A., Ludenic, B. A., Jinkov, H. M. & Paneotov, A. E., 1985- In:Yan Liben and Zhang Guorong (Translators)Geochemical prediction and Exploration for Mineral Deposits .Geological Publishing house,Beijing,pp .76-77(in Chinese –Russian edition published in 1979).

Sun, C. & Zhang, G., 1993- Negative geochemical anomaly over Mobin Au mining area and their significance to ore exploration .Geol.prosp, 29 (3):47-52 (in Chinese,with English abstr).

Xie, X. & Ren, T., 1991- A decade of regional Geochemistry in China –the National Reconnaissance project (sect.B:APPL.Earth Sci),100:B57-b65.

Xie, X. & Yin, B., 1993- Geochemical pattern from local to global. In:F.W.Dickson and L.C Hsu(Editors)Geochemical Exploration 1991J. Geochem.Explor.47:109-129.

Xie, X., 1981- Geological Dictionary. Book5 .Geological publishing House, Beijing, pp188-189.

Xie, X., Wang, J., Yang, Zh., Liu, Y. & Zhu, B., 1990- A computer system for the rapid evaluation and sorting of multi-element geochemical anomalies (System RESMA). Bull.Inst.Geophys.Geochem.Explor, 4:181-222(in Chinese, with English abstract).

Negative Geochemical Anomalies and Their Importance in Regional Exploration, Gharahchaman-Duzduzan

A. Naseri [1], M. J. Mohammadzadeh [2*], P. Mohebbi [3] & P. Javani [4]

[1] Ph.D. Student, Department of Mining Engineering, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

[2] Associate Professor, Faculty of Mining Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

[3] Ph.D. Student, Faculty of Mining Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

[4] M. Sc. Student, Faculty of Mining Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

Received: 2011 June 14 Accepted: 2012 November 17

Abstract

Gharahchaman is located inthe Urumieh Dokhtar zone in east Azerbaijan. The area is mostly comprises of intermediate to acidic intrusive and extrusive, Oligocene igneous rocks along with younger sedimentary units. The regional geochemical exploration program with the aim of delineating potential zones in the area were attempted by collecting 394 stream sediment samples, which analyzed for 44 elements. Most of the exploration programs are routinely based on the positive anomalies (+ve) detection and the negative halos (-ve) are rarely considered. The depletion of some pathfinder elements may be related to ore mineralization in the area. Therefore (-ve) halos also can be significant in regional exploration. Conventionally, negative anomalous threshold values have been calculated in the same way as positive one, which causes drawbacks and hinder their application. In this paper an attempt were made to construct integrated models of (-ve) and (+ve) potential maps for detecting optimized geochemical pattern. It can be deduced from this study that the detected significant (-ve) halos, mostly are influenced by syngenetic processes and some are also related to ore bearing solutions. Detecting (-ve) halos of elements such as Sc, Sr, and Na in a particular pattern and in vicinity of (+ve) halos like Au, Cu, Pb, U, Zn are related to base metal mineralization and other important elements in the region. On the basis of combined distribution pattern of elements three models of geochemical anomalies are accompanied each other;1) Overlapping of multi-element (-ve) and (+ve) anomalies like (Rb, Sr); 2) Peripheral regional multi-element (-ve) anomalies that surround (+ve) anomalies like (-ve) halo of Sc around (+ve) halos of Ce, Rb/K and (–ve) halo of Sr with Ba/Sr ratio, felsic and chloritic zones in the area; 3) Discriminated Indices model of (-ve) and (+ve) halos of (Mo-Sr), (U-Sr), (Cu-Sr).This indicates that the combined study of (+ve) and (-ve) halos in regional geochemical exploration studies can be more significant in detecting hidden ore deposits. The distribution pattern of felsic and chloritic additive composite alteration zones match with Model2, which mutually correspond to (+ve) and (-ve) anomalies of Au and Sr respectively. Ultimately the results revealed deficiency in study of only positively concentration of elements along with faulted zones, whereas the present study emphasis that modeling corresponding of (-ve) and (+ve) halos along with results obtained from composite additive indices confirms NW-SE concentration of ore mineralization in the area.

Keywords: Geochemical Exploration, Negative Halos, Contrast, Gharachaman-Duzduzan, E-Azerbaijan.

For Persian Version see pages 383 to 392

*Corresponding author: M. J. Mohammadzadeh: E-mail: mohammadzadeh@sut.ac.ir

Created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional