

اکتشافات ژئوشیمیایی و مطالعه کانیهای سنگین رسوبات رودخانه‌ای در برکه

توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ برندق، شمال خاور زنجان، ایران

نوشته: حسین هادی‌زاده*، دکتر علی اصغر کلاگری* و علی عابدینی*

Geochemical Exploration and Heavy Mineral Study of Stream Sediments in Barandagh Quadrangle, NE of Zandjan, Iran

By: H. Hadizadeh*, Dr. A. A. Calagari* & A. Abedini*

چکیده

برکه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ برندق، در شمال خاوری استان زنجان و جنوب خاوری استان اردبیل، بخشی از حوزه چند فلزی طارم-هشتجین است. نتایج اولیه حاصل از اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای در برندق، منجر به شناسایی بی‌هنجاریهایی از عناصر مختلف گردید. کنترل بی‌هنجاریهای ژئوشیمیایی از طریق مطالعات کانیهای سنگین در رسوبات آبراه‌ای و نمونه‌های کانی‌سازی شده و دگرسان شده در سطح برونزدها انجام گرفت. مهم‌ترین کانیهای سنگین شناسایی شده شامل هماتیت، گوئیت، پیریت، باریت، ایلمنیت، مس طبیعی، روی طبیعی، مالاکیت، مولیبدنیت، اولیژیست، لیمونیت، سرب طبیعی، سروسیت، گالن، اسمیت سونیت، مارکاسیت، کریزوکلا، روتیل، زیرکن، پیروکسن، آمفیبول و آپاتیت هستند. کانیهای سنگین فلزی شناسایی شده عمدتاً در ارتباط تنگاتنگ با مناطقی با دگرسانی گسترده و کانی‌سازیهای رگه‌ای و پراکنده می‌باشند. تجزیه بعضی از نمونه‌های لیتوژئوشیمیایی برداشت شده از محدوده بی‌هنجاریها، برای عناصری مانند Ba, Zn, Cu, Sr, Mo و Be عیار قابل ملاحظه‌ای نشان دادند. بیشتر مناطق بی‌هنجار منطبق بر زونهای دگرسانی ناحیه هستند. بر اساس شواهد صحرایی و مطالعات کانی‌شناسی، این دگرسانیها به دو گروه کاملاً مجزا قابل تفکیک می‌باشند: (۱) دگرسانیهای اسید-سولفاتی مرتبط با زونهای برشی منطقه که شامل زونهای سیلیسی، آلونیتی، آرزلیک پیشرفته، فلیک و پروپیلیتیک بوده و (۲) دگرسانیهای با pH خنثی که عمدتاً در حاشیه رودخانه قزل اوزن واقع شده و شامل زونهای آرزلیک، کالک سیلیکاتی و زئولیتی می‌باشند. تلفیق یافته‌های حاصل از تجزیه‌های شیمیایی، مطالعات کانیهای سنگین، سنگ‌نگاری نمونه‌های کانی‌سازی شده و دگرسان‌شده، و روابط صحرایی، منجر به شناسایی ده محدوده بی‌هنجاری شد که بعضی از آنها در جنوب و حاشیه رودخانه قزل اوزن پتانسیل معدنی بیشتری دارند. انطباق نقشه بی‌هنجاریهای نهایی با نقشه چگالی گسلهای ناحیه برندق نشان می‌دهد که همبستگی خوبی میان آنها وجود دارد و احتمالاً دال بر نقش مهم گسلها در ایجاد این بی‌هنجاریهاست. نتایج کلی به‌دست آمده از بررسیهای ژئوشیمیایی نشان می‌دهند که بی‌هنجاریهای شناسایی شده عمدتاً متعلق به عناصر Pb, Bi, Au, W, Ag, As, Sb, Sn بوده که می‌توانند به عنوان عناصر ردیاب مهم در اکتشاف کانسارهای طلا و نقره اپی‌ترمال و همچنین کانسارهای چند فلزی طلا-نقره-مس-سرب-روی به کار روند.

کلید واژه‌ها: بی‌هنجاری ژئوشیمیایی، کانیهای سنگین، رودخانه قزل اوزن، برندق

Abstract

Barandagh quadrangle (1:50000), a part of Taram-Hashtjin polymetallic district, is located in NE of Zanjan and SE of Ardabil. The results of preliminary regional geochemical explorations have led to the discovery of anomalous areas for a variety of elements. The anomalies were verified by studies on heavy minerals in stream sediments and mineralized and altered samples taken from the surface outcrops. The identified heavy minerals are hematite, goethite, pyrite, barite, ilmenite, native copper, native zinc, native lead, malachite, molybdenite, micaceous hematite, limonite, cerussite, galena, smithsonite, marcasite, chrysocolla, rutile, zircon, pyroxene, amphibole, and apatite. The identified heavy metallic minerals are principally affiliated with zones of widespread alterations and dispersed veinlet-type mineralization. Chemical analysis of some litho-geochemical samples from the anomalous areas shows noticeable assays for elements such as Ba, Zn, Cu, Sr, Mo, and Be. The majority of anomalous areas are intimately associated with alteration zones in the region. Based on field evidence and mineralogical studies, the alterations are categorized into two discrete types, (1) acid-sulfate alterations (e.g., silicified, alunitized, advanced argillic, phyllic, and propylitic) which are related to shear zones and (2) alterations developed in neutral pH conditions (e.g., argillic, calc-silicate-bearing, and zeolitized) cropped out along the margin of Ghezal-Ozan river. Combination of the overall obtained data from chemical analyses, study of the heavy minerals, petrography of mineralized and altered samples, and field relations led to identification of ten anomalous spots that some, in south and along the margin of the Ghezal-Ozan River, have more potential for ore deposits. The comparison of final anomaly map with the map of fault density depicts that there exists a good correlation between them that may indicate that the fault and shear zones have played a crucial

role in creation of these anomalies. Finally the overall results obtained from geochemical investigations in Barandagh show that the identified anomalies belong chiefly to elements such as Sn, Sb, As, Ag, W, Au, Bi, and Pb that can be used as tracer for exploration of epithermal gold and silver and of polymetal (Au, Ag, Cu, Pb, Zn) deposits.

Keywords: Geochemical anomalies, Heavy minerals, The Ghezel-Ozan River, Barandagh quadrangle.

مقدمه

توسط هادی‌زاده و همکاران (زیر چاپ) ارائه شد. نوشتار حاضر اطلاعات به نسبت جامعی از اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه برندق و ارتباط بی‌هنجاریهای به‌دست آمده از این بررسیها با پتانسیلهای معدنی موجود را ارائه می‌دهد.

زمین‌شناسی منطقه

بارزترین واحدهای سنگی ناحیه مورد مطالعه به ترتیب از قدیم به جدید شامل سنگهای گرافیت فیلیتی (معادل سری گشت - ماسوله مربوط به دونین)، واحدهای کربناتی برشی شده (اواخر دونین تا تریاس)، کوارتزیت، توف و شیل‌های آهکی (تریاس)، ماسه‌سنگ، شیل و کنگلومرا (معادل سازند شمشک مربوط به ژوراسیک)، آهکهای ماسه‌ای و سیلتی و ماسه‌سنگهای آهکی نومولیت‌دار (معادل سازند زیارت مربوط به پالئوسن)، سازندهای آتشفشانی و آتشفشانی-رسوبی (معادل سازند کرج مربوط به ائوسن)، توده‌های نفوذی و دایکهای گرانیتوئیدی (معادل سازندهای قرمز پایین و بالا مربوط به الیگوسن) و رسوبات مارنی، رسی و توفیتی (الیگوسن بالایی و میوسن) هستند (Davis et al., 1972).

بر پایه مطالعات صحرایی و بررسیهای سنگ‌نگاری (هادی‌زاده، ۱۳۸۳) سنگهای گرافیت فیلیتی دونین در بعضی بخشها دچار چین خوردگی و گسلش شده و در زیر میکروسکوپ حاوی بافت‌های چشمی بوده و چندین فاز دگر شکلی از خود نشان می‌دهند. در این سنگها، واحدهایی از سنگهای آهکی، دولومیتی و آندزیتی به صورت بین لایه‌ای دیده می‌شوند. واحدهای آتشفشانی و آتشفشانی-رسوبی معادل سازند کرج، بخش اعظم ناحیه را تشکیل می‌دهند که شامل سنگهای آندزیتی، توفهای سبز رنگ، واحدهای توفیتی خاکستری و سبز رنگ با میان لایه‌های آندزیتی - بازالتی و واحدهای پورفیروآندزیت، مگاپورفیروآندزیت و ریوداسیت است. واحدهای توفیتی خاکستری و سبز رنگ براساس مطالعات سنگ‌نگاری ترکیبی در حد لیتیک و یتریک توف و لیتیک کریستال توف دارند. همچنین یک حاشیه دگرگونی در حد رخساره اپیدوت هورنفلس در اثر نفوذ استوکها و دایکهای الیگوسن (که از نظر مودال ترکیبی در حد کوارتز مونزونیت تا مونزونیت دارند) در واحدهای آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی قابل تشخیص است. زونهایی از دگرسانیهایی مختلف بویژه همبر توده‌های نفوذی الیگوسن به فراوانی دیده می‌شود که توسط رسوبات مارنی و رسی سازند قرمز بالایی پوشیده شده‌اند.

برکه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ برندق در شمال باختری ایران، به مختصات جغرافیایی ۴۸°۳۰' تا ۴۸°۴۵' طول خاوری و ۳۷°۰۰' تا ۳۷°۱۵' عرض شمالی، در جنوب خاور استان اردبیل و در شمال خاور استان زنجان واقع است. این ناحیه از نظر تقسیم‌بندی زونهای زمین‌شناسی ایران (نبوی، ۱۳۵۵) بخشی از زون البرز باختری - آذربایجان و از دیدگاه فلزایی (آقناباتی، ۱۳۸۳) متعلق به حوزه چند فلزی طارم - هشجین است. وجود اندیساها و معادن متروک و فعال در بخشهای دیگر حوزه چند فلزی طارم - هشجین (مانند شاه علی بیگلو، سنجد، چرمالو و مس بولاغی در منطقه هشجین، اندیسه‌های معدنی زه‌آباد، باریک آب، خلیفه‌لو، علی‌آباد و گلوچه در منطقه طارم)، حضور دگرسانیهایی گسترده و گسترش توده‌های نفوذی اسیدی تا حد واسط در این بخش از حوزه، باعث شده است تا این ناحیه از نظر زمین‌شناسی، جزو مناطق مستعد برای اکتشاف و شناسایی کانسارهای فلزی و غیر فلزی محسوب شود (هادی‌زاده، ۱۳۸۳).

نخستین مطالعات انجام شده بر روی مسائل زمین‌شناسی این ناحیه، مربوط به کارهایی است که در خلال تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ زنجان توسط Hirayama et al. (1965) انجام گرفته است. Davis et al. (1972) مطالعات زمین‌شناسی ناحیه‌ای برندق را در قالب تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ماسوله انجام داده‌اند و سپس Clark et al. (1975) مطالعاتی را در ضمن تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ بندر انزلی بر روی سنگهای ناحیه برندق انجام داده‌اند. پژوهشهای معدنی در ناحیه مورد مطالعه تا سال ۱۳۸۰ بسیار اندک بوده است. از مهم‌ترین مطالعات انجام شده در این ناحیه از سال ۱۳۸۰ به بعد، می‌توان به اکتشافات چکشی کارشناسان زمین‌شناسی (مهری و همکاران، ۱۳۸۱) بر روی واحدهای کربناتی شمال ناحیه اشاره کرد. این بررسیها منجر به شناسایی و اکتشاف اندیسهایی از عناصر سرب و روی در واحدهای دولومیتی شمال روستای زاویه گردید. همچنین در سال ۱۳۸۰، مهندسین مشاور تهران پادیر به بررسی پلاسراهای حاشیه رودخانه قزل اوزن پرداخته‌اند. در سال ۱۳۸۳ مطالعات صحرایی، کانی‌شناسی و ژئوشیمی اکتشافی به نسبت جامعی بر روی سنگها و رسوبات رودخانه‌ای این ناحیه توسط هادی‌زاده صورت گرفت و نتایج حاصل از این مطالعات به صورت تفصیلی در قالب کانی‌شناسی، سن، تیپ و شرایط تشکیل زونهای دگرسانی

نمونه برداری و تجزیه شیمیایی

غالب جوامع مختلف سنگی طبقه‌بندی شدند. پس از تفکیک و طبقه‌بندی جوامع سنگی، مقدار زمینه محلی که در واقع مقدار میانه مربوط به هر جامعه می‌باشد محاسبه شد و سپس با تقسیم یافته‌های خام مربوط به هر یک از عناصر در هر جامعه بر مقدار زمینه محلی، مقادیر شاخص غنی شدگی سنگ محاسبه گردید. مقادیر به دست آمده توسط نرم افزار SPSS به روش سه پارامتری نرمال شد. پس از این مرحله، مقادیر خارج از ردیف طبق آزمون دورفل (Wellmer, 1998) شناسایی و جایگزین گردید. در نهایت ضرایب همبستگی برای عناصر مختلف به روش پیرسون (Swan & Sandilands, 1995) برای یافته‌های بهنجار شده، محاسبه شد (جدول ۱). براساس نتایج به دست آمده از این جدول، بیشترین میزان همبستگی بین عناصر Ti ، Cu-Mn ، As-Sb ، Sn-Be ، Cr-Ni ، Pb-Zn و Ti-Ba و Fe دیده می‌شود. همچنین در این مطالعه به دلیل زیادی عناصر مورد بررسی و تعدد نمونه‌ها، به منظور تحلیل بهتر بر روی یافته‌های بهنجار شده، تحلیل عاملی (factor Analysis) انجام گردید به طوری که متغیرهای نرمال به ۵ عامل عناصر تبدیل شدند:

عامل اول: عناصر Hg ، W ، Ag

عامل دوم: عناصر Co ، Ni ، Cr

عامل سوم: عناصر Ti ، Mo ، Zn ، Pb ، Be

عامل چهارم: عناصر Au و Sr ، Sn ، Bi ، Sb ، As ، Cu

عامل پنجم: عناصر Ba ، Fe ، Mn

در نهایت، برای تفکیک بی‌هنجاریهای ژئوشیمیایی، با محاسبه مقادیر میانه (X) و انحراف معیار (S) (جدول ۲)، مقادیر حد زمینه (معادل با X)، حد آستانه بی‌هنجاریها (معادل با $X+2S$) و بی‌هنجاریهای ممکن (مقادیر بین $X+2S$ و $X+3S$)، و احتمالی (مقادیر $>X+3S$) تعیین شد. سپس به منظور مرتب‌سازی بی‌هنجاریهای ژئوشیمیایی به دست آمده، از روش $P.N$ (بیشترین رخداد احتمال) تفکیک آنها انجام شد و در نهایت نقشه‌های بی‌هنجاریهای ژئوشیمیایی اولیه به روش تخمین شبکه (حسنی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰) برای ۲۱ عنصر و ۵ عامل رسم شد. این بی‌هنجاریها، نشان دهنده نحوه تمرکز و گسترش عناصر در ناحیه برندق است (هادی‌زاده، ۱۳۸۳).

در اکتشافات ژئوشیمیایی، حضور یک یا چند عنصر از یک پاراژنز معین، می‌تواند دلالت بر حضور احتمالی اعضای دیگر آن پاراژنز داشته باشد. بنابراین، از وجود این عناصر می‌توان به عنوان ردیابی برای اکتشاف عناصر دیگر، بویژه نهشته‌های پنهانی که در آنها فلزهای اصلی کانسار به آسانی قابل ثبت نیستند، استفاده کرد (Peters, 1987).

برای طراحی شبکه نمونه برداری، ابتدا طرح کلی آبراه‌های ناحیه با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ برندق رسم شد (شکل ۱)، سپس نقشه‌های زمین‌شناسی و ژئوفیزیک هوایی منطقه به صورت لایه‌های اطلاعاتی بر روی آن قرار گرفت و محل ۲۱۴ نمونه ژئوشیمیایی در پایین دست گسلها، همبریه‌های مهم زمین‌شناسی، مناطق با چگالی گسلی بالا و بی‌هنجاریهای ژئوفیزیکی تعیین شد. چگالی شبکه نمونه برداری، یک نمونه به ازای هر ۲/۸ کیلومتر مربع است. نمونه برداری از محل‌های از پیش تعیین شده بر روی نقشه و با استفاده از الک ۸۰- مش انجام شد. نمونه‌های برداشت شده، توسط آزمایشگاه شرکت کانساران بینالود برای ۲۲ عنصر تجزیه شیمیایی شد. برای تعیین مقادیر Au و Hg نمونه‌ها از روش AAS، برای تعیین مقادیر Mn ، Cu ، Ni ، Sr ، Ba ، Ti ، Fe ، Cr و ICP-ES و برای اندازه‌گیری مقادیر بقیه عناصر، از روش ICP-MS استفاده شد. همچنین به منظور کنترل دقت آزمایشها، ۳۰ نمونه تکراری نیز از بین نمونه‌های فوق به صورت تصادفی انتخاب و تجزیه شد (هادی‌زاده، ۱۳۸۳).

پردازش یافته‌های تجزیه

پس از تجزیه شیمیایی نمونه‌ها، ابتدا دقت تجزیه با استفاده از روشهای ترسیمی و نیز روشهای محاسباتی (Govett, 1983) تعیین شده که مقادیر حاصل، از دقت قابل قبول برخوردار بوده‌اند. سپس یافته‌های خام مربوط به عناصری که دارای بیش از ۵۰٪ مقادیر سنسورد بوده‌اند، حذف گردید (عنصر B). مقادیر سنسورد برای عناصر طلا و جیوه به دلیل این که تعداد یافته‌های سنسورد آنها بیش از ۱۰٪ کل یافته‌ها بود، به روش بیشترین درست‌نمایی کوهن (Sanford et al., 1993) و برای بقیه عناصر که تعداد یافته‌های سنسورد آنها کمتر از ۱۰٪ کل یافته‌ها بود، به روش جایگزینی ساده (حسنی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰) تصحیح شد. در اکتشافات ژئوشیمیایی به روش رسوبات آبراه‌ای و یا لیتوژئوشیمیایی، صرفنظر از مؤلفه آلودگی شیمیایی تغییر پذیری از حالت نرمال، دارای دو مؤلفه سین‌ژنتیک و اپی‌ژنتیک می‌باشد که مؤلفه سین‌ژنتیک در ارتباط با فرایندهای سنگ‌زایی و مؤلفه اپی‌ژنتیک در ارتباط با فرایندهای کانی‌سازی اقتصادی بوده و به عنوان یک مؤلفه مفید اکتشافی شناخته می‌شود. مقدار زمینه یک سنگ از یک ناحیه به ناحیه دیگر ممکن است تغییر کند و نیز ممکن است مؤلفه سین‌ژنتیک (تغییرات سنگ‌شناسی) چنان قوی باشد که اثر مؤلفه اپی‌ژنتیک را محو کند (حسنی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰). لذا برای از بین بردن اثر مؤلفه سین‌ژنتیک، با قرار دادن نقشه نمونه برداری بر روی نقشه زمین‌شناسی، سنگهای بالا دست هر نمونه ژئوشیمیایی که در تولید رسوب آبراه‌ای مربوط به هر نمونه نقش داشته‌اند، تفکیک و در

(جدول ۴). سپس براساس نتایج تجزیه‌های حاصل و قیاس آنها (Ginzburg, 1960) این نمونه‌ها به گروه‌های عقیم، کانی‌سازی پراکنده، کانی‌سازی غنی شده و کانی‌سازی کانساری تفکیک شد. از میان آنها، ۴ نمونه برای بعضی از عناصر غنی‌شدگی نشان می‌دهند که در اکتشاف عناصر $\text{Be, Sr, Mo, Cu, Zn, Ba}$ (از محدوده بی‌هنجاری شماره ۳).
۲- نمونه BH460 برای اکتشاف عناصر Ba, Mn, Zn (از محدوده بی‌هنجاری شماره ۳).
۳- نمونه BH8 برای اکتشاف عناصر Be و Mo (از محدوده بی‌هنجاری شماره ۵).
۴- نمونه BH18 برای اکتشاف عناصر Cu و Sr (از محدوده بی‌هنجاری شماره ۵).

زونهای دگرسانی

مطالعات صحرایی در مرحله کنترل بی‌هنجاریهای ژئوشیمیایی نشان داد که بیشتر بی‌هنجاریهای به‌دست آمده منطبق بر زونهای دگرسانی ناحیه است. براساس شواهد صحرایی و مطالعات سنگ‌نگاری دو تیپ دگرسانی در چهارگوش برندق تشخیص داده شده است. این دو تیپ که هر کدام حاوی مجموعه‌های کانیاپی خاص خود هستند، از نظر موقعیت مکانی، وسعت، و کانی‌شناسی تفاوتی با یکدیگر دارند (هادی زاده و همکاران، زیر چاپ) و شامل:

۱- **دگرسانیهای اسید-سولفاتی** که در طول زونهای برشی (Shear Zones) در بخش جنوبی منطقه مشاهده شده‌اند.

۲- **دگرسانیهای کالک سیلکاتی با pH خنثی** که در حاشیه رودخانه قزل‌اوزن رخ داده‌اند (شکل ۱).

دگرسانیهای اسید-سولفاتی که عمدتاً در اطراف روستاهای کمرکوه، کلوم، سرخ‌آباد، پازکی و کله سر مشاهده می‌شوند در طول یک زون برشی با روند تقریبی خاوری-باختری توسعه یافته و به نظر می‌رسد که این زونها به‌صورت مجرای برای عبور محلولهای گرمابی عمل کرده باشند.

شواهد صحرایی و آزمایشگاهی نشان دادند که دگرسانیهای زونهای برشی شباهتهای زیادی به همدیگر دارند و توسط محلولهای هیپوزن و سوپرژن تشکیل شده‌اند. دگرسانیهای هیپوزن شامل زونهای سیلیسی (کوارتز، کالسدونی)، آلونیتی (آلونیت، کوارتز)، آرژیلیک پیشرفته (کائولینیت، آلونیت، کوارتز)، فلیک (سرستیت، کوارتز، پیریت، کائولینیت) و پروپیلیتیک (اپیدوت، کلریت، کلسیت، پرنیت، ژئولیت، مگمیت) بوده

بررسی محققان مختلف (Rose et al., 1979; Peters, 1987; Beus & Grigorian, 1977; Levinson, 1980) عناصری مانند Ag, Bi, Sb, As می‌توانند به عنوان ردیاب مناسبی برای اکتشاف کانسارهایی مانند رگه‌ای طلا و نقره به کار روند. این عناصر، همچنین در اکتشاف کانسارهای چند فلزی $\text{Co, Pb, Zn, Cu, Ag, Au}$ نیز اهمیت دارند. عناصری مانند Tl, Se, B, W, Sn نیز در برخی از کمرندهای کانه‌دار بویژه در کانسارهای طلا، از خود غنی‌شدگی نشان می‌دهند (حسینی‌پاک، ۱۳۸۱). از این رو گسترش بی‌هنجاریهای فوق در ناحیه برندق، می‌تواند وجود کانسارهای رگه‌ای Ag, Au و نیز کانسارهای چند فلزی $\text{Pb, Zn, Ag, Au, Cu}$ را محتمل سازد.

کنترل بی‌هنجاریهای ژئوشیمیایی

کنترل بی‌هنجاریهای ژئوشیمیایی از طریق مطالعه نمونه‌های کانیهای سنگین در رسوبات آبراه‌های و همچنین توسط مطالعات سنگ‌نگاری نمونه‌های کانی‌سازی شده و دگرسان شده صورت گرفته است. ۲۳ نمونه کانی سنگین از محل بی‌هنجاریهای اولیه برای کنترل این بی‌هنجاریها برداشت (سری BH) و پس از آماده‌سازی در سازمان زمین‌شناسی کشور مطالعه شد. به‌علاوه نتایج حاصل از مطالعه ۲۳ نمونه کانی سنگین پلاسره‌های حاشیه رودخانه قزل‌اوزن (تهیه شده توسط شرکت مهندسین مشاور تهران پادیر، ۱۳۸۰) نیز به این یافته‌ها افزوده شد (سری Km) و در نهایت پردازش بر روی ۴۶ نمونه کانی سنگین انجام گردید (جدول ۳). کانیهای شناسایی شده در این نمونه‌ها، به دو سری ۱) کانیهای سنگ‌ساز (زیرکن، آپاتیت، روتیل، گارنت، مگنتیت، پروکسن، آمفیبول، اپیدوت، کلریت و بیوتیت) و ۲) کانیهای مرتبط با نهشته‌های کانی‌سازی شده (باریت، مس طبیعی، گالن، سرب طبیعی، ایلمنیت، مولیبدنیت، همتایت، پیریت، روی طبیعی، اولیژست، مارکاسیت، سروستیت، لیمونیت، اسمیت، زونیت، پیریت-اکسید، پیریت-لیمونیت، کریزوکولا و گوتیت) تقسیم شدند.

پس از پردازش آماری و رسم هیستوگرامها و نمودارهای تجمعی برای هر یک از کانیهای سنگین، مقادیر حاصل در نمونه‌های مختلف به محدوده‌های مختلفی تقسیم‌بندی شدند. سپس با استفاده از مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی (مطالعه مقاطع نازک و صیقلی) منشأ هر یک از این مقادیر تعیین شد. مهم‌ترین کانیهایی که در ارتباط با نهشته‌های کانی‌سازی شده بوده و از نظر اقتصادی مهم هستند، عمدتاً در نمونه‌هایی دیده می‌شوند که در بالا دست آنها مناطق دگرسانی گسترده و کانی‌سازیهای رگه‌ای و پراکنده دیده می‌شود و اکثراً علت وجودی بی‌هنجاریهای اولیه هستند.

برای کنترل بی‌هنجاریهای ژئوشیمیایی با استفاده از نمونه‌های کانی‌سازی شده ۲۸ نمونه کانی‌سازی از میان نمونه‌های سنگی انتخاب و تجزیه شد

بخش حاشیه شمالی رودخانه به صورت مجموعه‌هایی با pH خنثی (دگرسانیه‌های کالک‌سیلیکاتی با بی‌هنجاریهای Au, Hg, Sn, W, Ag, Mo) ظاهر شده‌اند.

در نهایت، نتایج حاصل از پردازش یافته‌های تجزیه، مطالعات کانیهای سنگین، و سنگ‌نگاری نمونه‌های کانی‌سازی و دگرسان شده، و شواهد صحرائی با همدیگر تلفیق شده و در مجموع ۱۰ محدوده به عنوان بی‌هنجاریهای نهایی عناصر معرفی گردیده (جدول ۵ و شکل ۱) و به شرح زیر برای اکتشافات آتی اولویت بندی شده‌اند:

اولویت اول: محدوده بی‌هنجاریهای ۱، ۳ و ۵.

اولویت دوم: محدوده بی‌هنجاریهای ۲، ۴ و ۱۰.

اولویت سوم: محدوده بی‌هنجاریهای ۶، ۷، ۸ و ۹.

از آنجا که احتمال دارد بی‌هنجاریهای به دست آمده با ساختارهایی همچون گسلها در ارتباط نزدیک باشند، لذا برای انطباق این بی‌هنجاری با مناطق گسلی، نقشه چگالی گسلی منطقه رسم شد (شکل ۲). مقایسه و بررسی نقشه چگالی گسلها با نقشه بی‌هنجاریهای نهایی عناصر، انطباق بسیار خوبی را بین آنها نشان می‌دهد که می‌تواند گویای کنترل این بی‌هنجاریها تا حد زیادی توسط گسلها باشد. لذا مناطق با چگالی گسلی بالا، از اهمیت اکتشافی بالایی برخوردار است.

نتیجه‌گیری

۱- نتایج حاصل از اکتشافات ژئوشیمیایی در چهارگوش برندق، باعث تفکیک ۱۰ محدوده بی‌هنجاری از عناصر W, Mo, Sn, Co, Zn, Pb, Au, Hg, Ag, Bi, Sb, As شد.

۲- بیشترین گسترش این بی‌هنجاریها مربوط به عناصر W, Sn, Bi, Ag, Hg, Sb, As بوده که می‌تواند به عنوان ردیابهای خوب در اکتشاف ذخایر رگه‌ای Au-Ag و نیز رگه‌های Zn-Pb-Cu-Ag مورد استفاده قرار گیرند.

۳- نتایج حاصل از مطالعات کانیهای سنگین، باعث شناسایی کانیهای سنگ‌ساز (روتیل، آپاتیت، گارنت، مگنتیت، پیروکسن، آمفیبول، اپیدوت، کلریت و بیوتیت) و کانیهای مرتبط با نهشته‌های کانی‌سازی شده (باریت، مس طبیعی، گالن، سرب طبیعی، ایلمنیت، مولیبدنیت، هماتیت، پیریت، روی طبیعی، اولیژیت، مارکاسیت، سروسیت، لیمونیت، اسمیت زونیت، پیریت-اکسید، پیریت-لیمونیت، کریزوکولا و گوتیت) گردید. منشأ کانیهای فوق، عمدتاً زونهای دگرسانی و زونهای با کانی‌سازیهای رگه‌ای و پراکنده است.

۴- نتایج حاصل از مطالعات بر روی دگرسانیه‌های منطقه باعث شناسایی دو تیپ دگرسانی اسید-سولفات (شامل زونهای سیلیسی، آرژلیک پیشرفته، آلونیتی، فلیک و پروپلیتیک) و دگرسانیه‌های با pH تقریباً خنثی (شامل

که در کل یک حالت زون بندی نشان می‌دهند. دگرسانیه‌های سوپرژن با مجموعه‌های کانیایی جاروسیت، لیمونیت، گوتیت، آلونیت، ژپس، کاتولینیت، و گوگرد طبیعی قابل شناسایی است (هادی‌زاده و همکاران، زیر چاپ). مقایسه این تیپ دگرسانیه‌ها، با دگرسانیه‌های مشابه در دنیا نشان می‌دهد که این دگرسانیه‌ها از تیپهای اسید-سولفاتی (Rye et al., 1992; Hemley et al., 1969; Stoffregen, 1987; Hemley & Joines, 1964) است. در چنین سامانه‌هایی، یک زون بندی قائم از عناصر وجود دارد به طوری که عناصر Au, Sb, As, Bi, Ag, Sb, As سطح و عناصر Co, Cu, Pb, Zn, Bi, Te, Se, Ag در بخشهای عمیق تر سامانه متمرکز می‌شوند (Clark & Govett, 1990). با توجه به این که بی‌هنجاریهای به دست آمده اکثراً مربوط به عناصر Bi, Ag, Sb, As می‌باشند لذا منشأ این بی‌هنجاریها قابل توجیه است.

دگرسانیه‌های حاشیه رودخانه قزل‌اوزن، وسعت کمتری نسبت به تیپ قبلی داشته و شامل زونهای آرژلیک، کالک‌سیلیکات (اپیدوت، پرهنیت، کلسیت، آلپیت، فلدسپار پتاسیم، فلوریت، زئولیت، پیریت، کوارتز و کلسدون) و زئولیت (آنالیسم و لامونیت) است. این تیپ دگرسانیه‌ها، به احتمال توسط محلولهای غنی از کلرید با pH تقریباً خنثی شکل گرفته‌اند (Reyes, 1990; Brown, 1978). با توجه به رگه‌ای بودن سیستم و هم‌زمانی کلسیت و فلوریت، احتمالاً کاهش فشار نقش مهمی در ایجاد فرایند جوشش و در نتیجه نهشته شدن فلوریت داشته است (Richardson & Holland, 1979). فرایند جوشش همچنین می‌تواند باعث افزایش pH و ناپایداری کمپلکسهای فلزی و سبب نهشته شدن فلزها بویژه طلا و نقره شود (Barnes, 1979). با توجه به بی‌هنجاریهای قابل توجه از عناصر Au, Ag, Hg, Sb, Fe, Mo، احتمال وجود کانی‌سازیهای طلا و نقره دور از انتظار نیست.

شواهدی چون وجود دگرسانیه‌های وسیع در طول زون برشی جنوب منطقه، قطع شدگی استوکهای کوارتز مونزونیتی اولیگوسن توسط زون برشی، دگرسانی دایکهای نفوذی الیگوسن، قطع شدگی سازند سرخ زیرین به سن اولیگوسن پسین توسط دایکهای نفوذی موجود در منطقه، نشان می‌دهد که سن لکه‌های دگرسانی مرتبط با زون برشی جوان‌تر از اولیگوسن پسین است. با توجه به این که سازند سرخ پسین (میوسن پسین) از دگرسانیه‌های هیپوژن، متأثر نشده، از این رو سن تقریبی دگرسانیه‌ها را می‌توان در محدوده اولیگوسن پسین تا اواسط میوسن در نظر گرفت. از آنجا که دگرسانیه‌های منطقه، هم در امتداد زونهای برشی و هم در حاشیه رودخانه قزل‌اوزن دایکهای منطقه را دگرسان کرده‌اند، لذا هر دو نوع دگرسانی پس از دایکها و احتمالاً به طور هم‌زمان رخ داده و مربوط به فعالیت یک سامانه زمین گرمایی واحد بوده است که در بخشهای جنوبی رودخانه در بلندیها به صورت مجموعه‌های اسید سولفاتی (بی‌هنجاریهای As, Sb, Bi) و در

و گسلها نقش بسیار مؤثری ایفا کرده‌اند. از این رو زونهای با شکستگی بالا، از اهمیت اکتشافی بالایی برخوردارند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از حمایت‌های مالی شرکت مهندسین مشاور تهران پادیر و معاونت تحصیلات تکمیلی دانشگاه تبریز برخوردار بوده، لذا بجاست نهایت سپاس و قدردانی خود را ابراز دارند. همچنین از نظرات و پیشنهادهای ارزنده و سازنده داوران محترم مجله نیز سپاسگزاری می‌شود.

زونهای آرژیلیک، کالک سیلیکات و زئولیت) شد. این دگرسانها، در اثر عملکرد یک سامانه زمین گرمایی واحد در اواخر اولیگوسن تا اواسط میوسن تشکیل شده‌اند. دگرسانهای اسید سولفاتی، عمدتاً از عناصر As, Sb, Bi و دگرسانهای با pH خنثی، از عناصر Mo, Au, W, Sn, Hg بی‌هنجاری نشان می‌دهند.

۵- نتایج حاصل از انطباق نقشه بی‌هنجاریهای نهایی با نقشه چگالی گسلها نشان داد که بیشتر بی‌هنجاریهای به‌دست آمده منطبق بر زونهای با چگالی گسلی بالاست. لذا در به‌وجود آمدن بی‌هنجاریهای فوق، احتمالاً شکستگیها

جدول ۱- ضرایب همبستگی (محاسبه شده با روش پیرسون، Swann & Sandilands, 1994) بین عناصر مختلف

	Au	Hg	Cr	Cu	Mn	Ni	Sr	Ba	Ti	Fe	Ag	As	Bi	Co	Mo	Pb	Sb	Zn	Be	Sn	W
Au	1	0.15	0.02	0.10	0.08	-0.08	0.03	0.07	0.04	0.06	0.13	0.10	-0.02	0.13	0.23	0.19	0.10	0.04	0.07	0.10	0.06
Hg	0.15	1	-0.06	-0.12	-0.21	-0.12	-0.05	0.10	0.03	0.18	0.00	0.12	0.05	0.08	0.15	0.05	0.12	0.05	-0.01	0.14	0.31
Cr	0.02	-0.06	1	0.17	0.35	0.61	-0.06	0.14	0.48	0.15	0.18	0.00	0.19	0.14	0.00	-0.13	-0.05	-0.06	-0.05	0.07	-0.11
Cu	0.10	-0.12	0.17	1	0.46	0.21	0.29	0.30	0.31	0.19	0.11	0.07	0.16	0.45	0.19	0.06	0.02	0.13	0.02	0.09	0.06
Mn	0.08	-0.21	0.35	0.46	1	0.21	0.01	0.42	0.42	0.32	0.12	-0.13	0.00	0.30	0.14	0.11	0.08	0.18	0.11	0.21	0.10
Ni	-0.08	-0.12	0.61	0.21	0.21	1	0.00	-0.05	0.07	-0.06	0.04	-0.05	-0.05	0.15	-0.09	-0.13	-0.18	-0.03	-0.09	0.04	-0.32
Sr	0.03	-0.05	-0.06	0.29	0.01	0.00	1	0.10	-0.14	0.04	-0.10	-0.23	-0.10	-0.10	-0.16	-0.27	-0.19	-0.17	-0.34	-0.41	-0.30
Ba	0.07	0.10	0.14	0.30	0.42	-0.05	0.10	1	0.44	0.44	0.15	0.16	0.10	0.36	0.27	0.31	0.20	0.20	0.17	0.23	0.29
Ti	0.04	0.03	0.48	0.31	0.42	0.07	-0.14	0.44	1	0.47	0.39	0.08	0.22	0.41	0.19	0.23	0.11	0.25	0.32	0.42	0.22
Fe	0.06	0.18	0.15	0.19	0.32	-0.06	0.04	0.44	0.47	1	0.02	-0.01	0.13	0.27	0.12	0.05	0.09	0.18	0.01	0.13	0.12
Ag	0.13	0.00	0.18	0.11	0.12	0.04	-0.10	0.15	0.39	0.02	1	0.09	0.00	0.25	0.10	0.21	-0.14	0.10	0.36	0.40	0.20
As	0.10	0.12	0.00	0.07	-0.13	-0.05	-0.23	0.16	0.08	-0.01	0.09	1	0.27	0.04	0.28	0.27	0.47	0.01	0.18	0.15	0.12
Bi	-0.02	0.05	0.19	0.16	0.00	-0.05	-0.10	0.10	0.22	0.13	0.00	0.27	1	0.06	-0.01	-0.03	0.32	-0.02	0.13	0.13	0.08
Co	0.13	0.08	0.14	0.45	0.30	0.15	-0.10	0.36	0.41	0.27	0.25	0.04	0.06	1	0.29	0.53	0.07	0.65	0.38	0.23	0.13
Mo	0.23	0.15	0.00	0.19	0.14	-0.09	-0.16	0.27	0.19	0.12	0.10	0.28	-0.01	0.29	1	0.41	0.22	0.17	0.29	0.28	0.17
Pb	0.19	0.05	-0.13	0.06	0.11	-0.13	-0.27	0.31	0.23	0.05	0.21	0.27	-0.03	0.53	0.41	1	0.20	0.69	0.45	0.34	0.28
Sb	0.10	0.12	-0.05	0.02	0.08	-0.18	-0.19	0.20	0.11	0.09	-0.14	0.47	0.32	0.07	0.22	0.20	1	0.07	0.09	0.15	0.31
Zn	0.04	0.05	-0.06	0.13	0.18	-0.03	-0.17	0.20	0.25	0.18	0.10	0.01	-0.02	0.65	0.17	0.69	0.07	1	0.30	0.27	0.22
Be	0.07	-0.01	-0.05	0.02	0.11	-0.09	-0.34	0.17	0.32	0.01	0.36	0.18	0.13	0.38	0.29	0.45	0.09	0.30	1	0.50	0.39
Sn	0.10	0.14	0.07	0.09	0.21	-0.04	-0.41	0.23	0.42	0.13	0.40	0.15	0.13	0.23	0.28	0.34	0.15	0.27	0.50	1	0.50
W	0.06	0.31	-0.11	0.06	0.10	-0.32	-0.30	0.29	0.22	0.12	0.20	0.12	0.08	0.13	0.17	0.28	0.31	0.22	0.39	0.50	1

جدول ۲- مقادیر محاسبه شده میانه (X)، انحراف معیار (S)، (X+S)، (X+2S)، (X+3S) برای عناصر مختلف در نمونه‌های ژئوشیمیایی

ناحیه برندق

	Au	Hg	Cr	Cu	Mn	Ni	Sr	Ba	Ti	Fe	Ag
X	-0.02	-0.36	-0.24	0.50	0.40	-0.97	0.005	-0.145	0.11	0.31	0.39
S	0.8775	1.4096	0.5094	0.1808	0.1630	1.2804	0.4437	0.3730	0.2054	0.2211	0.4823
(X+S)	0.8575	1.0496	0.2694	0.6808	0.5630	0.3104	0.4488	0.2280	0.3154	0.5311	0.8723
(X+2S)	1.7350	2.4593	0.7788	0.8616	0.7260	1.5907	0.8926	0.6009	0.5208	0.7522	1.3546
(X+3S)	2.6126	3.8689	1.2883	1.0425	0.8891	2.8711	1.3364	0.9739	0.7263	0.9733	1.8369
	As	Bi	Co	Mo	Pb	Sb	Zn	Be	Sn	W	
X	0.22	-0.22	-0.32	-0.16	0.01	0.06	-0.33	0.52	0.655	0.10	
S	0.4288	0.5846	0.6817	0.5277	0.6606	0.5547	0.8097	0.1726	0.1805	0.5353	
(X+S)	0.6488	0.3646	0.3617	0.3677	0.6706	0.6147	0.4797	0.6926	0.8355	0.6353	
(X+2S)	1.0776	0.9492	1.0435	0.8954	1.3313	1.1695	1.2894	0.8652	1.0160	1.1707	
(X+3S)	1.5064	1.5338	1.7253	1.4230	1.9920	1.7242	2.0991	1.0378	1.1965	1.7060	

جدول ۳- مقادیر کانیهای سنگین در رسوبات آبراهه‌ای ناحیه برندق بر حسب ppm

	Sample	Mag.	Mal.	Py.	Gln.	Hem.	N-Zn.	Barl.	Bro.	Smt.	Lim.	N-Cu.	Pv-Lim.	Pv-Ox.	N-Pb.	Moly.	Olig.	Cem.	Goet.	Cry.	Marc.	Ilm.
1	BH407	295.7	0	184.2	0	278.8	0	5.5	0	0	20.1	0	176.9	367.7	0	0.19	13.9	0	116.6	0	0	0
2	BH408	2751.3	0	14.8	0	1086.5	0	5.3	0.46	0	112.1	0	262.6	663.9	0	0	62.1	0	259.7	0	0	0
3	BH409	1481.5	0	1.8	0	540	0	0	0	0	5.6	0	65.3	198	0	0	15.4	0	193.6	0	0	0
4	BH420	3219	0	78	0	1021.5	0	1.7	0	0	0	0	0.7	69.9	0	0	20.4	0	0.7	0	0	0
5	BH426	14233.6	0	181.5	0	4564.2	0	3.2	0	0	0	6.44	3.2	97.6	0	0	3.8	0	95.4	0	0	0
6	BH447	172.5	0	0	0	442.6	0	0	0	0	0.1	0	3.1	31.5	0	0	0.1	0	3.1	0	0	0
7	BH448	922.3	0	0	0	2133.2	0	0	0	0	14.3	0	99	222.5	0	0	78	0	163.2	0	0	0
8	BH460	884.1	0.21	0	0	771.5	0	0.2	0	0	0	0	6.5	39.6	0	0	15.4	0	6.4	0	0	0
9	BH466	1913.7	0	0	0	1249.2	0	0	0	0	10	0	11.7	47.5	0	0	13.9	0	116.1	0	0	0
10	BH467	727.2	0	0	0	3464.6	0	23.4	0	0	1.3	0	42.4	171.6	0	0	300.9	0	83.9	0	0	0
11	BH470	3874.6	0	73.6	0	1620.1	0	1.3	0	0	0	0	1.3	92.4	0	0	54	0	45.2	0	0	0
12	BH488	729		0.3	0	66.6	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0	0	0.3	0.15	0	0
13	BH490	2666.7	0	1	0	140.4	0	0.9	0	0	0	0	0	0.9	0	0	0	0	0	0.42	0	0
14	BH504	477.4	0	0	0	2100	0	0	0	0	0.3	0	0.3	13.8	0	0	0.4	0	135.2	0	0	0
15	BH541	10.1	0	0	0	17.9	0	0	0	0	0.4	0	0	2.1	0	0	0	0	5	0	0	0
16	BH559	155.4	0	1.3	0	1446.5	0	0.2	0	0	0.2	0	0.2	36	0	0	0.3	0	17.6	0	0	0
17	BH567	20.7	0	0.1	0	223.5	0	0.1	0	0	1.6	0	1.9	11.5	0	0	0.1	0	92.4	0	0	0
18	BH564	0.4	0	0.3	0	666.3	0	0	0	0	12	0	0.3	28.5	0	0	0	0	410.7	0	0	0
19	BH571	3.5	0	10.2	0	2144.2	0	0	0	0	51.6	0	30.2	122.3	0	0	0.7	0	1494.7	0	0	0
20	BH575	0.1	0	0	0	281.3	0	0	0	0	22.6	0	2.6	5.3	0	0	0.1	0	156.8	0	0	0
21	BH556	317.1	0	0.8	0	1086.8	0	0	0	0	157	0	30.6	124	0	0	0.8	0	909.1	0	0	0
22	BH576	0.5	0.32	5	0	468.7	0	0	0	0	169.3	0	19.8	40.1	0	0	0.5	0	588.1	0	0	0
23	BH599	65.9	0.07	0	0	343.8	0	0	0	0	9	0	2.6	10.7	0	0	3.1	0	78.4	0	0	0
24	FM.1	354	0.22	27.2	0	605	0.3	18.4	0	0.24	0.2	0	0.2	95.2	0.46	0	0	0	251	0	0.27	0.26
25	FM.2	2570	0	34.3	0	1051	0	30.9	0	0	0.5	0	0.6	185.3	0	0	0	0	332	0	0	0.65
26	FM.3	1179	0	126	0	1469	0.55	34	0	0.44	0.4	0	0.4	12.6	0.86	0	133.6	0	222	0	0	0
27	FM.4	58	0	0	0	74	0	1.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	0	0	0
28	FM.5	62	0	0.1	0	288	0	3.6	0	0	0	0	0	0	0.14	0	0.1	0	211	0	0	0
29	FM.6	262	0	0.2	0	623	0.18	0.4	0	0	0	0	0	0.2	0.29	0	0	0.22	414	0	0	0.16
30	FM.7	321	0	0.4	0.26	946	0.19	36.6	0	0.15	0.1	0	0	0.2	0.29	0	0	0.22	181	0	0	0
31	FM.8	262	0	0.1	0	499	0	25.2	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0	103	0	0	0
32	FM.9	19	0	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0
33	FM.10	3873	0	57	1.14	1571	0	68.4	0	0	0	0	0	0.8	0	0	362.6	0.99	10	0	0	0
34	FM.11	1082	0	41.6	0	1102	0	18.7	0	0	0.3	0	0.4	208	0	0	330.7	0	27.5	0	0.42	0.39
35	FM.12	212	0	40.8	0	1586	0	61.2	0	0	0.2	0	0.2	114.2	0	0	0.3	0	311	0	0.27	0
36	FM.13	3261	0	2.8	0	4985	0	151.2	0	0	0	0	0	33.6	0	0	1.2	0	296	0	0	0
37	FM.14	1165	0	1.4	0.84	1959	0	50.4	0	0	0	0	0	0.6	0	0	0.6	0.73	180	0	0	0
38	FM.15	4056	0	150	1.8	2571	0	108	0	0	0.9	0	0	1.2	0	0	1.3	1.56	27.1	0	1.2	0
39	FM.94	157.2	0	0.1	0	130.6	0	5	0	0	0.1	0	0.1	0.1	0	0	0	0	15.8	0	0	0
40	FM.95	93.6	0	0.1	0	76.3	0	9.7	0	0	0.1	0	0	0.1	0	0	0.1	0	20.5	0	0	0
41	FM.96	2582.5	0	116.4	0	4441.8	0	122.7	0	0	0	0	0.7	0.8	0	0	493.5	0	320	0	0	0
42	FM.98	1223	0	0.6	0	771.5	0	25.1	0	0	0.4	0	0.5	0.6	0	0	0.6	0	32	0	0	0
43	FM.99	2562.5	0	1.6	0	2566.6	0	102.2	0	0	0	0	0	0.6	0	0	14.9	0	12.3	0	0	0
44	FM.100	958.4	0	1.4	0	671.6	0	38.9	0	0	0.4	0	0.5	0.6	0	0	0.6	0	380.1	0	0	0
45	FM.101	44.9	0	0	0	45.8	0	1.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	0	0	0
46	FM.102	396	0	0.3	0	374.8	0	12.2	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0.3	0	155.6	0	0	0

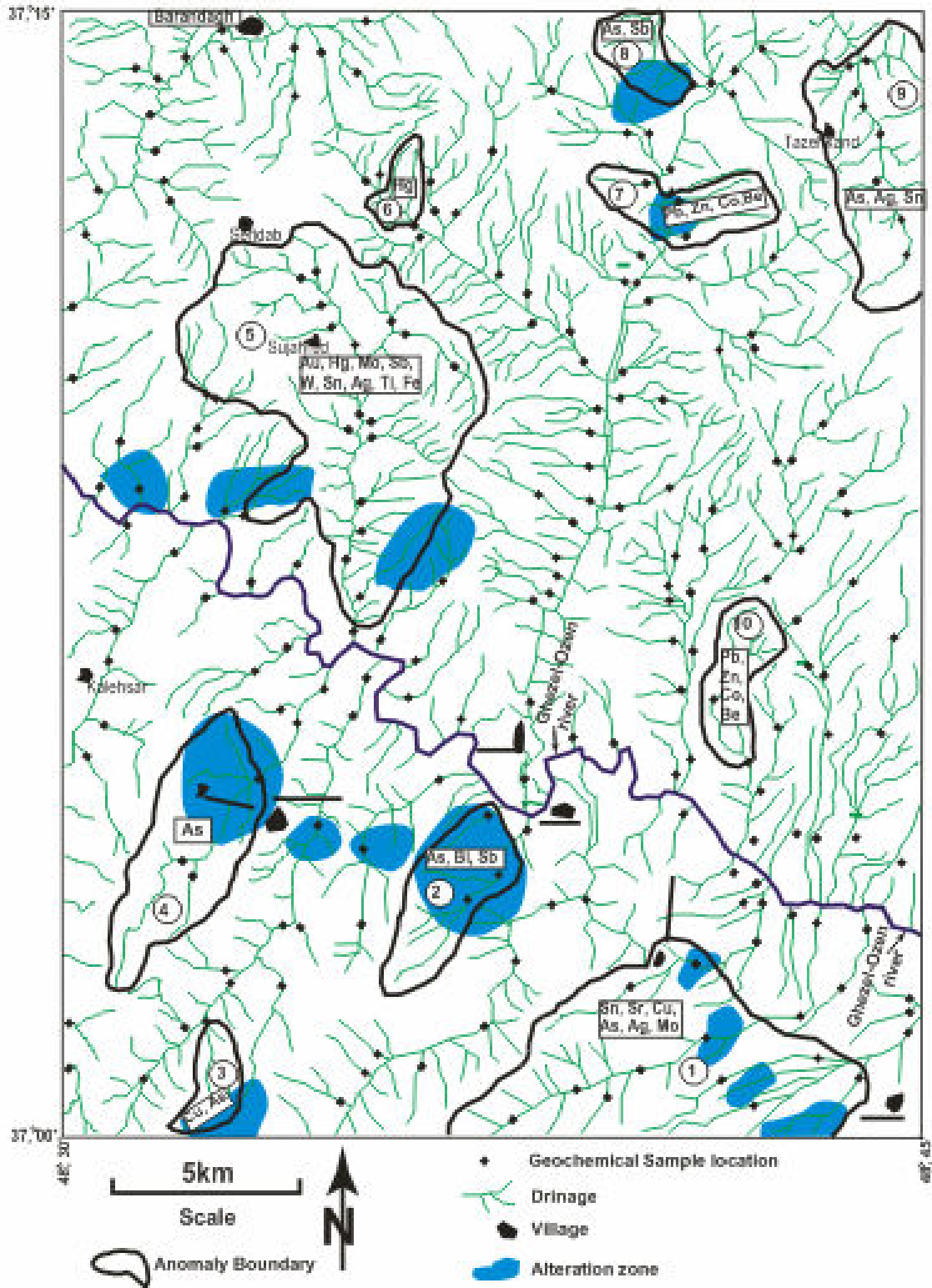
Mag = magnetite, Mal = Malachite, Py = pyrite, Gln = Galena, Hem = hematite, N-Zn = Native Zinc, Barl = Barite, Broch = Brochantite, Smt = Smithsonite, Lim = limonite, N-Cu = Native Copper, N-Pb = Native Lead, Moly = Molybdenite, Olig = Oligoclase, Cem = Cementsite, Goet = goethite, Cry = Crysochola, Marc = Marcasite, Ilm = Ilmenite, Ox = oxide.

جدول ۴- نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌های کانی‌سازی شده که از محل بی‌هنجارهای اولیه برداشت شده است (طلا بر حسب ppm و بقیه عناصر بر حسب ppm)

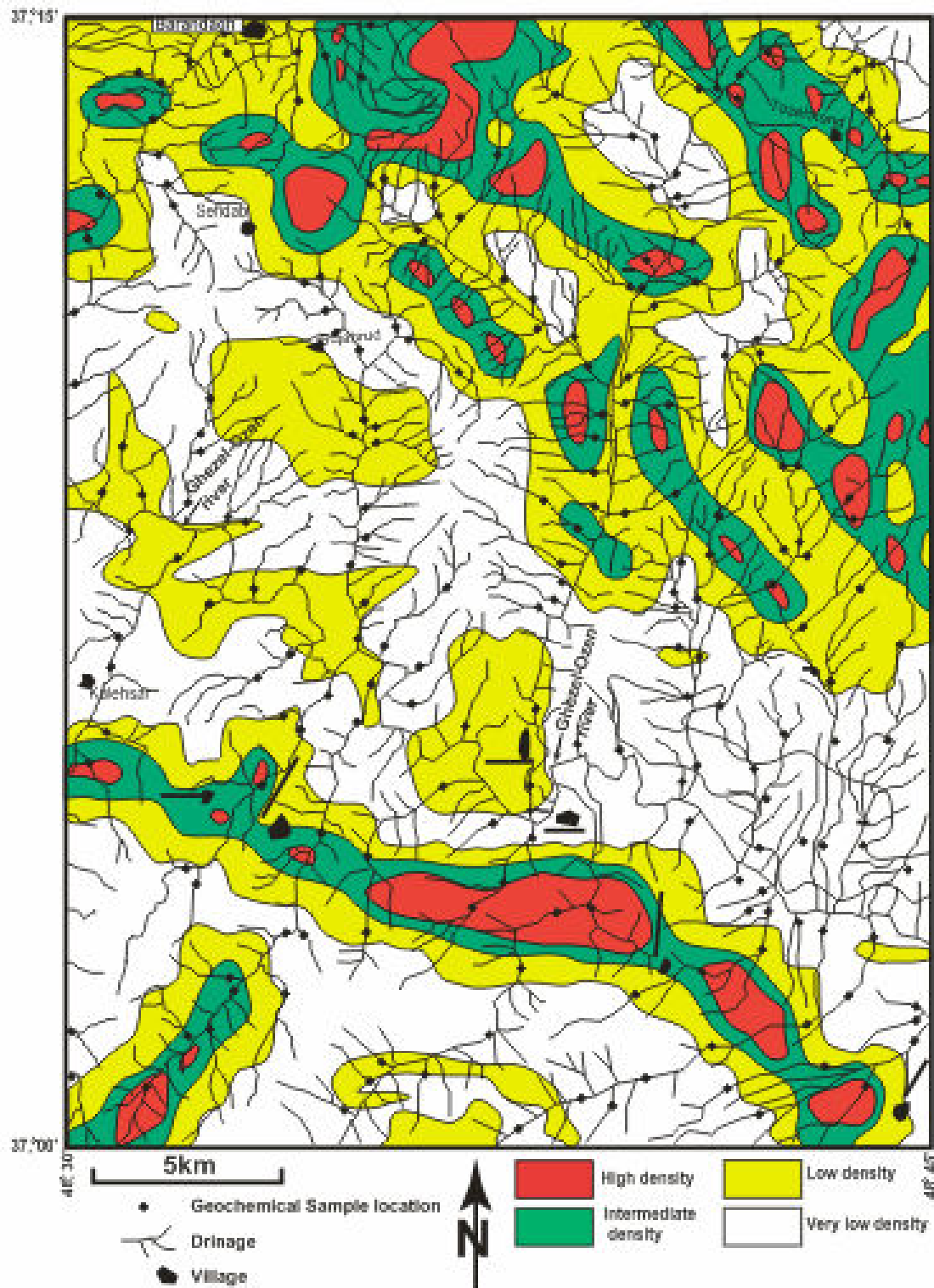
Sample #	Au	Cr	Mn	Mo	Ni	Sr	Zn	Ba	Be	Ti	Fe	Ag	As	B	Bi	Co	Cu	Pb	Sb	Sn	W	
1	BH-13	0.75	3	112	0.075	1.5	49.5	3.5	11.8	0.2	208	3920	0.008	<	<	<	0.6	10.5	0.7	0.4	<	<
2	490.5	2	5	457	1.2	1.5	90.6	4	2.7	3	730	16400	0.2	<	<	0.1	1.1	11.5	28.7	0.5	0.9	1.1
3	447.1	0.75	238	10	3.1	10	543	11.6	2.59	1.9	6510	71800	0.13	71.6	<	2.5	0.3	11.7	5.5	11.9	2.1	1.7
4	BH-467A	1	49	373	0.5	21	321	44.5	637	1.7	5450	50500	0.05	71.1	<	<	12.9	49.1	2.6	3.6	3.8	0.9
5	BH-G1	0.75	14	694	3.4	6	326	43.8	510	3.7	3420	32500	0.86	32.5	<	<	7.7	56.1	17.7	2.7	3.4	7.7
6	407.1	0.75	14	1.5	1.3	1.5	493	0.15	80.2	0.2	1810	4050	0.06	19.2	<	0.3	1	6	6.6	7.2	0.9	0.5
7	BH-G2S	0.75	22	1010	3.8	10	349	61.6	564	3.2	4490	39700	0.15	18.5	<	<	16.2	40.8	14.4	1.5	3.1	1.3
8	B-576.1	46	20	1740	1.7	19	47.1	18.7	69.5	0.3	290	38400	0.26	17.3	<	0.2	4.4	9.1	1.8	5.6	0.4	0.6
9	490.7	0.75	11	956	1.1	8	444	68	821	2.3	3760	30100	0.08	15.6	<	<	6.4	32.4	18.2	1.2	1.3	1.4
10	467.2	2	8	6	1.6	2	777	1.1	26.2	0.4	1460	4080	0.02	13.6	<	0.4	1.7	11.3	0.9	28.7	0.2	0.6
11	BH-18	0.75	22	722	1.1	5	1020	7.6	20.9	3.4	2400	38800	0.36	13.2	<	<	5.8	4430	39.3	3.3	1.9	0.6
12	BH-460	0.75	6	211	1.1	3	115	436	3460	1	1230	15500	1.59	11.7	<	<	2.9	65.3	129	14.4	0.7	0.8
13	BH-420	0.75	8	433	3.7	4	209	42	277	6.9	2800	21500	0.25	11.5	<	<	3.7	23.6	23.1	2.2	5.4	9.8
14	576.2	3	75	757	0.075	47	54.3	62.8	434	2.8	4470	44600	0.09	10.6	<	0.5	12.4	42.7	2	4.6	3.5	2.6
15	576.3	3	38	2190	3.3	16	140	14.8	42.7	0.4	649	41700	0.1	10.1	<	<	4.3	20.8	32	3.8	0.5	0.6
16	467.1	0.75	37	8	0.5	1.5	666	0.15	140	0.3	4070	1430	0.1	8	<	0.7	0.3	6.9	8.3	11.4	7.5	0.7
17	BH-455	2	4	8470	7	1.5	124	602	188	7.4	119	178000	0.008	6.4	<	0.3	5.7	3.9	12.8	7.2	2.7	177
18	B-490.1	0.75	36	1060	1.6	17	168	77	313	2.2	5530	53700	0.23	5.9	<	0.2	14.7	56.8	17.7	1.1	1.9	2.9
19	B-490.3	2	11	633	1	5	834	9.1	9	3.8	4160	30800	0.21	3.1	<	<	5.4	68.8	28.4	1.8	1.8	1.3
20	490.4	16	7	619	2.4	1.5	356	4.5	4	5.3	1730	23200	1.68	2.8	<	0.1	2.5	42.2	43.7	1.2	1.4	1.4
21	BH-10	0.75	7	596	3.7	3	655	62.4	710	2.5	5130	43500	0.41	2.8	<	<	11.6	42.7	11.7	0.8	3	2.8
22	490.3	1	11	606	0.8	3	782	6.3	5.4	4.5	3590	28700	0.18	2.5	<	<	3.2	5.1	30.8	1.7	1.6	1.1
23	571.1	0.75	19	1800	0.9	13	91.8	14.8	39.1	0.2	351	37100	0.02	2.5	<	<	2.3	12.1	1.6	1.3	0.5	0.4
24	490.6	0.75	4	602	1.2	1.5	433	0.9	3.2	3.3	1530	21900	0.35	1.8	<	<	2.1	26.6	29.4	1	1.2	1.1
25	BH-16	0.75	12	826	1.9	5	359	72.8	635	2.4	5840	44800	0.44	1.6	<	<	11.1	78.9	12.3	0.6	2.4	1.7
26	BH-8	2	3	629	4	1.5	150	0.15	7.5	9.3	520	14800	0.29	1.6	<	<	0.9	3.6	36.2	0.6	0.5	0.4
27	B-490.2	0.75	5	338	3.4	1.5	142	35	813	1.6	3570	19700	0.17	1.3	<	<	2.9	4.1	3.5	0.5	1.6	1.5
28	BH-11	0.75	2	149	0.6	1.5	59.6	1.6	5.5	0.4	32	1670	0.01	0.9	<	<	0.3	0.5	3.3	1.2	<	<

جدول ۵- معرفی بی‌هنجارهای ژئوشیمیایی و اولویت‌های اکتشافی آنها در ناحیه برندق

ردیف	نوع سنگ	نمونه ژئوشیمیایی	نمونه کانی سنگین	تاج کانی سنگین	نمونه منیرالیزه	تاج منیرالیزه	دگرسانی	زمین شناسی	نوع
۱	اندزیت، توف، مارون، کوارتز، موزونیت	407,408, 409,420, 426	Cu, As, Ag, Sr, Mo, Sn	14, 15, 407, 408, 409, 420, 426	Moly, Broch, N-Cu, Ceru, Gln, Marc, Smts, Mag, Py, Bar, Olig	-	اسید سولفاتی (میوزند و سوزند)	گسل	اول
۲	اندزیت، توف	447, 448	As, Sb, Bi	12, 447, 448	Marc, Py, Olig, Hen, Mag, Geo, Bar	447.1	فلس شادگنی نیست Ag, Sb	اسید سولفاتی (میوزند و سوزند)	Shear Zone
۳	اندزیت، کوارتز، موزونیت	460	Cu, As	10, 460	Gln, Ceru, Malc, Bar, Olig, Py, Mag, Hen	455, 460	فلس شادگنی نیست به عناصر Zn, Mo, Mn, Ag, Ba	اسید سولفاتی (میوزند و سوزند)	گسل
۴	اندزیت، توف، کوارتز، موزونیت	466, 467	As	9, 466, 467, 470	Mag, Bar, Py, Hen, Geo, Lim	467A, 467.1, 467.2	فلس شادگنی نیست به عنصر As	اسید سولفاتی (میوزند و سوزند)	Shear Zone چین خوردگی
۵	توف، اندزیت	488, 490, 493, 494, 497	Au, Hg, Mo, Sb, W, Sn, Ag, Ti, Fe	95, 101, 488, 490, 504	Cry, Mag, Py, Bar, Olig, Py, Ox, Py, Lim	8, 10, 11, 13, 16, 18, 490.1, 490.2, 490.3, 490.4, 490.5, 490.6, 490.7	فلس شادگنی نیست به عناصر Be, Mo, Cu, Sr	H (تلاک سیلیکاتی)	گسل، چین خوردگی
۶	اندزیت، توف، مارون	541	Hg	541	Mag, Geo, Py, Ox, Hen	-	-	-	گسل
۷	انگکند، دولومیت، اندزیت	556, 557, 559	Pb, Zn, Co, Be	556, 557, 559	Mag, Py, Py, Ox, Py, Lim, Olig, Geo, Hen	-	-	اسید سولفاتی - دولومیتی شد	Ereccia Zone
۸	توف، اندزیت	564	As, Sb	564	Py, Geo, Hen, Py, Ox, Py, Lim	-	-	اسید سولفاتی	گسل
۹	فیلت، انگکند، اندزیت	571, 578, 576	As, Ag, Sn	571, 575, 576	Malc, Py, Geo, Hen, Py, Ox, Py, Lim	571.1, 576.1, 576.2, 576.3	-	-	گسل
۱۰	اندزیت، توف، مارون	596, 599	Pb, Zn, Co, Be	3, 599	Malc, Olig, Bar, N, Pb, N, Zn, Py, Smts, Lim, Mag, Geo	-	-	آرزیکه	-



شکل ۱ - نقشه شبکه آبراه‌های و محل‌های نمونه‌برداری و محدوده بی‌هنجاری‌های نهایی عناصر و موقعیت‌های زونهای دگرسانی در چهار گوش برندق



شکل ۲- نقشه چگالی گسلها در چهارگوش برندق

کتابنگاری

- آقاباتی، س.ع.، ۱۳۸۳- زمین شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
- حسنی پاک، ع.ا. و شرف الدین، م.، ۱۳۸۰- تحلیل داده‌های اکتشافی. انتشارات دانشگاه تهران، ۹۸۷ ص.
- شرکت مهندسين مشاور تهران پادير، ۱۳۸۰- طرح اکتشافات پلاسره‌های حاشیه رودخانه قزل اوزن، ۱۷۲ ص.
- مهری، ب.، باباخانی، ع.، ر.، و قلی پور، م.، ۱۳۸۱- اکتشاف ذخایر سرب و روی با سنگ میزبان کربناتی (تیپ دره می سی سی پی) در رشته کوه‌های البرز. چکیده مقالات بیست و یکمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ص ۱۵۲-۱۵۵.
- هادی زاده، ح.، ۱۳۸۳- اکتشافات ژئوشیمیایی از دیدگاه زمین شناسی اقتصادی در محدوده برکه توپوگرافی ۵۰۰۰۰:۱ برندق (از شیت ۱:۱۰۰۰۰۰:۱ ماسوله)، ۱۴۷ ص.
- هادی زاده، ح.، کلاگری، ع.ا.، عابدینی، ع.، زیر چاپ. کانی شناسی، نوع و توان فلززایی زونهای دگرسانی در ناحیه برندق (شمال خاور زنجان). مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران.
- نبوی، م.ح.، ۱۳۵۵- دیباچه‌ای بر زمین شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۰۹ ص.

References

- Barnes, H. L., 1979- Geochemistry of hydrothermal ore deposits, 2nd edition. John Wiley & Sons, 798p.
- Beus, A. A., Grigorian, S. V., 1977- Geochemical exploration method for mineral deposits. Translated by R.T. Schneider Ed. by A. A Levinson, Illiais Applied Publishing, 924p.
- Brown, P. R. L., 1978- Hydrothermal alteration in active geothermal field. Review of Earth and Planetary Sciences 6, 229-250.
- Clark, G. C., Davis, R. G., Hamzhepour, B., Jones, C. R., 1975- Explanatory text of the Bander-e-Anzali quadrangle map (1:250000). Geology a survey of Iran. Rep. No.D3, 198p.
- Clark, D. S., Govett, J. S., 1990- Southwest pacific epithermal gold: a rock-geochemistry prespective. In: J.W. Hedenquist, N. C. White, and G. Siddeley (ed). Epithermal gold mineralization of the circum-pacific. Association of Exploration Geochemists, special publication, No.16a, 225-240.
- Davis, R. G., Hamzhepour, B., Clark, G. C., 1972- Geology of masuleh sheet (1:100000). NW Iran. Rep. No.24, Geological Survey of Iran, Tehran, 110p.
- Ginzburg, I.I., 1960- Principles of geochemical prospecting, 1st English edition. Pergamon Press, New York and London, 311p.
- Govett, G.J., 1983- Handbook of Exploration Geochemistry (Statistical Data Analysis in Geochemical Prospecting), Amsterdam, Elsevier, 461p.
- Hirayama, K., Samimi, M., Zaahedi M., Hushmandzadeh, A., 1965- Geology of Tarem district western part (Zandjan area – Northwest of Iran). Geological Survey of Iran. Rep. No.80.
- Hemley, J.J., Hostetler, P.B., Gud A.J., Mountjoy, W.T., 1969- Some stability relations of alunite. Economic Geology 64, 599-612.
- Hemley, J.J. Joines, W. R., 1964 - Chemical aspect of hydrothermal alteration with emphasis on hydrogen metasomatism. Economic Geology 59, 538-569.
- Levinson, A. A., 1980- Introduction of exploration geochemistry. Applied publishing Ltd., Wilmette, Illinois, 924p.
- Peters, W. C., 1987- Exploration and Mining Geology. John Wiley & Sons Ltd, 704p.
- Reyes, A.G., 1990- Petrology of philippine geothermal systems and the application of alteration mineralogy to their assessment. Journal of Volcanology and Geothermal Research 43, 279- 309.
- Richardson, C. K., Holland, H. D., 1979- Flourite deposition in hydrothermal systems. Geochimica et Cosmochimica Acta 43, 1327-1335.
- Rose, A.W., Hawkes, H. E., Webb, J. S., 1979- Geochemistry in mineral exploration. Academic Press, New York. 657p.
- Rye, R.O., Bethk P.M., Wasserman M.D., 1992- The stable isotope geochemistry of acid-sulfate alteration. Economic Geology 87, 225-262.
- Sanford, F., Pierson T., Crovelli R.A., 1993- An objective replacement method for censord geochemical data, Mathematical Geology 27, 59-79.
- Stofferegen, R., 1987- Genesis of acid-sulfate alteration of Au-Cu-Ag mineralization at Summitville, Colorado. Economic Geology 82, 1575-1591.
- Swan, A. R. H., Sandilands M., 1995- Introduction to geological data analysis, Blackwell Science, Cambridge, 446p.
- Wellmer, F. W., 1998- Statistical evolution in exploration for mineral deposits. Springer Verlag, New York, 379p.

* گروه زمین شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران

*Department of Geology, Faculty of Natural Sciences, Tabriz University, Iran.