

# اکتشافات زمین‌شیمیایی طلا و مطالعه کانی‌های سنگین رسوبات رودخانه‌ای منطقه استرقان، خاروانا، آذربایجان شرقی - شمال باختر ایران

رسول فردوسی<sup>۱</sup>، علی‌اصغر کلاگری<sup>۲</sup>، محمدرضا حسین‌زاده<sup>۳</sup> و کمال سیاه‌چشم<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

<sup>۲</sup> استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

<sup>۳</sup> دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

<sup>۴</sup> استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۱۶

## چکیده

منطقه استرقان در ۵۰ کیلومتری شمال تبریز، جنوب خاور بخش خاروانا و در استان آذربایجان شرقی قرار گرفته است. این منطقه بخشی از پهنه فلززایی قره‌داغ-ارسباران را تشکیل می‌دهد. مهم‌ترین واحدهای سنگ‌شناختی منطقه شامل نفوذی‌های گرانودیوریتی پورفیری به فرم استوک (الیگوموسن) و رسوبات پالئوسن-اوسن شامل ترادفی از سنگ‌های فیلیشی (سنگ‌آهک، ماسه‌سنگ آهکی و مارن) هستند. نفوذ این استوک به درون سنگ‌های رسوبی آنها را به مجموعه‌ای از متاسوماتیت و سنگ‌های دگرگونی مجاورتی مبدل کرده است. مطالعات آماری روی یافته‌های ژئوشیمی آبراهه‌ای و کانی‌سنگین صورت گرفته که شامل پردازش یافته‌ها، بررسی متغیرهای تک‌متغیره و چندمتغیره و رسم و تعبیر نقشه بی‌هنجاری عناصر است. ضرایب همبستگی میان عناصر توسط روش‌های زمین‌آمار محاسبه و بهترین ضرایب همبستگی فلزات با همدیگر و به‌ویژه طلا تعیین شد. عناصری که همبستگی مثبتی با طلا نشان می‌دهند شامل مس، جیوه، سرب، آرسنیک، آنتیمون، نقره، بیسموت و مولیبدنیم هستند. نتایج اولیه مطالعات زمین‌شیمیایی رودخانه‌ای در منطقه سبب شناسایی دو ناحیه با بی‌هنجاری‌های درجه ۱ و درجه ۲ طلا در منطقه شد. کنترل بی‌هنجاری‌های زمین‌شیمیایی از طریق مطالعات کانی‌سنگین در رسوبات آبراهه‌ای و نمونه‌های کانی‌سازی شده و دگرسان در سطح برنزدهای مناطق بی‌هنجاری درجه ۱ صورت گرفت. مهم‌ترین کانی‌های سنگین شناسایی شده شامل مگنتیت، مالاکیت، طلا، اولیوژست، پیریت، سروزیت، پیریت-لیمونیت، گوتیت، لیمونیت، باریت، هماتیت و پیریت-اکسید هستند و عمدتاً ارتباط تنگاتنگی با پهنه‌های دگرسانی و کانی‌سازی رگه‌ای و انتشاری دارند. دگرسانی‌های اصلی در منطقه شامل آرژیلیک، فلیک و پروپیلیتیک در پیرامون رگه‌هاست. مطالعات صحرایی و آنالیتیک برخی از نمونه‌های سنگی برداشت شده از ناحیه بی‌هنجاری درجه ۱ طلا سبب شناسایی موقعیت رگه‌های اپی‌ترمال طلا دار با عیار بیش از ۴/۵ ppm شده است. انطباق نقشه هاله‌های زمین‌شیمیایی با نقشه زمین‌ساخت و دگرسانی منطقه نشان‌دهنده همبستگی بسیار بالای این مناطق و احتمالاً نقش مهم گسل‌ها و درزه‌ها در رخداد پهنه‌های دگرسانی و مناطق بی‌هنجاری است. همچنین تلفیق این یافته‌ها سبب شناسایی چندین محدوده دارای بی‌هنجاری شده است که بیشتر متعلق به عناصر Au، Ag، Cu، As، Pb هستند که می‌توانند به عنوان عناصر ردیاب برای ذخایر اپی‌ترمال طلا به کار روند.

**کلیدواژه‌ها:** طلا، استرقان، دگرسانی، کانی‌سازی، زمین‌آمار، بی‌هنجاری.

\*نویسنده مسئول: رسول فردوسی

E-mail: R\_ferdosi@tabrizu.ac.ir

## ۱- پیش‌نوشتار

پروژه اکتشافی توسط شرکت منطقه‌ای معادن آذربایجان (زرین داغ آستارکان) می‌توان به مطالعات جمالی (۱۳۷۷) راجع به زمین‌شناسی، ژئوشیمی و تعیین ژنز احتمالی اندیس معدنی میوه‌رود، حضری (۱۳۸۰) راجع به بررسی سنگ‌شناسی و ژئوشیمی سنگ‌های آذرین و دگرگونی منطقه میوه‌رود (شرق خاروانا) و مطالعات گلگون (۱۳۸۰) در مورد زمین‌شناسی اقتصادی، پهنه‌های دگرسانی و کانه‌زایی اپی‌ترمال منطقه بوزلوخ-قره‌داش در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد در این ناحیه اشاره کرد. هدف اصلی این پژوهش شناسایی و معرفی مناطق پتانسیل‌دار از دید کانی‌سازی فلزات پایه و گرانبها و به‌ویژه طلاست. به منظور شناسایی محدوده‌های پتانسیل‌دار از دید کانی‌سازی فلزات پایه و گرانبها در منطقه از یافته‌های مربوط به تجزیه رسوبات آبراهه‌ای استفاده شد. همچنین برای کنترل مناطق بی‌هنجاری به‌دست آمده از مطالعات کانی‌سنگین، کانه‌نگاری و سنگ‌ژئوشیمیایی استفاده شد. از تلفیق یافته‌ها چندین محدوده به عنوان مناطق پتانسیل‌دار معرفی شد.

## ۲- زمین‌شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه

بر پایه مطالعات زمین‌شناسی انجام گرفته واحدهای اصلی در منطقه شامل واحدهای رسوبی (فیلیشی) پالئوسن-اوسن، واحدهای آذرین شامل استوک پورفیری، دایک‌ها و سیل‌ها و گدازه‌ها، واحدهای دگرگونی شامل متاسوماتیت‌ها، هورنفلس

منطقه استرقان در ۵۰ کیلومتری شمال تبریز میان عرض‌های شمالی ۳۸° ۳۱' ۲۲" تا ۳۸° ۳۵' ۴۹" و طول‌های خاوری ۴۶° ۱۱' ۱۶" تا ۴۶° ۱۸' ۲۰" قرار گرفته است. این منطقه جزو پهنه زمین‌ساختی البرز-آذربایجان بوده و در جنوب برکه ۱:۱۰۰۰۰۰ سیه‌رود قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه بخشی از پهنه فلززایی قره‌داغ-ارسباران را تشکیل می‌دهد. پهنه فلززایی ارسباران به واسطه توالی گسترده رسوبات نوع فیلیشی پالئوسن و سنگ‌های نفوذی و خروجی اوسن و الیگوسن مشخص می‌شود. از مطالعات اخیر روی ذخایر این پهنه می‌توان به ذخایر پورفیری مس-مولیبدن سونگون (Calagari, 2004)، مس-طلای مسجدداغی، مس سوناجیل (حسین‌زاده، ۱۳۸۷)، مس-مولیبدن هفت‌چشمه (Mohamadi & Borna, 2006; Zarnab Company, 2007) و برخی از ذخایر اپی‌ترمال طلا مانند زایلیک-صفی‌خانلو (Ebrahimi et al., 2011)، شرف‌آباد و مسجدداغی (Alirezai et al., 2008) و استرقان (فردوسی و همکاران، ۱۳۹۲) اشاره کرد. طبق یافته‌های Jamali & Mehrabi (2015) توالی زمانی سنگ‌های مطالعه شده در این پهنه شامل دو دوره اصلی الیگوسن پسین-میوسن پیشین (۲۰ میلیون سال) شامل پورفیری‌های مس-مولیبدن و کانی‌سازی‌های مرتبط با نفوذی‌ها و میوسن پیشین (۱۰ میلیون سال) در بردارنده ذخایر پورفیری و اپی‌ترمال مس-طلاست. از مطالعات مقدماتی انجام گرفته در پیرامون منطقه استرقان افزون بر اجرای چندین

ترسیمی و محاسباتی (Govett, 1994) و تصحیح یافته‌های سنسورد به روش بیشترین درست‌نمایی کوهن و جایگزینی ساده (Sanford et al., 1993)، متغیرهای آماری تک‌متغیره از جمله میانگین، مد، میانه، واریانس، انحراف معیار، بیشینه و کمینه، چولگی و کشیدگی که چگونگی پراکندگی یافته‌ها پیرامون میانگین و نوع توزیع یافته‌ها را نشان می‌دهند، در محیط SPSS محاسبه شدند (جدول ۲). بر پایه متغیرهای جدول ۲ و نمودارهای ستونی رسم شده، جامعه یافته‌های خام عناصری مانند Zn و Fe توزیع بهنجار دارند. یافته‌های به دست آمده از رسوبات آبراهه‌ای و سنگ‌ژئوشیمیایی صرف نظر از مؤلفه آلودگی شیمیایی و تغییرپذیری از حالت بهنجار، دارای دو مؤلفه سین‌ژنتیک (وابسته به زایش سنگ) و اپی‌ژنتیک (وابسته به کانی‌سازی احتمالی) هستند (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰). به منظور جدایش جوامع سنگی و خنثی کردن مؤلفه سین‌ژنتیک، با قرار دادن نقشه نمونه‌برداری روی نقشه زمین‌شناسی، سنگ‌های بالادست هر نمونه ژئوشیمیایی که در تولید رسوب آبراهه‌ای مربوطه به هر نمونه نقش داشته‌اند در قالب زیرجامعه تک سنگی (۳۱ نمونه)، دو سنگی (۲۷ نمونه) و زیر جامعه آبرفتی (۲ نمونه) تفکیک شدند. در میان زیرجامعه تک‌سنگی واحدهای نفوذی آذرین با ترکیب گرانیتوئیدی و دایک‌های همراه دارای بیشترین گسترش هستند. همچنین در محیط‌های دو سنگی افزون بر واحدهای آذرین واحدهای متاسوماتیک و هورنفلس نیز دارای گسترش قابل توجه هستند. پس از تفکیک و رده‌بندی جوامع سنگی، مقدار زمینه محلی که در واقع میانه مربوط به هر جامعه است محاسبه شد و سپس با تقسیم یافته‌های خام مربوط به هر یک از عناصر در هر جامعه بر مقدار زمینه محلی، مقادیر شاخص غنی‌شدگی سنگ مشخص شد. به منظور بهنجارسازی یافته‌ها ابتدا در میان یافته‌ها، مقادیر خارج از ردیف با استفاده از روش دورفل (Wellmer, 1998)، شناسایی و سپس با مقادیر محاسبه شده از این روش جایگزین شدند. از نمودار جعبه‌ای برای جدایش مقادیر خارج از رده و کنترل درستی روش دورفل استفاده شد. پس از حذف نمونه‌های خارج از ردیف، از یافته‌های خام لگاریتم‌گیری شد که نمودارهای ستونی مربوط به این یافته‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است. نوع مدل توزیع عناصر و بالا بودن ضریب تغییرات آنها (بیشتر بالای ۱۰۰ درصد) نشان‌دهنده تغییرات شدید غلظت عناصر و تمرکز آنها در مقادیر بالاست (Howarth, 1983). الگوی توزیع عناصر Ag, As, Au, Cu, Sb, Hg, Pb به صورت نمایی (Exponential) و دو عنصر Zn و Fe به صورت لگاریتم طبیعی است. الگوی توزیع طلا در منطقه مورد مطالعه به شکل نمایی و دارای تغییرات به نسبت شدیدی است. این عنصر در حالت لگاریتم مقادیر، دو تا سه جامعه مختلف نشان می‌دهد (نمودار Au در شکل ۳).

### ۳-۳. تحلیل ضرایب همبستگی

به منظور محاسبه ضرایب همبستگی ژئوشیمیایی عناصر، از روش توابع توزیع لاگ بهنجار (روش پیرسون) که به نوع تابع توزیع داده‌ها حساس است، استفاده شد (Swan et al., 1995). با بهره گرفتن از عناصری که همبستگی مثبت و قابل قبولی با فلز طلا دارند مکان‌های احتمالی پهنه‌های طلادار مشخص می‌شود. طبق جدول ۳، عناصر Au, Ag, As, Bi, Mo, Cu, Pb, Sb, Hg بیشترین همبستگی را با هم نشان می‌دهند. این عناصر به عنوان عناصر ردیاب اکتشافی، برای اکتشاف فلز طلا در نظر گرفته شده و رسم نقشه روی این عناصر انجام گرفته است.

### ۳-۴. تجزیه خوشه‌ای

در این روش، هدف اصلی دست‌یابی به ملاکی برای رده‌بندی هر چه مناسب‌تر متغیرها بر پایه تشابه هر چه بیشتر درون گروهی و اختلاف هر چه بیشتر میان گروهی است (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰). برای ادغام گروه‌ها و به دست آوردن بهترین نمودار خوشه‌ای از روش اتصال میانگین (Swan et al., 1995) استفاده شد و در پایان بهترین نمودار خوشه‌ای با استفاده از این روش به دست آمد (شکل ۴). طبق نمودار و با توجه به نتایج پیشین (عناصر پارائز طلا) عناصر مختلف به‌طور کلی در

و نهشته‌های کواترنر هستند (شکل ۱). کهن‌ترین واحد سنگی، شامل یک سری فیلیشی (فیلیشوییدی) از ماسه‌سنگ آهکی تا آهک ماسه‌ای، همراه با میان‌لایه‌هایی از سیلتستون، شیل و مارن به سن پالئوسن-اوسن هستند. رخداد فاز کوهزایی پیرنه طی دوره اوسن-الیگوسن سبب خروج و چین‌خوردگی واحدهای رسوبی و جایگیری توده‌های آذرین نفوذی به صورت استوک، دایک و سیل در منطقه شده است (مهرپرتو، ۱۳۷۶). واحدهای سنگی آذرین شامل یک توده نفوذی نیمه‌ژرف با بافت پورفیری تا گرانولار و ترکیب مودال گرانودیوریتی-میکرودیوریتی تا مونزدیوریتی هستند. با توجه به روابط چینه‌شناختی در خاروانا و توده‌های مشابه در مناطق مجاور، می‌توان سنی معادل الیگوسن را برای این توده نفوذی در نظر گرفت. دایک‌ها پس از توده نفوذی از مهم‌ترین تظاهرات آذرین در منطقه بوده و ترکیب چیره میکرودیوریت و میکروهورنبلند دیوریت نشان می‌دهند. از آنجا که دایک‌ها و سیل‌ها درون توالی‌های پالئوسن-اوسن نفوذ کرده و در بخش خاوری محدوده مورد مطالعه توسط سنگ‌های آتشفشانی پلیو-کواترن پوشیده شده‌اند، می‌توان بازه سن نسبی از اوسن تا پلیوسن را برای این واحدها در نظر گرفت. نفوذ توده‌های آذرین سبب رخداد دگرسانی متاسوماتیک در همبری این توده‌ها با واحدهای رسوبی آهکی و پلیتی و ایجاد دگرسانی‌های گرمایی وسیع در منطقه شده است. ادامه فعالیت‌های ماگمایی و گرمایی سبب رخداد پهنه‌های سیلیسی اپی‌ترمال و ایجاد دگرسانی‌های ثانویه و کانی‌سازی در سنگ‌های میزبان شده است. نفوذ این استوک و دایک‌ها و سیل‌های مرتبط با آن، سبب دگرگونی مجاورتی و متاسوماتیزم گسترده‌ای در سنگ میزبان و ایجاد پهنه‌های متاسوماتیتی شده است.

## ۳- مطالعات زمین‌شیمیایی

### ۳-۱. نمونه‌برداری و یافته‌های آنالیتیک

به منظور طراحی شبکه نمونه‌برداری ابتدا با بررسی نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه محدوده حوضه‌های آبریز بررسی و سامانه آبراهه‌ها تکمیل شد (شکل ۲). برای طراحی بهینه شبکه معیارهایی از جمله دست‌یابی به بیشترین توزیع یکنواخت نمونه‌ها در کل نقشه، رعایت چگالی نمونه‌برداری ژئوشیمیایی بر پایه استانداردهای جهانی و ویژگی‌های هر نقشه، اولویت دادن به رسوبات رودخانه‌ای که سنگ بستر خود را قطع می‌کنند و بررسی امکانات جاده‌ای مد نظر قرار گرفتند. به‌طور کلی چگالی نمونه‌ها در محدوده مورد مطالعه با توجه به وضعیت رخنمون‌های سنگی آن تقریباً ۱ نمونه ژئوشیمیایی برای ۰/۶ کیلومتر مربع و ۱ نمونه کانی‌سنگین برای هر ۱/۳ کیلومتر مربع بوده است. نمونه‌های ژئوشیمی از بستر آبراهه‌ها از موقعیت‌های تعیین شده روی نقشه و استفاده از الک ۸۰-مش برداشت شده است. وزن نمونه برداشت شده حدود ۱۵۰ گرم است. برای انجام مطالعات ژئوشیمی و بررسی‌های زمین‌آماری، ۶۰ عدد از نمونه‌های برداشت شده به روش‌های طیف‌سنجی جرمی پلاسما انتشار اتمی (ICP-ES) و طیف‌سنجی جرمی پلاسما جفت شده القایی (ICP-MS) به ترتیب به منظور تعیین مقادیر عناصر اصلی و فرعی و عناصر جزئی و خاکی کمیاب در آزمایشگاه ACME ونکوور کانادا تجزیه شدند (جدول ۱). همچنین ۳۰ نمونه کانی‌سنگین توسط شرکت کانساران بینالود مورد مطالعه قرار گرفتند. به منظور بررسی یافته‌های عیاری فلزات گرانبها و عناصر اقماری آنها از نرم‌افزارهای Spss, Arc Map, Office, Auto Cad, Surfer و ... بهره گرفته شده است.

پس از بررسی نقشه‌های بی‌هنجاری و یافتن موقعیت رگه‌ها ۱۳ نمونه سنگی از نیمرخ عمود بر پهنه‌های بی‌هنجاری درجه ۱ طلا در مؤسسه تحقیقات و فرآوری مواد معدنی مورد تجزیه ICP-OES قرار گرفت. همچنین چندین مقطع نازک-سیلی به منظور بررسی کانه‌ها در کارگاه سنگ‌بری دانشگاه تربیت مدرس تهیه و مطالعه شد.

### ۳-۲. پردازش یافته‌ها

پس از تجزیه شیمیایی نمونه‌ها و بررسی دقت تجزیه با استفاده از روش‌های

بی‌هنجاری‌های مختلف عنصر طلا در شکل ۵ نشان داده شده است. طبق شکل، بی‌هنجاری‌های موجود در منطقه به ترتیب اهمیت به دو دسته بی‌هنجاری درجه ۱ (نواحی A و B)، و بی‌هنجاری درجه ۲ (نواحی C، D، E و F) تقسیم‌بندی شده است. میزان بیشینه طلای اندازه‌گیری شده ۲۵۷ ppb است.

افزون بر طلا بی‌هنجاری‌هایی از عناصر Ag، As، Cu، Pb در محدوده مورد مطالعه دیده می‌شود که شامل موارد زیر است:

– **بی‌هنجاری Ag:** شامل ۲ بی‌هنجاری درجه ۱ و ۱ بی‌هنجاری درجه ۲ است. میزان بیشینه Ag اندازه‌گیری شده در رسوبات آبراهه‌ای مربوط به نمونه شماره 85.ST. 46 و به میزان ۶۹۷ ppb است (جدول ۱).

– **بی‌هنجاری As:** شامل ۱ بی‌هنجاری درجه ۱ و ۲ بی‌هنجاری درجه ۲ است. میزان بیشینه As اندازه‌گیری شده در رسوبات آبراهه‌ای مربوط به نمونه شماره 85.ST. 46 و به میزان ۱۹۰ ppm است.

– **بی‌هنجاری Cu:** شامل ۱ بی‌هنجاری درجه ۱، ۲ بی‌هنجاری درجه ۲ و ۳ بی‌هنجاری درجه ۳ است. میزان بیشینه Cu اندازه‌گیری شده در رسوبات آبراهه‌ای مربوط به نمونه شماره 85.ST. 45 و به میزان ۲۱۲ ppm است.

– **بی‌هنجاری Pb:** شامل ۲ بی‌هنجاری درجه ۱ و ۲ بی‌هنجاری درجه ۲ است. میزان بیشینه Pb اندازه‌گیری شده در رسوبات آبراهه‌ای مربوط به نمونه شماره 85.ST. 46 و به میزان ۳۶/۸ ppm است.

عناصری مانند بیسموت، آنتیموان، نقره و آرسنیک می‌توانند به عنوان ردیابی مناسب برای اکتشاف ذخایر اپی‌ترمال طلا به کار روند (Rose et al., 1979; Reis et al., 2003). با توجه به گسترش بی‌هنجاری‌های عناصر یاد شده در منطقه مورد مطالعه وجود این نوع ذخایر در منطقه دور از ذهن نیست.

### ۳-۷. کنترل بی‌هنجاری‌های زمین‌شیمیایی

کنترل بی‌هنجاری‌های زمین‌شیمیایی با مطالعه نمونه‌های کانی سنگین در رسوبات آبراهه‌ای و همچنین با مطالعات نمونه‌های کانی‌سازی شده و دگرسان صورت گرفته است. ۳۰ نمونه کانی سنگین از محل بی‌هنجاری‌های اولیه برداشت و توسط شرکت کانساران پینالود مطالعه شد (جدول ۸). در مطالعه این نمونه‌ها، در مجموع ۴۴ کانی متفاوت شناسایی شد که درصد حضور این کانی‌ها در نمونه‌های موجود متفاوت است. برخی از آنها در بیشتر نمونه‌ها دیده شده و برخی دیگر به‌طور بسیار محدود در شمار بسیار کمی از نمونه‌ها حضور داشته‌اند. در میان این کانی‌ها، مگنتیت، مالاکیت، طلا، اولیویست، پیریت، سروزیت، پیریت لیمونیت، گویت، لیمونیت، باریت، هماتیت و پیریت اکسید در دسته کانی‌های کانسارساز و کانی‌های آپاتیت، کربنات کلسیم، کوارتز، فلدسپار، روتیل، زیرکن، آتاناز، اسفن، لوکوکسن، گارنت، پیروکسن، اپیدوت و کلریت در دسته کانی‌های سنگ‌ساز به شمار می‌آیند.

در نمونه‌های مطالعه شده، در ۷ نمونه MI-H 2، MI-H 12، MI-H 16، MI-H 23، MI-H 24، MI-H 25، MI-H 26 طلا به میزان ۰/۲۳، ۰/۲۳، ۰/۴۶، ۰/۴۱، ۰/۴۵، ۰/۲۸ و ۰/۳۱ دیده شده است. طلای مطالعه شده در شکل‌های گوناگون دندریتی، اسفنجی، قطعه‌ای، فیبری و صفحه‌ای (فیلم) دیده می‌شود. بیشینه ابعاد این ذرات ۳۵۰ میکرون و رنگ این دانه‌ها از زرد چرک تا زرد خالص است. به دلیل اینکه مبنای پردازش‌های آماری وجود کانی در دست کم ۹ نمونه بوده است، در نتیجه کانی طلا مورد بررسی‌های آماری قرار نکرده است.

پس از پردازش آماری، رسم نمودارهای ستونی مربوط و نمودارهای جمعیتی برای هر یک از کانی‌های سنگین و تعیین ضرایب همبستگی برای مجموعه کانی‌های کانسارساز، مقادیر حاصل در نمونه‌های مختلف به محدوده‌های مختلفی تقسیم‌بندی شدند (شکل ۷). سپس با استفاده از مطالعات صحرائی و آزمایشگاهی (مطالعه مقاطع نازک-صیقلی)، منشأ هر یک از این مقادیر تعیین شد. مهم‌ترین کانی‌هایی که در ارتباط با نهشته‌های کانی‌سازی شده و از نظر اقتصادی مهم هستند، به‌طور

در رده اصلی A و B دسته‌بندی شده‌اند. در رده A عناصر Cu، Au، Bi، As، Ag، Mo، Sb، Hg و Pb قرار دارند که با توجه به این نمودار می‌توان ۳ زیر رده به شرح زیر برای آن در نظر گرفت:

A1: Au, Bi, As, Ag

A2: Mo, Cu

A3: Pb, Hg, Sb

در رده B عناصر Zn و Fe قرار دارند. عناصر گروه A1 در ارتباط تنگاتنگ با طلا هستند و می‌توانند به‌عنوان پارائزهای اصلی پی‌جویی طلا مورد استفاده قرار گیرند.

### ۳-۵. تحلیل عاملی (Factor Analysis)

تحلیل عاملی بر پایه یافته‌های لاگ بهنجار صورت گرفته است. پیش از انجام تحلیل عاملی ابتدا میزان اعتبار تحلیل عاملی روی مقادیر بررسی شود. برای این منظور از آزمون‌های Bartlett و KMO بهره گرفته می‌شود. مقادیر بزرگ ضریب مؤلفه اصلی (Kmo) دلالت بر تأیید تجزیه عاملی و مقادیر کوچک آن دلالت بر عدم تأیید تجزیه عاملی دارد (Cameron & Hobbs, 1971). این کمیت تجزیه عاملی را مقادیر حدود ۰/۹ بسیار مناسب، مقادیر حدود ۰/۸ مناسب، مقادیر حدود ۰/۷ در حد مناسب، مقادیر حدود ۰/۶ متوسط و مقادیر حدود ۰/۵ نامناسب جلوه می‌دهد. کمیت تجزیه عاملی برای نمونه‌های منطقه مورد مطالعه برابر با ۰/۷۸ بوده که در رده در حد مناسب قرار می‌گیرد (جدول ۴). در جدول ۵ مقادیر ویژه، درصد واریانس و درصد جمعی واریانس متناظر با عوامل محاسبه و سپس مقادیر بزرگ‌تر از ۱ (۶ مقدار) استخراج و دوران داده شده است. بر پایه این جدول بیشترین مقدار ویژه (واریانس) مربوط به مؤلفه‌های اول و دوم به ترتیب با درصد تغییر پذیری ۳۵/۵ و ۱۵/۶ هستند. ۶ فاکتور یا عامل می‌تواند تقریباً ۹۸/۴۴ درصد کل تغییرپذیری را توجیه کنند که با توجه به این تعداد فاکتور، مقدار قابل قبولی است.

ماتریس مؤلفه‌های چرخش یافته در جدول ۶ ارائه شده است و در حقیقت بار فاکتوری متغیرهای مختلف را نشان می‌دهد. این مقادیر شبیه ضرایب همبستگی هستند و همبستگی فاکتورهای به‌دست آمده را با متغیرهای اولیه نشان می‌دهند. مؤلفه اول و دوم (F1 و F2) بیشترین همبستگی را با هم نشان می‌دهند. در مؤلفه اول عناصر طلا، نقره، آرسنیک و بیسموت به‌عنوان یک گروه بوده و این عناصر به‌عنوان عناصر ردیاب طلا در نظر گرفته شده‌اند. این مؤلفه می‌تواند در اکتشاف طلا مؤثر باشد. در مؤلفه دوم عنصر مس و مولیبدن با همدیگر همخوانی دارند و این مؤلفه می‌تواند در اکتشاف مس و مولیبدن (پورفیری) در منطقه مورد مطالعه مفید باشد.

### ۳-۶. تعیین بی‌هنجاری‌های زمین‌شیمیایی

نقشه بی‌هنجاری زمین‌شیمیایی شماری از این عناصر که ضریب غنی‌شدگی بالا و بیشترین مقدار همبستگی نسبت به فلز طلا و نقره را داشتند، پس از تعیین مقادیر زمینه، آستانه، بی‌هنجاری ممکن، بی‌هنجاری احتمالی و بی‌هنجاری قطعی توسط روش میانگین و مقادیری از انحراف استاندارد (X+nS) به روش نقشه‌های نمادی Symbol Maps (حسینی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰) رسم شد.

بر پایه تجزیه و تحلیل‌های آماری در یک توزیع بهنجار، ۲/۱۵ درصد از یافته‌ها میان X+2S و X+3S، ۰/۱۳ درصد از یافته‌ها میان X+3S و X+4S و تنها ۰/۱ درصد بزرگ‌تر از X+4S هستند (جدول ۷). به منظور رسم نقشه‌های ژئوشیمیایی، ابتدا داده‌ها به ۶ رده دسته‌بندی و سپس از دو روش سمبل‌گذاری و پهنه‌بافرینگ (مکانی دایره‌ای شکل به شعاع ۳۰۰ متر که ویژگی‌های مربوط به آن نقطه را به خود می‌گیرد؛ این فاصله نشان‌دهنده این است که یک نمونه ژئوشیمیایی بیش از ۳۰۰ متر نمی‌تواند از بالادست برای ما اطلاعات بدهد) برای رسم نقشه‌های بی‌هنجاری استفاده شد. برای جلوگیری از افزایش شکل‌های پژوهش در اینجا، نقشه نمادی عناصر در یک شکل تجمیع و تنها به ارائه نقشه پهنه‌بافرینگ عنصر طلا پسند شد (شکل‌های ۵ و ۶). مقدار طلا در محدوده مورد مطالعه از کمینه ۰/۱ تا بیشینه ۲۵۷ ppb متغیر است.

به مالاکیت و احتمال اینکه سنگ‌های آذرین منطقه یا آغشتگی به مس دارند و یا دارای کانی‌ساز مس هستند را تقویت می‌کند. وجود کانی‌هایی مانند سینابر، استیبنیت و رآلگار در نمونه‌ها نشان از دمای پایین نهشته معدنی در برخی مناطق دارد. پس از باریت کانی‌های سرب و روی بیشترین گسترش را در منطقه دارند. یافته‌های سنگ‌زمین‌شیمیایی نیز بیانگر درصد بالای حضور این عناصر در رگه‌های طلا دار است. گردش‌گی گوشه‌های دانه‌های طلا که تا حدودی بیانگر مسافت حمل شده آنهاست، در نمونه‌های مختلف فرم متفاوتی نشان می‌دهد؛ به گونه‌ای که از دانه‌های نیمه‌زاویه‌دار (در نمونه‌های MI- H 23- 26)، نیمه‌گرد (در نمونه‌های MI- H 2 تا کاملاً گرد شده (در نمونه‌های MI- H 16) در تغییر هستند. در نقاطی که رگه‌های سیلیسی طلا دار رخمون داشته‌اند نمونه‌های مربوط به کانی سنگین نیز دارای دانه‌های طلا به صورت نیمه‌گرد شده هستند. نکته قابل توجه همراهی ذرات طلا با کانه‌های پیریت، پیریت اکسید و کانه‌های سرب و روی است. با وجود کانی‌های پیریت به همراه طلا، احتمال وجود طلا به صورت درگیر در کانه‌های پیریت دور از ذهن نیست. بنابراین با توجه به مطالعات کانه‌نگاری، طلا هم می‌تواند به صورت آزاد و هم به صورت درگیر در سولفیدها و سولفوسالت‌ها حضور داشته باشد.

پهنه‌های دگرسانی آرژلیک، فلیک و پروپیلیتیک در پیرامون رگه‌ها و پهنه‌های متاسوماتیک در همبری توده نفوذی و سنگ میزبان رسوبی هستند. مطالعات صحرایی و آنالیتیک برخی از نمونه‌های سنگی برداشت شده از رگه‌های موجود در ناحیه بی‌هنجاری درجه ۱ سبب شناسایی رگه‌های اپی‌ترمال طلا دار با عیار بیش از ۴/۵ ppm شده است. انطباق نقشه هاله‌های زمین‌شیمیایی با نقشه زمین‌ساخت و دگرسانی منطقه نشان‌دهنده همبستگی بسیار بالای این مناطق و احتمالاً نقش مهم گسل‌ها و درزه‌ها در رخداد پهنه‌های دگرسانی و مناطق بی‌هنجاری است.

### سپاسگزاری

این مطالعه از حمایت‌های مادی و لجستیکی شرکت زرین داغ آستارکان و مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه تبریز برخوردار بوده است. بنابراین شایسته است نگارندگان نهایت سپاسگزاری خود را نسبت به ایشان ابراز دارند. همچنین از زحمات داوران و دست‌اندرکاران محترم فصلنامه علوم زمین سپاسگزاری می‌شود.

چیره در نمونه‌هایی دیده می‌شوند که در بالادست آنها مناطق دگرسانی گسترده و کانی‌سازی‌های رگه‌ای و انتشاری دیده می‌شود و از عوامل ایجاد بی‌هنجاری‌های اولیه هستند. به منظور کنترل پایانی بی‌هنجاری‌های زمین‌شیمیایی طلا، ۳۰ نمونه مقطع میکروسکوپی برای مطالعه کانه‌نگاری و ۱۳ نمونه سنگی از رگه‌های مربوط به ناحیه بی‌هنجاری درجه ۱ طلا، به صورت سیستماتیک برداشت و تجزیه شدند (جدول ۹). کانه‌های مطالعه شده به طور چیره شامل پیریت، کالکوپیریت، استیبنیت، والتینیت، سینابر، طلا و مس طبیعی، تتراهدريت، تانتیت، آرسنوپیریت و بورنیت هستند (شکل ۸).

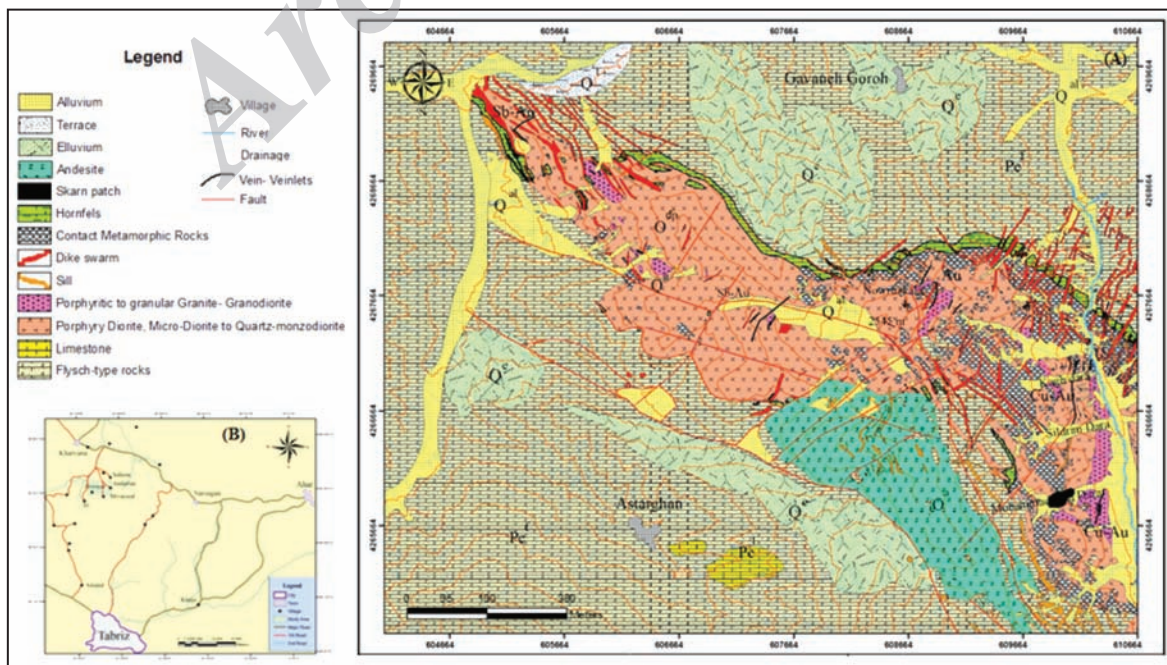
### ۴- نتیجه‌گیری

اصلی‌ترین واحد سنگ‌شناختی در منطقه استرقان، یک استوک پورفیری (الیگوسن) با ترکیب گرانودیوریت تا کوارتز مونزونیت است که به درون رسوبات فیلیس کرتاسه بالایی- پالوسن نفوذ کرده و به نوبه خود توسط دایک‌های میکرودیوریتی (پس از اتوسن) قطع شده است.

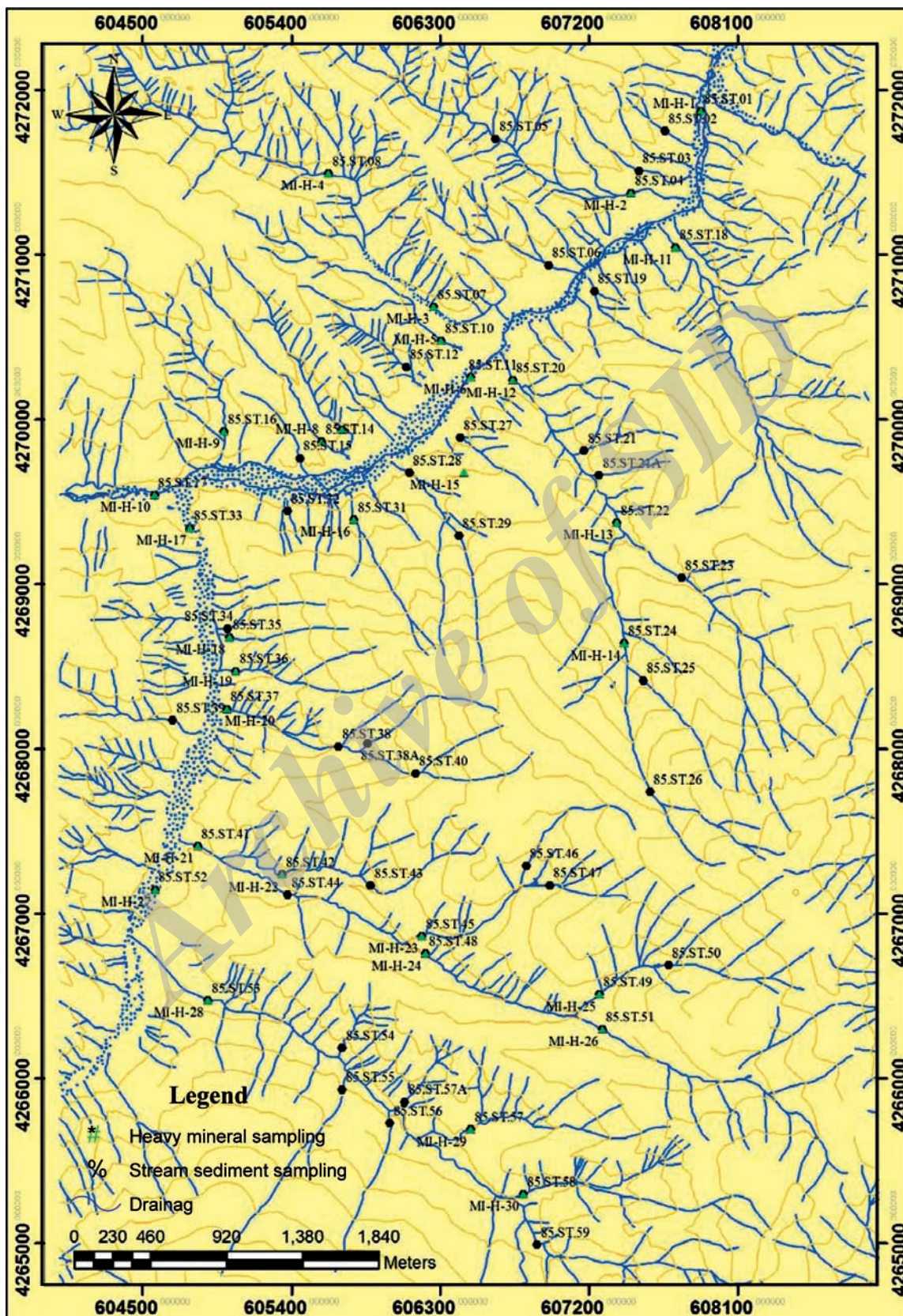
مطالعات زمین‌شیمیایی و زمین‌آمار بیشتر روی یافته‌های رسوبات رودخانه‌ای و کانی سنگین در منطقه انجام شده است. با توجه به تجزیه و تحلیل‌های زمین‌آماري انجام گرفته روی یافته‌های رسوبات رودخانه‌ای الگوی توزیع طلا ۳ جامعه مختلف را نشان می‌دهد؛ به گونه‌ای که در جامعه اول که بیشترین فراوانی را دارد، غلظت طلا در حد زمینه (Background) است. در جامعه دوم که احتمالاً ناشی از توده‌های نفوذی است عیار طلا افزایش می‌یابد. در جامعه سوم که احتمالاً متأثر از کانی‌سازی رگه‌ای طلاست، عیار طلا افزایش و فراوانی آن به شدت کاهش یافته است.

عناصری که همبستگی مثبتی با طلا نشان می‌دهند شامل مس، جیوه، آرسنیک، آنتیموان، نقره، بیسموت و مولیبدیم هستند و طلای آزاد در بیشتر موارد به همراه کانی‌های این عناصر هم یافتی دارد. نتایج حاصل از اکتشافات زمین‌شیمیایی در منطقه مورد مطالعه سبب تفکیک و معرفی چندین محدوده بی‌هنجاری دار از عناصر Au، Ag، As، Sb، Cu، Hg، Pb شد. بیشترین گسترش این بی‌هنجاری‌ها مربوط به عناصر Au، Ag، As و Cu است که می‌تواند به عنوان ردیاب برای اکتشاف ذخایر رگه‌ای طلا مورد استفاده قرار گیرند.

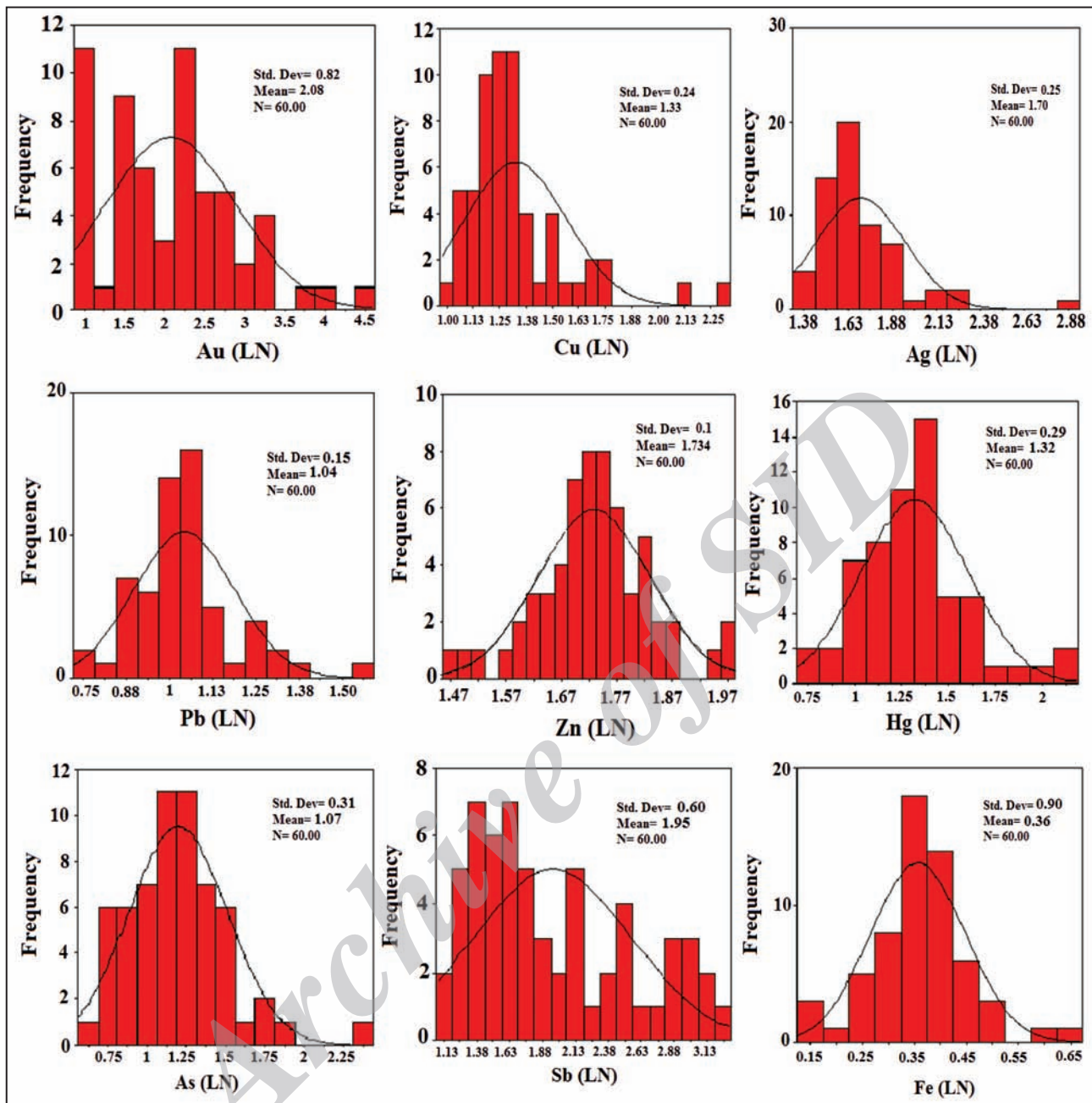
مطالعات کانی سنگین آغشتگی کانی‌های آمفیبول، پروکسن، بیوتیت و ایلمنیت



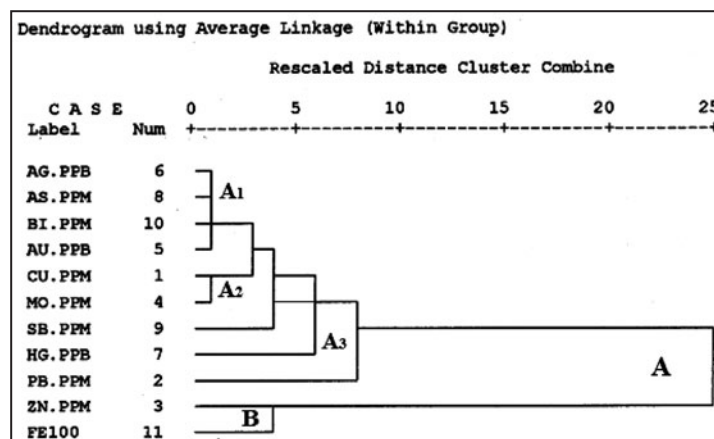
شکل ۱- نقشه کلی زمین‌شناسی منطقه مطالعه شده؛ (B) راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه.



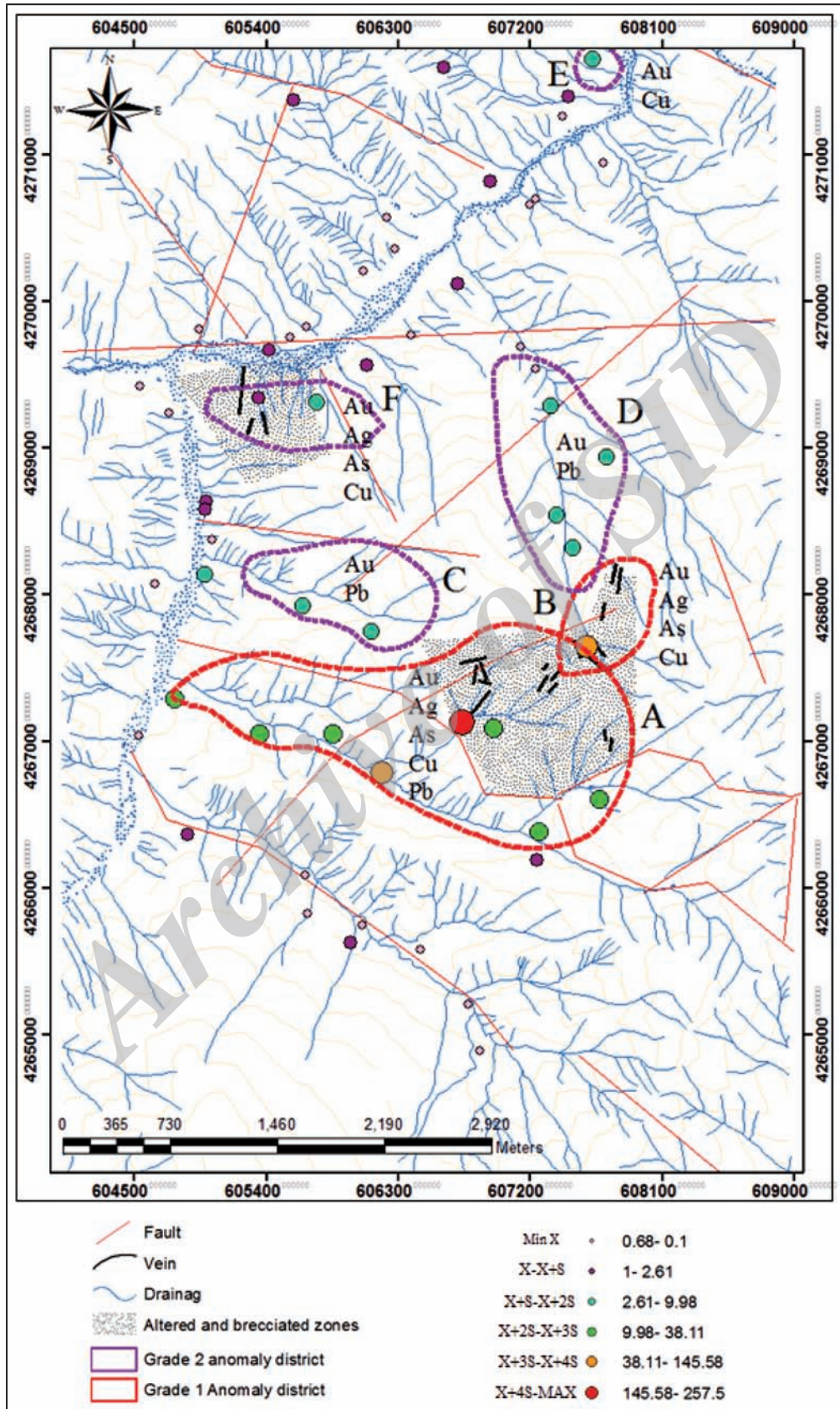
شکل ۲- نقشه آبراهه‌ها و موقعیت مربوط به نمونه‌برداری رسوب رودخانه‌ای و کانی سنگین در منطقه مورد مطالعه.



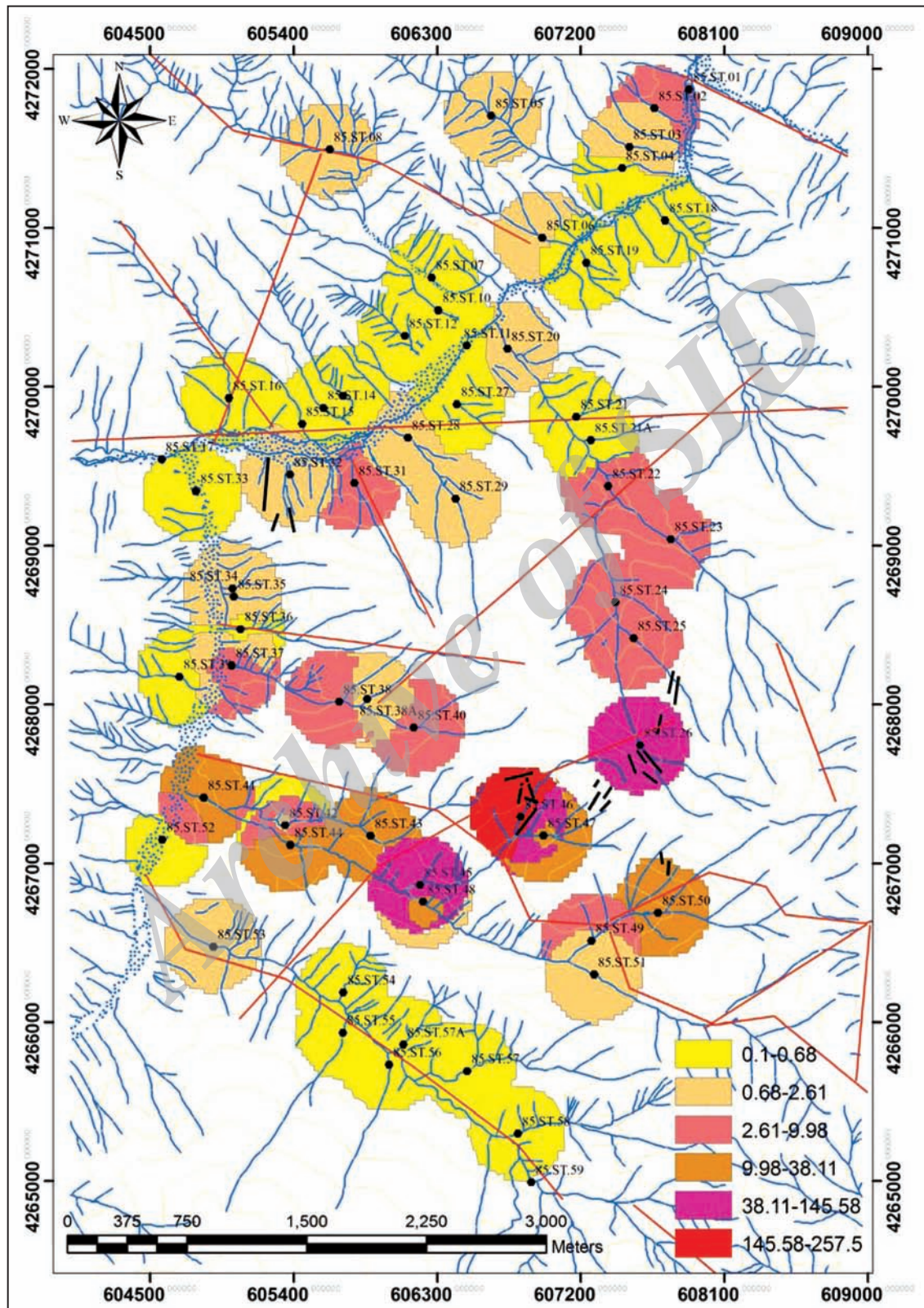
شکل ۳- نمودارهای ستونی (هیستوگرام) مربوط به یافته‌های بهنجار شده (لاگ نرمال) عناصر.



شکل ۴- نمودار مربوط به تحلیل خوشه‌ای عناصر.

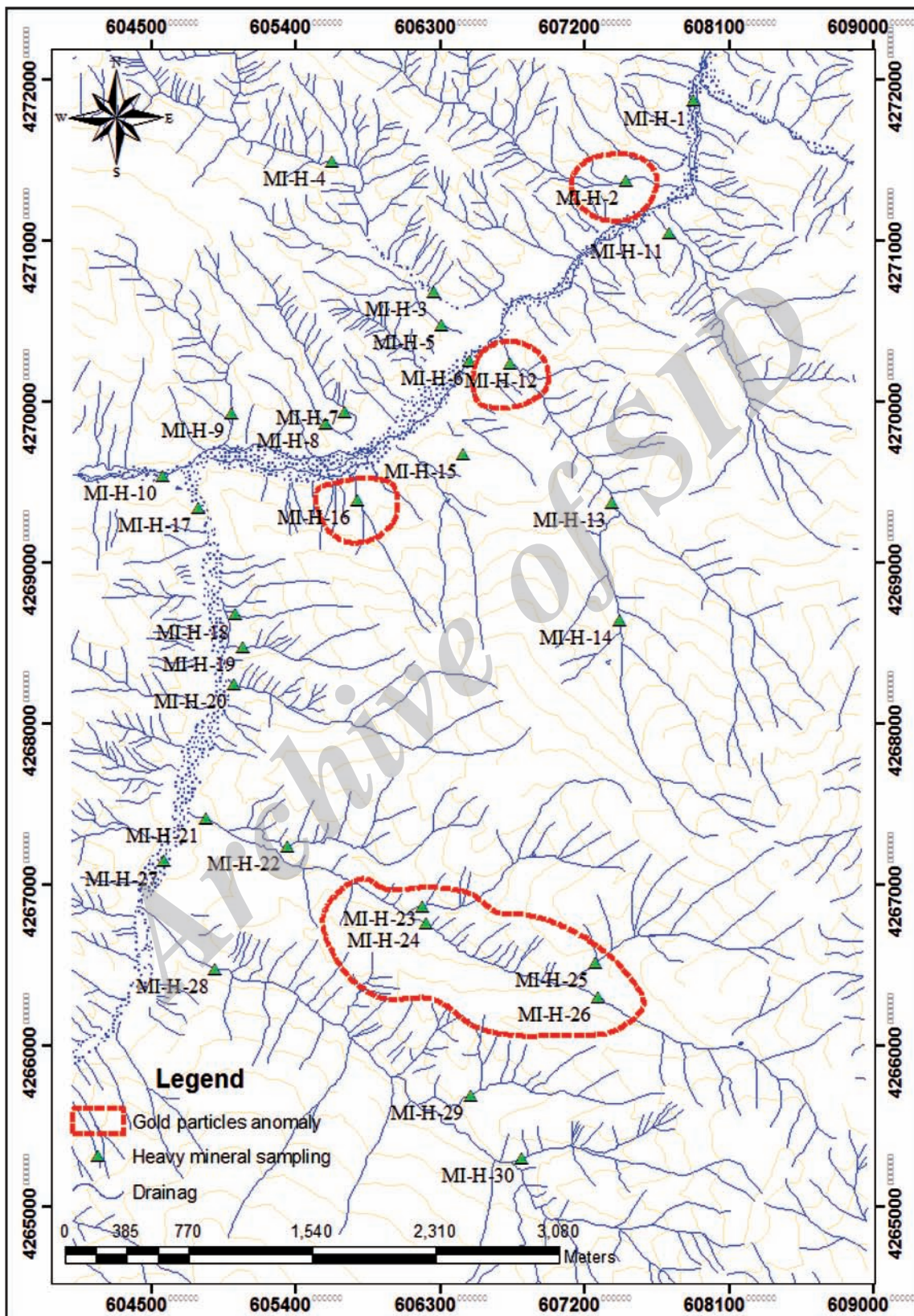


شکل ۵- نقشه شبکه آبراهه‌ها، گسل‌ها، محدوده بی‌هنجاری طلا و عناصر همراه و موقعیت پهنه‌های دگرسانی و رگه‌ها.

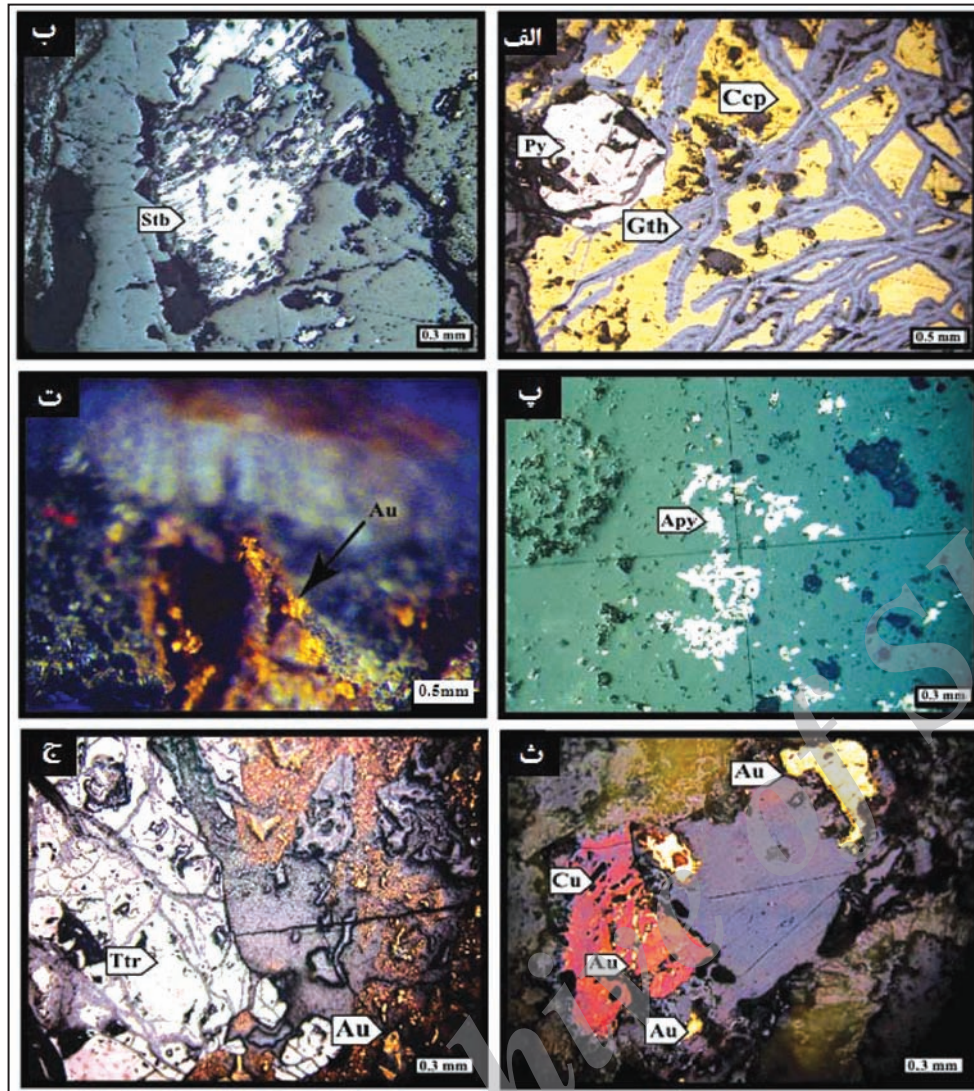


شکل ۶- نقشه پهنه بافرینگ مربوط به پراکندگی طلا در منطقه مورد مطالعه.





شکل ۷- نقشه شبکه آبراهه‌ها و محدوده بی‌هنجاری کانی سنگین طلا.



شکل ۸- تصاویر مقاطع میکروسکوپی از کانی‌سازی رگه‌های نمونه‌های مربوط به ناحیه بی‌هنجاری درجه ۱ طلا در منطقه استرقان (نور در همه مقاطع PPL). الف) جانشینی پیریت توسط کالکوپیریت به گونه‌ای که پیریت به فرم ادخال‌هایی در آن باقی مانده است؛ ب) کانی‌سازی استینیت به صورت شعاعی در رگه‌های اپی‌ترمال؛ پ) ارسنوپیریت به صورت بلورهای لوزی و وجه ریز (کوچک‌تر از 0.1 mm) و پراکنده در رگه‌های سیلیسی؛ ت) ذرات طلای آزاد در رگه‌های اپی‌ترمال؛ ث) قطعات طلای آزاد در درون رگه‌های سیلیسی اپی‌ترمال به همراه مس طبیعی که طلا درون آن نیز دیده می‌شود؛ ج) بافت دانه‌ریز و پراکنده طلای آزاد در رگه‌های اپی‌ترمالی به همراه تتراهدریت (Py = پیریت؛ Gth = گنویت؛ Ccp = کالکوپیریت؛ Stb = استینیت؛ Apy = ارسنوپیریت؛ Au = طلای آزاد؛ Cu = مس طبیعی؛ Ttr = تتراهدریت).

جدول ۱- نتایج تجزیه برخی از عناصر نمونه رسوب رودخانه‌ای منطقه مورد مطالعه به روش ICP- MS.

	X (UTM)	Y (UTM)	Mo	Cu	Pb	Zn	Ag	Mn	Fe	As	Au	Sb	Bi	Ba	Hg
SAMPLES	Easting	Northing	ppm	ppm	ppm	ppm	ppb	ppm	%	ppm	ppb	ppm	ppm	ppm	ppb
85.ST.01	۶۰۷۸۷۹	۴۲۷۱۸۷۱	۰/۳۶	۱۱/۷۹	۷/۳۷	۳۴/۳	۴۱	۴۰۱	۱/۸	۱۳/۹	۰/۶	۰/۵۷	۰/۱	۱۳۶	۱۴۱
85.ST.02	۶۰۷۶۶۲	۴۲۷۱۷۵۲	۰/۵۹	۵۳/۷۸	۵/۵۶	۵۴/۲	۳۳	۱۰۶۲	۳/۸	۲۴/۹	۲/۷	۱/۳۷	۰	۱۱۶	۲۸
85.ST.03	۶۰۷۵۰۵	۴۲۷۱۵۰۹	۰/۲۹	۱۵/۵	۹/۹۷	۵۱/۴	۵۲	۴۸۹	۲/۴	۲۳	۲/۱	۱/۰۲	۰/۲	۵۰/۲	۱۵
85.ST.04	۶۰۷۴۵۹	۴۲۷۱۳۷۵	۰/۲۹	۱۱/۹۴	۷/۶۴	۴۳/۲	۲۸	۴۴۹	۱/۹	۶/۴	۲>	۰/۱۳	۰/۱	۷۵/۱	۹
85.ST.05	۶۰۶۶۳۹	۴۲۷۱۷۰۵	۰/۳۱	۱۵/۰۵	۹/۸۴	۵۱/۲	۴۷	۵۱۶	۲/۳	۱۷/۱	۱/۷	۰/۷۱	۰/۲	۷۱/۵	۲۱
85.ST.06	۶۰۶۹۵۹	۴۲۷۰۹۳۷	۰/۲۳	۱۱/۶۷	۷/۲۸	۴۵/۹	۲۵	۴۴۲	۱/۹	۵	۰/۹	۰/۱۴	۰/۱	۶۲/۵	۱۲
85.ST.07	۶۰۶۲۶۵	۴۲۷۰۶۸۵	۰/۳۳	۱۵/۴۶	۹/۳۶	۴۵/۵	۴۷	۵۷۸	۲/۱	۷/۵	۰/۴	۰/۱۸	۰/۱	۱۵۲	۱۷
85.ST.08	۶۰۵۶۲۸	۴۲۷۱۴۹۴	۰/۳۹	۱۷/۱۶	۹/۴	۴۸/۸	۵۴	۶۷۴	۲/۳	۹	۱/۸	۰/۲۱	۰/۲	۱۶۹	۱۴
85.ST.10	۶۰۶۳۰۸	۴۲۷۰۶۷۹	۰/۳۳	۱۵/۱۳	۱۰/۵	۴۸/۴	۴۲	۶۰۵	۲/۲	۸/۲	۲>	۰/۲	۰/۲	۱۳۲	۲۵
85.ST.11	۶۰۶۴۸۷	۴۲۷۰۲۵۸	۰/۳۲	۱۰/۲	۵/۸۹	۳۰/۱	۳۷	۳۶۶	۱/۵	۱۱/۹	۲>	۰/۵۴	۰/۱	۱۰۴	۱۸
85.ST.12	۶۰۶۰۹۸	۴۲۷۰۳۱۹	۰/۳۳	۱۴/۴۱	۱۰/۲	۴۶/۴	۳۵	۶۱۶	۲/۱	۷/۹	۲>	۰/۱۹	۰/۲	۱۱۰	۱۰
85.ST.13	۶۰۵۷۰۹	۴۲۶۹۹۴۱	۰/۳۱	۱۳/۹۲	۱۲/۵	۶۰/۹	۶۵	۷۳۳	۲/۶	۶/۱	۰/۳	۰/۲۳	۰/۲	۲۵۰	۲۱
85.ST.14	۶۰۵۵۸۷	۴۲۶۹۹۶۶	۰/۳	۱۹/۲۴	۹/۶۸	۵۵/۹	۴۳	۵۸۰	۲/۷	۶/۵	۰/۲	۰/۲۴	۰/۱	۷۴/۶	۱۴
85.ST.15	۶۰۵۴۵۳	۴۲۶۹۷۶۵	۰/۴۸	۲۳/۶۶	۱۱/۸	۶۷/۸	۴۵	۶۰۰	۳	۱۹/۲	۰/۹	۰/۴۲	۰/۲	۱۰۸	۲۹
85.ST.16	۶۰۴۹۹۵	۴۲۶۹۹۲۸	۰/۴۲	۲۷/۰۴	۹/۲۳	۵۷/۱	۳۵	۶۴۳	۳	۳۷	۰/۳	۰/۳۸	۰/۱	۱۰۵	۲۳
85.ST.17	۶۰۴۵۷۳	۴۲۶۹۵۴۲	۰/۳۴	۱۱/۹۲	۶/۰۸	۳۰/۸	۴۰	۳۵۸	۱/۵	۱۰/۳	۲>	۰/۵۳	۰/۱	۱۱۱	۱۸
85.ST.18	۶۰۷۷۲۹	۴۲۷۱۰۴۵	۰/۳۸	۱۵/۳۶	۸/۱۵	۴۴/۳	۲۹	۴۷۶	۲	۹/۱	۰/۴	۰/۳۱	۰/۱	۱۰۱	۲۲
85.ST.19	۶۰۷۲۳۵	۴۲۷۰۷۷۹	۰/۴۴	۱۴	۷/۸	۴۶	۲۶	۴۹۱	۱/۹	۱۱	۲>	۰/۲۷	۰/۱	۹۰/۸	۶
85.ST.20	۶۰۶۷۴۱	۴۲۷۰۲۳۸	۰/۴۹	۱۶/۴۵	۱۱/۱	۵۱/۶	۳۵	۴۴۹	۲/۱	۱۰/۴	۱/۵	۰/۷۶	۰/۲	۱۰۸	۱۳



جدول ۳- ضرایب همبستگی (محاسبه شده با روش پیرسون، 1994، Swan et al.) میان عناصر مختلف در منطقه.

	Cu(ppm)	Pb(ppm)	Zn(ppm)	Mo(ppm)	Au(ppb)	Ag(ppb)	Hg(ppb)	As(ppm)	Sb(ppm)	Bi(ppm)	Fe(%)
Cu(ppm)	۱										
Pb(ppm)	۰/۷۲	۱									
Zn(ppm)	۰/۵۳۴	۰/۷۶۲	۱								
Mo(ppm)	۰/۹۲۷	۰/۸۶۳	۰/۵۸۹	۱							
Au(ppb)	۰/۸۱۴	۰/۸۲۶	۰/۵۴	۰/۹۳	۱						
Ag(ppb)	۰/۶۶۴	۰/۸۴۶	۰/۵۵۲	۰/۸۵۵	۰/۹۵۴	۱					
Hg(ppb)	۰/۶۲۶	۰/۵۷۸	۰/۲۶	۰/۶۸۱	۰/۶۸۹	۰/۶۵۸	۱				
As(ppm)	۰/۶۹	۰/۷۹	۰/۵۰۸	۰/۸۵۱	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۶۴۵	۱			
Sb(ppm)	۰/۷۰۹	۰/۸۵	۰/۵۳۱	۰/۸۰۵	۰/۷	۰/۷۰۲	۰/۵۹۱	۰/۶۸۳	۱		
Bi(ppm)	۰/۵۸۵	۰/۷۸۶	۰/۵۱۲	۰/۷۸۸	۰/۹۳۹	۰/۹۷۹	۰/۶۰۷	۰/۹۵۶	۰/۶۱۱	۱	
Fe(%)	۰/۶۱۲	۰/۶۳۹	۰/۶۲۲	۰/۶۱۲	۰/۵۸۲	۰/۵۸۶	۰/۳۳۸	۰/۶۳۵	۰/۴۷۳	۰/۵۶۳	۱

جدول ۴- آزمون Bartlett و Kmo برای داده‌های منطقه.

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of sampling adequacy		۰/۷۸۰۵
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	۱۲۰۶/۵۲۳۴
	Df.	۵۵/۰۰۰۰
	Sig.	۰/۰۰۰۰

جدول ۵- واریانس توجیهی تغییرپذیری کل تجزیه و تحلیل عاملی.

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
۱	۸/۰۷	۷۳/۳۷	۷۳/۳۷	۸/۰۷	۷۳/۳۷	۷۳/۳۷	۳/۹۱۲	۳۵/۵۷	۳۵/۵۷
۲	۰/۹۶۶	۸/۷۸۶	۸۲/۱۵	۰/۹۶۶	۸/۷۸۶	۸۲/۱۵	۱/۷۲۱	۱۵/۶۴	۵۱/۲۱
۳	۰/۶۹۹	۶/۳۵۴	۸۸/۵۱	۰/۶۹۹	۶/۳۵۴	۸۸/۵۱	۱/۴۳۵	۱۳/۰۴	۶۴/۲۵
۴	۰/۴۹۵	۴/۵۰۲	۹۳/۰۱	۰/۴۹۵	۴/۵۰۲	۹۳/۰۱	۱/۴۲۱	۱۲/۹۲	۷۷/۱۷
۵	۰/۳۴۱	۳/۱۰۱	۹۶/۱۱	۰/۳۴۱	۳/۱۰۱	۹۶/۱۱	۱/۱۸۶	۱۰/۷۸	۸۷/۹۵
۶	۰/۲۹۳	۲/۶۶۱	۹۸/۷۷	۰/۲۹۳	۲/۶۶۱	۹۸/۷۷	۱/۱۵۴	۱۰/۴۹	۹۸/۴۴
۷	۰/۰۷۳	۰/۶۶۳	۹۹/۴۳	۰/۰۷۳	۰/۶۶۳	۹۹/۴۳	۰/۰۹۹	۰/۸۹۸	۹۹/۳۴
۸	۰/۰۲۷	۰/۲۴۶	۹۹/۶۸	۰/۰۲۷	۰/۲۴۶	۹۹/۶۸	۰/۰۳۳	۰/۳	۹۹/۶۴
۹	۰/۰۲۲	۰/۲۰۲	۹۹/۸۸	۰/۰۲۲	۰/۲۰۲	۹۹/۸۸	۰/۰۲۳	۰/۲۱۳	۹۹/۸۵
۱۰	۰/۰۱۱	۰/۱۰۳	۹۹/۹۸	۰/۰۱۱	۰/۱۰۳	۹۹/۹۸	۰/۰۱۴	۰/۱۲۹	۹۹/۹۸
۱۱	۰/۰۰۲	۰/۰۱۶	۱۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۱۶	۱۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۲	۱۰۰

جدول ۶- ماتریس مؤلفه‌های چرخش یافته تجزیه و تحلیل عاملی.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Cu.PPM	۰/۳۰۳	۰/۸۱۳	۰/۲۱۱	۰/۲۶۵	۰/۲۵۸	۰/۲۵۵
Pb.PPM	۰/۵۱۵	۰/۲۷	۰/۴۸	۰/۵۰۵	۰/۱۹۸	۰/۲۲۷
Zn.PPM	۰/۲۴	۰/۱۸۴	۰/۸۹۹	۰/۱۸۴	۰/۰۳۳	۰/۲۵۴
Mo.PPM	۰/۵۴۵	۰/۶۲۴	۰/۲۴۴	۰/۳۵۶	۰/۲۵۴	۰/۱۹۴
Au.PPB	۰/۷۸۱	۰/۴۶	۰/۲	۰/۲۱	۰/۲۵۲	۰/۱۵۹
Ag.PPB	۰/۸۵	۰/۲۲۱	۰/۲۲۷	۰/۲۶۶	۰/۲۴	۰/۱۸۵
Hg.PPB	۰/۳۷۱	۰/۲۵۶	۰/۰۴۳	۰/۲۰۷	۰/۸۶۴	۰/۰۷۳
As.PPM	۰/۸۳۷	۰/۲۶۴	۰/۱۵۴	۰/۲۴۱	۰/۲۲۲	۰/۲۶۶
Sb.PPM	۰/۳۳۸	۰/۳۰۸	۰/۲۲۴	۰/۸۱۹	۰/۲۲۹	۰/۱۳
Bi.PPM	۰/۹۰۹	۰/۱۵۱	۰/۲۰۲	۰/۱۷۶	۰/۱۹۹	۰/۱۸۲

جدول ۷- مقادیر میانه (X)، انحراف معیار (S)، (x+s)، (x+2s)، (x+3s) و (x+4s)، برای توزیع لگاریتمی عناصر مختلف.

	Au (ppb)	Ag (ppb)	As (ppm)	Bi (ppm)	Mo (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Sb (ppm)	Hg (ppb)	Zn (ppm)	Fe (%)
Minimum	۰/۱	۲۵	۳/۳	۰/۰۴	۰/۱۸	۱۰/۲	۵/۵۶	۰/۱۳	۶	۳۰/۱	۱/۳۵
x	۰/۶۸	۴۲/۷۸	۱۰/۴۹	۰/۱۳	۰/۴۶	۱۸/۱	۱۰/۰۹	۰/۶۵	۱۷/۹۶	۵۲/۶۳	۲/۲۳
x+s	۲/۶۱	۵۸/۶۷	۱۸/۱۱	۰/۱۹	۰/۷۶	۲۴/۲۲	۱۲/۷۱	۱/۹۵	۲۸/۹	۶۴/۲۵	۲/۶۸
x+2s	۹/۹۸	۸۰/۴۵	۳۱/۲۶	۰/۲۶	۱/۲۴	۳۲/۴۱	۱۶/۰۱	۵/۹	۴۶/۵۱	۷۸/۴۳	۳/۲۲
x+3s	۳۸/۱۱	۱۱۰/۳۴	۵۳/۹۹	۰/۳۶	۲/۰۳	۴۳/۳۸	۲۰/۱۷		۷۴/۸۶	۹۵/۷۵	۳/۸۷
x+4s	۱۴۵/۵۸	۱۵۱/۳۲	۹۳/۲۳	۰/۵۱	۳/۳۳	۵۸/۰۵	۲۵/۴۱		۱۲۰/۴۷	۱۱۶/۹	
Maximum	۲۵۷/۵	۶۹۷	۱۹۰/۷	۵/۳۱	۵/۲۶	۲۱۲/۵۳	۳۶/۸۴	۱۶/۷۶	۱۴۱	۹۵/۵	۴/۲۵

جدول ۸- مقادیر برخی از کانی‌های سنگین در رسوبات آبراهه‌ای منطقه مورد مطالعه بر حسب ppm. (MAG = مگنتیت؛ AP = آپاتیت؛ ZI = زیرکن؛ RU = روتیل؛ BA = باریت؛ PY = پیریت؛ CA = کلسیت؛ GA = گالن؛ GOLD = طلا؛ ST = استینیت؛ MO = مولیبدنیت؛ HEM = هماتیت؛ GO = گوتیت؛ LIM = لیمونیت؛ PX = پیروکسن؛ EP = اپیدوت؛ PY-OX = پیریت اکسیدی؛ OLI = اولیژست).

Sample	MAG.	AP.	ZI.	RU.	BA.	PY.	CA.	.GA	GOLD	.ST	.MO	HEM.	GO.	LIM	PX.	EP.	PY-OX	OLI.
MI-H-1	۳۱۸	۱/۵۴	۰/۵۶	۰/۵	۲/۱۶	۰/۶	۳۸/۹					۷۵/۷	۵۶/۶	۸۲/۱	۳۰/۹	۰/۰۷	۱۳	۰/۱۲
MI-H-2	۳۳/۲۸	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۷	۳۲۴	۰/۱	۲/۱۶	۰/۱۲	۰/۳۱	۰/۰۸	۰/۰۹	۴۲/۱	۱۷/۵	۹۱/۲	۰/۰۵	۰/۰۵	۳۸۹	۰/۱۴
MI-H-3	۲۶/۹	۰/۲۶	۰/۰۴	۰/۰۳	۱۴/۴	۰/۰۴	۸/۶					۳۷/۹	۱۰/۵	۴۵/۶	۱۵/۸		۴۳/۲	
MI-H-4	۴۳/۷	۲/۸۸	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۵۴					۱۴/۷	۰/۰۶	۲/۱۳	۴۱/۶	۰/۰۱	۳/۷۸	۰/۰۲
MI-H-5	۴۴,۲	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۰۸	۹		۸۶/۴					۱۲۶/۲	۳۵	۱۵۲	۰/۰۶		۲۴۰	۰,۱۱
MI-H-6	۳۳۷	۳/۸۴	۲/۲۵	۱	۱/۰۸	۰/۱۲	۳۸/۹					۷۵/۷	۳/۱۵	۱۶/۴	۲۶۱	۲/۲	۱۹/۴	۰/۱۲
MI-H-7	۲۵	۰/۱	۰/۱۴	۰/۰۵	۲/۱۶	۰/۰۶	۷/۲۹					۱۵۸	۲۶/۲	۹۱/۲	۰/۰۴		۱۸۰	۰/۱۱
MI-H-8	۲۹/۱	۰/۲۶	۰/۰۸	۰/۰۷	۱۰/۸	۰/۲	۵/۴	۰/۱۲				۸۴/۲	۳/۵	۱۲/۲	۳۱۷	۰/۰۵	۵۰/۴	۰/۰۸
MI-H-9	۵۳	۶/۷	۰/۰۶	۰/۰۵	۱/۰۸	۰/۱۵	۴/۰۵					۵۶/۸	۲/۳۶	۲۰/۵	۱۲۵		۲۴/۳	۰/۰۷
MI-H-10	۳۹۳	۰/۹	۰/۶۶	۰/۵۹	۱۲/۶	۰/۱۴	۵۴/۴					۴/۴۲	۰/۱۲	۶/۴	۳۸۸	۲/۵	۱۵	
MI-H-11	۳۱/۲	۰/۰۶	۰/۰۹		۰/۴۵		۲۱/۶					۱۴۲	۱۱۸	۳۰/۸	۰/۰۷		۳/۶	
MI-H-12	۳۷/۴	۰/۱۹	۰/۰۶	۰/۰۵	۵/۴		۱۶/۲	۰/۱	۰/۲۳			۱۰/۱	۱۲/۶	۷۳	۳۱/۷	۳/۳	۱۷۳	
MI-H-13	۱۶/۶	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۰۲	۷/۶					۲۵/۳	۷	۴۲/۶	۵/۳		۱۸	۰/۰۲
MI-H-14	۱۴/۶	۰/۱۳	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۶/۵					۲۱۰	۶/۳	۵۴/۷	۴/۷۵	۰/۱۳	۱۹۸	
MI-H-15	۸/۳۲	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۳		۳/۲۴			۰/۰۲		۲۱/۰۴	۰/۸۷	۷/۶	۳۳	۰/۶۸	۳۶	۰/۰۲
MI-H-16	۱۵۹	۷/۷	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۰۶	۱/۶		۰/۴۶			۳۰/۹	۷/۳	۳۲	۱۱۱	۰/۰۴	۹۴/۵	۰/۰۶
MI-H-17	۵۲۴	۱/۳۴	۰/۳۳	۰/۲۹	۰/۶۳	۰/۷	۱۷					۱۷/۷	۰/۱۲	۱۹/۲	۴۴۴	۰/۱	۰/۱۳	
MI-H-18	۴۳/۷	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۱	۰/۱۱	۶۸۷	۱/۹	۰/۱۸				۱۰/۱	۴/۲	۱۸/۲	۹۵	۱/۶	۶۴/۸	۰/۱۲
MI-H-19	۲۸,۱	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۵	۵/۴		۱۰/۵					۹۴/۷	۲۶/۲	۲۰/۵	۱۹/۸	۰/۰۴	۲۷	۰/۰۶
MI-H-20	۳۷/۴	۵/۹	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۱۸		۵/۴					۸۴/۱	۴۸/۹	۳۳۴	۰/۰۵		۱۴/۴	۰/۰۸
MI-H-21	۱۷۰	۸/۲	۰/۲۴	۰/۰۵	۰/۲۹		۲/۶	۰/۱		۰/۰۶		۲۳/۶	۳/۹	۳۴	۱۳۳	۱/۵	۴۰/۳	۰/۰۷
MI-H-22	۳/۴	۰/۰۷	۰/۱	۰/۰۹	۴/۵		۱۸/۹					۱۵۹	۸۷/۴	۳۴۲	۳/۳		۴/۵	
MI-H-23	۱۳۳	۰/۲۶	۰/۱۵		۷/۲	۸	۲۵/۹		۰/۴۱			۲۲۷	۶/۳	۵۴/۷	۴/۷۵	۰/۱۳	۶۴۸	
MI-H-24	۸/۸۴	۰/۶۴	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۳۶	۰/۷	۱/۳۵		۰/۴۵			۱۰/۵	۸/۷	۲۲/۸	۰/۶۶	۰/۶۸	۹	۰/۰۲
MI-H-25	۵۸/۲	۰/۰۹	۰/۱۳		۳/۱۵		۳۰/۲		۰/۲۸			۲۲۱	۶/۱۲	۵۳/۲	۹۲/۴	۰/۰۹	۵۰/۴	۰/۱۴
MI-H-26	۱۵۰	۰/۲۶	۰/۰۸	۰/۰۷	۱۰/۸	۰/۴	۱۵/۱	۰/۱۳	۰/۵۱			۸۸/۴	۴۹	۱۴۹	۱۸/۵	۱/۹	۲۵	۰/۰۸
MI-H-27	۴۲۴	۵/۷۶	۲/۸	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۱۲	۱۱/۳	۰/۱۸				۷۴/۹	۳/۱۵	۲۷/۴	۲۳۸	۰/۰۸	۳۲/۴	۰/۱۲
MI-H-28	۸/۳	۰/۲۶	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۷۲	۰/۰۲	۱۶/۲					۲۵/۲	۷	۳۶/۵	۰/۵۳		۱۴/۴	۰/۰۲
MI-H-29	۱۳/۳	۰/۱	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۷۲	۰/۴۸	۴/۳			۰/۰۳		۳۳/۷	۱۱/۲	۹۷/۳	۶/۳	۰/۰۲	۵۷/۶	

جدول ۹- نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌های برداشت شده از رگه‌های طلا دار بی‌هنجاری‌های اولیه.

	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Mo (ppm)	Au (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)	Fe (%)
Ast-0	۶۸	۱۰>	۷۲	۱>	۰/۰۱	۱>	۱۰	۱۴	۳/۲
Ast-1	۶۲	۱۰>	۷۱	۱>	۰/۰۱	۱>	۱۰	۶۱	۲/۹
Ast-2	۲۵۴	۱۰>	۴۷	۲۱	۰/۰۳	۱>	۴۸	۱۲۴	۱/۶
Ast-3	۲۴۱	۱۴	۴۱	۲	۰/۰۳	۱>	۱۰	۴۷	۲/۹
Ast-4	۲۶۴	۱۰>	۴۲	۱>	۰/۰۴	۱>	۵۶	۴۴۷	۱/۶
Ast-5	۲۲۹	۳۱	۳۴	۱۰	۰/۰۷	۱>	۶۵	۱۳۵	۲/۳
Ast-6	۹۵۲	۱۰>	۳۰	۶	۰/۰۹	۱>	۳۲	۲۹	۳/۵
Ast-7	۳۳۷	۱۰>	۷۱	۱>	۰/۰۶	۱>	۳۷	۲۷	۳/۸
Ast-8	۶۵۵	۱۰>	۳۷	۹	۳/۶	۱>	۴۰۲	۱۷۰	۲/۶
Ast-9	۲۰۱	۱۳	۹۱	۱	۰/۰۴	۱>	۳۰	۶۴	۲/۱
Ast-10	۳۶۱	۱۰>	۵۸	۱>	۰/۰۵	۱>	۱۰	۱۳۷	۲/۲
Ast-11	۶۲	۱۰>	۳۴	۱>	۰/۰۳	۱>	۱۰	۲۴	۲/۳
Vein	۹۳۱	۵۴۳۱	۲۶۸	۲۹	۴/۷۲	۸۸	۱۹۴	۲۳۰۶	۰/۸

## کتابنگاری

- جمالی، ح، ۱۳۷۷- بررسی زمین‌شناسی، ژئوشیمی و تعیین ژنر احتمالی اندیس معدنی میوه رود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت معلم تهران. ۱۲۰ص.
- حسنی پاک، ع. ا. و شرف‌الدین، م.، ۱۳۸۰- تحلیل یافته‌های اکتشافی، تهران، مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران، ۹۸۷ص.
- حسین‌زاده، ق.، ۱۳۸۷- مطالعات زمین‌شناسی، ژئوشیمی، سیالات درگیر، کانی‌سازی، دگرسانی و ژنر کانسار مس پورفیری سوناجیل- شرق هریس، رساله دکترا، دانشگاه تبریز، ۲۱۴ص.
- خضری، م.، ۱۳۸۰- بررسی زمین‌شناسی، پتروژن و ژئوشیمی سنگ‌های نفوذی و دگرگونی منطقه میوه‌رود (شرق خاروانا)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، ۱۲۰ص.
- فردوسی، ر.، کلاگری، ع. ا.، حسین‌زاده، م. ر. و سیاه‌چشم، ک.، ۱۳۹۲- بررسی پتروگرافی، کانه‌نگاری و کانه‌زایی رگه‌های اپی‌ترمال طلا دار در منطقه استرقان، خاروانا، آذربایجان شرقی، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- گلگون، ن.، ۱۳۸۰- مطالعه دگرسانی و کانی‌زایی سنگ‌های میزبان رگه‌های اپی‌ترمال طلا دار در منطقه بوزلوخ و قره‌داش، منطقه خروانق، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، ۱۲۰صفحه.
- مهرپرتو، م.، ۱۳۷۶- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اسیه رود، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

## References

- Alirezaei, S., Ebrahimi, S. & Pan, Y., 2008- Fluid Inclusion Characteristics of Epithermal Precious Metal Deposits in the Arasbaran Metallogenic Zone, Northwestern Iran [extended abs.], ACROFI-II, India, 1-4.
- Calagari, A. A., 2004- Fluid inclusion studies in quartz veinlets in the porphyry copper deposit at Sungun, East-Azarbaidjan, Iran. Journal of Asian Earth Science 23, 179-189.
- Cameron, E. M. & Hobbs, O., 1971- Computerized methods for interpreting reconnaissance geochemical surveys, geochemical exploration (Boyle, tech. ed.), Special, Vd. 11, Canadian institute of mining and metallurgy, 509 p.
- Ebrahimi, S., Alirezaei, S. & Pan, Y., 2011- Geological setting, alteration, and fluid inclusion characteristics of Zaglic and Safikhanloo epithermal gold prospects, NW Iran. Geological Society, London, Special Publications 350(1), 133-147.
- Govett, G. J. S. (Ed), 1994- Hand book of exploration geochemistry. Amsterdam: Elsevier (1994). Hale, M., and Plant, J.A., 1994. Drainage Geochemistry in Mineral Exploration, Elsevier Sci. LTD, 120p.
- Howarth, R. J., 1983- Handbook of Exploration Geochemistry Drainage, Statistics and Data Analysis in Geochemical Prospecting, V.2, Elsevier Science Publication Comany, 437p.
- Jamali, H. & Mehrabi, B., 2015- Relationships between arc maturity and Cu-MO-Au porphyry and related epithermal mineralization at the Cenozoic Arasbaran magmatic belt. Ore Geology Review 31, 123-138.
- Mohamadi, M. & Borna, B., 2006- Report of Geology and Drilling in the Masjed Daghi Area (National Iranian Copper Industries Company (NICICO)).
- Reis, A. P., Sousa, A. J. & Cardoso Fonseca, E., 2003- Application of geostatistical methods in gold geochemical anomalies identification (Montemor-O-Novo, Portugal). Journal of Geochemical Exploration 77, 45-63.
- Rose, A. W., Hawkes, H. E. & Webb, J. S., 1979- Geochemistry in mineral exploration. Academic press, New York 657p.
- Sanford, F., Pierson, T. & Crovelli, R. A., 1993- An objective replacement method for censord geochemical data, Mathematical Geology 82, 1575- 1591.
- Swan, A. R. H., Sandilands, M. & Meccabe, P., 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.
- Zarnab Company, 2007- Geology and Alteration Studies of the Haftcheshmeh Area (National Iranian Copper Industries Company (NICICO)).