# بررسی نتایج نمونه‌برداری و آنالیز به روش ژئوشیمیایی BLEG در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ سیه‌رود (شمال باختری ایران)

**مریم امامی جعفری [۱*]، محمود مهرپرتو [۲]، افشین اکبرپور [۳] و بهنام شمسی [۴]**

[۱] کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران
[۲] استادیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران
[۳] دکترا، گروه اکتشافات ژئوشیمیایی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران
[۴] کارشناسی ارشد، گروه اکتشافات ژئوشیمیایی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۰/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۸/۱۵

## چکیده

روش BLEG یکی از روش‌های جدید به‌کار گرفته‌شده در بررسی‌های اکتشاف ژئوشیمیایی طلا است. این روش کمک زیادی در مکان‌یابی بسیاری از نهشته‌های طلا با عیار پایین کرده است. تغییر چشمگیر روش BLEG نسبت به روش‌های رایج اکتشافات ژئوشیمیایی، استفاده از حجم زیادی از نمونه بدون توجه به اندازه آنها و تراکم پایین نمونه‌برداری است. به‌منظور هم‌سنجی داده‌های حاصل از BLEG با روش رسوبات آبراهه‌ای، ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ سیه‌رود در حوضه زمین‌شناسی آذربایجان که نقشه زمین‌شناسی و اکتشافات ژئوشیمیایی پیشتر در آن انجام شده بود، برگزیده شد. محدوده مورد بررسی با گستره‌ای در حدود ۱۸۵۰ کیلومترمربع در منتهی‌الیه شمال باختری ایران در استان آذربایجان شرقی واقع است، این محدوده در ناحیه کوهستانی در شمال باختر شهرستان اهر واقع شده است. واحدهای زمین‌شناسی تشکیل‌دهنده منطقه بیشتر شامل واحدهای سنگ‌آهکی و فلیش‌گونه کرتاسه بالایی، توده‌های نفوذی با سن الیگوسن و رخساره‌های آتشفشانی- رسوبی ائوسن است. سنگ‌های نفوذی الیگوسن مهم‌ترین واحد آذرین منطقه مورد بررسی هستند. در این بررسی ۱۶۸ نمونه BLEG و ۱۰۳ نمونه رسوب آبراهه‌ای (Silt Sample) مورد آنالیز و بررسی قرار گرفت. دامنه مقادیر عیار طلا در نمونه‌های BLEG از ۰/۱ ppb تا ۲۰ppb و در نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای از ۳ تا ۴۵۹ppb است. نتایج به‌دست آمده از برداشت و بررسی نمونه‌ها به روش ژئوشیمیایی BLEG نشان‌دهنده چهار محدوده با بی‌هنجاری درجه یک است که شامل ۱) محدوده انیق- قره‌چیلر؛ ۲) محدوده نمنق؛ ۳) محدوده اشتوبین و ۴) محدوده آندریان یا میوه‌رود است. آنالیز نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای برداشت شده نشان‌دهنده بالا بودن عناصر مس و طلا در نمونه‌ها است. بررسی همبستگی عناصر در رسوبات آبراهه‌ای برداشت شده از منطقه انیق- قره‌چیلر نشان‌دهنده همبستگی نسبتاً بالای طلا با عناصر آرسنیک، مس و سرب است. مس نیز با مولیبدن همبستگی بالایی نشان می‌دهد. این موضوع با کانه‌زایی موجود در منطقه همخوانی دارد.

**کلیدواژه‌ها:** روش BLEG، روش رسوب آبراهه‌ای، سیه‌رود، طلا، آذربایجان شرقی، انیق- قره‌چیلر.

***نویسنده مسئول:** مریم امامی‌جعفری
E-mail: maryam_91666@yahoo.com

## ۱- پیش‌نوشتار

به منظور بررسی کارآمدی روش BLEG در محدوده مورد بررسی و مقایسه آن با روش رسوبات آبراهه‌ای، ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ سیه‌رود در حوضه زمین‌شناسی آذربایجان که نقشه زمین‌شناسی و اکتشافات ژئوشیمیایی پیشتر در آن انجام شده بود، برگزیده شد. روش BLEG می‌تواند در پی‌جویی و اکتشاف طلا در نواحی با مقیاس ناحیه‌ای با تراکم نمونه‌برداری کم، بسیار مؤثر و کارساز باشد و بر پایه نتایج آن برنامه‌ریزی برای ادامه عملیات اکتشافی را بدون نگرانی و ریسک بالا دنبال کرد.

ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ سیه‌رود با گستره‌ای در حدود ۱۸۵۰ کیلومترمربع در منتهی‌الیه شمال باختری ایران در استان آذربایجان شرقی در ناحیه‌ای کوهستانی در شمال باختر شهرستان اهر واقع شده است (شکل ۱). این ورقه در طول جغرافیایی خاوری ′۰۰ °۴۶ تا ′۳۰ °۴۶ و عرض جغرافیایی شمالی ′۳۰ °۳۸ تا ′۰۰ °۳۹ قرار گرفته است.

به سبب وجود مناطق دگرسان شده گسترده و توانایی معدنی، ناحیه مورد بررسی از دیرباز مورد توجه کاوشگران و زمین‌شناسان بوده است. وجود توده‌های نفوذی در حاشیه جنوبی رودخانه ارس و منتهی‌الیه شمال باختری ورقه، از بخش سیه‌رود تا روستای قره‌چیلر در خاور منطقه همراه با فعالیت‌های آتشفشانی و نیمه‌ژرف در زمان‌های متفاوت و فعالیت و تأثیر محلول‌های گرمابی در مناطق گوناگون این ناحیه سبب تشکیل پاره‌ای معادن و اندیس‌های معدنی شده است. مناطق کانی‌سازی خوبی از کانسارهای سولفوره و کربناتی مس و آهن در توده‌های نفوذی واقع در باختر روستای نوجه‌مهر و پیرامون توده نفوذی بزرگ قولان در منطقه مورد بررسی به شکل‌های پراکنده (رگه- رگچه‌ای، اسکارن و شبکه‌ای) به همراه فلزات با ارزش طلا و آنتیموان، مولیبدن و دیگر فلزات تشکیل شده است (مهرپرتو و خان‌ناظر، ۱۳۷۶).

## ۲- زمین‌شناسی عمومی

منطقه مورد بررسی از دیدگاه نبوی (۱۳۵۵) در زون البرز- آذربایجان واقع می‌شود و در بخش‌بندی‌های زمین‌شناسی ایران (Stöcklin,1986) در زون ایران مرکزی قرار دارد. از دیدگاه آقانباتی (۱۳۸۳) منطقه مورد بررسی در پهنه رسوبی- ساختاری ایران مرکزی قرار دارد.

ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ سیه‌رود از نظر سنگ‌شناسی بسیار متنوع و شامل سه بخش است. سنگ‌های آتشفشانی بیشتر با ترکیب آندزیتی، توده‌های نفوذی شامل گابرو، دیوریت و گرانودیوریت و سنگ‌های آذرآواری شامل توف‌های سیلیسی؛ این سه بخش را سنگ‌های کربناتی در بر می‌گیرند. سن این مجموعه به‌طور کلی کرتاسه بالایی- پالئوسن است.

زون البرز- آذربایجان از زون‌های پویای ماگماتیسم به‌ویژه در طی زمان سنوزوییک بوده است. بازتاب این فعالیت‌ها به شکل سنگ‌های نفوذی و نیمه‌آتشفشانی و گاه آتشفشانی است که اوج آن در ائوسن و الیگوسن بوده و باتولیت قره‌داغ یکی از مهم‌ترین توده‌های نفوذی مربوط به الیگوسن- میوسن است (شکل ۲). تعلق سنگ‌های نفوذی ترشیری کمان ماگمایی ارسباران به توده‌های نفوذی سری I مرتبط با زون فرورانش حاشیه قاره (مگنتیتی) با حضور معمول کانی‌های مافیک هورنبلند،



Archive of SID
www.SID.ir

بیوتیت و همچنین به‌طور فرعی‌تر ارتوز و کلینوپیروکسن در آنها مشخص می‌شود (حسن‌پور، ۱۳۸۹).

توده‌های نفوذی منطقه، بخشی از باتولیت قره‌داغ هستند که گستره‌ای نزدیک به ۵۰۰ کیلومترمربع را شامل می‌شوند. رگه‌های کوارتزی و زون‌های کانی‌سازی درون باتولیت قره‌داغ، یکی از مهم‌ترین مناطق امیدبخش در ارتباط با کانی‌سازی طلا، مس، مولیبدن و نقره در ورقه سیه‌رود است. باتولیت قولان (قره‌داغ) در فاصله هوایی ۷۰ کیلومتری شمال تبریز و ۱۵ کیلومتری شمال خاور خاروانا و ۲۰ کیلومتری خاور سیه‌رود واقع شده است. این باتولیت دربرگیرنده طیفی از سنگ‌های نفوذی شامل دیوریت، کوارتز دیوریت، کوارتز مونزودیوریت، کوارتز مونزونیت، گرانودیوریت و مونزوگرانیت و حتی بخش‌های کوچکی با ترکیب گابرو به‌ویژه در پیرامون شمال توده (حوالی روستای نمنق) است. دایک‌های آپلیتی تا میکروگرانیتی در راستاهای گوناگون این توده را قطع کرده‌اند (علوی‌نایینی و همکاران، ۱۳۷۱).

## ۳–روش‌شناسی

روش‌های ژئوشیمیایی اکتشاف طلا شامل سه روش نمونه‌برداری رسوبات آبراهه‌ای (Stream Sediment)، روش کانی سنگین (Heavy Mineral) و روش کل طلای استحصال شده به طریق فروشویی (BLEG ;Bulk Leaching Extractable Gold) است.

### ۳–۱. روش BLEG

روش BLEG، روش الک ژئوشیمیایی (Chemical sieve method) و در مواقعی BCL (Bulk Cyanide Leach) (Mazzucchelli, 1997) نیز نامیده می‌شود. این روش در آغاز دهه هشتاد میلادی در استرالیا گسترش پیدا کرد (Mazzucchelli, 1987 & 1997; Sharpe, 1988; Elliott & Towsey, 1989; Radford, 1996).

نمونه‌های برداشت شده به روش BLEG، نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای یا خاک هستند. در این روش مقدار زیادی از نمونه (معمولا ۲ کیلوگرم) در محلول سیانید سدیم یا پتاسیم سرد هضم می‌شود. این انحلال بسته به سنجش مورد نظر در آزمایشگاه و روش‌های مربوطه، بین یک تا چند روز زمان نیاز دارد. طلا در یک فرایند تغییر انحلالی به صورت محلول آلی درآمده و سپس آنالیز می‌شود.

### ۳–۲. طراحی و نمونه‌برداری

کارهای اکتشافی صورت گرفته در این ورقه به منظور بررسی کانی‌سازی‌هایی از طلا و مس، معیار مناسبی برای به‌کارگیری روش BLEG در این محدوده است. کار اکتشاف با طراحی ۲۵۰ نمونه یا به عبارتی ۱ نمونه به ازای هر ۸ کیلومتر مربع آغاز و مرحله عملیات صحرایی با برداشت ۱۶۸ نمونه پایان گرفت (شکل ۳).

نمونه‌ها در آزمایشگاه BLEG (انحلال سیانیدی) مرکز پژوهش‌های کاربردی سازمان زمین‌شناسی واقع در کرج آماده‌سازی و مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفت. برای آگاهی از چگونگی آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌ها به امامی‌جعفری و همکاران (۱۳۹۱) مراجعه شود.

### ۳–۳. پردازش داده‌ها

یکی از ویژگی‌های روش BLEG پردازش‌های آماری ساده‌تر داده‌ها است. در روش BLEG تنها برای عنصر طلا (و گاه نقره و مس) تجزیه شیمیایی صورت می‌گیرد و پردازش تک‌متغیره بدون خطا انجام می‌پذیرد. همچنین معیار کلی برای جدایش جامعه بی‌هنجاری از زمینه در روش BLEG با سطح اطمینان بالاتری انجام شده که خود موجب سادگی روش و کاهش خطا می‌شود.

نتایج به‌دست آمده از تجزیه شیمیایی نمونه‌ها به روش BLEG برای عنصر طلا دامنه‌ای از ۰/۱ تا ۲۰ppb را نشان می‌دهد. در جدول ۱ پارامترهای آماری عنصر طلا خلاصه شده است.

## ۴– نتایج آنالیز نمونه‌ها به روش BLEG

در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ سیه‌رود از چهار رنگ آبی، زرد، نارنجی و قرمز به ترتیب برای مقادیر زمینه، آستانه، بی‌هنجاری درجه ۲ و بی‌هنجاری درجه ۱ استفاده شده است: ppb ۱/۱– ۰/۱ برای جامعه زمینه، ppb ۲/۷۷– ۱/۱ برای جامعه آستانه، ppb ۴/۸۳– ۲/۷۷ برای جامعه بی‌هنجاری درجه۲، ppb ۲۰/۰–۴/۸۳ را به عنوان جامعه بی‌هنجاری درجه ۱ در نظر گرفته شده است.

نتایج به‌دست آمده از برداشت و بررسی نمونه‌ها به روش ژئوشیمیایی BLEG نشان‌دهنده چهار محدوده با بی‌هنجاری درجه یک است که شامل ۱) محدوده انیق– قره‌چیلر، ۲) محدوده نمنق، ۳) محدوده اشتوبین و ۴) محدوده آندریان یا میوه‌رود است.

در شکل ۴ مناطق بی‌هنجار طلا به روش ژئوشیمیایی BLEG در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ سیه‌رود آورده شده است. سه منطقه نخست، در درون باتولیت قره‌داغ واقع شده است. بخش عمده باتولیت مزبور، دارای ترکیب سنگ‌شناسی گرانودیوریت و کوارتز– مونزونیت است. واحد گرانودیوریتی یادشده، سنگ دربرگیرنده کانی‌سازی در این منطقه است. منطقه میوه‌رود در جنوب ورقه در میان واحدهای سنگی بسیار ستبر با تناوبی از ماسه‌سنگ، شیل، سیلتستون، مارن و سنگ‌آهک مارنی پالئوسن قرار گرفته که دایک‌هایی با ترکیب گرانودیوریتی تا دیوریتی با سن ائوسن– الیگوسن در آنها نفوذ کرده است (عین‌علی، ۱۳۸۵).

### ۴–۱. منطقه انیق– قره‌چیلر

منطقه انیق– قره‌چیلر در مرکز توده نفوذی اردوباد (قولان) قرار گرفته است. نمونه‌های ۴۹ و ۵۱ به ترتیب با ppb ۱۶/۸۸ و ppb ۱۸/۸ در مسیر بین روستای انیق– قره‌چیلر واقع شده است. کانی‌سازی در منطقه شامل رگه‌های کوارتزی و زون‌های دگرسانی در درون توده گرانودیوریتی است. گستره این منطقه حدود ۸۰ کیلومترمربع است.

### ۴–۲. منطقه نمنق

روستای نمنق در گوشه شمال خاوری ورقه سیه‌رود قرار گرفته است. این منطقه نیز همانند منطقه انیق– قره‌چیلر در درون توده نفوذی اردوباد قرار دارد. بیشترین مقدار طلای ثبت‌شده متعلق به نمونه SBL-6 به مقدارppb ۲۰ در نزدیکی روستای نمنق و در این محدوده واقع شده است. گستره این منطقه حدود ۲۰ کیلومترمربع است.

### ۴–۳. منطقه اشتوبین

در بالادست حوزه آبریز محدوده نمنق، در نزدیکی روستای اشتوبین بی‌هنجاری کوچکی در بین رسوبات دگرگونی دونین و کواترنری به‌دست آمده است که گستره‌ای در حدود ۴ کیلومتر مربع را شامل می‌شود. نمونه شماره ۱ با میزان طلای ppb ۱۲/۶ در نزدیکی روستای اشتوبین و در این محدوده قرار گرفته است.

### ۴–۴. منطقه میوه‌رود (آندریان)

در جنوب محدوده و در محل اندیس طلای آندریان یا آندرجان نمونه شماره ۱۱۱ با میزان طلای ppb ۱۴ در باختر محدوده مورد بررسی با برونزد واحدهای رسوبی ماسه‌سنگی– مارنی و سنگ‌آهکی مشخص شده است. گستره این منطقه حدود ۶ کیلومترمربع است.

## ۵– کنترل بی‌هنجاری

در مرحله کنترل صحرایی، با این پیش‌فرض که شمال خاوری ورقه در محدوده دره قولان با برونزد سنگ‌های آذرین نیمه‌ژرف نسبت به دیگر نقاط ورقه که تحت پوشش سنگ‌های رسوبی ماسه‌سنگی و سنگ‌آهکی هستند و همچنین کارهای اکتشافی گذشته (Movahed aval & Khalighi, 1970؛ برنا و جان‌نثاری، ۱۳۷۲؛ قدیرزاده و همکاران، ۱۳۷۹؛ مختاری، ۱۳۸۷) که وجود کانه‌زایی مس، طلا و مولیبدن را در بخش شمال خاوری یعنی توده نفوذی قولان تأیید می‌کنند تراکم نمونه‌ها در نقاط یادشده بیشتر در نظر گرفته شد. ۳ محدوده بی‌هنجار طلا واقع در



Archive of SID
www.SID.ir

شمال باختر ورقه سیه‌رود (منطقه انیق- قره‌چیلر، منطقه نمنق و منطقه اشتوبین) با طراحی ۱۰۳ نمونه تحت اکتشافات رسوبات آبراهه‌ای قرار گرفت. نمونه‌ها به آزمایشگاه ICP-MS سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ارسال شد. تجزیه شیمیایی نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای برداشت شده نشان‌دهنده بالا بودن عناصر مس و طلا در نمونه‌ها است. در جدول ۲ پارامترهای آماری داده‌های خام برخی از عناصر نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای آورده شده است.

نتایج به‌دست آمده از برداشت و بررسی نمونه‌ها به روش ژئوشیمیایی رسوب آبراهه‌ای نشان‌دهنده دو محدوده با بی‌هنجاری درجه یک طلا است که شامل ۱) محدوده انیق- قره‌چیلر و ۲) محدوده نمنق است (شکل ۵). همچنین نقشه مناطق بی‌هنجار برای عنصر مس نیز تهیه شد (شکل ۶). نتایج به‌دست آمده کاملاً با محدوده‌های بی‌هنجار طلا مطابقت دارد که این موضوع با کانه‌زایی موجود در منطقه همخوانی دارد.

## ۶- همبستگی طلا با عناصر دیگر

دامنه تغییرات غلظت طلا در رسوبات آبراهه‌ای در منطقه مورد بررسی از ppb ۳ تا ppb ۴۵۹ در نوسان است. طلا با عناصر آرسنیک، مس و سرب همبستگی نسبتاً بالایی نشان می‌دهد. همچنین دامنه تغییرات غلظت مس در رسوبات آبراهه‌ای از ppm ۳۷/۲ تا ppm ۱۵۶۲ در نوسان است. مس با عناصر مولیبدن همبستگی بالایی نشان می‌دهد. این موضوع با کانه‌زایی موجود در منطقه همخوانی دارد.

برپایه جدول ۳، طلا با عناصر مس و آرسنیک همبستگی بالا و با عناصر مولیبدن و سرب همبستگی نسبتاً بالا و با عناصر روی، بیسموت، قلع و تنگستن همبستگی منفی نشان می‌دهد.

## ۷- اکتشافات چکشی

به منظور اکتشافات چکشی منطقه انیق- قره‌چیلر (بزرگ‌ترین منطقه معرفی شده بی‌هنجار طلا در منطقه مورد بررسی) انتخاب شد. منطقه کانه‌زایی انیق- قره‌چیلر در فاصله هوایی حدود ۸۵ کیلومتری شمال- شمال خاوری تبریز و حدود ۲۵ کیلومتری شمال خاور بخش خاروانا واقع شده است. طلا در کانسار قره‌چیلر در دو زون مشخص ردیابی می‌شود. مهم‌ترین بخش طلادار در رگه‌های سیلیسی به همراه دیگر عناصر قرار دارد. می‌توان طلا را در زون‌های گرانیتی دگرسان و خرد شده به‌ویژه در پیرامون رودخانه قره‌چیلر و در واحد گرانیت پیریت‌دار ردیابی کرد.

پس از شناسایی مناطق بی‌هنجار طلا در محدوده مورد بررسی با استفاده از روش BLEG و کنترل این مناطق با استفاده از روش رسوبات آبراهه‌ای، ۶ نمونه کانسنگ در اکتشافات چکشی از منطقه انیق- قره‌چیلر برداشت شد. نمونه‌ها در آزمایشگاه اندازه‌گیری طلا در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی آماده‌سازی و آنالیز شد. در جدول ۴ عیار طلا (برحسب ppb) و منطقه برداشت نمونه‌ها خلاصه شده است.

همان‌طور که در جدول ۴ آمده است پراکندگی طلا در درون رگه‌های سیلیسی نسبت به زون‌های گرانیتی دگرسان شده بیشتر و همچنین میزان طلا در زون‌های گرانیتی دگرسان شده از زون‌های گرانیتی دگرسان نشده بیشتر است. کارهای پیشین انجام گرفته (Movahed aval & Khalighi, 1970؛ برنا و جان‌نثاری، ۱۳۷۲؛ قدیرزاده و همکاران، ۱۳۷۹؛ مختاری، ۱۳۸۷) در منطقه نیز مهم‌ترین سیمای کانه‌زایی در منطقه را رگه‌های سیلیسی و زون‌های دگرسانی معرفی کرده است. رگه‌های سیلیسی زیادی در مسیر بین روستای انیق تا قره‌چیلر رخ داده است که میزان عیار طلا در این رگه‌ها بالا است (شکل ۷). در سطح بیشتر رگه‌ها در منطقه، کانی‌های ثانویه مالاکیت و آزوریت در نتیجه دگرسانی در سطح سنگ‌های منطقه به‌وجود آمده است (شکل ۸).

در بررسی مقاطع نازک نمونه‌ها، بیوتیت، پلاژیوکلاز و فلدسپار آلکالن دیده می‌شود که تمامی کانی‌ها به شدت دگرسان شده‌اند (شکل ۹) و عمدتاً دگرسانی سریسیتی، رسی و سیلیسی‌شدن را تحمل کرده‌اند.

## ۸- بحث

روش BLEG یکی از روش‌های نسبتاً جدید به‌کار گرفته‌شده در اکتشاف ژئوشیمیایی طلا است. این روش برای تعیین عیار بسیاری از نمونه‌های طلا با عیار پایین سودمند است (Beeson, 1995). تفاوت چشمگیر این روش نسبت به روش‌های رایج ژئوشیمیایی، استفاده از حجم زیاد نمونه بدون توجه به اندازه آنها و تراکم پایین نمونه‌برداری است (هر ۱۰ تا ۱۵ کیلومتر یک نمونه) در حالی‌که در روش‌های رایج اکتشافات ژئوشیمیایی از یک اندازه ویژه برای آنالیز استفاده می‌شود و تراکم نمونه‌برداری نیز بالا است (هر ۱ تا ۳ کیلومتر یک نمونه). مزیت تراکم پایین نمونه‌برداری افزون بر کاهش هزینه و وقت سبب می‌شود بی هنجاری‌هایی که در نتیجه کانه‌زایی طلا در یک محیط نابارور رخ داده‌اند یا مناطقی که به طور محلی حد زمینه بالایی دارند، حذف شوند (Leduc & Itard, 2003).

در منطقه‌ای با گستره منطقه مورد بررسی (یعنی ۱۸۵۰ کیلومترمربع) ۱۶۸ نمونه BLEG برداشت شده است (با توجه به این نکته که بخشی از منطقه به سبب قرار گرفتن در کشورهای جمهوری آذربایجان و جمهوری ارمنستان امکان نمونه‌برداری وجود نداشت) که تقریباً به ازای هر ۸ کیلومتر یک نمونه برداشت شده است. در حالی‌که در نمونه‌برداری رسوبات آبراهه‌ای که توسط علوی‌نایینی و همکاران (۱۳۷۱) انجام گرفته است شمار ۱۲۴۱ نمونه رسوب آبراهه‌ای برداشت شده است که تقریباً تراکم نمونه‌برداری به ازای ۱ نمونه در ۱/۵ کیلومترمربع است. در بررسی علوی‌نایینی و همکاران (۱۳۷۱) هیچگونه آثاری از طلا در اکتشافات چکشی، بررسی‌های کانی سنگین و ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای به‌دست نیامده است. ولی همان‌طور که در نقشه مناطق بی‌هنجار طلا (شکل ۴) دیده می‌شود، ۴ محدوده بی‌هنجار طلا به روش BLEG در ورقه سیه‌رود معرفی شده است که نشان از توانایی روش BLEG در آشکارسازی مناطق بی‌هنجار طلا با صرف هزینه و زمان بسیار کمتری دارد.

## ۹- نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از برداشت و بررسی نمونه‌های BLEG نشان‌دهنده چهار محدوده با بی‌هنجاری درجه ۱ است که شامل موارد زیر است:

- منطقه انیق- قره‌چیلر در مرکز توده نفوذی اردوباد (قولان) قرار گرفته است. کانی‌سازی در منطقه شامل رگه‌های کوارتزی و زون‌های دگرسانی در درون توده گرانودیوریتی است.
- روستای نمنق در گوشه شمال خاوری ورقه سیه‌رود قرار گرفته است. این منطقه نیز همانند منطقه انیق- قره‌چیلر در درون توده نفوذی اردوباد قرار دارد. بیشترین مقدار طلای ثبت شده متعلق به نمونه SBL-6 به مقدار ppb ۲۰ در نزدیکی روستای نمنق و در این محدوده واقع شده است.
- در بالادست حوزه آبریز محدوده نمنق، در نزدیکی روستای اشتوبین بی‌هنجاری کوچکی در بین رسوبات دگرگونی دونین و کواترنری به‌دست آمده است که گستره‌ای در حدود ۴ کیلومترمربع را شامل می‌شود.
- در جنوب محدوده و در محل اندیس طلای آندریان یا آندرجان نمونه شماره ۱۱۱ با میزان طلای ppb ۱۴ در باختر محدوده مورد بررسی با برونزد واحدهای رسوبی ماسه‌سنگی- مارنی و سنگ‌آهکی مشخص شده است.

پراکندگی طلا در درون رگه‌های سیلیسی نسبت به زون‌های گرانیتی دگرسان شده بیشتر و همچنین میزان طلا در زون‌های گرانیتی دگرسان شده از زون‌های گرانیتی دگرسان نشده بیشتر است.

Archive of SID



www.SID.ir

نتایج به‌دست آمده از برداشت و بررسی نمونه‌ها به روش ژئوشیمیایی رسوب آبراهه‌ای نشان‌دهنده دو محدوده با بی‌هنجاری درجه یک طلا و دو محدوده با بی‌هنجاری درجه یک مس است.

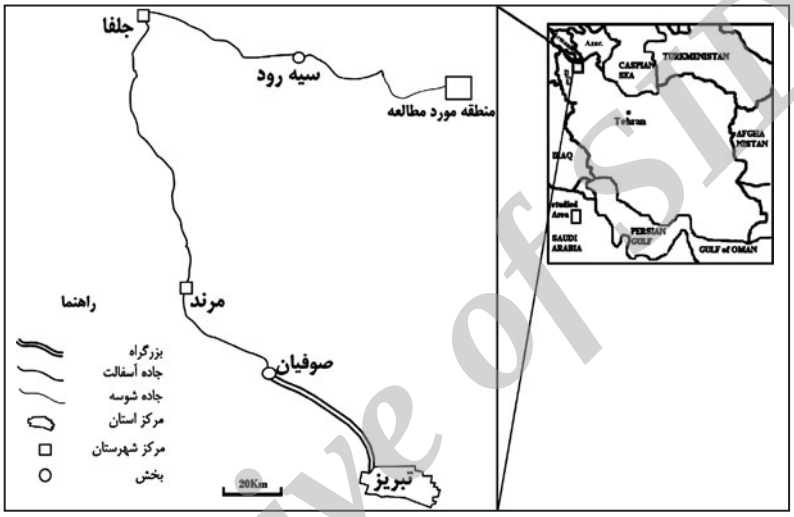
برپایه جدول ۳، طلا با مس و آرسنیک همبستگی بالایی نشان می‌دهد. همچنین مس با مولیبدن همبستگی بالایی نشان می‌دهد که این موضوع با کانه‌زایی‌های موجود در منطقه همخوانی دارد.

بی‌هنجاری‌های به‌دست آمده توسط روش BLEG همخوانی گسترده‌ای با کارهای انجام گرفته در گذشته (Movahed aval & Kalighi, 1970، برنا و جان‌نثاری، ۱۳۷۲؛ قدیرزاده و همکاران، ۱۳۷۹؛ مختاری، ۱۳۸۷) در این منطقه دارد.

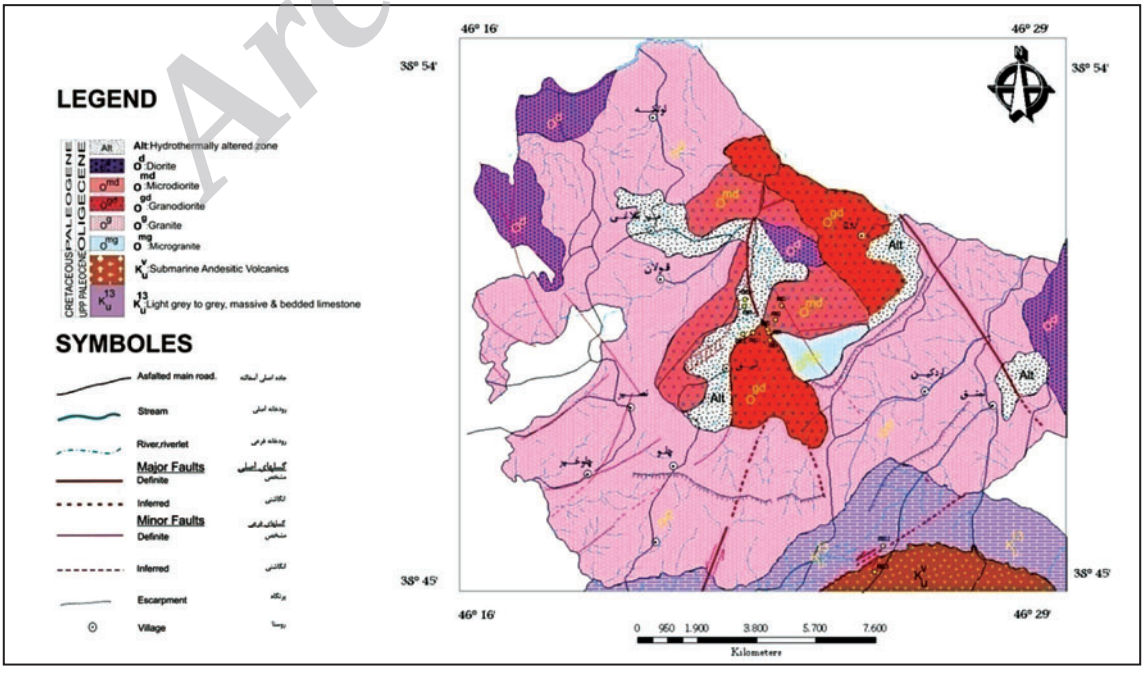
در بررسی علوی‌نایینی و همکاران (۱۳۷۱) هیچگونه آثاری از طلا در اکتشافات چکشی، بررسی‌های کانی سنگین و ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای به‌دست نیامده است. ولی همان‌طور که در نقشه مناطق بی‌هنجار طلا (شکل ۴) دیده می‌شود، ۴ محدوده بی‌هنجار طلا به روش BLEG در ورقه سیه‌رود معرفی شده است که نشان از توانایی روش BLEG در آشکارسازی مناطق بی‌هنجار طلا با صرف هزینه و زمان بسیار کمتری دارد.

## سپاسگزاری

نویسندگان از همکاری اساتید گرامی آقایان دکتر علی‌اصغر مختاری، دکتر بهزاد مهرابی، مهندس محسن نجاران و مهندس جعفر صبوری در بهبود این نوشتار سپاسگزاری ویژه می‌نمایند.



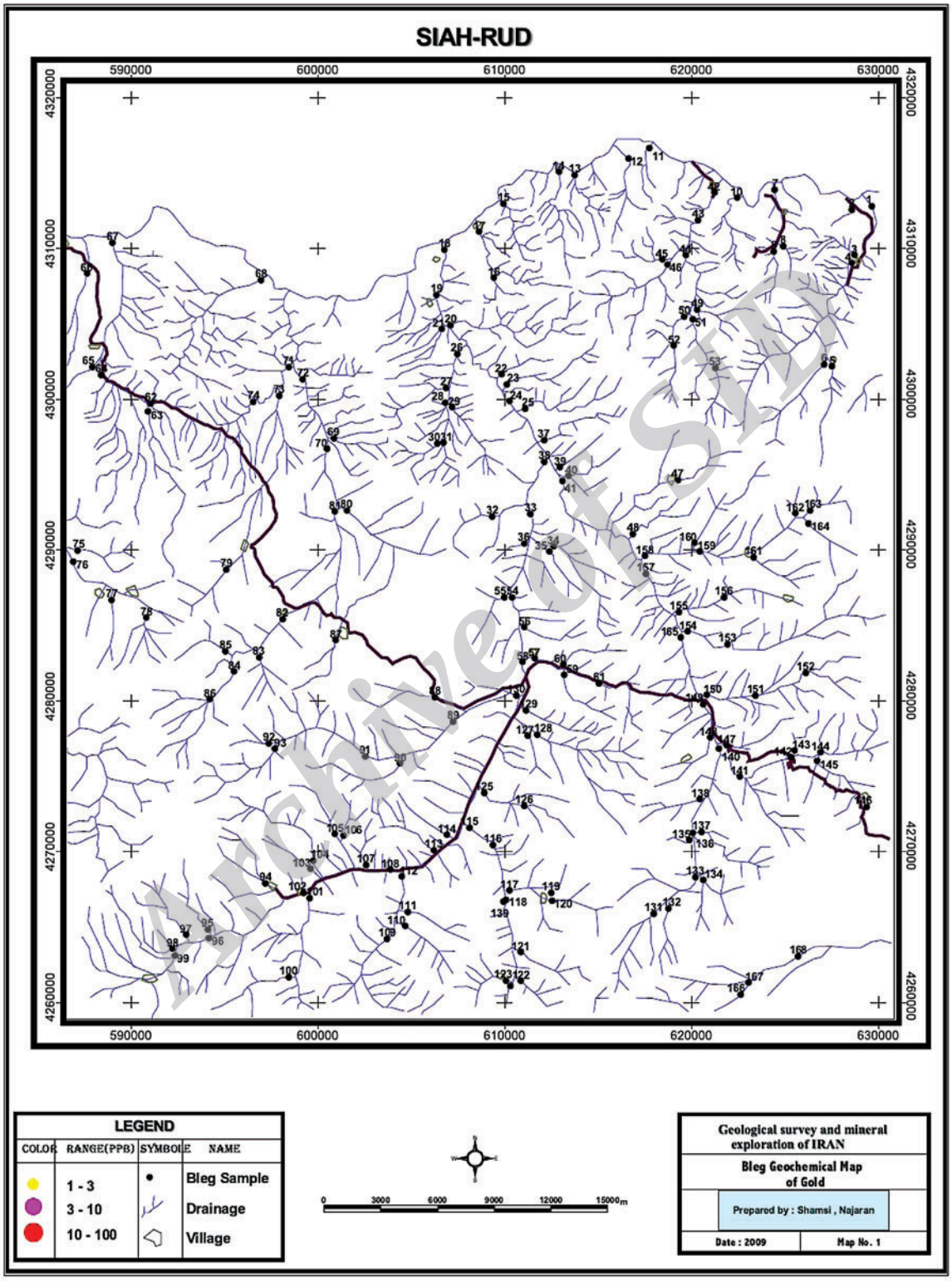

شکل ۱- راه‌های دسترسی از طریق شهرستان جلفا و محدوده مورد بررسی (برگرفته از اطلس راه‌های ایران، ۱۳۸۶).




شکل ۲- باتولیت قره‌داغ واقع در گوشه شمال خاوری ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ سیه‌رود (برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سیه‌رود، مهرپرتو، ۱۳۷۶).



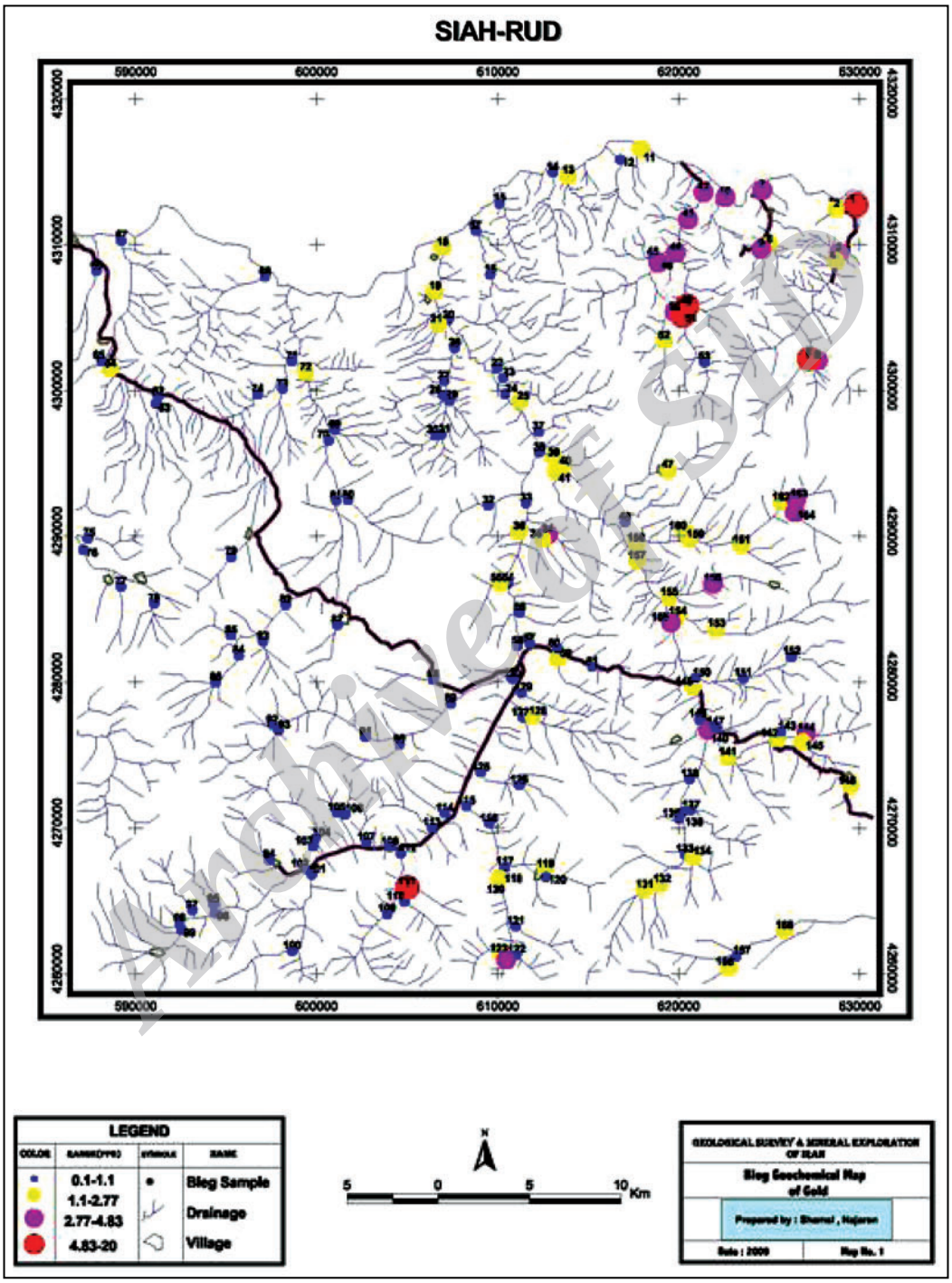
Archive of SID
www.SID.ir




شکل۳- شبکه نمونه‌برداری نمونه‌های BLEG در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ سیه‌رود.



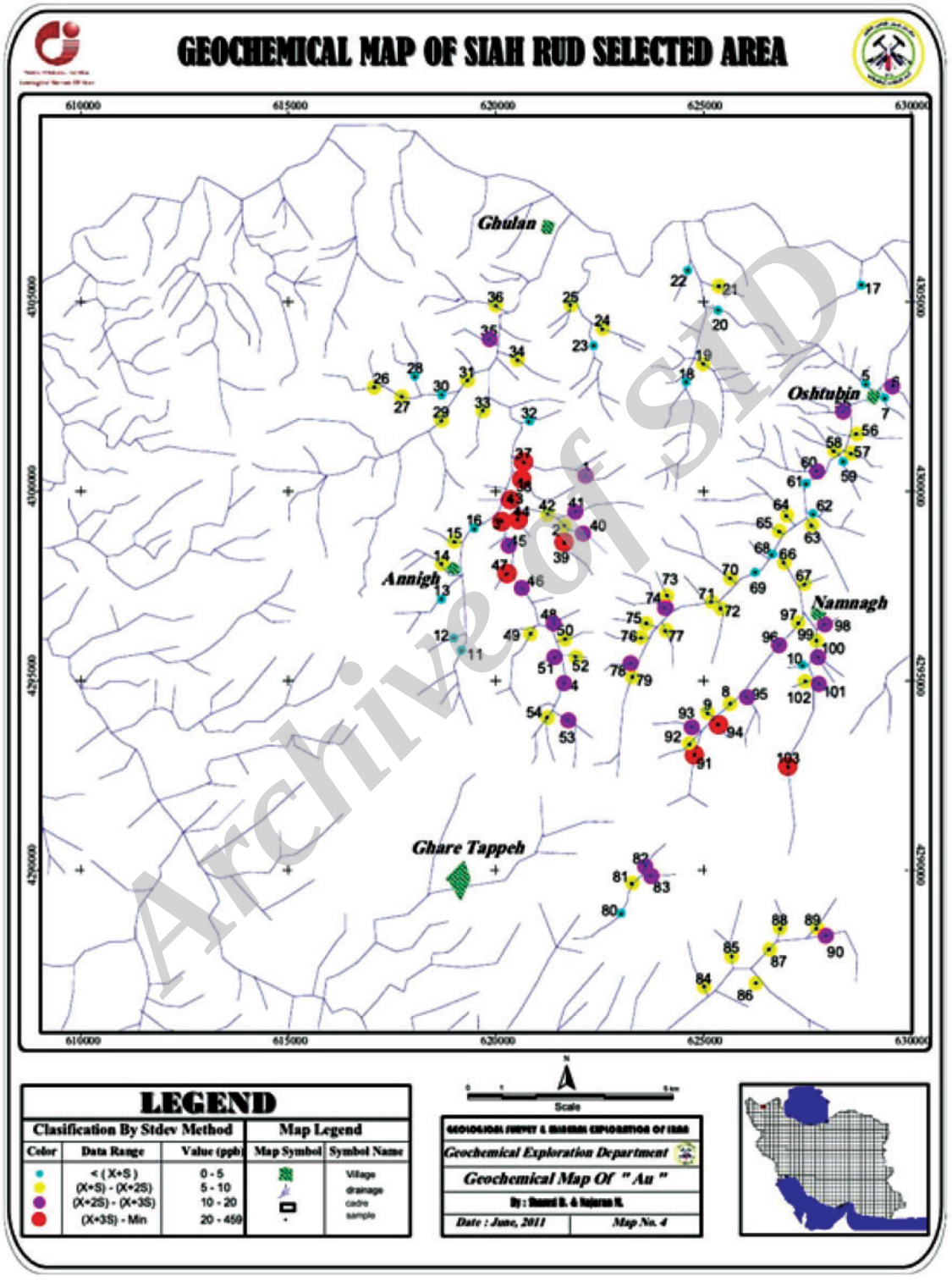
www.SID.ir




شکل۴- نقشه مناطق بی‌هنجار طلا به روش ژئوشیمیایی BLEG در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ سیه‌رود.



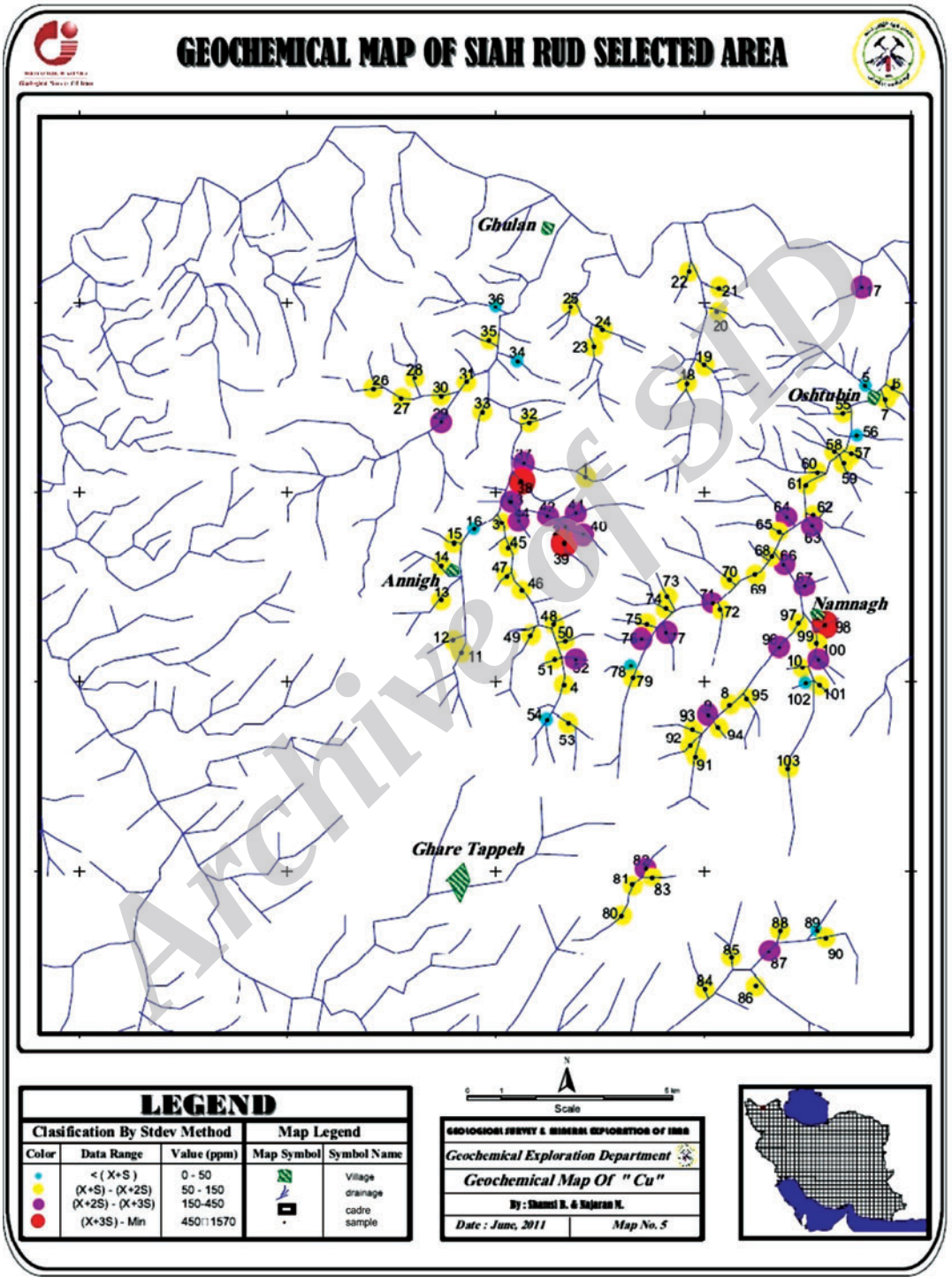
www.SID.ir




شکل ۵- نقشه مناطق بی‌هنجار طلا به روش ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای.



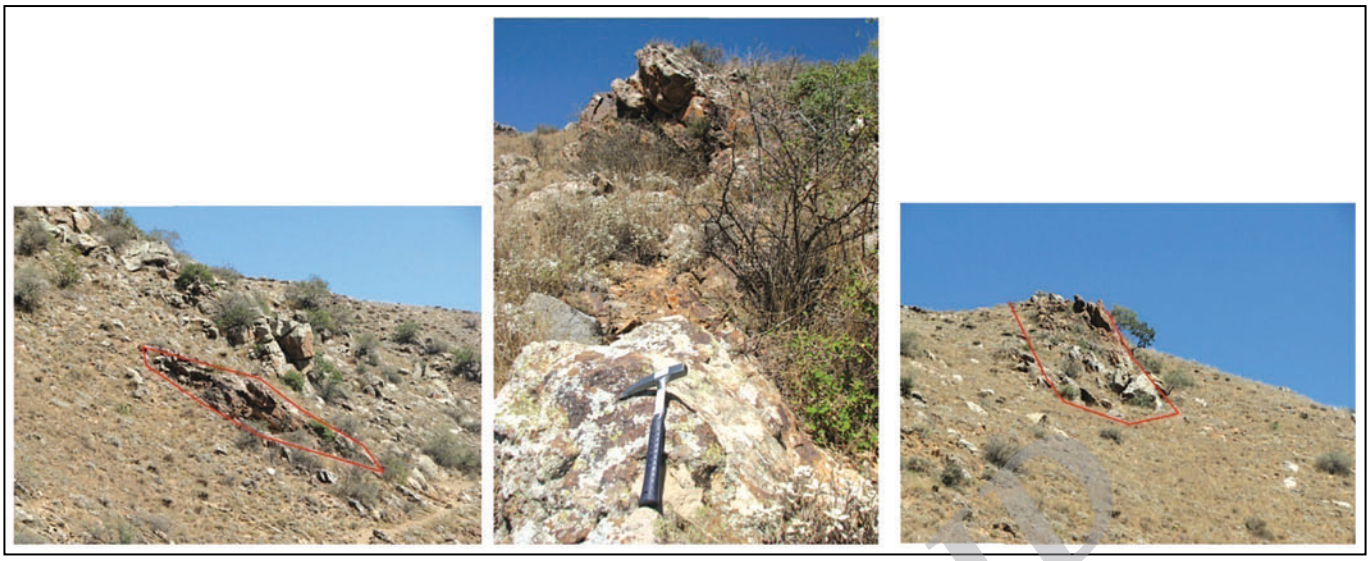
www.SID.ir




شکل ۶- نقشه مناطق بی‌هنجار مس به روش ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای.



www.SID.ir



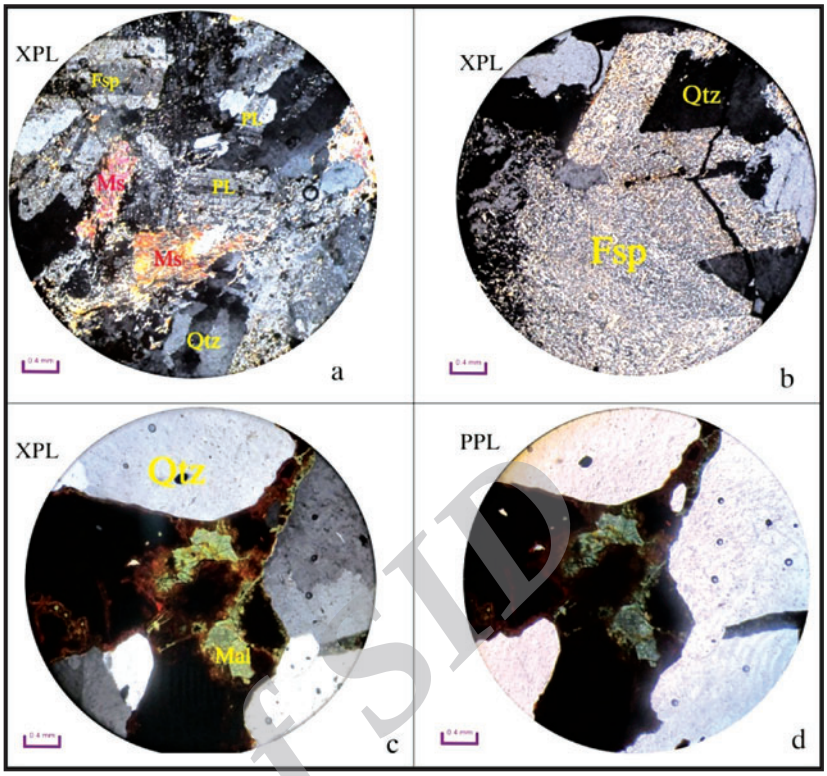
شکل ۷- شماری از رگه‌های سیلیسی در مسیر مالروی روستای انیق- قره‌چیلر (دید به سوی شمال خاور).

شکل ۸- نما و نمونه دستی از رگه سیلیسی در مسیر روستای انیق- قره‌چیلر( کانی‌های ثانویه مالاکیت و آزوریت در سطح رگه قابل‌مشاهده است).

Archive of SID



www.SID.ir




شکل ۹- الف) بیوتیت به فنژیت (نوعی مسکوویت) دگرسان شده است. کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز با ماکل پلی‌سنتتیک و فلدسپار پتاسیم با ماکل کارلسباد؛ ب) بلورهای خودشکل فلدسپار پتاسیم که دگرسانی سریسیتی و رسی شدن را متحمل شده‌اند؛ پ و ت) مالاکیت که بین کوارتزها جانشین شده است.

جدول۱- داده‌های آماری نمونه‌های BLEG در منطقه مورد بررسی.

| عنصر | طلا | |
|---|---|---|
| داده‌ها | خام | لگاریتمی |
| تعداد | ۱۶۸ | ۱۶۸ |
| کمینه | ۰/۱ | -۶/۲۱ |
| بیشینه | ۲۰ | ۳/۰۰ |
| متوسط | ۱/۶۴ | -۰/۳۱ |
| میانه | ۰/۶۸ | -۰/۳۸ |
| مد | ۰/۲۴ | -۰/۵۳ |
| انحراف معیار | ۲/۹ | ۱/۴۴ |
| چولگی | ۴/۵ | -۱/۳۳ |
| کشیدگی | ۲۳/۰۵ | ۵/۱۶ |

جدول۲- پارامترهای آماری داده‌های خام برخی از عناصر رسوبات آبراهه‌ای برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ سیه‌رود.

| عنصر داده | طلا | نقره | آرسنیک | باریم | بیسموت | مس | مولیبدن | سرب | آنتیموان | قلع | تنگستن | روی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تعداد | ۱۰۳ | ۱۰۳ | ۱۰۳ | ۱۰۳ | ۱۰۳ | ۱۰۳ | ۱۰۳ | ۱۰۳ | ۱۰۳ | ۱۰۳ | ۱۰۳ | ۱۰۳ |
| کمینه | ۳ | ۱/۱ | ۰/۴ | ۱۵۲/۵ | ۲۶/۸ | ۳۷/۲ | ۰/۱ | ۰/۲ | ۲/۹ | ۵/۲ | ۰/۳ | ۲۹/۵ |
| بیشینه | ۴۵۹ | ۴/۰۷ | ۳۶/۵ | ۹۶۳/۷ | ۱۳۲/۵ | ۱۵۶۲ | ۱۵/۵ | ۳۵/۹ | ۱۳/۸ | ۲۵/۲ | ۳۳/۵ | ۱۵۸/۶ |
| متوسط | ۹ | ۰/۱ | ۸/۳ | ۴۲۴/۹ | ۶۰/۶ | ۷۹/۳ | ۰/۷ | ۱۶/۱ | ۷/۲ | ۱۲/۱ | ۵/۷ | ۷۰/۶ |
| میانه | ۱۵/۲۱ | ۰/۱۲ | ۱۰/۲۹ | ۴۳۷/۶۵ | ۶۱/۶۸ | ۱۳۷/۷۳ | ۱/۹۹ | ۱۵/۸۲ | ۷/۴۸ | ۱۲/۵۴ | ۶/۲۲ | ۷۵/۳۵ |
| مد | ۶ | ۰/۱ | ۴/۶ | ۱۷۰/۲ | ۶۶/۸ | ۴۳/۴ | ۰/۲ | ۱۰/۲ | ۶/۵ | ۱۲ | ۰/۵ | ۷۰/۴ |
| انحراف معیار | ۴۵/۰۸ | ۰/۰۶ | ۷/۹۴ | ۱۸۳/۵۳ | ۲۲/۸۳ | ۱۸۰/۸۶ | ۳/۴۲ | ۷/۸۶ | ۱/۷۹ | ۴/۳۵ | ۵/۶۶ | ۲۰/۹۷ |
| واریانس | ۲۰۳۲/۱۱ | ۰/۰۰۳ | ۶۳/۰۶ | ۳۳۶۸۵/۳۱ | ۵۲۱/۱۴ | ۳۲۷۱۰/۰۶ | ۱۱/۷۳ | ۶۱/۷۷ | ۳/۲۲ | ۱۸/۹۲ | ۳۲/۰۰ | ۴۳۹/۹۱ |
| چولگی | ۹/۵۵ | ۳/۷۶ | ۱/۴۹ | ۰/۵۵ | ۰/۹۶ | ۵/۴۶ | ۲/۵۷ | ۰/۲۶ | ۰/۵۸ | ۰/۸۲ | ۲/۷۳ | ۱/۰۳ |
| کشیدگی | ۹۴/۵۹ | ۱۵/۷۳ | ۲/۳۰ | -۰/۰۷ | ۱/۳۱ | ۳۸/۵۱ | ۵/۹۹ | -۰/۳۵ | ۱/۲۶ | ۱/۱۲ | ۹/۷۲ | ۲/۲۵ |

Archive of SID


www.SID.ir

جدول ۳- ضرایب همبستگی برخی عناصر نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰سیه‌رود.

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **AS** | 0.17 | | | | | | | | | |
| **Ag** | -0.01 | 0.12 | | | | | | | | |
| **Bi** | -0.11 | -0.11 | -0.03 | | | | | | | |
| **Cu** | 0.25 | 0.03 | 0.00 | -0.05 | | | | | | |
| **Mo** | 0.07 | 0.27 | 0.21 | -0.34 | 0.25 | | | | | |
| **Pb** | 0.10 | 0.19 | -0.22 | 0.32 | 0.05 | -0.22 | | | | |
| **Sb** | -0.12 | 0.02 | 0.16 | -0.08 | -0.08 | 0.16 | -0.22 | | | |
| **Sn** | -0.01 | -0.11 | -0.08 | 0.94 | 0.01 | -0.42 | 0.40 | -0.5 | | |
| **W** | -0.09 | -0.06 | 0.13 | 0.08 | 0.01 | 0.22 | -0.28 | 0.21 | -0.12 | |
| **Zn** | -0.16 | -0.07 | 0.05 | 0.48 | 0.06 | -0.25 | 0.12 | 0.33 | 0.46 | 0.10 |
| | **Au** | **As** | **Ag** | **Bi** | **Cu** | **Mo** | **Pb** | **Sb** | **Sn** | **W** |

جدول ۴- غلظت طلای اندازه‌گیری شده در ۶ نمونه چکشی برداشت‌شده از منطقه انیق- قره‌چیلر.

| شماره نمونه | طلا (ppb) | توضیحات |
|---|---|---|
| SM1 | ۱۲۳ | واحد گرانودیوریتی در دره انیق- قرهچیلر |
| SM2 | ۷ | رگه کوارتزی در کف دره انیق- قرهچیلر با بافت متراکم |
| SM3 | ۸۱ | واحد میکرودیوریتی در دره انیق- قرهچیلر |
| SM4 | ۱۱۷ | مرز بین واحد میکرودیوریت و گرانودیوریت |
| SM6 | ۲۰۳ | واحد گرانودیوریتی به شدت دگرسانشده |
| SM10 | ۸۹۵۶ | رگه سیلیسی در مسیر مالروی روستای انیق- قرهچیلر با بافت اسفنجی و حفرهای |

## کتابنگاری


آقانباتی، س. ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۰۶ رویه.

**اطلس راه‌های ایران، ۱۳۸۶- مؤسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی.**

امامی‌جعفری، م.، مهرپرتو، م.، اکبرپور، ا. و شمسی، ب.، ۱۳۹۱- بررسی کارآمدی روش BLEG در اکتشاف کانسارهای طلا، مجله سازمان نظام مهندسی معدن، شماره ۱۶، رویه ۱۳ تا ۲۰.

برنا، ب. و جان‌نثاری، م. ر.، ۱۳۷۲- گزارش اکتشافی طلا در مناطق قره‌چیلر و قره‌دره و بررسی طلا در زون‌های آرسنیک‌دار سیه‌رود و دستجرد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۲۶ رویه.

حسن‌پور، ش.، ۱۳۸۹- متالوژنی و کانی‌زایی مس و طلا در زون ارسباران (آذربایجان خاوری)، پایان‌نامه دکترا، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

علوی‌نایینی، م. ر.، طاووسی، ح. و باستانی، ح.، ۱۳۷۱- اکتشافات ژئوشیمیایی- کانی‌های سنگین در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ سیه‌رود، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، ۱۱۸ صفحه.

عین‌علی، م.، ۱۳۸۵- ژئوشیمی، کانی‌شناسی، دگرسانی و ژنز کانسار طلا در واحدهای دگرگونی- متاسوماتیکی منطقه خاروانا (آذربایجان شرقی)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

قدیرزاده، ا.، حیدری، ر.، حاج‌نوروزی، م.، خدابنده، ع. ا. و مهرپرتو، م.، ۱۳۷۹- طرح مطالعات اکتشافی طلای اپی‌ترمال و مس و مولیبدن پورفیر زون ارسباران (مرحله شناسایی)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۰۶ صفحه به انضمام ۷۶ صفحه پیوست.

مختاری، ع. ا.، ۱۳۸۷- پترولوژی، ژئوشیمی و پتروژنز باتولیت قره‌داغ (خاور سیه‌رود- آذربایجان شرقی) و هاله اسکارنی آن، با نگرشی بر کانی‌سازی مرتبط با توده‌ی نفوذی، پایان‌نامه دکترا، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، ۳۴۶ صفحه.

مهرپرتو، م. و خان‌ناظر، ن.، ۱۳۷۶- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سیه‌رود، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

مهرپرتو، م.، ۱۳۷۶- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سیه‌رود، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵- دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۰۹ صفحه.


Archive of SID



www.SID.ir

**References**

Beeson, R., 1995- A drainage sediment geochemical orientation study at Boddington, Western Australia.J. Geochemical Eploration, vol.54, pp. 63-71.

Elliott, S. M. & Towsey, C. A., 1989- Regional drainage geochemical gold exploration techniques used in Queensland, Australia. North Queensland Gold '89 Conference, Townsville, QLD, pp.51-61.

Leduc, C. & Itard, Y., 2003- Low sampling density exploration geochemistry for gold in arid & tropical climates: comparison between conventional geochemistry and BLEG. Vol.3, pp.121-131.

Mazzucchelli, R. H., 1987- Gold in stream sediments in meaningful sampling in gold exploration. Aust. Inst. Geol. Bull.7, pp.85-100.

Mazzucchelli, R. H., 1997- Geochemical Exploration in Areas affected by tropical weathering- an industry perspective, In "Proceeding of Exploration 97: Fourth Decennial International on Mineral Exploration" edited by: A.G Gubins, pp.315-322.

Movahed aval, M. & Khalighi, M., 1970- Geological prospection in Chamtal-Dozal-Gulan area (Northern west Iran). P.18.

Radford, N., 1996- BLEG sampling in gold exploration: an Australian view. Explore, Vol. 92, pp.8-10.

Sharpe, W. V., 1988- BLEG: a geochemical tool in the Great Sandy Desert. Second Decennial International Conference. Prospecting in Arid Terrain, Perth, pp.117-119.

Stöcklin, J., 1986- Structural history and tectonics of Iran; a review, American Association of Petroleum Geology Bulletin, Vol. 52, No.7, pp. 1229-1258.

Archive of SID



www.SID.ir