مجله زمین‌شناسی اقتصادی
سال ۱۳۹۲، شماره ۲، (جلد ۵)
صفحه ۲۶۷ تا ۲۹۰

Journal of Economic Geology
2013- 2014 No. 2 (Vol. 5)
ISSN 2008-7306

زمین‌شناسی، کانی‌سازی، ژئوشیمی ایزوتوپ Rb-Sr و Sm-Nd، سن‌سنجی U-Pb و توده‌های نفوذی مرتبط با کانی‌سازی کرتاسه منطقه کلاته آهنی، جنوب‌غرب گناباد

محمدحسن کریم‌پور [*۱]، آزاده ملکزاده شفارودی[۱]، محراب مرادی نقندر[۱]، جی لنگ فارمر[۲]، چارلز استرن[۲]

۱) گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
۲) گروه زمین‌شناسی، دانشگاه کلرادو، بولدر امریکا

دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۲/۲۱، پذیرش: ۱۳۹۲/۷/۱۰

چکیده

منطقه اکتشافی کلاته آهنی در ۲۷ کیلومتری جنوب‌غرب گناباد در استان خراسان رضوی قرار گرفته، از نظر تقسیمات ساختاری در شمال بلوک لوت واقع شده است. زمین‌شناسی منطقه شامل سنگهای رسوبی دگرگون‌شده سازند شمشک است که توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق مونزونیتی در آنها نفوذ نموده‌اند. این توده‌های نفوذی در نمونه‌های کمتر آلتره، دارای پذیرفتاری مغناطیسی کمتر از 10×25 SI^{-5} است که نشان می‌دهد از نوع گرانیتوئیدهای سری ایلمنیت و احیایی هستند. آلتراسیون‌های آرژیلیک، سیلیسی، پروپیلیتیک و هماتیتی در سنگهای دگرگونی و توده‌های مونزونیتی دیده می‌شود و زون آرژیلیک، مهمترین آلتراسیون منطقه است. کانی‌سازی منطقه در سطح به شکل دو رگه سیلیسی- سولفیدی با امتداد شمال‌غربی- جنوب‌شرقی دیده می‌شود که بخش اعظم کانیهای سولفیدی اکسید شده‌اند. در مطالعه مغزه‌ها، کانی‌سازی رگه‌چه‌ای و افشان در توده‌های مونزونیتی و سنگهای دگرگونی اطراف شناسایی شد. ۸ نوع رگه‌چه و رگه در مطالعات زیرسطحی مشخص شد که بیشترین تراکم آنها تا ۳۸ عدد در متر در واحد بیوتیت مونزونیت پورفیری است. کانیهای اولیه شامل پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت و کانیهای ثانویه شامل مالاکیت، کریزوکولا، هماتیت و گوتیت همراه با باطله کوارتز و سیدریت است. ناهنجاریهای بالای ژئوشیمیایی از عناصر مس، سرب، روی، قلع، آرسنیک و طلا در رگه‌ها و رگه‌چه‌های کانی‌سازی در سطح زمین و مغزه‌ها دیده می‌شود، به‌طوری‌که حداکثر مس تا بیش از ۰/۶ درصد، آرسنیک، سرب و روی تا بیش از ۱ درصد، طلا تا ۱۵۰ میلی‌گرم در تن و قلع تا ۱۳۳ گرم در تن اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است مقدار قلع در رگه‌ای در شمال محدوده (رودگز) تا بیش از ۱ درصد می‌رسد.

براساس شواهد آلتراسیون، کانی‌سازی و ژئوشیمی، احتمالاً کانی‌سازیهای قلع با گرانیتوئیدهای احیایی کرتاسه در ارتباط است. براساس سن‌سنجی به‌روش U-Pb در کانی زیرکن، سن توده‌های مونزونیتی مرتبط با کانی‌سازی منطقه کلاته آهنی معادل ۱۰۹ میلیون سال (کرتاسه تحتانی) است. مقادیر نسبت $^{87}Sr/^{86}Sr$ اولیه (۰/۷۱۰۱۸۹ تا ۰/۷۱۰۶۴۷) و نسبت $^{143}Nd/^{144}Nd$ اولیه (۰/۵۱۲۱۱۳ تا ۰/۵۱۲۲۷۰) در این توده‌ها نیز نشأت گرفتن ماگما از پوسته قاره‌ای را نشان می‌دهد.

بدون شک این پژوهش پنجره‌ای متفاوت از فعالیتهای ماگمایی بلوک لوت و جایگاه تکتونوماگمایی آن و کانی‌سازی قلع- مس مرتبط با آن را در شرق ایران مشخص کرده که می‌تواند گامی برای اکتشاف هرچه بیشتر این نوع کانی‌سازی و توده‌های نفوذی مربوط به آن در دیگر نقاط بلوک لوت باشد.

واژه‌های کلیدی: *بلوک لوت، کلاته آهنی، کانی‌سازی، ژئوشیمی، سن‌سنجی زیرکن، ایزوتوپ‌های رادیوژنیک، کرتاسه.*

مقدمه

منطقه کلاته آهنی در فاصله ۲۵ کیلومتری جنوب شهر گناباد و در محدوده بین طولهای جغرافیایی ″۱۴ ′۵۱ °۵۸ تا ″۰۴ ′۵۶ °۵۸ شرقی و عرضهای جغرافیایی ″۲۷ ′۰۹ °۳۴ تا ″۲۰ ′۱۳ °۳۴ شمالی واقع شده است. منطقه مورد مطالعه در شرق ایران و در قسمت شمالی بلوک لوت قرار دارد (شکل ۱).

[*] مسؤول مکاتبات: karimpur@um.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

از ویژگیهای مهم بلوک لوت، ماگماتیسم گسترده آن به‌ویژه در بخشهای شمالی است که از ژوراسیک آغاز شده و در ترشیاری به اوج خود رسیده است، به طوری‌که ضخامت واحدهای آذرین ترشیاری، به‌خصوص ائوسن، به ۲۰۰۰ متر می‌رسد [۱]. شرق ایران و به‌ویژه بلوک لوت به‌واسطه داشتن موقعیتهای مختلف تکتونیکی در زمانهای گذشته، دارای حجم عظیم ماگماتیسم با ویژگیهای ژئوشیمیایی متفاوت است که بعضاً پتانسیلهای بسیار مناسبی برای تشکیل کانی‌سازیهای مختلف را فراهم آورده است. درک بهتر از سن و منشأ ماگما در توده‌های نفوذی مرتبط با کانی‌سازی و بررسی زمین‌شناسی، نوع کانی‌سازی، آلتراسیون و ناهنجاریهای ژئوشیمیایی، گامی مثبت در جهت بررسی جایگاه تکتونوماگمایی لوت در زمانهای مختلف و نیز اکتشاف کانسارهای مختلف در شرق ایران است. تاکنون مطالعات پتروژنزی و سن‌سنجی متعددی در بخشهای مختلف بلوک لوت به‌ویژه بر روی توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق صورت‌گرفته که از آن جمله می‌توان به مناطق ماهرآباد و خوپیک [۲ و ۳]، شوراب [۴]، کیبرکوه [۵]، چاه‌شلجمی [۶] و کوه‌شاه [۷] اشاره کرد. سن این گرانیتوئیدها بین ائوسن میانی تا الیگوسن تحتانی بوده [۸] و ژئوشیمی آنها نشان‌دهنده تشکیل ماگماتیسم در زون فرورانش است. به‌طوری‌که براساس نسبتهای ایزوتوپی رادیوژنیک، ماگما از ذوب‌بخشی پوسته اقیانوسی سرچشمه گرفته و با پوسته قاره‌ای نیز با نسبتهای مختلف آلودگی پیدا کرده است [۲-۷].

در منطقه مطالعاتی کلاته آهنی سه مجموعه ماگماتیسم با سه سن مختلف حضور دارد که یک‌دسته گرانیتوئیدهای احیایی (سری ایلمنیت) و دسته‌ای دیگر نوع اکسیدان (سری مگنتیت) هستند. ژئوشیمی، تعیین سن و بررسی ایزوتوپهای Rb-Sr و Sm-Nd باتولیت گرانودیوریتی- گرانیتی احیایی (سری ایلمنیت) نجم‌آباد توسط [۹] انجام شده است. سن آن براساس اندازه‌گیری U-Pb در زیرکن، ۱۶۱/۸۵ میلیون سال (ژوراسیک میانی) تعیین شده است. برپایه مقادیر نسبت $^{87}Sr/^{86}Sr$ اولیه (۰/۷۰۹۱۳۱) و نسبت $^{143}Nd/^{144}Nd$ اولیه (۰/۵۱۲۰۹۵) ماگمای این گرانیت از پوسته قاره‌ای منشأ گرفته و همزمان با توده‌های نفوذی احیایی شاه‌کوه و سرخ‌کوه در طی کوه‌زایی ژوراسیک میانی (۱۶۲ تا ۱۶۴ میلیون سال قبل) در بلوک لوت به وجود آمده است [۹]. ژئوشیمی، تعیین سن و بررسی ایزوتوپهای Rb-Sr و Sm-Nd توده‌های مونزونیتی اکسیدان (سری مگنتیت) منطقه نیز توسط [۱۰] انجام شده است. سن آنها براساس اندازه‌گیری U-Pb در زیرکن، ۳۹/۹ میلیون سال (ائوسن میانی) تعیین شده است. برپایه مقادیر نسبت $^{87}Sr/^{86}Sr$ اولیه (۰/۷۰۵۱۲) و نسبت $^{143}Nd/^{144}Nd$ اولیه (۰/۵۱۲۸۵۱) ماگمای این توده‌ها از پوسته اقیانوسی فرورانش کرده منشا گرفته است [۱۰]. کانی‌سازی پلی متال (سرب، روی، قلع، آرسنیک، مس) کلاته آهنی با هیچ‌کدام از این توده‌های گرانیتوئیدی دیده نمی‌شود، بلکه با توده‌های نفوذی مونزونیتی همراه است که هدف اصلی این مقاله برای مطالعات آلتراسیون، کانی‌سازی، ژئوشیمی، سن‌سنجی زیرکن به روش U-Pb و ایزوتوپهای Rb-Sr و Sm-Nd می‌باشد. این توده‌ها در مطالعات زیرسطحی شناسایی شدند، لذا بخش عمده این مقاله منوط به بررسی گمانه‌های حفاری منطقه کلاته‌آهنی شده است. سن‌سنجی و پتروژنز انواع مختلف توده‌های نفوذی این منطقه کمک شایانی به مشخص‌شدن هرچه بیشتر جایگاه فعالیتهای تکتونوماگمایی بلوک لوت خواهد کرد.

روش مطالعه

۱- تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی سطحی با مقیاس ۱:۵۰۰۰.

۲- مطالعه ۵ گمانه جمعاً به متراژ ۳۴۱/۵ متر و برداشت نمونه از آنها.

۳- مطالعه ۱۱۰ مقطع نازک از توده‌های نفوذی سطحی و زیرسطحی منطقه به‌منظور مطالعات پتروگرافی- آلتراسیون.

۴- برداشت، آماده‌سازی و تجزیه ۳۵ نمونه ژئوشیمیایی به‌روش خرده‌سنگی از سطح در آزمایشگاه ACME کانادا به‌وسیله ICP-MS و به‌روش ذوب قلیایی

۵- برداشت، آماده‌سازی و تجزیه ۲۱ نمونه ژئوشیمیایی به‌روش خرده‌سنگی از گمانه‌ها در آزمایشگاه ACME کانادا به‌وسیله ICP-MS و به‌روش ذوب قلیایی

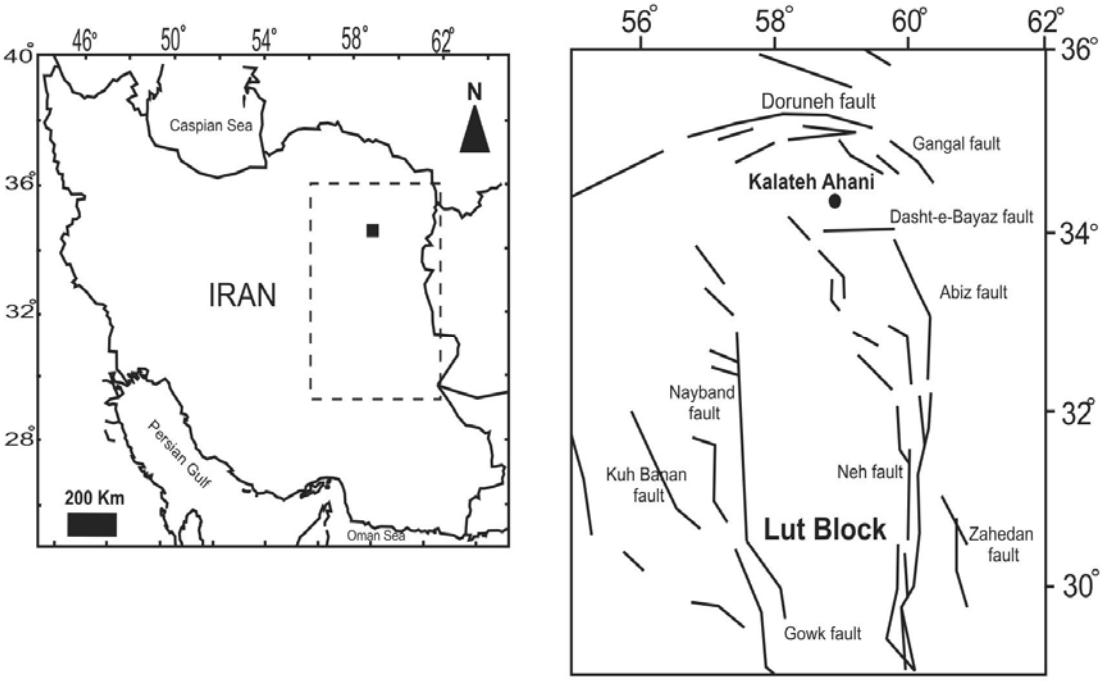
۶- انجام مطالعه سن‌سنجی به‌روش U-Pb با استفاده از تکنیک Laser-Ablation در کانی زیرکن در دانشگاه آریزونای امریکا

در این روش دو نمونه از توده‌های مونزونیتی مرتبط با کانی‌سازی از گمانه‌ها (BH-6 و BH-7)، انتخاب شد. پس از انجام عملیات خردایش، لاوک‌شویی و جداسازی کانیهای سنگین با مایع برموفورم، تعداد ۴۰ عدد زیرکن با طول بزرگتر

Archive of SID

www.SID.ir

از ۳۰ میکرون در زیر میکروسکپ بینوکلار به‌روش دست‌چینی جدا شد. زیرکن‌های جداشده برای تعیین سن به مرکز Laser Chron آریزونا در دانشگاه آریزونای امریکا فرستاده شدند. در آن‌جا از روش Laser-Ablation multi collector ICP-MS برای سن‌سنجی استفاده می‌شود. زیرکن‌ها ابتدا در یک پلاک اپاکسی به قطر ۱ اینچ همراه با خرده‌هایی از زیرکن استاندارد ID-TIMS و شیشه‌های NIST SPM610 قالب‌گیری شده، سپس این پلاکها نصف شده و صیقل می‌خورند. عکس زیرکن‌ها در نور عبوری، انعکاسی و نیز در زیر میکروسکپ کاتدولومینسانس (CL) گرفته می‌شود. تصویر CL ساختار داخلی دانه‌های زیرکون برش‌خورده را نشان می‌دهد و با استفاده از آن مکانهای مناسب برای اشعه لیزر در قسمتهای هموژن بلور انتخاب می‌گردند. روش Laser-Ablation ICP-MS قادر است تا سن‌سنجی به‌روش اندازه‌گیری U-Pb را با صحت بهتر از ۲٪ (۲ سیگما) و تفکیک مکانی چند میکرون انجام دهد. این روش معمولاً با یک پرتو به قطر ۳۵ یا ۲۵ میکرون و اگر لازم باشد در دانه‌های ریزتر به قطر ۱۵ یا ۱۰ میکرون صورت می‌پذیرد. پرتو ۳۵ یا ۲۵ میکرونی با نسبت تکرار ۸ هرتز و انرژی ۱۰ میکروژول تنظیم می‌شود که می‌تواند یک سیگنال تقریباً ۱۰۰۰۰۰ cps در گرم در تن برای U در زیرکن تولید کند. برای اندازه‌های کوچکتر اشعه لیزر، انرژی (۶۰ میکروژول) و نسبت تکرار (۴ هرتز) کاهش می‌یابد. در هر دو حالت ذکر شده مواد برانگیخته شده توسط اشعه لیزر از یک اتاقک گاز هلیم عبور می‌کنند. گاز هلیم و نمونه برانگیخته شده قبل از ورود به محیط پلاسما ICP-MS با گاز آرگون مخلوط می‌شوند. مقدار Pb ایزوتوپی نسبت به Th و U به کمک نمونه استانداردی که همراه با زیرکن‌ها قالب‌گیری شده و هر بار با اندازه‌گیری سه تا پنج نمونه مجهول، اندازه‌گیری آن تکرار می‌شود، محاسبه می‌گردد. نمونه استاندارد زیرکن ID-TIMS نمونه زیرکنی از سیریلانکا با سن ۵۶۳/۵ ± ۳/۲ Ma می‌باشد. همچنین مقدار Th و U نمونه‌های مجهول با شیشه‌های NIST SRM610 مورد سنجش قرار می‌گیرد. مقدار U این شیشه‌ها ۴۶۲ گرم در تن و مقدار Th آن ۴۵۷ گرم در تن است. قطعیت آنالیزهای انجام‌شده حدود ۲ سیگما (تقریباً ۱ درصد) برای $^{206}Pb/^{238}U$ و $^{206}Pb/^{207}Pb$ است. پس از اتمام کار، رسم نمودار کنکردیا، رسم نمودارهای تراکمی و محاسبات سنهای میانگین از داده‌های $^{206}Pb/^{238}U$ و $^{206}Pb/^{207}Pb$ توسط ISOPLOT/EX انجام می‌گیرد. سنهای میانگین $^{206}Pb/^{238}U$ با حد اطمینان ۹۵/۹ تا ۹۶/۹ درصد در این روش محاسبه می‌شود.



شکل ۱. موقعیت محدوده اکتشافی کلاته آهنی در ایران و بلوک لوت

Archive of SID

www.SID.ir

۷- مطالعه ایزوتوپ‌های ناپایدار Rb/Sr و Nd/Sm در دانشگاه کلرادو، بولدر امریکا.

آنالیز ایزوتوپ‌های Sr و Nd با دستگاه 6-collector Finnigan MAT 261 Thermal Ionization Mass Spectrometer در دانشگاه بولدر کلرادو (امریکا) انجام شد. نسبت $^{87}Sr/^{86}Sr$ با استفاده از اندازه‌گیری چهار حالت کلکتور استاتیک به‌دست آمد. بر طبق ۳۰ اندازه‌گیری مختلف SRM-987 در طول مدت مطالعه نسبت $^{87}Sr/^{86}Sr$ بین 0.71032 ± 2 تعیین شد (با محاسبه خطای میانگین ۲ سیگما). نسبت اندازه‌گیری شده $^{87}Sr/^{86}Sr$ توسط SRM-987= 0.71028 تصحیح گردید. نسبت $^{143}Nd/^{144}Nd$ اندازه‌گیری شده با $^{146}Nd/^{144}Nd=0.7219$ نرمالایز شد. اندازه‌گیریها به‌صورت تکراری نیز انجام گرفت. در طول مطالعات ۳۳ آنالیز با استاندارد La Jolla Nd انجام گرفت که میانگین $^{143}Nd/^{144}Nd=0.511838$ ± 8 به دست آمد (بر مبنای محاسبه خطای ۲ سیگما).

زمین‌شناسی

تغییرات لیتولوژیکی کمی در بررسیهای زمین‌شناسی سطحی و زیرسطحی منطقه کلاته آهنی به چشم می‌خورد. قدیمی‌ترین لیتولوژی در منطقه، شیل و ماسه‌سنگهای سازند ششمک هستند که تحت تأثیر کوه‌زایی اواسط ژوراسیک به اسلیت و متاسندستون (عمدتاً در حد کوارتزیت) دگرگون شده‌اند (شکل ۲). این واحدهای دگرگونی ناحیه‌ای در اثر نفوذ توده گرانودیوریتی نجم‌آباد به سن ژوراسیک میانی در شمال محدوده، مجدداً تحت تأثیر دگرگونی همبری قرار گرفته و براساس موقعیت نسبت به توده به انواع شیست، هورنفلس و اسلیت لکه‌ای دگرگون شده‌اند. باتولیت گرانیت- گرانودیوریتی ژوراسیک نجم‌آباد با روند شرقی- غربی در شمال و خارج از منطقه مطالعاتی دیده می‌شود. توده‌های مونزونیتی به سن ترشیاری نیز در منطقه کلاته رودگز در شمال منطقه و خارج از منطقه مطالعاتی رخنمون دارند. توده مونزونیتی متفاوتی در جنوب- جنوب شرقی روستای کلاته آهنی رخنمون دارد که در مطالعه گمانه‌ها نیز دیده شده است و هدف مطالعاتی این مقاله می‌باشد (شکلهای ۲ و ۳). آثاری از رگه و رگه‌چه‌های کانی‌سازی همراه با کنده‌کاریهای قدیمی در این واحد مشاهده می‌گردد. تعداد ۵ گمانه اکتشافی با روند تقریبا شرقی- غربی در طول حدود یک کیلومتر بر روی توده نفوذی حفر شده است. براساس مطالعات زیرسطحی در ۵ گمانه (شماره‌های BH-5 تا BH-9)، این توده مونزونیتی به دو واحد مونزونیت پورفیری و بیوتیت مونزونیت پورفیری قابل تقسیم است (شکل ۳). توده مونزونیت پورفیری در ابتدای همه گمانه‌ها به جز گمانه BH-8 و نیز در وسط گمانه‌های BH-9 و BH-6 و انتهای گمانه BH-7 دیده می‌شود، در حالی‌که توده بیوتیت مونزونیت پورفیری در عمق بیشتر و در گمانه‌های BH-5، BH-9 و BH-6 تشخیص داده شد (شکل ۳). بافت این واحدها پورفیری بوده و درشت بلورهای فلدسپات و نیز بیوتیت (در واحد بیوتیت مونزونیت پورفیری) به مقدار ۲۰ تا ۲۵ درصد دیده می‌شود. این واحدها غالباً به شدت تحت تأثیر آلتراسیون آرژیلیک قرار گرفته، به نحوی‌که حدود ۶۵ تا ۷۰ درصد فلدسپاتها به کانیهای رسی تبدیل شده‌اند؛ اگرچه آلتراسیون سیلیسی و بعضاً پروپلیتیک نیز به صورت جزئی در این توده‌های مونزونیتی دیده شده است. رگه‌چه‌های متفاوت کوارتز- سولفیدی، سیدریت- سولفیدی و هماتیتی در آنها مشاهده می‌شود. مقدار پذیرفتاری مغناطیسی در توده‌های کمتر آلتره‌شده کمتر از ۲۵×۱۰^{-۵} SI است که نشان می‌دهد متعلق به گرانیتوئیدهای سری ایلمنیت و احیایی هستند.

آلتراسیون

برپایه پردازش تصاویر سنجنده آستر و مطالعات صحرایی، آلتراسیون‌های آرژیلیک، پروپلیتیک، سیلیسی و هماتیتی در سطح منطقه کلاته آهنی دیده می‌شود (شکل ۴). آلتراسیون آرژیلیک با بارز شدن کانی پیروفیلیت و هماتیتی‌شدن عمدتاً به شکل خطی در محل توده‌های نفوذی و رگه‌های کانی‌سازی مشخص شده است، در حالی‌که آلتراسیون پروپلیتیک با آشکارشدن کانیهای کلریت و اپیدوت، غالباً در واحدهای رسوبی دگرگون‌شده دیده می‌شود (شکل ۴).

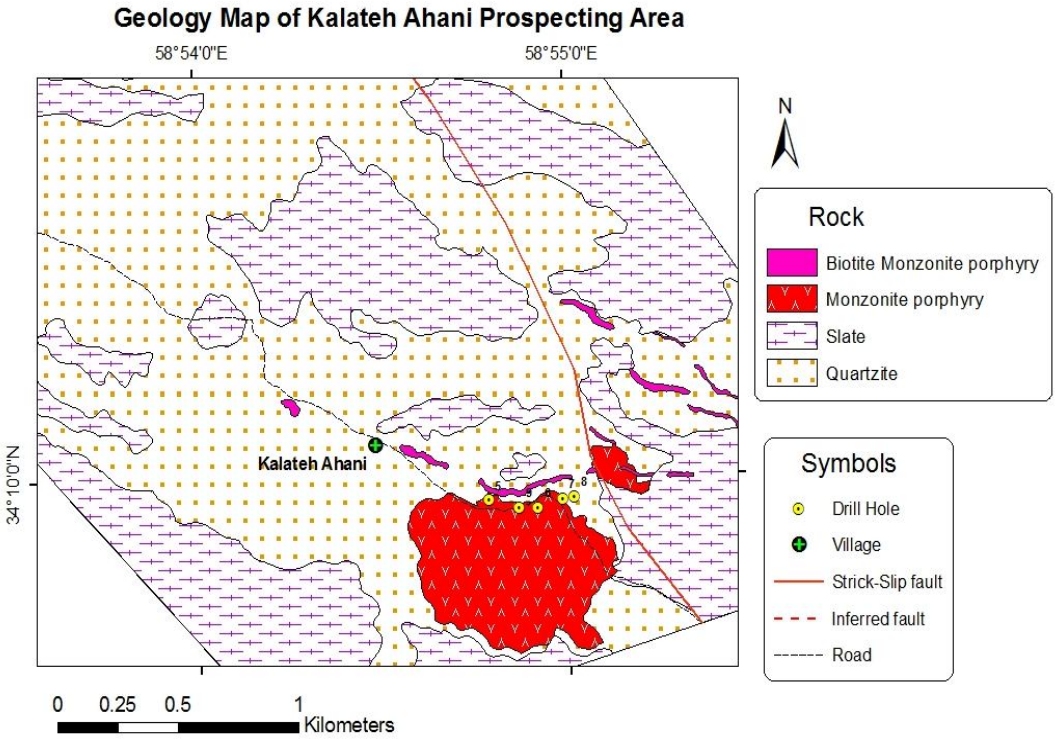
مطالعه گمانه‌ها، آلتراسیون آرژیلیک را همراه با توده‌های مونزونیت پورفیری و بیوتیت مونزونیت پورفیری نشان می‌دهد (شکل ۵). کانیهای شاخص این زون، کانیهای رسی، کربناته، کوارتز و سرسیت است. کانیهای رسی گاهی تا ۳۰ درصد به‌صورت جانشین شده در فلدسپات مشاهده می‌شوند. کوارتز به سه حالت در این زون دیده می‌شود که عبارتند از:

۱- رگه‌چه‌ای و پرکننده حفرات، ۲- جانشینی در فلدسپاتها ۳- پراکنده در متن سنگ. حالتهای رگه‌چه‌ای و پراکنده در

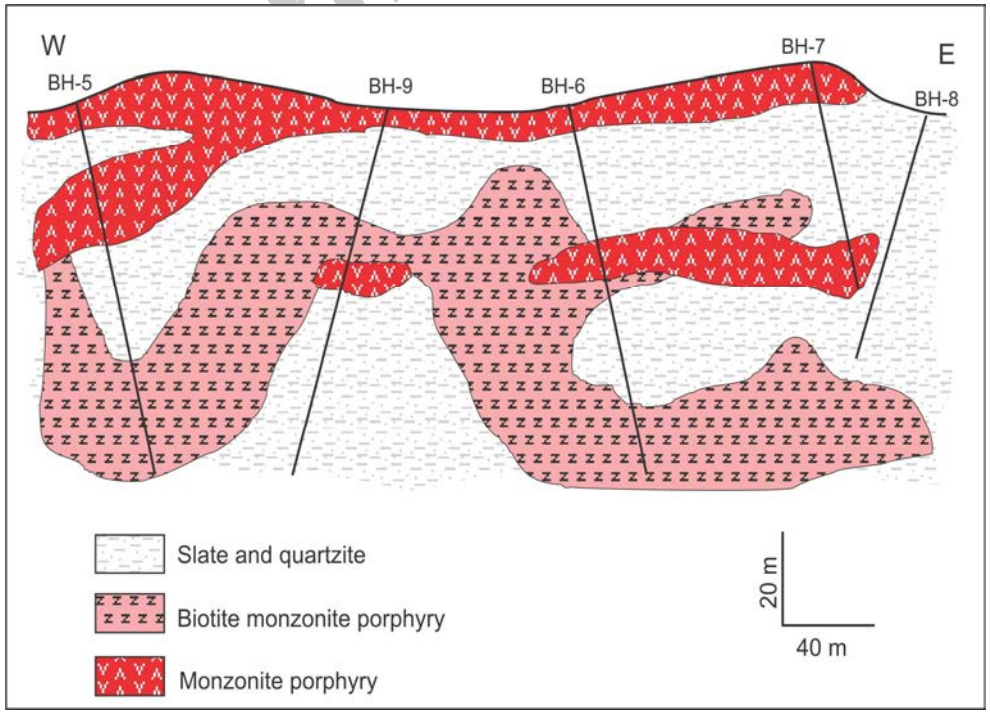
Archive of SID

www.SID.ir

متن مهمترین آنها هستند. مقدار کوارتز در رگه‌چه‌ها و در متن بین ۶ تا ۷ درصد متغیر است. کلسیت به مقدار ۵ تا ۷ درصد در متن و به‌صورت رگه‌چه در این زون مشاهده می‌شود. سرسیت نیز به‌صورت جانشینی در فلدسپات‌ها تا ۳ درصد وجود دارد. کانی‌سازی سولفیدی به‌صورت رگه‌چه و افشان در این آلتراسیون دیده می‌شود.



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی سطحی منطقه کلاته آهنی



شکل ۳. مقطع زمین‌شناسی زیرسطحی منطقه کلاته آهنی براساس مطالعه گمانه‌ها

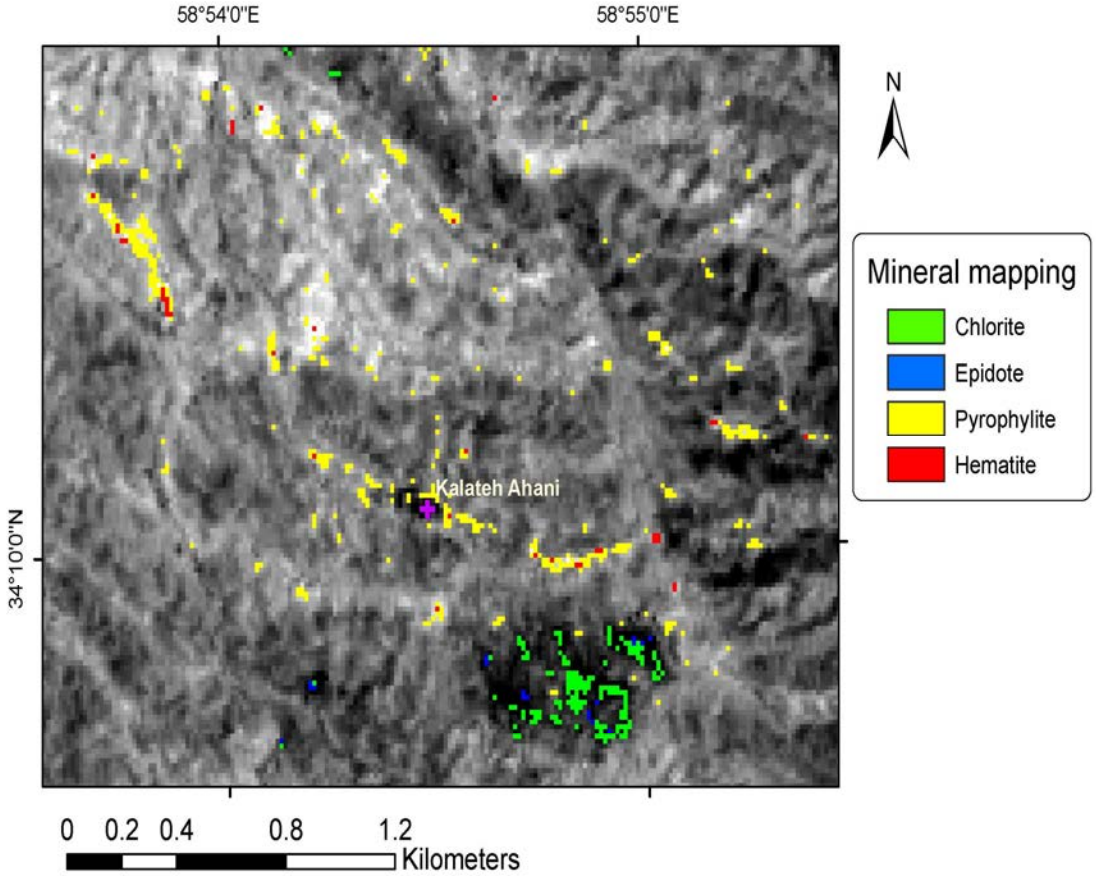
www.SID.ir

آلتراسیون پروپلیتیک عمدتاً در واحدهای رسوبی دگرگون‌شده و کمتر توده‌های نفوذی مشاهده می‌گردد (شکل ۵) و با کانیهای کلریت و اپیدوت مشخص می‌شود. کلریت اصلی‌ترین و فراوانترین کانی این آلتراسیون می‌باشد که در شدتهای بالا گاهی بیش از ۵ درصد سنگ را فرا گرفته است. اپیدوت عمدتاً از تبدیل پلاژیوکلاز ایجاد شده است. کلسیت به مقدار ۵ تا ۷ درصد در متن و ندرتاً به‌صورت رگه‌چه در این زون مشاهده می‌شود. فلدسپات‌ها خصوصاً پلاژیوکلازها به کلسیت تبدیل شده‌اند.

آلتراسیون سیلیسی در گمانه‌های BH-5 و BH-8 در واحد دگرگونی و نیز توده‌های مونزونیتی دیده می‌شود که البته در عمده موارد با اکسیدهای آهن حاصل از اکسیده‌شدن سولفیدها همراه است (شکل ۵). کانیهای شاخص این زون، کوارتز و مقادیر فرعی کانیهای رسی است. کوارتز اصلی‌ترین و فراوانترین کانی این آلتراسیون می‌باشد که در شدتهای بالا گاهی بیش از ۹۰ درصد سنگ را فرا گرفته است. کوارتز به سه حالت در این زون دیده می‌شود که عبارتند از:

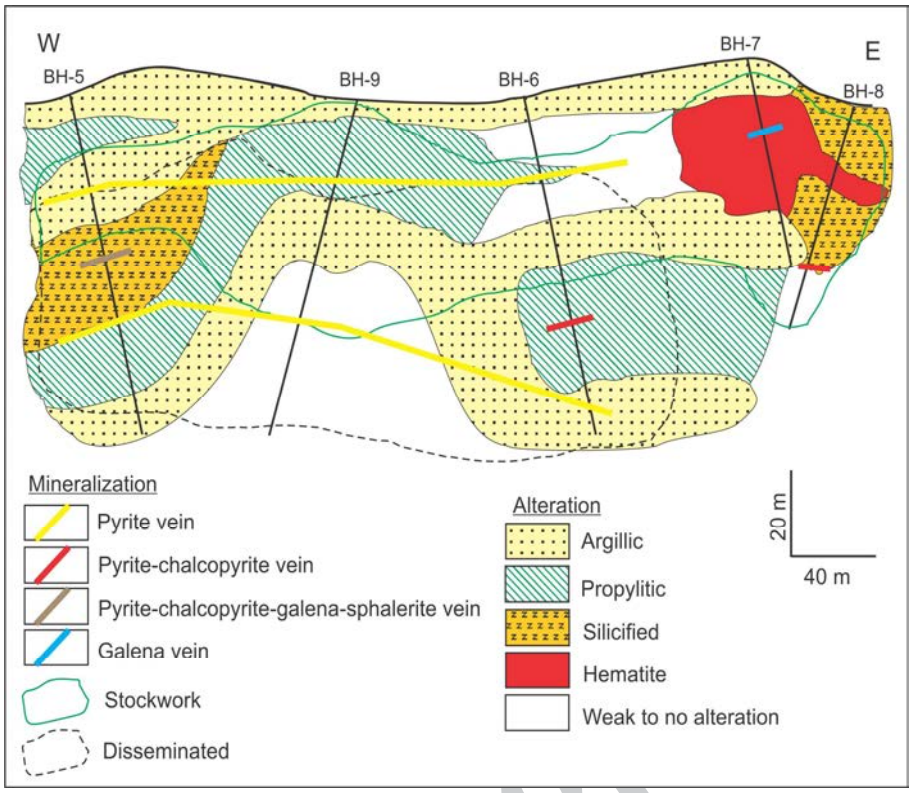
۱- رگه‌چه‌ای و پرکننده حفرات، ۲- جانشینی در فلدسپات‌ها و ۳- پراکنده در متن سنگ. حالتهای رگه‌چه‌ای و پراکنده در متن مهمترین آنها هستند. مقدار کوارتز در رگه‌چه‌ها عمدتاً بیش از ۸۵ درصد و اندازه بلورها در رگه‌چه‌ها بین ۰/۲ تا ۰/۴ میلی‌متر می‌باشد. این کانی در زمینه سنگ گاهی بیش از ۶۰ درصد بوده که این امر موجب سختی سنگها در نمونه دستی شده است. آثاری از کانی‌سازی در این زون دیده می‌شود.

هماتیتی شدن که نتیجه اکسیداسیون کانیهای سولفیدی منطقه است در اغلب آلتراسیون‌ها به‌ویژه آرژیلیک و سیلیسی در سطح و گمانه‌ها دیده می‌شود اما به‌طور ویژه در انتهای گمانه BH-9 و نیز بخشهایی از گمانه BH-7 و BH-8 وجود دارد (شکل ۵). مقدار اکسیدهای آهن (هماتیت، گوتیت و لیمونیت) در این قسمتها تا ۶ درصد حجم سنگ رسیده و عمدتاً در محل کانی‌سازی افشان و رگه‌چه‌ها مشاهده می‌گردد.



شکل ۴. پردازش تصویر سنجنده آستر برای کانیهای کلریت، اپیدوت، پیروفیلیت و هماتیت در منطقه کلاته آهنی

www.SID.ir



شکل ۵. مقطع آلتراسیون- کانی‌سازی زیرسطحی منطقه کلاته آهنی براساس مطالعه گمانه‌ها

کانی‌سازی

کانی‌سازی در سطح منطقه کلاته آهنی به‌صورت رگه‌ای به میزبانی توده مونزونیتی و سنگهای دگرگونی دیده می‌شود. دو رگه اصلی سیلیسی- سولفیدی به‌صورت تقریباً موازی در منطقه وجود دارد. رگه اصلی و مهم منطقه دارای امتداد N56W و شیب 85NW می‌باشد. این رگه به سمت شرق به چند رگه کوچکتر منشعب شده که امتداد کلی آنها نیز به تبعیت از رگه اصلی تقریباً شرقی ـ غربی است. ترانشه و تونلهای قدیمی زیادی در امتداد رگه و در جهت شیب آن حفر شده که عمق آنها گاه به دهها متر می‌رسد. ضخامت رگه از ۵۰ سانتیمتر تا ۵ متر در بخشهای متخلف متغیر است. کانیهای اولیه کوارتز و پیریت همراه با مقدار اندکی کالکوپیریت و گالن و کانیهای ثانویه مالاکیت، کریزوکلا، هماتیت و گوتیت در این رگه دیده می‌شود. بخش زیادی از سولفیدهای موجود در این رگه به هماتیت و گوتیت تبدیل شده است و وجود اکسیدهای آهن ثانویه فراوان نشان‌دهنده حضور کانی‌سازی سولفیدی با اهمیتی در این رگه است. ناهنجاریهای مهمی از عناصر سرب، روی، مس، طلا و ... در این رگه اندازه‌گیری شده است. گمانه‌های حفرشده منطقه کلاته آهنی تقریباً در کمربالای این رگه حفاری شده‌اند.

رگه سیلیسی دیگری در جنوب رگه اصلی دیده می‌شود که امتداد تقریباً N70W داشته و ضخامت آن از ۱۰ سانتی‌متر تا ۵ متر در بخشهای شرقی تغییر می‌کند. بر روی این رگه نیز تعداد کمی حفریات قدیمه در راستای رگه مشاهده می‌شود. کانی سولفیدی اولیه در این رگه دیده نشد و تنها کانیهای ثانویه مالاکیت، کریزوکلا، هماتیت و گوتیت به چشم می‌خورد. براساس مطالعه مغزه‌ها، کانی‌سازی به‌صورت افشان و رگه‌چه‌ای در واحدهای مونزونیتی و نیز سنگهای رسوبی دگرگون شده دیده می‌شود که محدوده هریک بر روی مقطع آلتراسیون- کانی‌سازی در شکل ۵ نشان داده شده است. همچنین موقعیت برخی رگه‌های مهم پیریت، پیریت- کالکوپیریت، پیریت- کالکوپیریت- اسفالریت- گالن، و گالن در این شکل به نمایش گذاشته شده است. پیریت فراوانترین کانی است که هم به‌صورت افشان و هم در قالب رگه و رگه‌چه در توده نفوذی و سنگهای دگرگونی مشاهده می‌شود. علاوه بر آن کالکوپیریت، اسفالریت و گالن همراه با باطله کوارتز و سیدریت مهمترین کانیهای اولیه هستند. هماتیت، گوتیت و

Archive of SID

www.SID.ir

مالاکیت نیز کانیهای ثانویه تشخیص داده شده می‌باشند. تصاویری از مقاطع صیقلی در شکل ۶ و توالی پاراژنز و رابطه زمانی کانیهای فلزی و غیرفلزی مرتبط در شکل ۷ نشان داده شده است. تراکم رگه و رگه‌چه‌ها از ۲ تا ۳۸ عدد در یک متر رسیده و ضخامت آنها از ۱ تا ۸ میلی‌متر متغیر است. بیشترین تراکم در واحدهای مونزونیتی و به‌ویژه در گمانه BH-6 مشاهده می‌گردد. رگه و رگه‌چه‌های متنوعی در گمانه‌ها دیده شده است که به ۸ نوع قابل تقسیم است:

۱- کوارتز- پیریت- سیدریت: در عمق ۱۶ تا ۱۷ متری گمانه BH-5 به ضخامت یک متر و عمق ۴۳/۸ تا ۴۴ متری همین گمانه به ضخامت حدود ۲۰ سانتی‌متر دیده می‌شود. همچنین در عمق ۷۵/۶ متری گمانه BH-6 به ضخامت ۹۰ سانتی‌متر حضور دارد. بخش اعظم آن از کوارتز تشکیل‌شده و بخش زیادی از سولفیدها به هماتیت و گوتیت اکسید شده است به‌طوری‌که فقط ۱ تا ۲ درصد پیریت به‌صورت سالم دیده می‌شود.

۲- کوارتز- پیریت: در عمق ۳۲/۱ و ۴۸ متری گمانه BH-5 به ضخامت ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر در مرز توده نفوذی با اسلیت و یا داخل اسلیت دیده می‌شود. همچنین در عمق ۱۷/۸ تا ۱۹/۸ متری گمانه BH-9 نیز رگه ضخیمی از همین نوع حضور دارد که بخش اعظم پیریت آن به هماتیت تبدیل شده است. در عمق ۲۶ تا ۲۶/۴ متری گمانه BH-9 نیز با ضخامت ۴۰ سانتی‌متر رگه‌چه کوارتز- پیریت دیده شده است.

۳- کوارتز- پیریت- کالکوپیریت- اسفالریت- گالن: این رگه در عمق ۳۸ تا ۳۹ متری گمانه BH-5 به ضخامت یک متر دیده می‌شود (شکل ۵). حدود ۳۵ تا ۴۰ درصد رگه را کانیهای سولفیدی تشکیل می‌دهد و ناهنجاریهای ژئوشیمیایی بالایی از عناصر مس، سرب، روی و طلا در آن به‌دست آمده است.

۴- پیریت: در عمق ۷۰/۵ متری گمانه BH-5 و عمق ۵۵/۷ متری گمانه BH-9 به ضخامت ۴ تا ۵ سانتی‌متر دیده می‌شود. این رگه‌چه‌ها کاملاً از پیریت تشکیل شده است (شکل ۵).

۵- پیریت- کالکوپیریت: در عمق ۶۳/۱ متری گمانه BH-6 به ضخامت ۲ تا ۴ سانتی‌متر دیده می‌شود و بخش اعظم آن از پیریت تشکیل شده است (شکل ۵).

۶- کوارتز- گالن: در عمق ۲۵ تا ۲۵/۷ متری گمانه BH-7 به ضخامت حدود ۷۰ سانتی‌متر در واحد متاسندستون دیده می‌شود (شکل ۵). حدود ۱۵ درصد این رگه از گالن تشکیل شده است. رگه کوارتز- گالن همه رگه‌چه‌ها و رگه‌های پیریت-دار را قطع کرده و از آنها جوانتر است.

۷- پیریت- کالکوپیریت- سیدریت: این رگه در عمق ۴۰/۳ تا ۴۱/۳ گمانه BH-8 به ضخامت حدود ۱ متر در واحد دگرگونی دیده می‌شود. حدود ۱۵ درصد رگه از کانیهای سولفیدی و بقیه سیدریت است (شکل ۵).

۸- کوارتز- کلسیت- سیدریت: در عمق ۶۹/۴ تا ۷۲ متری گمانه BH-9 به ضخامت حدود ۲/۶ متر دیده می‌شود. این رگه فاقد کانی سولفیدی است.

ژئوشیمی اکتشافی

براساس آنالیز نمونه‌های ژئوشیمیایی خرده‌سنگی سطحی، ناهنجاریهای ژئوشیمیایی از عناصر سرب، روی، مس، آرسنیک، قلع و طلا به‌ویژه در بخش شرقی روستای کلاته آهنی دیده می‌شود که به شرح زیر است:

سرب: بین ۱ تا ۷۶۰۰ گرم در تن متغیر است. بیشترین مقادیر (بیش از ۲۱۸۷ گرم در تن) در جنوب شرقی کلاته آهنی و در محل رگه‌های کانی‌سازی، توده مونزونیتی و حفریات معدنی دیده می‌شود (شکل ۸).

روی: بین ۴ تا ۵۷۹۰ گرم در تن متغیر است. بیشترین مقادیر (بیش از ۱۹۸۱ گرم در تن) در جنوب شرقی کلاته آهنی و در محل رگه‌های کانی‌سازی، توده مونزونیتی و حفریات معدنی و نیز در نمونه‌ای در شمال شرقی کلاته دیده می‌شود (شکل ۹).

مس: بین ۲ تا ۵۱۴۶ گرم در تن متغیر است. بیشترین مقادیر (بیش از ۵۰۴ گرم در تن) در جنوب شرقی کلاته آهنی و در محل رگه‌های کانی‌سازی، توده مونزونیتی و حفریات معدنی دیده می‌شود (شکل ۱۰).

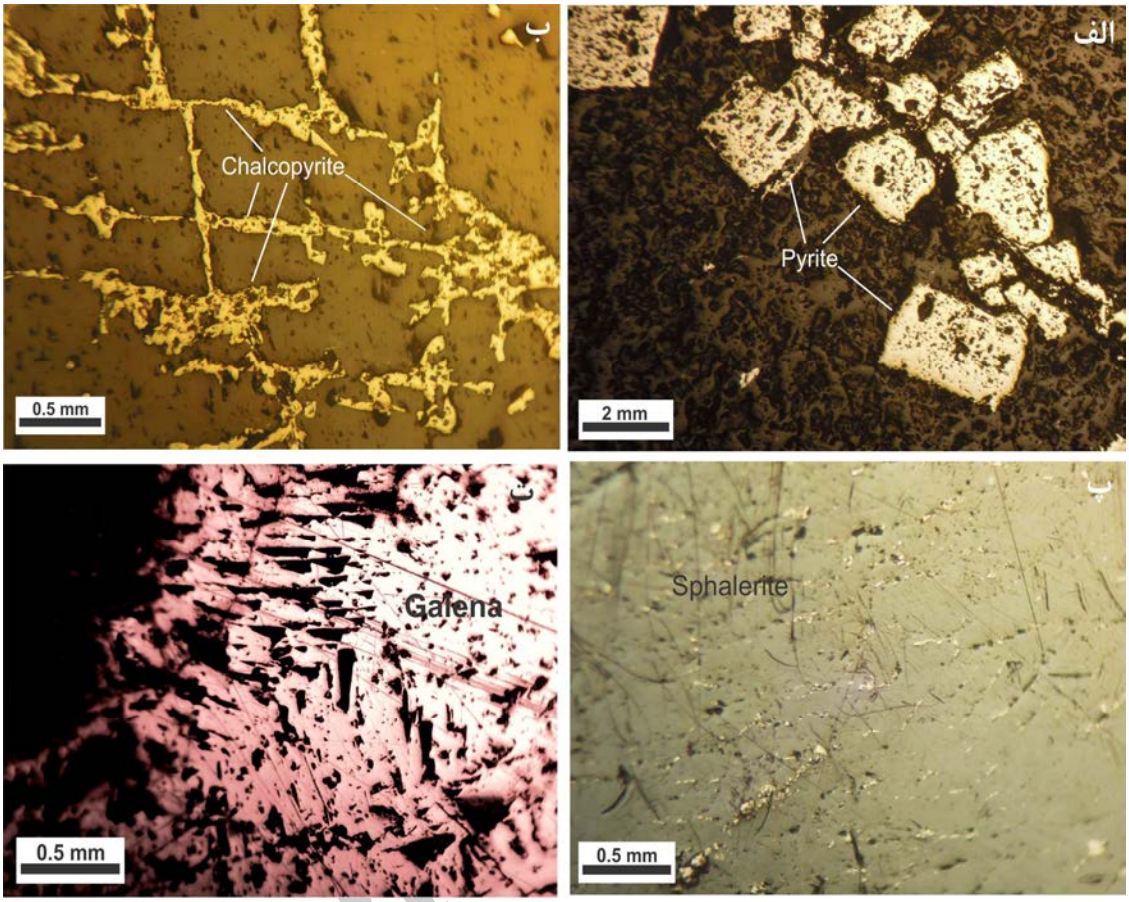
آرسنیک: بین ۱ تا ۳۳۰۰ گرم در تن متغیر است. بیشترین مقادیر (بیش از ۶۲۹ گرم در تن) در جنوب شرقی کلاته آهنی و در محل رگه‌های کانی‌سازی، توده مونزونیتی و حفریات معدنی دیده می‌شود (شکل ۱۱).

قلع: بین ۱ تا ۲۱۶ گرم در تن متغیر است. بیشترین مقدار در نمونه‌ای در شمال شرقی کلاته آهنی دیده می‌شود (شکل ۱۲). لازم به ذکر است که مقدار قلع در بخش شمالی منطقه (کلاته رودگز) تا بیش از ۱۰۰۰۰ گرم در تن در رگه‌های کانی‌سازی وجود دارد [۱۱].

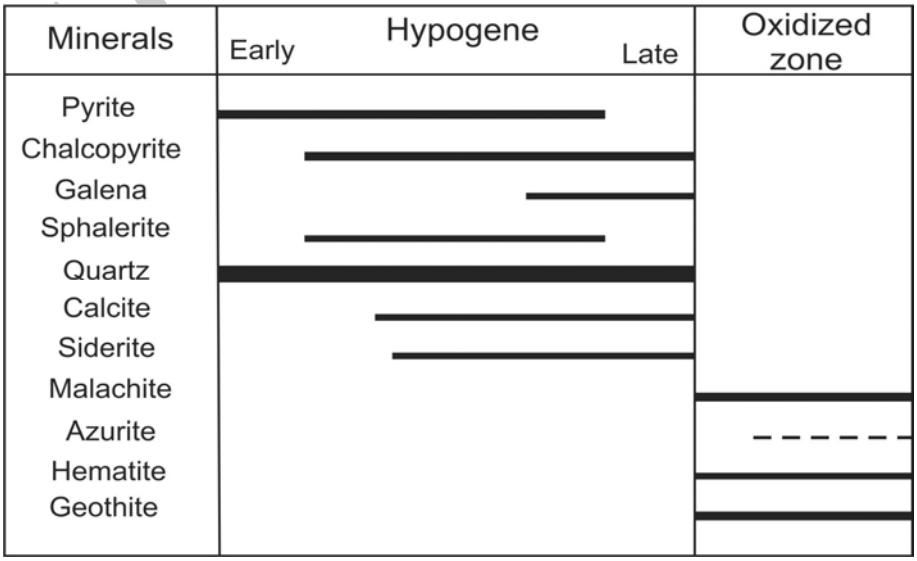
Archive of SID

www.SID.ir

طلا: بین ۱ تا ۳۲۷ میلی گرم در تن متغیر است. بیشترین مقادیر (بیش از ۲۲ میلی گرم در تن) در جنوب شرقی کلاته آهنی و در محل رگه‌های کانی‌سازی، توده مونزونیتی و حفریات معدنی دیده می‌شود (شکل ۱۳).

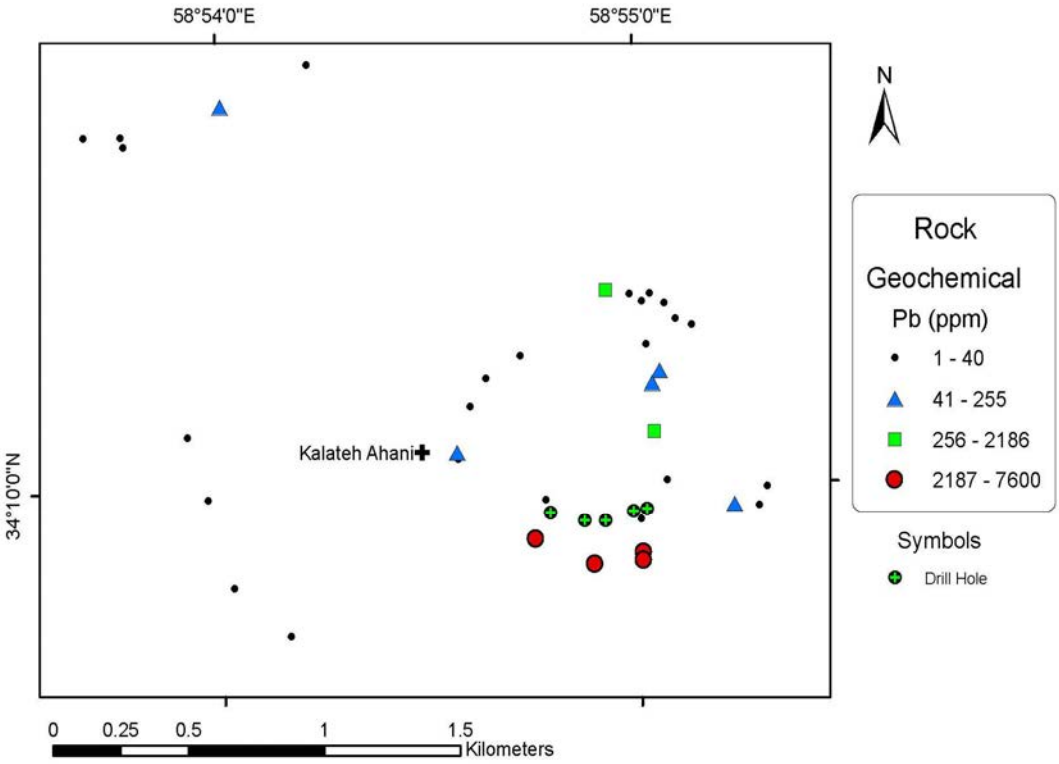


شکل ۶. تصاویر میکروسکپی از کانیهای سولفیدی موجود در رگه و رگه‌چه‌ها از مغزه‌های مطالعه‌شده منطقه کلاته آهنی. الف) پیریت، ب) رگه‌چه‌های کالکوپیریت، پ) بافت اکسلوشن بین اسفالریت و کالکوپیریت و ت) گالن

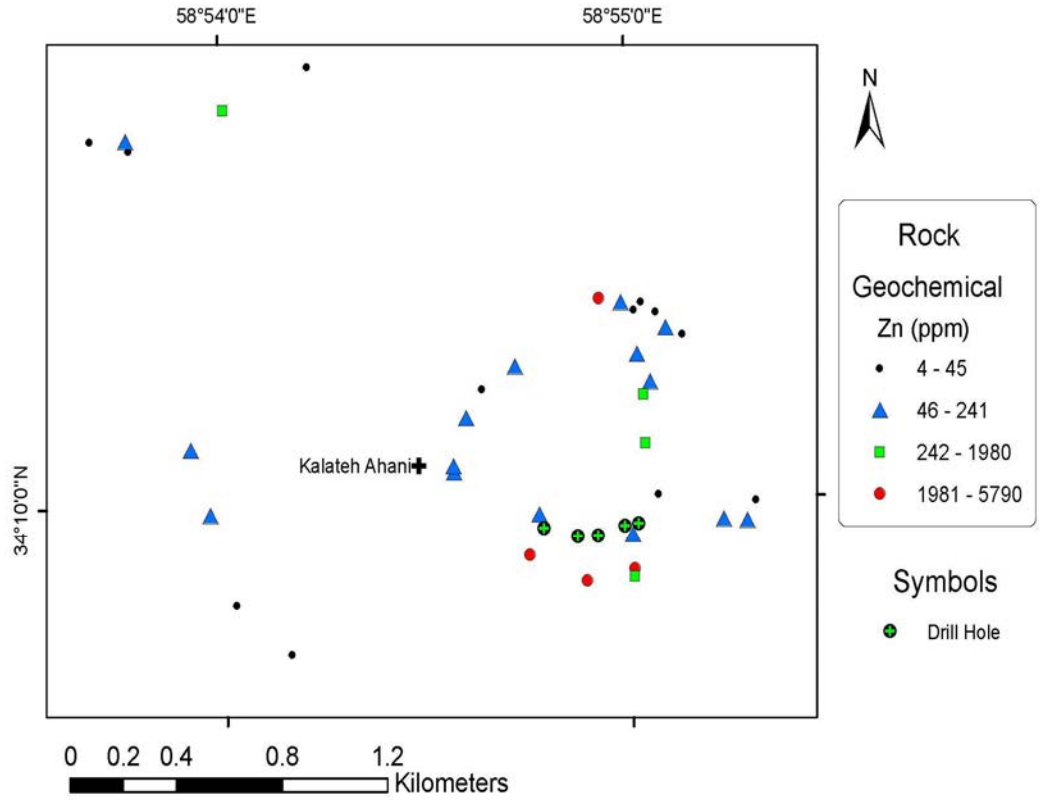


شکل ۷. توالی پاراژنز کانیهای فلزی و غیرفلزی مرتبط با محلول کانه‌دار منطقه کلاته آهنی

www.SID.ir

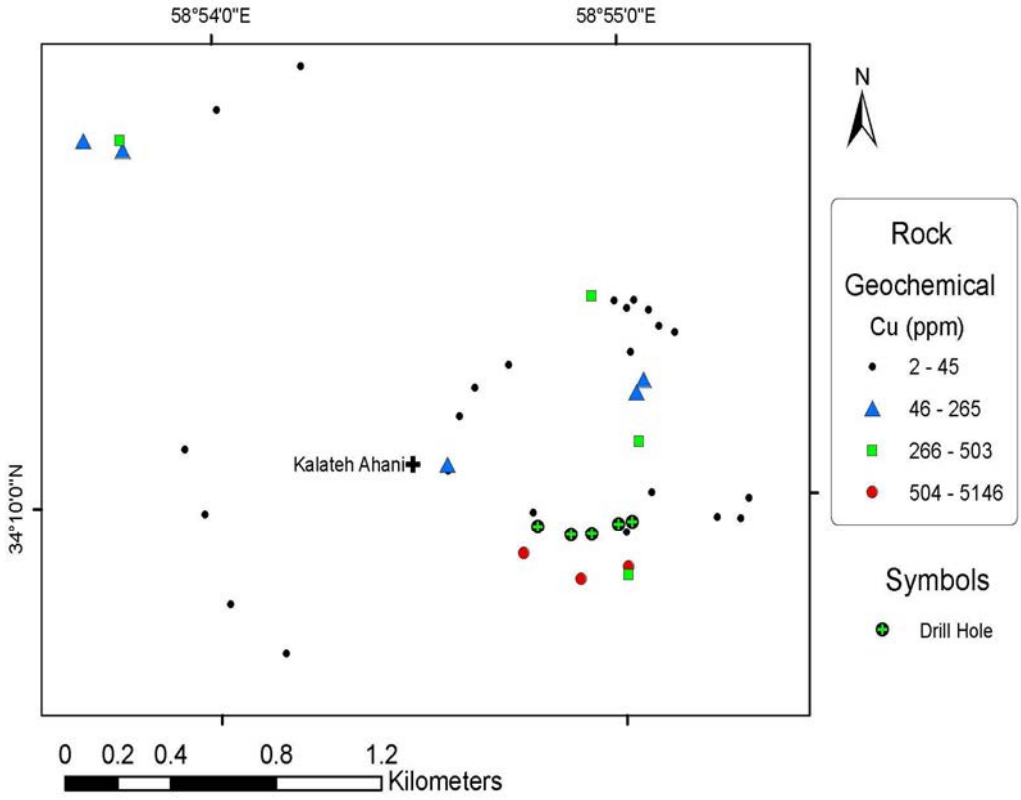


شکل ۸. نقشه ژئوشیمی سطحی عنصر سرب براساس آنالیز نمونه‌های خرده‌سنگی در منطقه کلاته آهنی

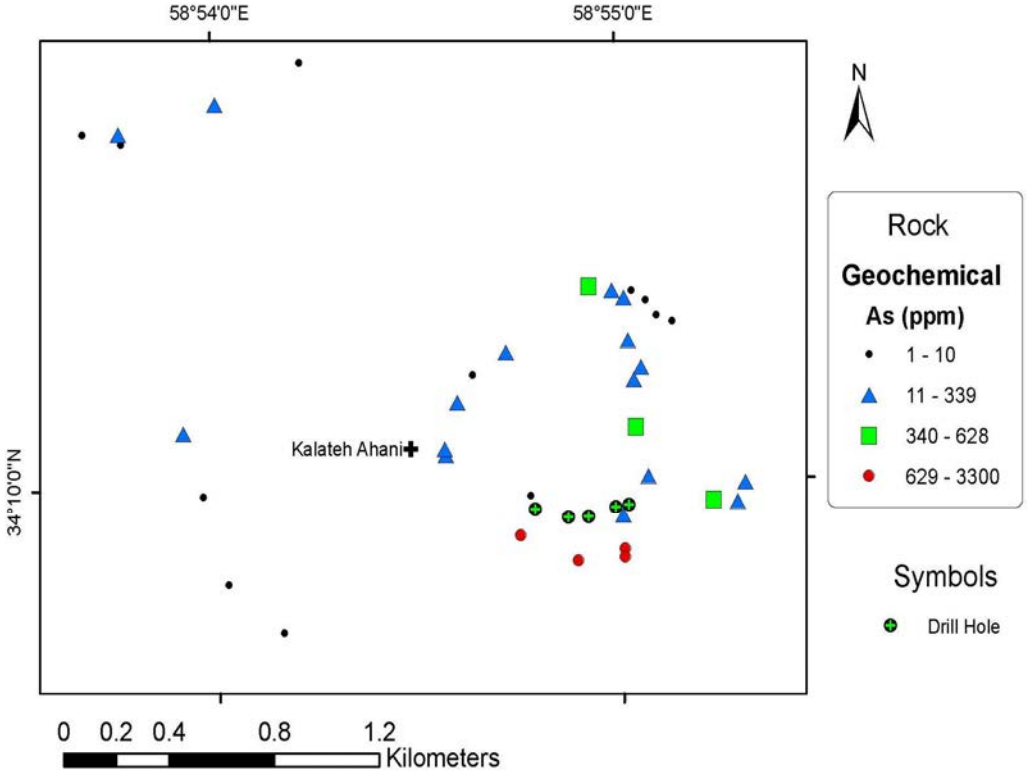


شکل ۹. نقشه ژئوشیمی سطحی عنصر روی براساس آنالیز نمونه‌های خرده‌سنگی در منطقه کلاته آهنی

www.SID.ir

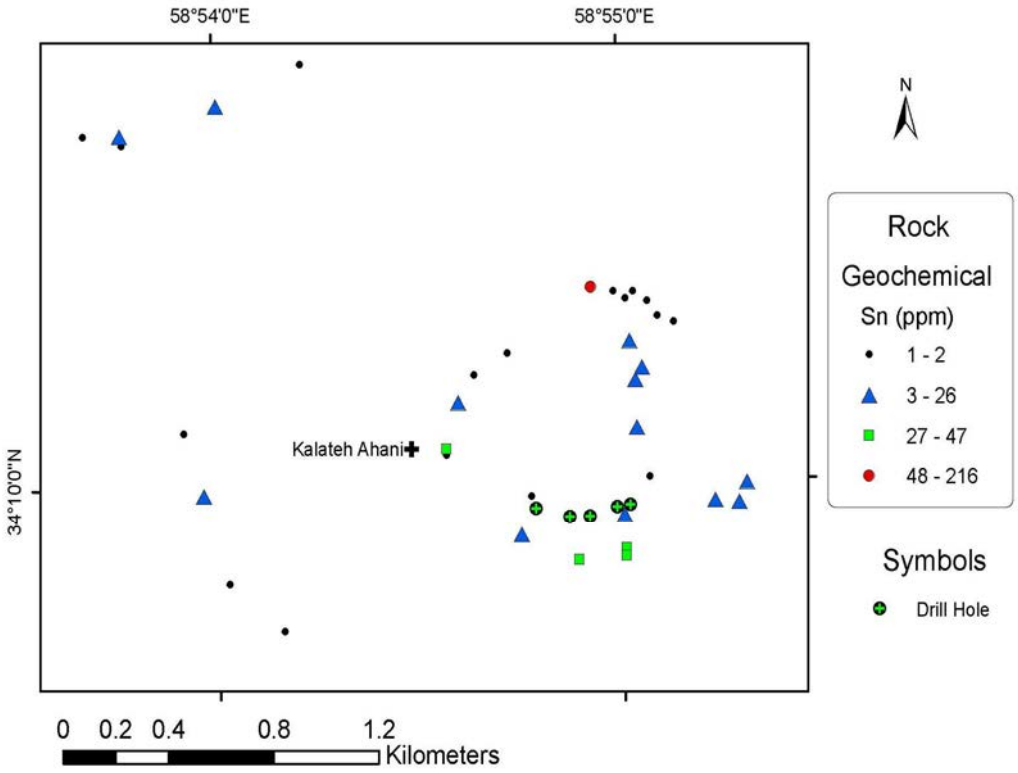


شکل ۱۰. نقشه ژئوشیمی سطحی عنصر مس براساس آنالیز نمونه‌های خرده‌سنگی در منطقه کلاته آهنی

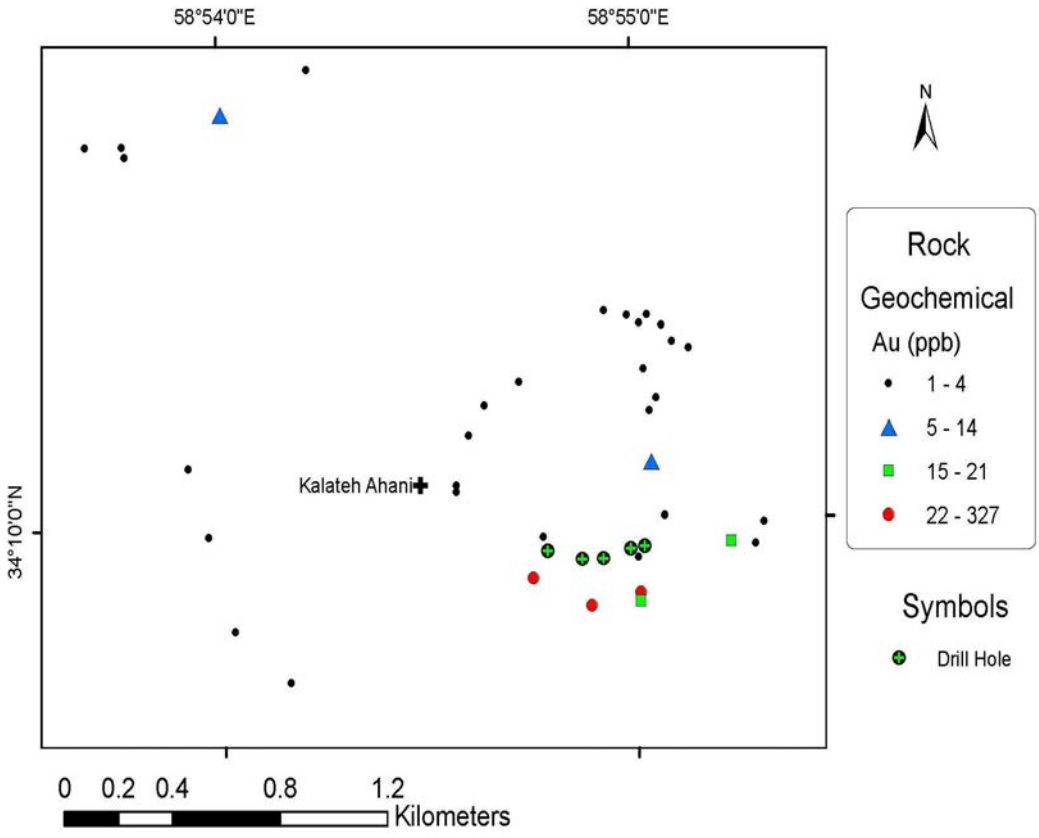


شکل ۱۱. نقشه ژئوشیمی سطحی عنصر آرسنیک براساس آنالیز نمونه‌های خرده‌سنگی در منطقه کلاته آهنی

www.SID.ir



شکل ۱۲. نقشه ژئوشیمی سطحی عنصر قلع براساس آنالیز نمونه‌های خرده‌سنگی در منطقه کلاته آهنی



شکل ۱۳. نقشه ژئوشیمی سطحی عنصر طلا براساس آنالیز نمونه‌های خرده‌سنگی در منطقه کلاته آهنی

www.SID.ir

نتایج آنالیز نمونه‌های ژئوشیمیایی خرده‌سنگی برداشت شده از مغزه‌ها برای برخی عناصر مهم همراه با شماره گمانه و عمق مربوطه در جدول ۱ ارائه شده است.

مس: بین ۲ تا ۶۱۳۷ گرم در تن متغیر است. بیشترین مقدار در عمق ۳۴ متری گمانه BH-8 دیده می‌شود که مربوط به حضور کانی کالکوپیریت به‌صورت افشان و رگه‌چه‌ای است (جدول ۱ و شکل ۱۴). همچنین مقادیر قابل توجهی از مس در اعماق۷۵/۱ و ۵۵/۷ متری گمانه BH-9 (به ترتیب ۶۰۵۱ و ۱۴۵۳ گرم در تن)، ۳۷/۵ تا ۳۸ متری گمانه BH-5 (۴۱۱۱ گرم در تن) و ۲۶/۵ متری گمانه BH-7 (۱۰۹۵ گرم در تن) وجود دارد که به دلیل وجود کالکوپیریت است (جدول ۱ و شکل ۱۴).

سرب: بین ۱۰ تا بیش از ۱۰۰۰۰ گرم در تن متغیر است. بیشترین مقادیر در اعماق ۳۷/۵ تا ۳۸ متری گمانه BH-5 و ۷۵/۱ متری گمانه BH-9 دیده می‌شود که رگه ورگه‌چه‌های گالن‌دار نیز در همین بخشها دیده شده است. همچنین مقادیر قابل توجهی از سرب در اعماق ۱۳/۸ و ۲۶/۵ متری گمانه BH-7 (به ترتیب ۱۱۴۶ و ۴۶۶۱ گرم در تن) و عمق ۳۴ متری گمانه BH-8 (۱۱۸۳ گرم در تن) وجود دارد (جدول ۱ و شکل ۱۴).

روی: بین ۱۰۱ تا بیش از ۱۰۰۰۰ گرم در تن متغیر است. بیشترین مقادیر در اعماق ۳۷/۵ تا ۳۸ متری گمانه BH-5، ۷۴/۳ متری گمانه BH-6 و ۷۵/۱ متری گمانه BH-9 دیده می‌شود که مربوط به رگه ورگه‌چه‌های اسفالریت‌دار است. هماهنگی خوبی بین ناهنجاری بالای روی و سرب مشاهده می‌گردد. همچنین مقادیر قابل توجهی از روی در اعماق ۳۲/۱ و ۳۷/۱ تا ۳۷/۲ متری گمانه BH-5 (به ترتیب ۳۲۹۲ و ۴۹۳۴ گرم در تن)، ۲۴/۴ و ۴۴/۶ متری گمانه BH-6 (به ترتیب ۳۸۸۴ و ۷۸۹۰ گرم در تن)، ۳۹ متری گمانه BH-7 (۶۸۱۹ گرم در تن) و عمق ۳۴ متری گمانه BH-8 (۵۶۶۶ گرم در تن) وجود دارد (جدول ۱ و شکل ۱۴).

طلا: بین کمتر از ۰/۵ تا ۱۴۹۸ میلی گرم در تن متغیر است. بیشترین مقدار در عمق ۲۶/۵ متری گمانه BH-7 دیده می‌شود. در عمق ۶۳/۱ متری گمانه BH-6 نیز تا ۵۷۰ میلی گرم در تن طلا وجود دارد (جدول ۱ و شکل ۱۵).

آرسنیک: بین ۲ تا بیش از ۱۰۰۰۰ گرم در تن متغیر است. بیشترین مقدار در عمق ۶۳/۱ متری گمانه BH-6 دیده می‌شود. همچنین مقدار قابل توجهی از آرسنیک در عمق ۲۶/۵ متری گمانه BH-7 (۷۷۶۸ گرم در تن) وجود دارد. مکانهای قابل توجه از نظر مقدار آرسنیک با بخشهای با ناهنجاری بالای طلا هماهنگی دارد (جدول ۱ و شکل ۱۵).

آنتیموان: بین کمتر از ۰/۱ تا ۴۲ گرم در تن متغیر است. مقدار این عنصر در مجموع قابل توجه نیست اما بیشترین مقدار در عمق ۶۳/۱ متری گمانه BH-6 و در محل ناهنجاری بالای آرسنیک و طلا دیده می‌شود (جدول ۱ و شکل ۱۵).

قلع: بین کمتر از ۱ تا ۱۳۳ گرم در تن متغیر است. بیشترین مقدار در عمق ۲۶/۵ متری گمانه BH-7 دیده می‌شود که کمتر از مقدارهای مشخص شده در نمونه‌های ژئوشیمیایی سطح است. همان‌طور که ذکر شد، مقادیر بالایی از قلع در منطقه کلاته رودگز و در خارج از منطقه مطالعاتی (شمال محدوده) دیده شده است (جدول ۱ و شکل ۱۶).

تنگستن: بین کمتر از ۰/۵ تا ۵۸ گرم در تن متغیر است. مقدار این عنصر در مجموع قابل توجه نیست اما بیشترین مقدار در عمق ۱۳/۸ متری گمانه BH-7 دیده می‌شود (جدول ۱ و شکل ۱۶).

نقره: بین کمتر از ۰/۱ تا ۵۰ گرم در تن متغیر است. مقدار این عنصر در مجموع قابل توجه نیست اما بیشترین مقدار در عمق ۳۷/۵ تا ۳۸ متری گمانه BH-5 دیده می‌شود (جدول۱).

بیسموت: بین کمتر از ۰/۱ تا ۳۹۷ گرم در تن متغیر است. بیشترین مقدار در عمق ۷۵/۱ متری گمانه BH-9 دیده می‌شود و بقیه نمونه‌ها مقدار قابل توجهی از این عنصر ندارند (جدول ۱).

سن سنجی U-Pb زیرکن

بعد از مطالعات دقیق پتروگرافی، آلتراسیون و کانی‌سازی، دو نمونه از توده‌های مونزونیتی از گمانه‌های BH-6 و BH-7 که همراه با رگه‌چه‌های سولفیددار بوده و ارتباط با کانی‌سازی و ناهنجاریهای ژئوشیمیایی با آنها محرز است، برای سن‌سنجی انتخاب شد. نتایج آنالیز سن‌سنجی U-Th-Pb در کانی زیرکن در جدولهای ۲ و ۳ آمده است. همچنین نمودار میانگین سن تعیین‌شده و کنکردیای آنها در شکلهای ۱۷ و ۱۸ نشان‌داده شده است. بر پایه حدود ۳۰ نقطه آنالیز روی دانه‌های زیرکن، سن توده مونزونیتی گمانه BH-7 برابر با ۰/۶±۱۰۸/۷ میلیون سال و نمونه گمانه BH-6 برابر با

Archive of SID

www.SID.ir

۱±۱۰۹/۴ میلیون سال به‌دست آمد (شکلهای ۱۷ و ۱۸). از طرفی نسبت U/Th در زیرکان، ابزاری مناسب برای تعیین پتروژنز است، زیرا به‌طور معمول در زیرکن‌های دگرگونی نسبت U/Th بیش از ۵ تا ۱۰ و در زیرکن‌های آذرین کمتر از ۵ است [۱۲ تا ۱۴]. این نسبت در زیرکن‌های مطالعه‌شده کمتر از ۵ بوده که نشان‌دهنده ماهیت ماگماتیکی زیرکن‌هاست. این ویژگی همراه با خصوصیت حرارت خاتمه بالای زیرکن [۱۵] به ما اجازه می‌دهد تا اطلاعات U-Pb به‌دست آمده را نماینده سن تبلور توده آذرین بدانیم. این توده‌های مونزونیتی در کرتاسه تحتانی (آلبین) در منطقه نفوذ کرده‌اند.

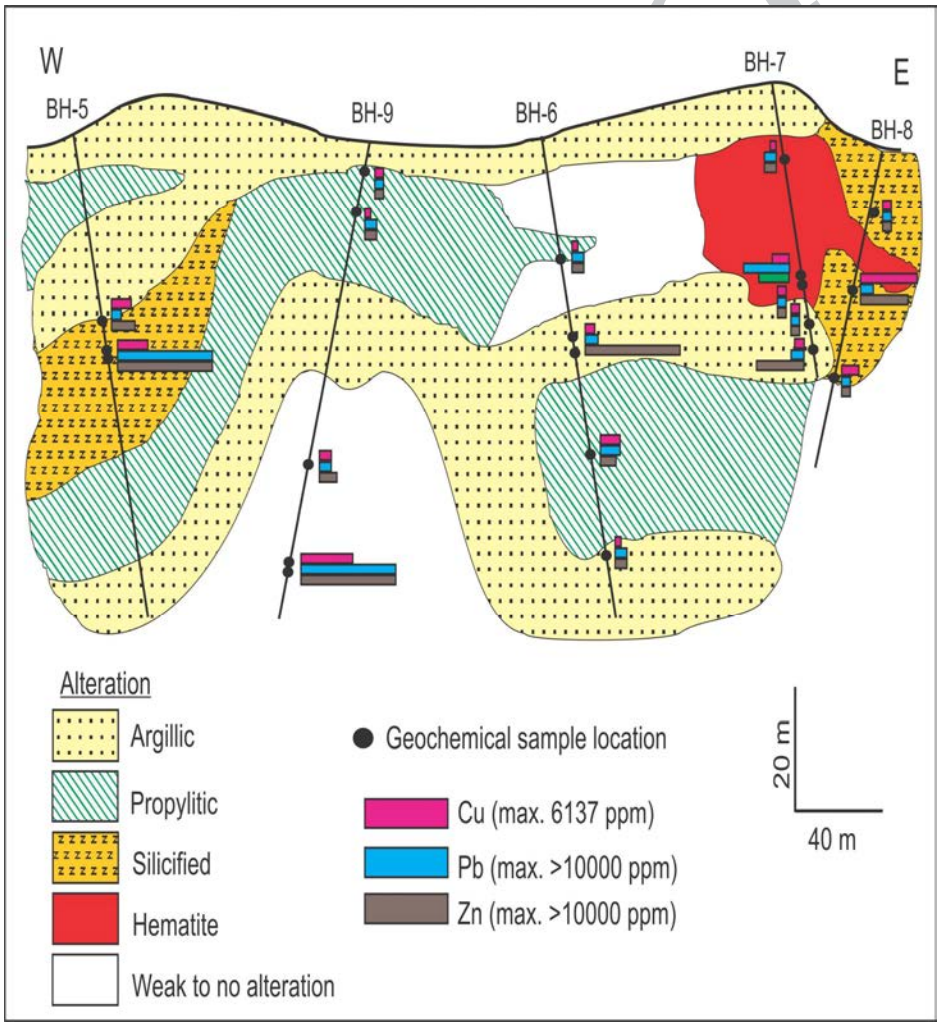
جدول ۱. نتایج آنالیز نمونه‌های خرده‌سنگی برداشت شده از مغزه‌ها

شماره گمانه	شماره نمونه	عمق نمونه (متر)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	As (ppm)	Au (ppb)	Sb (ppm)	Bi (ppm)	Ag (ppm)	Sn (ppm)	W (ppm)
BH-5	KTA-28	۳۲/۱۰	۲۳	۶۳	۳۲۹۲	۸۷	۸	۲	۰/۶	۰/۴	۱۹	۴
	KTA-29	۳۷/۲-۳۷/۱	۲۴	۱۴۱	۴۹۳۴	۲۵	۷	۰/۶	۱	۰/۴	۷	۱
	KTA-30	۳۸-۳۷/۵	۴۱۱۱	>۱۰۰۰۰	>۱۰۰۰۰	۷۵	۵۳	۳۶	۴۲	۵۰	۲۶	<۰/۵
BH-6	KTA-11	۲۴/۴۰	۱۱۵	۱۵۹	۳۸۸۴	۵۷	۳	۱	۱	۰/۲	۳۶	۱۲
	KTA-12	۴۴/۶۰	۸	۴۵	۷۸۹۰	۹	۲	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	۱	۲
	KTA-15	۷۵	۱۸۲	۱۴	۱۰۸	۲۲	۲	۰/۲	۲	۰/۱	۷۴	۶
	KTA-18	۷۴/۳۰	۲	۱۳۰	>۱۰۰۰۰	۱۴	۳	۰/۶	<۰/۱	<۰/۱	۱	۳
	KTA-23	۶۳/۱۰	۱۷۹	۷۰۴	۱۳۰۹	>۱۰۰۰۰	۵۷۰	۴۲	۴۴	۳	۴۷	۶
BH-7	KTA-35	۱۳/۸	۶۹۴	۱۱۴۶	۷۱۳	۴۷۸	۴۰	۱	۱۲	۲	۶۷	۵۸
	KTA-36	۲۶/۵	۱۰۹۵	۴۶۶۱	۱۴۶۷	۷۷۶۸	۱۴۹۸	۸	۱۳۴	۱۳	۱۳۳	۳
	KTA-37	۲۸/۸	۶۷	۳۹۸	۶۳۴	۵۶۷	۱۲	۱	۴	۰/۶	۱۳	۹
	KTA-39	۳۵	۳۹	۱۷	۶۱۸	۶۱	۲	<۰/۱	۰/۱	۰/۳	۱	۱
	KTA-40	۳۹	۳	۱۸	۶۸۱۹	۲۱	۲	۰/۳	<۰/۱	<۰/۱	<۱	۳
BH-8	KTA-41	۱۹/۱۰	۵۰	۱۲	۳۶۸	۱۷۱	۳	۱	۵	۰/۲	۱۷	۸
	KTA-42	۳۴	۶۱۳۷	۱۱۸۳	۵۶۶۶	۷۴۲	۳۲	۱	۲۷	۹	۲۵	۱۳
	KTA-44	۴۱-۴۰/۳۰	۶۳۴	۱۳۴	۳۳۸	۲	۳	<۰/۱	۱	۰/۵	<۱	<۰/۵
BH-9	KTA-1	۶/۱۰	۸	۱۲۷	۱۰۱	۴۷	۲	۱	۴	۱	۲۵	۶
	KTA-2	۱۵/۶۰	۶۰	۱۰	۳۱۸	۱۰۹	<۰/۵	۱	۱	<۰/۱	۱۳	۳
	KTA-8	۵۵/۷۰	۱۴۵۳	۹۷	۲۶۵	۹۵۶	۴۵	۱	۲۶	۱	۲۹	۱۰
	KTA-10	۷۷	۲	۱۱	۱۵۸۷	۳۱	۴	۲	<۰/۱	۰/۲	<۱	<۰/۵
	KTA-15.2	۷۵/۱۰	۶۰۵۱	>۱۰۰۰۰	>۱۰۰۰۰	۱۳۸	۵۳	۲۷	۳۹۷	<۰/۱	۳۹	۱

www.SID.ir

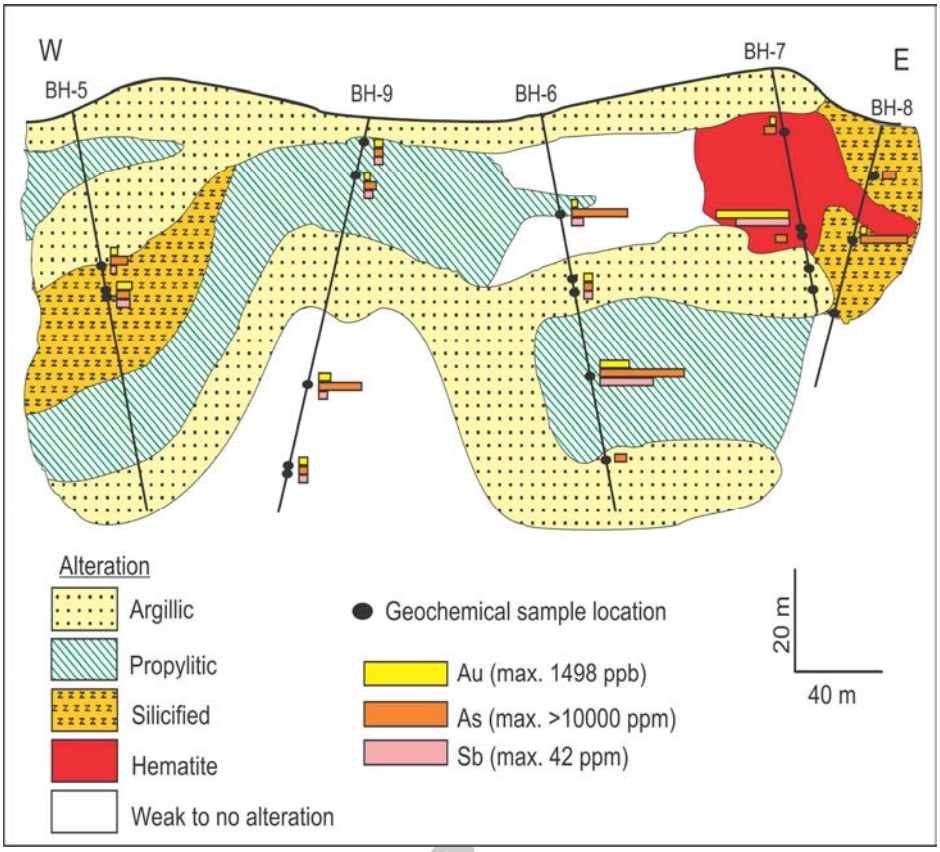
ایزوتوپ‌های Rb-Sr و Sm-Nd

اطلاعات ایزوتوپهای Rb-Sr و Sm-Nd دو نمونه توده مونزونیتی به ترتیب در جدولهای ۴ و ۵ ارائه شده است. نسبت ایزوتوپ اولیه $^{87}Sr/^{86}Sr$ و $^{143}Nd/^{144}Nd$ (با توجه به سن ۱۰۹ میلیون سال) به‌ترتیب برای نمونه BH-7 برابر با ۰/۷۱۰۱۸۹ و ۰/۵۱۲۲۷۰ و برای نمونه BH-6 برابر با ۰/۷۱۰۶۴۷ و ۰/۵۱۲۱۱۳ می‌باشد (جدولهای ۴ و ۵). میزان ایزوتوپ اولیه εNd_i در نمونه BH-7 برابر با ۴/۴۴- و در نمونه BH-6 برابر با ۷/۵۱- است (جدول ۵). براساس نمودار نسبت ایزوتوپ اولیه $^{143}Nd/^{144}Nd$ نسبت به $^{87}Sr/^{86}Sr$، ماگمای توده مونزونیتی کرتاسه تحتانی از ذوب‌بخشی پوسته قاره‌ای نشأت گرفته است (شکل ۱۹). مقایسه مقادیر ایزوتوپ‌های رادیوژنیک این توده‌ها با توده گرانودیوریتی احیایی ژوراسیک [۹] و توده‌های مونزونیتی اکسیدان ترشیاری [۱۰] نشان می‌دهد که ماگمای توده‌های نفوذی کرتاسه همانند توده گرانودیوریتی ژوراسیک از پوسته قاره‌ای منشأ گرفته، ولی رادیوژنیک‌تر است. اما ماگمای توده‌های مونزونیتی ترشیاری از ذوب‌بخشی پوسته اقیانوسی سرچشمه گرفته و کاملاً با دو ماگمای دیگر متفاوت است (شکل ۱۹).

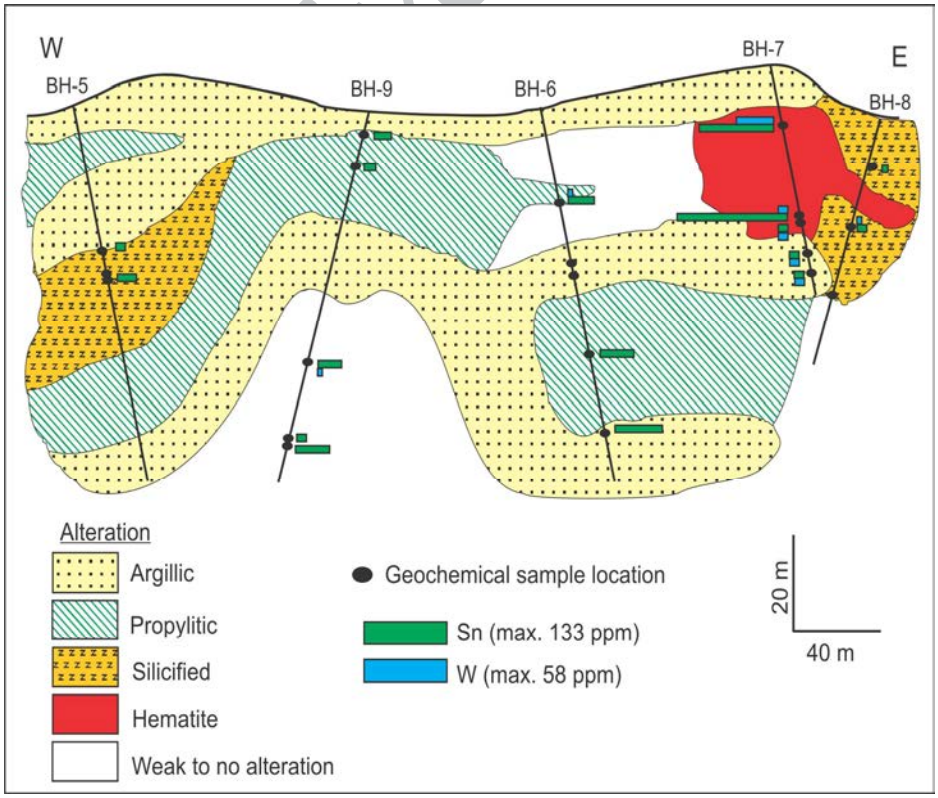


شکل ۱۴. مقطع آلتراسیون- ژئوشیمی عناصر مس، سرب و روی زیرسطحی منطقه کلاته آهنی براساس مطالعه گمانه‌ها

www.SID.ir



شکل ۱۵. مقطع آلتراسیون- ژئوشیمی عناصر طلا، آرسنیک و آنتیموان زیرسطحی منطقه کلاته آهنی براساس مطالعه گمانه‌ها



شکل ۱۶. مقطع آلتراسیون- ژئوشیمی عناصر قلع و تنگستن زیرسطحی منطقه کلاته آهنی براساس مطالعه گمانه‌ها

www.SID.ir

جدول ۲. نتایج آنالیز سن‌سنجی نمونه مونزونیتی BH-6

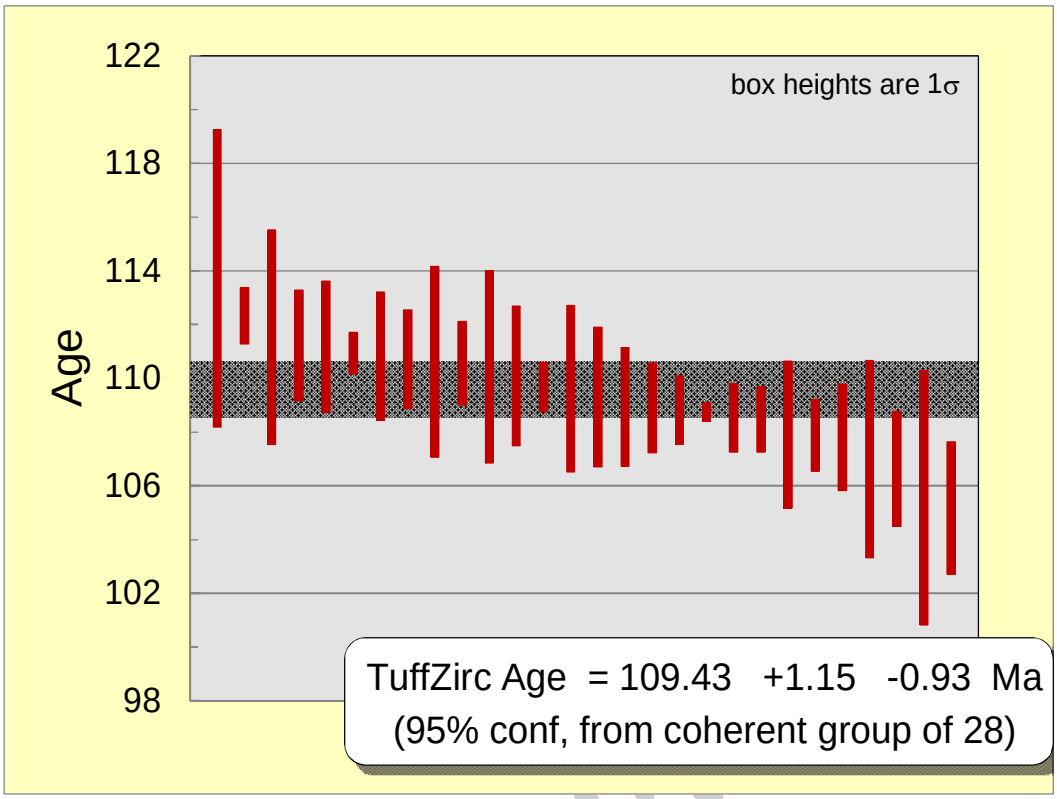
Sample No.	U (ppm)	$^{206}Pb/^{204}Pb$	U/Th	$^{206}Pb^*/^{207}Pb^*$	± (%)	$^{207}Pb^*/^{235}U^*$	± (%)	$^{206}Pb^*/^{238}U$	± (%)	Best Age (Ma)	± (Ma)
BH-6 - 1C	۱۲۸۵	۲۳۱۱۶۳	۷/۲	۲۰/۵۴۳۱	۱/۹	۰/۱۱۲۳	۳/۹	۰/۰۱۶۷	۳/۵	۱۰۷/۰	۳/۷
BH-6 - 2R	۶۴۸	۵۴۹۱۰۰	۴/۳	۲۰/۳۳۹۸	۷/۰	۰/۱۱۵۴	۷/۱	۰/۰۱۷۰	۱/۲	۱۰۸/۸	۱/۳
BH-6 - 2C	۴۸۴	۲۸۴۱۹۰	۳/۴	۱۹/۶۶۴۰	۸/۱	۰/۱۲۰۲	۸/۶	۰/۰۱۷۱	۲/۹	۱۰۹/۶	۳/۱
BH-6 - 3R	۵۵۷	۶۵۶۹۹۶	۱/۸	۲۰/۲۷۵۸	۵/۳	۰/۱۱۹۵	۵/۴	۰/۰۱۷۶	۰/۹	۱۱۲/۳	۱/۱
BH-6 - 4C	۵۲۴	۴۳۲۵۸۵	۵/۰	۲۱/۱۱۹۰	۵/۹	۰/۱۱۶۲	۷/۷	۰/۰۱۷۸	۴/۹	۱۱۳/۷	۵/۵
BH-6 - 7R	۷۸۳	۱۳۱۷۴۲	۵/۳	۲۰/۱۳۷۹	۱۰/۳	۰/۱۱۸۷	۱۰/۶	۰/۰۱۷۳	۲/۲	۱۱۰/۸	۲/۴
BH-6 - 7C	۳۸۵	۱۴۹۲۶۵	۵/۲	۲۰/۰۸۷۱	۵/۴	۰/۱۱۷۳	۵/۹	۰/۰۱۷۱	۲/۴	۱۰۹/۳	۲/۶
BH-6 - 9R	۳۷۱	۲۰۰۹۵۰	۳/۰	۱۹/۷۶۰۰	۸/۶	۰/۱۲۰۵	۹/۲	۰/۰۱۷۳	۳/۳	۱۱۰/۴	۳/۶
BH-6 - 10R	۶۷۹	۶۴۹۰۹۴	۵/۰	۲۰/۹۹۷۱	۵/۵	۰/۱۱۳۷	۵/۷	۰/۰۱۷۳	۱/۷	۱۱۰/۷	۱/۸
BH-6 - 10C	۴۲۲	۳۹۸۴۶۱	۳/۷	۲۰/۲۴۷۲	۸/۷	۰/۱۱۷۳	۹/۰	۰/۰۱۷۲	۲/۴	۱۱۰/۰	۲/۶
BH-6 - 12R	۷۲۵	۲۹۹۱۹۵	۳/۳	۲۰/۴۶۲۴	۲/۶	۰/۱۱۶۵	۳/۰	۰/۰۱۷۳	۱/۴	۱۱۰/۵	۱/۶
BH-6 - 13R	۶۱۶	۷۳۶۰۵	۲/۶	۱۹/۷۶۶۲	۶/۱	۰/۱۲۰۷	۶/۹	۰/۰۱۷۳	۳/۲	۱۱۰/۶	۳/۶
BH-6 - 14R	۳۵۳	۲۱۳۹۲۹	۲/۳	۱۸/۸۴۲۲	۱۰/۲	۰/۱۲۷۷	۱۰/۸	۰/۰۱۷۴	۳/۶	۱۱۱/۵	۴/۰
BH-6 - 15R	۵۷۴	۳۶۷۱۸۰	۲/۹	۲۰/۳۷۱۵	۶/۲	۰/۱۱۷۸	۶/۵	۰/۰۱۷۴	۱/۹	۱۱۱/۲	۲/۱
BH-6 - 16R	۱۷۹۰	۱۰۱۲۵۳۳	۴/۰	۲۰/۴۸۹۱	۱/۶	۰/۱۱۴۲	۲/۰	۰/۰۱۷۰	۱/۲	۱۰۸/۵	۱/۳
BH-6 - 17R	۶۷۶	۶۰۰۳۰۰	۴/۲	۲۰/۳۲۰۷	۵/۳	۰/۱۱۴۵	۵/۹	۰/۰۱۶۹	۲/۶	۱۰۷/۹	۲/۷
BH-6 - 18R	۱۶۱۰	۱۳۰۵۵۰۶	۲/۸	۲۰/۴۱۰۳	۲/۳	۰/۱۱۴۹	۲/۳	۰/۰۱۷۰	۰/۳	۱۰۸/۷	۰/۴
BH-6 - 19R	۱۰۸۶	۴۸۵۸۵۱	۲/۷	۲۰/۶۴۶۲	۳/۷	۰/۱۱۳۷	۴/۰	۰/۰۱۷۰	۱/۵	۱۰۸/۹	۱/۷
BH-6 - 20R	۸۳۷	۶۶۹۶۰۱	۴/۸	۲۱/۴۷۷۷	۴/۸	۰/۱۰۹۴	۵/۳	۰/۰۱۷۰	۲/۱	۱۰۸/۹	۲/۲
BH-6 - 21R	۱۰۴۰	۳۲۸۱۱۷	۲/۴	۲۰/۷۳۲۴	۳/۶	۰/۱۱۵۴	۳/۶	۰/۰۱۷۴	۰/۷	۱۱۰/۹	۰/۸
BH-6 - 24R	۱۲۵۸	۵۳۹۸۳۶	۲/۷	۲۰/۸۵۴۶	۱/۱	۰/۱۱۳۴	۱/۴	۰/۰۱۷۲	۰/۸	۱۰۹/۶	۰/۹
BH-6 - 25R	۷۰۴	۳۴۶۴۱۱	۴/۱	۲۰/۳۳۹۲	۵/۷	۰/۱۱۷۹	۶/۱	۰/۰۱۷۴	۲/۲	۱۱۱/۱	۲/۵
BH-6 - 26R	۷۱۳	۳۵۸۶۸	۳/۵	۱۸/۸۱۲۲	۳/۷	۰/۱۲۴۳	۳/۸	۰/۰۱۷۰	۱/۱	۱۰۸/۴	۱/۲
BH-6 - 18R2	۱۱۷۸	۴۶۸۴۶۱	۴/۱	۱۹/۰۶۳۶	۱۱/۲	۰/۱۱۹۴	۱۲/۱	۰/۰۱۶۵	۴/۵	۱۰۵/۵	۴/۷
BH-6 - 29R	۱۰۸۳	۶۷۴۷۶۴	۳/۴	۱۹/۷۰۵۴	۱/۸	۰/۱۶۰۳	۱/۹	۰/۰۲۹۹	۰/۷	۱۴۶/۰	۱/۰
BH-6 - 30C	۸۱۲	۴۲۶۴۶۲	۳/۱	۲۰/۴۷۷۶	۲/۱	۰/۱۱۳۶	۲/۴	۰/۰۱۶۹	۱/۳	۱۰۷/۸	۱/۳
BH-6 - 14R2	۳۰۲	۲۶۷۷۴۰	۲/۰	۲۰/۳۸۱۲	۱۰/۰	۰/۱۱۴۰	۱۰/۲	۰/۰۱۶۹	۱/۹	۱۰۷/۸	۲/۰
BH-6 - 19R2	۱۰۰۱	۱۹۹۵۵	۳/۴	۱۷/۷۱۰۱	۴/۶	۰/۱۲۹۸	۵/۰	۰/۰۱۶۷	۲/۰	۱۰۶/۶	۲/۱
BH-6 - 31R	۷۳۱	۴۰۳۳۴۹	۴/۹	۲۰/۶۷۵۱	۲/۸	۰/۱۰۹۷	۳/۷	۰/۰۱۶۴	۲/۴	۱۰۵/۱	۲/۵

www.SID.ir

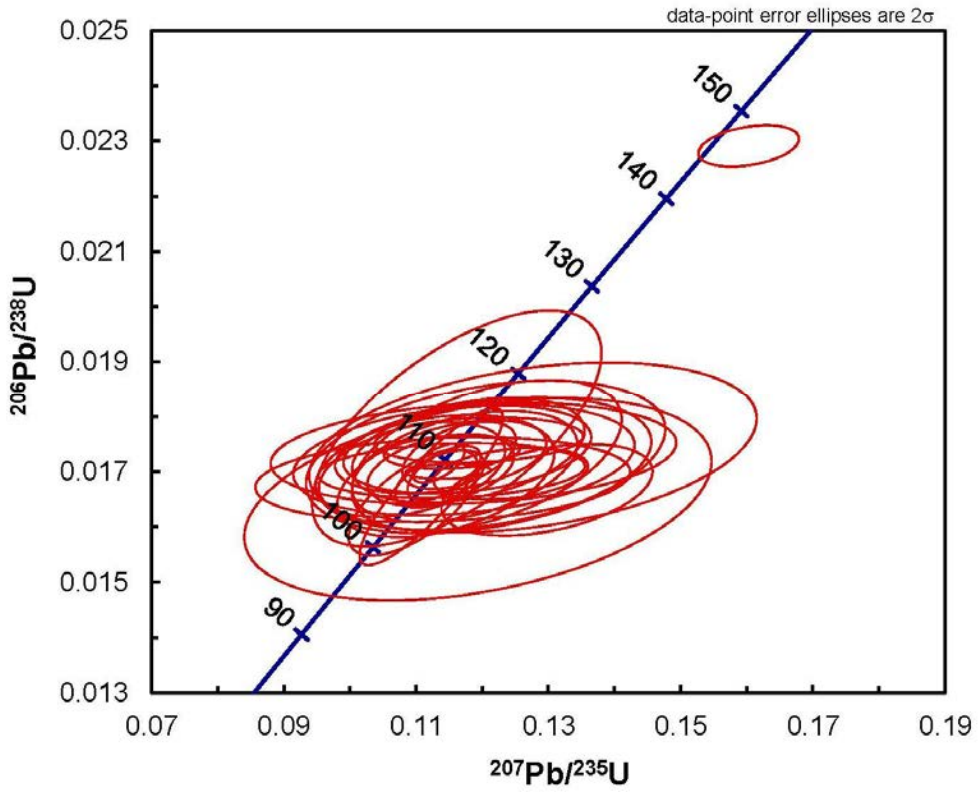
جدول ۳. نتایج آنالیز سن‌سنجی نمونه مونزونیتی BH-7

Sample No.	U (ppm)	$^{206}Pb/^{204}Pb$	U/Th	$^{206}Pb^*/^{207}Pb^*$	± (%)	$^{207}Pb^*/^{235}U^*$	± (%)	$^{206}Pb^*/^{238}U$	± (%)	Best Age (Ma)	± (Ma)
BH-7 - 1C	۵۰۹	۱۷۹۸۳۱	۴/۰	۲۰/۴۹۷۱	۶/۳	۰/۱۱۵۷	۶/۴	۰/۰۱۷۲	۱/۴	۱۰۹/۹	۱/۵
BH-7 - 3R	۱۳۵۲	۶۰۶۳۹۰	۴/۳	۲۰/۳۰۴۴	۲/۵	۰/۱۱۴۸	۲/۷	۰/۰۱۶۹	۱/۰	۱۰۸/۱	۱/۰
BH-7 - 3C	۵۹۵	۳۷۱۳۳۱	۲/۶	۲۰/۶۶۰۶	۴/۳	۰/۱۱۳۴	۴/۸	۰/۰۱۷۰	۲/۰	۱۰۸/۶	۲/۲
BH-7 - 4C	۱۵۸۸	۱۲۶۴۴۹۶	۲/۸	۲۰/۹۸۳۰	۲/۳	۰/۱۱۵۰	۲/۴	۰/۰۱۷۵	۰/۸	۱۱۱/۸	۰/۹
BH-7 - 4R	۷۸۱	۴۷۸۸۰	۳/۹	۱۹/۱۹۰۸	۴/۴	۰/۱۲۱۶	۵/۹	۰/۰۱۶۹	۳/۹	۱۰۸/۲	۴/۲
BH-7 - 5C	۲۷۱	۲۰۳۵۱۸	۲/۵	۱۹/۹۷۳۹	۶/۶	۰/۱۱۸۱	۶/۹	۰/۰۱۷۱	۲/۰	۱۰۹/۳	۲/۱
BH-7 - 5R	۱۱۶۲	۱۹۳۳۷۴	۳/۸	۲۰/۴۷۱۲	۲/۶	۰/۱۱۴۰	۲/۹	۰/۰۱۶۹	۱/۳	۱۰۸/۲	۱/۴
BH-7 - 6R	۹۴۴	۵۰۷۴۴۲	۳/۹	۲۰/۵۴۷۵	۳/۶	۰/۱۱۴۶	۳/۹	۰/۰۱۷۱	۱/۷	۱۰۹/۲	۱/۹
BH-7 - 7C	۵۱۸	۱۶۰۰۳۲	۳/۲	۱۹/۶۷۲۷	۷/۵	۰/۱۱۸۷	۷/۸	۰/۰۱۶۹	۲/۱	۱۰۸/۳	۲/۲
BH-7 - 8R	۱۲۱۲	۲۹۳۰۷۰	۳/۰	۲۰/۰۲۸۸	۲/۲	۰/۱۱۵۹	۲/۵	۰/۰۱۶۸	۲/۱	۱۰۷/۷	۱/۳
BH-7 - 10R	۷۹۳	۷۶۵۵۸۱	۳/۲	۲۱/۲۱۱۶	۳/۱	۰/۱۰۷۲	۳/۴	۰/۰۱۶۵	۳/۱	۱۰۵/۵	۱/۴
BH-7 - 11R	۸۲۸	۵۵۳۰۴۶	۴/۷	۲۰/۰۰۳۳	۴/۹	۰/۱۲۰۸	۵/۱	۰/۰۱۷۵	۱/۴	۱۱۲/۰	۱/۶
BH-7 - 13R	۷۳۷	۵۲۲۰۵۳	۳/۴	۲۰/۹۴۵۸	۴/۱	۰/۱۱۱۵	۴/۲	۰/۰۱۶۹	۰/۸	۱۰۸/۳	۰/۹
BH-7 - 14R	۶۸۲	۵۳۰۶۸۴	۳/۲	۲۰/۷۰۴۱	۶/۱	۰/۱۰۹۸	۶/۶	۰/۰۱۶۵	۲/۵	۱۰۵/۴	۲/۶
BH-7 - 15R	۶۲۳	۳۹۰۰۲۲	۲/۹	۲۰/۵۶۹۲	۴/۹	۰/۱۱۴۵	۵/۲	۰/۰۱۷۱	۱/۶	۱۰۹/۲	۱/۷
BH-7 - 16R	۲۴۰۰	۳۷۰۰۱	۳/۰	۱۹/۱۰۹۲	۳/۵	۰/۱۲۲۶	۳/۶	۰/۰۱۷۰	۱/۱	۱۰۸/۶	۱/۲
BH-7 - 18R	۱۱۱۳	۵۴۱۳۳۴	۴/۳	۲۰/۵۵۱۹	۲/۰	۰/۱۱۵۶	۲/۴	۰/۰۱۷۲	۱/۳	۱۱۰/۱	۱/۵
BH-7 - 20R	۱۰۰۱	۸۸۰۶۵	۳/۳	۱۹/۲۸۱۳	۱۰/۱	۰/۱۲۱۶	۱۰/۶	۰/۰۱۷۰	۳/۵	۱۰۸/۷	۳/۷
BH-7 - 23R	۵۴۹	۲۳۴۴۳۲	۲/۴	۲۰/۹۵۸۶	۴/۳	۰/۱۱۰۲	۴/۹	۰/۰۱۶۸	۲/۳	۱۰۷/۱	۲/۵
BH-7 - 24R	۱۰۹۸	۶۵۷۸۲۰	۳/۰	۲۰/۸۶۷۹	۲/۳	۰/۱۱۴۸	۲/۸	۰/۰۱۷۴	۱/۶	۱۱۱/۰	۱/۸
BH-7 - 26R	۱۲۹۸	۷۷۷۸۶۱	۲/۴	۲۰/۴۳۳۸	۱/۷	۰/۱۱۲۸	۲/۴	۰/۰۱۶۷	۱/۷	۱۰۶/۹	۱/۸
BH-7 - 27R	۱۰۱۱	۳۰۰۳۱۷	۳/۰	۲۰/۶۱۶۰	۲/۷	۰/۱۱۲۲	۳/۳	۰/۰۱۶۸	۱/۷	۱۰۷/۲	۱/۹
BH-7 - 28R	۴۹۴	۱۷۷۸۶۲	۳/۹	۱۹/۳۷۱۷	۵/۷	۰/۱۲۳۷	۵/۸	۰/۰۱۷۴	۱/۱	۱۱۱/۱	۱/۳
BH-7 - 3R2	۷۲۷	۳۶۴۷۲۶	۳/۲	۱۹/۴۵۸۰	۵/۴	۰/۱۱۵۶	۵/۷	۰/۰۱۷۲	۱/۷	۱۰۹/۶	۱/۸
BH-7 - 8R2	۶۶۴	۲۹۷۸۷۸	۳/۳	۲۰/۴۹۷۸	۵/۰	۰/۱۱۲۰	۵/۸	۰/۰۱۶۷	۳/۰	۱۰۶/۵	۳/۲
BH-7 - 29R	۱۳۷۱	۲۱۷۵۹	۱/۹	۱۷/۳۴۷۶	۱۰/۰	۰/۱۲۷۹	۱۰/۲	۰/۰۱۶۱	۱/۶	۱۰۲/۹	۱/۷
BH-7 - 15R2	۶۷۶	۴۲۴۹۶۱	۳/۱	۲۰/۱۱۵۳	۴/۳	۰/۱۱۶۲	۴/۶	۰/۰۱۷۰	۱/۶	۱۰۸/۴	۱/۷
BH-7 - 18R2	۵۹۵	۹۳۲۲۱	۴/۰	۲۰/۴۶۲۴	۴/۰	۰/۱۲۱۱	۴/۶	۰/۰۱۸۰	۲/۱	۱۱۴/۸	۲/۴
BH-7 - 26R2	۹۸۰	۱۳۳۸۵۱	۴/۷	۲۰/۲۱۶۳	۴/۰	۰/۱۱۹۴	۴/۲	۰/۰۱۷۵	۱/۲	۱۱۱/۹	۱/۴
BH-7 - 31R	۱۲۱۰	۴۹۱۶۸۰	۳/۰	۲۰/۴۵۹۹	۳/۴	۰/۱۱۵۱	۳/۶	۰/۰۱۷۱	۱/۰	۱۰۹/۲	۱/۱
BH-7 - 32R	۴۲۱	۱۵۱۰۲۷	۳/۱	۲۰/۳۹۴۰	۷/۶	۰/۱۱۶۷	۸/۱	۰/۰۱۷۳	۲/۹	۱۱۰/۳	۳/۲

www.SID.ir

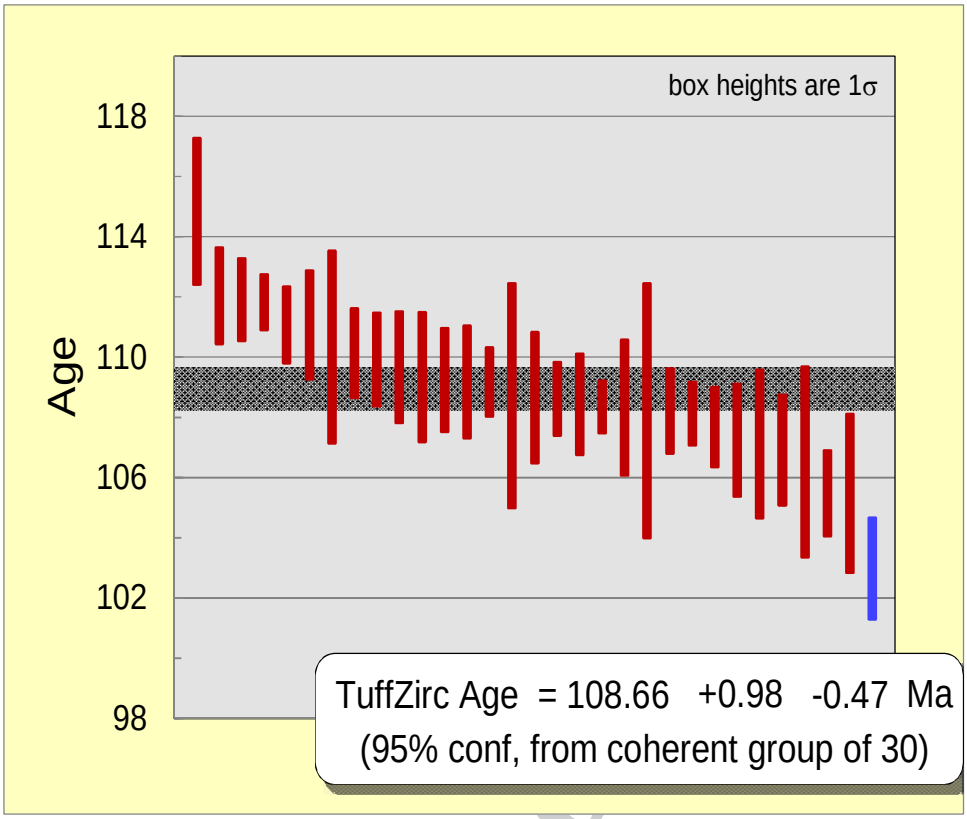


شکل ۱۷ الف. میانگین سن تعیین‌شده از اطلاعات ایزوتوپی U-Pb برای نمونه مونزونیتی BH-6

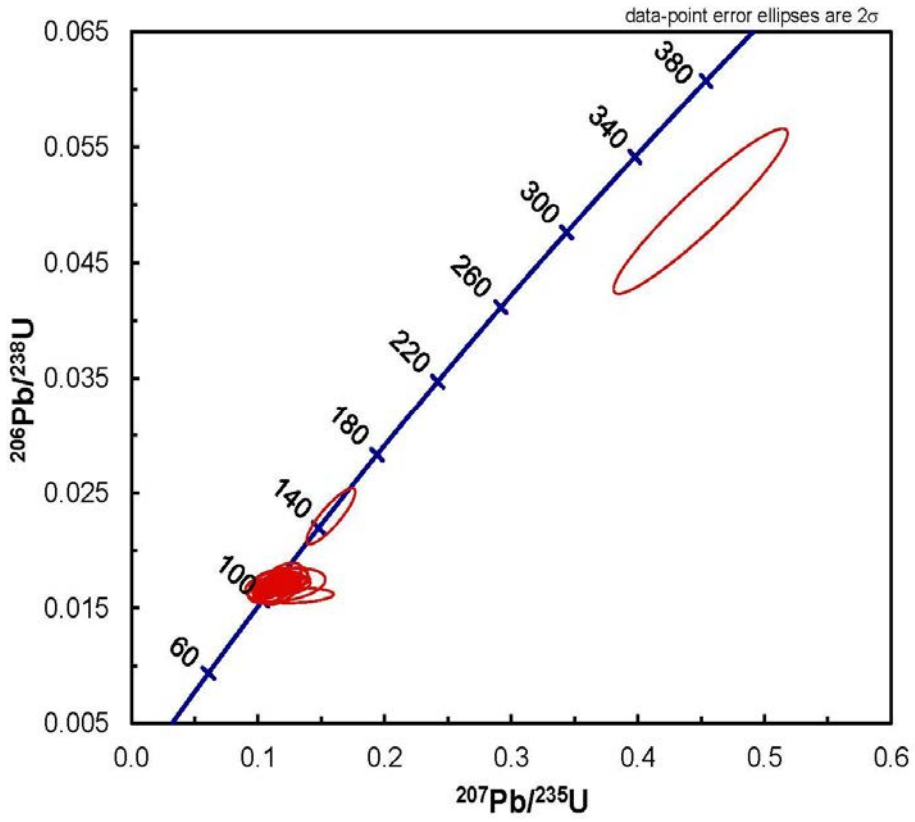


شکل ۱۷ ب. نمودار کنکردیای سن تعیین‌شده از اطلاعات ایزوتوپی U-Pb برای نمونه مونزونیتی BH-6

www.SID.ir



شکل ۱۸ الف. میانگین سن تعیین شده از اطلاعات ایزوتوپی U-Pb برای نمونه مونزونیتی BH-7



شکل ۱۸ ب. نمودار کنکردیای سن تعیین شده از اطلاعات ایزوتوپی U-Pb برای نمونه مونزونیتی BH-7

www.SID.ir

جدول۴. داده‌های ایزوتوپی مربوط به ایزوتوپ‌های Rb-Sr توده مونزونیتی

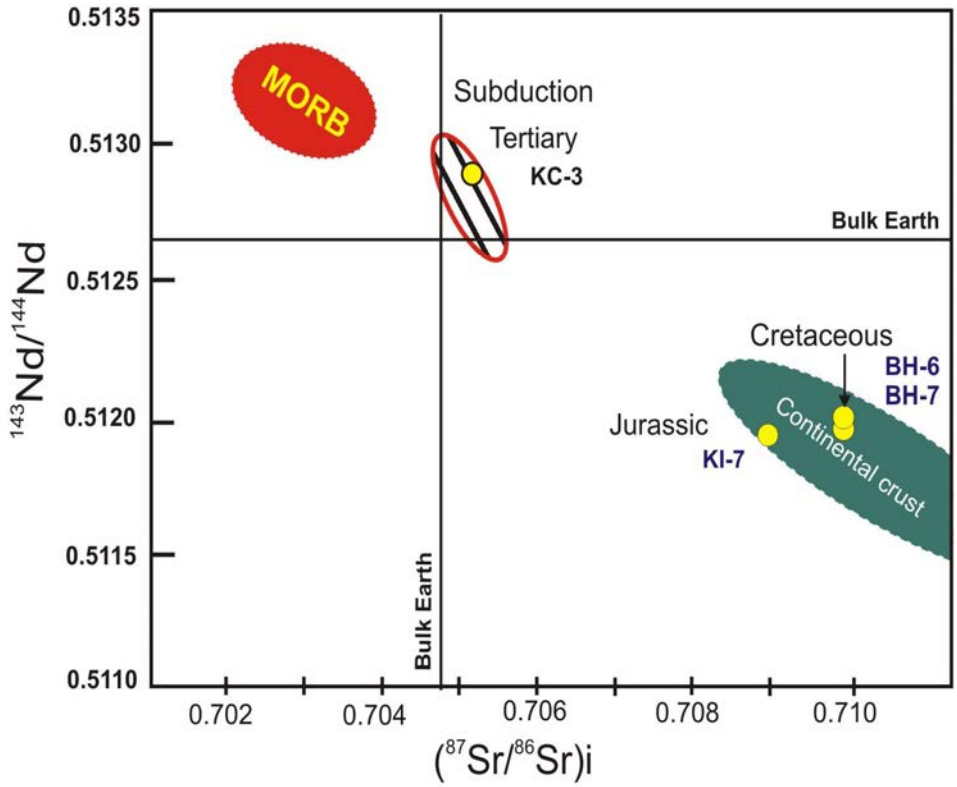
SAMPLE	AGE (ma)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	$^{87}Rb/^{86}Sr$	$^{87}Sr/^{86}Sr$ uncertainty	$^{87}Sr/^{86}Sr$ measured	$^{87}Sr/^{86}Sr$ initial
BH-6	۱۰۹	۲۰/۸۲	۸۴۱/۷	۰/۰۷۱۵	۰/۰۰۰۰۰۶	۰/۷۱۰۷۵۸	۰/۷۱۰۶۴۷
BH-7	۱۰۹	۸/۸	۲۵۴/۶	۰/۰۹۹۹	۰/۰۰۰۰۱۶	۰/۷۱۰۳۴۴	۰/۷۱۰۱۸۹

m= measured. Errors are reported as 1σ (95% confidence limit).
The initial ratio of $^{87}Sr/^{86}Sr$ calculated using $^{87}Rb/^{86}Sr$ and $(^{87}Sr/^{86}Sr)$m and an age 109 (age based on zircon).

جدول۵. داده‌های ایزوتوپی مربوط به ایزوتوپ‌های Sm-Nd توده مونزونیتی

SAMPLE	AGE (ma)	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd$ measured	$^{143}Nd/^{144}Nd$ initial	$^{145}Nd/^{144}Nd$	εNdI
BH-6	۱۰۹	۲/۷	۱۱/۶	۰/۱۴۰۷	۰/۵۱۲۲۱۳	۰/۵۱۲۱۱۳	۰/۳۴۸۴	-۷/۵۱
BH-7	۱۰۹	۴/۹	۳۵	۰/۰۸۵۳	۰/۵۱۲۳۳۱	۰/۵۱۲۲۷۰	۰/۳۴۸۴۰۱	-۴/۴۴

m= measured. Errors are reported as 1σ (95% confidence limit).
The initial ratio of $^{143}Nd/^{144}Nd$ calculated using $^{147}Sm/^{144}Nd$ and $(^{143}Nd/^{144}Nd)$m and an age of 161.85 (age based on zircon). εNdI, initial εNd value.



شکل ۱۹. موقعیت توده‌های نفوذی مونزونیتی کرتاسه کلاته آهنی و مقایسه آن با توده احیایی گرانودیوریتی ژوراسیک [۹] و توده مونزونیتی اکسیدان ترشیاری [۱۰] در نمودار $(^{143}Nd/^{144}Nd)_i$ در برابر $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$. محیط MORB، فرورانش و پوسته قاره‌ای از [۱۶].

www.SID.ir

بحث و نتیجه‌گیری

زمین‌شناسی منطقه شامل سنگهای رسوبی دگرگون‌شده سازند شمشک است که توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق مونزونیتی در آنها نفوذ نموده‌اند. آلتراسیون‌های آرژیلیک، سیلیسی، پروپلیتیک و هماتیتی در سنگهای دگرگونی و توده‌های مونزونیتی دیده می‌شود که زون آرژیلیک به‌عنوان مهمترین آلتراسیون منطقه، توده‌های نفوذی را به شدت تحت تأثیر قرار داده است. کانی‌سازی منطقه در سطح به شکل دو رگه سیلیسی- سولفیدی با امتداد شمال غربی- جنوب شرقی دیده می‌شود که بخش اعظم کانیهای سولفیدی اکسید شده‌اند. در مطالعه مغزه‌ها، کانی‌سازی رگه‌چه‌ای و افشان در توده‌های مونزونیتی و سنگهای دگرگونی اطراف شناسایی شد. بیشترین تراکم رگه‌چه‌ها تا ۳۸ عدد در متر در واحد بیوتیت مونزونیت پورفیری است. کانیهای اولیه شامل پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت و کانیهای ثانویه شامل مالاکیت، کریزوکلا، هماتیت و گوتیت همراه با باطله کوارتز و سیدریت است. ناهنجاریهای بالای ژئوشیمیایی از عناصر مس، سرب، روی، قلع، آرسنیک و طلا در رگه‌ها و رگچه‌های کانی‌سازی در سطح و مغزه‌ها دیده می‌شود. به‌طوری‌که حداکثر مس تا بیش از ۰/۶ درصد، آرسنیک، سرب و روی تا بیش از ۱ درصد، طلا تا ۰/۱۵ گرم در تن و قلع تا ۱۳۳ گرم در تن اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است که مقدار قلع در رگه‌ای در شمال محدوده تا بیش از ۱ درصد می‌رسد.

سن‌سنجی زیرکن به‌روش U-Pb و مقایسه مقادیر نسبت ایزوتوپ اولیه $^{87}Sr/^{86}Sr$ و $^{143}Nd/^{144}Nd$ در منطقه نجم‌آباد- کلاته آهنی همراه با شواهد آلتراسیون، کانی‌سازی و ژئوشیمی اکتشافی وجود سه مرحله مختلف ماگماتیسم را نشان می‌دهد:

۱- قدیمترین مرحله ماگماتیسم این منطقه مربوط به فاز کوه‌زایی ژوراسیک میانی (۱۶۲ تا ۱۶۴ میلیون سال قبل) در بلوک لوت است. طی این کوه‌زایی و افزایش ضخامت پوسته قاره‌ای، ماگمایی احیایی با ترکیب گرانیتی- گرانودیوریتی از ذوب‌بخشی پوسته قاره‌ای حاصل شده است که سن آن براساس اندازه‌گیری U-Pb در زیرکن، ۱۶۱/۸۵ میلیون سال (ژوراسیک میانی) تعیین شده است. مقادیر نسبت $^{87}Sr/^{86}Sr$ اولیه (۰/۷۰۹۱۳۱) و نسبت $^{143}Nd/^{144}Nd$ اولیه (۰/۵۱۲۰۹۵) نیز سرچشمه‌گرفتن ماگما از پوسته قاره‌ای را تأیید می‌کند [۹]. نفوذ این ماگما به داخل سنگهای رسوبی دگرگون‌شده در طی دگرگونی ناحیه‌ای، باعث ایجاد دگرگونی همبری شده و هورنفلز و اسلیت لکه‌ای را در حاشیه این باتولیت به‌وجود آورده است. اثری از رگه و رگه‌چه‌های کانی‌ساری پلی‌متال منطقه در این توده گرانیتی- گرانودیوریتی دیده نمی‌شود.

۲- فاز دوم ماگماتیسم مربوط به وقوع فاز کوه‌زایی دیگری در کرتاسه تحتانی (۱۰۹ میلیون سال قبل) است. طی این کوه‌زایی و افزایش ضخامت پوسته قاره‌ای، ماگمای احیایی با ترکیب مونزونیتی از ذوب‌بخشی پوسته قاره‌ای حاصل شده است که سن آن براساس اندازه‌گیری U-Pb در زیرکن، ۱۰۹ میلیون سال (کرتاسه فوقانی) تعیین شده است. مقادیر نسبت $^{87}Sr/^{86}Sr$ اولیه (۰/۷۱۰۱۸۹ تا ۰/۷۱۰۶۴۷) و نسبت $^{143}Nd/^{144}Nd$ اولیه (۰/۵۱۲۱۱۳ تا ۰/۵۱۲۲۷۰) نیز نشأت‌گرفتن ماگما از پوسته قاره‌ای را تأیید می‌کند. نسبتهای ایزوتوپی این ماگما رادیوژنیک‌تر از ماگماتیسم ژوراسیک است. این توده‌های نفوذی عمدتاً در بخش جنوبی منطقه نجم‌آباد- کلاته آهنی در سطح رخنمون دارند و در بررسی مغزه‌های حفاری در عمق نیز دیده شده‌اند. این توده‌های مونزونیتی در اغلب نقاط به شدت تحت تأثیر آلتراسیون آرژیلیک قرار گرفته و رگه و رگه‌چه‌های متنوع سولفیدی در داخل آنها و سنگهای دگرگونی اطراف آنها دیده می‌شود. علاوه بر آن کانی‌سازی افشان سولفیدی در آنها وجود دارد. همچنین ناهنجاریهای بالای ژئوشیمیایی از عناصر مس، سرب، روی، طلا، قلع و آرسنیک همراه با آنها اندازه‌گیری شده است.

۳- جوانترین مرحله ماگماتیسم منطقه، مربوط به فرورانش بلوک افغان به زیر بلوک لوت و تشکیل ماگماتیسم وسیع ترشیاری در بلوک لوت است که بیش از نیمی از آن را پوشانده است. این فعالیت ماگماتیکی در ائوسن به اوج خود رسیده است. توده‌های مونزونیتی و مونزودیوریتی زیادی در منطقه دیده می‌شود که سن آنها براساس اندازه‌گیری U-Pb در زیرکن، ۳۹/۹ میلیون سال (ائوسن میانی) تعیین شده است. برپایه مقادیر نسبت $^{87}Sr/^{86}Sr$ اولیه (۰/۷۰۵۱۲) و نسبت $^{143}Nd/^{144}Nd$ اولیه (۰/۵۱۲۸۵۱) ماگمای این توده‌ها از پوسته اقیانوسی فرورانش کرده منشأ گرفته است. ماگمای این توده‌ها برخلاف دو مرحله ماگماتیسم قبلی از نوع اکسیدان و سری مگنتیت است [۱۰]. این توده‌ها فاقد هرگونه

Archive of SID

www.SID.ir

کانی‌سازی بوده و ناهنجاری عناصر سرب، روی، مس و قلع در آنها بسیار پایین است [۱۱].

ناهنجاری بالای قلع، مس، سرب، روی، آرسنیک و طلا به‌ویژه در بخشهای مرکزی منطقه (کلاته رودگز) [۱۱] (شمال کلاته آهنی) نشان می‌دهد که عامل به‌وجود آورنده کانی‌سازی و این ناهنجاریها به خصوص قلع باید یک ماگمای احیایی باشد. وجود آلتراسیون شدید آرژیلیک و کانی‌سازی افشان و رگه‌چه‌ای همراه با توده‌های احیایی (سری ایلمنیت) مونزونیتی کرتاسه تحتانی، بیانگر آن است که آنها می‌توانند منشأ محلول کانه‌دار منطقه باشند و لذا تشکیل این کانی‌سازی نیز مربوط به کرتاسه تحتانی است. از آن جایی‌که منطقه مورد مطالعه در شمال گسل دشت بیاض قرار گرفته و دو مرحله کوه‌زایی نیز در آن اتفاق افتاده است، فعالیتهای تکتونیکی گسترده‌ای در آن به وقوع پیوسته است و گسل‌خوردگی و درزو شکستگیهای زیادی دیده می‌شود. لذا بخش عمده محلول کانه‌دار وارد این محیطها شده و کانی‌سازی منطقه عمدتاً به شکل رگه‌ای دیده می‌شود. مطالعات این مقاله و بررسی جامع انجام‌شده در منطقه نجم‌آباد- کلاته آهنی طی سالهای مختلف منجر به معرفی اولین کانی‌سازی پلی‌متال (قلع، مس، سرب، روی، آرسنیک، طلا) به سن کرتاسه تحتانی در شرق ایران و بلوک لوت شده است. علاوه بر آن فاز ماگماتیسم احیایی به سن کرتاسه تحتانی که حاصل ذوب‌بخشی پوسته قاره‌ای است در این بخش از ایران معرفی گردید که تاکنون شناخته نشده بود. بی‌شک این پژوهش پنجره‌ای متفاوت از فعالیتهای ماگمایی بلوک لوت و جایگاه تکتونوماگمایی آن و کانی‌سازی ویژه مرتبط با آن را در شرق ایران مشخص نموده است که می‌تواند گامی برای اکتشاف هرچه بیشتر این نوع کانی‌سازی و توده‌های نفوذی مربوط به آن در دیگر نقاط بلوک لوت باشد.

تشکر و قدردانی

اعتبار پژوهشی این پروژه از محل پژوهه در دانشگاه فردوسی مشهد در ارتباط با طرح پژوهشی شماره ۲۳۳۸۲ مورخ ۹۱/۷/۴ تأمین شده است.

مراجع

[۱] آقانباتی ع.، "*زمین شناسی ایران*"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۸۳) ۶۰۶ ص.

[۲] ملکزاده شفارودی الف.، "*زمین‌شناسی، کانی‌سازی، آلتراسیون، ژئوشیمی، میکروترمومتری، مطالعات ایزوتوپی و تعیین منشأ کانی‌سازی مناطق اکتشافی ماهرآباد و خوپیک، استان خراسان جنوبی*"، رساله دکتری (Ph.D) زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۸۸) ۶۰۰ ص.

[۳] ملکزاده شفارودی الف.، کریم‌پور م. ح.، "*سن‌سنجی زیرکان به‌روش اورانیم- سرب در منطقه اکتشافی مس- طلا پورفیری ماهرآباد: شاهدی بر دوره متالوژنیک ائوسن میانی ذخایر پورفیری در شرق ایران*"، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، سال سوم، شماره ۱ (۱۳۹۰) ص ۴۱-۶۰.

[4] Lotfi M., "*Geological and geochemical investigations on the volcanogenic Cu, Pb, Zn, Sb ore- mineralizations in the Shurab-GaleChah and northwest of Khur (Lut, east of Iran)*". Unpublished Ph.D thesis, der Naturwissenschaften der Universitat Hamburg (1982) 151 p.

[۵] سلاطی الف.، کریم‌پور م. ح.، ملکزاده شفارودی الف.، حیدریان شهری م. ر.، فارمر ل.، استرن چ.، "*سن‌سنجی زیرکن (U-Pb)، ژئوشیمی ایزوتوپهای Sr-Nd و پتروژنز گرانیتوئیدهای اکسیدان منطقه کیبرکوه (جنوب‌غربی خواف)*"، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، سال چهارم، شماره ۲ (۱۳۹۱) ص ۲۸۵-۳۰۱.

[6] Arjmandzadeh R., Karimpour M. H., Mazaheri S. A., Santos J. F., Medina J. M., Homam S. M., "*Sr-Nd isotope geochemistry and petrogenesis of the Chah-Shaljami granitoids (Lut block, eastern Iran)*", Journal of Asian Earth Sciences 41 (2011) 283-296.

[۷] عبدی م.، کریم‌پور م. ح.، "*زمین‌شناسی، دگرسانی، کانه‌زایی، پتروژنز، سن‌سنجی، ژئوشیمی و ژئوفیزیک هوابرد اکتشافی منطقه کوه‌شاه، جنوب غربی بیرجند*"، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، سال چهارم، شماره ۱ (۱۳۹۱) ص ۷۷-۱۰۷.

[۸] کریم‌پور م. ح.، ملکزاده شفارودی الف.، فارمر ل.، استرن چ.، "*پتروژنز گرانیتوئیدها، سن‌سنجی زیرکن به‌روش U-Pb، ژئوشیمی ایزوتوپهای Sr- Nd و رخداد مهم کانی‌سازی ترشیاری در بلوک لوت، شرق ایران*"، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، سال چهارم، شماره ۱ (۱۳۹۱) ص۱-۲۷.

[۹] مرادی م.، کریم‌پور م. ح.، فارمر ل.، استرن چ.، "*ژئوشیمی ایزوتوپهای Rb-Sr و Sm-Nd سن‌سنجی زیرکن U-Pb و*

Archive of SID

www.SID.ir

پتروژنز باتولیت گرانودیوریتی- گرانیت نجم‌آباد، گناباد"، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، سال سوم، شماره ۲ (۱۳۹۰) ص ۱۴۵-۱۲۷.

[۱۰] مرادی م.، کریم‌پور م. ح.، ملکزاده شفارودی الف.، فارمر ل.، استرن چ.، "*ژئوشیمی، سن‌سنجی U-Pb زیرکن و ایزوتوپهای Rb-Sr و Sm-Nd سنگهای مونزونیتی نجم‌آباد، جنوب گناباد*"، مجله پترولوژی، سال سوم، شماره ۱۱ (۱۳۹۱) ص ۷۷-۹۶.

[۱۱] هامونی س. ج.، کریم‌پور م. ح.، ملکزاده شفارودی الف.، حاجی‌میرزاجان ح.، "*زمین‌شناسی، کانی‌سازی، ژئوشیمی و پترولوژی توده‌های نفوذی منطقه اکتشافی رودگز، جنوب شرقی گناباد*"، مجله پترولوژی، در حال چاپ (۱۳۹۲).

[12] Rubatto D., Williams I. S., Buick I. S., "*Zircon and monazite response to prograde metamorphism in the Reynolds Range Central Australia*", Contributions to Mineralogy and Petrology 140 (2001) 458-468.

[13] Rubatto D., "*Zircon trace element geochemistry: partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism*", Chemical Geology 184 (2002) 123-138.

[14] Williams I. S., "*Response of detrital zircon and monazite, and their U-Pb isotopic systems, to regional metamorphism and host-rock partial melting, Cooma Complex, southeastern Australia*", Australian Journal of Earth Sciences 48 (2001) 557-580.

[15] Cherniak D. J., Watson E. B., "*Pb diffusion in zircon*", Chemical Geology 172 (2000) 5-24.

[16] Zindler A., Hart S. R., "*Chemical geodynamics*", Anniversary Review Earth Planetary Sciences 14 (1986) 493- 571.

Archive of SID

www.SID.ir