

کانی‌شناسی و ویژگی‌های گوه‌رشناسی عقیق‌های مناطق کسرآب و بهامرز (جنوب‌شرق سریش، استان خراسان جنوبی)

سعید سلمانی، محمدرضا حسین‌زاده*، کمال سیاه چشم، عباس ذوالفقاری

گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
(دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۲/۲۸، نسخه نهایی: ۱۴۰۴/۲/۱۷)

چکیده: گستره مورد بررسی در منطقه کسرآب - بهامرز، در ۴۵ کیلومتری جنوب‌شرق سریش و از نظر پهنه‌بندی ساختاری ایران، در پهنه فلیشی شرق ایران قرار دارد. در این منطقه، کانی‌سازی گوه‌رسنگ‌های عقیق و جاسپر به صورت رگه‌ای-رگچه‌ای در واحدهای آتشفشانی پالئوسن از قبیل سنگ‌های آذرآواری (توفها) رخ داده است. براساس پراش پرتوی ایکس (XRD)، ترکیب‌های پرکننده حفره‌ها، بیشتر کوارتزهای نهان بلورین و کمتر دولومیت هستند. براساس بررسی‌های میکروسکوپی، کانی‌های تشکیل دهنده این عقیق‌ها، جاسپر و کلسدونی هستند. بافت‌های رگه‌ای و گل‌کلمی مهمترین بافت‌هایی هستند که در نمونه‌های دستی عقیق‌های این منطقه دیده می‌شوند. عقیق‌ها و جاسپر عقیق‌های این منطقه به رنگ‌های آبی، سبز، قرمز، بنفش، نارنجی، سفید و مشکی دیده می‌شوند، که وزن مخصوص ۲/۵۷ تا ۲/۶۲، ضریب شکست ۱/۵۲ تا ۱/۵۶ و صیقل‌پذیری خوبی دارند. آنها نیمه شفاف تا کدر و بدون ویژگی فلورسانس و چندرنگی هستند. مهمترین عامل موثر در ایجاد رنگ عقیق‌های سبز، عناصر کروم و نیکل، برای عقیق‌های آبی عنصر مس، برای جاسپرهای قرمز، نارنجی و جاسپر عقیق مشکی، عناصر آهن و منگنز و همچنین عامل ایجاد رنگ در عقیق‌های بنفش، عناصر منگنز و مس هستند. کمبود عناصر رنگ‌ساز در جاسپرهای سفید باعث ایجاد رنگ خنثی در این نمونه شده است.

واژه‌های کلیدی: عقیق؛ کلسدونی؛ جاسپر؛ کوارتز نهان بلورین؛ سریش؛ خراسان جنوبی.

مقدمه

شناخته نشده است و تا به حال تولید آن‌ها بصورت مصنوعی موفقیت‌آمیز نبوده است. برخی چشمه‌های آبگرم و یا دودکش‌های سفید موجود در کف اقیانوس‌ها، نهشته‌های مشابه کلسدونی تولید می‌کنند، ولی عقیق نمی‌سازند [۸]. عقیق‌ها در طبیعت در اندازه چند میلیمتری تا چند متری در محیط‌های آذرین، دگرگونی و حتی رسوبی [۹] و در گستره دمایی وسیعی (۵۰ تا ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد) تشکیل می‌شوند [۱۰]. گوه‌رسنگ‌های عقیق ممکن است به عنوان رگه‌های گرمایی در شکستگی‌ها و رگه‌های بلوری و یا از محلول‌های غنی از SiO_2 با دمای پایین در منافذ و حفره‌های سنگ‌های رسوبی تشکیل شوند [۱۱]. عقیق‌ها از نوارهای پی در پی کوارتز رشته‌ای و

کانی‌های نیمه‌قیمتی گروه سیلیس از محلول‌های سیلیس‌دار که به آرامی سرد و متبلور می‌شوند تشکیل می‌شوند [۱]. عقیق از فراوان‌ترین کانی‌های نیمه‌قیمتی است که در بخش‌های مختلف ایران یافت می‌شود و در معادن مختلف دارای کیفیت و تنوع رنگی متفاوتی بوده و ممکن است در یک معدن انواع مختلفی از آن دیده شود. در مراجع علمی [۲-۶]، کلسدونی کانی اصلی سازنده عقیق‌ها معرفی شده است. کانی‌های نیمه قیمتی عقیق از گروه کلسدونی و خانواده کوارتز رشته‌ای هستند که برای نخستین بار در جزیره سیسیل ایتالیا معرفی شدند [۷]. فرایند تشکیل عقیق‌ها به درستی

نویسنده مسئول، تلفن: ۰۴۱۳-۳۳۳۹۳۶۴۷، پست الکترونیکی: Mr-hosseinzadeh@tabrizu.ac.ir

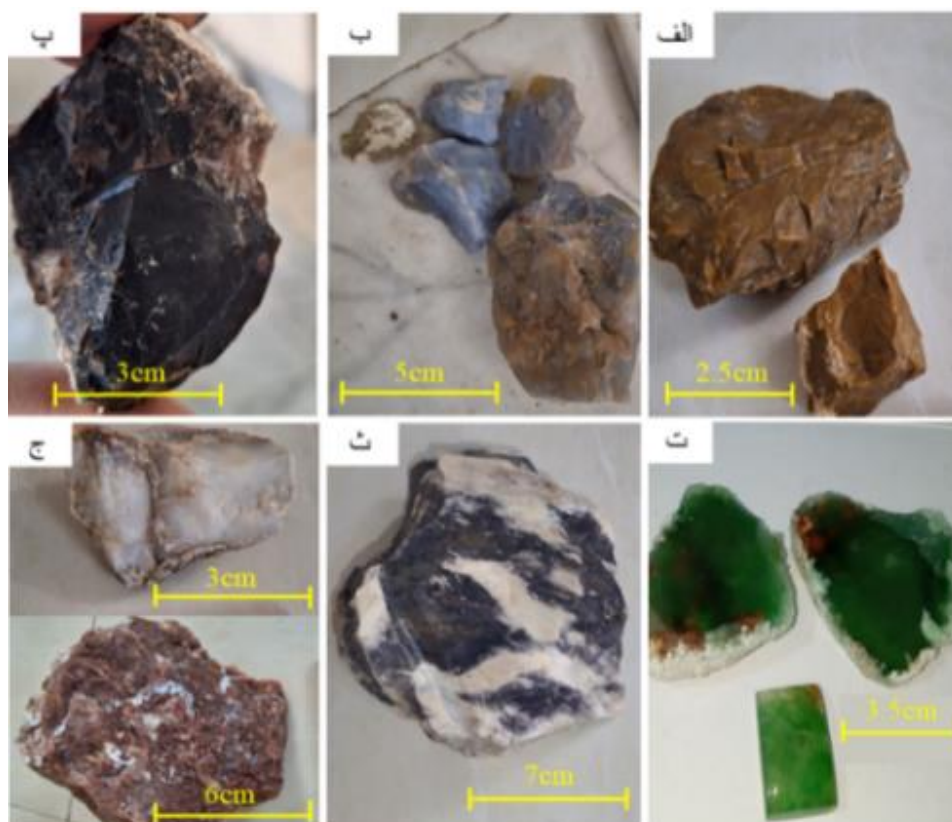
Copyright © 2025 The author(s). This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0



International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited

سنجی رامان بر عقیق‌های منطقه سه‌قلعه (شمال غرب بیرجند) دریافتند که این عقیق‌ها اغلب از نوع ژئود به رنگ‌های سفید، سبز و زرد (با قطر کمتر از ۲۰ سانتی‌متر) هستند و در سنگ‌های آتشفشانی از نوع توف، بازالت و آندزیت به سن ائوسن تا الیگوسن دیده می‌شوند. منطقه کسراب _ بهامرز در استان خراسان جنوبی از دیگر مناطقی است که پتانسیل خوبی برای پی جویی عقیق‌هایی با ارزش گوه‌رسنگی دارد. عقیق‌ها، جاسپر‌ها و جاسپر عقیق‌های منطقه مورد بررسی دارای تنوع رنگی از جمله سبز، سفید، آبی، قرمز، بنفش، نارنجی و مشکی هستند (شکل ۱). برای شناسایی علت این تنوع باید بررسی‌های کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی بر انواع مختلفی از عقیق‌های منطقه انجام گیرد. از این رو، بر عقیق‌های منطقه بررسی‌های میکروسکوپی، گوه‌رسنگی کلاسیک، طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-MS)، پراش پرتوی ایکس (XRD) و طیف‌سنجی پراکندگی انرژی پرتوی ایکس (SEM-EDS) انجام شد.

کلسدونی تشکیل شده‌اند [۱۲] که وجود ناخالصی‌های جزئی (در حد ppm) موجب طیف‌های رنگی مختلف در آن‌ها می‌شوند [۱۳]. بررسی‌های انجام شده در ارتباط با عقیق‌ها و ژئودهای خراسان بسیار محدود است. از جمله آن‌ها، اعتمادی عبدل آبادی و همکاران [۱۴] در گزارشی پیرامون عقیق‌های منطقه بایک (تربت حیدریه)، نقش اصلی کانی‌زایی را فرایند-های گرمایی دانسته و بر اساس بررسی‌های انجام شده بر نمودارهای عنکبوتی سنگ خاستگاه سیلیس در این منطقه را آندزیت می‌دانند. خاکزاد و همکاران [۱۵] طی پژوهشی براساس بررسی‌های زمین‌شیمیایی بر عقیق‌های منطقه فردوس (استان خراسان جنوبی)، دریافته‌اند که آن‌ها درون واحدهای آتشفشانی پالئوژن به شکل پرکننده حفره‌ها و شکستگی‌ها شکل گرفته‌اند و همچنین عامل اصلی تامین کننده سیلیس سیال‌ها در سنگ‌های آتشفشانی، دگرسانی سنگ‌های آتشفشانی و فرایند شیشه‌زدایی در توف‌هاست. کهخانی و همکاران [۱۶] نیز بر اساس بررسی‌های زمین‌شیمیایی و طیف-



شکل ۱ تصاویری از عقیق، جاسپر و جاسپر عقیق‌های مناطق کسراب _ بهامرز در رنگ‌های مختلف. الف) جاسپر نارنجی (پرتقالی) SS₅، ب) عقیق آبی SS₃، پ) جاسپر عقیق مشکی SS₆، ت) عقیق سبز SS₂، ث) عقیق بنفش SS₈، ج) جاسپر سفید SS₇ و جاسپر قرمز SS₄.

روش بررسی

پس از بررسی‌های اولیه میدانی از محیط شکل‌گیری عقیق‌های منطقه، تعدادی نمونه از رگه‌های سیلیسی و عقیق‌های منطقه به همراه چند نمونه از سنگ‌های آتشفشانی (بازالت و توف) برداشت شد. از این میان، ۷ نمونه عقیق به رنگ‌های سبز (SS_2)، آبی (SS_3)، قرمز (SS_4)، نارنجی (SS_5)، مشکی (SS_6)، سفید (SS_7) و بنفش (SS_8)، به همراه دو نمونه از سنگ‌های آتشفشانی (SS_{10} - SS_9) مناطق مورد بررسی برای انجام تجزیه‌های زمین‌شیمیایی و بررسی‌های دقیق‌تر انتخاب شدند. برای آماده‌سازی بلورهای خردشده عقیق، به منظور ICP-MS عناصر کمیاب و خاکی نادر به روش مرجع [۱۷]، نخست نمونه خرد شده و بخش بلوری آن جدا شد. سپس در آزمایشگاه زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه تبریز، بلورها در یک ظرف مقاوم به اسید قرار داده شده و در محلول اسید هیدروکلریک (HCl) با غلظت ۱ مولار به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه در دمای محیط غوطه‌ور شدند تا کربنات‌ها و اکسیدهای آهن سطحی حذف شوند، درحالی‌که ساختار سیلیکاتی حفظ گردد. طی این فرایند، ظرف به آرامی هم زده شد تا تماس اسید با سطح بلورها بطور یکنواخت انجام شود. پس از تیمار اسیدی، محلول اسید تخلیه شد و بلورها چندین مرتبه با آب یون زدوده شسته شدند تا pH آب شستشو به حالت خنثی

برسد. در پایان، بلورهای شسته شده در کوره با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک شده و برای ICP-MS آماده شدند. نمونه‌های تهیه شده برای تجزیه به روش ICP-MS به آزمایشگاه زرآزمایش ارسال شدند که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است. دقت تجزیه‌های عناصر خاکی نادر ppm ۱-۰/۲ است. سپس سه نمونه از این عقیق‌ها برای پراش پرتو ایکس به منظور کانی‌شناسی نمونه‌های سیلیسی انتخاب و پس از پودر شدن به آزمایشگاه مرکزی دانشگاه تبریز ارسال شدند. XRD با دستگاه Tongda مدل TD_3700 ساخت کشور چین انجام شد که دقت آن ۰/۲ درجه برای ۰/۵ ثانیه است. بررسی‌های EDS-SEM نیز در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه تبریز برای تحلیل و بررسی عناصر رنگ‌زا، بر ۷ نمونه از این عقیق‌ها با میکروسکوپ MIRA3 FEG ساخت شرکت Tescan کشور چین انجام شد. همچنین ۱۰ عدد از عقیق‌ها و سنگ‌های آتشفشانی مناطق کسرآب و بهامرز برای تهیه مقطع نازک به منظور بررسی‌های بافتی و میکروسکوپی به کارگاه تهیه مقطع دانشگاه بوعلی سینا همدان ارسال شدند. ویژگی‌های گوه‌رشناسی عقیق‌ها در آزمایشگاه گوه‌رشناسی GemSop دانشگاه تبریز، بر ۷ نمونه از عقیق‌های مناطق مورد نظر که به شکل مدور یا گنبدی، تخت و هنری تراش داده شده بودند بررسی شد.

جدول ۱ غلظت عناصر خاکی نادر در نمونه‌های عقیق و سنگ میزبان آتشفشانی به دست آمده به روش ICP-MS.

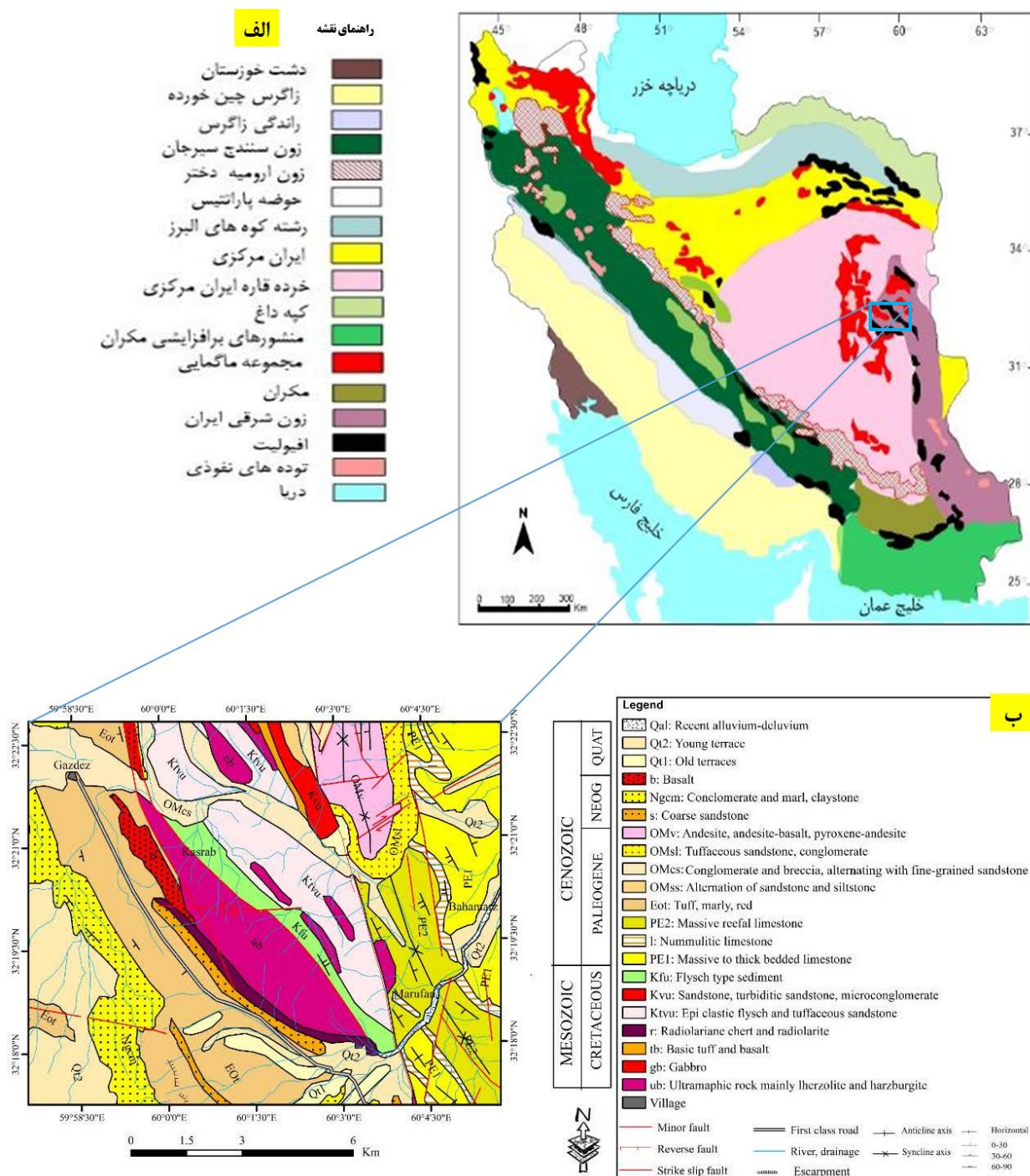
عناصر (ppm)	DL ppm	Urdr ih							Host rocks	
		SS ₂ سبز	SS ₃ آبی	SS ₄ قرمز	SS ₅ نارنجی	SS ₆ سیاه	SS ₇ سفید	SS ₈ بنفش	SS ₉ توف	SS ₁₀ بازالت
LREE										
La	۱	۷	۳	۳	۱	۱	۱	<۱	۷	۳۴
Ce	۰.۵	۷	۳	۴	۳	۳	۲	۳	۱۳	۶۰
Pr	۰.۰۵	۱,۲۵	۰.۵۳	۰.۶	۰.۲۹	۰.۳۱	۰.۲۳	۰.۲۷	۱,۴۵	۵,۸۱
Nd	۰.۵	۶,۸	۴,۱	۴.۵	۳,۳	۳,۴	۳,۱	۳,۲	۸	۲۲,۸
MREE										
Sm	۰.۱	۱	۰.۴	۰.۵	۰.۲	۰.۲	۰.۱	۰.۲	۱,۱	۴
Eu	۰.۱	۰.۱۴	<۰.۱	<۰.۱	<۰.۱	<۰.۱	<۰.۱	<۰.۱	۰.۱۴	۰.۹۴
Gd	۰.۰۵	۰.۸۸	۰.۲۸	۰.۴۲	۰.۱۹	۰.۱۴	۰.۰۸	۰.۱۴	۰.۸۷	۳,۲۳
Tb	۰.۱	۰.۲	۰.۱	۰.۲	۰.۱	۰.۱	<۰.۱	۰.۱	۰.۲	۰.۶
Dy	۰.۱	۱	۰.۵	۰.۵	۰.۳	۰.۳	۰.۳	۰.۳	۰.۹	۳,۳
HREE										
Er	۰.۱	۰.۹	۰.۶	۰.۶	۰.۵	۰.۵	۰.۴	۰.۵	۰.۸	۲,۲
Tm	۰.۱	۰.۲	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۲	۰.۳
Yb	۰.۰۵	<۰.۰۵	<۰.۰۵	<۰.۰۵	<۰.۰۵	<۰.۰۵	<۰.۰۵	<۰.۰۵	<۰.۰۵	۱,۴۲
Lu	۰.۱	<۰.۱	<۰.۱	<۰.۱	<۰.۱	<۰.۱	<۰.۱	<۰.۱	<۰.۱	۰.۳
Y	۰.۵	۱۴	۱۱.۵	۱۱.۹	۱۰.۷	۱۱.۳	۱۰.۵	۱۰.۴	۱۲.۸	۲۲.۱

بحث و بررسی

زمین‌شناسی منطقه‌ای

منطقه کسراب - بهامرز که در شرق ایران، در ۱۱۰ کیلومتری

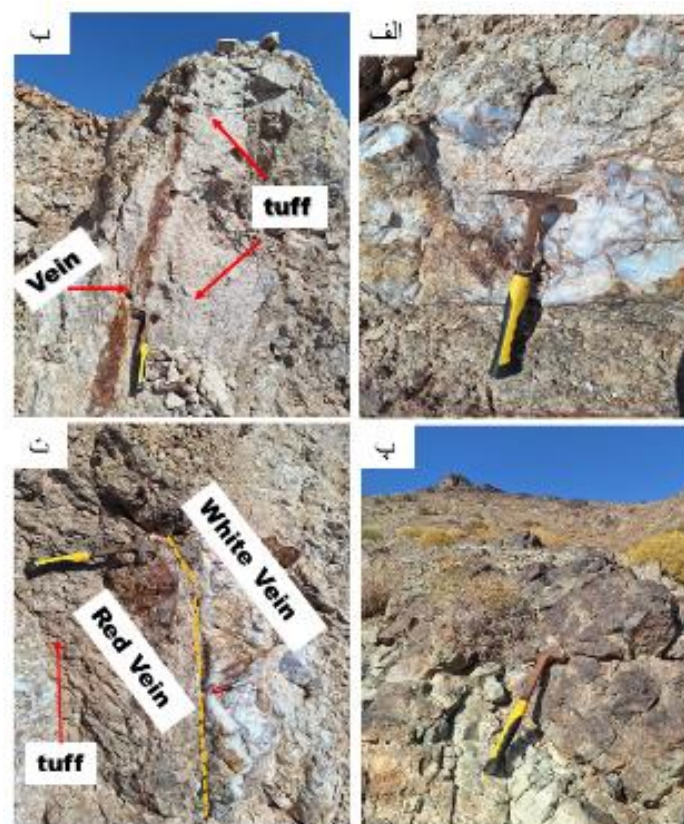
جنوب‌شرق شهرستان بیرجند (۴۵ کیلومتری جنوب‌شرق سربیشه) واقع است، بر اساس تقسیم‌بندی آقنابتی [۱۸]، در پهنه فلیشی شرق ایران قرار دارد (شکل ۲ الف).



شکل ۲ الف) جایگاه منطقه مورد بررسی در نقشه ساده شده زمین شناسی ایران و خردقاره ایران مرکزی [۱۸] ب: منطقه مورد بررسی روی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ پرنگ [۱۹] و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سهل آباد [۲۰].

خراسان جنوبی، جنوب‌شرق سربیشه و بر نقشه‌های زمین-شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ گزیک [۲۷] و فصل مشترک نقشه زمین-شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ پرنک [۱۹] و نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ سهل‌آباد [۲۰] واقع است (شکل ۲ ب). در مجموعه فلیش‌واره‌های آذرآواری این منطقه، سنگ‌های آذرآواری (توف-ها) با سن پالئوسن و سنگ‌های آتشفشانی از جمله بازالت با سن نئوژن دیده می‌شوند. توف‌ها قدیمی‌ترین واحدهای آتشفشانی - رسوبی منطقه هستند که بخش عمده‌ای از سنگ‌های منطقه را شامل شده‌اند و به رنگ‌های قهوه‌ای روشن تا قهوه‌ای تیره دیده می‌شوند (شکل ۳). سنگ‌های کنگلومرای - مارنی نئوژن نیز پیرامون منطقه مورد بررسی وجود دارند که به همراه میان‌لایه‌ای از سنگ‌آهک تشکیل شده‌اند. بازالت‌های منطقه کسراب - بهامرز که از نظر سنی جوانتر از واحدهای آذرآواری هستند، دارای ریختار خشنی نسبت به واحدهای کنار خود یعنی توف‌ها هستند که بصورت برجسته دیده می‌شوند [۱۹] (شکل ۳ پ).

حوضه فلیشی شرق ایران یک پهنه جوش خورده بین قطعه‌های لوت و افغان بوده [۲۱] که در نتیجه بسته‌شدن حوضه‌های کوچک اقیانوسی تشکیل شده است [۲۲]. اگرچه در بخش‌های عمده‌ای از ایران حرکت رو به شمال و شمال شرقی صفحه عربستان - آفریقا نقش دارد، ولی در حوضه فلیشی شرق ایران، حرکت رو به شمال و شمال غرب صفحه هندوستان موثر است [۱۸]. پهنه ساختاری سیستان در شرق نشان دهنده برخورد دو قطعه لوت و افغان در کرتاسه پسین است [۲۳] که موجب تشکیل آمیزه‌های افیولیتی شرق ایران در راستای زمین‌درز سیستان شده است [۲۴]. آخرین نشانه‌های تکاپوی ماگمایی در شرق ایران بیشتر از نوع بازالت‌های درون صفحه‌ای از اواسط میوسن تا کواترنری است که در پی نازک شدگی سنگ‌کره و صعود سست‌کره ایجاد شده و در راستای گسل‌های راستالغز راستگرد با راستای غالب شمالی - جنوبی به سطح زمین رسیده‌اند [۲۵، ۲۶]. منطقه مورد بررسی در بین طول-های جغرافیایی $28^{\circ}57'59''$ تا $29^{\circ}05'58''$ شرقی و عرض‌های $32^{\circ}16'53''$ تا $32^{\circ}22'52''$ شمالی در استان



شکل ۳ سنگ‌های آتشفشانی منطقه به همراه رگه‌های عقیق تشکیل شده در آن‌ها: الف) رگه جاسپر سفید شکل گرفته درون توف، ب) رگه جاسپر قرمز تشکیل شده درون سنگ میزبان (توف)، پ) سنگ‌های بازالت با سن نئوژن (ت) رگه سیلیسی سفید و رگه جاسپر قرمز کنار هم درون سنگ میزبان آتشفشانی (توف).

شرایط کلی تشکیل و ویژگی‌های گوهرشناسی عقیق‌های منطقه

وجود محلول‌های غنی از سیلیس برای تشکیل کانی‌های گروه کلسدونی از جمله عقیق‌ها ضروری است. برای تشکیل محلول‌های غنی از سیلیس دو نظریه وجود دارد [۱۱]: الف) این محلول‌ها در اثر شستشو و انحلال سیلیس از سنگ‌های میزبان و یا سنگ‌های پیرامون تشکیل می‌شوند؛ ب) محلول‌های غنی از سیلیس در ماگمای در حال سرد شدن در اثر تبلور فازهای سیلیکاتی فقیر از سیلیس (کانی‌های مافیک) و سپس انباشت سیلیس در فازهای پایانی تبلور بوجود می‌آیند. بیشتر عقیق‌های تشکیل شده در طبیعت خاستگاه آذرین (نظریه دوم) دارند. فازهای پایانی باقی‌مانده که اشباع از سیلیس هستند، حفره‌ها و شکاف‌های موجود در سنگ‌ها را پر کرده و با کاهش دما بصورت کوارتز رشته‌ای (کلسدونی) سرد شده و تشکیل عقیق می‌دهند [۲۸]. تشکیل کلسدونی از محلول‌های غنی از سیلیس به عواملی چون کاهش دما، کاهش فشار و تغییر پتانسیل اکسایش-کاهش (Eh) و pH بستگی دارد. سیلیس به وسیله محلول حمل شده و سپس بصورت ژل سیلیکاتی ته-

نشین می‌شود و از آنجا که جریان ته‌نشینی آهسته است، تغییر در شرایط محیط رسوبگذاری، سبب تغییر رنگ و ایجاد حالت نواری در کوارتز نهان بلورین می‌شود [۱۱]. برای بررسی ویژگی‌های گوهرشناسی عقیق‌های مناطق مورد نظر، تعدادی از این نمونه‌ها انتخاب و به صورت مدور، تخت و زاویه‌دار تراش داده شدند (شکل ۴). سپس برخی ویژگی‌های گوهرشناسی چون صیقل‌پذیری، ویژگی فلورسانس، پدیده چندرنگی، وزن مخصوص، ضریب شکست و شفافیت اندازه‌گیری شد (شکل ۵). برای اندازه‌گیری پارامترهای یاد شده از عقیق‌های هریک از ۲ منطقه مورد بررسی، چند نمونه به آزمایشگاه گوهرشناسی دانشگاه تبریز ارسال شدند. در بیشتر موارد، شباهت زیادی در ویژگی‌های اندازه‌گیری شده عقیق‌های مناطق مورد بررسی دیده شد. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهند که این نمونه‌ها با وزن مخصوص ۲٫۵۷ تا ۲٫۶۲، ضریب شکست ۱٫۵۲ تا ۱٫۵۶، اغلب نیمه شفاف تا کدر هستند و ویژگی فلورسانس و چند رنگی ندارند. در جدول ۲ ویژگی‌های گوهرشناسی عقیق‌های مناطق مورد بررسی با هم مقایسه شده‌اند.



شکل ۴ تصاویری از نمونه عقیق‌های تراش خورده مناطق کسراب _ بهامرز.



شکل ۵ اندازه‌گیری ویژگی‌های گوه‌رشناسی عقیق‌ها. (الف) اندازه‌گیری ضریب شکست عقیق‌ها با استفاده از شکست سنج، (ب) اندازه‌گیری وزن مخصوص عقیق‌ها با ترازوی ایستایی (دقت اندازه‌گیری ۰/۰۱ گرم).

جدول ۲ ویژگی‌های گوه‌رشناسی عقیق‌های مناطق کسرآب – بهامرز.

ویژگی‌های گوه‌ری	رنگ عقیق‌ها	چند رنگی	فلوئورسانس	وزن مخصوص	ضریب شکست	شفافیت	شکستگی	صیقل پذیری	نام منطقه
کسرآب	آبی (SS ₃)	-	ندارد	۲,۶۲	۱,۵۴	نیمه شفاف	صدفی	عالی	
	سبز (SS ₂)	-	ندارد	۲,۶۰	۱,۵۳	نیمه شفاف	صدفی	عالی	
	قرمز (SS ₄)	-	ندارد	۲,۵۷	۱,۵۳	نیمه شفاف	صدفی	خوب	
	نارنجی (SS ₅)	-	ندارد	۲,۵۷	۱,۵۴	کدر (غیرشفاف)	صدفی	خوب	
	سفید (SS ₇)	-	ندارد	۲,۵۹	۱,۵۴	نیمه شفاف	صدفی	عالی	
بهامرز	بنفش (SS ₈)	-	ندارد	۲,۵۹	۱,۵۶	کدر (غیرشفاف)	صدفی	خوب	
	مشکی (SS ₆)	-	ندارد	۲,۵۹	۱,۵۲	نیمه شفاف	صدفی	عالی	

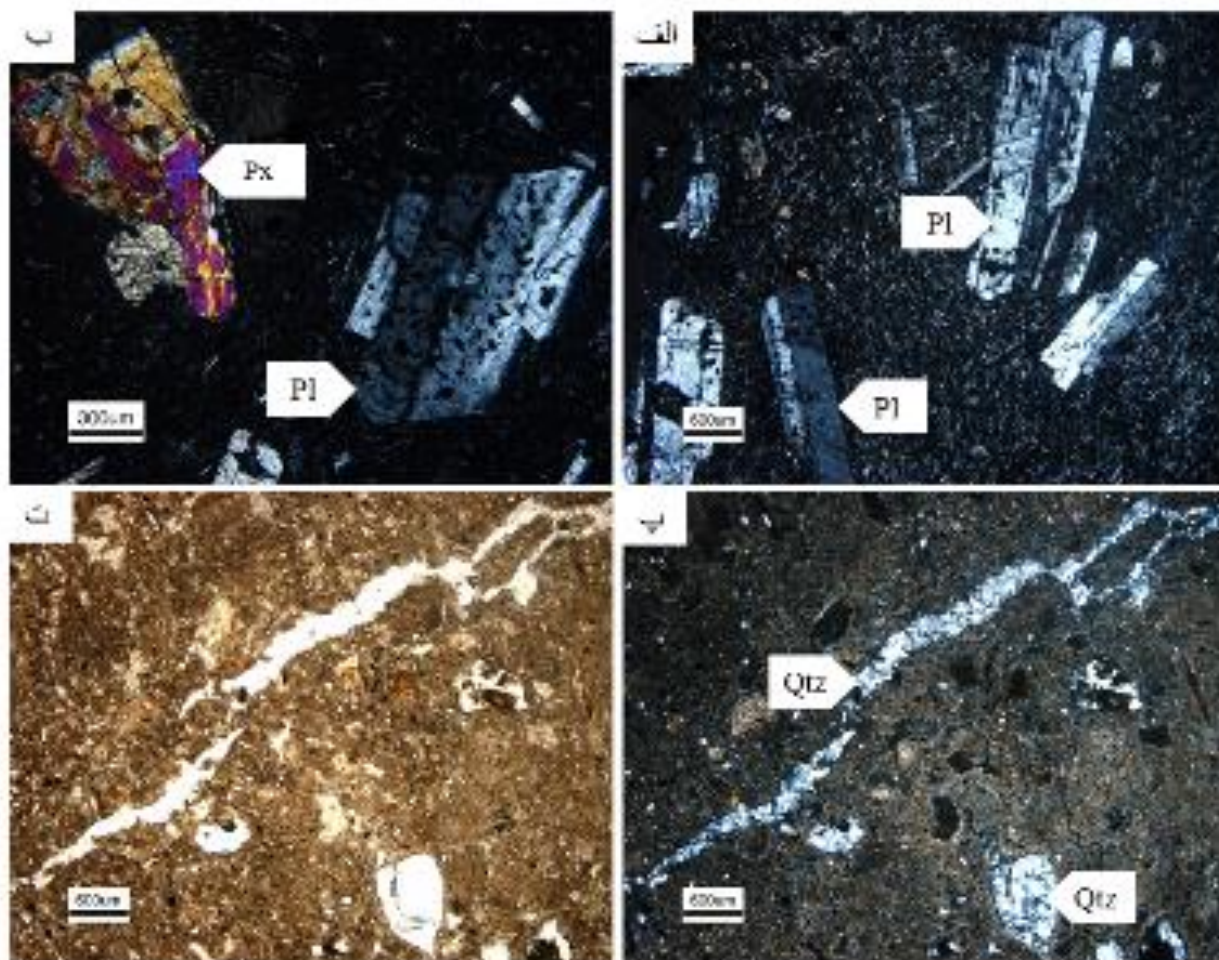
سنگ‌نگاری سنگ‌های آتشفشانی و رخداد کانی‌زایی عقیق

بازالت‌ها و توف‌ها فراوان‌ترین سنگ‌های آتشفشانی منطقه هستند که بسیار دیده می‌شوند. بازالت‌ها با رنگ سیاه ریختار خشنی را نسبت به سنگ‌های کنار خود یعنی توف‌ها ایجاد کرده‌اند. براساس بررسی‌های میکروسکوپی (شکل ۶) بازالت

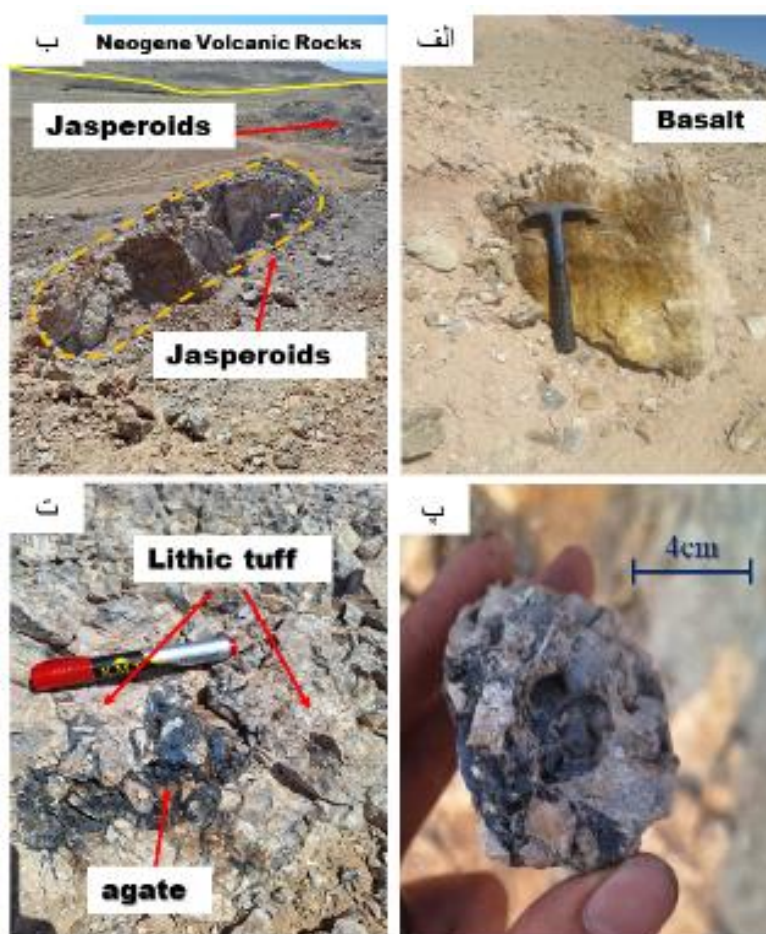
دارای بافت پوست ماری تا پورفیری است و زمینه‌ای ریزسنگی دارد. این سنگ بیشتر از پلاژیوکلاز (۴۰ - ۵۰٪)، پیروکسن (۲۵ - ۳۵٪) و الیوین (۵ - ۱۵٪) تشکیل شده است. کانی‌های پلاژیوکلاز بصورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار همراه با ماکل چندریخت و منطقه‌بندی دیده می‌شوند (شکل ۶). همچنین،

سنگ‌های سیلیسی در منطقه کسرآب - بهامرز، با اینکه بیشتر به شکل پرکننده حفره‌های سنگ میزبان هستند، به شکل رگه‌ای - رگچه‌ای (درحد چند میلی‌متر تا چند سانتی‌متر) نیز دیده می‌شوند (شکل ۷). از بافت‌های مهمی که در نمونه‌های دستی جاسپر عقیق‌های منطقه مورد بررسی دیده می‌شود، بافت‌های رگه‌ای و گل‌کلمی هستند که پرکننده حفره‌ها به شمار می‌روند و از این میان، بافت رگه - رگچه‌ای، باتوجه به پویایی زمین‌ساختی، حجم چشمگیری دارد. در بافت رگه‌ای، عقیق‌ها بیشتر بصورت رگه و رگچه‌هایی دیده می‌شوند که توف‌های منطقه را قطع کرده‌اند (شکل‌های ۳ و ۷ ت).

مقادیر کم از کانی‌های کدر (به احتمال بسیار مگنتیت) و شیشه در فاز بی‌شکل حضور دارد. سنگ‌های سیلیسی منطقه مورد بررسی درون سنگ‌های آذرآواری (توف) به سن پالئوسن دیده می‌شوند. در توف‌های منطقه، حدود ۲۰ - ۳۰٪ درشت بلور شامل کوارتز (۱۰ - ۱۵٪) و مقادیر کمتر از ۵ درصد فلدسپار و بیوتیت ریزبلور دیده می‌شود. زمینه حدود ۶۰ - ۷۵٪ حجم سنگ را تشکیل می‌دهد که بیشتر از شیشه آتشفشانی به همراه ۵ - ۱۵٪ ذرات سنگی و ۵ - ۱۰٪ بلور-های ریز ساخته شده است. فازهای فرعی شامل حدود ۱٪ کانی‌های کدر و کمتر از ۵٪ کانی‌های ثانویه بوده که ناشی از دگرسانی هستند. (شکل ۶). براساس بررسی‌های صحرایی،



شکل ۶ تصاویر میکروسکوپی از سنگ‌های آتشفشانی منطقه کسرآب - بهامرز. الف) پلاژیوکلاز با ماکل چندریخت در زمینه دانه ریز درون سنگ-های بازالتی (در نور قطبیده متقاطع، XPL)، ب) کانی‌های پیروکسن و پلاژیوکلاز در زمینه دانه‌ریز از پلاژیوکلاز (XPL)، پ و ت) کانی‌سازی عقیق بصورت رگچه‌ای درون سنگ میزبان توف (به ترتیب در XPL و نور قطبیده صفحه‌ای، PPL). Pl: پلاژیوکلاز، Qtz: کوارتز، Px: پیروکسن. [۲۹].



شکل ۷ تصاویر صحرایی از سنگ‌های آتشفشانی، آذرآواری، عقیق‌ها و جاسپروئیدهای منطقه: الف) رخنمونی از سنگ‌های بازالتی و جاسپروئیدهای نارنجی (دید به سمت شرق)، ب) نمایی از رگه‌های جاسپروئید و سنگ‌های آتشفشانی نئوژن (دید به سمت شمال شرق)، پ) نمونه‌ای از عقیق با بافت گل‌کلمی و ت) رخنمونی از سنگ‌های آذرآواری و عقیق‌ها.

های رسی در نمونه‌ها بود، ولی نتایج XRD فقط حضور کوارتز و دولومیت را نشان داد (شکل ۹).

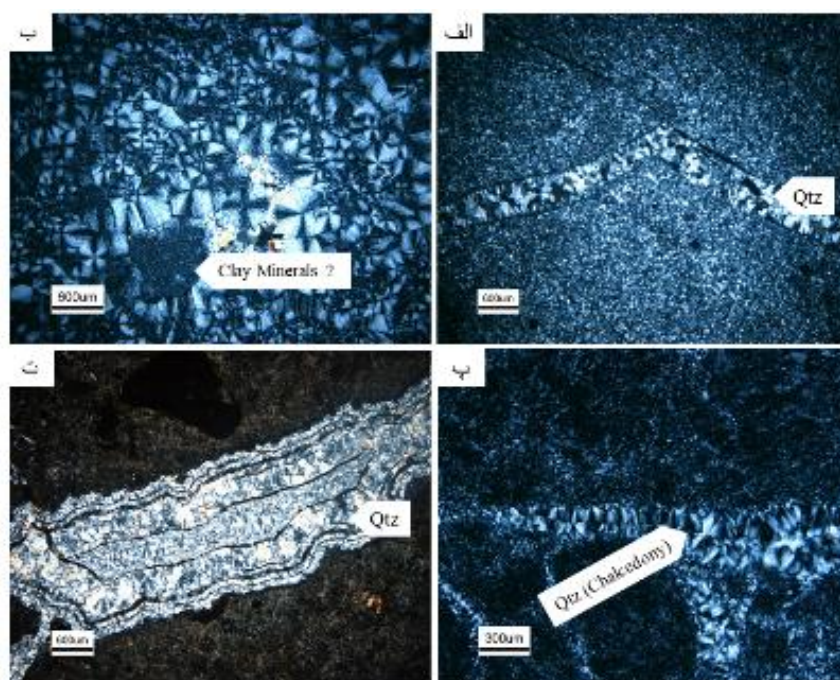
زمین‌شیمی

عناصر اصلی و کمیاب می‌توانند جانشین Si در کوارتز شده و یا بصورت میانبره‌هایی از کانیه‌های دیگر وارد ساختار کوارتز شوند [۳۰]. براساس نتایج بررسی‌های ایزوتوپی و زمین‌شیمیایی انجام شده بر عقیق‌های نقاط مختلف جهان، عقیق‌ها غنی شدگی از عناصر خاکی نادر سبک (LREE) و تهی شدگی از عناصر خاکی نادر سنگین (HREE) نشان می‌دهند [۳۱]. برای شناسایی خاستگاه احتمالی سیال سازنده عقیق‌ها در منطقه کسرآب _ بهامرز، توزیع این عناصر در عقیق‌ها بررسی شد. به این منظور، مقادیر عناصر خاکی نادر در عقیق‌ها و سنگ میزبان آن‌ها نسبت به مقادیر کندریت بهنجار شده‌اند [۱۱، ۳۲] تا

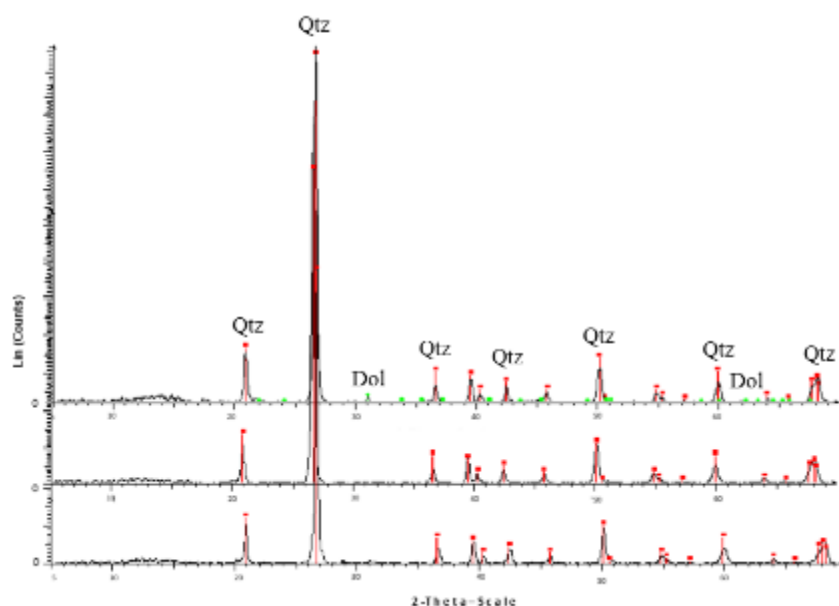
وقتی که در سطح خارجی یک کانیه دواپر هم مرکز با شکل‌های کروی و گل‌کلمی وجود داشته باشند، این بافت را گل‌کلمی می‌گویند، این بافت در عقیق‌های بخشی از مناطق کسرآب _ بهامرز که به رنگ‌های خاکستری روشن تا خاکستری تیره هستند، دیده می‌شود (شکل ۷ پ) که به احتمال بسیار در اثر شکل فضای خالی که با محلول‌های غنی سیلیسی پر شده‌اند، تشکیل شده است [۲۸]. بافت‌های اسفرولیتی، نواری، ریزبلورین و ریزدانه‌ای از رایج‌ترین و مهمترین بافت‌های دیده شده در مقاطع میکروسکوپی عقیق و جاسپرهای منطقه مورد بررسی هستند (شکل ۸). نخست تلاش بر این بود که برحسب مولفه‌های شبکه بلور، فازهای مختلف کانیهایی سیلیس با XRD تفکیک شود، ولی به نظر می‌رسد که این روش برای برآورد توزیع فازهای مختلف کانیهایی سیلیس غیر قابل انجام است، زیرا بررسی‌های میکروسکوپی نشانگر وجود کلسدونی و کانیه

آشکارسازی دستگاه بوده که به احتمال بسیار این امر بدلیل ضریب جدایش پایین عقیق‌ها برای این عنصر است. نمونه بازالت منطقه کسرآب – بهامرز در نمودار عناصر خاکی نادر بهنجار شده نسبت به کندریت، یک شیب منفی از La تا Lu نشان می‌دهد و دارای غنی‌شدگی از LREE است (شکل ۱۰).

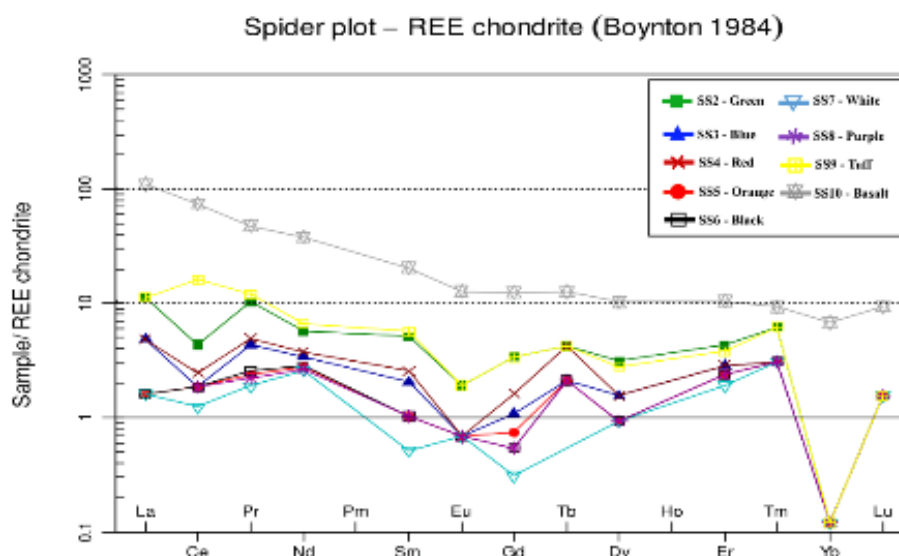
اطلاعات بیشتری درباره زمین‌شیمی عقیق‌ها و سیال تشکیل دهنده آن‌ها به‌دست آید (شکل ۱۰). در شکل ۱۰، برای عقیق‌های منطقه مورد بررسی، غنی‌شدگی عناصر خاکی نادر سبک (LREE) نسبت به عناصر خاکی نادر سنگین (HREE) دیده می‌شود. مقادیر Yb در نمونه‌های مورد بررسی کمتر از حد



شکل ۸ انواع بافت‌های دیده شده در عقیق‌های منطقه کسرآب – بهامرز در نور قطبیده متقاطع (XPL): الف: بافت شعاعی و ریزدانه‌ای و تشکیل ریز رگچه کوارتز، ب: بافت اسفرولیتی جاسپر‌ها و عقیق‌ها و تشکیل کانی‌های رسی در کنار آن‌ها، پ: کلسدونی با بافت نهان بلورین، ت: بافت نواری شکل گرفته درون سنگ میزبان آتشفشانی (توف) (Qtz: کوارتز [۲۹]).



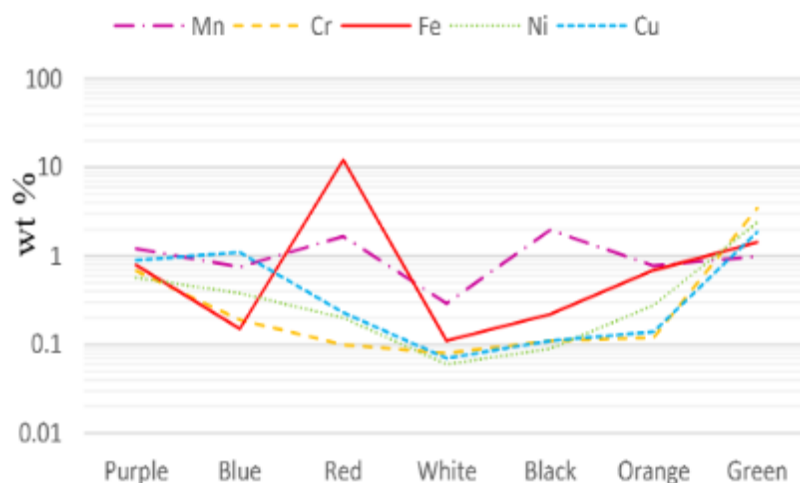
شکل ۹ نتایج XRD مربوط به نمونه ۳ از عقیق‌های کسرآب – بهامرز. (Qtz: کوارتز، Dol: دولومیت).



شکل ۱۰ نمودار عناصر کمیاب بهنجار شده نسبت به کندریت [۳۲] برای عقیق‌های منطقه کسرآب _ بهامرز و سنگ‌های آتشفشانی میزبان آن‌ها که روندی مشابه و همبستگی بیشتری را با توف‌ها نشان می‌دهند.

در این شکل، الگوی عناصر خاکی نادر سنگ توف نشان دهنده غنی‌شدگی متوسط از عناصر خاکی نادر سبک نسبت به عناصر خاکی نادر سنگین است، افزون بر آن، ناهنجاری منفی قابل توجه Eu در این نمونه نیز دیده می‌شود. تشابه و همبستگی الگوهای عناصر خاکی نادر در عقیق‌ها و سنگ توف نشان می‌دهد که این عناصر با سیال‌های در حال گردش از سنگ میزبان توفی شسته شده و در رگه‌ها و رگچه‌های موجود در آن‌ها ته‌نشین شده‌اند. در نمودار عنکبوتی شکل ۱۰، مقادیر عناصر خاکی نادر عقیق‌های سبز تقریباً برابر با مقادیر عناصر خاکی نادر توف‌های منطقه است، بجز عنصر Ce که مقدار کمتری در عقیق‌های سبز نشان می‌دهد، این تفاوت به احتمال بسیار به دلیل وجود ناخالصی‌هایی در این عقیق‌هاست. در نمودار عنکبوتی بهنجار شده نسبت به کندریت، غلظت عناصر خاکی نادر عقیق‌های منطقه کسرآب _ بهامرز پایین‌تر از نمونه توف و با اختلاف بیشتری، پایین‌تر از نمونه بازالت است. علت این امر ضریب جدایش کمتر عقیق‌ها برای عناصر مورد استفاده در رسم این نمودار نسبت به مجموعه کانی‌های موجود در سنگ میزبان آن‌ها (از جمله فلدسپار و بیوتیت) است [۳۳]. ناهنجاری منفی شدید Eu در نمونه‌های سبز (SS₂)، آبی (SS₃) و قرمز (SS₄) و ناهنجاری منفی ضعیف در نمونه‌های نارنجی (SS₅)، مشکی (SS₆) و بنفش (SS₈) و همچنین ناهنجاری مثبت در نمونه سفید (SS₇) دیده می‌شود. رفتار Eu در نمونه‌های سیلیسی وابسته به تجزیه کانی‌های فلدسپار (بویژه پلاژیوکلاز)

سنگ میزبان است [۳۴]. مقادیر La, Ce, Pr, Sm, Gd در عقیق‌هایی با رنگ‌های متنوع، متفاوت است، در حالی که همه عقیق‌ها با رنگ‌های مختلف مقادیر کاملاً یکسان و تهی‌شدگی از Yb, Lu را نشان می‌دهند. همچنین مقادیر عناصر Tm و Eu به جز از عقیق سبز، برای سایر عقیق‌ها کاملاً یکسان است. براساس بررسی‌های SEM-EDS، شکل ۱۱ نشان دهنده تغییرات درصد وزنی عناصر رنگ‌زا (Mn, Cr, Fe, Ni, Cu) در نمونه‌های عقیق با رنگ‌های مختلف است. بر این اساس، بیشترین مقدار آهن در نمونه‌های عقیق قرمز دیده می‌شود که منطقی است، زیرا Fe³⁺ اغلب منجر به رنگ قرمز در عقیق‌ها می‌شود. مقدار آهن در سایر نمونه‌ها کمتر است، اما در نمونه‌های سبز، نارنجی و بنفش نیز مقدار قابل ملاحظه‌ای نشان می‌دهد. منگنز در نمونه‌های مختلف پراکندگی دارد و مقدار آن در نمونه‌های سیاه و قرمز بیشترین است. البته دیده می‌شود که منگنز در عقیق بنفش نیز نسبت به سایر عناصر مورد تحلیل در این نمونه بالاترین مقدار را دارد. مقدار کروم در کل نمودار به نسبت پایین است (شکل ۱۱)، اما در عقیق سبز افزایش چشمگیری دارد. مقدار نیکل در نمونه‌های سفید و سیاه پایین‌ترین مقدار را دارد، اما در نمونه سبز بالاترین مقدار از این عنصر نسبت به سایر نمونه‌ها دیده می‌شود. مس نیز در نمونه‌های مختلف مقدار متغیری نشان می‌دهد، اما این عنصر در نمونه‌های سبز، بنفش و آبی مقدار بالایی دارد. (نتایج مربوط به بررسی SEM-EDS در جدول ۳ آورده شده است).



شکل ۱۱ نمودار لیگاریتمی مقایسه‌ای داده‌های SEM-EDS برای میانبرهای فلزی در رابطه با اثرگذاری عناصر بر رنگ ۷ نمونه از عقیق‌های منطقه مورد بررسی (محور افقی: رنگ عقیق، محور عمودی: غلظت عناصر برحسب درصد وزنی wt%).

برداشت

مشکی در عقیق‌های این منطقه دارند که بنظر می‌رسد که تغییر مقادیر آهن و منگنز نسبت به هم در نمونه‌های قرمز، مشکی و نارنجی منجر به طیف‌های رنگی متفاوتی شده است. مس مسئول ایجاد رنگ‌های آبی و بنفش است (به احتمال بسیار همراهی آهن و منگنز نیز اثری در ایجاد این رنگ‌ها داشته است). کروم و نیکل در ایجاد رنگ سبز نقش دارند و کاهش قابل ملاحظه مقادیر عناصر موجود در جاسپرهای سفید، نیز منجر به رنگ خنثی در آن‌ها شده است.

قدردانی

از دانشگاه تبریز برای حمایت‌های مالی سپاس‌گزاریم.

مراجع

- [1] Zakaya Y., "Gems (in Persian)", Avicenna, Tehran (1967).
- [2] Merino E., "Survey of geochemical selfpatterning phenomena", in Nicolis G., Baras F., eds., Chemical instabilities: Applications in Chemistry, Engineering, Geology, and Materials science, NATO Advanced Science Series C. 120: Reidel, Dordrecht, (1984) 305–328.
- [3] Merino E., Wang Y., "Self-organization in rocks: Occurrences, observations, modeling, Testing—with emphasis on agate genesis", in Krug H.J., Kruhl J. H., eds., Non-equilibrium processes and dissipative structures in geosciences, Yearbook "Self-Organization". 11: Duncker & Hum blot, Berlin, (2001) 13–45.
- [4] Merino E., Wang Y., Deloule E., "Genesis of agates in flood basalts: Twisting of chalcedony

ترکیب‌های سیلیسی منطقه کسرآب- بهامرز شامل رگه- رگچه‌های سیلیسی، جاسپروئیدها و عقیق‌ها هستند که گسترش قابل توجهی در این منطقه دارند. بررسی‌های کانی- شناسی بر عقیق‌های این منطقه نشان داد که آنها از جاسپر و کلسدونی تشکیل شده‌اند و ترکیب‌های پرکننده حفره‌ها بیشتر کوارتزهای نهان بلورین و کمتر دولومیت هستند. بر پایه بررسی‌های زمین شیمیایی و نمودار عنکبوتی عناصر خاکی نادر، سنگ‌های آذرآواری توفی همبستگی بیشتری با عقیق‌ها و جاسپرهای منطقه دارند، ولی بازالت‌ها همبستگی نشان نمی- دهند. از این رو، سنگ خاستگاه این گوهرسنگ‌ها سنگ‌های آذرآواری (توف‌ها) منطقه هستند. براساس نتایج بررسی‌های زمین شیمیایی و همچنین بازدیدهای صحرایی و از آنجا که مرز به نسبت معینی بین بازالت‌ها (که از نظر سنی جوان‌تر از توف‌های منطقه هستند) و سنگ‌های آذرآواری دربردارنده عقیق در منطقه وجود دارد، به‌نظر می‌رسد که بازالت‌ها تاخیری هستند و در اصل می‌توان گفت که سیال غنی از سیلیس که موجب ته‌نشست رگچه‌های عقیق درون توف‌ها شده یک منبع توده شبه آتشفشانی داشته است. وجود رنگ‌های متنوع چون سبز، آبی، قرمز، نارنجی، مشکی، بنفش و سفید در عقیق‌های منطقه ناشی از تغییرهای جزئی در عناصر رنگ‌زا (آهن، منگنز، مس، کروم و نیکل) در ترکیب ژل‌های سیلیسی است، بطوریکه آهن و منگنز بیشترین اثر را بر ایجاد رنگ قرمز، نارنجی و

- [16] Rezaei-Kahkhaei M., Aghaeighojeh H., Fardoost F., "Geochemistry and Raman spectroscopic studies of Seh Qaleh agates, NW Birjand (Central Iran) (In Persian)", Iranian Journal of Economic Geology 12 (3) (2020) 327-339.
- [17] Khalifa M., Hajji M., Ezzaouia H., "Impurity removal process for high-purity silica production by acid leaching", EPJ Web of Conferences 29 (2012) 00014.
- [18] Aghanabati S.A., "Geology of Iran (in Persian)", Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, (2004) 586 p.
- [19] Shahrabi M., Arabshahi A., Hoseini M., Shaabani K., "Geological map and report of Porang scale 1:100-000, Sheet 8054 (in Persian)", Geological Survey and Mineral Exploration of Iran (2007).
- [20] Navai I., "Geological map and report of Sahlabad scale 1:100-000, Sheet 7954", Geological Survey and Mineral Exploration of Iran (1974).
- [21] Tirrul R., Bell I.R., Griffis R.J., Camp V.E., "The Sistan suture zone of eastern Iran", Geological Society of America Bulletin 94(1) (1983) 134-150.
- [22] Takin M., "Iranian geology and continental drift in the Middle East", nature 235 (1972) 147-150.
- [23] Zarrinkoub M.H., Pang K.N., Chung S.L., Khatib M.M., Mohammadi S.S., Chiu H.Y., Lee H.Y., "Zircon U-Pb age and geochemical constraints on the origin of the Birjand ophiolite, Sistan suture zone, eastern Iran", Lithos 154 (2012) 392-405.
- [24] Berberian M., King G.C.P., "Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran", Canadian journal of earth sciences 18(2) (1981) 210-265.
- [25] Pang K.N., Chung S.L., Zarrinkoub M.H., Mohammadi S.S., Yang H.M., Chu C.H., Lee H.Y., Lo C.H., "Age, geochemical characteristics and petrogenesis of Late Cenozoic intraplate alkali basalts in the Lut-Sistan region, eastern Iran", Chemical Geology 306 (2012) 40-53.
- [26] Walker R.T., Gans P., Allen M.B., Jackson J., Khatib M., Marsh N., Zarrinkoub M., "Late Cenozoic volcanism and rates of active faulting in eastern Iran", Geophysical Journal International 177(2) (2009) 783-805.
- [27] Guillou Y., Maurizot P., Vaslet D., Villeon H., "Geology of the Gazik Quadrangle, 1:250- 000 fibers and trace-element geochemistry", American Journal of Science 295 (1995) 1156-1176.
- [5] Bryxina N.A., Halden N.M., Ripinen O.I., "Oscillatory zoning in an Agate from Kazakhstan: Autocorrelation functions and fractal statistics of trace element distributions", Mathematical Geology 34(8) (2002) 915-927.
- [6] Wang Y., Merino E., "Origin of fibrosity and banding in agates from flood basalts", American Journal of Science 295 (1995) 49-77.
- [7] Bauer J., "A field guide in color to minerals, rocks and precious stones", Artia, Prague, (1977).
- [8] Hopkinson L., Roberts S., Herrington R., Wilkinson J., "Self-organization of submarine hydrothermal siliceous deposits: Evidence from the TAG hydrothermal mound, 26°N Mid-Atlantic Ridge", Geology 26(4) (1998) 347-350.
- [9] Moxon T., "Agate: A study of ageing", European Journal of Mineralogy 14(6) (2002) 1109- 1118.
- [10] Moxon T., Reed S.J.B., "Agate and Chalcedony from Igneous and sedimentary hosts aged from 13 to 3480 Ma: a cathodoluminescence study", Mineralogical Magazine 70(5) (2006) 485-498.
- [11] Götze J., Tichomirova M., Fuchs H., Pilot J., Sharp Z.D., "Geochemistry of Agates", Chemical geology 175 (2000) 523-541.
- [12] Yazdi, M., Lotfi, R., Masoudi, F., Musavi Pak N., "Chemical treatment effects of blue, yellow and green colors with heating methods on agates of Cheshme Shoor Area", Qom, Iran. Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering 4 (2016) 210-217.
- [13] David R.L., "Characterisation of silica minerals in a banded agate; implication for agate genesis and growth mechanisms", Practical Report: Department of earth and ocean Sciences, University of Liverpool, UK, (2006).
- [14] Etemadi Abdol Abadi B., Zarei Moghadam H., Zolfaghari A., "Mineralogic characteristics and genesis of agates and geochemistry of the host rock of agates in Bayk area (in Persian)", The 4th national gemology and crystallography conference of the crystallography and mineralogy association of Iran (2016).
- [15] Khakzad H., Rahgoshay M., Mehdipour Ghazi J., "Geological and genetical characteristics of Agates in Ferdows area (south Khorasan) (in Persian)", Iranian Petrological Journal 12 (45) (2021) 41-62.

basin, (Saxony Germany)”, Chemical Geology 428(9) (2016) 77–91.

[32] Boynton W.V., “*Geochemistry of the rare earth elements; meteorite studies*”, In: Henderson P.(ed.), Geochemistry, Elsevier (1984) 63-114.

[33] Rollinson H., “*Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Routledge”, United States of America, (2014) 352p.

[34] Gotze J., Nasdala L., Kleeberg R., Wenzel M., “*Occurrence and distribution of Moganite in Agate, Chalcedony: A combined micro-roman, Rietveld, and cathodoluminescence study*”, Contribution to Mineralogy and Petrology 133(1-2) (1998) 96-105.

Scale Report”, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran (1981) 172p.

[28] Hajalilou B., Vusuq B., Moazzen M., “*Mineralogy, geochemistry, gemology and color variation in agates from the Mianeh area, NW Iran (in Persian with English abstract)*”, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 19(3) (2011) 427–438.

[29] Whitney D.L., Evans B.W., “*Abbreviations for names of rock-forming minerals*”, American Mineralogist, 95 (2010) 185–187.

[30] Götze J., Gaft M., Möckel R., “*Uranium and uranyl luminescence in agate/ chalcedony*”, Mineralogical Magazine 79 (4) (2015) 985-995.

[31] Götze J., Möckel R., Vennemann T., Müller A., “*Origin and geochemistry of agates in Permian volcanic rocks of the Sub-Erzgebirge*