



Geochemistry and Origin of the Hamedan Chromium Reserve, Northwest Iran

Zahra Gholami^{*1}, Bizhan Etemadi

^{*1}Earth Sciences Department, Faculty of Sciences, Shiraz University

²Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Shiraz University

Abstract:

The mineral corundum (a type of blue sapphire) is found in the central section of composite aplitepegmatite dikes (pegmatites with a combination of syenite), associated with the Elund plutonic suite in the Hamadan region. All aplite and pegmatite samples are highly aluminum-rich and are of type S granite. Chemical earth studies indicate an increase in Al_2O_3 and K_2O with a decrease in SiO_2 in corundum-bearing pegmatites. The increase in the Al_2O_3/TiO_2 ratio indicates that element Al in the high-temperature fluid containing alkaline elements was extracted and enriched in the final metasomatic fluids by forming polymers such as Na-Al-Si-O from the melt. The chemical composition matching of corundum in the Hamadan region on the diagram separating types of primary corundum ($FeO - Cr_2O_3 - MgO - V_2O_3$) versus $FeO + TiO_2 + Ga_2O_3$) confirms its metasomatic origin and direct crystallization from alkaline melt for the formation of this deposit.

Keywords: Corundum, Sapphire, Metasomatism, Composite dikes, Pegmatite, Sanandaj-Sirjan.



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

<https://doi.org/10.22067/gemiran.2026.48063>

زمین شیمی و خاستگاه ذخیره کوندوم همدان، شمال غرب ایران

زهرا غلامی^{۱*}، بیژن اعتمادی^۲

^۱بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز

^۲دانشیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز

چکیده

کانی کوندوم (نوع سفایر آبی) در بخش مرکزی دایکهای آپلیتی-پگماتیتی مرکب (پگماتیتهای با ترکیب سینیتی)، مرتبط با مجموعه پلوتونیک الوند در منطقه همدان یافت می شود. تمام نمونه های آپلیتی و پگماتیتی از نظر درجه اشباع آلومینیم از نوع پرآلومینوس بوده و گرانیات نوع S هستند. مطالعات زمین شیمیایی بیانگر افزایش Al_2O_3 و K_2O با کاهش SiO_2 در پگماتیتهای کوندوم دار است. افزایش نسبت Al_2O_3/TiO_2 نشان می دهد که عنصر Al در سیال با دمای بالا و حاوی عناصر قلیایی با تشکیل پلیمرهای مانند Na-Al-Si-O از مذاب خارج شده و در سیالات متاسوماتیک نهایی غنی شدگی نشان می دهد. تطبیق ترکیب شیمیایی کانی کوندوم منطقه همدان بر روی نمودار تفکیک انواع ذخایر اولیه کوندوم $Cr^{2+}O_3 - MgO - V_2O_5 - FeO - TiO_2$ در برابر $FeO + TiO_2$ Ga_2O_3 ، تایید کننده منشا متاسوماتیک و تبلور مستقیم از مذاب قلیایی، برای تشکیل این ذخیره بود.

واژه های کلیدی: کوندوم، سفایر، متاسوماتیسم، دایک مرکب، پگماتیت، سنج-سیرجان

مقدمه

کوندوم آبی (Al_2O_3) یا سفایر آبی گوهرسنگی کمیاب است که سهم عمده ای در تجارت جهانی گوهرسنگ ها را به خود اختصاص داده است. این گوهر در ایران و در منطقه همدان رخنمون دارد و به عنوان منبعی اقتصادی در راستای توسعه صنعت نو پای گوهرسنگ ها در کشور و ورود به بازار جهانی آنها شناسایی و مورد بررسی قرار گرفت. تشکیل کوندوم مستلزم فراهم شدن شرایط خاص محیطی کم سیلیس و سنگ میزبان با محتوای آلومینیم است. این کانی به صورت خالص بی رنگ است اما عناصر کم مقداری مانند Ti، V، Cr، Fe و Ga به صورت ناخالصی در شبکه بلوری، منجر به تشکیل انواع رنگ های گونه کوندوم می شود. اگر ناخالصی عنصر کروم باشد، رنگ صورتی تا قرمز را ایجاد می کند (بستگی به مقدار کروم دارد که از 0/01 تا 0/1 درصد تغییر می کند) که به آن یاقوت می گویند و سایر رنگ های این کانی سفایر نامیده می شود [۱]. از آنجاییکه سفایر جایگاه ویژه ای در بازار جهانی گوهرسنگ ها داشته و از ذخایر محدودی در سطح جهانی برخوردار است، تعیین فرایند چگونگی تشکیل این گوهرسنگ به منظور راهکاری اکتشافی برای پی جویی و استخراج منابع زیر سطحی، و نیز ساماندهی



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

<https://doi.org/10.22067/gemiran.2026.48063>

تجارت غیر قانونی آن، اخیراً توجه زیادی را به خود معطوف ساخته است [۲]. از این رو بررسی ویژگی های سنگ شناسی و زمی ن شیمیایی ذخایر کروندم، بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۷، ۶، ۵، ۴، ۳، ۱ و ۸].

بر اساس فرایند تشکیل، ذخایر گوهرسنگ کروندم (یا قوت و سفایر) به دو دسته ذخایر اولیه (آذرین، دگرگونی و ذخایر متشکل از فرایندهای متاسوماتیسم) و ثانویه (رسوبی و بیگانه سنگ های آتشفشانی) تقسیم می شوند. سنگ میزبان و محیط تکتونیکی تشکیل کروندوم بسیار متفاوت بوده و به طور کلی کروندوم در محدوده دما و فشار گسترده ای تشکیل می شود [۱]. ترکیب سیال تشکیل دهنده ذخایر این کانی معمولاً غنی از آلومینیم و فقیر سیلیسیم می باشد. بر این اساس پاراژنز کانیایی کروندوم + کوارتز معمولاً در طبیعت مشاهده نمی شود [۹]. واکنش های متاسوماتیسم می تواند منشا بسیاری از ذخایر کوچک مقیاس کروندم باشد. ذخایر متاسوماتیک یکی از ذخایر کروندم هستند که در نتیجه واکنش یک سیال در طول یک ساختار تکتونیکی یا در محل تماس دو واحد سنگی با ترکیب شیمیایی متفاوت تشکیل می شوند. در مقیاس کوچک معمولاً پدیده سیلیس زدایی رخ دادهای متاسوماتیک مسئول تشکیل این ذخایر هستند.

انواع کمیاب پگماتیت های شکافه پرکن معمولاً برای پی جویی ذخایر گوهرسنگ های رنگی (انواع گونه کروندم شامل یا قوت و سفایر، اسپدومن، تورمالین، لپیدولیت و ...) مورد استفاده قرار می گیرد. این پگماتیت ها عمدتاً دارای زون بندی داخلی هستند. این نوع پگماتیت ها در قالب دایک های آپلیتی-پگماتیتهی تزریق شده در سنگ های ماگمایی و دگرگونی، در منطقه همدان بسیار شایع هستند. کانی های اصلی تشکیل دهنده این واحد سنگی شامل فلدسپات پتاسیم دار، کروندم، بیوتیت است [۱۱].

این پژوهش به چگونگی تشکیل ذخیره کمیاب کروندم گوهری اولیه می پردازد. این ذخیره در مجموعه پلوتونیک الوند، در ۱۵ کیلومتری جنوب همدان واقع شده است. سفایرهای گوهری همدان که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است به رنگ آبی و در سنگ های آذرین مشاهده شد. هدف از انجام این پژوهش بررسی ویژگی های سنگ شناسی و شرایط زمین شیمیایی پایداری سازی کانی کروندم در این محیط، و در نهایت استخراج فاکتورهای اکتشافی به منظور پی جویی در مناطقی با زمین شناسی مشابه است.

روش مطالعه

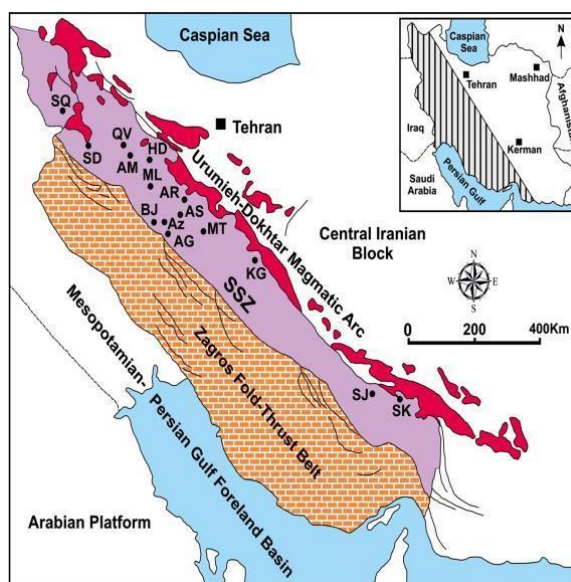
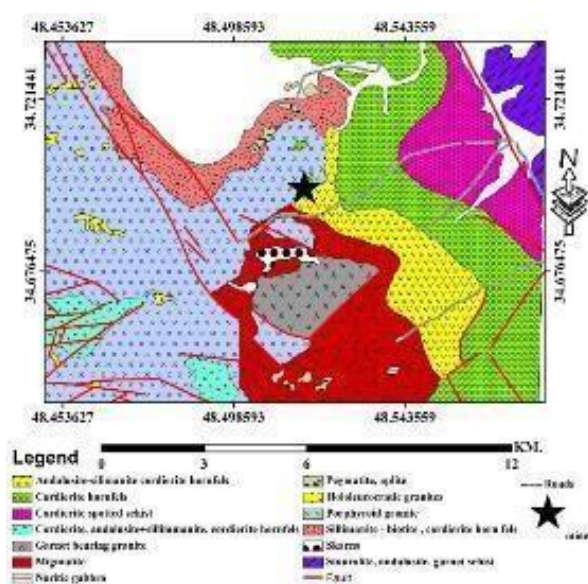
از نمونه های سنگی ماگمایی میزبان کروندم و سنگهای عقیم منطقه، تعداد ۳۰ مقطع (۱۳ مقطع نازک و ۱۷ مقطع دوبرصیقل) تهیه و مطالعات پتروگرافی با استفاده از میکروسکوپ نوری صورت گرفت. تجزیه پراش پرتو ایکس (XRD) در آزمایشگاه شرکت معدنی کانسارن بینالود با استفاده از پراش سنج دستگاه Philips مدل PW1800 انجام شد. تجزیه عناصر اصلی و فرعی در نمونه های سنگی حاوی گوهرسنگ کروندم و نمونه های نابارور به روش (XRF) و (ICP-MS) در آزمایشگاه شرکت مطالعات مواد معدنی زرآرما، انجام شد. به منظور بررسی پراکندگی عناصر اصلی و فرعی در کانی کروندم، مقاطع دو بر صیقل تهیه شده از این کانی را به وسیله روش تجزیه ای الکترون مایکروپروپ (EPMA)، در آزمایشگاه مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران، بخش کانی شناسی مورد مطالعه قرار گرفت.

موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی منطقه همدان

محدوده مورد مطالعه بخشی از پهنه دگرگونی -ماگمایی سهندج-سیرجان است که در جنوب شهر همدان (۱/۱۰۰۰۰۰ برگه همدان) (قرار گرفته است) شکل ۱). فرورانش پوسته اقیانوس نئوتتیس به زیر بخش جنوب غربی ریز قاره ایران منجر به فعالیت های آتشفشانی و ماگمایی در دوران مزوزوئیک و همچنین دگرگونی در حد رخساره شیست سبز شده است. شمال شرق سهندج-سیرجان متشکل است از سنگ های دگرگون و دگرریخت شده که با توده های نفوذی در ارتباط می باشند. قدیمی ترین سنگها، سنگهای دگرگونی با درجه متوسط تا بالا مانند گارنت شیست، استارولیت شیست، آندالوزیت شیست و سیلیمانیت شیست و سنگ های دگرگونی درجه پایین مانند اسلیت و فیلیت است [۱۰]. پهنه سهندج-سیرجان دارای تعداد زیادی مجموعه های ماگمایی و ماگمایی-

دگرگونی مانند الوند، آلموقلاق، ثامن، قروه، بروجرد، ارومیه، اراک، آستانه، قوری و سیاه کوه است (شکل ۱-الف). سنگ شناسی توده های ماگمایی در این پهنه بیشتر متاآلومینوس (Metaluminous) تا کمی پرآلومینوس (Peraluminous) (سری ماگمایی کالک آلکالین پتاسیم بالا است) [۱۴، ۱۳، ۱۲، ۱۱ و ۱۵].

توده نفوذی الوند با وسعت بیش از ۴۰۰ کیلومتر مربع، یکی از مهمترین مجموعه های ماگمایی در غرب ایران است که مورد توجه محققین زیادی قرار گرفته است. در جدیدترین پژوهش صورت گرفته، سنگ شناسی مجموعه پلوتونیک الوند را متشکل طیفی از سنگهای آذرین شامل: گابرو، دیوریت، گرانیتوئید، گرانیت و لوکوگرانیت های که به صورت دایک های آپلیتی و پگماتیته نفوذ کرده اند، عنوان شده است [۱۶] (شکل ۱-ب). خصوصیات زمین شیمیایی سنگ های پگماتیته و گرانیتوئیدهای همراه آنها توسط محققان بسیاری مورد بررسی قرار گرفته است [۱۹، ۱۸، ۱۷ و ۱۶]. متوسط سن برای سه گروه سنگی اصلی این مجموعه شامل گابرو: سن 166.5 ± 1.8 میلیون سال، گرانیت: سن ۱۶۴ تا ۱۶۲ میلیون سال و گرانیتوئیدهای لوکوکراتیک: سن بین ۱۵۴ تا ۱۵۳ میلیون سال برآورد شده است [۱۸]. براساس سن سنجی انجام شده به روش اورانیوم-سرب، دایک های آپلیتی فاقد کرونوم سن $154 \pm 3/7$ تا ۱۶۱ [271/2 $\pm$ 0/9] و دایک های آپلیتی-پگماتیته کرونوم دار سن 164 ± 1 تا 168 ± 1 دارند [۲۰].



شکل ۱-الف: موقعیت توده های نفوذی در پهنه سهند-سیرجان [71] SQ: سقز، SD: سهند، QV: قروه، AM: آلموقلاق، HD: همدان (الوند)، ML: ملایر، BJ: بروجرد، AR: اراک، AS: آستانه، AZ: ازنه، AG: الیگودرز، MT: موته (حسن ربات)، KG: کلاه قاضی، SJ: سیرجان، SK: سیاه کوه. ب: نقشه زمین شناسی منطقه همدان و مجموعه پلوتونیک الوند، تهیه شده بر اساس نقشه 1:100000 برگه همدان و توپسرکان (سازمان زمین شناسی ایران ۲۰۰۳).

مشاهدات صحرایی و نمونه برداری

منطقه مورد مطالعه در ۱۵ کیلومتری جنوب شهر همدان واقع شده و واحدهای سنگی ماگمایی و دگرگونی به وفور مشاهده می شود. دایک های آپلیتی و پگماتیته در بخش های داخلی، بیرونی و مرزی توده پلوتونیک نفوذ کرده اند [۱۶]. در محدوده مورد مطالعه دایک های آپلیتی-پگماتیته با ضخامت چند سانتی متر تا بیش از ۳ متر، واحدهای سنگی دگرگونی و ماگمایی را قطع کرده اند. بیشتر دایک ها ترکیب شیمیایی گرانیتی دارند و دایک های با ترکیب سینیتی، به خصوص آنها که حاوی کانه زایی کرونوم هستند، بسیار کمیابند و به همین دلیل سنگ شناسی و زمین شیمی این نوع پگماتیت تا کنون ناشناخته مانده است. آپلیت های

منطقه را می توان به دو گروه اصلی شامل: ۱) آپلیت های مرکب (BCA) همراه با پگماتیت های کروندم دار (CBP) که در قالب یک دایک هستند و دایک های مرکب (Composite dyke) را تشکیل می دهند (شکل ۲- الف و ب) (آپلیت های ساده (BSA) که به تنهایی یک دایک را تشکیل می دهند و ارتباطی با پگماتیت ندارند) شکل- پ (، تفکیک کرد. در دایک های مرکب کانه زایی کروندم) به قطر چند میلیمتر تا بیش از ۱ سانتی متر (در بخش مرکزی دایک و در واحد پگماتیستی مشاهده می شود) شکل ۲- ب. در دایک های آپلیتی ساده هیچ گونه کانه زایی کروندم مشاهده نشد (شکل ۲- پ). بنابراین هدف اصلی این مطالعه، تفکیک سنگ های دارای کانه زایی کروندم و سنگ های فاقد کروندم، به منظور معرفی اندیس اکتشافی برای سنگهای مستعد کانه زایی و تعمیم به سایر محیط های زمین شناسی مشابه، است. برای دستیابی به این هدف از هر دو گروه سنگی بارور و نابارور در منطقه طی دو مرحله نمونه برداری شد: پگماتیت های کروندم دار (CBP) (شکل ۲- الف)، دو گروه نمونه از آپلیت های نابارور شامل آپلیت های نابارور مرکب (BCA) (که در ارتباط مستقیم با پگماتیت های کروندم هستند) شکل ۲- الف و آپلیت های نابارور ساده (BSA) (شکل ۲- پ).

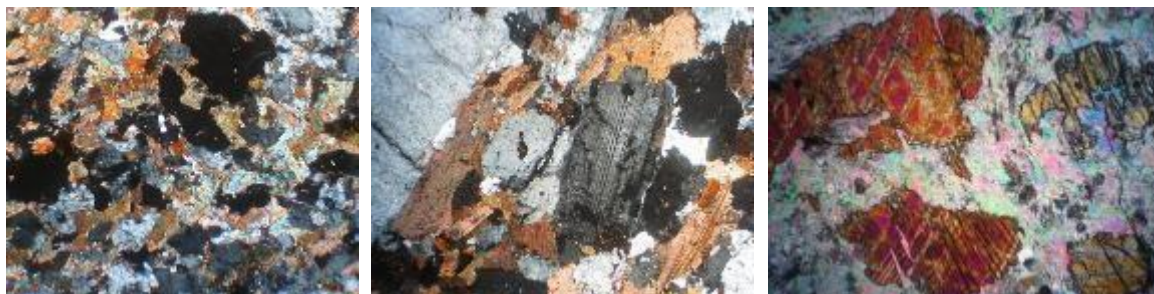


شکل ۲ دو نوع دایک در منطقه همدان: الف و ب: دایک مرکب، حضور آپلیت و پگماتیت در ارتباط مستقیم با هم و در ی ک یه دایک واحد. پ: دایک ساده متشکل از آپلیت CBP: پگماتیت کروندمدار، BCA: آپلیت مرکب عقیم، BSA: آپلیت ساده عقیم، Crn: کروندم.

نتایج

کانی شناسی سنگ میزبان

با استفاده از مطالعات میکروسکوپی و پراش پرتو ایکس، سنگهایی ماگمایی منطقه از لحاظ دارا بودن کانیهای کروندوم و کوارتز به دو گروه تقسیم شدند: سنگهای دارای کروندوم که آلبیت، میکروکلین، اورتوکلاز، بیوتیت و مسکوویت دیگر کانیهای این واحد سنگی هستند (شکل ۳- الف و جدول ۱). و سنگهای کوارتزار که فاقد کروندوم و کانیهای آلبیت و میکروکلین به عنوان فازهای اصلی و بیوتیت و اورتوکلاز به عنوان فازهای فرعی کانیایی دارند (شکل ۳- ب و پ و جدول ۱).



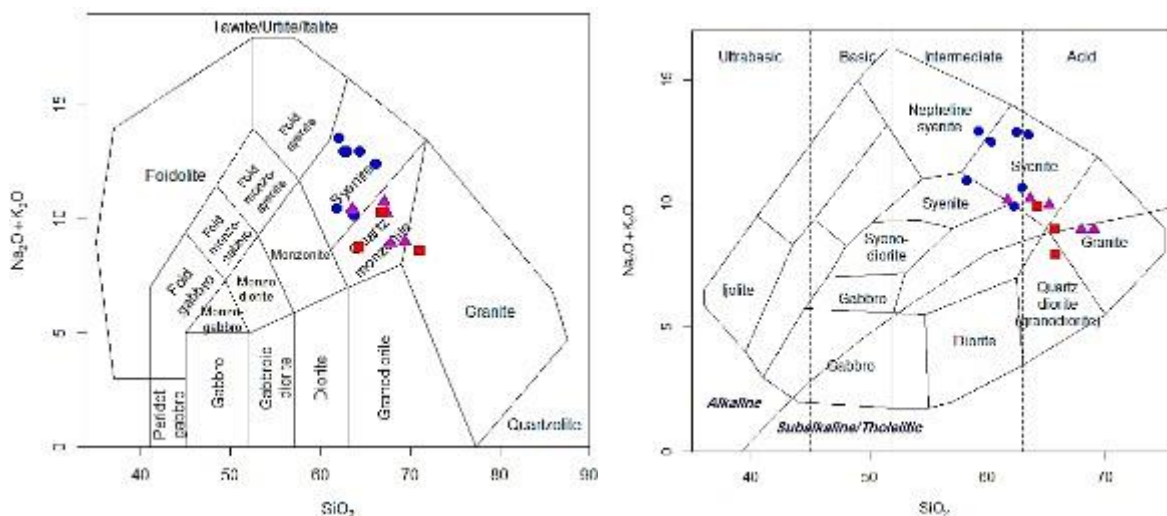
شکل ۳) مقطع میکروسکوپی از واحدهای سنگی منطقه، الف: پگماتیت حاوی کروندم (Cm: کروندم، Ms: مسکوویت). ب: آپلیت نابارور مرتبط با پگماتیت در دایک مرکب QZ: (کوارتز، Pl: پلاژیوکلاز، Bt: بیوتیت). پ: آپلیت نابارور در دایک ساده

جدول ۱- نتایج آنالیز پراش پرتو ایکس

کانی سن	اورتوکلاز	مسکوویت	بیوتیت	میکروکلین	آلبیت	کوارتز	کروندوم
گ							
CBP ₁	*	-	*	*	-	*	*
CBP ₂	*	-	-	*	-	*	*
CBP ₃	*	-	*	*	*	-	*
BCA ₁	-	*	*	-	*	-	-
BCA ₂	-	*	*	-	-	-	-
BSA ₁	-	*	*	-	-	*	-

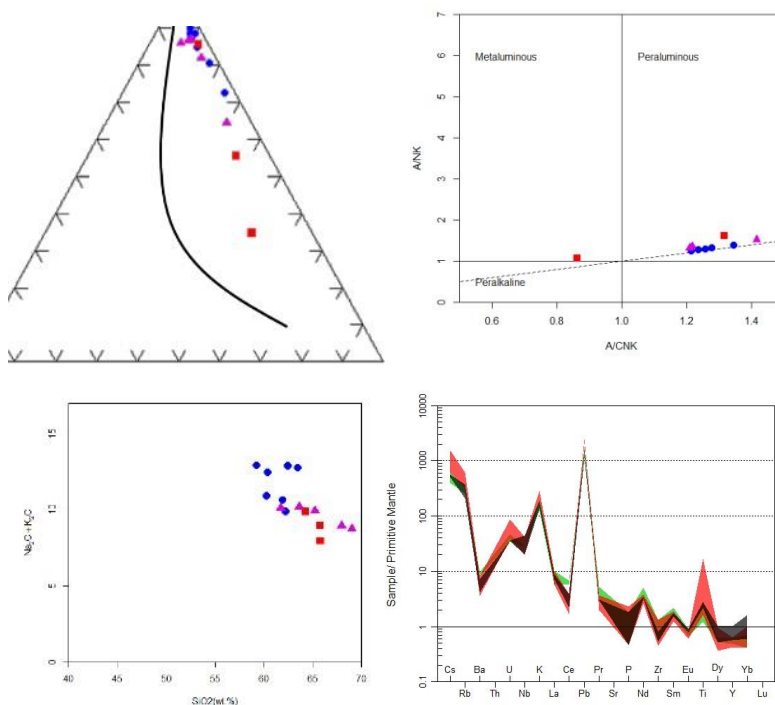
زمین شیمی سنگ میزبان

داده های عناصر اصلی و فرعی سنگ میزبان برای سنگ های منطقه همدان به ترتیب با استفاده از روشهای تجزیه ای (XRF) و (ICP-MS) اندازه گیری شد. بررسی رفتار این عناصر نقش موثری تعیین فرایند تشکیل و شرایط پایداری کانی کروندم دارد. نمودار رده بندی شیمیایی ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) در مقابل، SiO_2 ارائه شده توسط کاکس و همکاران [۲۱] نشان می دهد که سنگ های ماگمایی منطقه مورد مطالعه ترکیب شیمیایی معادل سینیت، گرانیت و گرانیتوئید دارند (شکل ۴-الف). پگماتیت های دارای کروندوم ترکیب سینیتی (به دلیل مقدار پایین SiO_2) و آپلیت های فاقد کروندم ترکیب گرانیتی-گرانیتوئیدی دارند (شکل ۴-الف). در نمودار TAS، [22] سنگ های دارای کروندم در محدوده سینیت و آپلیت های نابارور در محدوده گرانیت و کوارتزمنزونیت واقع شد (شکل ۴-ب).



شکل ۴) رده بندی سنگهای ماگمایی منطقه همدان. الف: کاکس و همکاران [12]. ب: میدلموست [22].

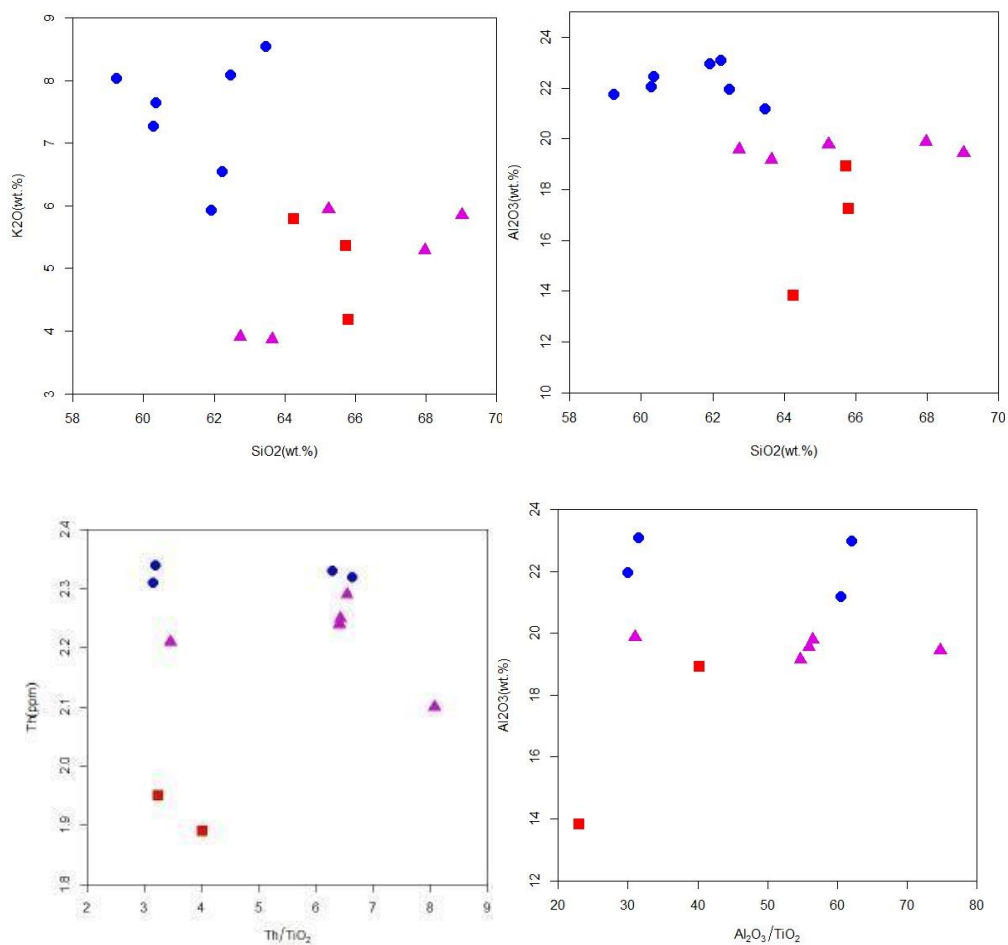
در نمودار نسبت ANK به A/CNK [32] تمامی نمونه‌های پگماتی‌تی و آپلیتی منطقه ترکیب پرآلومینوس را نشان می‌دهد (شکل ۵-الف). مقدار مولار A/CNK (Al₂O₃/CaO Na₂O K₂O) نمونه‌ها بین 1/2 تا 1/41 می‌باشد (شکل ۵-الف). در نمودار تفکیک گرانیتهای نوع I و S [42] تمامی نمونه‌های منطقه در محدوده گرانیتهای نوع S قرار گرفتند (شکل ۵-ب). نمودار عنکبوتی عناصر فرعی بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه الگوی یکسانی را برای هر سه گروه سنگی نشان می‌دهد. نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه غنی شدگی عناصری مانند U, Th, Rb, K و Pb را نشان می‌دهند (شکل ۵-پ).



شکل ۵-الف: نمودار درجه اشباع از آلومین [۲۳] و موقعیت نمونه‌های منطقه همدان. ب: نمودار تعیین نوع گرانیتهای [۲۴] و موقعیت نمونه‌های منطقه همدان. پ: نمودار عنکبوتی عناصر فرعی، بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه. ت: نمودار تعیین درجه ذوب بخشی و تبلور تفریقی.

ترکیب زمین شیمیایی سنگ‌های حاوی کروندم به طور واضح تهی شدگی از سیلیس همراه با غنی شدگی Al₂O₃ و K₂O را نشان می‌دهد (شکل ۵-ب). همانگونه که در جدول شماره ۲ آورده شده است، میزان Al₂O₃ برای نمونه‌های حاوی کروندم ۲۱/۱۹ تا ۲۳/۰۹ درصد وزنی و برای آپلیت‌های نابارور ۱۹/۱۶ تا ۱۹/۸۷ درصد وزنی است. محتوای Al₂O₃ روند افزایشی را از پگماتیتهای کروندم دار به سمت آپلیت‌های نابارور نشان می‌دهد. بالاترین میزان محتوای سیلیس در نمونه‌های حاوی کروندم به ۴۵/۶۳ درصد وزنی می‌رسد، این در حالی است که هر دو گروه آپلیت‌های نابارور محتوای سیلیس بالاتری دارند (بیش از ۶۹/۰۲ درصد وزنی). مقدار K₂O در پگماتیتهای کروندم دار به طور چشمگیری بالا است. به طور کلی مجموع عناصر قلیایی (Na₂O+K₂O)

در پگماتیتهای کروندم دار نسبتا بالا است و این میزان به بیش از ۱۱/۸۱ میرسد؛ این در حالی است که این میزان در نمونه‌های نابارور به ۱۰/۰۸ کاهش می‌یابد. پگماتیتهای کروندم دار و آپلیت‌های نابارور از لحاظ محتوای TiO₂ تفاوت قابل ملاحظه‌ای را نشان نمی‌دهند، اما نسبت ۲Al₂O₃/TiO در نمونه‌های کروندم دار افزایش چشمگیری را نسبت به نمونه‌های نابارور نشان می‌دهد (شکل ۵-پ). نمودار Th در برابر Th/TiO₂ نشان دهنده غنی شدگی سنگهای میزبان کروندم از Th است (شکل ۵-ت).



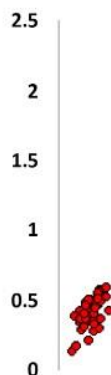
شکل ۶) الف: نمودارهای زمین شیمی نمونه های سنگی منطقه همدان (اکسید عناصر اصلی بر اساس درصد وزنی و عناصر فرعی بر اساس ppm هستند). الف و ب: K_2O و Al_2O_3 در برابر SiO_2 . پ: Al_2O_3 در برابر Al_2O_3/TiO_2 . ت: Th در برابر Th/TiO_2 .

Sample	SBP1	SBP2	SBP3	SBP4	SBP5	SBP6	SBP7	BCA1	BCA2	BCA3	BCA4	BCA5	BSA1	BSA2	BSA3
Sapphire bearing pegmatite	Barren composite aplite	Barren simple aplite													
SiO2	61.92	62.22	63.45	59.23	60.34	62.45	60.27	63.64	62.74	69.02	67.96	65.24	64.26	65.73	65.79
TiO2	0.37	0.73	0.35	0.00	0.00	0.73	0.00	0.35	0.35	0.26	0.64	0.35	0.6	0.47	0.00
Al2O3	22.97	23.09	21.19	21.75	22.45	21.96	22.07	19.16	19.56	19.45	19.87	19.78	13.83	18.92	17.23
Fe2O3	3.73	1.38	1.53	1.18	0.79	0.8	0.94	0.77	4.1	1.08	1.58	0.97	5.26	5.76	1.26
MnO	0.07	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.12	0.04	0.05	0.01	0.11	0.06	0.02
MgO	0.51	0.05	0.05	0.07	0.05	0.06	0.03	0.03	0.23	0.07	0.34	0.05	0.46	0.73	0.05
CaO	0.44	0.25	0.2	0.27	0.24	0.3	0.24	0.67	0.88	0.42	0.47	0.51	1.66	1.45	0.24
Na2O	4.72	3.37	4.26	4.91	4.85	4.79	3.66	6.34	6.22	2.9	3.66	4.01	4.1	3.6	3.78
K2O	5.94	6.55	8.55	8.07	7.65	8.09	7.27	3.86	3.9	5.85	5.28	5.94	5.78	5.35	4.18
Th	2.33	2.31	2.32	2.35	1.72	2.34	1.99	2.25	2.24	2.1	2.21	2.29	1.95	1.89	2.12
Nb	21	20	22.4	19.4	21.2	14.5	30.1	20.1	19.9	19.8	19.7	19.8	29.7	31.3	14.2
La	6	7	5	7	4	7	4	5	5	6	4	7	6	5	5
Ce	4	3	3	6	4	7	5	11	11	12	10	11	7	6	4
Pr	0.75	0.8	0.55	0.81	0.64	1.01	0.86	0.82	0.99	0.97	0.9	1.46	0.82	0.85	0.82
Nd	3.8	4.7	3.5	4.4	3.7	5.1	4.6	6.6	6.5	5.8	4.8	6.8	4.3	4.5	4.7
Sm	0.64	0.75	0.59	0.71	0.56	0.83	0.65	0.94	0.85	0.78	0.69	0.98	0.68	0.72	0.79
Eu	0.11	0.12	0.11	0.14	0.13	0.1	0.12	0.11	0.14	0.15	0.12	0.13	0.15	0.14	0.13
Dy	0.39	0.4	0.39	0.52	0.27	0.7	0.4	0.41	0.38	0.42	0.45	0.46	0.45	0.38	0.74
Er	0.2	0.18	0.19	0.27	0.11	0.26	0.4	0.21	0.23	0.18	0.2	0.19	0.19	0.25	0.61
U	0.85	0.95	0.8	1	0.9	1.8	0.96	0.74	0.88	0.75	0.98	1	0.74	0.75	0.73
Pb	150	171	145	147	164	154	148	105	115	117	116	98	97	80	109
Yb	0.27	0.25	0.3	0.3	0.2	0.3	0.5	0.34	0.31	0.29	0.2	0.3	0.3	0.4	0.8
Y	2.4	2.7	2.3	2.9	1.9	2.6	2.5	2.9	2.5	2.22	2.3	2.4	2.7	2.6	4.6
Cs	9.3	9.7	9.2	11.9	6.2	11.3	4.8	4.1	4.6	4.9	4.5	3.1	4.5	4.4	4
Ba	27	30	26	56	25	48	45	58	57	63	61	67	35	50	29
Rb	370	359	369	380	344	393	198	178	197	182	171	162	226	241	132
Sr	18	22.5	15.8	31.1	13.1	22.7	21.2	23	24.1	24.5	23.3	24.3	20.9	21.8	22.1
Zr	13	12	13	14	15	5	8	13	15	12	7	6	7	9	6

جدول 3-نتایج تجزیه شیمیایی نمونه های سنگی منطقه مورد مطالعه.

زمین شیمی سفایر همدان

داده های شیمیایی به دست آمده از تجزیه نمونه های کروندم های همدان به روش EPMA در جدول 3 آورده شده است. مقدار عناصر V، Cr، Fe، Ti و Ga اندازه گیری شد که نشان می دهد بلورهای سفایر آبی همدان غنی از Ti و Fe هستند. مقدار TiO_2 در سفایرهای مورد مطالعه 0/29 تا 0/32 درصد وزنی با میانگین 0/16 و محتوای FeO این نمونه ها 0/08 تا 0/32 اندازه گیری شد. بر اساس نتایج به دست آمده مقدار Ga_2O_3 بیش از 0/13 درصد وزنی اما مقدار Cr_2O_3 و V_2O_5 بسیار پایین (به ترتیب 0 تا 0/01 و 0 تا 0/04 درصد وزنی) برآورد شد. ترسیم داده های به دست آمده از تجزیه نمونه های سفایر همدان بر روی نمودار رده بندی شیمیایی انواع ذخایر اولیه کروندم $(MgO - V_2O_5 - FeO - Cr_2O_3 - FeO)$ مقابل $(Ga_2O_3 + TiO_2 + FeO)$ [7] منشأ متاسوماتیک و سنگهای قلیایی را برای این نمونه ها نشان داد (شکل ۷).



شکل ۷) نمودار رده بندی شیمیایی انواع ذخایر اولیه کروندم دنیا [۲۵] و جایگیری نمونه های کروندم همدان در محدوده متاسوماتیک.

جدول ۳- نتایج تجزیه شیمیایی سفایر همدان به روش EPMA.

Sample No.	MgO	FeO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃	TiO ₂
1	0.00	0.15	0.17	98.69	0.00	0.00	0.12	0.16
2	0.00	0.15	0.17	98.89	0.01	0.00	0.1	0.16
3	0.00	0.23	0.25	94.28	0.00	0.00	0.13	0.12
4	0.00	0.19	0.21	95.21	0.01	0.00	0.1	0.11
5	0.00	0.21	0.23	98.54	0.00	0.00	0.1	0.11
6	0.00	0.13	0.14	97.56	0.00	0.00	0.04	0.17
7	0.00	0.17	0.19	98.53	0.00	0.00	0.01	0.17
8	0.00	0.2	0.22	97.71	0.00	0.00	0.07	0.23
9	0.00	0.08	0.09	98.44	0.00	0.00	0.06	0.00
10	0.03	0.18	0.2	98.83	0.00	0.00	0.00	0.17
11	0.00	0.13	0.14	98.79	0.00	0.00	0.09	0.17
12	0.00	0.18	0.2	97.34	0.00	0.00	0.09	0.2
13	0.00	0.17	0.19	96.47	0.00	0.00	0.12	0.2
14	0.00	0.26	0.3	97.84	0.00	0.00	0.06	0.26
15	0.00	0.17	0.19	96.48	0.00	0.00	0.09	0.17
16	0.00	0.1	0.11	99.73	0.01	0.00	0.1	0.19
17	0.00	0.14	0.15	97.76	0.00	0.00	0.08	0.08
18	0.00	0.15	0.17	98.14	0.00	0.04	0.02	0.01
19	0.00	0.23	0.25	99.29	0.00	0.01	0.03	0.03
20	0.00	0.14	0.15	98.67	0.00	0.00	0.05	0.11
21	0.00	0.27	0.30	96.82	0.00	0.00	0.00	0.28
22	0.00	0.3	0.33	97.89	0.00	0.00	0.05	0.25

23	0.00	0.3	0.33	97.71	0.00	0.00	0.02	0.21
24	0.00	0.23	0.25	97.97	0.00	0.00	0.00	0.28
25	0.00	0.19	0.21	97.53	0.00	0.00	0.1	0.22
26	0.00	0.26	0.3	97.59	0.00	0.00	0.05	0.00
27	0.00	0.26	0.31	96.82	0.00	0.00	0.07	0.24
28	0.00	0.2	0.22	96.11	0.00	0.00	0.02	0.23
29	0.00	0.16	0.18	96.73	0.00	0.00	0.00	0.23
30	0.00	0.2	0.22	97.12	0.00	0.00	0.09	0.22
31	0.00	0.25	0.28	96.76	0.00	0.00	0.05	0.17
32	0.00	0.22	0.24	96.85	0.00	0.00	0.00	0.23
33	0.00	0.24	0.26	95.77	0.00	0.00	0.00	0.22
34	0.00	0.19	0.21	96.92	0.00	0.00	0.08	0.24
35	0.00	0.25	0.28	96.72	0.00	0.01	0.06	0.18
36	0.00	0.22	0.24	97.92	0.00	0.00	0.03	0.11
37	0.03	0.16	0.17	95.01	0.00	0.00	0.09	0.18
38	0.00	0.25	0.27	98.29	0.00	0.00	0.02	0.29
39	0.00	0.27	0.30	98.32	0.00	0.00	0.03	0.2
40	0.00	0.27	0.30	96.6	0.00	0.00	0.07	0.03
41	0.00	0.17	0.19	95.74	0.00	0.00	0.03	0.27
42	0.00	0.13	0.14	98.82	0.00	0.00	0.08	0.16
43	0.00	0.17	0.19	96.16	0.00	0.00	0.03	0.17
44	0.00	0.16	0.17	97.52	0.00	0.00	0.13	0.03
45	0.00	0.22	0.24	98.74	0.00	0.00	0.07	0.04
46	0.00	0.16	0.18	97.04	0.00	0.00	0.09	0.16
47	0.00	0.22	0.24	96.17	0.00	0.00	0.05	0.14
48	0.00	0.27	0.30	96.3	0.00	0.00	0.1	0.13
49	0.00	0.32	0.35	95.77	0.00	0.00	0.11	0.00
50	0.00	0.19	0.21	96.61	0.00	0.00	0.02	0.01
51	0.00	0.23	0.25	97.98	0.00	0.00	0.07	0.15
52	0.00	0.25	0.28	96.15	0.00	0.00	0.1	0.17

بحث و بررسی

رده بندی های متعددی برای ذخایر کروندم دنیا بر اساس موقعیت زمین شناسی، سنگ شناسی سنگ میزبان و فرایند تشکیل کروندم توسط محققان مختلف ارائه شده است [۷، ۲۵، ۸]. با این وجود منشأ پگماتیت های سینیتی کروندم دار کمتر شناخته شده است. فعالیت های ماگمایی ژراسیک در پهنه سندنجان-سیرجان [۱۶] همراه با داده های زمین شیمیایی نشان دهنده منشأ پوسته ای برای دایک های آپلیتی -پگماتیته ساده و مرکب، در منطقه مورد مطالعه است. الگوی عناصر فرعی بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه و غنی شدگی عناصر U، Th، K، Rb و Pb تایید کننده منشأ پوسته ای نمونه ها می باشد (شکل ۵-ت) [۲۷، ۲۶ و ۴۲]. علاوه بر این پوسته ای بودن منشأ دایک های آپلیتی - پگماتیته منطقه همدان با خصوصیت نوع S و پرآلومینوس بودن این سنگها نیز تایید می شود (شکل الف و ب).

بر اساس مطالعات صورت گرفته در این پژوهش (مطالعات صحرایی، کانی شناسی، زمین شیمی و الکترومیکروپروب)، مدل ژنری برای تشکیل ذخیره کروندم همدان ارائه شد که در زیر آمده است:

۱) فرورانش پوسته اقیانوسی نفوتتیس منجر به ماگماتیسزم ژوراسیک در پهنه سندنجان-سیرجان شده است [۱۸ و ۱۰۲]. بر اساس سن سنجی انجام شده توسط شهبازی و همکاران (۲۰۱۰)، مجموعه الوند در همین دوره، از نفوذ ماگمای میفیک منشأ گرفته از پوسته اقیانوسی، به دورن پوسته قارهای تشکیل شده است. ترسیم نقاط به دست آمده از تجزیه نمونه های مورد مطالعه بر روی نمودار

$2\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ ، نشان دهنده ذوب بخشی پوسته است (شکل [۲۸]. این نتیجه با نوع S، پرآلومینوس بودن و غنی شدگی از عناصر U، Rb، K، Pb تایید می شود [۲۶، ۲۷ و ۲۴].

۲) از دست رفتن مذاب^{۱۲} فرایند محتمل برای تشکیل دایک های آپلیتی دانه ریز و افزایش میزان SiO_2 در این واحد سنگی نابارور است. در این مرحله ماگمای باقیمانده فقیر از سیلیس می شود [۲۹]. این نتیجه با داده های سن سنجی انجام شده توسط سپاهی و همکاران (۲۰۲۰) تایید می شود که دایک های آپلیتی ساده سنی بیشتر از دایک های مرکب حاوی کروندم دارند. ۳- در این مرحله دایک های آپلیتی-پگماتیتهی مرکب شکافه پرکن از ماگمای باقیمانده از مرحله ۲، تشکیل شده است. دایک ها دارای زونینگ و به این صورت است که پگماتیت در مرکز و آپلیت در حاشیه دایک قرار گرفته است. پگماتیت های شکافه پرکن در منطقه همدان می تواند جهت پی جویی گوهرسنگ های رنگی مانند گارنت، آندالوزیت، کیانیت کوردیریت و ... مفید واقع شود [۱۶]. زون بندی داخلی پگماتیت ها بر اساس تغییرات بافت و کانی شناسی آنها تعریف می شود [۳۰]. این پگماتیت ها از یک زون دیواره در حاشیه و یک هسته در مرکز تشکیل شده اند. زون دیواره آپلیتی با ترکیب گرانیتهی عمدتاً از بلورهای کوارتز تشکیل شده است [۳۱]، که بر اثر سرد شدن سریع مذاب بسیار دانه ریز هستند. زون هسته با ماهیت سینیتی، محتوای SiO_2 بسیار پایینی دارد. در منطقه مورد مطالعه دایک های آپلیتی ساده و آپلیتی-پگماتیتهی مرکب به درون سنگهای ماگمایی و دگرگونی، در حاشیه و درون توده الوند تزریق شده اند.

۴) فرایند اصلی در این مرحله تبلور تفریقی است که منجر به ورود SiO_2 به درون زون آپلیتی دیواره و کاهش سیلیس در مذاب باقیمانده می شود. از خروج مذاب و تشکیل آپلیت های ساده با ترکیب گرانیتهی نیز فرایند دیگر کاهش سیلیس است. سیال باقیمانده در تعادل با فاز متبلور شده، غنی از آلومینیم و عناصر قلیایی مانند سدیم و پتاسیم است و زون هسته را تشکیل می دهد. محتوای بالای آلومینیم مورد نیاز برای تشکیل کروندم توسط کمپلکس های پلیمری قلیایی (مانند $\text{Na}-\text{Al}-\text{Si}-\text{O}$) تامین می شود [۳۴، ۳۳، ۲۹]. بنابراین از دست رفتن سیلیس و تشکیل زون آپلیتی دیواره و حضور کمپلکس های قلیایی هیدروکسیدی آلومینیم، شرایط را برای تشکیل و پایداری کروندم در هسته پگماتیتهای زونبندی شده همدان فراهم کرده است. این نتیجه با حضور سلیکات های قلیایی مانند اورتوکلز و میکروکلین و عدم حضور کوارتز در این زون، تایید می شود. غنی شدگی مذاب از عناصر قلیایی و تهی شدگی از سیلیس می تواند با پشت سر گذاشتن درجه بالایی از ذوب بخشی در محل منشا ماگما رخ دهد [۲۸]. مقدار Al_2O_3 از سنگهای آپلیتی نابارور به سمت سنگ های کروندم دار افزایش یافته، اما TiO_2 در این دو گروه سنگی تغییر چندانی را نشان نمی دهد. این در حالی است که هر دو عنصر آلومینیم و تیتانیم، عناصری بزرگ یون با قدرت میدان بالا (HFSE) هستند و در فرایندهای متاسوماتیک مانند تبلور تفریقی و تبادل عناصر در فاز سیال، تقریباً نامتحرک عمل میکنند [۲۹]. افزایش نسبت $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ در سنگهای حاوی سفایر، و افزایش مقدار Th به عنوان یک عنصر ناسازگار در دمای بالا نشان دهنده تحرک Al به واسطه کمپلکس های هیدروکسیدی قلیایی (پلیمرهای $\text{Na}-\text{Al}-\text{Si}-\text{O}$) در مذاب با دمای بالا است [۳۳، ۳۴].

۵) تبلور سفایر و فلدسپات های قلیایی (پگماتیت های حاوی سفایر) از سرد شدن مذاب باقیمانده و تشکیل زون هسته که به واسطه کم بودن سرعت سرد شدن کانی های این زون بسیار درشت بلور هستند. چرخش سیال یا متاسوماتیسم در مقیاس کوچک^{۱۳} فرایندی است که منجر به تشکیل پگماتیت سفایردار فقیر از سیلیس میشود [۱]. مطالعه حاضر پیشنهاد می دهد که چرخش سیال در مرحله نهایی تبلور مذاب شرایطی را فراهم آورده است که طی آن تبادل عناصر بین دیواره متبلور شده با ماهیت اسیدی و سیال باقیمانده رخ داده است. ارتباط معکوس SiO_2 ، Al_2O_3 و K_2O ، با تبلور فلدسپات قلیایی و سفایر در پگماتیت ها تایید می

شود. بر اساس مطالعات کانی شناسی، عدم حضور کوارتز در این واحد سنگی به اثبات رسید. این تجمع کانیاپی، آخرین مرحله از تبلور مذاب و تشکیل مستقیم سفایر از مذاب را نشان میدهد. این نتیجه با داده های به دست آمده از تجزیه الکترومیکروپروب که نمونه های سفایر همدان در محدوده متاسوماتیک و سنگهای قلیایی واقع شدند تایید می شود.

بر اساس مدل ارائه شده در این پژوهش، چند راهنمای اکتشافی برای سفایر در محیط های زمین شناسی مشابه پیشنهاد می گردد: الف: دایک های غنی از کوارتز را کاملاً نادیده گرفته و در صورت حضور کوارتز، احتمال کانه زایی و پایداری سفایر وجود ندارد. ب: دایک های پگماتیتهی مرکب با ترکیب سینیتی و فاقد کوارتز می تواند هدف خوبی برای پی جویی سفایر باشد. این نتایج در این پژوهش با داده های زمین شیمیایی مانند غنی بودن آپلیت های نابارور از سیلیس و فقیر بودن این سنگها از آلومینیم و همچنین تهی شدگی پگماتیت های بارور از سیلیس و غنی شدگی این سنگها از آلومینیم، تایید می شود.

نتیجه گیری

ذخیره گوهرسنگ کروندم همدان در ارتباط با محیط ماگمایی در محدوده پلوتونیک الوند واقع شده است. سنگ های حاوی کروندم این منطقه در دایک های آپلیتی- پگماتیتهی که به صورت مرکب رخ داده اند، قرار گرفته اند. تفسیر داده های شیمیایی عناصر اصلی، تهی شدگی از سیلیس و غنی شدگی از آلومینیم همراه با ترکیب شیمیایی سینیتی را برای پگماتیت های حاوی کروندم نشان می دهد. بررسی های به عمل آمده نشان می دهد که چرخش سیال در مراحل پایانی تبلور مذاب، منجر به تبادل متاسوماتیکی بین بخش جامد اسیدی متبلور شده و سیال باقیمانده، شده است.

از آنجاکه سفایر گوهرسنگی ارزشمند و پی جویی آن می تواند برای اقتصاد و کارآفرینی در منطقه از اهمیت ویژه ای برخوردار باشد، بر اساس پژوهش های انجام شده در این مقاله دو فاکتور اکتشافی اصلی برای سنگ های حاوی کروندم در منطقه همدان ارائه کرد: ۱) اکتشاف در مکان هایی که پگماتیت در دایک های مرکب رخ داده است، در این محیط ها تبلور مذاب در دو مرحله صورت گرفته است، به این صورت که در مرحله اول $2SiO$ از مذاب به درون فازهای کانیاپی سیلیکاتی وارد شده و سیال باقیمانده از $2SiO$ تهی شده است. ۲) اکتشاف در جایی که پگماتیت ها ترکیب سینیتی دارند، زیرا تحرک عنصر آلومینیم به وسیله کمپلکس هیدروکسیدی قلیایی یا به واسطه پلیمرهایی مانند $Na-Al-Si-O$ در سیال های قلیایی، رخ داده است.

References

- [1] Simonet, C., Fritsch, E. and Lasnier, B., 2008. A classification of gem corundum deposits aimed towards gem exploration. *Ore Geology Reviews*. 34(1-2), 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2007.09.002>.
- [2] Shor, R., Weldon, R., 2009. Ruby and Sapphire production and distribution: a quarter Century of change. *Gems and Gemology* 45, 236e259.
- [3] Graham, I., Sutherland, L., Zaw, K., Nechaev, V. and Khanchuk, A., 2008. Advances in our understanding of the gem corundum deposits of the West Pacific continental margins intraplate basaltic fields. *Ore Geology Reviews*. 34, 200–15. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2008.04.006>.
- [4] Sutherland, F.L., Duroc-Danner, J.M. and Meffre, S., 2008. Age and origin of gem corundum and zircon megacrysts from the Mercaderes-Rio Mayo area, South-West Colombia, South America. *Ore Geology Reviews*. 34, 155–68. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2008.01.004>.
- [5] Giuliani, G., Fallick, A., Ohnenstetter, D. and Pegere, G., 2009. Oxygen isotopes composition of sapphires from the French Massif Central: implications for origin of gem corundum in basaltic fields. *Mineralium Deposita*. 44, 221–31. <https://doi.org/10.1007/s00126-008-0214-2>.

- [6] Giuliani, G., Ohnenstetter, D., Fallick, A.E., Groat, L. and Fagan, A.J., 2014. The geology and genesis of gem corundum deposits. Mineralogical Association of Canada Short Course. 44, 29–112. <http://www.mineralogicalassociation.ca/>.
- [7] Uher, P., Giuliani, G., Szakall, S., Fallick, A.E., Strunga, V., Vaculovic, D., Ozdin, D. and Greganova, M., 2012. Sapphires related to alkali basalts from the Cerova Highlands, Western Carpathians (southern Slovakia): composition and origin. *Geologica Carpathica*. 63, 71–82.
- [8] Rakotosamizany, S., Giuliani, G., Ohnenstetter, D., Rakotondrazafy, A.F.M., Fallick, A.E., Paquette, J.L. and Tiepolo, M., 2014. Chemical and oxygen isotopic compositions, age and origin of gem corundums in Madagascar alkali basalts. *Journal of African Earth Sciences*. 94, 156–170. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2013.06.003>.
- [9] Guiraud, M., Kienast, J.R., Ouzegane, K., 1996. Corundum–quartz-bearing assemblage in the Ihouhaouene area, in Ouzal (Algeria). *Journal of Metamorphic Geology* 14, 155–167.
- [10] Baharifar, A., Moinevaziri, H., Bellon, H. and Piqué, A., 2004. The crystalline complexes of Hamadan (Sanandaj–Sirjan zone, western Iran): metasedimentary Mesozoic sequences affected by Late Cretaceous tectono-metamorphic and plutonic events. *Comptes Rendus Geoscience*. 336(16), 1443–1452. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2004.09.014>.
- [11] Golonka, J., 2004. Plate tectonic evolution of the southern margin of Eurasia in the magmatism. *Lithos*.
- [12] Sears, J.W., George, G.M.S. and Winne, J.C., 2005. Continental rift systems and anorogenic magmatism. *Lithos*. 80, 147–451.
- [13] Shahabpour, J., 2005. Tectonic evolution of the orogenic belt in the region located between Kerman and Neyriz. *Journal of Asian Earth Sciences*. 24, 405–417. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2003.11.007>.
- [14] Ahmadi Khalaji, A., Esmaeily, D., Valizadeh, M.V. and Rahimpour-Bonab, H., 2007. Petrology and geochemistry of the granitoid complex of Boroujerd, Sanandaj– Sirjan Zone, Western Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*. 29, 859–877. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2006.06.005>.
- [15] Fazlnia, A., Schenk, V., Straaten, F. and Mirmohammadi, M., 2009. Petrology, geochemistry, and geochronology of trondhjemites from the Qori Complex, Neyriz, Iran. *Lithos*. 112, 413–433. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lithos.2009.03.047>.
- [16] Sepahi, A.A., Salami, S., Lentz, D., McFarlane, C. and Maanijou, M., 2018. Petrography, geochemistry, and U–Pb geochronology of pegmatites and aplites associated with the Alvand intrusive complex in the Hamedan region, Sanandaj–Sirjan zone, Zagros orogen (Iran). *International Journal of Earth Sciences*. 107(3), 1059–1096. <https://doi.org/10.1007/s00531-017-1515-4>.
- [17] Sepahi, A.A., 2008. Typology and petrogenesis of granitic rocks in the Sanandaj–Sirjan metamorphic belt, Iran: with emphasis on the Alvand plutonic complex. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen*. 295–312. <https://doi.org/10.1127/0077-7749/2008/0247-0295>.
- [18] Shahbazi, H., Siebel, W., Pourmoafaei, M., Ghorbani, M., Sepahi, A.A., Shang, C.K. and Abedini, M.V., 2010. Geochemistry and U–Pb zircon geochronology of the Alvand plutonic

complex in Sanandaj–Sirjan Zone (Iran): New evidence for Jurassic magmatism. *Journal of Asian Earth Sciences*. 39(6), 668–683. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2010.04.014>.

[19] Aliani, F., Maanijou, M., Sabouri, Z. and Sepahi, A.A., 2012. Petrology, geochemistry and geotectonic environment of the Alvand Intrusive Complex, Hamedan, Iran. *Geochemistry*. 72(4), 363–383. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2012.05.001>.

[20] Sepahi, A.A., Vahidpour, H., Lentz, D.R., McFarlane, C.R., Maanijou, M., Salami, S., Miri, M., Mansouri, M. and Mohammadi, R., 2020. Rare sapphire-bearing syenitoid pegmatites and associated granitoids of the Hamedan region, Sanandaj–Sirjan zone, Iran: analysis of petrology, lithogeochemistry and zircon geochronology/trace element geochemistry. *Geological Magazine*. 157(9), 1499–1525. <https://doi.org/10.1017/S0016756820000023>.

[21] Cox, K.G., Bell, J.D. and Pankhurst, R.J., 1979. *The Interpretation of Igneous Rocks*. London University, London, 450 p.

[22] Middlemost, E.A., 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earthscience reviews*. 37(3-4), 215–224. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(94\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0012-8252(94)90029-9).

[23] Shand, S.J., 1943. *Eruptive Rocks, Their Genesis, Composition, Classification and Their Relation to Ore Deposits*. New York: Wiley, 444 pp.

[24] Chappell, B.W. and White, A.J.R., 1992. I-and S-type granites in the Lachlan Fold Belt. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*. 83(1-2), 1–26. <https://doi.org/10.1017/S0263593300007720>.

[25] Giuliani, G., Lasnier, B., Ohnenstetter, D., Fallick, A.E., Pegère, G., 2010. Les gisements de corindons de France. *le Règne Minéral*. 93, 28–63

[26] Harris, N.B., Pearce, J.A. and Tindle, A.G., 1986. *Geochemical characteristics of collisionzone magmatism*. Geological Society, London, Special Publications. 19(1), 67–81. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1986.019.01.04>.

[27] Searle, M.P. and Fryer, B.J., 1986. Garnet, tourmaline and muscovite-bearing leucogranites, gneisses and migmatites of the Higher Himalayas from Zaskar, Kulu, Lahoul and Kashmir. Geological Society, London, Special Publications. 19(1), 185–201. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1986.019.01.10>.

[28] Wilson, B.M., 2007. *Igneous petrogenesis a global tectonic approach*. Springer Science & Business Media.

[29] Yakymchuk, C. and Szilas, k., 2017. Corundum formation by metasomatic reactions in Archean metapelite, SW Greenland: Exploration vectors for ruby deposits within high-grade greenstone belts. *Geoscience Frontiers*. pp.124. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2017.07.008>. [30] London, D., 2009. The origin of primary textures in granitic pegmatites. *The Canadian Mineralogist*. 47(4), 697–724. <http://dx.doi.org/10.3749/canmin.47.4.697>.

[31] London, D., 2014. A petrologic assessment of internal zonation in granitic pegmatites. *Lithos*. 184, 74–104. <https://doi.org/10.2138/am.2014.4693>.

[32] Manning, C.E., 2006. Mobilizing aluminum in crustal and mantle fluids. *Journal of Geochemical Exploration*. 89(1-3), 251–253. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2005.12.019>.

[33] Kerrick, D.M., 2009 Al₂SiO₅-bearing segregations in the Lepontine Alps, Switzerland: Aluminum mobility in metapelites. *Geology*. 16(7), 636–646

[34] Szilas, K., Maher, K. and Bird, D.K., 2016. Aluminous gneiss derived by weathering of basaltic source rocks in the Neoproterozoic Storö Supracrustal Belt, southern West Greenland. *Chemical Geology*. 441, 63–80.