

Varieties of corundum (sapphire) occurrences in Iran, study on UV- VIS spectroscopy.

Marzieh Ghaderpour¹, Mohammadali Mackizadeh^{*2}, Mehdi Ranjbar³, Zahra Alaminia⁴

¹Geology Center of the University

^{2*}Associate Professor, Department of Geology, Isfahan University

³Associate Professor, Department of Physics, Isfahan University of Technology

⁴Associate Professor, Ferdowsi University of Mashhad

Abstract

Three different Varieties of corundum (sapphire) occurrences in Iran is investigated. They are outcropped in three different geologic environments including: A) syenitic pegmatites of Alvand batholite (Hamadan area). B) Metamorphic rocks (Metabauxite) of Central Iran and C): Advanced argillic alteration related to epithermal systems. They are characterized mainly by following mineral assemblages:

A: Corundum + k- feldspar + quartz, tourmaline + muscovite + spinel

B: Corundum + diaspore + chlorite + ilmenite

C: Quartz + sericite

A) In pegmatites of Alvand batholite the metasomatic process have been engaged in sapphire in association with spinel formation. There are likely desilification processes for spinel-corundum generation. Mineralization which is formed as phenoblasts in association with spinel.

B) Corundum veinlets which are developed in metabauxide show most gem quality.

C) In Alvand argillic alteration the desilicification processes are provided the suitable conditions for corundum depositions.

Pegmatite and metabauxite occurrences are characterized by gem quality corundum. Some UV-VIS spectroscopic data of those sapphires are also presented in the paper.

Keywords: corundum: syenite-pegmatite, Hamadan, Central Iran



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.2026.48061>

پیدایش انواع یاقوت کبود (Sapphire) در ایران زمین، (برخی نکات پتروگرافی و مطالعه ویژگی‌های طیف‌سنجی UV-visible)

مرضیه غدیرپور^۱، محمدعلی مکی زاده^{۲*}، مهدی رنجبر^۳، زهرا اعلمی نیا^۴

۱- مرکز گوهرشناسی دانشگاه اصفهان marzieh.ghadirpour@gmail.com

۲- دانشیار گروه زمین شناسی، دانشگاه اصفهان mackizadeh44@gmail.com

۳- دانشیار، دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی اصفهان ranjbar@iut.ac.ir

۴- دانشیار، دانشگاه فردوسی مشهد alaminia.geo@gmail.com

چکیده

رخداد کانی شناختی کوندوم (سافایر) در سه نقطه از ایران زمین مورد بررسی قرار گرفته است که در سه محیط زمین شناسی متفاوت رخمون یافته اند. الف) پگماتیت‌های سینیتی باتولیت الوند (همدان)، ب) دگرگونه های متابوکسیتی و ج) دگرسانی‌های گرمابی (آرژیلیک پیشرفته) وابسته به سامانه های اپی ترمال ایران مرکزی. همیافتی های کانی شناسی این سه نقطه عمدتا به شرح زیر است:

Alvand pegmatite: Corundum + k- feldspar + quartz, tourmaline + muscovite + spinel

Metabauxite: Corundum + diaspare + chlorite + ilmenite

Advanced argillic alteration: Quartz + sericite

الف) پگماتیت های سینیتی فرایندهای دگرنهادی منجر به شکل گیری فنوبلاست های کوندوم در همراهی با اسپینل شده است. روابط پاراژنتیکی کانیها نشان می‌دهد که شکل‌گیری اسپینل - کوندوم در ارتباط با واکنش‌های تاخیری احتمالی سیلیس زدایی بوده است. ب) کوندوم به شکل رگچه‌ای در زمینه متابوکسیت بهترین مورد گوهری را نشان می‌دهد. ج) در دگرسانی آرژیلیک پیشرفته واکنش‌های سیلیس زدایی شرایط مناسبی را برای نهشت کوندوم داده است.

رخدادهای پگماتیتی و متابوکسیتی از دیدگاه کیفیت گوهری (gem quality) قابل توجه هستند. در این تحقیق نخستین بار ویژگی‌های طیفی (UV-visible) کانی شناسی سافایرها در آزمایشگاه نیز مورد بررسی اجمالی قرار گرفته‌اند.

واژه های کلیدی: کوندوم، سینیت، پگماتیت، همدان، ایران مرکزی.

مقدمه

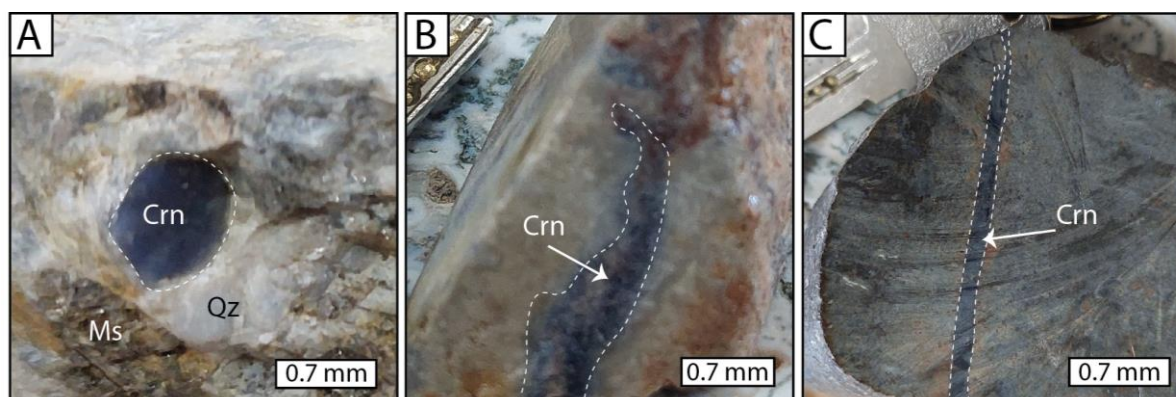
کانی گوهری سافایر (Sapphire) به گروه کوندوم (Al_2O_3) تعلق دارد. سافایر بر اساس رنگ به انواع آبی، صورتی، زرد، سبز، سفید، بنفش، سیاه و ستاره‌ای دسته‌بندی می‌شود. پیدایش کوندوم از نظر ژنتیکی با محیط‌های دگرگونی و آذرین فقیر از سیلیسیم و غنی از آلومینیوم ارتباط دارد (Simonet et al, 2008). کانسارهای گوهری کوندوم همواره مورد توجه کانی‌شناسان بوده است، بیشتر منابع

کردیم که ارزش اقتصادی دارند از هوازدگی و حمل مکانیکی ذخایر اولیه شکل گرفته است (Guliani et al, 2014). منابع کردوم معروف نوع آذرین بصورت زنوکریست در بازالت‌های آکالی و یا مگاکریست در پگماتیت‌های سینیتی رخ می‌دهند. سنگهای دگرگونی بویژه واکنش‌های میان سیال و سنگ دیواره منابع پراهمیت‌تری برای کردوم هستند (Hughes et al, 2017). بعنوان نمونه با وجود توزیع جهانی قابل ملاحظه سنگ‌های غنی از کردوم، تا به حال چهار کانسار در جنوب آمریکا شناسایی شده است. سه تای آنها با فرایندهای رسوبی مکانیکی (نوع پلاسری) تشکیل شده و در برزیل قرار دارند. هر چهار کانسار سافایر در سال ۲۰۰۳ توسط شرکت اکسپلریبرگ کشف شده‌اند (Berg and Tidy, 2009). از رخداد کانی گوهری یاقوت کبود (Sapphire) در ایران زمین، در پگماتیت-های گرانیت الوند همدان گزارشاتی چاپ شده است (سپاهی و همکاران، ۱۳۹۹ و Sadeghi et al, 2022). در این توده نفوذی سافایرهای چرخ اربه ای مانند (trapiche like) مشاهده شده است (Panczer et al, 2018). این پژوهش حاضر بر آن است که دو مورد گزارش نشده دیگر از سرزمین عزیزمان را معرفی نماید. این دو مورد از ایران مرکزی بوده که با خاستگاه‌های کاملاً متفاوت (دگرگونی و هیدروترمال) هستند.

روش تحقیق

پس از انجام عملیات صحرایی از همدان و دو منطقه از ایران مرکزی، نمونه‌های متعددی با ساخت‌های متفاوت با میزان شفافیت مناسب جمع آوری شد. نخست نمونه‌های دستی گرفته شده از رخنمون‌ها مورد بررسی فیزیکی قرار گرفتند (شکل ۱). در ادامه مطالعات پتروگرافی نمونه‌ها توسط برش‌های نازک در نور پلاریزه (Olympus B×60) انجام گرفت. همزمان نمونه‌های تراش گوهری از نمونه‌ها در آزمایشگاه، از دیدگاه ویژگی‌های گوهری بررسی شدند. در ادامه نیز آنالیزهای XRF، XRD، FESEM، SEM بر روی نمونه‌ها در آزمایشگاه‌های گوهرشناسی دانشگاه اصفهان و آزمایشگاه مرکزی دانشگاه صنعتی انجام شد. سپس از بخش‌های مورد نظر، مطالعات طیف‌سنجی، نمونه‌ها با دستگاه Phystec Spectrometer MA-2500 مورد تجزیه قرار گرفتند.

برای تحریک نمونه‌ها از چشمه نور لامپ هالوژن استفاده شده است. طیف‌های به دست آمده تابش از نمونه‌ها ناشی از چشمه نور هالوژن است.



شکل ۱- نمونه‌های دستی از سنگ در بردارنده سافایر، A: سافایر در پگماتیت، همدان، B: سافایر در متابوکسیت، ایران مرکزی، C: رگچه سافایر در دگرگونه‌های ایران مرکزی

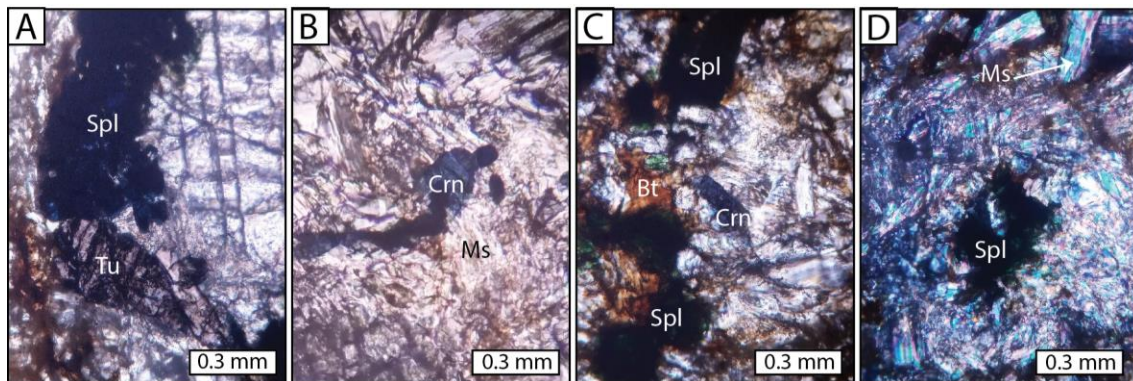
ویژگی های کانی شناسی

- زمین شناسی کانی سازی کربندوم در منطقه همدان

کربندوم های آبی رنگ (سافایر) در مجموعه آذرین الوند در پگماتیت های سینیتی یافت می شوند. کوه الوند، یکی از شمالی ترین قله های رشته کوه زاگرس واقع در شهرستان همدان و تویسرکان است. رشته کوه الوند از کوه های غربی ایران و جزء پیش کوه های داخلی زاگرس است و با پیدایش جنبش کوه زایی زاگرس در ارتباط است. الوند توده ای ژرف سنگی است. ژرف سنگ ها (باتولیت ها) با نفوذ در پوسته سنگ های اطراف خود را دگرگون کرده این دگرگونی سنگ ها در اطراف ژرف سنگ الوند به شعاع هفت کیلومتر وجود دارد. لایه هایی که بر روی ژرف سنگ الوند قرار داشته بر اثر فرسایش از بین رفته و توده به صورت سنگ های گرانیتی بیرون آمده است. سافایر های همدان در نمونه دستی بصورت پراکنده در متن سنگ قابل مشاهده هستند. این بلورها عمدتاً نیمه شکلدار و کمتر شکلدار هستند. مطالعات پتروگرافی نشان می دهد در نمونه های پگماتیت میزبان کانی سازی، مجموعه کانیایی زیر شاخص هستند.

Microcline + quartz + plagioclase + k- feldspar (orthoclase) + muscovite + corundum + spinel +
 tourmaline + apatite + biotite

در مطالعات میکروسکوپی عمدتاً بلورهای شفاف آبی رنگ کربندوم با هاله ای از میکا و در زمینه ای از فلدسپار و کوارتز دیده می شود (شکل ۲- A و B). در این میان، اسپینل (هرسی نیت) نخستین گزارش از همیافتی آن در کانسار گوهری سافایر همدان است. آنچه مسلم است در آغاز واکنش های کلاسیک دگرنهادی (متاسوماتیکی) منجر به شکل گیری کربندوم به شکل فنوبلاست های پراکنده (anhedral to subhedral) شده اند و در ادامه واکنش های تاخیری مسکویت ها با مرزهای ناتعادلی کربندوم ها را احاطه کرده اند. اسپینل ها سبز رنگ (PPL) هستند و در همیافتی نزدیک با کربندوم و مسکویت مشاهده می شوند (شکل ۲- C و D).



شکل ۲- تصاویر میکروسکوپ پلاریزان (XPL, PPL×100) از همیافتی کانیایی کربندوم (Crn)، اسپینل (Spl)، مسکویت (Ms) و تورمالین (Tu) در پگماتیت الوند.

-ایران مرکزی

۱. رخداد سافایر در سنگ های دگرگونی (شرق ایران مرکزی)

کربندوم (سافایر) گوهری در سنگ دگرگون (متابوکسیت) روی داده است. کانی سازی کربندوم به دو شکل رگچه ای تا ضخامت پنج میلی متر (شکل ۱- C) و جانشینی پراکنده در زمینه سنگ (شکل ۱- B) دیده می شود: همیافتی کربندوم عمدتاً با مجموعه کانیایی زیر است:

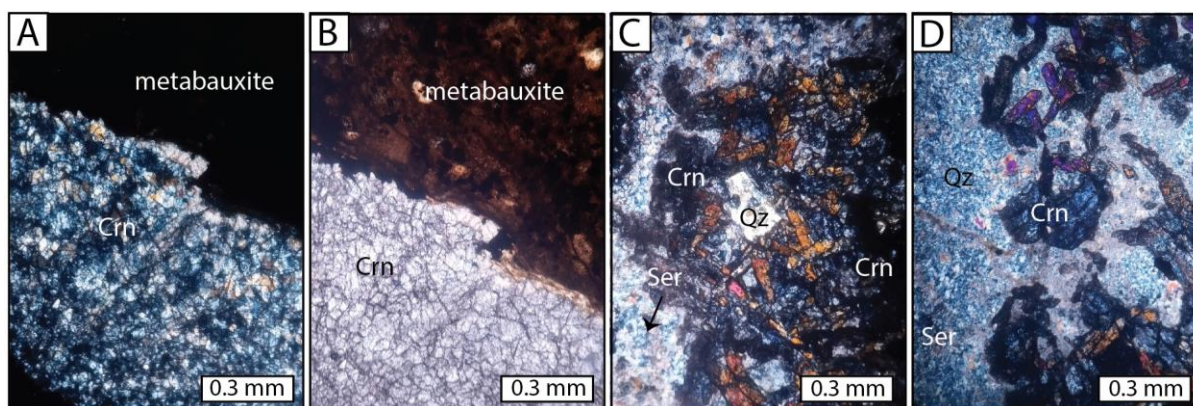
Corundum + diaspore + chlorite + quartz + ilmenite

شواهد پتروگرافی بوضوح جانیشینی بلورهای کوندوم (phenoblast) در زمینه با همیافتی کانیاپی (فیلوسیلیکاته) گرهک‌های عموماً نیمه گرد شده (patchy) دیده می‌شوند. در مواردی شبح بافت پیژولیتی (gohst texture) بوکسیت اولیه توسط کانی‌سازی حفظ شده است (شکل ۳-A و B).

۲. رخداد سافایر در سنگ‌های دگرسان شده (ایران مرکزی)

سنگ‌های ولکانیک سنوزوئیک ایران مرکزی همواره سوژه مطالعاتی کانی‌سازی اپی‌ترمال و دگرسانی‌های گرمایی وابسته بوده است. مطالعه سنگ‌های دگرسان در ارتباط با کانی‌سازی طلا (در یک محدوده اکتشافی) رخداد سافایر را نشان داده است. شکل‌های ۳-C و ۳-D، بازمانده میکروساختار سنگ دگرسان شده نوعی سنگ ولکانیک اسیدی را نشان می‌دهد که بطور کامل دچار دگرسانی سیلیسی-سریسیتی شده است. در مشاهدات میکروسکوپی فنوکریست‌های کوارتز از سنگ ولکانیک اولیه (قبل از دگرسانی) در زمینه‌ای از کوارتزهای دانه ریز و سریسیت مشاهده می‌شوند. کوندوم به شکل بلورهای نیمه شکلدار تشکیل فنوبلاست‌های مستقل تا مجتمع را در زمینه داده است. آنچه مسلم است آبشویی (leaching) هیدروترمالی Al و تمرکز آن در این نوع دگرسانی می‌تواند یکی از نمودهای دگرسانی آرژیلیک پیشرفته (advanced argilic) باشد (XPL, PPL $\times 100-400$). در پتروگرافی پیدایش کوندوم عمدتاً با همیافتی زیر نشان داده است:

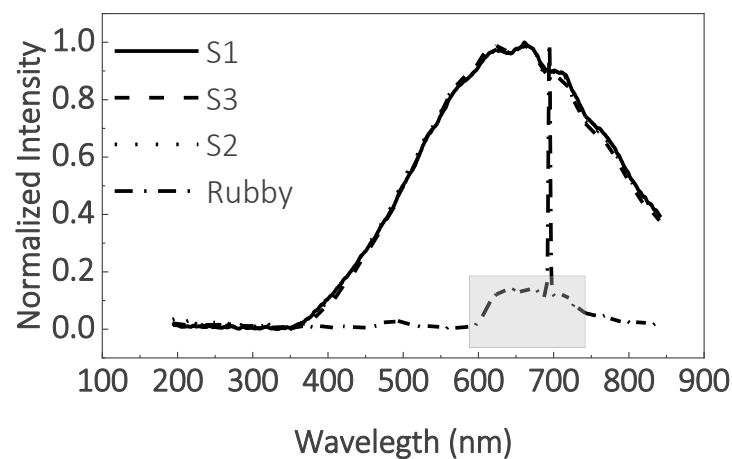
Quartz + sericite



شکل ۳. A و B: بخشی از یک رگچه کوندوم در زمینه دانه ریز متابوکسیت (XPL, PPL $\times 100$), C و D: همبندی کانیاپی کوندوم، سریسیت و کوارتز در ولکانیک دگرسان (XPL, PPL $\times 100$)

بررسی طیف‌های لومینسانس

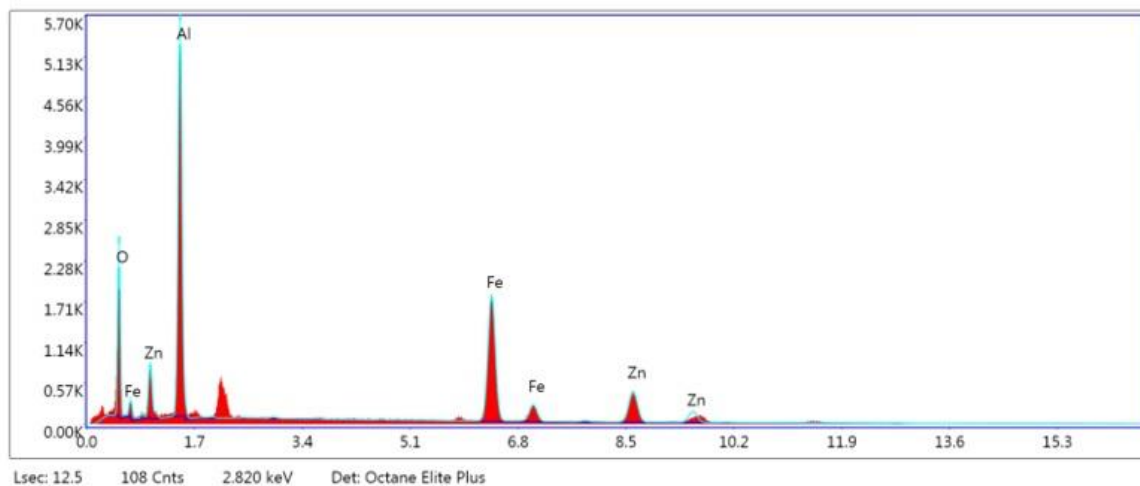
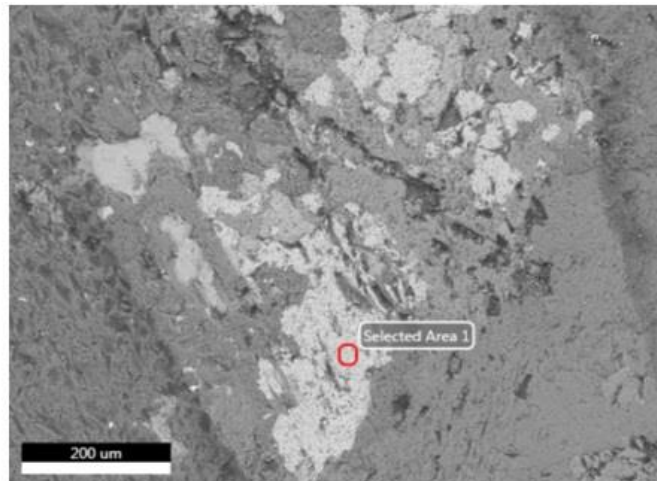
شکل ۴ طیف‌های لومینسانس در بازه ۲۰۰-۸۰۰ nm از نمونه‌های S1 تا S3 را نشان می‌دهد. برای مقایسه بهتر یک نمونه یاقوت طبیعی تک کریستال از مجموعه آزمایشگاه گوهرشناسی، نیز طیف نگاری شده است. یاقوت طبیعی یک نوار پهن از حدود ۶۰۰ nm تا ۷۲۰ nm دارد که بر روی آن یک قله بسیار تیز در طول موج ۶۹۶ nm از خود نشان می‌دهد. منشأ این تابش یون‌های فلزی ذوب شده در ساختار اکسید آلومینیم است. این تابش در سه نمونه دیگر (S1-S3) مشاهده نمی‌شود. این نشان دهنده تفاوت در منشأ نورتابی در این سه نمونه در مقایسه با نمونه یاقوت طبیعی است. احتمالاً ساختار بین بلوری در این سه نمونه طیف نورتابی را گسترده‌تر کرده است. بنابراین یک تفاوت ذاتی بر اساس یافته‌های اپتیکی بین نمونه‌ها و یاقوت طبیعی وجود دارد که منشأ آن نیاز به مطالعات بیشتری دارد.



شکل ۴. نتایج طیف‌های نورتایی نمونه‌های S1 تا S3 و مقایسه آن با نمونه یاقوت طبیعی

تجزیه میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی (FESEM) از کرندوم

دستگاه FESEM از اعضای خانواده میکروسکوپ الکترونی روبشی می باشد که جهت بررسی ویژگی‌های سطحی و مورفولوژی نمونه های گوهری استفاده می‌شود. مزیت آن نسبت به آنالیز SEM، قدرت تفکیک به مراتب بهتر آن بدلیل منبع تولید الکترون انتشار میدانی است. اگر دستگاه مجهز به آشکارساز EDS باشد علاوه بر تصویربرداری از سطح نمونه، داده‌های مربوط به عناصر تشکیل دهنده نمونه نیز قابل استخراج می‌باشد (شکل ۵).



Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
O K	17.32	33.79	985.21	7.96	0.0780	1.1196	0.4023	1.0000
AlK	35.48	41.05	3241.56	6.56	0.1706	1.0124	0.4745	1.0010
FeK	32.14	17.96	1997.15	2.04	0.2982	0.8967	0.9994	1.0355
ZnK	15.06	7.19	558.76	3.47	0.1310	0.8668	0.9786	1.0255

شکل ۵. تجزیه میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی (FESEM) از کربندوم

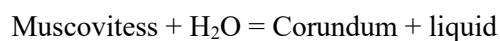
در موارد نادری، مشاهدات پتروگرافی سافایر (تک بلور) کاملاً بی شکل (anhedral) در زمینه بلور درشت فلدسپار (آلکالی) را نشان داده است. بطوری که می‌توان چنین برداشت کرد که سافایر از فروپاشی مستقیم فلدسپار مطابق واکنش زیر



شکل گرفته است. در واقع می‌توان فرایند سیلیس زدایی (desilicification) تحت هجوم سیالات گرمایی را در این واکنش دخیل دانست. هم راستایی نسبی سطوح بلوری سافایر با سطوح کلیواژی فلدسپار این جانشین را تایید می‌کند. مسکویت همچنین با بافت روزنه ای (interstitial) فضای خالی بین بلورهای درشت فلدسپار را پر کرده است. بلورهای اسپینل بی شکل هستند و در مواردی به شکل هسته ای برای تشکیل کربندوم عمل کرده اند در تایید این مورد می‌توان بافت همپوشانی (over growth) کربندوم بر

اسپینل را در نظر گرفت که در مشاهدات پتروگرافی مشهود است. تورمالین به مقدار ناچیز (trace) در همراهی با مجموعه مسکویت + اسپینل + کروندم دیده می شود.

روابط بافتی نشان می دهد که تشکیل آن ناشی از متاسوماتیسم بر (B) و مقدم بر تشکیل اسپینل و کروندم است.

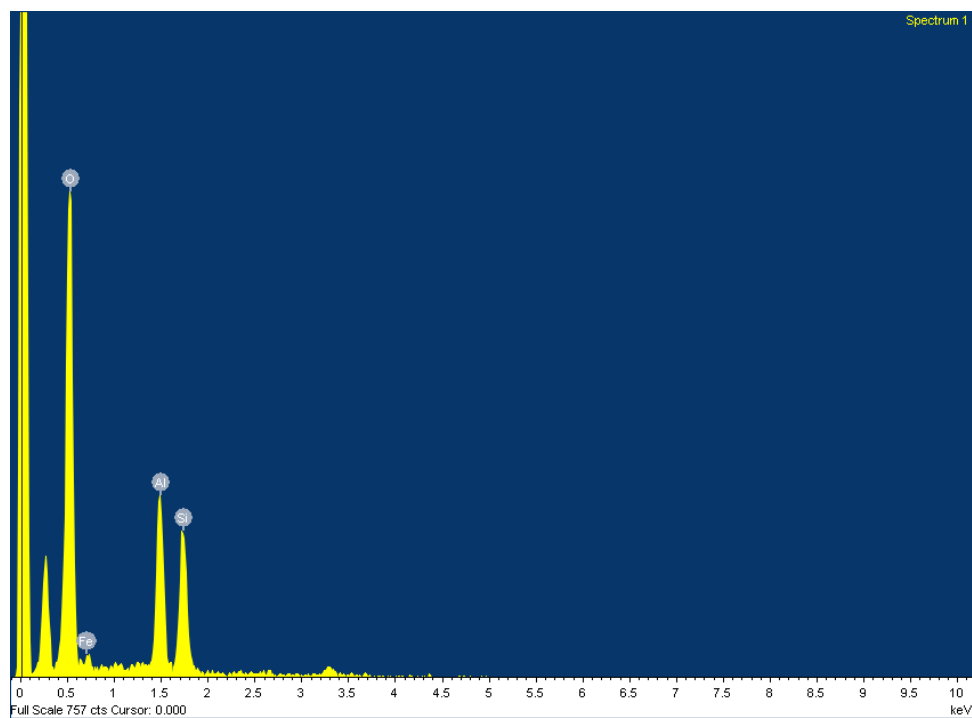


در نمونه های مورد پتروگرافی بطور کلی شواهد بافتی شامل روابط پراژنتیکی کانی ها خاستگاه کروندم مطابق جدول زیر نشان می دهد.

گامه ها کانی ها	I	II (Boron metasomatism)	III	IV	VI V (K- metasomatism)
آلکالی فلدسپار	-				
کوارتز	-				
تورمالین		-			
اسپینل			-		
کروندوم (سافایر)				-	
مسکویت					-
بیوتیت					-

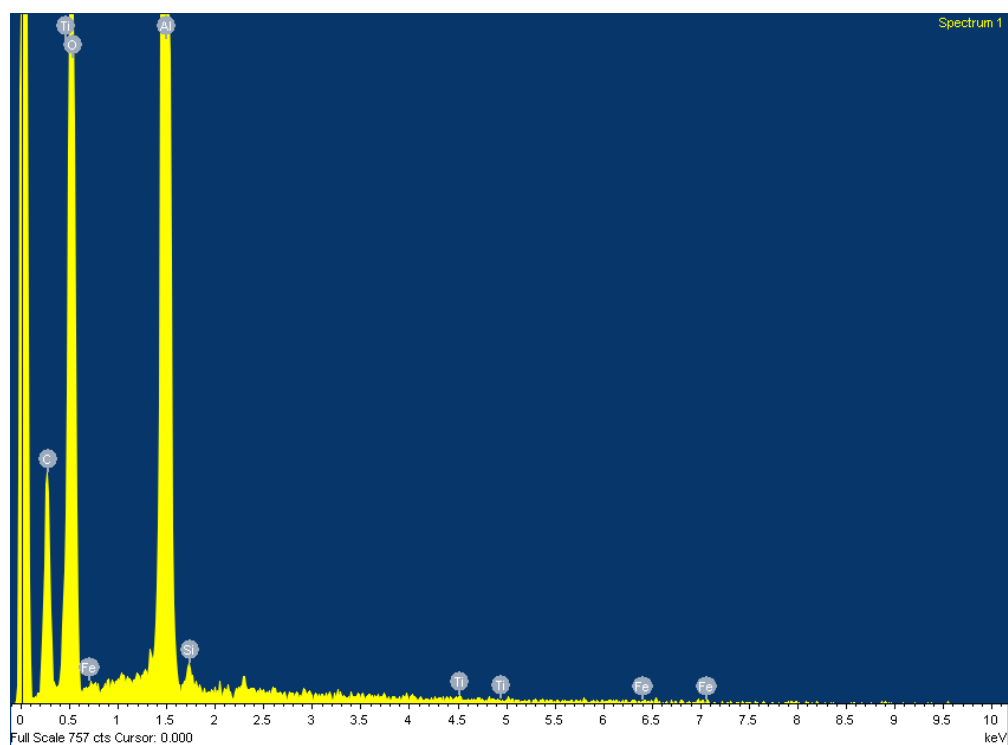
Stage Minerals	I	II B- Metasomatism	III Desilification process	VI	V
Alkali feldspar	-				
Quartz	-				
Tourmaline		-			
Spinel			-		
Corundum				-	
Muscovite				-	
Biotite					-

Hamedan



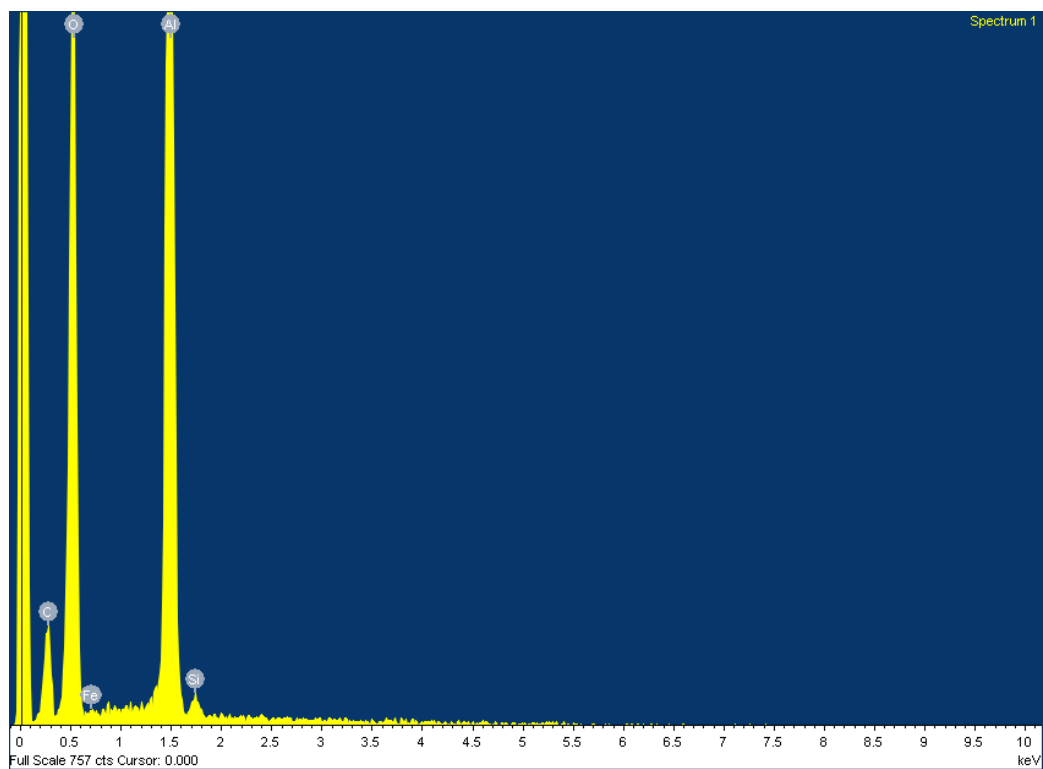
Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%	
	Conc.	Corrn.		Sigma		
O K	2.45	1.9668	1.25	0.04	71.45	
Al K	0.33	0.9859	0.34	0.02	11.36	
Si K	0.26	0.9407	0.27	0.02	8.84	
Fe L	0.24	0.4586	0.51	0.09	8.35	
Totals			2.37			

تصویر ۶. جدول آنالیز (EDS) منطقه همدان



Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%	
	Conc.	Corrn.		Sigma		
C K	1.03	0.5874	1.75	0.09	31.97	
O K	4.47	1.3151	3.41	0.08	46.63	
Al K	2.78	1.0757	2.58	0.04	20.92	
Si K	0.01	0.8737	0.02	0.01	0.12	
Ti K	0.01	0.7910	0.02	0.02	0.08	
Fe L	0.03	0.4437	0.07	0.11	0.27	
Totals			7.84			

تصویر ۷. جدول آنالیز (EDS) منطقه طیس



Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%	
	Conc.	Corn.		Sigma		
C K	0.42	0.5738	0.73	0.06	22.41	
O K	3.58	1.4970	2.40	0.06	55.44	
Al K	1.64	1.0620	1.54	0.03	21.11	
Si K	0.02	0.8722	0.03	0.01	0.36	
Fe L	0.04	0.4301	0.10	0.09	0.68	
Totals			4.79			

تصویر ۸. جدول آنالیز (EDS) منطقه تربت

بحث و نتیجه گیری

سه رخداد مختلف زمین شناسی از یاقوت کبود در ایران مرکزی نشان دهنده احتمال زیاد وقوع و اکتشاف این کانی قیمتی هستند. در این میان سنگ های پگماتیتهی باتولیت الوند (بویژه پگماتیت های فقیر از سیلیس یا سینیتی) از نقطه نظر اکتشاف یاقوت کبود با کیفیت گوهری و اسپینل سبز (هرسنیت) قابل توجه هستند. رخداد یاقوت کبود به شکل رگچه ای (veinlet) و پراکنده (disseminated) در بوکسیت های دگرگون شده را نباید از نظر دور داشت. از این میان، تنها رخداد رگچه ای کیفیت گوهری (gem quality) نشان داده است. علاوه بر این در دگرسانی های گرمایی (advanced argillic) فقیر شدگی دگرنهادی (metasomatic) از سیلیس در مرحله نهایی دگرسانی منجر به شکل گیری کربنوم (یاقوت کبود) فاقد کیفیت گوهری شده است.

منابع

سپاهی، علی اصغر؛ وحیدپور، حامد؛ معانی جو، محمد و سلامی، صدیقه ۱۳۹۹. پتروگرافی، ژئوشیمی و سن سنجی پگماتیت های حاوی سافیر و گرانیتوئیدهای منطقه شانه زر (جنوب خاگو، همدان، دوازدهمین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران، مجموعه مقالات صفحه ۳۸-۴۴.

Berg, K., Tidy, E., 2009. In: Descubrimiento de zafiros en Chile. XII Congreso Geologico Chileno, pp. 20–23.

Gaston Giuliani, Daniel Ohnenstetter, Anthony E. Fallick Lee Groat, Andrew J. Fagan, 2014. The geology and genesis of gem corundum deposits, Mineralogical Association of Canada Short Course 44, Tucson AZ, February, p. 29-112.

Gerard Panczer, Niloofar, Mousavipak, and Geoffray Rionday, New trapiche-like sapphires from Hamadan (Iran), 2018. Vol. 20, EGU2018-1628, Vol. 20, EGU2018-1628.

Hughes, R.W., Manorotkul, W., Hughes, E.B., 2017. Ruby & Sapphire: A Gemologist's Guide. RWH Publishing.

Sadeghi, H., Mahmoudi, Sh., Jafari, M.R. and Arian, M.A., 2022. Petrogenesis of the Khaku pegmatites corundum-bearing in the margin of Alvand granite complex, and its comparison with important worldwide ruby and sapphire deposits. Journal of Economic Geology, 14(3): 123–154. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22067/ECONG.2022.77895.1050>.

Simonet, C., Fritsch, E., Lasnier, B., 2008. A classification of gem corundum deposits aimed towards gem exploration. Ore Geol. Rev. 34 (1–2), 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2007.09.002>.