



## مطالعات پتروگرافی، دگرسانی و میانبار سیال در معدن خاک صنعتی خروس دره آوج

زهره مرادی<sup>۱</sup>، مهدی صفری<sup>۲</sup>، مسعود باریکانی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران [zohre.moradi@yahoo.com](mailto:zohre.moradi@yahoo.com)

<sup>۲</sup> استادیار سابق دانشگاه پیام نور، مدیر امور معادن هلدینگ معدنی فلات آسیا، تهران [mb.safari@yahoo.com](mailto:mb.safari@yahoo.com)

<sup>۳</sup> کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، مدیر عامل هلدینگ معدنی فلات آسیا، تهران [info@falatasia.com](mailto:info@falatasia.com)

### چکیده

منطقه جنوب شهرستان آوج حاوی ذخایر معدنی غیر فلزی از جمله انواع خاک‌های صنعتی، باریت و نیز ذخایر فلزی همچون سرب و روی می‌باشد. تشکیل چنین ذخایر گرمایی در پی نفوذ توده‌های آذرین جوان تر در درون سنگ های میزبان رخ می‌دهد همچنین رخداد این کانه زایی‌ها با دگرسانی سنگ های میزبان نیز همراه است که اهمیت این موضوع آنجایی مشخص میشود که از آن می توان به عنوان یک ابزار اکتشافی برای ذخایر فلزی استفاده کرده و همچنین از محصولات برخی از این دگرسانی‌ها نیز بهره برداری نمود.

محدوده معدنی خروس دره واقع در شهرستان آوج در بخش جنوب غربی استان قزوین قرار دارد که به طور عمده با گدازه های آندزیتی- آندزیت داسیتی، داسیت و توف‌های ریوداسیتی و ریولیتی همراه با مواد آذرآواری پوشیده شده است. توف ریوداسیتی تا آندزیت-داسیتی میزبان اصلی رخداد دگرسانی در محدوده مورد مطالعه است.

مهم ترین دگرسانی‌ها در این محدوده دگرسانی‌های آرژیلیک و سریستیک است. مطالعات کانی شناسی، میانبار سیال و محدوده پایداری کانی‌های حاضر در دگرسانی، رخداد این کانه زایی توسط فرآیندهای هیپوژن در ناحیه مورد مطالعه را تایید می‌کند. مطالعات میکروترمومتری میانبارهای سیال بر روی نمونه‌های سیلیسی شده از زون دگرسانی، نشانگر دخالت سیالی با دمای بین ۱۴۹ تا ۴۶۰ درجه سانتیگراد و شوری بین ۹ تا ۲۱ درصد وزنی معادل نمک طعام در واکنش‌های دگرسانی است.

مکانیسم محتمل برای رخداد این دگرسانی‌ها در محدوده معدنی خروس دره، حرکت رو به بالای بخارات اسیدی حاصل از جدایش فاز از سیال گرمایی وابسته به توده نفوذی می‌باشد که از اعماق به ترازهای بالا حرکت کرده و با برخورد و اختلاط با آب‌های زیرزمینی سبب گرم شدن و اسیدی شدن آب‌های زیرزمینی در پهنه‌ای وسیع شده است که سبب واکنش گسترده سیال- سنگ و رخداد دگرسانی‌های آرژیلیکی شده است

مهم‌ترین کانی‌های دگرسانی در زون آرژیلیکی با توجه به مطالعات پراش اشعه ایکس (XRD) شامل کوارتز، کانی‌های گروه اسمکتیت شامل مونت موریلونیت، ایلیت، کائولینیت، کلریت و مسکوویت است که وجود مجموعه کانی های مذکور، دگرسانی محدوده مورد مطالعه را از نوع آرژیلیک حدواسط معرفی می‌کند. غنی شدگی آشکار قابل توجهی به عنوان پتانسیل کانسار فلزی در این زون دگرسانی دیده نمی‌شود.

**کلید واژه ها:** خاک های صنعتی، دگرسانی گرمایی، میانبار سیال، خروس دره، آوج



#### مقدمه

منطقه مورد پژوهش در محدوده معدنی خروس دره (جنوب غرب استان قزوین) و در ۱۰ کیلومتری جنوب شهرستان آوج و در مختصات جغرافیایی  $35^{\circ} 29' 29/59'' N$ ,  $49^{\circ} 12' 56/67'' E$  واقع شده است و از نظر تقسیمات زون‌های زمین‌شناسی حفافصل زون‌های سنندج سیرجان و ارومیه-دختر بوده که گسل آوج جدا کننده مرز این دو زون میباشد. تاکنون مطالعات متعددی بر روی ماگماتیسم نوار ماگمایی ارومیه -دختر انجام شده است (Omrani et al., ۲۰۰۸; Verdel et al., ۲۰۱۱; Chiu et al., ۲۰۱۳; Sepidbar et al., ۲۰۱۹). نتایج حاصل از این مطالعات، بیانگر فرورانش لیتوسفر اقیانوسی نئوتتیس به زیر حاشیه ایران مرکزی می‌باشد و اثرات مواد فرورانشی بر گوه گوشته‌ای بالای لیتوسفر فرورونده به عنوان عامل مؤثر بر پیدایش و تکوین ماگماتیسم نوار ماگمایی ارومیه -دختر در نظر گرفته شده است. از نظر زمان و سن رخداد‌های ماگمایی، واحدهای ماگمایی این نوار اغلب در محدوده زمانی پالئوژن (ائوسن- الیگوسن) تشکیل شده اند. (Chiu et al., ۲۰۱۳)

با این حال، رخداد‌های ماگمایی نئوژن- کواترنری این نوار نیز به نوبه خود دارای اهمیت است چراکه برخی فعالیت‌های آتشفشانی معروف همچون سهند، سبلان، بزمان و تفتان در این کمربند ماگمایی قرار می‌گیرند. (Pang et al., ۲۰۱۴; Ghalamghash et al., ۲۰۱۶)

در خارج از فلات ایران نیز در مناطقی از قفقاز، ترکیه و افغانستان نیز ماگماتیسم پالئوژن دیده می‌شود (e.g. Kazmin et al., ۱۹۸۶; Topuz et al., ۲۰۰۵; Sosson et al., ۲۰۱۰; Van der Boon et al., ۲۰۱۷)

قابل ذکر است که از نظر گسترش مکانی، ماگماتیسم هم ارز نوار ارومیه- دختر بویژه آنچه در ائوسن رخ داده است در دیگر نقاط ایران همچون البرز جنوبی، بلوک لوت و خاور ایران، جنوب خاور ایران و زون سبزوار نیز دیده می‌شود (Pang et al., ۲۰۱۳; Torabi et al., ۲۰۱۴; Ghasemi and Rezaei-Kahkhaei, ۲۰۱۵; Ahmadian et al., ۲۰۱۶; Moghadam et al., ۲۰۱۶)

در منطقه مورد پژوهش، رخنمون قابل توجهی از سنگ‌های آتشفشانی پالئوژن وجود دارد. در برخی نقاط همراهی سنگ‌های آتشفشانی با واحدهای رسوبی فسیل دار (واحدهای آهکی سازند قم) و روابط بینابینی چینه‌شناختی، ابزار مناسبی برای تعیین سن سنگ‌های آتشفشانی فراهم می‌آورد. این واحدهای آذرین به صورت میان لایه با واحدهای آهکی-مارنی سازند قم رخنمون دارند که نشان دهنده محدوده سنی الیگومیوسن برای فوران مذاب و تشکیل آن‌هاست (دلآوری و همکاران، ۱۴۰۰). با نفوذ واحدهای آذرین ترشیری با جنس دیوریت در این واحدهای سنگی سبب چرخش سیالات ماگمایی در سنگ‌های میزبان آتشفشانی سبب رخداد کانه زایی وسیع در محدوده مورد مطالعه گردیده است.

#### روش پژوهش

این پژوهش بر پایه بازدید میدانی از زون‌های دگرسانی سیلیسی-آرژیلیکی در محدوده خروس دره، بررسی بافت سنگ‌های آذرین میزبان و توده های نفوذی در مقیاس ماکروسکوپی، و نمونه برداری به جهت انجام مطالعات میکروسکوپی و آزمایشگاهی شامل پتروگرافی، پراش پرتو ایکس (XRD) و میکروترموتری میانبار سیال استوار است.

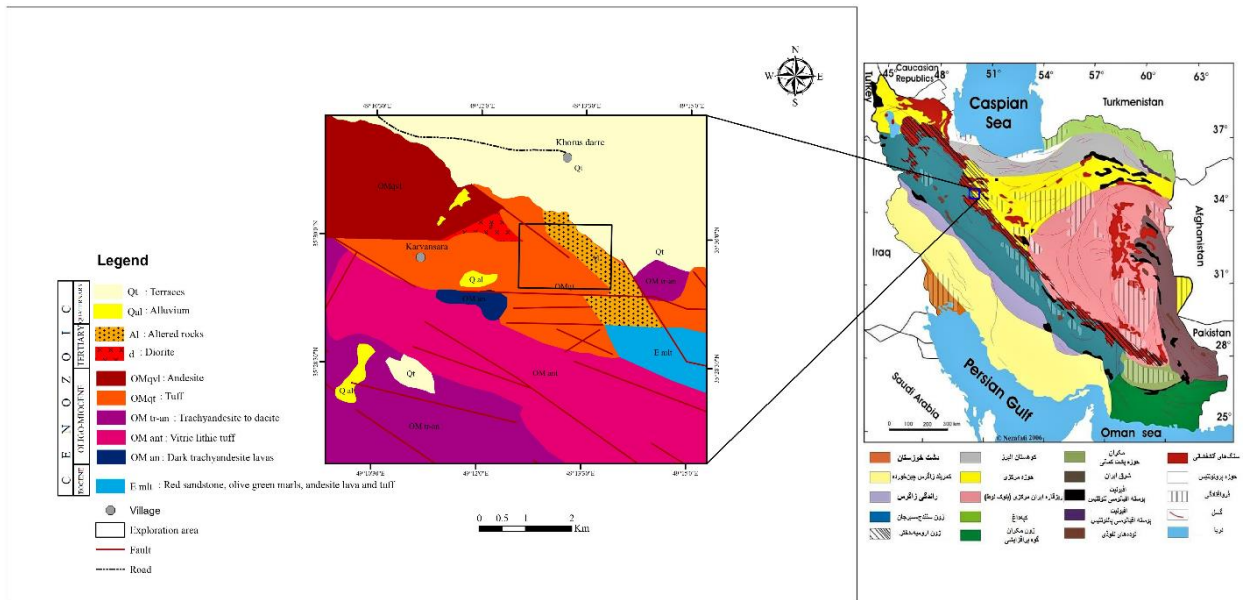
پس از تهیه مقاطع دوبر صیقل جهت مطالعات پتروگرافی و بررسی میانبارهای سیال در آزمایشگاه میکروسکوپی دانشگاه تربیت مدرس به کمک استیج THMSG ۶۰۰ مدل Linkam صورت گرفت. پس از تهیه مقاطع نازک از نمونه‌های واحدهای میزبان کانه زایی (با کمترین میزان دگرسانی) در محدوده معدنی مطالعات پتروگرافی با میکروسکوپ پلاریزان انجام شد.



آنالیزهای پراش پرتو ایکس (XRD) بر روی نمونه‌های دگرسان شده به منظور شناسایی کانی‌های رسی در آزمایشگاه کانی‌شناسی زر آزما صورت پذیرفت. در این پژوهش تعداد ۳ نمونه مطالعه شده از میانبراهای سیال و ۴ نمونه برای مطالعات پتروگرافی و ۵ نمونه آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) مربوط به نمونه دگرسان شده مورد استفاده قرار گرفته است.

### زمین‌شناسی عمومی

محدوده معدنی مورد پژوهش در حد فاصل جنوب نقشه ۱:۱۰۰,۰۰۰ آوج (بلورچی، ۱۹۷۸) و بخش شمالی نقشه ۱:۱۰۰,۰۰۰ رزن (علایی و همکاران، ۲۰۰۳) واقع گردیده است. واحدهای رخنمون یافته در محدوده معدنی خروس دره بر اساس نقشه‌های مذکور (شکل ۱) شامل طیفی از نفوذی‌های دیوریتی و توف‌های آندزیت تا آندزیت-داسیتی است. از دیدگاه زمین‌شناسی ساختاری، منطقه رزن-آوج در مرز پهنه‌های ایران مرکزی (نوار ماگمایی ارومیه-دختر) و سنندج - سیرجان واقع شده است. در نقشه زمین‌شناسی مربوطه پهنه ایران مرکزی دربردارنده رخنمون‌های گسترده تشکیلات دریایی سازند قم آواری‌های سازند قرمز فوقانی است که تحت عنوان زون آبگرم نامیده شده استاز طرفی، پهنه سنندج - سیرجان با برونزدهای دگرگونه‌های ضعیف مشخص است که با عنوان زون رزن مشخص گشته است. طبق این تقسیم‌بندی سنگ‌های آتشفشانی مورد پژوهش غالباً در پهنه ایران مرکزی قرار دارند. (Bolourchi, ۱۹۷۸)



شکل ۱. نمایش موقعیت محدوده مورد مطالعه بر روی تصویری از نقشه زمین‌شناسی ایران (آقا نباتی، ۱۳۸۳) و تصویری از نقشه بازسازی شده از روی نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ آوج و رزن.



شکل ۲. نمایی از محدوده معدنی خروس دره و رخنمون نفوذی‌های دیوریتی ترشیری با روند NW-SE در محدوده خروس دره آوج؛ دید به سمت جنوب. این واحد بیشتر به صورت صخره‌ساز و توده ای دیده می‌شود.



شکل ۳. نمایی از رخنمون واحدهای میزبان دگرسانی در محدوده معدن خروس دره، دید به سمت غرب

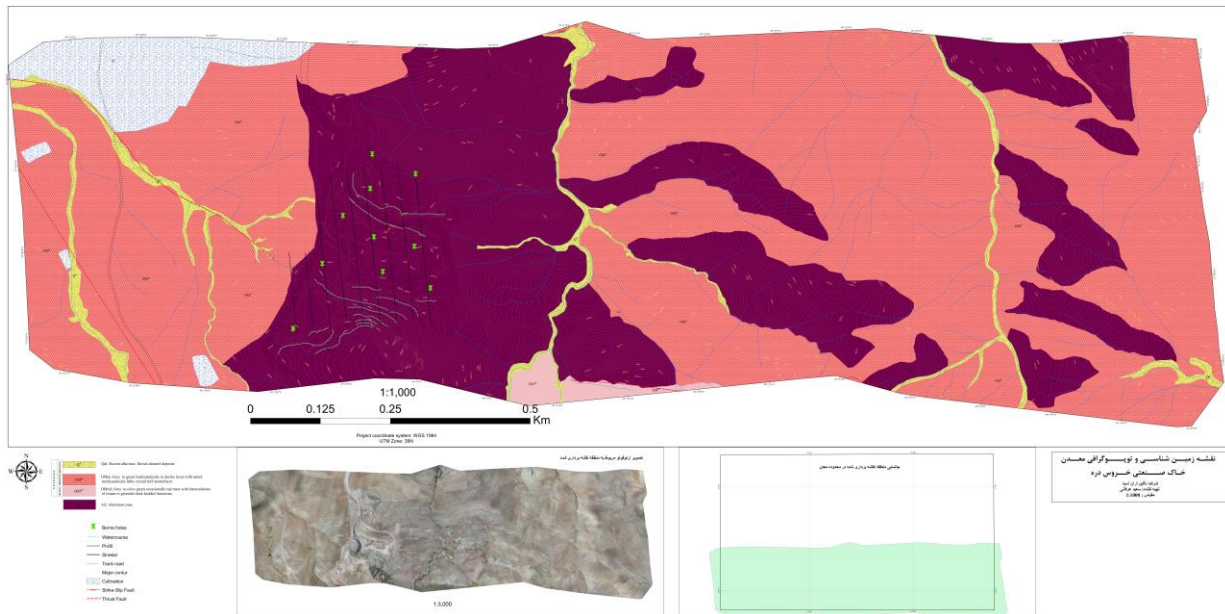
#### زمین‌شناسی ناحیه‌ای

واحدهای رخنمون یافته در محدوده معدنی خروس دره بر اساس نقشه ۱:۱۰۰۰ تهیه شده از محدوده معدنی (شکل ۴) شامل طیفی از گدازه‌های تراکی آندزیت تا داسیت به همراه لیتیک کریستال توف و واحدهای آلتزه شده می‌باشد که ادامه با مطالعات پتروگرافی توصیف شده است.

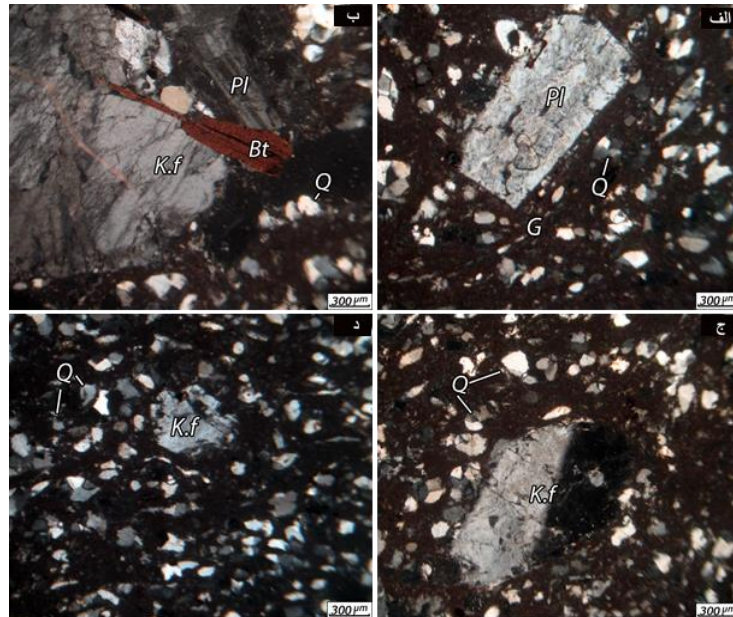




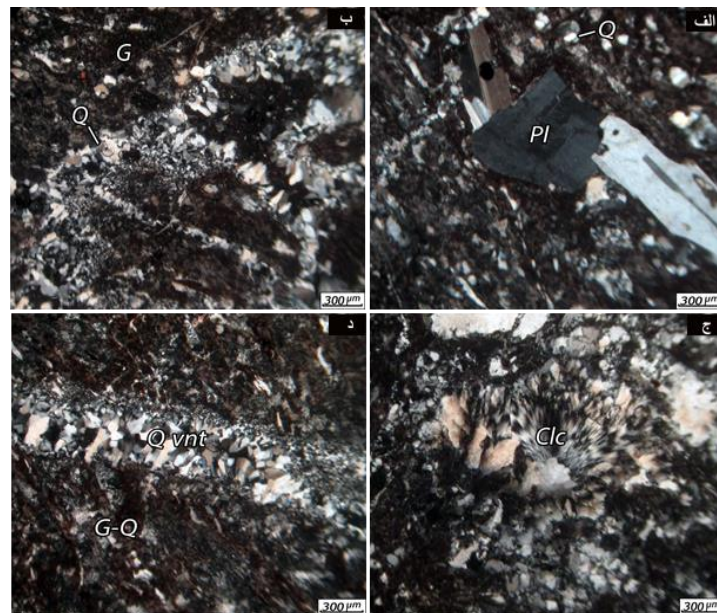
نمونه‌های مقاطع نازک تهیه شده از سنگ میزبان با کمترین آثار دگرسانی به منظور شناسایی واحدهای میزبان انتخاب و مطالعه شده است. نتایج این مطالعات بیانگر طیفی از واحدهای داسیت تا ریوداسیت همراه با توف‌های ریوداسیت و ریولیتی با بافت پورفیری و جریان می‌باشد. (شکل‌های ۵-۸) اغلب فنوکریست‌های مشاهده شده پلاژیوکلاز و فلدسپات آلکالن و کوارتز می‌باشد بوده برخی از بلورها دارای حاشیه‌های شکسته شده بوده‌اند که مربوط به زمان فوران‌های ماگمایی است. دگرسانی سیلیسی به صورت پر کردن فضاهای خالی و گاهی به شکل بلورهای شعاعی کلسدونی دیده می‌شود.



شکل ۴. تصویری از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰ تهیه شده از محدوده معدنی خروس دره

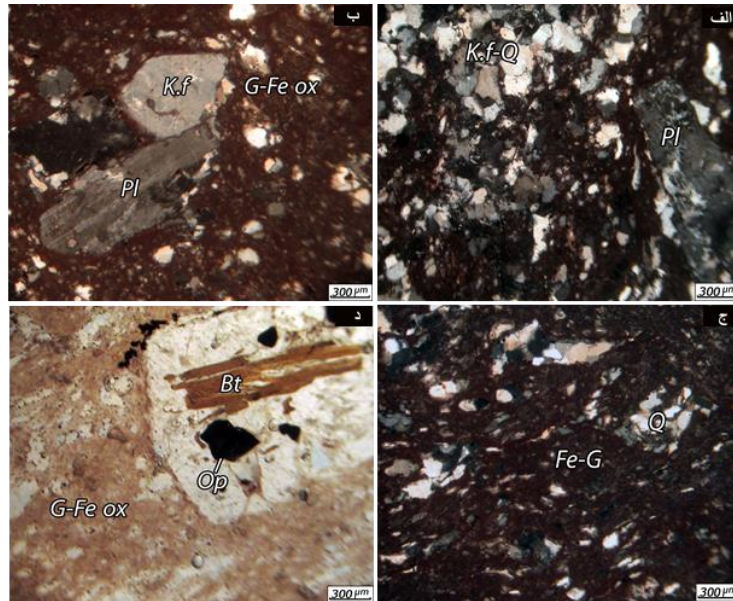


شکل ۵. تصاویری از مقاطع نمونه داسیت و توف ریوداسیتی، الف) فنوکریست پلاژیوکلاز در خمیره دارای کوارتز و شیشه‌های ولکانیکی (G=Glass). ب) فنوکریست‌های پلاژیوکلاز، فلدسپات آکالی و بیوتیت. ج) فلدسپات آکالی که گاهی به شکل فنوکریست در سنگ دیده می‌شود. د) بلورهای ریزتر از فنوکریست متشکل از کوارتز و فلدسپات آکالی در خمیره دارای شیشه‌های ولکانیکی.

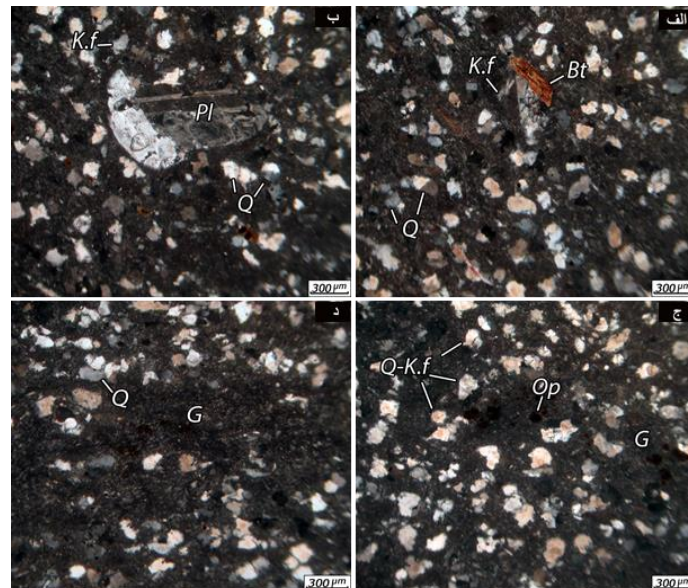


شکل ۶. تصاویری از مقاطع نمونه داسیتی، الف) فنوکریست‌های پلاژیوکلاز به همراه بلورهای کوارتز. ب) رگچه‌های کوارتز در خمیره متشکل از شیشه‌های ولکانیکی. ج) کانی شعاعی کلسدونی به شکل ثانویه در سنگ. د) رگچه کوارتز که زمینه متشکل از کوارتز و شیشه (G) ولکانیکی را قطع نموده است.





شکل ۷. تصاویری از مقاطع نمونه توف ریوداسیتی، الف) بلورهای کوارتز، فلدسپات آلکالی و فنوکریست پلاژیوکلاز. ب) فنوکریست فلدسپات آلکالی و پلاژیوکلاز در خمیره متشکل از شیشه‌های اکسیده شده. ج) بلورهای کوارتز در خمیره متشکل از شیشه‌های اکسیده. د) بیوتیت با فراوانی کم در قالب فنوکریست.



شکل ۸. تصاویری از مقاطع نمونه ریولیت و توف ریولیتی، الف) بلورهای بیوتیت، فلدسپات آلکالی، کوارتز در خمیره شیشه‌ای. ب) پلاژیوکلاز به شکل فنوکریست به همراه کوارتز و فلدسپات آلکالی. ج) بخش غالب سنگ که متشکل از بلورهای کوارتز و فلدسپات آلکالی با ابعاد در حدود ۲۰۰ میکرون است. کانی‌های اپاک نیز به شکل پراکنده در سنگ دیده می‌شوند. خمیره متشکل از شیشه‌های ولکانیکی (G) است. د) خمیره متشکل از شیشه و بلورهای درشت کوارتز و فلدسپات آلکالی.



## دگرسانی

بر اساس مطالعات میدانی و میکروسکوپی، دگرسانی‌های آرژیلیکی و سریسیتی در محدوده خروس‌دره آوج قابل تشخیص است که دگرسانی‌های آرژیلیکی بیشترین گسترش را دارند.

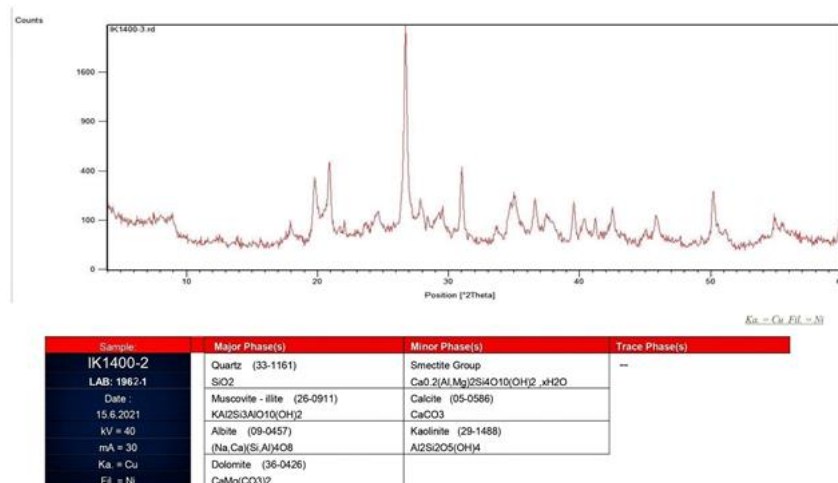
دگرسانی گرمابی در خروس‌دره در پهنه‌ای به وسعت ۷ کیلومتر مربع گسترش دارد و از این نظر بزرگ‌ترین زون دگرسانی در زون آوج است.

سنگ میزبان، توفهای داسیت و آندزیت-داسیتی است که پیش از این توصیف شد.

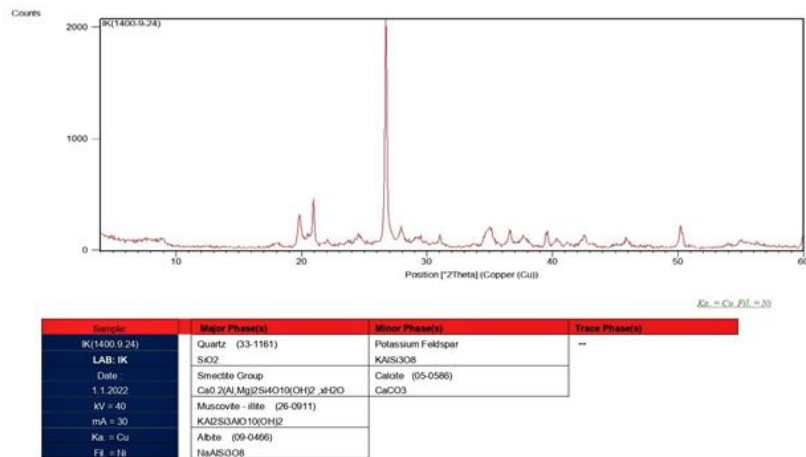
مرز بین سنگ دگرسان شده و سنگ میزبان اولیه، تدریجی تا به نسبت ناگهانی است.

مرز بین سنگ دگرسان شده با توفهای داسیت تا آندزیت-داسیتی میزبان در زیر آن، به نسبت ناگهانی است. گسترش محدود دگرسانی در بُعد قائم آن در تراز رخنمون کنونی را می‌توان به فرآیندهای فرسایشی نسبت داد.

نتایج حاصل از مطالعات پراش اشعه ایکس (XRD) بیانگر حضور کانی‌های ایلیت، موسکوویت، آل بیت، کائولینیت، گروه کانی‌های اسمکتیت و... است که (شکل ۸) و این پدیده هماهنگ با مشاهدات صحرایی و میکروسکوپی است. این مجموعه کانی‌ها نشانگر دگرسانی آرژیلیکی حدواسط می‌باشد.



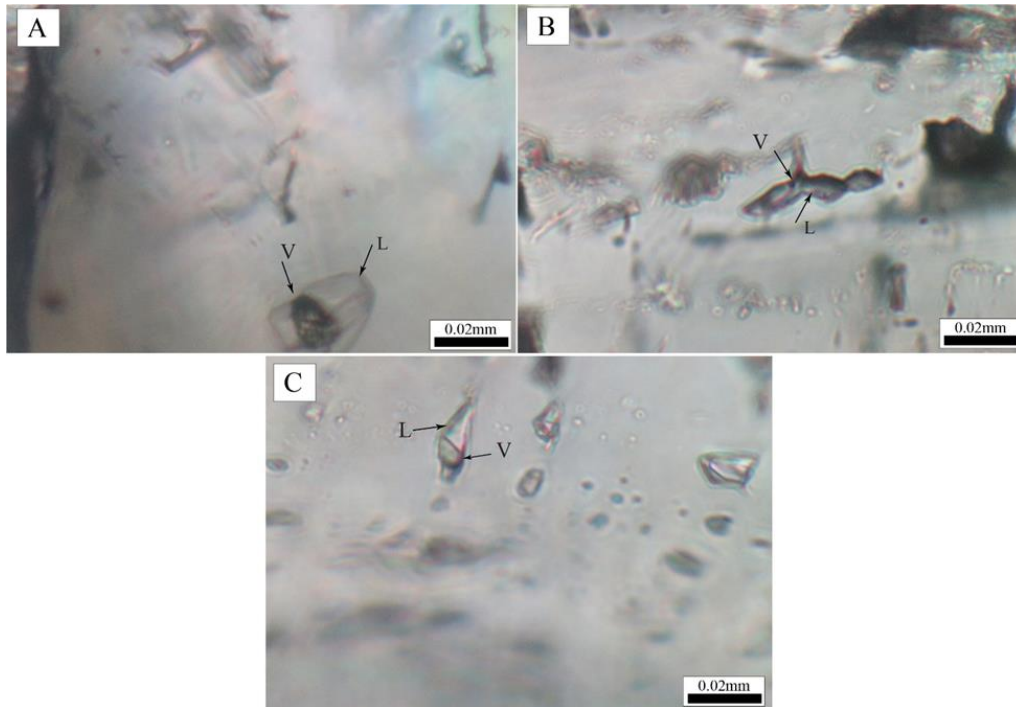




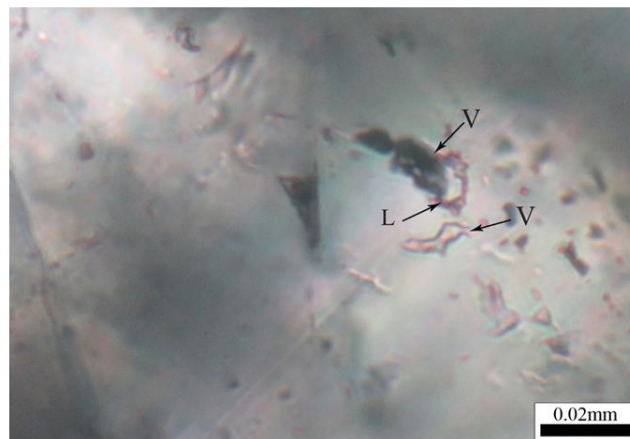
شکل ۹. نتایج حاصل از مطالعات XRD بر روی نمونه های دگرسان شده محدوده معدنی خروس دره که شامل کوارتز، کانی های گروه اسمکتت، کائولینیت و مسکوویت می باشد.

### مطالعات میانبار سیال

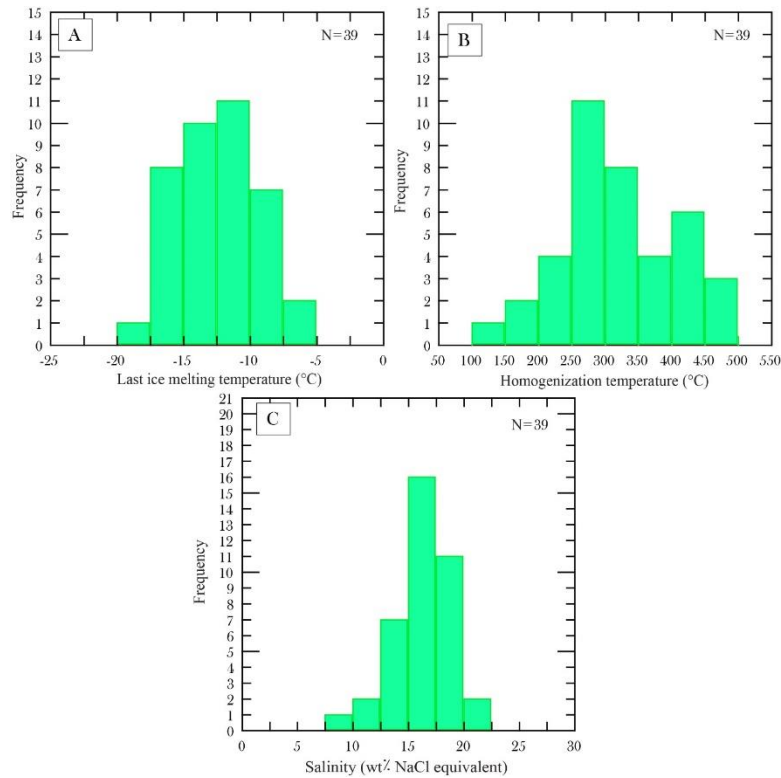
به منظور شناخت ماهیت فیزیکی شیمیایی سیال عامل دگرسانی (کانه زایی) و بررسی روند دمایی آن ها (مطالعات میکروترمومتری) تعداد ۳ نمونه دو بر صیقل از مناطق دگرسان شده محدوده معدنی خروس دره تهیه شد. تعداد ۳۹ میانبار سیال در ۳ نمونه مورد مطالعه قرار گرفت (شکل ۱۲) میانبارها غالباً دارای اشکال چند وجهی نامنظم و بیضوی هستند. میانبارها دو فاز (L+V) غنی از مایع و به شکل تک فاز غنی از گاز در متن سنگ مشاهده می گردد (شکل ۱۱). میانبارهای گازی در این نمونه ها حدوداً ۱۰-۴۰ درصد حجم میانبار را به خود اختصاص داده اند. این نسبت می تواند بیانگر وجود شواهد جوشش در مدوده معدنی مذکور باشد. میزان شوری سیال از ۹ تا ۲۱ درصد وزنی NaCl در میانبارها متغیر می باشد. دمای همگن شدگی (Th) به فاز مایع در این میانبارها ۱۴۹ تا ۴۶۰ درجه سانتیگراد و دمای اوتکتیک (نقطه ذوب اولین یخ) بین ۵- تا ۲۰- بدست آمد (شکل ۱۲).



شکل ۱۰. تصاویری از میانبارهای سیال دو فاز غنی از مایع



شکل ۱۱. تصویر از میانبارهای سیال غنی از گاز (شواهد جوشش)

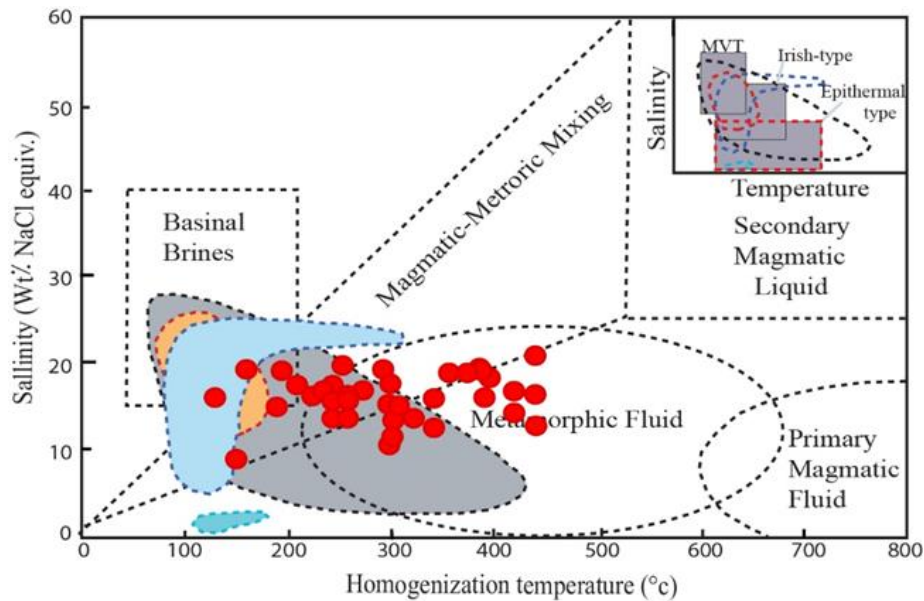


شکل ۱۲. (A) نمودار فراوانی دمای ذوب آخرین بلور یخ در میانبارهای سیال مطالعه شده (B) نمودار فراوانی دمای همگن‌شدگی در میانبارهای سیال در میانبارهای سیال (C) نمودار فراوانی شوری در میانبارهای سیال مطالعه شده

با بررسی و رسم نمودار داده‌های شوری و دمای همگن‌شدگی، میتوان چگالی میانبارهای سیال را تعیین کرد به همین منظور دمای همگن‌شدگی-شوری در نمودار تغییرات چگالی پلات شد. همانطور که ملاحظه می‌گردد چگالی میانبار سیال مطالعه شده در آوج مقدار ۰/۷ تا ۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب را نشان می‌دهد. در روند تکامل سیال گرمایی پدیده سردشدگی و جوشش به وقوع پیوسته است و کاهش دمای همگن‌شدگی، سبب افزایش چگالی، کاهش سرعت سیال کانسنگ ساز و در نهایت رسوب مواد معدنی شده است.

داده‌های میانبار سیال آوج گویای این است که سیال موثر بر کانی‌سازی در این محدوده از سیال ماگمایی و در اعماق کمتر ترکیب با آب جوی منشاء گرفته‌اند (شکل ۱۳)





شکل ۱۳. دیاگرام پراکندگی شوری و دمای همگن شدگی میانبارهای سیال در کانی کوارتز نمودار پایه (Beane, ۱۹۸۳) با تطبیق تیپ MVT، Irish و Epithermal (Wilkinson, ۲۰۰۱)

#### بحث و نتیجه گیری

با توجه به مطالعات میکروسکوپی و ماکروسکوپی انجام شده طی این پژوهش جنس سنگ‌های میزبان در محدوده معدنی توف‌های داسیتی-ریوداسیتی و ریولیتی همراه با دگرسانی آرژیلیکی تشخیص داده شده است. آثار دگرسانی آرژیلیکی در مطالعات پراش اشعه ایکس (XRD) به شکل کانی‌های رسی همچون کائولینیت، ایلیت و کانی‌های گروه اسمکتیت مشاهده می‌گردد. منشا سیال موثر در رخداد این دگرسانی با توجه به مطالعات میانبار سیال اختلاط سیال ماگمایی با آب‌های جوی می‌باشد بنابراین سازوکار محتمل برای رخداد این دگرسانی‌ها در محدوده معدنی خروس‌دره، حرکت رو به بالای بخارات اسیدی حاصل از جدایش فاز از سیال گرمایی وابسته به توده نفوذی می‌باشد که از اعماق به ترازهای بالا حرکت کرده و با برخورد و اختلاط با آب‌های زیرزمینی سبب گرم شدن و اسیدی شدن آب‌های زیرزمینی در پهنه‌ای وسیع شده است که سبب واکنش گسترده سیال-سنگ و رخداد دگرسانی‌های آرژیلیکی شده است.

#### منابع

- آقابیاتی، ع، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران.
- سازمان زمین‌شناسی شمال غرب کشور، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ آوج و رزن.
- دلاوری و همکاران، ۱۴۰۰، سنگ‌های خروجی الیگومیوسن محدوده رزن-آوج (نوار ارومیه-دختر): شواهدی از ماگماتیسم مشابه OIB در بالای زون فرورانش، فصلنامه علمی علوم زمین، دوره سی و یکم شماره ۴.

#### -References

- Ahmadian, J., Sarjoughian, F., Lentz, D., Esna-Ashari, A., Murata, M., and Ozawa, H., ۲۰۱۶- Eocene K-rich adakitic rocks in the Central Iran: implications for evaluating its Cu-Au-Mo metallogenic potential. *Ore Geology Reviews*, ۷۲: ۳۲۳-۳۴۲, <http://dx.doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.07.017>.
- Beane, R.E., (۱۹۸۳). *The Magmatic-Metrotic Transition*. Geothermal Resources Council, California, Report ۱۳, ۲۵۳ pp
- Bolourchi, M.H., ۱۹۷۸- *Geology map of Avaj*, scale ۱:۱۰۰,۰۰۰. Geological survey of Iran.



- Chiu, H.-Y., Chung, S.-L., Zarrinkoub, M.H., Mohammadi, S.S., Khatib, M.M., and Iizuka, Y., ۲۰۱۲- Zircon U-Pb age constraints from Iran on the magmatic evolution related to Neotethyan subduction and Zagros orogeny. *Lithos*, ۱۶۲-۱۶۳: ۷۰-۸۷,
- Ghalamghash, J., Mousavi, S., Hassanzadeh, J., and Schmitt, A., ۲۰۱۶- Geology, zircon geochronology, and petrogenesis of Sabalan volcano (northwestern Iran). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, ۳۲۷: ۱۹۲-۲۰۷, ۱۰.۱۰۱۶/j.jvolgeores.۲۰۱۶.۰۵.۰۰۱
- Ghasemi, H. and Rezaei-Kahkhaei, M., ۲۰۱۵- Petrochemistry and tectonic setting of the Davarzan-Abbasabad Eocene Volcanic (DAEV) rocks, NE Iran. *Mineralogy and Petrology*, ۱۰۹: ۲۳۵-۲۵۲, ۱۰.۱۰۰۷/s.۰۰۷۱۰۰۱۴-۰۳۵۳-۳.
- Kazmin, V.G., Sbertshikov, I.M., Ricou, L.E., Zonenshain, L.P., Boulin, J., and Knipper, A.L., ۱۹۸۶- Volcanic belts as markers of the Mesozoic-Cenozoic active margin of Eurasia. *Tectonophysics*, ۱۲۳: ۱۲۳-۱۵۲, [http://dx.doi.org/10.1016/0040-1951\(86\)90195-2](http://dx.doi.org/10.1016/0040-1951(86)90195-2).
- Kouhestani, H., Rashidnejad-Omran, N., Rastad, E., Mohajjel, M., Goldfarb, R. J., & Ghaderi, M. (۲۰۱۴). Orogenic gold mineralization at the Chah Bagh deposit, Muteh gold district, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, ۹۱, ۸۹-۱۰۶.
- Moghadam, H.S., Rossetti, F., Lucci, F., Chiaradia, M., Gerdes, A., Martinez, M.L., Ghorbani, G., and Nasrabad, M., ۲۰۱۶- The calc-alkaline and adakitic volcanism of the Sabzevar structural zone (NE Iran): Implications for the Eocene magmatic flare-up in Central Iran. *Lithos*, ۲۴۸-۲۵۱: ۵۱۷-۵۳۵.
- Omrani, J., P. Agard, H. Whitechurch, M. Benoit, G. Prouteau, and L. Jolivet, ۲۰۰۸, Arc-magmatism and subduction history beneath the Zagros Mountains, Iran: a new report of adakites and geodynamic consequences: *Lithos*, v. ۱۰۶, no. ۳-۴, p. ۳۸۰-۳۹۸
- Pang, K.-N., Chung, S.-L., Zarrinkoub, M.H., Chiu, H.-Y., and Li, X.-H., ۲۰۱۴- On the magmatic record of the Makran arc, southeastern Iran: Insights from zircon U-Pb geochronology and bulk-rock geochemistry. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*:
- Pang, K.-N., Chung, S.-L., Zarrinkoub, M.H., Khatib, M.M., Mohammadi, S.S., Chiu, H.-Y., Chu, C.-H., Lee, H.-Y., and Lo, C.-H., ۲۰۱۳- Eocene-Oligocene post-collisional magmatism in the Lut-Sistan region, eastern Iran: Magma genesis and tectonic implications. *Lithos*, ۱۸۰-۱۸۱: ۲۳۴-۲۵۱,
- Sepidbar, F., Shafai Moghadam, H., Zhang, L., Li, J.-W., Ma, J., Stern, R.J., and Lin, C., ۲۰۱۹- Across-arc geochemical variations in the Paleogene magmatic belt of Iran. *Lithos*, ۳۴۴-۳۴۵: ۲۸۰-۲۹۶
- Reed, M.H., (۱۹۹۷). Hydrothermal alteration and its relationship to ore fluid composition. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, pp.۳۰۳-۳۶۵.
- Sosson, M., Rolland, Y., Müller, C., Danelian, T., Melkonyan, R., Kekelia, S., Adamia, S., Babazadeh, V., Kangarli, T., Avagyan, A., Galoyan, G., and Mosar, J., ۲۰۱۰- Subductions, obduction and collision in the Lesser Caucasus (Armenia, Azerbaijan, Georgia), new insights. *Geological Society, London, Special Publications*, ۳۴۰: ۳۲۹-۳۵۲, ۱۰.۱۱۴۴/sp.۳۴۰.۱۴.
- Topuz, G., Altherr, R., Schwarz, W., Siebel, W., Satr, M., and Dokuz, A., ۲۰۰۵- Post-collisional plutonism with adakite-like signatures: the Eocene Sarayck granodiorite (Eastern Pontides, Turkey). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, ۱۵۰: ۴۴۱-۴۵۵, ۱۰.۱۰۰۷/s.۰۰۴۱۰۰۰۵-۰۰۲۲-y.
- Torabi, G., Arai, S., and Abbasi, H., ۲۰۱۴- Eocene continental dyke swarm from Central Iran (Khur area). *Petrology*, ۲۲: ۶۱۷-۶۳۲, ۱۰.۱۱۳۴/S.۰۸۶۹۵۹۱۱۱۴۰۶.۰۶X.
- Van der Boon, A., Kuiper, K.F., Villa, G., Renema, W., Meijers, M.J.M., Langereis, C.G., Aliyeva, E., and Krijgsman, W., ۲۰۱۷- Onset of Maikop sedimentation and cessation of Eocene arc volcanism in the Talysh Mountains, Azerbaijan. *Geological Society, London, Special Publications*, ۴۲۸: ۱۴۵-۱۶۹, ۱۰.۱۱۴۴/sp.۴۲۸.۳.
- Verdel, C., Wernicke, B.P., Hassanzadeh, J., and Guest, B., ۲۰۱۱- A Paleogene extensional arc flare-up in Iran. *Tectonics*, ۳۰: TC۳۰۰۸, ۱۰.۱۰۲۹/۲۰۱۰.t.۰۰۲۸۰۹.
- Wilkinson, J. J., ۲۰۰۱, Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits, *ElsEvir, Lithos*

