



## نمودهای بافتی-متاسوماتیسم در گرانیتوئیدهای مهرآباد

محمدعلی مکی‌زاده<sup>۱</sup>، فریماه آیتی<sup>۲\*</sup>، مجتبی امینی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان Mackizadeh44@gmail.com

<sup>۲\*</sup>گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران f.ayati@pnu.ac.ir

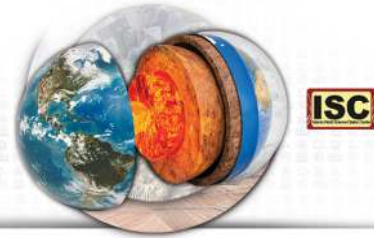
<sup>۳</sup>گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان

### چکیده

گرانیتوئید مهرآباد به سن بعد از ائوسن، در جنوب شرق اردستان و در ایران مرکزی واقع شده است. گرانیتوئید مهرآباد دارای ترکیب گرانیت گرانودیوریت تا تونالیت و دیوریت و کوارتزموئودییوریت تغییر می‌کند. این توده با سن جوانتر از ائوسن در سنگ‌های آتشفشانی و سنگ‌های آذرآواری ائوسن منطقه، تزریق شده است. سنگ‌های این منطقه از کالک آلکالن تا متالومین و کمی پراومین و بر اساس مواد تشکیل دهنده جز گرانیتوئیدهای نوع I محسوب می‌شوند. تکاپوهای پایانی توده نفوذی گرانودیوریتی تا میکرودیوریتی که بعد از ائوسن رخ داده است سبب شده تا سنگ‌های آتشفشانی ائوسن دچار دگرسانی گرمایی شده و در اثر این پدیده سنگ‌های مزبور به رنگ‌های سفید، زرد تا صورتی نمایان هستند و به مجموعه ای برشی سیلسی - آرژیلیتی تبدیل شده‌اند. این مجموعه با کانی‌های کوارتز، آلکالی فلدسپار، پلاژیوکلاز، اوژیت، تورمالین، آمفیبول، اسفن (تیتانیت)، اورالیت، زیرکن و اپیدوت مشخص می‌شود. شواهد پتروگرافی حاکی از پیدایش آدولاریا در واپسین لحظه شکل‌گیری گرانیتوئید منطقه به طریق رگه‌ای است. برخی نمودهای بافتی-متاسوماتیسم در گرانیتوئیدهای منطقه شامل رگچه‌های آلکالی فلدسپار تاخیری در دانه‌های کوارتز، بافت برشی در کوارتزها، جانشینی بخشی کوارتز در امتداد سطوح ماکل پلاژیوکلاز با حفظ قالب ماکل، جانشینی بخشی پلاژیوکلاز توسط پتاسیم فلدسپار از حاشیه و هم‌رشدی گلبولی کوارتز در آلکالی فلدسپار می‌باشد.

### واژه‌های کلیدی

گرانیتوئید، دگرسانی، متاسوماتیسم، اردستان، ایران مرکزی.



## ۱. مقدمه

از نظر جغرافیایی گرانیتوئید مهرآباد در شهرستان اردستان قرار دارد. این منطقه در بین طول‌های جغرافیایی  $52^{\circ}, 50'$  تا  $53^{\circ}, 30'$  شرقی و عرض‌های جغرافیایی  $33^{\circ}, 09'$  تا  $33^{\circ}, 15'$  شمالی قرار دارد (شکل ۱ و ۲). توده نفوذی مهرآباد با سن جوانتر از ائوسن در جنوب مهرآباد در شمال شرقی استان اصفهان مشاهده می‌گردد که در سنگ‌های آتشفشانی و سنگ‌های آذرآواری ائوسن منطقه، تزریق شده است. در منطقه مورد مطالعه توده نفوذی سنگ‌های ولکانیک و واحدهای رسوبی قدیمی‌تر را قطع کرده است. از جمله مطالعاتی که در منطقه مورد بررسی و یا مناطق اطراف صورت گرفته است می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: [1] به مطالعه پتروگرافی و پتروژنی توده های نفوذی سهیل پاکوه و گلشکنان پرداخته است. [2] ژئوشیمی و پتروژنی سنگ‌های آتشفشانی جنوب اردستان و [3] پتروژنی سنگ‌های ترشیری جنوب اردستان را مورد بررسی قرار داد. [4] به مطالعه پتروژنی، ژئوشیمی و جایگاه تکنونوماگمایی گرانیتوئیدهای قهساره (جنوب شرق اردستان) پرداخته است. درک درست از ماهیت ماگمای سازنده، و بررسی‌های کانی‌شناسی جهت تعیین دقیق ترکیب کانی‌ها و بافتها خصوصاً بافت‌های متاسوماتیسمی در گرانیتوئیدهای منطقه، از اهداف این پژوهش می‌باشد.

## ۲. روش تحقیق

روش تحقیق شامل انجام پیمایش و بررسی‌های صحرایی منطقه مورد مطالعه و مطالعه پتروگرافی و کانی‌شناسی و بررسی مقاطع صیقلی با هدف بررسی دقیق کانی‌ها و شناخت بافت‌ها خصوصاً بافت‌های متاسوماتیسمی سنگ‌های مورد مطالعه می‌باشد.

## ۳. زمین‌شناسی منطقه

توده های نفوذی مهرآباد واقع در جنوب شرق اردستان و شمال و شمال غرب زون افیولیتی نائین در غرب زون ایران مرکزی و بخش میانی کمربند آتشفشانی ارومیه - دختر جای گرفته اند. سن این توده ها بعد از ائوسن و احتمالاً الیگوسن - میوسن می باشد [5] این توده گرانیتوئیدی دارای ترکیب گرانیت گرانودیوریت تا تونالیت و دیوریت کوارتزموئودیوریت تغییر می‌کند و در سنگ‌های آذرآواری با سن ائوسن تزریق شده‌اند. سنگ‌های این منطقه از کالک آلکالن تا متالومین و کمی پراومین و بر اساس مواد تشکیل دهنده جز گرانیتوئیدهای نوع I محسوب می شوند. این توده به صورت دایک و استوک رخنمون دارد که با روند کلی شمال غرب - جنوب شرق قرار دارد از جمله واحدهای رخنمون یافته در منطقه مورد بررسی می توان به مجموعه افیولیتی نائین (شامل رادیولاریت، دیاباز و اسپیلیت ها)، واحدهای آهکی و ماسه سنگی پالئوسن، واحدهای سنگی ائوسن شامل واحدهایی همچون ماسه سنگ و کنگلومرا، توف و گدازه آندزیتی، واحدهای سنگی الیگومیوسن عمدتاً شامل واحدهای آهکی و نیز واحدهای سنگی کواترنر (آبرفتی) و حضور توده‌های نفوذی اشاره نمود. توده‌های نفوذی منطقه از دیوریت تا توده‌های کم ژرف داسیتی تا ریوداسیتی تغییر می‌کنند. بیشترین گسترش توده‌های نفوذی متعلق به توده‌های بزرگ و باتولیتی با ترکیب گرانودیوریتی می‌باشد. پس از این واحدهای گنبدی شکل و نیمه عمق داسیتی از اهمیت بعدی برخوردار هستند. در شرق منطقه، توده‌های گرانودیوریتی، در کنار روستای سهیل (توده سهیل پاکوه)، و در شمال غرب محدوده مورد مطالعه، توده‌های گرانیتی و توده‌های کوچک و بعضاً به صورت رگه و دایک تونالیتی را می‌توان مشاهده کرد که در پیرامون روستای مهرآباد رخنمون دارد. این بخش‌های نفوذی در سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی مربوط به ائوسن نفوذ نموده و تاثیرات حرارتی محسوسی (ایجاد سنگ‌های دگرگونی درجه پایین) را بر روی این سنگها گذارده اند. همانطور که ذکر گردید واحدهای نفوذی منطقه را می‌توان به واحدهای گرانودیوریتی، تونالیتی و مونزوگرانیتی تقسیم بندی نمود. تکاپوهای پایانی توده نفوذی گرانودیوریتی تا میکرودیوریتی که بعد از ائوسن رخ داده است سبب شده تا سنگ‌های آتشفشانی ائوسن دچار دگرسانی گرمایی شده و در اثر این پدیده سنگ‌های مزبور به رنگ های سفید، زرد تا صورتی نمایان هستند و به مجموعه‌ای برشی سیلسی - آرژیلیتی تبدیل شده‌اند. در ادامه تصاویر صحرایی از منطقه مورد مطالعه (جنوب شرق اردستان) دیده می‌شود.



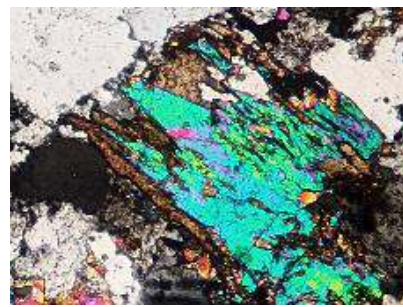
شکل ۱: الف) تصویر ماهواره ای محدوده مورد بررسی، ب) تصاویر صحرایی از منطقه مورد مطالعه و حضور باتولیت های گرانیتی

#### ۴. مطالعات کانی‌شناسی و نمودهای بافتی - متاسوماتیسم در گرانیتوئیدها

همانگونه که ذکر گردید، توده‌های نفوذی مورد مطالعه عمدتاً دارای ترکیب گرانودیوریت، دیوریت و مونزدیوریت می‌باشند. این توده‌ها عمدتاً به صورت رگه و دایک هستند و در بخش‌هایی از منطقه هم به صورت توده‌هایی با اندازه‌های متفاوت رخمون دارد. گرانودیوریت‌ها سنگ‌های نفوذی با بافت درشت دانه تا متوسط (گرانولار) می‌باشند که دارای کانی‌های اصلی مانند پلاژیوکلاز، کوارتز و ارتوکلاز و کانی‌های تیره بیوتیت آمفیبول می‌باشد. کانی‌های فرعی شامل اسفن آپاتیت و زیرکن که به صورت ادخال در بیوتیت دیده می‌شود. پلاژیوکلازها جز کانی‌های اصلی تشکیل دهنده گرانودیوریت‌ها بوده و به صورت شکل دار تا نیمه شکل با ماکل‌های پلی سنتتیک و زونینگ دیده می‌شود. فلدسپاتها در اثر دگرسانی هیدروترمال، افزایش آب و پتاسیم به طور بخشی یا کامل توسط سریسیت پوشیده می‌شوند. کوارتزها اغلب بی‌شکل و دارای خاموشی موجی (در اثر تغییرات فشار) می‌باشند. کوارتزها به صورت فنوکریست و گاهی به صورت دانه زیر فضای بین بلورها را پر می‌کند. در مواردی بلورهای کوارتز با فلدسپار آلکان تشکیل بافت گرانوفیری را داده‌اند. آمفیبول‌ها در اثر تجزیه به کلریت، اسفن و اکسید آهن و ارتوکلازها به کائولینیت دگرسان شده‌اند. اسفن به صورت نیمه شکل‌دار تا شکل دار و به صورت ثانویه و اولیه دیده می‌شود. دیوریت دارای ترکیب پلاژیوکلاز+کوارتز+هورنبلند+بیوتیت می‌باشد. پلاژیوکلاز بخش عمده این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهد، دارای اشکال نیمه شکل دار تا بی‌شکل می‌باشند و اغلب ماکل پلی سنتتیک و زونینگ نشان می‌دهد. پلاژیوکلازها بعضاً به اپیدوت تبدیل شده‌اند که نوع دگرسانی اپیدوتی را نشان می‌دهد. یکی از نکات قابل توجه شکل‌گیری اپیدوت در راستای سطوح ماکل در پلاژیوکلازها است. دگرسانی اپیدوتی به صورت اشکال آمیبی دیده می‌شود. از طرفی پلاژیوکلازها توسط رگچه‌های آلکالی فلدسپار قطع شده‌اند (شکل ۳-۲ الف). ارتوکلازها به صورت کائولینیتی شده دیده می‌شوند و درصد کمتری نسبت به پلاژیوکلاز و رابطه‌ی نزدیکی با



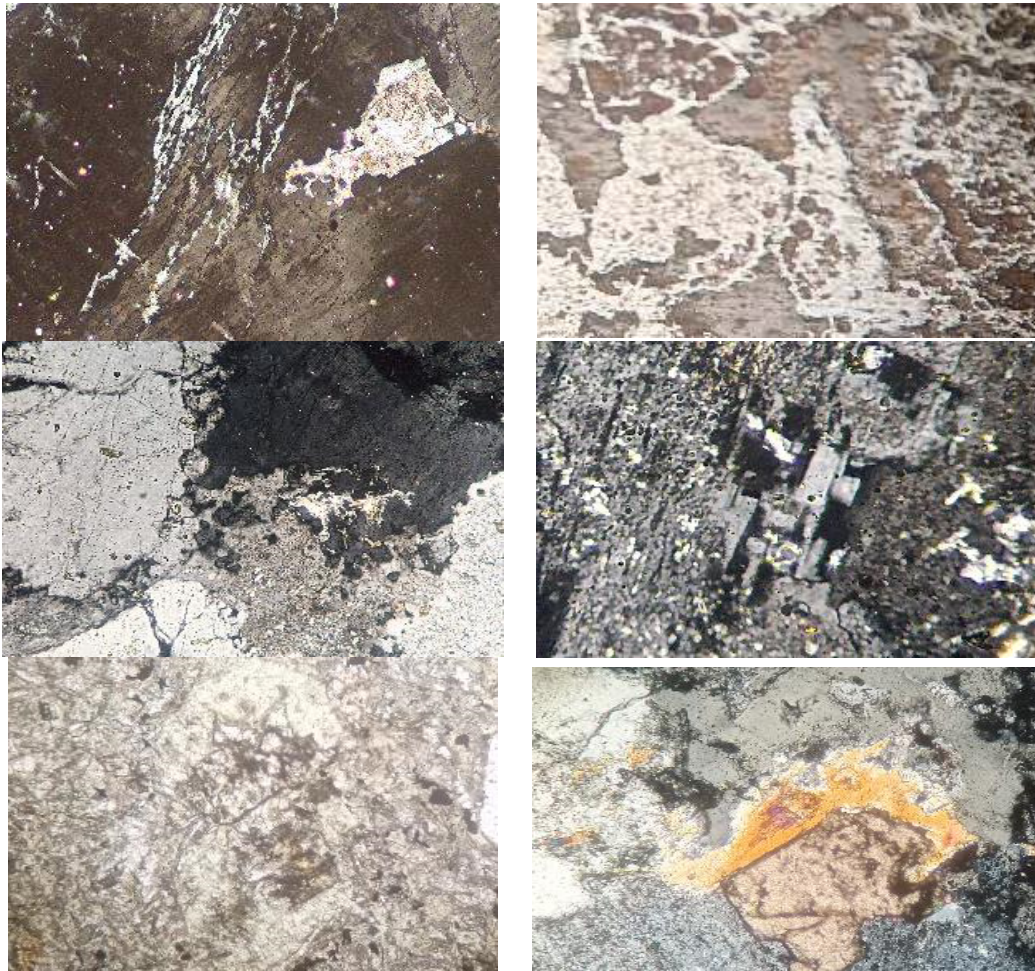
کوارتز دارند (ارتوکلاز با کوارتز هم رشدی دارند). ارتوکلازها به صورت کائولینیتی شده دیده می‌شوند. کوارتز با اندازه‌های مختلف و گاهی با خاموشی موجی دیده می‌شود. آمفیبول‌ها به دو شکل اولیه و ثانویه یافت می‌شود. آمفیبول‌های ثانویه اورالیت بوده و از جنس ترمولیت اکتینولیت می‌باشد. در این میان کانی‌های اپیدوت، اسفن، کلریت حاصل از تجزیه نیز قابل مشاهده می‌باشند. حضور اسفن و اپیدوت نشانی از بالا بودن فوگاسیته اکسیژن و اکسید کلسیم در محیط و درسیالات هیدروترمال می‌باشد. اسفن‌ها به صورت مستقل یا در ارتباط نزدیک با آمفیبول‌ها و اپیدوت‌ها و به صورت همپوشانی دیده می‌شود (شکل ۲). بافت‌هایی از جمله گرانولار - پوئی کلیتیک - جانشینی در سنگ دیده می‌شود.



شکل ۲: الف) جانشینی اپیدوت‌های ثانویه در امتداد ماکل یا رخ پلاژیوکلاز  $100 \times \text{XPL}$ ، ب) هم‌پوشانی اسفن بر روی اپیدوت  $100 \times \text{XPL}$

از جمله نمودهای بافتی-متاسوماتیسم در گرانیتوئیدهای منطقه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود (شکل ۳):

- الف) رگچه‌های آلکالی فلدسپار تاخیری در دانه‌های کوارتز: کوارتز با خاموشی موجی که شکستگی‌های آنها توسط آلکالی فلدسپار تاخیری پر شده است. گاه شکستگی‌های پر شده بافت جدایش-کشش را نشان می‌دهند.
- ب) بافت برشی در کوارتزها: در این مورد فضای خالی کوارتزهای درشت اولیه سنگ بعد از برشی شدن، توسط کوارتزهای دانه ریز پر شده است.
- ج) جانشینی بخشی کوارتز در امتداد سطوح ماکل پلاژیوکلاز با حفظ قالب ماکل. در یک مورد جانشینی کوارتزهای تاخیری همزمان در حواشی پلاژیوکلاز به شکل نامنظم انجام شده است.
- د) جانشینی بخشی پلاژیوکلاز توسط پتاسیم فلدسپار از حاشیه جانشینی نصف و نصف یا بینابینی.
- ه) هم‌رشدی گلبولی کوارتز در آلکالی فلدسپار: کوارتزهای کم و بیش گرد شده در زمینه پتاسیم فلدسپار حضور دارند. شواهد بافتی نشان می‌دهد که کوارتزهای بزرگ اولیه از حاشیه توسط فلدسپارها، خوردگی پیدا کرده‌اند.
- و) همیافتی آمفیبول (ترمولیت- اکتینولیت) با تیتانیت و تورمالین نیز مشاهده شد. مطابق تصاویر تورمالین توسط تیتانیت- ترمولیت- اکتینولیت پوشیده شده است. دانه‌های تورمالین در PPL با چندرنگی معکوس (سبزآبی کم رنگ تا پررنگ)، برجستگی قوی مشخص هستند.



شکل ۳: از چپ به راست: (الف) شکستگی‌های پر شده بافت جدایش-کشش  $100\times XPL$ ، (ب) پر شدن فضای خالی توسط کوارتزهای دانه ریز  $100\times PPL$ ، (ج) جانشینی بخشی کوارتز در امتداد ماکل پلاژیوکلاز  $100\times XPL$ ، (د) جانشینی بخشی پلاژیوکلاز توسط پتاسیم فلدسپار  $100\times XPL$ ، (و) خوردگی کوارتز توسط پلاژیوکلاز  $100\times PPL$ ، (ه) همیافتی تورمالین (در مرکز) با ترمولیت-اکتینولیت و تیتانیت  $100\times XPL$

در خصوص خاستگاه تیتانیت در مجموعه‌های گرانیتوئیدی منطقه می‌توان گفت که با دیدگاه کمپلکس‌سازی متنوع تیتانیوم در سامانه‌های گرمایی [6] می‌توان گونه تیتانیوم را درگیر با  $HCl$ ،  $HF$ ،  $H_2SO_4$ ،  $NaOH$  و  $NaF$  در نظر گرفت در مطالعه پتروگرافی سنگهای محدوده از آنجا که کانی‌های حاوی کلر، فلوئور، سولفات مشاهده نمی‌شوند، لذا گونه‌های درگیر را به صورت زیر فرض کردیم.

و بنابراین مبنا می‌توان واکنش تشکیل تیتانیت به خرج فلدسپارهای پلاژیوکلاز را به شکل زیر پیشنهاد کرد:

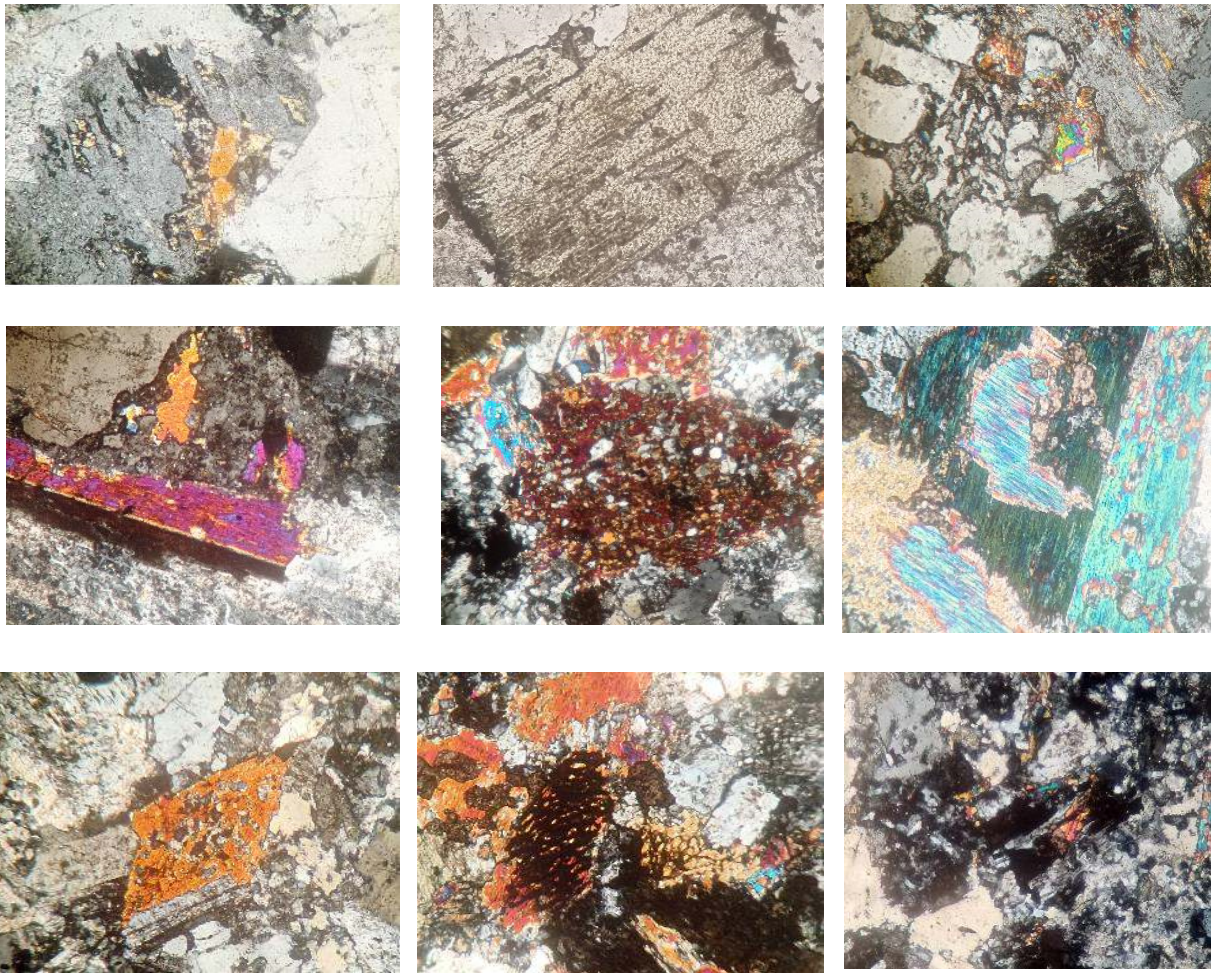
$$Ti(OH)_4 + CaAl_2Si_2O_8 \Rightarrow CaTiSiO_5 + SiO_2 + 2Al(OH)_3 + H_2O$$

بدیهی است سازه‌های آزاد شده در سیال می‌توانند در تشکیل اپیدوت‌های متاسوماتیک شرکت نمایند. اپیدوت علاوه بر حضور مستقل در زمینه به اشکال مختلف زیر دیده می‌شود.



در مورد خاستگاه آمفیبول‌ها شایان ذکر است در مقاطع مطالعه شده بر دودسته هستند: الف: آمفیبول‌های ثانویه، ب: آمفیبول‌های اولیه برخی از آمفیبول‌های ثانویه با ادخالهای فراوان از کانیه‌های کوارتز، اسفن، کلریت و کلسیت مشخص هستند. این آمفیبول‌ها فاقد شکل هندسی کامل هستند و شمایل به آگرگات رشته‌ای دارند. آمفیبول‌های اولیه عمدتاً با شکل هندسی کامل، رخ‌های واضح و در مقاطع عرضی دو جهت رخ مایل مشخص می‌باشند (شکل ۴).

در خصوص کانی اپاک با توجه به مطالعه مقاطع صیقلی، در بیشتر موارد مگنتیت همیافتی نزدیکی با تیتانیت نشان می‌دهد و روابط بافتی نشان می‌دهد که مگنتیت برای تشکیل تیتانیت تحلیل رفته است. در بیشتر موارد کانی اپاک (مگنتیت) همیافتی نزدیکی با تیتانیت نشان می‌دهد و روابط بافتی نشان می‌دهد که مگنتیت برای تشکیل تیتانیت تحلیل رفته است. تشکیل مگنتیت در امتداد رخ‌های فلدسپار با جانیشینی بخشی در زمینه فلدسپار نیز اتفاق افتاده است. در مواردی جانیشینی مگنتیت در امتداد دودسته رخ‌های غیر عمود بر هم آمفیبول قابل مشاهده است. همراهی اپیدوت با مگنتیت در جانیشینی بخشی فلدسپار نیز کم و بیش مشاهده می‌شود (شکل ۴).



شکل ۴: از چپ به راست: (A) جانیشینی ناکامل اپیدوت در امتداد سطوح ماکل-رخ‌های یک فلدسپار  $100\times$  PPL, (B) پدیده سویدومورف (اپیدوت) در یک فلدسپار به طور کامل  $100\times$  PPL, (C) همپوشانی تا جانیشینی اپیدوت در اطراف یک فلدسپار  $100\times$  PPL, (D) جانیشینی بخشی (Partial Replacement) و پراکنده اپیدوت در یک فلدسپار در همراهی با آمفیبول PPL-  $100\times$  XPL, (E) آمفیبول ثانویه بی‌شکل با ادخالهای فراوان  $100\times$  PPL, (F) ساخت رشته‌ای در آمفیبول‌های ثانویه  $100\times$  XPL, (G)



آمفیبول اولیه خودشکل (برش عرضی)  $XPL \times 100$  ، H) جانشینی مگنتیت در امتداد دو جهت رخ آمفیبول  $XPL-PPL \times 100$  ،  
 I) جانشینی مگنتیت و اپیدوت در یک فلدسپار  $XPL \times 100$

##### ۵. نتیجه گیری:

توده گرانیتوئیدی مهرآباد با سن جوانتر از ائوسن در جنوب شرق اردستان در سنگ‌های آتشفشانی و سنگ‌های آذرآواری ائوسن منطقه، تزریق شده است. این توده دارای ترکیب گرانیت گرانودیوریت تا تونالیت و دیوریت و کوارتز مونوزودیوریت می‌باشد و جز گرانیتوئیدهای نوع I محسوب می‌شوند. از جمله واحدهای رخنمون یافته در منطقه مورد بررسی می‌توان به مجموعه افیولیتی ناین، واحدهای آهکی و ماسه سنگی پالتوسن، واحدهای سنگی ائوسن، واحدهای سنگی الیگومیوسن عمدتاً شامل واحد های آهکی و واحدهای سنگی کوارتز (آبرفتی) و حضور توده های نفوذی اشاره نمود. تکاپوهای پایانی توده نفوذی گرانودیوریتی تا میکرودیوریتی که بعد از ائوسن رخ داده است سبب شده تا سنگهای آتشفشانی ائوسن دچار دگرسانی گرمایی شده و در اثر این پدیده سنگهای مزبور به رنگ های سفید، زرد تا صورتی نمایان هستند و به مجموعه ای برشی سیلیسی - آرژیلیتی تبدیل شده‌اند. عمده کانی‌های تشکیل دهنده این توده شامل کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپار آلکان و آمفیبول با کانی های ثانویه اپیدوت، اسفن، کلریت می‌باشند. بافت غالب سنگ ها گرانولار به همراه بافت پوئی کلیتیک و گاه پرتیتی و گرانوفیری می‌باشد. از جمله نموده‌های بافتی-متاسوماتیسم در گرانیتوئیدهای منطقه می‌توان به رگچه های آلکالی فلدسپار تاخیری در دانه های کوارتز، بافت برشی در کوارتزها، جانشینی بخشی کوارتز در امتداد سطوح ماکل پلاژیوکلاز با حفظ قالب ماکل ، جانشینی بخشی پلاژیوکلاز توسط پتاسیم فلدسپار از حاشیه و هم رشدی گلبولی کوارتز در آلکالی فلدسپار اشاره نمود.

##### منابع

- [1] کامران اکبری، ۱۳۷۸. پتروگرافی و پترولوژیکی توده های نفوذی سهیل پاکوه و گلشکنان شمال ناین، سومین همایش انجمن زمین شناسی ایران، شیراز
- [2] هادی یگانه فر، ۱۳۸۶. پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی جنوب اردستان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- [3] شهروز بابازاده، ۱۳۹۶. پتروژنز سنگ‌های پلوتونیک ترشیری جنوب اردستان. رساله دکترا، دانشگاه تربیت مدرس.
- [4] الهام رحمانی، ۱۳۹۶. پترولوژی، ژئوشیمی و جایگاه تکنونوماگمایی گرانیتوئیدهای قهساره (جنوب شرق اردستان)، پایان نامه کارشناسی ارشد پترولوژی، گروه زمین‌شناسی دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.
- [5] Davoudzadeh, M. 1972. Geology and Petrography of the Area North of Nain, Central Iran. Report, Geological Survey of Iran, Tehran, 89 p.
- [6] Ryzhenko, B., kovalenko, N. prisyagin., I., 2006. Titanium complexation in hydrothermal systems Geochemistry international 44(9):879-895.