IRANIAN SOCIETY of CRYSTALLOGRAPHY and MINERALOGY

Vol. 16, No. 2, summer 1387/2008

IRANIAN JOURNAL of CRYSTALLOGRAPHY and MINERALOGY

The role of xenocrysts, enclaves and syn-plutonic dykes in the interpretation of magmatic evolution of the Alvand plutonic complex with emphasis on geological and mineralogical evidence for magma mingling

A. A. Sepahi

Department of Geology, Bu Ali Sina University, Hamedan
E-mail: Sepahi@basu.ac.ir

(Received: 4/4/2007, in revised form: 8/4/2008)

Abstract: Despite that, in the Alvand complex, the mafic-intermediate rocks (gabbros, diorites and tonalites) are mostly older than felsic rocks (granodiorites and monzogranites), and mineralogical and geochemical discontinuity is seen between them, there are evidence that indicate they have sometimes been co-existed. With the studies on field relationship of rocks, xenocrysts assemblages, synplutonic dykes and their related enclaves I affirm synchroneous occurrence of mafic and felsic magmas, in some periods, and I present evidence of magma mingling/mixing between them. Gabbro-dioritic magmas of mantle origin from one side and crustal, anatectic magmas from another side were intruded the area repeatedly and sometimes synchroneously, and produced a range of crustal (anatectic), mantle and hybrid rocks. Granitic rocks of crustal origin mostly contain restitic (surmicaceous) enclaves, sillimanite, andalusite, cordierite and garnet xenocrysts and their common mafic mineral is biotite (without any hornblende). Migmatitic rocks containing porphyroblast assemblages resemble the xenocryst minerals of granites occuring near to granites. Mantle type rocks (gabbro-diorite-tonalites) commonly have pyroxene and hornblende as common mafic minerals and surmicaceous enclaves and xenocrysts are not common in them. Hybrid rocks have a set of geological characteristics between crustal and mantle type rocks. Geochemical properties of mentioned rock types are seperatable from each other and confirm deductions outlined above.

Keywords: *mingling , Alvand, enclave, hybrid, magma, migmatite*.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]

مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال شانزدهم، شمارهٔ ۲، تابستان ۸۷، از صفحهٔ ۲۳۳ تا ۲۴۸

انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران

نقش زینوکریست‌ها، برونبومها و دایک‌های همزمان با پلوتونیسم در تفسیر تحول ماگمایی مجموعه پلوتونیک الوند: با تاکید بر شواهد زمین‌شناسی و کانی‌شناسی مربوط به آمیختگی ماگمایی

علی اصغر سپاهی

گروه زمین شناسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

پست الکترونیکی: sepahi@basu.ac.ir

(دریافت مقاله ۱۳۸۶/۱/۱۵، نسخه نهایی: ۱۳۸۷/۱/۲۰)

چکیده: با اینکه در مجموعهٔ الوند سنگهای مافیک-حدواسط (گابروها، دیوریت‌ها، و تونالیت‌ها)، اغلب قدیم‌تر از سنگ‌های فلسیک (گرانودیوریت‌ها و مونزوگرانیت‌ها) هستند، و بین آن‌ها گسستگی کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی دیده می‌شود، ولی شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد ماگماهای مافیک و فلسیک در طول حیات خود گاهی همزمان نیز شکل گرفته باشند. با مطالعات روابط صحرایی سنگها، مجموعهٔ زینوکریست‌ها، دایک‌های همزمان با پلوتونیسم، و برونبومهای منشعب از آن‌ها ضمن اثبات حضور توأم دو نوع ماگمای متضاد (مافیک و فلسیک)، به معرفی شواهد حاصل از در هم شدن و آمیختگی آن‌ها پرداخته شد. ماگماهای گابرودیوریتی گوشته‌ای از یک سو و ماگماهای آناتکتیک پوسته‌ای از سوی دیگر به صورت پی در پی و گاهی همزمان با هم به منطقه تزریق شده، و طیف گسترده‌ای از سنگهای با خاستگاه پوسته‌ای (آناتکتیک)، گوشته‌ای، و دورگه را ایجاد کرده‌اند. در منطقهٔ مورد مطالعه، سنگهای گرانیتی با خاستگاه پوسته‌ای اغلب حاوی برونبومهای رستیتی (سورمیکاسه)، زینوکریست های سیلیمانیت، آندالوزیت، کردیریت، و گارنت فراوان هستند و کانی مافیک آن‌ها تنها بیوتیت است (هورنبلند به هیچ وجه ندارند). در کنار این سنگها گاهی سنگهای میگماتیتی یافت می‌شوند که مجموعهٔ پورفیروبلاست‌های درون آن‌ها از نظر جنس و اندازه دانه‌ها شباهت کاملی با زینوکریست‌های داخل گرانیت‌ها دارد. سنگ‌های گوشته‌ای (گابرو- دیوریت- تونالیت‌ها) اغلب دارای پیروکسن و آمفیبول (هورنبلند) بوده و برونبومهای سورمیکاسه و زینوکریست‌ها در آن‌ها نادر است. سنگ‌های دورگه دارای مجموعه‌ای از ویژگی‌های زمین‌شناسی بینابین سنگهای پوسته‌ای و گوشته‌ای هستند. ضمناً ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگهای دسته‌های بالا نیز قابل تفکیک‌اند و شواهد بالا را تایید می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: *درهم شدن، آمیختگی، الوند،برونبوم، دورگه، ماگما، میگماتیت.*

مقدمه

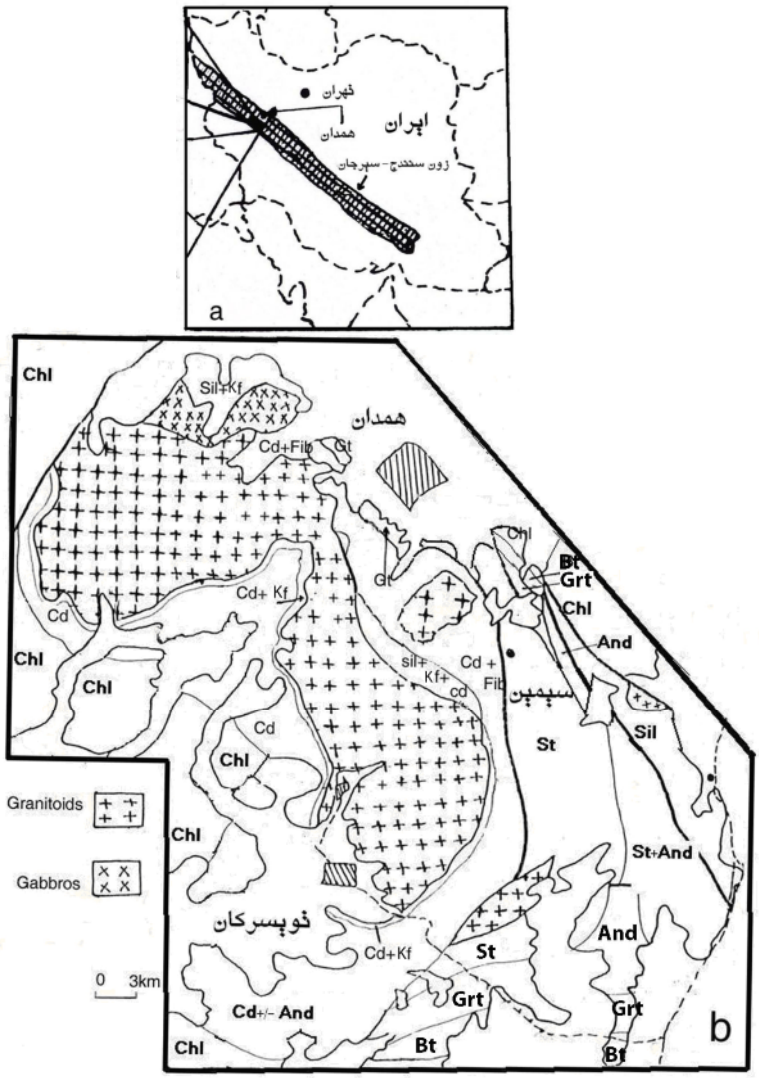
سنگ‌شناسی مجموعهٔ پلوتونیک الوند از دیر باز مورد توجه زمین‌شناسان بوده است [۱- ۶] ولی به دگرگونی ماگمایی، درهم شدن آمیختگی ماگماها در این مجموعه کمتر توجه شده است. وجود سنگهای مافیک و حدواسط (مجموعه گابرو-دیوریت-تونالیت) که نشانی از ماگماتیسم گوشته‌ایست، و وجود گرانیت‌های نوع آناتکسی (S-Type) که ماگماتیسم پوسته‌ای را نشان می‌دهند، حاکی از رخداد دو نوع ماگماتیسم متضاد در مجموعهٔ پلوتونیک الوند است. در این مقاله سعی شده است تا مجموعه‌ای تازه از شواهد صحرایی، میکروسکوپی، و شیمیایی در مورد حضور توأم و آمیختگی ماگماهای پوسته‌ای و گوشته-ای ارائه شود. ضمناً شواهدی که در طول سال‌های اخیر در مورد ویژگی‌های صحرایی، سنگ‌شناختی، ژئوشیمیایی، و تابش‌سنجی مجموعهٔ پلوتونیک الوند که در نوشته‌های مختلفی [۶-۹] آمده‌اند، نیز مورد توجه قرار گرفت. با توجه به اینکه گرانیت‌ها، بخش بزرگ این قسمت عمده مجموعه را می‌سازند،

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]

و در کنار بخشی از هالهٔ دگرگونی با میگماتیت‌ها قرار دارند [۶] و اینکه سنگ‌ها (میگماتیت‌ها) به ماگماهای آناتکتیک وابستگی دارند، الگوهای ارائه شده [۱۰-۱۳]، در تفسیر رخداد ماگماتیسم آناتکتیک در منطقه بسیار مفید و مورد استفاده بوده‌اند. مطالعهٔ برنبومها و زینوکریست‌ها، دایک‌های مرکب، و دایک‌های همزمان با پلوتونیسم و نیز بررسی رابطهٔ گرانیت‌ها با میگماتیت‌های کمک شایان توجهی به شناخت نشانه‌های مربوط به وجود ماگماهای گوشته‌ای و پوسته‌ای، هم زمانی آن-ها (در برخی اوقات)، آمیزش و اختلاط بین آن‌ها کرده است.

موقعیت زمین‌شناسی

منطقهٔ مورد مطالعه یعنی رشته کوه الوند (همدان)، در زون سنندج – سیرجان قرار گرفته است (شکل۱) که در طول زمان زمین‌شناسی دستخوش فرایندهای ماگماتیسم و دگرگونی بوده است. رخدادهای ماگماتیسم و دگرگونی منطقه اغلب به دوران مزوزوئیک مربوط می‌شود [۱۴، ۱۵، ۹]. سن پروتولیت سنگهای دگرگون را متفاوت ذکر کرده‌اند، ولی به احتمال زیاد وابسته به پالئوزوئیک فوقانی تا ژوراسیک است.



شکل۱ نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه: (a) مو قعیت زمین‌شناسی زون سنندج-سیرجان و (b) موقعیت مجموعه پلوتونیک الوند (گابرو و گرانیتوئید در نقشه) همراه با زون‌های دگرگون چشمگیر در منطقهٔ همدان. Chl، Bt، Grt، And، St، Sil، Cd، Fib و Kf به ترتیب عبارتند از زون‌های کلریت، بیوتیت، گارنت، آندالوزیت، استرولیت، سیلیمانیت، کردیریت، فیبرولیت، و پتاسیم فلدسپار. در زون کلریت اغلب سنگها از اسلیت و فیلیت، در زون بیوتیت از میکا شیست، در زون گارنت از گارنت شیست، در زون آندالوزیت از گارنت آندلوزیت شیست، در زون استرولیت از گارنت استرولیت شیست، در زون سیلیمانیت از گارنت سیلیمانیت شیست و در زون کردیریت از کردیریت هورنفلس تشکیل شده‌اند. میگماتیت‌ها در زون سیلیمانیت (کردیریت)- پتاسیم فلدسپار رخنمون دارند.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]

علاوه بر رخداد دگرگونی ناحیه‌ای گرما جنبشی، به سبب نفوذ توده‌های آذرین پلوتونیک در چند نوبت و گرمای ناشی از آن‌ها، سنگهای منطقه چند بار دستخوش دگرگونی مجاورتی نیز شده‌اند، زیرا زمان تزریق توده‌های مختلف گابرویی، دیوریتی، گرانیتی، آپلیتی، و پگماتیتی مختلف بوده است بنابراین در چند نوبت به سنگهای در برگیرنده خود ضربهٔ گرمایی وارد کرده‌اند. میگماتیت‌ها و گرانیت‌های آناتکسی، در برخی از مناطق موجب فرا دگرگونی در آنها شده‌اند. تنوع سنگ‌شناسی هم در واحدهای سنگی آذرین و هم در واحدهای سنگی دگرگون بسیار چشمگیر است. از جمله مهمترین سنگهای آذرین می‌توان به الیوین گابرو، گابرو، دیوریت، تونالیت، گرانودیوریت، گرانیت، آپلیت، و پگماتیت اشاره کرد [۶] سنگهای دگرگون در رده‌های ترکیبی مختلفی مانند پلیت‌ها، سامیت‌ها، کربنات‌ها، و بازیت‌ها قرار می‌گیرند که در این میان حجم سنگهای پلیتی (متاپلیت‌ها) فراوان‌تر است. اسلیت، فیلیت و میکاشیست‌های دارای گارنت، آندالوزیت، سیلیمانیت، کیانیت و استارولیت، میگماتیت‌ها، و هورنفلس‌ها از فراوان‌ترین سنگهای دگرگون منطقه به شمار می‌آیند. آمفیبولیت، آمفیبول شیست، مرمر و اسکارن‌ها برونزدهای کوچکی را به صورت میان لایه هایی میان سنگهای پلیتی تشکیل می‌دهند [۱۶، ۶].

دگرگونی ماگمایی و فرایند آمیختگی در ماگماها

تنوع و خاستگاه برنبومها و زینوکریست‌ها، انواع دایک‌ها به ویژه دایک‌های مرکب، دایک‌های همزمان با پلوتونیسم و دایک‌های آپلیتی-پگماتیتی و مطالعهٔ میگماتیت‌ها به عنوان سنگهای وابسته به آبگونهای آناتکسی برای تفسیر دگرگونی ماگمایی و آمیختگی ماگماها در منطقهٔ مورد مطالعه مورد توجه قرار گرفته‌اند:

۱-اهمیت برونبومها در تفسیر سنگ‌زایی در سنگهای میزبان خود و پدیده‌های در هم شدن ماگماها

دیدیه و باربارین [۱۷] در کتابی جامع زیر عنوان "سنگ-شناسی برونبوم‌ها و گرانیت"، به رده‌بندی انواع برونبومها و بررسی اهمیت آنها در تفسیر سنگ شناسی سنگهای گرانیتی پرداخته‌اند. با مطالعه برونبومها می‌توان شواهدی چگونگی جایگیری ماگماهای گرانیتی، ماهیت سنگ میزبان، سن نسبی توده‌های نفوذی مجاور هم، دینامیک مخازن ماگمایی، پلوتون-های در حال انجماد، و خاستگاه ماگماهای گرانیتی به دست آورد [۱۷]. ورنون [۱۸-۲۰] زینوکریست‌ها، رستیت‌ها و برونبومهای میکروگرانیتوئید را بررسی و اهمیت آن‌ها را در سنگ‌زایی گرانیت‌ها بررسی کرده است. چاپل و وایت [۲۱] ویژگی‌های برونبومهای رستیتی را تشریح و مدل رستیت را ارائه داده‌اند.

وجود مجموعهٔ کم نظیری از زینولیت‌های متنوع، برونبومهای مافیک، فلسیک ریز دانه، زینوکریست‌ها، و رستیت-ها در سنگهای مجموعهٔ پلوتونیک الوند کمک شایانی بررسی دگرگونیهای ماگمایی آن می‌کند. برونبومها و زینوکریست‌های موجود در سنگهای مجموعهٔ پلوتونیک الوند به شرح زیر تنوع زیادی دارند.

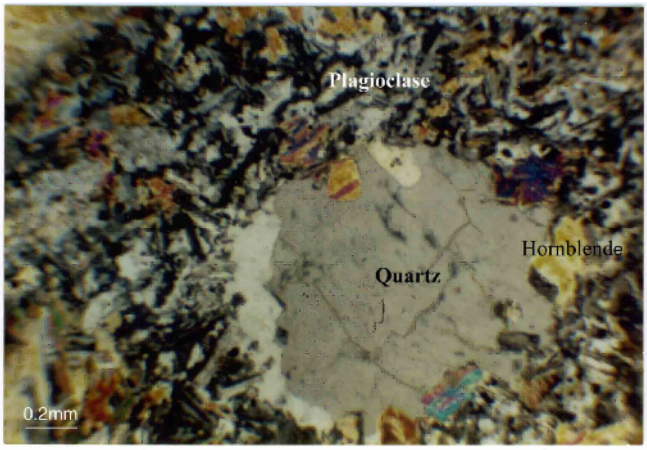
الف- برونبومهای ریشه گرفته از سنگهای دیوارهٔ (میزبان) یا زینولیت‌ها: با توجه به مجموعهٔ پلوتونیک الوند که از تزریق چند باره و پی در پی ماگماها شکل گرفته است، علاوه بر زینولیت‌های سنگهای دگرگون پیرامون خود مانند هورنفلس‌ها، ماسه سنگهای دگرگون، کوارتزیت و غیره حاوی زینولیت‌های فازهای پلوتونیک قدیمی‌تر در درون فازهای پلوتونیک جوان‌تر است. بنابراین سنگهای پلوتونیک جوانتر دارای مجموعه‌ای از زینولیت‌های سنگهای دگرگون دیواره و زینولیت‌هایی از فازهای پلوتونیک قدیمی‌تر از خود هستند. در سنگهای گرانیتی جوان-تر و دیوریت‌ها، زینولیت‌های ریز و درشتی با ابعاد چند سانتی-متر تا چندین متر از این سنگها یافت می‌شود. گاهی مقدار زینولیت‌ها آنچنان زیاد است که به سنگهای گرانیتی منظره‌ای برش خورده (برش ماگمایی) داده است. وجود زینولیت‌های هورنفلس (شکل۲-الف) و سنگهای قدیم‌تر مانند گابروها در درون گرانیت‌های مجموعهٔ پلوتونیک الوند حاکی از ریشهٔ ماگمایی و تزریق گرانیت‌ها به درون پوستهٔ فوقانی است.

ب-برونبومهای مافیک ریز دانه و رابطهٔ آن‌ها با فرآیندهای درهم شدگی ماگماها: برونبومهای مافیک یا میکروگرانیتوئیدی با توجه به شواهد ریزساختی خود، احتمالاً حاصل آمیزش ماگمایی (دورگه شدن) هستند. شواهدی مانند وجود زینوکریست‌های کوارتز در بر گرفته با انبوهه‌هایی از کانی‌های ریز دانه (به ویژه کانی‌های مافیک)، مگاکریست‌های پتاسیم فلدسپار که معمولاً در میان پلاژیوکلاز (ساختار راپاکیوی)، و

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]

هسته‌های نامنظم و خورده شده کانی پلاژیوکلاز که در برخی برونبومهای مافیک دیده می‌شوند، از جمله پدیده‌های نشانگر اختلاط ماگمایی هستند [۱۰]. فراوانی برونبومهای مافیک ریز دانه (MME) که به دایک‌های همزمان با پلوتونیسم وابسته‌اند (شکل۲-ب و ج)، به تأثیر فرایند دورگه شدن و اختلاط ماگمای اسیدی و بازیک در مقیاس کوچک و بزرگ مربوط می‌شود. زینوکریست‌های کوارتز ناهمسان دانه با میزبان خود (شکل۳) که اغلب در تونالیت‌های حاصل از دورگه شدن و اختلاط گرانیت‌ها با دیوریت‌ها دیده می‌شوند نیز در دایک‌های همزمان با پلوتونیسم و برونبومهای حاصل از قطعه قطعه شدن آن‌ها بسیار فراوان‌تر از نقاط دیگر درون پلوتون‌ها است.

شکل۲ الف) زینولیت‌های هورنفلس در درون گرانیت‌های پورفیروئید، ب) دورنمایی از رخنمون بخشی از یک دایک همزمان با پلوتونیسم که به برونبومهای مافیک قطعه قطعه شده است، ج) نمای نزدیک اجتماعی از برونبومهای مافیک ریزدانه که از دایک‌های همزمان با پلوتونیسم منشعب شده‌اند. معمولاً ضخامت این دایک‌ها از چند سانتی‌متر تا چند متر متغیر است و به پیروی از آنها برونبومهای حاصل نیز گسترش خطی داشته و در زون‌های باریکی گسترش دارند یعنی در کل متن سنگ پراکنده یکسانی ندارند.



شکل۳ تصویر میکروسکوپی زینوکریست کوارتز در یک دایک میکروکوارتزدیوریتی.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]

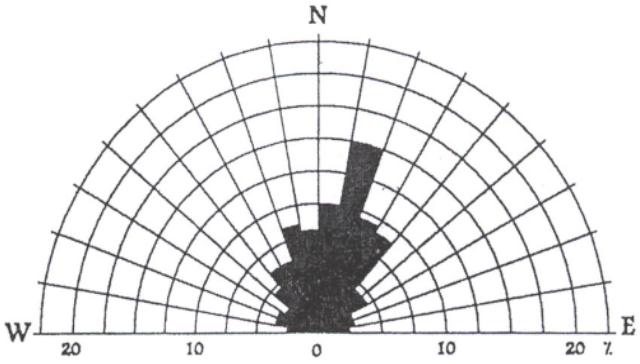
هر چند که برونبومهای مافیک ریز دانه گاهی بقایای ذوب بخشی سنگ خاستگاه گرانیت‌ها (به ویژه در گرانیت‌های نوع I) هستند، ولی معمولاً در اثر آمیختگی ماگمایی و دورگه شدن حاصل می‌شوند که به موجب آن یک ذرات مافیکی به صورت پاره‌های ریز و درشت در درون شارهٔ فلسیک پراکنده می‌شوند [۱۱]. هنگامی که شارهٔ فلسیک به حالت نیمه جامد و نسبتاً سخت درآمده باشد، ذرات مافیکی می‌تواند در شکستگی‌های آن تزریق شود، و ضمن مخلوط شدن با آن دایک‌های همزمان با پلوتونیسم را شکل می‌دهند. لازم به یادآوری است که بیشترین گواه آمیختگی ماگمایی در مجموعهٔ پلوتونیک الوند در همین دایک‌های همزمان با پلوتونیسم مشاهده می‌شود. این دایک‌ها معمولاً به برونبومهای مافیک ریز دانه قطعه قطعه شده ولی هم راستای کل دایک هستند (شکل۴).

در میان عوامل گوناگونی که درجهٔ بر هم کنش بین دو ماگمای مافیک و فلسیک را کنترل می‌کنند، حجم نسبی ماگماهای آمیزنده و مرحلهٔ تبلور ماگماهای میزبان (معمولاً گرانیتی) از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. با وجود پیچیدگی‌های فیزیکی و شیمیایی به ویژه محدودیت‌های گرمایی، پدیدهٔ اختلاط ماگمایی در ایجاد تنوع در ماگماهای گرانیتی پدیده‌ای بسیار مهم به شمار می‌آید [۱۱].

بافت بین دانه‌ای ریز (دولریتی) در بسیاری از برونبومهای مافیک ریز دانه (MME) که ترکیب میکرودیوریتی، میکروکوارتزدیوریتی و میکروتونالیتی دارند نشانگر انجماد نسبتاً سریع ماگمای مافیک در درون ماگمای گرانیتی میزبان حین در هم شدن دو ماگما است. این پدیده در برونبومهای ریشه گرفته از دایک‌های همزمان با پلوتونیسم به روشنی دیده می‌شوند. با توجه به اینکه حجم ماگمای گرانیتی بیشتر و ماگمای دیوریتی کمتر است، لذا ماگمای دیوریتی بیشتر متأثر شده و شواهد بیشتری از در هم شدن ماگماها را حفظ کرده است. زینوکریست‌های کوارتز (و گاهی پلاژیوکلاز) در اندازه‌های درشت (تا حد سانتی‌متر) که گاه با هاله‌ای از کانی‌های مافیک (بیوتیت، هورنبلند، و پیروکسن) همراهی می‌شوند، هم در برونبومهای ریشه گرفته از دایک‌های همزمان با پلوتونیسم (به ضخامت چند سانتی‌متر تا چند متر)، و هم در برونبومهای مافیک ریز دانه دیگر (به مقدار کمتر) دیده می‌شوند، به طوری که می‌توان گذر گاههای شاره‌های عبور مذاب‌های سازندهٔ دایک‌های همزمان با پلوتونیسم را گذرگاه‌های اصلی درهم شدن ماگماهای مافیک و فلسیک در نظر گرفت.

ماگماتیسم دیوریتی هم حین انجماد ماگمای گرانیتی و هم پس از انجماد سنگهای گرانیتی ادامه داشته است، زیرا دایک-های پیوستهٔ میکرودیوریتی برخی از سنگهای پلوتونیک قدیمی‌تر (از جمله گرانیت‌ها) را قطع کرده است.

ترکیب شیمیایی سنگهای دو رگه معمولاً بین ترکیب شیمیایی سنگهای دیوریتی و گرانیتی قرار می‌گیرد (جدول ۱). چنانکه که در جدول ۱ آمده است، نمونه‌های سنگهای دو رگه که از یک زون درهم شدهٔ ماگمایی برداشت شده‌اند، از نظر غلظت عناصر مختلف تا حد زیادی بینابین سنگهای اصلی قرار می‌گیرد.



شکل۴ راستای برونبومهای مافیک ریزدانه ناشی شده از دایک‌های همزمان با پلوتونیسم در نمودار گل سرخی که راستای غالب NNE را نشان می‌دهد.

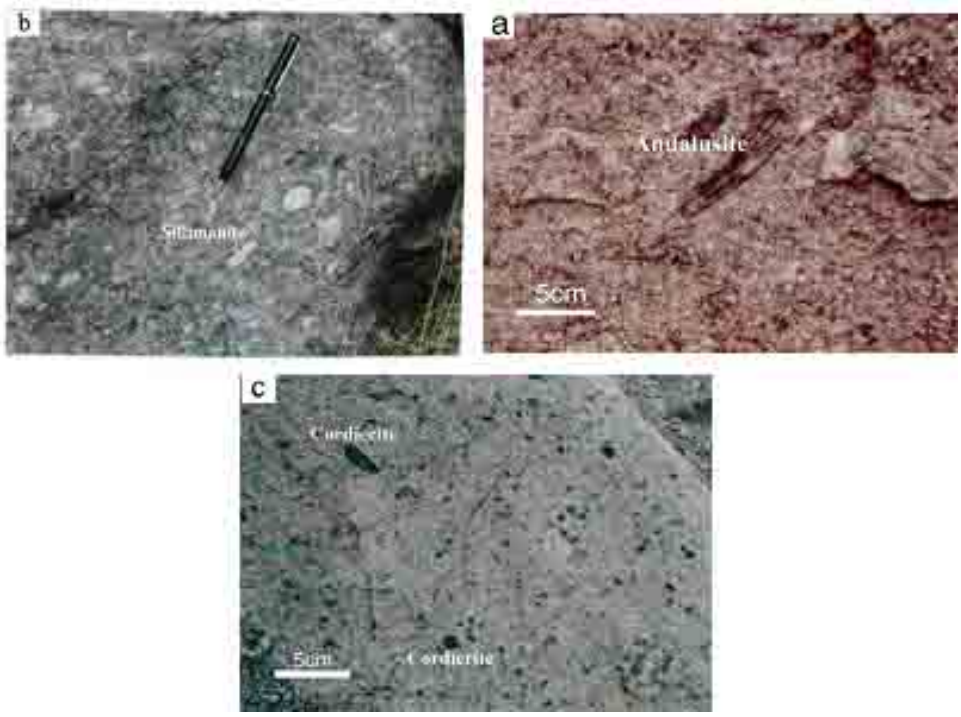
[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]

جدول۱ ترکیب شیمیایی نمونه‌هایی از کوارتزدیوریت (عاری از شواهد اختلاط ماگمایی)، میکروکوارتزدیوریت (دارای شواهد اختلاط ماگمایی: دورگه)، دیوریت و مونزوگرانیت برداشت شده از یک زون در هم شده در مجموعهٔ پلوتونیک الوند.

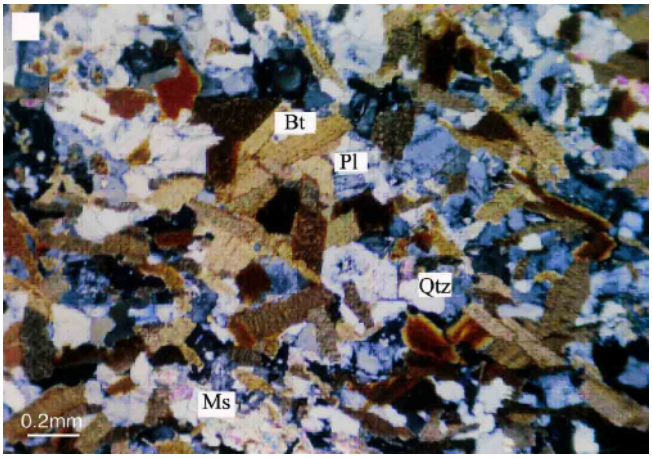
نمونه/ اکسیدها و عناصر	کوارتز دیوریت	میکروکوارتز دیوریت (دورگه)	دیوریت ملانوکرات	دیوریت (دورگه)	مونزوگرانیت
SiO_2 %	۵۳٫۰۲	۵۷٫۳۴	۴۹٫۵۳	۵۴٫۷۸	۶۷٫۲۱
TiO_2	۱٫۶۲	۱٫۶۰	۱٫۹۳	۱٫۹۰	۰٫۳۲
Al_2O_3	۱۵٫۰۰	۱۱٫۷۰	۱۲٫۸۵	۱۸٫۷۷	۱۶٫۱۶
$Fe_2O_3^*$	۱۰٫۷۰	۱۲٫۴۴	۱۰٫۹۷	۳٫۹۷	۴٫۰۴
CaO	۱۰٫۸۴	۶٫۴۲	۹٫۹۸	۷٫۲۶	۲٫۲۲
MgO	۵٫۸۰	۵٫۷۱	۷٫۳۵	۳٫۰۶	۰٫۴۶
MnO	۰٫۱۶	۰٫۱۴	۰٫۷۰	۰٫۰۷	۰٫۰۸
K_2O	۰٫۵۷	۲٫۳۵	۱٫۵۱	۲٫۲۱	۶٫۳۲
Na_2O	۱٫۲۷	۱٫۸۶	۱٫۸۹	۴٫۶۳	۳٫۲۶
P_2O_5	۰٫۱۲	۰٫۴۶	۰٫۴۶	۰٫۶۷	۰٫۱۱
عناصر کمیاب					
$Zr_{(ppm)}$	۱۲۸	۱۵۹	۷۲	۳۱۶	۲۷۸
Sr	۲۳۰	۲۴۷	۳۳۹	۵۱۴	۱۳۷
Ba	۲۰۱	۴۴۴	۲۵۳	۲۵۳	۲۵۲
Rb	۳۳	۱۰۵	۴۶	۱۱۶	۳۲۹
Ni	۶۹	۲۳۳	۶۳	۵۳	۱۹
V	۲۵۸	۱۷۴	۲۳۲	۱۳۷	۲۶
Co	۴۱	۴۱	۲۹	۳	۸
Cu	۹۰	۴۱	۲۰	-	۳
Cr	۱۶۲	۲۱۳	۹۳	۶۵	۱۳
Cl	۳۰۰	۱۰۷۷	۶۷۵	۳۹۳	۲۳۸
F	۳۶۸	۵۴۷	-	-	۱۰۹۰

پ- برونبومها و زینوکریست‌های با خاستگاه دگرگون: زینوکریست‌های کانی‌هایی مانند آندالوزیت (شکل ۵-الف)، سیلیمانیت (شکل ۵-ب)، گارنت، و کردیریت (شکل۵-ج) اغلب حاصل مقاومت کانی‌های بالا طی ذوب بخشی، صعود و جایگیری ماگماهای گرانیتی بوده و از نظر خاستگاه با گرانیت-های نوع S وابسته‌اند، ولی گاهی هنگام صعود از سنگهای میزبان به درون ماگماها راه یافته‌اند. برونبومهای رستیتی که اغلب بقایای ذوب بخشی و شاهد ایجاد ماگماهای آناتکتیک‌اند، معمولاً پر از میکا (سورمیکاسه) هستند و نسبت به سنگ میزبان خود، میکای سیاه (بیوتیت) بیشتر و کانی‌های فلسیک (کوارتز و فلدسپار) کمتری دارند (شکل۶). این برونبومها گاهی حاوی کانی‌های دیرگدازی مانند آندالوزیت، سیلیمانیت، و گارنت نیز هستند. به نظر می‌رسد که این برونبومها بقایای ذوب شدهٔ سنگهای خاستگاه یعنی سنگهای ته‌نشستی دگرگون نظیر متاپلیت‌ها و متاپسامیت‌های منطقه‌اند. فراوانی این برونبومها در گرانیت‌های پورفیروئید (مونزوگرانیت‌ها) می‌تواند به نقش شاره-های آناتکتیک در ایجاد بخش عمده‌ای از شاره‌های گرانیتی باشد، هر چند که وجود برونبومهای مافیک ریزدانه (MME) در چنین سنگهایی حاکی از آمیزش شاره‌های گوشته‌ای با این شاره‌های پوسته‌ای (آناتکتیک) است. شدت تأثیر فرایندهای آمیزش ماگمایی از جایی به جای دیگر در درون مجموعهٔ پلوتونیک متغیر است، به طوری که سنگهای با خاستگاه گوشته‌ای محض (گابروها و دیوریت‌ها) سنگهای با خاستگاه پوسته‌ای محض (برخی از مونزوگرانیت‌ها)، و سنگهای دورگه مانند برخی از کوارتزدیوریت‌ها و تونالیت‌ها را می‌توان تا حدودی متمایز کرد.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]



شکل۵ a) زینوکریست‌های آندالوزیت در گرانیت‌های پورفیروئید، **b)** زینوکریست‌های سیلیمانیت در یک گرانیت آناتکسیت (دیاتکسیت) و **c)** زینوکریست‌های کردیریت پنیتی شده در گرانیت‌های پورفیروئید.



شکل۶ تصویرمیکروسکوپی برونبوم غنی از میکا در گرانیت‌های پورفیروئید (به فراوانی زیاد میکا توجه شود).

ت- نقش زینوکریست‌ها در تفسیر دگرگونی ماگمایی سنگهای پلوتونیک منطقه: زینوکریست‌ها اغلب در اثر تخریب یا واپاشی مکانیکی سنگ دیواره، هنگام جریان یا نفوذ ماگما و یا در اثر اختلاط ماگما با ماگمایی با ترکیب متفاوت (معمولاً در حال انجماد) نتیجه می‌شوند [۲۲]. البته برخی از بلورهایی که از آن‌ها به عنوان زینوکریست یاد می‌شود، ممکن است با میزبان خود رابطه ژنتیکی داشته باشند، مانند زینوکریست‌های رستیتی که بقایای دیرگداز سنگ مادر در سنگهای گرانیتی آناتکتیک هستند.

زینوکریست‌های کوارتز بی وجه و هضم شده که با کانی-های مافیک در پیرامون خود همراهی می‌شوند در واقع دانه‌های کوارتز نامتعادل‌اند که از یک ماگمای اسیدی آمیخته با ماگمای مافیک‌تر، و یا از هضم سنگهای کوارتزدار در یک ماگمای مافیک حاصل می‌شوند [۲۲]. اگر هضم سنگهای کوارتزدار قابل

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]

توجه باشد در این فرایند مقدار سیلیس ماگمای مافیک افزایش می‌یابد و در نتیجه مقداری کوارتز در زمینهٔ سنگ مافیک می‌تواند تبلور حاصل کند.

در مجموعهٔ پلوتونیک الوند وجود زینوکریست‌های فراوان کوارتز در رگه‌های مافیک، که در تعادل با میزبان خود نبوده‌اند، می‌تواند نشانهٔ آمیختگی مواد سازندهٔ رگه‌ها با شاره‌های گرانیتی در حال تبلور باشد (شکل ۳). اندازهٔ این زینوکریست‌های کوارتز تنها با اندازهٔ دانه‌های کوارتز در گرانیت‌های پورفیروئید شباهت زیادی دارند و احتمالاً در اثر پراکندگی کانی‌های در حال تبلور از شارهٔ گرانیتی و در هم شدن با شاره‌های مافیک سازندهٔ دایک‌ها حاصل شده‌اند. تزریق هم زمان یا پی در پی ماگمای سازندهٔ سنگهای فلسیک و مافیک در یک شکستگی واحد در منطقه قبلاً گزارش شده است [۶].

زینوکریست‌های سیلیکات‌های آلومینیوم‌دار نظیر گارنت، آندالوزیت، سیلیمانیت، و کردیریت توسط پژوهشگران مختلفی [۱- ۳ و ۶] در درون گرانیت‌های پورفیروئید منطقهٔ مورد مطالعه، گزارش شده‌اند. این زینوکریست‌ها به دو صورت تشکیل شده‌اند:

۱- هضم سنگهای متاپلیتی (هورنفلس‌ها و شیست‌های پلیتی) پیرامون توده‌های گرانیتی

۲- باقیماندهٔ دیرگداز ذوب بخشی هنگام تشکیل برخی از ماگماهای گرانیتی آناتکسی

شواهد تشکیل هر دو دسته زینوکریست به روال زیر دیده شده‌اند:

۱- تمرکز گارنت در بعضی از نقاط نزدیک به حاشیهٔ توده‌ها و یا در کنار برونبومهای هضم شده نشانگر رابطهٔ بین تشکیل گارنت در گرانیت‌ها در اثر هضم سنگ میزبان و برونبومهاست.

۲- تمرکز بلورهای گارنت در نقاط دور از حاشیه و در میگماتیت‌های پیرامون تودهٔ نفوذی، این نکته را تداعی می‌کند که احتمالاً بسیاری از بلورهای گارنت فاز دیرگداز حاصل از ذوب بخشی هستند نه فاز متبلور از شارهٔ گرانیتی.

در مورد کانی‌های آندالوزیت (شکل ۵-الف)، سیلیمانیت (شکل۵-ب) و کردیریت (شکل۵-ج) نیز هر دو خاستگاه محتمل است. تشکیل اسپینل پیرامون آندالوزیت، پنیتی شدن کردیریت، و کلریتی شدن گارنت پیرامون زینوکریست‌های این بلورها در سنگهای گرانیتی منطقه مرسوم است. این حالتها نشانهٔ عدم تعادل ترمودینامیکی بین زینوکریست‌ها و ماگمای در برگیرنده آن‌هاست.

با توجه به فراوانی نسبی آندالوزیت به عنوان یک کانی فرعی در سنگهای گرانیتی منطقهٔ مورد مطالعه، در اینجا به بررسی بیشتر علل پیدایش و خاستگاه آن پرداخته‌ایم. آندالوزیت یک کانی فرعی در برخی از سنگهای آذرین فلسیک پرآلومین از جمله ریولیت‌ها، آپلیت‌ها، گرانیت‌ها، و پگماتیت‌هاست. با بررسی نمونه‌های سنگهای فلسیک آندالوزیت‌دار در نقاط مختلف جهان، از جنبهٔ معیارهایی نظیر اندازهٔ بلورها، شکل بلورها، نوع نفوذی‌ها و ترکیب شیمیایی، سه دسته آندالوزیت از نظر خاستگاه متمایز شده‌اند که عبارتند از: نوع دگرگونی، نوع ماگمایی، و نوع دگرنهادی [۲۳]. آندالوزیت‌های با خاستگاه دگرگونی به صور مختلف ایجاد می‌شوند که برخی از آن ها عبارتند از:

الف) دگرگونی پسرونده و تبدیل سیلیمانیت به آندالوزیت.

ب) زینوکریست‌های مشتق شده از سنگهای میزبان.

ج) نوع رستیتی (بقایای دیرگداز از منطقه خاستگاه برخی از سنگهای آذرین فلسیک).

با توجه به قلمرو پایداری آندالوزیت (فشار پایین، دمای پایین) و هم پوشی اندک این قلمرو با گسترهٔ فرآیندهای ماگمایی، احتمال اینکه هنگام ذوب بخشی در سطح گسترده، این کانی به صورت رستیت باشد، کم است. برونبومهای سورمیکاسه آندالوزیت‌دار ممکن است رستیت‌هایی از محل خاستگاه شاره‌های آناتکسی باشند [۲۴-۲۶]، ولی در غیاب کانی‌ها و بافت‌های با دما و فشار بالا [۲۷] این برونبومها زینولیت هایی از سنگهای میزبانند هستند که به صورت بخشی هضم شده‌اند نه رستیت‌های واقعی.

شواهدی نظیر عدم تعادل بافتی (وجود حاشیهٔ واکنشی معمولاً غنی از اسپینل) و عدم مشابهت اندازهٔ دانه‌های آندالوزیت/سیلیمانیت با اندازهٔ دانه‌های دیگر موجود در سنگ، از جمله شواهدی هستند که بر خاستگاه زینوکریستی این نوع زینوکریست‌های موجود در گرانیت‌های الوند دلالت می‌کند. برخی از زینوکریست‌های سیلیمانیت احتمالاً خاستگاه رستیتی دارند زیرا بلورهای با اندازهٔ مشابه با آن‌ها در میگماتیت‌های منطقه به فراوانی یافت می‌شوند، و نشانه‌های عدم تعادل و واکنش با شاره در آنها دیده نمی‌شود.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]

درون سنگهای دیوریتی علاوه بر زینوکریست‌های کوارتز که معمولاً از اختلاط با ماگمای گرانیتی حاصل شده‌اند، زینوکریست‌های درشت سیلیمانیت و سنگهای پگماتیتی سیلیمانیت‌دار نیز به ندرت یافت می‌شوند. اندازهٔ این بلورها، قابل قیاس با اندازهٔ بلورهای سیلیمانیت در شیست‌ها و میگماتیت‌های منطقه است. این برونبومها و زینوکریست‌ها از این جهت دارای اهمیت‌اند که رابطهٔ نسبی وقایع دگرگونی و ماگماتیسم را تا حدودی نشان می‌دهند. با توجه به اینکه این زینوکریست‌ها معمولاً با ماگمای دیوریتی میزبان خود واکنش نشان داده و هاله‌ای غنی از اسپنیل هرسینیتی در پیرامون آن-ها شکل گرفته است، احتمالاً هنگام صعود ماگما از سنگهای دیواره یا گذرگاه صعود، کنده شده و به درون ماگما راه یافته است، و تعادل ترمودینامیکی با ماگمای دیوریتی نداشته و در نتیجه به طور بخشی ناپایدار شده است. از این پدیده می‌توان استنباط کرد که پیش از تزریق ماگمای سازندهٔ دیوریت‌ها (یا دست کم بخشی از آن‌ها) دگرگونی به اوج خود، یعنی ساخته شدن چند ریختی با دمای بالای سیلیکات آلومینیوم (سیلیمانیت) رسیده است، زیرا این کانی تنها در شیست‌ها و میگماتیت‌ها و شیست‌های میگماتیتی به صورت بلورهای درشت است و در سنگها دیگر، همچون هورنفلس‌ها بسیار ریز و میکروسکوپی است. در تفهیم موضوع تقدم دگرگونی بر ماگماتیسم می‌توان از این پدیده استفاده شایانی کرد.

به طور کلی زینوکریست‌های موجود در سنگهای مجموعهٔ پلوتونیک الوند از خاستگاههای گوناگونی سرچشمه گرفته‌اند که مهمترین آن‌ها عبارتند از:

۱- بقایای ذوب بخشی در محل خاستگاه ماگماها، به ویژه ماگمای آناتکتیک.

۲- آمیختگی ماگمای بازیک و اسیدی حین تبلور به ویژه در دایک‌های همزمان با پلوتونیسم.

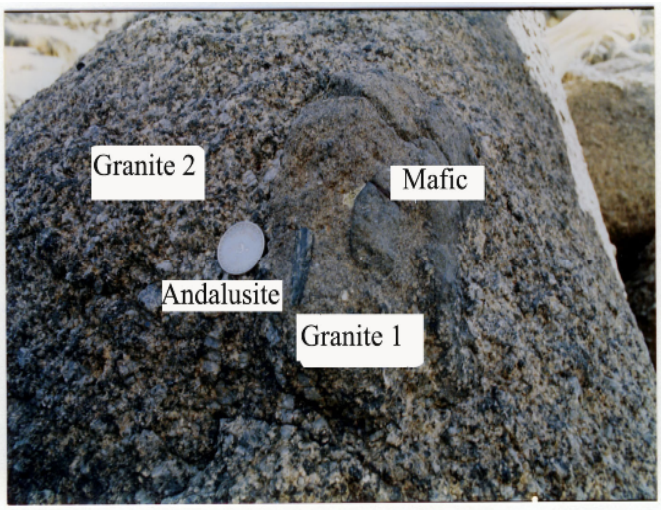
۳- هضم ناقص سنگهای دیوارهٔ به وسیلهٔ ماگمای تزریق شده به درون آن‌ها.

زینوکریست‌ها در دایک‌های همزمان با پلوتونیسم که سرشار از شواهد آمیزش ماگمایی هستند، فراوان‌ترند، و، در اثر نفوذ دایک‌های میکرودیوریتی به درون گرانیت‌های پورفیروئید در حال انجماد دایک‌های همزمان با پلوتونیسم با ترکیب کوارتزدیوریتی و تونالیتی حاصل شده‌اند که دارای زینوکریست‌های کوارتز کمی هضم شده و درشت تر از بلورهای دیگرند برخلاف سری تبلور معمولی هستند که پوششی از کانی‌های مافیک (بیوتیت و هورنبلند) برخی از آن‌ها را در بر می‌گیرد.

ث- برونبومهای مرکب: این برونبومها از مجموعهٔ دو یا چند برونبوم دیگر حاصل شده، و معمولاً حاصل تزریق پی در پی و چند بارهٔ ماگماهای مختلف‌اند. از جملهٔ این برونبومها می‌توان به برونبومهای مرکب از برونبومهای مافیک ریزدانه در درون برونبومهای میکروگرانیتوئید اشاره کرد که گاهی با زینوکریست های آندالوزیت نیز همراهی می‌شوند (شکل ۷). این برونبومها برای تعیین سن نسبی و خاستگاه سنگ میزبان خود حائز اهمیت‌اند به طوری که از حضور آن‌ها می‌توان چنین استنباط کرد که شاره‌های گرانیتی به ویژه شاره‌های گرانیتی آناتکتیک اغلب پس از انجماد (یا گاهی همزمان با انجماد) بخش‌های مافیک مجموعهٔ پلوتونیک الوند، حاصل شده‌اند.

ج- مدل رستیت: این مدل توسط برخی زمین‌شناسان (به ویژه زمین‌شناسان استرالیایی مانند "چاپل")، برای تکوین برخی ماگماهای گرانیتی پیشنهاد شده است. در این مدل ماگماهای گرانیتی مخلوطی از مواد حاصل از ذوب بخشی به همراه برونبومها و زینوکریست‌های دیرگداز سنگ خاستگاه در نظر گرفته می‌شوند، یعنی به هنگام ذوب بخشی، بخشهای ذوب شده و ذوب نشدهٔ منطقهٔ ذوب بخشی با هم حرکت کرده، و به افق‌های بالاتر صعود می‌کنند [۲۱]. گاهی سعی شده است که دگرگونی ماگمای گرانیتی با این مدل توجیه شود (حتی ماگماهای گرانیتی که برونبومهای مافیک ریز دانه دارند). در منطقهٔ مورد مطالعه گرانیت‌های آناتکسیت که معمولاً از برونبومهای رستیتی (سورمیکاسه) و زینوکریست‌های سیلیمانیت، آندالوزیت، و گارنت غنی هستند و کمتر برونبومهای مافیک ریز دانه (MME) دارند، تا حدود زیادی با مدل رستیت قابل توجیه‌اند، ولی هنگامی که مقدار برونبومهای مافیک ریز دانه زیادند، و به ویژه از دایک‌های همزمان با پلوتونیسم منشعب می‌شوند، مدل رستیت برای توجیه آن‌ها کارآیی ندارد، و مدل آمیزش ماگمایی ماگماهای فلسیک و مافیک (حدواسط) توجیه بهتری برای خاستگاه برونبومهای مافیک ریز دانه و میزبان حاوی آن‌هاست. تزریق دایک‌های میکرودیوریتی در هنگامی که پلوتونیسم گرانیتی ادامه داشته و ماگمای گرانیتی در مراحل پایان انجماد خود بوده‌اند، سبب تشکیل دایک‌های همزمان با پلوتونیسم شده که دسته‌های انکلاو مافیک ریز دانه از قطعه قطعه شدن این دایک‌ها ایجاد شده‌اند.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]



شکل۷ یک برونبوم مرکب که در بخش داخلی آن برونبوم مافیک ریزدانه، در پیرامون آن گرانیت پورفیروئید ریزدانه دارای زینوکریست آندالوزیت و در خارجی‌ترین بخش گرانیت پورفیروئید (میزبان) دیده می‌شود.

۲- نقش دایک‌ها در تفسیر دگرگونی ماگمایی مجموعهٔ پلوتونیک الوند

دایک‌های موجود در مجموعهٔ پلوتونیک الوند را می‌توان به چهار دسته؛ دایک‌های فلسیک، دایک‌های مافیک-حدواسط، دایک‌های مرکب، و دایک‌های همزمان با پلوتونیسم تقسیم کرد که از مهمترین آن‌ها می‌توان به دایک‌های آپلیتی و پگماتیتی (از انواع فلسیک) اشاره کرد.

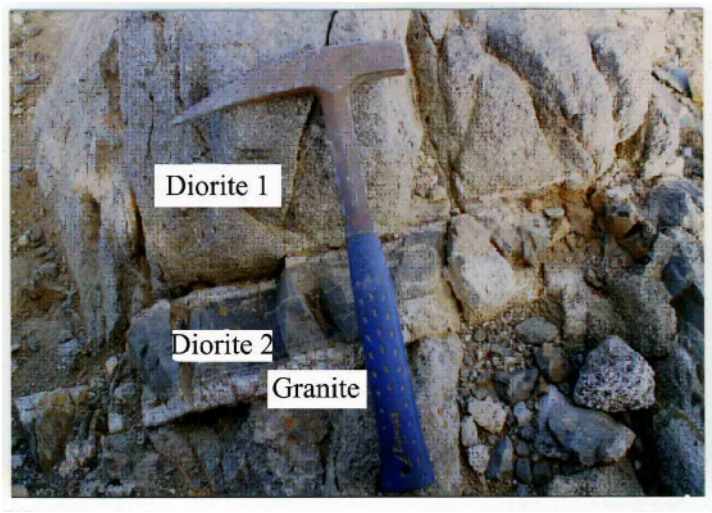
دایک‌های آپلیتی-پگماتیتی معمولاً شکستگی‌های سنگهای گرانیتی و سنگهای دگرگون میزبان آن‌ها را قطع کرده و از چند سانتی‌متر تا چندین متر ضخامت دارند (شکل ۸- الف). حجم این دایک‌ها نسبت به میزبان گرانیتی خود بسیار اندک است و گاهی برخی از این دایک‌ها یکدیگر را قطع می‌کنند. دایک‌های مافیک-حدواسط، سنگهای میزبان متنوع از جمله گرانیت‌ها و آپلیت‌ها را بریده‌اند، و این نشان دهندهٔ تزریق آن‌ها در یک بازهٔ زمانی بلند یعنی پیش و پس از تشکیل گرانیت‌هاست، زیرا در سنگهای میزبان گابرویی، دیوریتی و آپلیتی- پگماتیتی نیز نفوذ کرده‌اند (شکل ۸- ب).

دایک‌های مرکب معمولاً از تزریق دو ماگمای نسبتاً متضاد (مافیک و فلسیک یا تیره و روشن) در یک شکستگی حاصل شده‌اند و به صورت دو واحد سنگی مجزا و یا گاهی آمیخته‌ای برش مانند از آن‌ها دیده می‌شوند. معمولاً جنس سنگهای سازندهٔ این دایک‌ها بیشتر از میکرودیوریت و گرانیت پورفیروئیدند (شکل ۹). این دایک‌ها معمولا" از تزریق همزمان و یا پی در پی دو ماگمای گرانیتی و دیوریتی در یک شکستگی ایجاد می‌شوند [۲۸، ۲۹]. از جمله دیگر دایکها، دایکهای همزمان با پلوتونیسم هستند که هاشمی [۳۰] نیز به آن‌ها اشاره کرده است. این دایک‌ها معمولاً ریز دانه و ترکیب کوارتز دیوریتی و تونالیتی داشته و گاهی درشت بلورهای کوارتز و پلاژیوکلاز در آن‌ها در اثر آمیختگی با میزبان گرانیتی یافت می‌شوند. زمینهٔ این سنگها معمولاً ریز دانه و بین دانه‌ای است و توزیع اندازهٔ دانه‌ها در آن‌ها برخلاف سری تبلور است، یعنی حاوی بلورهای درشت کوارتز و فلدسپار هستند، در حالی که کانی‌های مافیک آن‌ها ریز دانه‌ترند. راستای اغلب دایک‌های همزمان با پلوتونیسم و برونبومهای منشعب از آن‌ها شمال شمال شرقی- جنوب جنوب غربی است که می‌تواند به توجیه میدان تنش حاکم بر تودهٔ نفوذی حین انجماد کمک کند.

از آنجا که هنگام تزریق دایک‌ها، میزبان گرانیتی در حال تبلور (هنوز کاملاً انجماد نیافته) و تا حدودی متحرک است، و به دلیل حجم ناچیز ماگمای سازندهٔ دایک‌ها نسبت به ماگمای گرانیتی میزبان، معمولاً دایک‌ها به سرعت سرد شده و اختلاط کامل بین آن‌ها و میزبانشان صورت نمی‌گیرد، ولی با این وجود، در برخی از دایک‌های همزمان با پلوتونیسم، شواهد در هم شدن و دورگه شدن به چشم می‌خورد [۳۰].

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]

شکل۸ الف) نمونهٔ دایک‌های آپلیتی- پگماتیتی قطع کنندهٔ گرانیت‌های پورفیروئید و **ب)** دایک میکرودیوریتی که سنگ‌های دیوریتی و آپلیتی را قطع کرده است.



شکل ۹ دایک مرکب که از تزریق گرانیت‌های پورفیروئید و میکرودیوریت‌ها در یک شکستگی حاصل شده است.

۳-میگماتیت‌ها و ماگماهای آناتکتیک

در نیم قرن اخیر میگماتیت‌ها توسط زمین‌شناسان مختلفی مورد بررسی قرار گرفته‌اند [۱۲ و ۳۲-۳۸]. اغلب مسایل ساختاری و ژنتیکی میگماتیت‌ها از سوی زمین‌شناسان بالا مورد توجه ویژه بوده است. با این حال حجم نوشته‌های به چاپ رسیده در مورد میگماتیت‌های ایران، به ویژه میگماتیت‌های منطقهٔ مورد مطالعه، بسیار اندک است.

در برخی از نقاط پیرامون مجموعهٔ پلوتونیک الوند (به ویژه در مشرق این مجموعه) مانند بخش‌هایی از جنوب روستاهای سیمین، ابرو، خاکو، و دره مرادبیگ، میگماتیت‌ها، شیست‌های میگماتیتی، و هورنفلس‌های میگماتیتی گسترش دارند که مطالعات مقدماتی آن‌ها در چند سال اخیر انجام گرفته است [۶، ۸، ۹]. با اینکه این سنگها دستخوش دگرگونی شدید و ذوب بخشی شده‌اند، ولی گاهی هنوز آثار لایه بندی اولیه در آن‌ها باقی مانده، و با توجه به لایه‌های رسوبی موجود، ماهیت سنگ مادر آن‌ها اغلب پیلیتی، شبه پیلیتی و پسامیتی بوده است. لایه‌های کوارتزیتی تقریباً ماهیت اولیه خود را به طور کامل حفظ کرده‌اند. ساختارهای موجود در سنگهای میگماتیتی متنوع بوده و انواع استروماتیک، آگماتیک، شولن، دیکتیونیتیک، نبولیتیک، و توده‌ای قابل تمیزاند (شکل۱۰). خاستگاه رگه‌های لوکوسوم سوال برانگیز است، ولی به نظر می‌رسد که به جای یک خاستگاه واحد، بهتر است که چند خاستگاه را برای آن‌ها در نظر بگیریم. از این جهت که در

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]

بسیاری از موارد لوکوسوم‌ها همان جای لایه‌های اولیه را به خود اختصاص داده‌اند، فرآیند تفریق دگرگونی برای تشکیل لوکوسوم‌ها در ذهن تداعی می‌شود. از طرف دیگر به دلیل اینکه گاهی هالهٔ تیره رنگی از کانی‌های مافیک (بیوتیت) در حاشیهٔ لوکوسوم‌ها دیده می‌شود، و لوکوسوم‌ها گره و بطن دارند، ساز و کار ذوب بخشی برای توجیه تشکیل رگه‌های لوکوسوم‌ها پیشنهاد می‌شود (البته ممکن است در نقاطی که درجهٔ دگرگونی برای ذوب بخشی کافی نبوده است، تفریق دگرگونی فرایند موثرتر در تشکیل رگه‌های لوکوسوم باشد).

از نظر کانی‌شناسی مجموعهٔ جالب توجه و متنوعی از کانی‌ها در سنگهای میگماتیتی مثل مجموعه‌های تکی، دوتایی و سه تایی از سیلیکات‌های آلومین (آندالوزیت، سیلیمانیت و کیانیت) یافت می‌شوند، در این سنگ‌ها از روی پایداری آن‌ها تا حدودی شرایط دگرگونی و ذوب بخشی را می‌توان برآورد کرد. با توجه به ترتیب تبلور سیلیکات‌های آلومینیوم در این سنگها که به صورت آندالوزیت --> سیلیمانیت --> کیانیت است مسیر دگرگونیهای فشار-دما-زمان (P-T-t) پاد ساعتگرد بوده است، یعنی در طول زمان دگرگونی و ذوب بخشی متعاقب آن‌ها، فشار (و در نتیجه عمق و ضخامت) افزایش یافته است. کانی‌های شاخص دیگری مانند گارنت و استرولیت (بویژه در نزدیک به رگه‌های آپلیتی- پگماتیتی) نیز در سنگ‌های میگماتیتی حضور دارند. گاهی مجموعه کانی‌های حاصل از دگرگونی پیشرونده و پسرونده به صورت توأم قابل شناسایی است. مثلاً پورفیروبلاست‌های سیلیمانیت که در حاشیه با بیوتیت مجاورند، به مجموعه‌ای از کانی‌های استرولیت ± گارنت ± مسکویت ± کوارتز دگرگون شده‌اند یعنی واکنشهای زیر (که پسرونده‌اند) را می‌توان معرفی کرد:

سیلیمانیت + بیوتیت + آب --> استرولیت + گارنت + مسکویت + کوارتز

سیلیمانیت + بیوتیت + آب --> استرولیت + مسکویت + کوارتز

مجموعهٔ زینوکریست‌های رستیتی (کانی‌های دیرگداز) موجود در دیاتکسیت‌ها و گرانیت‌های آناتکسیت موجود در منطقه، اغلب از نظر جنس و اندازهٔ دانه‌ها در حد همان پورفیروبلاست‌هایی است که در سنگهای میگماتیتی فراوانند هستند و در سنگ‌های دگرگون مجاورتی معمول نیستند.

بنابراین به احتمال زیاد، ذوب بخشی که در افق رخنمون یافته و در سنگهای میگماتیتی مراحل آغازین آن به چشم می‌خورد، در اعماق گسترده‌تر بوده و منجر به تشکیل حجم‌های زیادی از شاره‌های آناتکتیک شده است که اغلب بخشهای ذوب شده و ذوب نشده (رستیت‌ها و زینوکریست‌های رستیتی) با هم به حرکت درآمده و ماگماهای گرانیتی سازنده گرانیت‌های پوسته‌ای (آناتکتیک) را به وجودآورده‌اند. با توجه به اینکه هنگام آناتکسی هنوز ماگماتیسم گوشته‌ای هم ادامه داشته است، لذا بخش‌هایی از شارههای گوشته‌ای و پوسته‌ای آمیزش یافته‌اند که تظاهرات آن‌ها به صورت دایک‌های مرکب، دایک‌های همزمان با پلوتونیسم و برونبومهای مافیک ریزدانه است.

به طور کلی سنگ‌های آذرین مجموعهٔ پلوتونیک الوند را می‌توان از نظر خاستگاه ماگمای سازندهٔ آن‌ها به سه دسته تقسیم کرد:

۱- سنگهای با خاستگاه گوشته‌ای غالب مانند گابروها، دیوریت‌ها و تونالیت‌ها.

۲- سنگهای با خاستگاه پوسته‌ای غالب مانند بخش‌هایی از مونزوگرانیت‌ها و گرانودیوریت‌ها.

۳- سنگهای با خاستگاه مختلط (دورگه) مانند برخی از کوارتزدیوریت‌ها، تونالیت‌ها و گرانیت‌ها.

در نگاه کلی سنگهای با خاستگاه گوشته‌ای تنها برونبومهای مافیک ریزدانه (MME) دارند، سنگهای با خاستگاه پوسته‌ای اغلب برونبومهای سرشار از میکا (سورمیکاسه)، رستیت و زینوکریست‌های کانیهای دیرگداز مانند آندالوزیت، سیلیمانیت و گارنت هستند، سنگهای دورگه که برخی تیره رنگ‌اند (مانند میکروکوارتزدیوریت‌ها و برخی تونالیت‌ها) و معمولاً دارای برونبومهای مافیک ریزدانه (MME) و زینوکریست‌های کوارتز هستند. خاستگاه این سنگها اغلب از دایک‌های همزمان با پلوتونیسم است. برخی از گرانیت‌های دورگه نیز علاوه بر برونبومهای موجود در سنگهای با خاستگاه پوسته‌ای (که در بالا گفته شد)، دارای برونبومهای مافیک ریزدانه هستند.

روابط صحرایی فازهای پلوتونیک نشان می‌دهد که ماگماتیسم مافیک گوشته‌ای مقدم بر ماگماتیسم فلسیک پوسته‌ای بوده است، ولی دامنهٔ ماگماتیسم گوشته‌ای به اندازه‌ای طولانی بوده است که طی ماگماتیسم پوسته‌ای و حتی کمی پس از آن نیز ادامه داشته است. همزمانی ماگماتیسم گوشته‌ای و پوسته‌ای (در برخی از زمان‌ها) با مطالعهٔ برونبومها، زینوکریست‌ها، دایک‌های مرکب و دایک‌های همزمان با پلوتونیسم روشن شده است و سال سنجی حاصل از تابش سنجی مجموعه پلوتونیک الوند و مجموعه‌های مجاور نیز موید این موضوع است (جدول ۲).

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]

شکل۱۰ نمایی از برخی از ساختارهای متنوع موجود در میگماتیت‌های جنوب سیمین، همدان. a) استروماتیک، b) شولن، c) دیکتیونیتیک و d) آگماتیک.

جدول۲ سال سنجی حاصل از تابش سنجی برخی از سنگهای مجموعه پلوتونیک الوند که حکایت از این دارد که ماگماتیسم مافیک دورهٔ زمانی طولانی‌تر داشته است ولی در برخی از دوره‌ها احتمال همپوشی زمانی بین برخی فازهای فلسیک و مافیک وجود داشته است (داده‌ها از ولی زاده و کانتاگرل ۱۹۷۵، برو ۱۳۶۹ و بهاری فر ۱۳۸۳).

نام سنگ	روش تعیین سن	سن (بر حسب میلیون سال)	مرجع
نوریت	Rb-Sr	۷۸-۸۹	ولی زاده و کانتاگرل (۱۹۷۵)
نوریت	K-Ar	۸۹/۱ ± ۳	ولی زاده و کانتاگرل (۱۹۷۵)
پگماتیت	Rb-Sr	۱۰۴ ± ۳	ولی زاده و کانتاگرل (۱۹۷۵)
پگماتیت	K-Ar	۸۲/۸ ± ۳	ولی زاده و کانتاگرل (۱۹۷۵)
گرانیت پورفیروئید	Rb-Sr	۶۸ ± ۲	ولی زاده و کانتاگرل (۱۹۷۵)
گرانیت پورفیروئید	K-Ar	۳ ± (۶۳/۸-۸۰/۸)	ولی زاده و کانتاگرل (۱۹۷۵)
گرانیت پورفیروئید	K-Ar	۶۴ ± ۲	برو (۱۳۶۹)
گرانیت پورفیروئید	K-Ar	۸۱/۸ ± ۱/۹	بهاری فر (۱۳۸۳)
پگماتیت	K-Ar	۷۴/۷ ± ۱/۸	بهاری فر (۱۳۸۳)
کوارتزدیوریت	K-Ar	۷۳/۲ ± ۳/۱	بهاری فر (۱۳۸۳)
دیوریت	K-Ar	۱۳۵/۲ ± ۳/۱	بهاری فر (۱۳۸۳)

برداشت

بخش بزرگ مجموعهٔ پلوتونیک الوند از تزریق فازهای ماگمایی مختلف در مزوزوئیک (بویژه ژوراسیک-کرتاسه) تا ترشیری شکل گرفته و ماگماهای متنوع گوشته‌ای و آناتکتیک در شکل-گیری آن نقش داشته‌اند. ماگماهای پوسته‌ای (آناتکتیک) با

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]

ماگماهای گوشته‌ای گاهی همزمان بوده و از آمیختگی آن‌ها سنگ‌های دورگه حاصل شده‌اند. مجموعهٔ برونبومها، زینوکریست‌ها، دایک‌های مرکب و دایک‌های همزمان با پلوتونیسم نشان می‌دهند که برخی از سنگهای مجموعهٔ پلوتونیک الوند نظیر مونزوگرانیت‌ها و گرانودیوریت‌ها اغلب ویژگی‌های سنگهای با خاستگاه پوسته‌ای دارند، و یا به مقدار کم در ماگماهای گوشته‌ای ادغام شده‌اند. گابروها، دیوریت‌ها و تونالیت‌ها ویژگی‌های سنگهای با خاستگاه گوشته‌ای محض را دارند و مقدار آلایش آن‌ها ناچیز بوده است. میکروکوارتزدیوریت‌ها و برخی میکروتونالیت‌ها که اغلب در دایک‌های مرکب، دایک‌های همزمان با پلوتونیسم و برونبومهای مافیک ریزدانه دیده می‌شوند، سرشار از پدیده‌های ناشی از آمیختگی ماگماها هستند. سال سنجی حاصل از تابش سنجی سنگهای این مجموعه نیز همزمان بودن برخی از فازهای پلوتونیک مافیک و فلسیک را تائید می‌کند. البته فرآیندهای پس از انجماد نظیر دگرسانی و دگر نهادی نیز سنگهای این مجموعه پلوتونیک را متأثر ساخته‌اند و گاهی ویژگی‌های اولیه آن‌ها را کاملا" دگرگون کرده‌اند.

تشکر و قدردانی

همکاری خانم‌ها سارا مانی کاشانی و راضیهٔ جعفری در ترسیم نقشه و تهیهٔ برخی تصاویر قابل تقدیر است.

مراجع

[۱] زرعیان س.، فرقانی ع.، فیاض ه.، *"توده گرانیتی الوند و هاله دگرگونی آن، قسمت اول"*، نشریه دانشکده علوم دانشگاه تهران، جلد۳، شماره۴ (۱۳۵۰) ص.۳۷-۴۷.

[۲] زرعیان س.، فرقانی ع.، فیاض ه.، *"توده گرانیتی الوند و هاله دگرگونی آن، قسمت دوم"*، نشریه دانشکده علوم دانشگاه تهران، جلد ۴، شماره۱ (۱۳۵۱) ص.۲۳-۲۸.

[۳] زرعیان س.، فرقانی ع.، فیاض ه.، *"توده گرانیتی الوند و هاله دگرگونی آن، قسمت سوم"*، نشریه دانشکده علوم دانشگاه تهران، جلد ۴، شماره۳ (۱۳۵۱) ص. ۹-۸۳..

[۴]- ایرانی م.، *"بررسی پترولوژی توده گرانیتی الوند و هاله دگرگونی آن"*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی (۱۳۷۲).

[۵] صادقیان م.، *"بررسی پترولوژی سنگ‌های آذرین و دگرگونی منطقه چشمه قصابان همدان"*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران (۱۳۷۴).

[۶] سپاهی ع. ا.، *"پترولوژی مجموعه پلوتونیک الوند با نگرش ویژه بر گرانیتوئیدها"*، رساله دکتری، دانشگاه تربیت معلم تهران (۱۳۷۸).

[۷] سپاهی ع. ا.، معین وزیری ح.، *"مطالعه انکلاوها و سن نسبی توده‌های پلوتونیک در مجموعه پلوتونیک الوند"*، مجله علوم دانشگاه تهران، شماره ۲۳ (۱۳۷۸) ص۱۸۱-۱۶۹.

[۸] سپاهی ع. ا.، معین وزیری ح.، *"یافته‌های نو درباره میگماتیت‌ها و سنگ‌های دگرگونی مجاور مجموعه پلوتونیک الوند"*، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان (۱۳۸۰).

[۹] بهاری فر ع. ا.، *"پترولوژی سنگ‌های دگرگونی منطقه همدان"*، رساله دکتری، دانشگاه تربیت معلم تهران(۱۳۸۳).

[10] Vernon R.H., *"Crystalization and hybridism in microgranitoid enclave magmas: Microstructural evidence"*, J. Geophys. Res., 5, B11 (1990) 17849-17859.

[11] Pitcher W.S., *"The nature and origin of granite"*, Blackie; Glasgow (1993).

[12] Brown M., *The generation, segregation, ascent and emplacement of granite magma: the migmatite - to - crustally - derived granite connection in thickened orogens"*, Earth - Science Rev., 36 (1994) 83-130.

[13] Barbarin B., *"Mafic magmatic enclaves and mafic rocks associated with some granitoids of the central Sierra Nevada batholith, California: nature,origin, and relations with the hosts"*, Lithos, 80, Issues 1- 4 (2005) 155-177.

[14] Valizade M.V., Cantagral J.M., *"Premieres donnees radiometriques (K-Ar et Rb-Sr) sur les micas du complexe magmatique du Mont Alvand pres Hamadan (Iran Occidental)"*, Comptes Rendus Hebdomadares des Seances de l'Academie des Sciences, Serie D. Sciences Naturelles 281 (1975) 1083-1086.

[۱۵] برو ژ.، *"شرح نقشه زمین‌شناسی چهار گوش باختران"*، مترجم: علی آقا نباتی، سازمان زمین‌شناسی کشور، (۱۳۶۹) ۵۵ ص.

[۱۶] بهاری فر ع. ا.، *"نگرشی نو بر سنگ‌های دگرگونی منطقه همدان"*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران (۱۳۷۶).

[17] Barbarin B., Didier J., *"Enclaves and granite Petrology"*, In: Didier, J. and Barbarin,

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]

B. (eds), Enclaves and granite Petrology, Elsevier (1991) 545-549.

[18] Vernon R.H., *"Restite, xenolitns and microgranitoid enclaves in granites"*, J. Proc. Rl. Soci. NSW, 116 (1983) 77-103.

[19] Vernon R. H., *"Interpretation of microstructures of microgranitoid enclaves"*, In: Didier, J. and Barbarin, B. (eds) Enclaves and granite petrology, Elsevier (1991) 277-291.

[20] Vernon R.H., *"Problems in identifying restite in S-type granites of southeastern Australia, with speculations on sources of magma and enclaves"*, Canadian Mineralogist, 45 (2007) 147-178.

[21] Chappell B.W., White A.J.R., *"Restite enclave and the restite model"*, In: Didier, J. and Barbarin, B. (eds), Enclaves and granite petrology, Elsevier (1991) 375-381.

[22] Best M.G., Christiansen E. H., *"Igneous Petrology"*, Blackwell (2001) 458 P.

[23] Clarke D.B. et al., (35 authors), *"Occurrence and origin of andalusite in peraluminous Felsic igneous rocks"*, J. Petrology, 46 (2005) 441-472.

[24] Didier J., *The main types of enclaves in the Hercynian granitoids of the Massif Central, France"*, In: Didier, J. & Barbarin, B. (eds) Enclaves and granite petrology, Amesterdam: Elsevier (1991) 47-61.

[25] Montel J.M., Didier J., Pichavant M., *"Origin of surmicaceous euclaves in intrusive granites"*, In: Didier, J., and Barbarin B., (eds) Enclaves and granite petrology, Amesterdam: Elsevier, 50 (1991) 528-9.

[26] Gaspar L.M., Inverno C.M.C., *"P-enriched peraluminous leucogranites in Barca de Alva - Esscalhao, NE Portugal, A multistage anatectic complex"*, Acta Universitatis Carolinae -Geologica, 42 (1998) 35-40.

[27] Wall V.J., Clemens J.D., Clarke D.B., *"Models for granitoid evolution and source compositions"*, J. Geology, 95 (1987) 731-749.

[28] Weibe R.A., *"Commingling of contrasted magmas and generation of mafic enclaves in granitic rocks"*, In: Didier, J., and Barbarin, B., (eds), Enclaves and granite petrology, Elsevier (1991) 393-402.

[29] Clarke D.B., *"Granitoid rocks"*, Chapman and Hall (1992) 283 p.

[۳۰] هاشمی م.، *"مطالعه فرآیندهای تحول ماگمایی در مجموعه پلوتونیک الوند"*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا، همدان (۱۳۸۴).

[31] Pitcher W.S., *"Synplutonic dykes and mafic enclaves"*, In: Didier, J., and Barbarin B., (eds), Enclaves and granite petrology, Amesterdam, Elsevier (1991).

[32] Mehnert K.R., *"Migmatites and the origin of Granitic rocks"*, New York: Elsevier (1968) 393 P.

[33] Ashworth, J.R., (ed) "Migmatites", Blackie, Glasgow (1985).

[34] Brown M., Averkin Y.A., Mclellan E.L., Sawyer E.W., *"Melt segregation in migmatites"*, J. Geophys. Res. Solid Earth, 100, B8 (1995) 15655-15679.

[35] Sawyer E.W., *"Melt segregation and magma flow in migmatites: Implications for the generation of granite magmas"*, Trans. Royal soci. Edinburgh-Earth Sciences, 87(1-2) (1996) 85-94.

[36] Sawyer E.W., *"Formation and evolution of granite magmas during crustal reworking: the significance of diatexites"*, J. Petrology, 39 (6) (1998) 1147-1167.

[37] Sawyer E.W., *"Criteria for the recognition of partial melting"*, Phys. Chem. Earth, Part A -Solid Earth and Geodesy, 24 (3) (1999) 269-279.

[38] Sawyer E.W., *"Melt segregation in the continental crust: distribution and movement of melt in anatectic rocks"*, J. Met. Geol, 19(3) (2001) 291-309.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-06-07]