مطالعه زینولیت‌های ارتوگنیس و ارتوآمفیبولیت تیتانیت‌دار گرانیتوئیدهای منطقه خواجه مراد (مشهد)

مبیناسعادتی [۱*]، علی اصغر سپاهی [۲]، فاطمه سپیدبر [۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

[۲]استاد،گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

[۳]استادیار،گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

saadati.mobina@mail.um.ac.ir

چکیده : منطقه مورد مطالعه (خواجه مراد) در جنوب شرق مشهد واقع شده است. در درون گرانیتوئیدهای این منطقه انکلاوهای باترکیب و اندازه متفاوت وجود دارد که در میان آن ها زینولیت هایی از ارتوگنیس و ارتو آمفیبولیت قدیمی به چشم می خورد. مجموعه کانی های سازنده این زینولیت ها شامل پلاژیوکلاز،کوارتز،هورنبلند،بیوتیت و تیتانیت(اسفن) می باشد. یکی از ویژگی های بارز در این سنگ ها فراوانی کانی تیتانیت در آن ها می باشد که معمولا در سنگ ها به صورت کانی فرعی یا جزئی یافت می شود؛ اما در این زینولیت ها کانی مذکور آنقدرفراوان است که حتی می توان آن را به عنوان کانی اصلی به حساب آورد. این کانی همانند کانی های بیوتیت و هورنبلند تا حدودی از خود جهت یافتگی ترجیحی نیز نشان می دهد. گاهی بافت پوئیکیلیتی در بلورهای این کانی دیده می شود. فراوانی این کانی به اثبات منشا آذرین ارتوگنیس ها و ارتوآمفیبولیت ها کمک می کند زیرا معمولا این کانی در پاراگنیس ها و پارا آمفیبولیت ها یا وجود ندارد ویا مقدار آن بسیار اندک است.

کلیدواژه‌ها: تیتانیت، ارتوگنیس، ارتوآمفیبولیت، گرانیتوئید، خواجه مراد

A Study of Titanite-bearing Orthogneiss and Ortho-amphibolite Xenoliths in the Granitoids of Khajeh Morad Area (Mashhad)

Mobina Saadati[1]*, Ali Asghar Sepahi[2], Fatameh Sepidbar[3]

1. M.Sc. Student, Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2. Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3. Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

saadati.mobina@mail.um.ac.ir

Abstract: The study area (Khajeh Morad) is located southeast of Mashhad. Within the granitoids of this area, enclaves with varying compositions and sizes are present, among which xenoliths of old orthogneiss and ortho-amphibolite can be observed. The mineral assemblage constituting these xenoliths includes plagioclase, quartz, hornblende, biotite, and titanite (sphene). One of the prominent features in these rocks is the abundance of titanite, which is typically found as an accessory or minor mineral in rocks; however, in these xenoliths, this mineral is so abundant that it can even be considered a main constituent. This mineral, similar to biotite and hornblende, also exhibits a preferred orientation to some extent. Poikilitic texture is sometimes observed in the crystals of this mineral. The abundance of this mineral helps to prove the igneous origin of the orthogneisses and ortho-amphibolites, as this mineral is usually absent or very scarce in paragneisses and para-amphibolites.

Keywords: Titanite, Orthogneiss, Ortho-amphibolite, Granitoid, Khajeh Morad

مقدمه: گرانیتوئیدها به عنوان یکی از اجزای اصلی پوسته قاره‌ای، حاوی اطلاعات ارزشمندی در مورد فرآیندهای ماگمایی، دگرگونی و تحول پوسته‌ای هستند. انکلاوها و زینولیت‌های موجود در این توده‌های نفوذی، پنجره‌ای منحصربه‌فرد به سوی سنگ‌های دیواره یا منابع ماگمایی عمیق‌تر فراهم می‌کنند و نقش مهمی در رمزگشایی تاریخچه پیچیده تکتونوماگمایی یک منطقه ایفا می‌نمایند. از میان این انکلاوها، زینولیت‌های سنگ‌های دگرگونی، به ویژه انواعی که منشأ اولیه آذرین داشته (ارتوگنیس و ارتوآمفیبولیت)، می‌توانند شواهد کلیدی از ماهیت و ترکیب پوسته زیرین در زمان نفوذ گرانیتوئیدها ارائه دهند.

تیتانیت یک کانی تیتانیوم‌دار فراوان در بسیاری از سنگ‌های آذرین و دگرگونی است. رفتار این کانی به شدت تحت تأثیر شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل سنگ از قبیل دما، فشار، فعالیت سیال و فوگاسیته اکسیژن قرار دارد. در سنگ‌های دگرگونی، حضور و فراوانی تیتانیت می‌تواند یک شاخص تشخیصی مهم بین سنگ‌های با منشأ رسوبی (پاراگنیس، پارا آمفیبولیت) و سنگ‌های با منشأ آذرین (ارتوگنیس، ارتوآمفیبولیت) باشد، زیرا این کانی در سنگ‌های مادر اولیه آذرین غنی از تیتانیوم معمولاً فراوان‌تر است. از این رو، بررسی سیستماتیک تیتانیت در زینولیت‌های دگرگونی می‌تواند به طور مستدلی در تعیین خاستگاه آنها به کار رود. توده‌های گرانیتوئیدی این منطقه حاوی انکلاوهای متنوعی هستند. در میان این انکلاوها، حضور زینولیت‌های ارتوگنیس و ارتوآمفیبولیت قدیمی، پرسش‌هایی در مورد ماهیت پوسته زیرین و تعامل آن با ماگمای گرانیتوئیدی مطرح می‌سازد. ویژگی قابل توجه این زینولیت‌ها، فراوانی غیرمعمول کانی تیتانیت است که به صورت یک کانی اصلی در مجموعه کانی‌شناختی آنها ظاهر شده و حتی در برخی نمونه‌ها دارای جهت‌یافتگی ترجیحی و بافت‌های خاصی مانند بافت پوئیکیلیتی می‌باشد. این مشاهدات اولیه، اهمیت مطالعه این زینولیت‌ها را دوچندان می‌نماید.

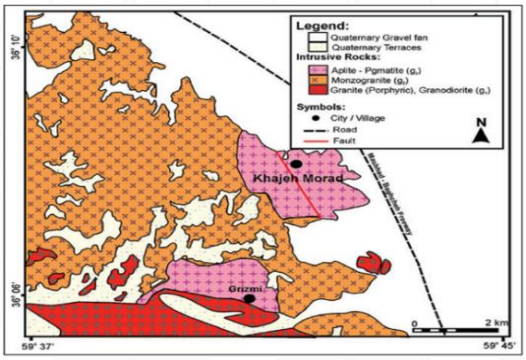
اهداف این پژوهش عبارتند از:

۱. توصیف پتروگرافی و بافت‌شناسی زینولیت‌های ارتوگنیس و ارتوآمفیبولیت در گرانیتوئیدهای خواجه‌مراد با تأکید ویژه بر کانی تیتانیت، ۲.استفاده از شواهد کانی‌شناختی، به ویژه شواهد مرتبط با تیتانیت، برای تعیین خاستگاه آذرین (ارتو) این زینولیت‌ها و تمایز آنها از انواع با منشأ رسوبی (پارا).

موقعیت زمین‌شناسی: زون ساختاری بینالود واقع در شمال شرق ایران و در جنوب خط درز تتیس کهن (آقانباتی،۱۳۸۳)، باروندی شمال غربی- جنوب شرقی، حد فاصل واحدهای ساختمانی کپه داغ در شمال، ایران مرکزی در جنوب و البرز در غرب محصور شده است (نبویان،۱۳۵۵). ساختارهای تکتونیکی این منطقه مرتبط با تحولات تکتونیکی کوهزایی سیمیرین و کوهزایی آلپی است (علوی،۱۹۹۲). مطالعات نشان میدهد که این منطقه عمدتاً متشکل از سنگهای دگرگونی با سن پالئوزوئیک تا مزوزوئیک است. سنگ‌های غالب منطقه شامل شیستهای سبز، اسلیت، فیلیت و مرمرهای دگرگون شده می‌باشد. همچنین توده‌های نفوذی گرانیتی و دیابازی مربوط به دوران مزوزوئیک در این منطقه رخنمون دارند. سنگ‌های آذرآواری و آتشفشانی با ترکیب حدواسط تا بازیک نیز یافت می شود. این منطقه تحت تأثیر چندین فاز دگرگونی قرار گرفته است. همچنین در بخش‌هایی از محدوده، سنگ‌های آذرین بیرونی با ترکیب متوسط تا اسیدی مشاهده میشود که با واحدهای

دگرگونی درجه کم نیز همراه هستند. مجموعه پگماتیت-آپلیت مورد مطالعه در این پژوهش، در چارچوب همین تحولات زمین‌ساختی و در ارتباط با توده‌های نفوذی مزوزوئیک زون بینالود تشکیل شده است.

خواجه مراد در جنوب شرقی مشهد و در دامنه‌های جنوبی رشته‌کوه‌های بینالود قرار دارد. این منطقه بخشی از کمربند زمین‌شناسی شرق ایران است که به‌دلیل فعالیت‌های تکتونیکی و ماگمایی گسترده در طول زمان‌های زمین‌شناسی، از تنوع سنگ‌شناسی و ساختاری بالایی برخوردار است.



شکل ۱. نقشه زمین شناسی محدوده خواجه مراد در جنوب خاوری مشهد و موقعیت گرانیتوئیدهای مورد مطالعه (برگرفته از Samadi et al (2014).)

سنگ‌های آذرین:گرانیتوئیدها : توده‌های گرانیتوئیدی خواجه مراد از مهم‌ترین سنگ‌های آذرین منطقه هستند. این گرانیتوئیدها معمولاً از نوع S-type یا I-type هستند و نشان دهنده فرآیندهای ماگمایی مرتبط با فرورانش یا برخورد قاره‌ای هستند. انکلاوهای مافیک: درون گرانیتوئیدها، انکلاوهای مافیک به‌وفور یافت می‌شوند که نشان دهنده اختلاط ماگمایی بین ماگماهای اسیدی و مافیک و یا قطعات بیگانه سنگ گرانیتوئید های قدیمی‌تر و شیست ها و گنیس‌های منطقه هستند. سنگ‌های دگرگونی:در منطقه خواجه مراد، سنگ‌های دگرگونی مانند شیست، گنیس و آمفیبولیت به‌صورت پراکنده دیده می‌شوند. این سنگ‌ها معمولاً مربوط به سازندهای زمین‌شناسی قدیمی‌تر از گرانیتوئیدها هستند و حاصل فرآیندهای دگرگونی ناحیه‌ای می‌باشند. سنگ‌های رسوبی:سنگ‌های رسوبی مانند ماسه‌سنگ، شیل و سنگ‌آهک نیز در منطقه یافت می‌شوند. این سنگ‌ها معمولاً مربوط به دوره‌های مزوزوئیک و سنوزوئیک هستند.

پتروگرافی: در این مطالعه، تعداد ۴۳ مقطع میکروسکوپی نازک از سنگهای منطقه خواجه مراد (مشهد) تهیه و با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان مورد بررسی قرار گرفت. سنگ های مورد مطالعه شامل واحدهای میزبان (لوکوگرانیت و آپلیت و گارنت-تورمالین آپلیت) و انکلاوهای متنوع درون آنها (گرانودیوریت، مونزوگرانیت، کوارتز دیوریت، میکروکوارتز مونزودیوریت و ارتوگنیس) می باشند.

سنگ‌های میزبان: لوکوگرانیت :بافت گرانولار انهدرال با دانه‌بندی متوسط تا درشت. کانی‌شناسی اصلی شامل کوارتز، ارتوکلاز، پلاژیوکلاز (با زونینگ نوسانی)مسکوویت و مقدار کم بیوتیت است. کانی‌های فرعی شامل آپاتیت، اسفن و تیتانیت. بافت‌های پرتیت، پریکلین و میرمکیتی دیده می‌شود. نشانه‌های دگرسانی شامل سریسیتی شدن پلاژیوکلاز و کلریتی شدن جزئی بیوتیت است. بافت، حاکی از سرد شدن آهسته در اعماق است.

آپلیت :دارای بافت آپلیتی ریزدانه‌تر از لوکوگرانیت. ترکیب کانی‌شناسی مشابه اما با دانه‌بندی ریز تا متوسط. بافت گرانولار فشرده نشان‌دهنده تبلور نسبتاً سریع‌تر است. کانی‌های فرعی مشابه (آپاتیت، اسفن، تیتانیت) به مقدار کم حضور دارند. دگرسانی سریسیتی رایج است.

گارنت-تورمالین آپلیت :بافت آپلیتی با ترکیب اصلی کوارتز و فلدسپات. ویژگی متمایز، حضور گارنت (ایزومتریک، بیرنگ تا صورتی) و تورمالین (منشوری، با پلئوکروئیسم قوی) به عنوان کانی‌های فرعی است که نشان‌دهنده غنیشدگی ماگما از Al و Bو احتمالاً تأثیر سیالات غنی از عناصر نادر می‌باشد.

انکلاوها:

گرانودیوریت: بافت گرانولار سابهدرال تا انهدرال با دانه‌بندی متوسط. کانی‌های اصلی: پلاژیوکلاز (اغلب با زونینگ نوسانی)، کوارتز، بیوتیت (فراوان‌تر از سنگ میزبان) و ارتوکلاز. دارای بافت‌های میرمکیتی، پرتیت و گاهی پوئیکیلیتیک. کانی‌های فرعی شامل آپاتیت، اسفن و تیتانیت هستند. دگرسانی سریسیتی مشاهده شده است.

ارتوگنیس:دارای بافت لپیدونماتوبلاستیک/گرانوبلاستیک و شامل پلاژیوکلاز، کوارتز (گاهی با بافت ریبون)، بیوتیت و ارتوکلاز است. بیوتیت‌ها جهت‌دار و موازی، ایجادکننده فولیاسیون ضعیف تا متوسط. حضور پورفیروکلاست‌های فلدسپات در ماتریکس ریزدانه نشان‌دهنده دگرشکلی و بازتبلور ناکامل. کانی‌های فرعی: آپاتیت، اسفن و تیتانیت. دگرسانی شامل سریسیتی شدن فلدسپات و کلریتی شدن بیوتیت. این زینولیت‌ها قطعاتی از سنگ‌های دگرگونی قدیمی پوسته هستند که توسط ماگمای میزبان حمل شده‌اند.

شکل۲.مقطع میکروسکوپی از یک ارتوگنیس دارای کانی تیتانیت.

ارتوآمفیبولیت: دارای بافت گرانولار تا گرانونماتوبلاستیک با کانی‌شناسی اصلی هورنبلند و پلاژیوکلاز، اغلب همراه با کوارتز و بیوتیت. ویژگی کلیدی، فراوانی غیرمعمول کانی تیتانیت به عنوان یک کانی اصلی است که به صورت بلورهای مشخصی حضور دارد. جهت‌یافتگی هورنبلندها و امکان وجود بافت پوئیکیلیتی در تیتانیت دیده می‌شود. این مجموعه کانی‌شناختی و به‌ویژه غنای تیتانیت، شاهد قاطعی بر منشأ آذرین اولیه (ارتو)این سنگ بوده و آن را از انواع با منشأ رسوبی (پارا) متمایز می‌کند. این انکلاوها نیز به عنوان زینولیت‌های دگرگونی پوسته زیرین تفسیر می‌شوند.

شکل۳.مقطع میکروسکوپی از یک ارتوآمفیبولیت دارای کانی های تیتانیت که جهت یافتگی موازی دارند.

بحث: وجود زینولیت‌های ارتوگنیس و ارتوآمفیبولیت با فراوانی کانی تیتانیت در گرانیتوئیدهای منطقه خواجه‌مراد، پیامدهای پتروژنزی و دینامیک ماگمایی مهمی را مطرح می‌سازد. این بخش، یافته‌های پتروگرافی را در چارچوب منشأ و تحول این زینولیت‌ها و رابطه‌شان با توده میزبان تفسیر می‌کند.

خاستگاه آذرین زینولیت ها: (شواهد کانی شناختی): مهم‌ترین شاهد برای منشأ آذرین (ارتو) این زینولیت‌ها، فراوانی غیرمعمول کانی تیتانیت است. همان‌طور که در بخش‌های پیشین اشاره شد، تیتانیت در سنگ‌های دگرگونی با پروتولیت (سنگ مادر) رسوبی (پارا) معمولاً غایب یا بسیار نادر است، زیرا سیستم‌های رسوبی اولیه فقیر از تیتانیوم می‌باشند. در مقابل، سنگ‌های آذرین بازیک تا حدواسط (مانند بازالت‌ها، گابروها و دیوریت‌ها) که پروتولیت احتمالی ارتوآمفیبولیت‌ها و ارتوگنیس‌های این مطالعه هستند، غنی از تیتانیوم بوده و شرایط مناسب برای تشکیل تیتانیت را در طی فرآیند دگرگونی فراهم می‌کنند. حضور تیتانیت به عنوان یک کانی اصلی، همراه با مجموعه کانی‌شناختی متشکل از پلاژیوکلاز + کوارتز + هورنبلند + بیوتیت، به شدت از یک منشأ اولیه آذرین برای این سنگ‌ها حمایت می‌کند. علاوه بر این، جهت‌یافتگی ترجیحی مشترک تیتانیت با بیوتیت و هورنبلند، حاکی از رشد یا بازبلوری همزمان این کانی‌ها تحت تأثیر تنش جهت‌دار (فولیاسیون) در طی یک رویداد دگرگونی ناحیه‌ای است که سنگ‌های آذرین اولیه را به ارتوگنیس و ارتوآمفیبولیت تبدیل کرده است.

شکل۴.مقطع میکروسکوپی از یک ارتوگنیس دارای کانی تیتانیت که دارای بافت پوئیکیلیتیکی است.

اهمیت بافت پوئیکیلیتیکی در تیتانیت: مشاهده بافت پوئیکیلیتی در بلورهای تیتانیت، که در آن بلورهای ریز پلاژیوکلاز یا کوارتز به صورت میانبار درون تیتانیت محصور شده‌اند، از نکات قابل توجه این مطالعه است. این بافت عموماً نشان‌دهنده رشد بلور میزبان (تیتانیت) در شرایطی است که بلورهای مهمان (مثلاً پلاژیوکلاز) از پیش موجود بوده و توسط رشد پیشرونده تیتانیت محاط شده‌اند. این امر می‌تواند دو تفسیر اصلی داشته باشد: ۱) رشد تیتانیت در طول مرحله دگرگونی اصلی (پیک متامورفیسم) در شرایطی که سنگ هنوز دارای بخشی ذوب‌نشده یا مذاب بین‌دانه‌ای بوده است، یا ۲) رشد تیتانیت در طی یک مرحله متاسوماتیک دیررس ناشی از عبور سیالات غنی از Ca و Ti از سنگ. با توجه به هم‌زمانی جهت‌یافتگی تیتانیت با فولیاسیون اصلی سنگ، سناریوی اول محتمل‌تر به نظر می‌رسد. این مشاهدات نشان می‌دهد که تیتانیت یک فاز دگرگونی پایدار در پیک دگرگونی این سنگ‌ها بوده است.

جایگاه تکتونیکی و مدل پتروژنزی: با در نظر گرفتن موقعیت منطقه خواجه‌مراد در کمربند آتشفشانی-آذرین پهنه ایران مرکزی، حضور این زینولیت‌های دگرگونی قدیمی در یک توده گرانیتوئیدی جوان‌تر، گویای یک تاریخچه پوسته‌ای پیچیده است. یک مدل پتروژنزی سازگار با این مشاهدات می‌تواند به شرح زیر باشد:

تشکیل پروتولیت آذرین :در یک مرحله تکتونیکی قدیمی‌تر، سنگ‌های آذرین بازیک تا حدواسط در پوسته زیرین منطقه تبلور یافتند.

دگرگونی ناحیه‌ای :این سنگ‌های آذرین در طی یک رویداد کوه‌زایی تحت شرایط دگرگونی آمفیبولیت قرار گرفته و به ارتوآمفیبولیت و با افزایش درجه دگرشکلی و بازبلوری، به ارتوگنیس تبدیل شدند. در طی این دگرگونی، تیتانیت به عنوان یک فاز پایدار اصلی از بازپخت پروتولیت غنی از Ti متبلور شد.

گیرافتادن به عنوان زینولیت :در دوره‌ای جوان‌تر، ماگمای گرانیتوئیدی حین صعود از پوسته، این سنگ‌های دگرگونی قدیمی را از دیواره‌های مسیر خود جدا کرده و به صورت زینولیت با خود به سطوح بالا آورده است. حفظ بافت‌های دگرگونی در

زینولیت‌ها نشان می‌دهد زمان توقف آنها در ماگمای داغ میزبان کوتاه بوده یا اختلاف دمای زیادی بین زینولیت‌های سرد و ماگمای میزبان وجود نداشته است تا باعث همجوشی یا دگرگونی مجدد گسترده شود.

نتیجه‌گیری:

زینولیت‌های مورد مطالعه از نوع ارتوگنیس و ارتوآمفیبولیت بوده و مجموعه کانی‌شناختی اصلی آن‌ها شامل پلاژیوکلاز، کوارتز، هورنبلند، بیوتیت و تیتانیت می‌باشد. فراوانی غیرمعمول کانی تیتانیت، که در این زینولیت‌ها به عنوان یک کانی اصلی ظاهر شده است، قوی‌ترین شاهد کانی‌شناختی برای تعیین منشأ آذرین (ارتو) این سنگ‌ها محسوب می‌شود. این امر با فقر تیتانیت در سنگ‌های دگرگونی با پروتولیت رسوبی (پارا) در تضاد است.تیتانیت در این سنگ‌ها دارای جهت‌یافتگی ترجیحی هم‌راستا با فولیاسیون سنگ است و بافت پوئیکیلیتی نیز در آن مشاهده می‌شود. این ویژگی‌ها نشان می‌دهد که این کانی در طی رویداد متامورفیسم ناحیه‌ای و تحت تأثیر تنش جهت‌دار رشد یا بازبلوری یافته است. بر اساس شواهد فوق، یک مدل پتروژنزی ارائه گردید که بر اساس آن، پروتولیت این زینولیت‌ها سنگ‌های آذرین قدیمی (بازیک تا حدواسط) هستند که در طی یک رویداد کوه‌زایی قدیمی‌تر تحت دگرگونی رخساره آمفیبولیت قرار گرفته و متحول شده‌اند. در مرحله‌ای جوان‌تر، این سنگ‌های دگرگونی به صورت قطعات جامد (زینولیت) توسط ماگمای گرانیتوئیدی جدا شده و به سطوح بالاتر پوسته حمل شده‌اند.این مطالعه بر کارآیی تیتانیت به عنوان یک شاخص پترولوژیک کلیدی در تمایز سنگ‌های دگرگونی با خاستگاه آذرین از رسوبی تأکید می‌نماید.

پیشنهاد برای مطالعات آینده:

۱.آنالیزهای ژئوشیمیایی سنگ کل و میکروپروب کانی‌ها (به ویژه تیتانیت) و سن سنجی ایزوتوپی (مثلاً U-Pb روی تیتانیت یا زیرکن) برای تعیین سن دقیق رویداد دگرگونی و مقایسه آن با سن توده گرانیتوئیدی میزبان.

۲.مطالعه دقیق‌تر روابط فاز و شیمی تیتانیت برای بازسازی فوگاسیته اکسیژن و فعالیت سیال در طی دگرگونی.

مراجع:

الف-یک نظر، م، رحیمی، ب، قائمی، ف (۲۰۱۴) تحلیل شکستگی‌های سیستماتیک در گرانیت خواجه مراد، سی و دومین گرد همایی و نخستین کنگره بین المللی علوم زمین

ب-خسروی چنار، ع، حسین زاده، س، ر، فتاحی، م، خانه باد، م (۱۳۹۸) ژئوشیمی نهشته‌های کوارترنری رودخانه کال شور بینالود، پژوهش‌های دانش زمین، سال دهم، شماره(۳۷)، صفحات(۴۹-۳۹)

پ-صمدی، ر، شیردشت زاده، ن، کاواباتا، ه (۱۳۹۴) سنگ نگاری و خاستگاه دایک های آپلیت - پگماتیت و گرانیتوئید خواجه مراد(جنوب خاوری مشهد، ایران)، علوم زمین، سال بیست و پنجم، شماره (۹۷)، صفحات(۶۰-۴۹)

ت-سعادتی، م، سپاهی، ع، سپیدبر، ف(۱۴۰۴)مطالعه انکلاو های مجموعه پگماتیت-آپلیت منطقه خواجه مراد(مشهد) و تنوع بافتی آنها، هفدهمین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران

ث- Hashemi,S, M, Samadi, R, (2017) Petrology and geochemistry of pegmatite dikes in the Grizmi and Khajeh Morad granitoids (south of Mashhad, northeastern Iran), Neues Jahrbuch für Geologie und Palä on to logie – Abhandlungen, Volume 284,Issue 1, Pages 1-14

ج- Samadi, R, Miller, N, R, Mirnejad, H, Harris, Ch, Kawabata, H, Shirdashtzadeh, N, (2014) Origin of garnet in aplite and pegmatite from Khajeh Morad in northeastern Iran: A major, trace element, and oxygen isotope approach, Lithos, Volumes 208-209, Issue 11, Pages378-392

چ- Karimpour, M, H, Stern, C, R, Farmer, G, L (2010) Zircon U-Pb geochronology, Sr-Nd isotope analyses, and petrogenetic study of the Dehnow diorite and Kuhsangi granodiorite (Paleo-Tethys), NE Iran, Asian Earth Sciences, Volume 37, Issue 4, Pages 384-393

ح- Mirnejad, H, Lalonde, A, E, Obeidi, M , Hassanzadeh, J (2013) Geochemistry and petrogenesis of Mashhad granitoids: An insight into the geodynamic history of the Paleo-Tethys in northeast of Iran, Lithos, Volumes 170-171, Issue 6, Pages105-116

خ- Mobasheri, M, Arndt, N, Cordier, C, Sobolev, A, Ghasemi, H, Marchesi, C, Sabzehei, M, Garrido, C (2025) Petrogenesis and geochemistry of upper Paleozoic Komatiites (Mashhad, NE Iran), Petrology, Volume 66, Issue 1, egae131