چهل و دومین گردهمایی (همایش) ملی
علوم زمین
The 42nd National
Geosciences Congress
www.geoconf.ir

مقایسه مجموعه‌های سنگی مافیک – الترامافیک پالئوزوئیک شمال‌خاوری ایران در مناطق مشهد، فریمان و آق‌دربند

غلامعلی معاف‌پوریان استادیار گروه زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور، صندوق پستس ۴۶۹۷-۱۹۳۹۵ ، تهران، ایران
g_moafpoorian@pnu.ac.ir

چکیده

در ادبیات زمین‌شناسی ایران سه مجموعه سنگی مافیک–الترامافیک پالئوزوئیک در مجاورت شهرهای مشهد، فریمان و جنوب روستای آق‌دربند به عنوان بقایای پالئوتتیس در نظر گرفته می‌شود و لذا در نگاه برخی از زمین‌شناسان این سنگ‌ها ممکن است از جنبه‌های مختلف، بویژه از نظر تکتونوماگمایی همسان در نظر گرفته شوند. این تلقی با اشکالات بسیاری همراه میباشد و در حقیقت این مجموعه-های سنگی از نظر زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، زمین‌شیمی و حتی سنی با یکدیگر تفاوت دارند. مجموعه سنگی جنوب آق‌دربند که در حوضه رسوبی-ساختاری کپه‌داغ واقع گردیده با توجه به ویژگی‌های چینه‌شناسی، سنگ‌شناسی، سنگ‌خاستی و سنی از دو مجموعه دیگر در مناطق مشهد و فریمان که در حوضه بینالود قرار دارند متمایز می‌گردد. مجموعه‌های سنگی مشهد و فریمان هم با وجود شباهت‌های بسیار اما از نظر چینه‌شناسی و برخی از ویژگی‌های فابریکی تفاوت‌هایی را نشان می‌دهند. بدین ترتیب حتی اگر هر سه مجموعه سنگی یاد شده به راستی نشانه‌های تتیس قدیمی باشند با توجه به تفاوت‌هایی که دارند در شرایط زمانی و مکانی متفاوتی تشکیل گردیده و هر یک از این مجموعه‌های سنگی از قابلیت بازگو نمودن بخش متمایزی از تاریخ تکوین پالئوتتیس برخوردار می‌باشند.

واژه‌های کلیدی

سنگ، مافیک، الترامافیک، پالئوتتیس

۱. مقدمه

هر سه مجموعه سنگی مافیک-الترامافیک شمال‌خاوری ایران، در مجاورت شهرهای مشهد و فریمان و جنوب روستای آق‌دربند در اغلب نوشته‌ها به عنوان بقایای پالئوتتیس معرفی شده‌اند [1] و در نتیجه ممکن است به اشتباه این استنباط در ذهن برخی از زمین‌شناسان متبادر گردد که آنها واحدهای سنگی هم‌ارز از نظر زمین‌شناسی بشمار می‌روند. برای مثال در نقشه‌ای که بر اساس یافته‌های جدید از پهنه شمال‌خاوری خطواره تربت‌جام-فریمان-مشهد ارایه گردیده هر سه مجموعه سنگی با نمادهای یکسان نمایش داده شده است [2] (شکل ۱). بدون شک چنین استنباطی با اشکالاتی همراه می‌باشد زیرا علی‌رغم برخی اشتراکات این مجموعه‌های سنگی تفاوت‌های زیادی هم با یکدیگر دارند و هر یک از آنها دارای تاریخ تکوین مجزا می‌باشد. به عبارت دیگر حتی با وجود پذیرش ایده‌ای که ماهیت افیولیتی آنها را به عنوان بقایای اقیانوسی پالئوتتیس مطرح مینماید کماکان بایستی توجه داشت که آنها با توجه به ویژگی‌های متمایز خود از نظر زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی و زمین‌شیمی قطعا در شرایط متفاوت زمانی و مکانی تشکیل گردیده‌اند. در مقاله حاضر با توجه به مطالعاتی که در مناطق مشهد و فریمان، در چارچوب پایان نامه دکترا، و در آق‌دربند، در غالب یک طرح پژوهشی انجام پذیرفته به بررسی وجوه تمایز این مجموعه‌های سنگی و اهمیت آن در باز سازی تاریخ تکوین پالئوتتیس پرداخته شده است.

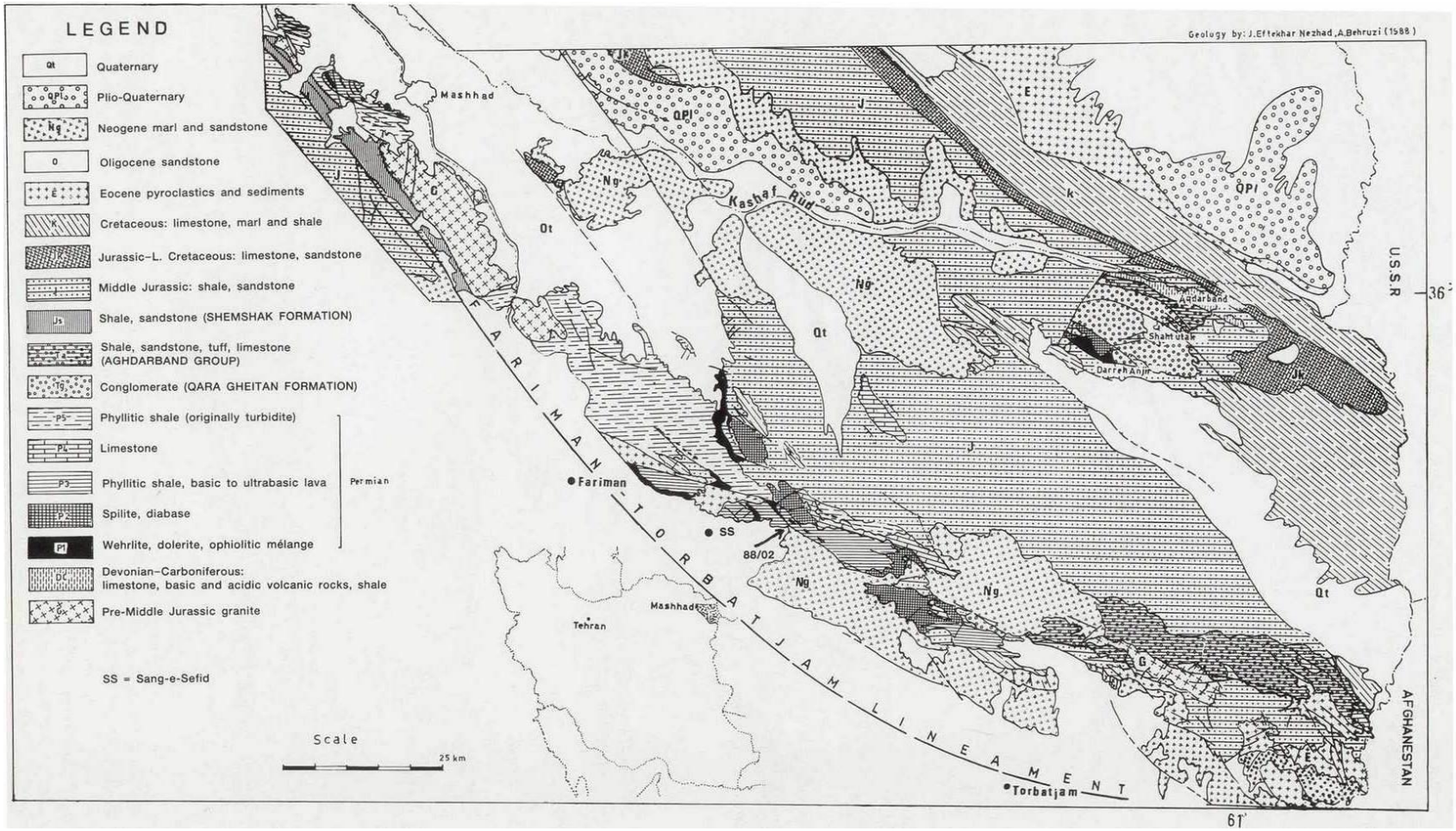
۲. مقایسه ویژگی‌های سه مجموعه سنگی مافیک-الترامافیک شمال‌خاوری ایران

۱.۲. زمین‌شناسی

از نگاه زمین‌شناسی مجموعه سنگی جنوب آق‌دربند در یک پنجره تکتونیکی در حوضه ساختاری-رسوبی کپه‌داغ و رخنمون‌های الترامافیک ـ مافیک مناطق مشهد و فریمان در زون بینالود قرار دارند. با توجه به دو دیدگاه متفاوت مطرح شده در مورد موقعیت ساختاری کپه‌داغ، تحت عنوان نظریه‌های اوراسیایی و گندوانایی که در آنها پیوستگی این پهنه به ترتیب با ابر قاره‌های اوراسیا و گندوانا مطرح می‌گردد [3]، می‌توان به ابهامات و پرسش‌هایی که در زمینه تکوین این حوضه ساختاری- رسوبی به صورت کلی و ماهیت مجموعه سنگی الترامافیک - مافیک آن به صورت ویژه وجود دارد پی برد. در نگاه اول اگر کپه‌داغ را به عنوان بخشی از لبه جنوبی اوراسیا در نظر بگیریم در این صورت مجموعه سنگی حنوب آق‌دربند را هم می‌بایست در کرانه شمالی پالئوتتیس به عنوان افیولیت‌های مرتبط با رویداد قدیمی‌تر فرورانش و آثار زمین‌درز پالئوتتیس اول یا تتیس هرسی‌نین محسوب نمائیم که در این صورت از تاریخچه تکوین متفاوت با مجموعه‌های سنگی مشهد و فریمان که به عنوان آثار زمین‌درز پالئوتتیس دوم یا تتیس ایندوزنید معرفی شده‌اند برخوردار خواهند بود [2]. از طرف دیگر حتی اگر بر اساس استدلال‌های مطرح شده [2] ، [4] مبنی بر تشابه چینه‌شناسی اواخر پرکامبرین و اوایل پالئوزئیک مناطق جنوب آق‌دربند با البرز و ایران مرکزی، کپه‌داغ را به عنوان بخشی از گندوانا در نظر بگیریم و در نتیجه بر پیوستگی آن با زون بینالود تاکید نمائیم کماکان دیگر تفاوت‌های سه مجموعه سنگی مورد بحث از جنبه‌های سنی، چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی مهم بوده و در مطالعات مرتبط با مراحل تکوین تتیس می‌بایست مد نظر قرار گیرد. در ادامه این بحث به اختصار ویژگی‌های مختلف سه مجموعه سنگی را مورد بررسی و مقایسه قرار خواهیم داد.

۲.۲. سن و چینه‌شناسی

بر اساس داده‌های سنی موجود مجموعه‌های سنگ‌شناسی مشهد و فریمان در قیاس با مجموعه سنگی آق‌دربند حدود ۱۰۰ میلیون سال جوان‌تر می‌باشند. سن‌های مطرح شده برای مجموعه‌های سنگی مافیک-الترامافیک مشهد از پرمین زیرین تا میانی [5]، فریمان اوایل پرمین [6]، اواخر پرمین زیرین [7]، [8] و در مورد آق‌دربند دونین میانی- فوقانی می‌باشد [۲]، [9]. داده‌های سنی یاد شده در همه موارد بر اساس مطالعه واحدهای سنگی پوسته‌ای این مجموعه‌ها تهیه شده و نه بخش‌های متعلق به گوشته بنابر این در برآورد زمان رویدادهای تکتونوماگمایی حوضه پالئوتتیس قابل اتکا می‌باشند. از نظر چینه‌شناسی نیز تفاوت‌های آشکاری را می‌توان بین مجموعه سنگی آق‌دربند و دو مجموعه سنگی مشهد و فریمان ملاحظه نمود. بطور کلی مجموعه سنگی آق‌دربند از نظر وسعت و ضخامت محدود بوده و جهت روندها، نوع همبری‌ها و ماهیت واحدهای سنگی آن با دو مجموعه دیگر تفاوت دارد. مساحت رخنمون‌ها در آق‌دربند کمتر از ۱۰ کیلومتر مربع بوده در حالیکه گسترش رخنمون‌های سنگی مافیک - الترامافیک در مناطق فریمان و مشهد به ترتیب حدود ۳۰۰ و ۳۹۶ کیلومتر مربع می‌باشد. در آق‌دربند واحدهای سنگی که بر روی واحد سنگی مافیک-الترامافیک قرار دارند یا توالی رسوبی-آتشفشانی با همبری گسله است و یا سازند رسوبی آواری قره‌قیطان با همبری از نوع ناپیوستگی آذرین پی. ارتباط ناپیوسته واحدهای یاد شده از



شکل ۱- موقعیت سه مجموعه سنگی مافیک-الترامافیک پالئوزوئیک در شمال‌خاوری ایران [۲]

www.geoconf.ir
چهل و دومین گردهمایی (همایش) ملی
علوم زمین
The 42nd National Geosciences Congress
ISC

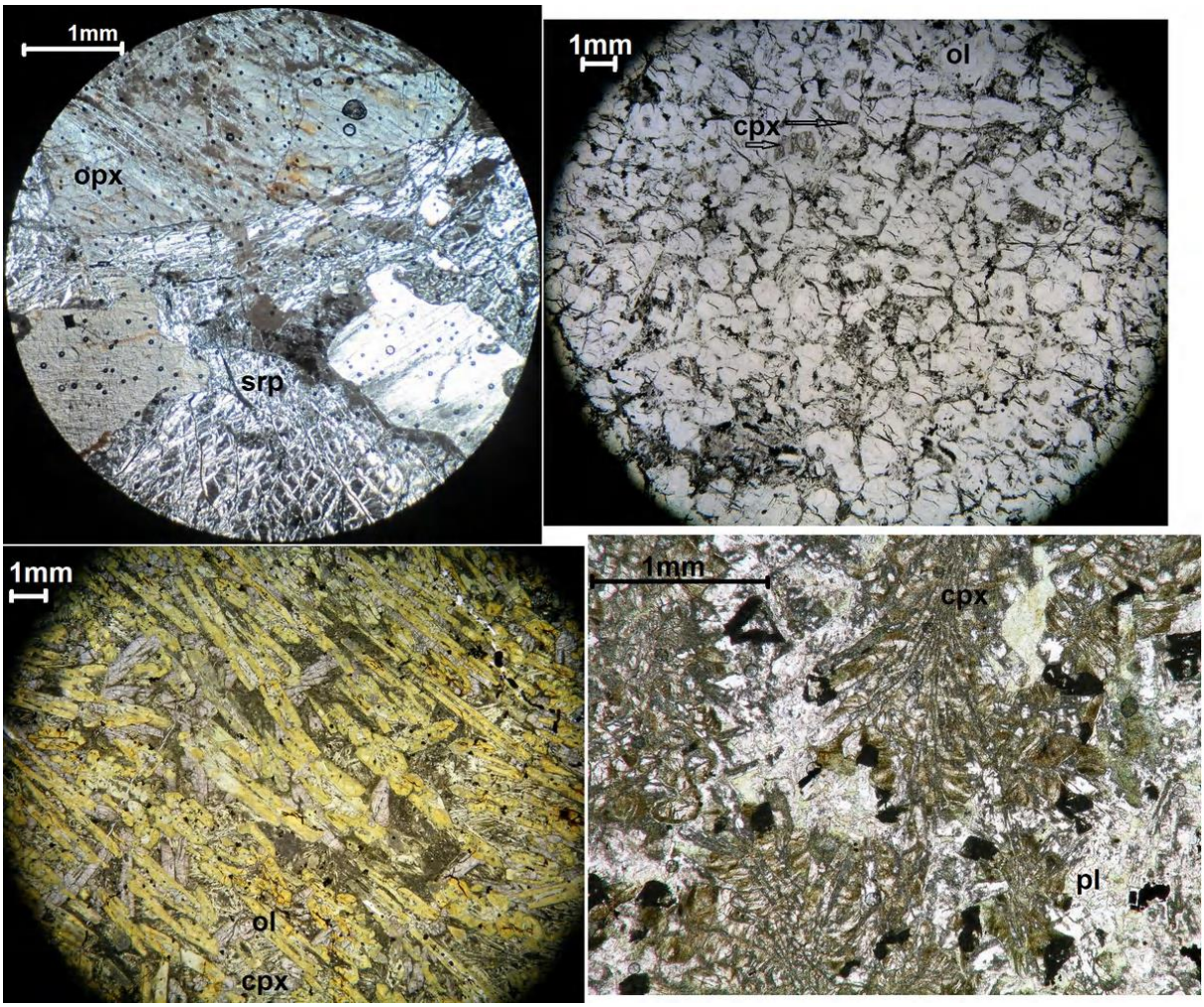
تفاوت در زمان تشکیل آنها حکایت دارد، به عبارت دیگر پیدایش آنها در یک بازه زمانی پیوسته انجام نپذیرفته است. در مناطق مشهد و فریمان اما، توالی چینه‌های رسوبی-آتشفشانی و واحدهای مافیک- الترامافیک در تناوب با یکدیگر و همبری‌ها پیوسته بوده و در بسیاری از موارد شواهدی مانند حاشیه‌های انجماد سریع و یا تشکیل اسکارن در مقیاس چند سانتی‌متری را در همبری بین سیل‌ها و گدازه‌ها با طبقات سیلت‌استونی و کربناته می‌توان مشاهده نمود (شکل ۲). در آق‌دربند روند کلی توده الترامافیک در دره انجیر و روند لایه‌ها در توالی رسوبی-آتشفشانی روی آن N 50° W مشابه روند گسل‌های آلپی است که در رخنمون شدن این واحدهای سنگی دخالت داشته است. به گونه‌ای متفاوت در مناطق مشهد و فریمان روند چینه‌ها و حتی روند برگ‌وارگی موازی با چینه‌بندی در همه جا تقریبا شرقی-غربی می‌باشد [10] , [11] .

شکل ۲ – همبری عادی و حاشیه سرد شده یک سیل مافیک در تماس با لایه سیلت‌استون. مشهد ارتفاعات مشرف بر کوهسنگی.

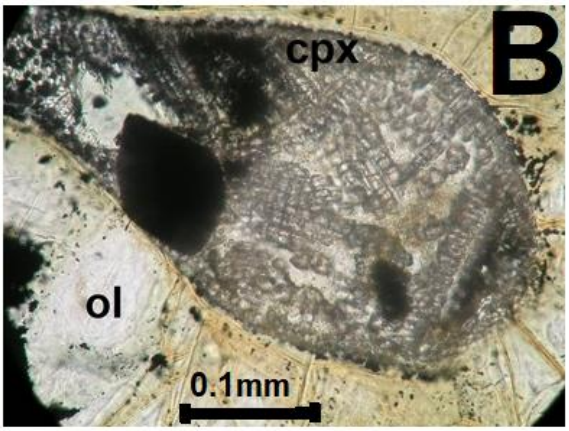
۳.۲. سنگ‌شناسی و فابریک‌ها

بخش عمده مجموعه سنگی آق‌دربند شامل دو رخنمون کوچک الترامافیک با ترکیب هارزبورگیتی و منشا احتمالا گوشته‌ای، سیل‌ها و دایک‌های اغلب گابروئیدی یا دیابازی و بندرت پیروکسنیتی است که در پیکره الترامافیک استقرار یافته‌اند. در واحد الترامافیک بلورهای درشت برنزیتی در صحرا و نمونه‌های دستی بوفور مشاهده شده نمایانگر ترکیب هارزبورگیتی سنگ می‌باشند. در توالی رسوبی-آتشفشانی هم تنها چند روانه گدازه با ضخامت کم در تناوب با طبقات رسوبی آواری ریزدانه و کربناته مشاهده می‌گردد که دارای ترکیب داسیتی و بافت میکروسکوپی اینترسرتال می‌باشند. در مقایسه با موارد یاد شده آنچه در مشهد و فریمان مشاهده می‌گردد بسیار متفاوت است. در مناطق مشهد و فریمان سنگ‌های الترامافیک اغلب دارای ترکیب ورلیتی بوده و بندرت در بخش‌های انباشتی ترکیب دونیتی هم مشاهده می‌گردد. این سنگ‌ها با فابریک‌های متنوع بالشی، توده‌ای و برشی با ضخامت زیاد و انواع بافت‌های نامتعادل ملاحظه می‌گردند. بافت سنگ‌ها در گدازه‌های بالشی الترامافیک شامل بلورهای ریز الیوین و بلورهای اسکلتی کلینوپیروکسن است که مواد شیشه‌ای و کانه‌های

اپاک در فضای بین آنها قرار می‌گیرد. در واحدهای الترامافیک با فابریک توده‌ای بافت انباشتی شامل بلورهای اسکلتی پیروکسن و بلورهای شکل‌دار و یا توخالی الیوین همراه با مذاب درگیر است. در برخی موارد حتی تبلور بلورهای اسکلتی پیروکسن و تیتانومگنتیت از مذاب به دام افتاده در داخل یک بلور الیوین مشاهده می‌گردد. سنگ‌های مافیک نیز بویژه در فریمان از تنوع فابریکی قابل توجهی برخوردار می‌باشند. واحدهای آتشفشانی دارای ترکیب بازالت کوماتی‌ایتی تا تولهایتی بوده و در فریمان طیف وسیعی از بافت‌های نامتعادل شامل پلاژیوکلازهای سوزنی و کلینوپیروکسن‌های اسکلتی و دندریتی را در بر دارند. دریک واحد کوماتی‌ایتی فریمان بافت پیروکسن اسپینیفکس بر سطح دگرسان شده سنگ مشاهده گردید، واحدهای نیمه‌عمیق هم با توجه به بافت از انواع دیابازی و دلریتی تا نمونه‌های میکروگابرو تا گابرویی را شامل می‌گردند (شکل‌های ۳ و ۴) [10] , [11]. بطور کلی مشاهدات فابریکی در مناطق فریمان و مشهد از فروتافت مذاب‌های فراتافته حکایت دارد در حالیکه مجموعه سنگی آق‌دربند فاقد چنین شواهدی است.



شکل ۳- تصاویر میکروسکپی، A نمونه الترامافیک با ترکیب هارزبورگیت از آق‌دربند که شامل بلورهای ارتوپیروکسن (opx) و سرپانتین (srp) حاصل از دگرسانی الیوین می‌باشد، B نمونه الترامافیک مشهد با بافت انباشتی مزوکومولا شامل بلورهای شکل‌دار و بعضا توخالی الیوین (ol) دگرسان شده به سرپانتین و کلینوپیروکسن (cpx) ، C نمونه کوماتی‌ایتی فریمان شامل بلورهای کشیده و توخالی الیوین دگرسان شده و کلینوپیروکسن، D نمونه سنگ بازالت کوماتی‌ایتی فریمان با بلورهای کلینوپیروکسن دندریتی و پلاژیوکلاز (pl) است.

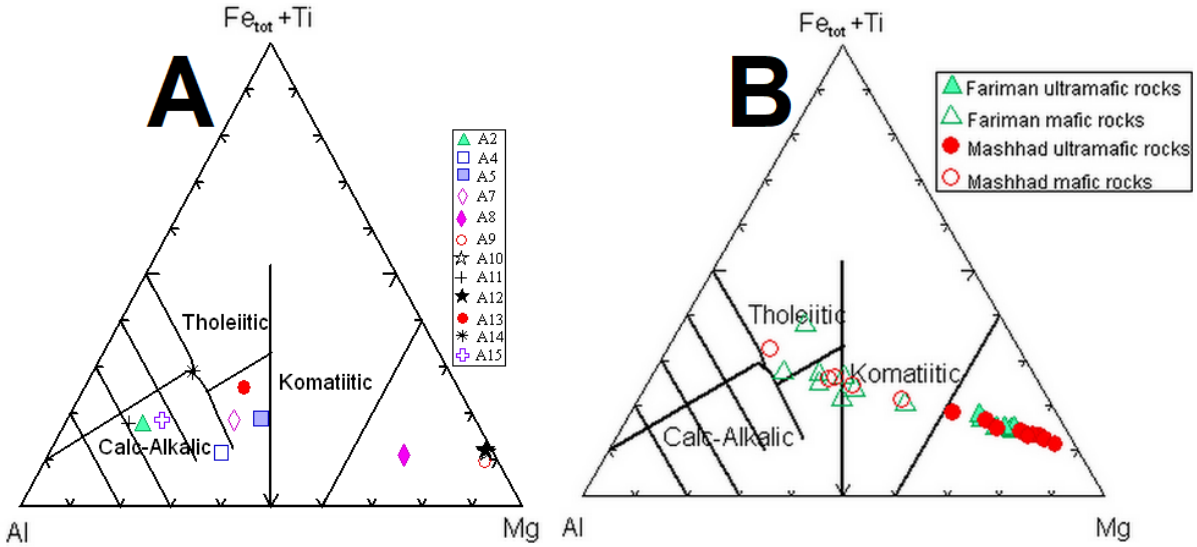


شکل ۴- A بافت پیروکسن اسپینیفکس در یک نمونه کوماتی‌ایتی فریمان، B تبلور بلورهای کلینوپیروکسن با اشکال نامتعادل اسکلتی از یک مذاب درگیر در بلور الیوین توخالی.

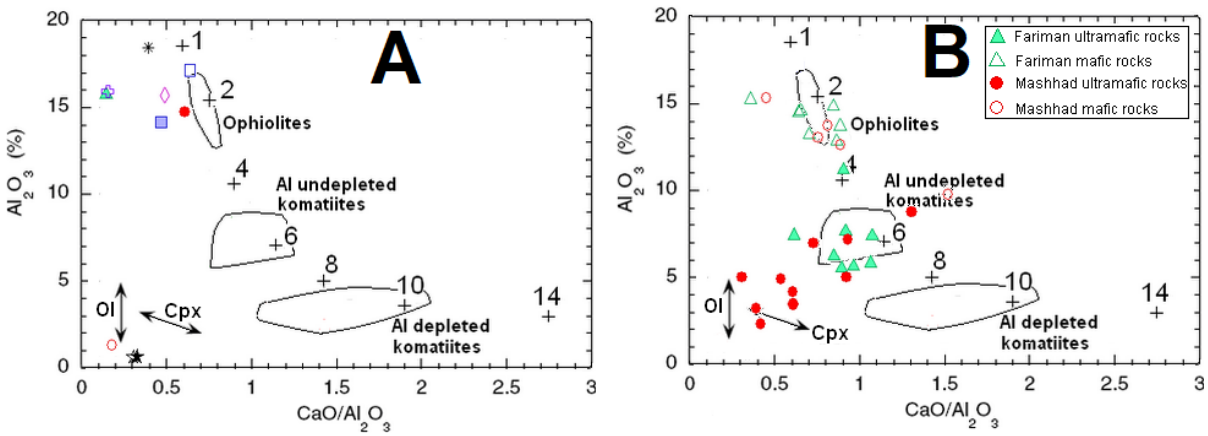
۴.۲. زمین‌شیمی و سنگ‌خاست

بررسی شواهد زمین‌شیمی و سنگ‌خاستی سه مجموعه سنگی مافیک-الترامافیک از تفاوت‌های مشهود نمونه‌های آق‌دربند در قیاس با سنگ‌های مشهد و فریمان حکایت دارد. اهم این تفاوت‌ها عبارت است از:

الف- زمین‌شیمی عناصر اصلی: در نمودار ویژه ارایه شده برای دسته‌بندی سنگ‌های مافیک-الترامافیک توسط [12] نمونه‌های آق-دربند به صورت دو جمع جدا از هم ملاحظه می‌گردند. یک دسته شامل نمونه‌های الترامافیک است که به سبب میزان بالا MgO در محدوده کوماتیایتی قرار دارند و دسته دوم سایر نمونه‌ها که در محدوده کالکوآلکالن قرار دارند. در همین نمودار موقعیت نمونه‌های مشهد و فریمان در شباهت با هم و به گونه‌ای متفاوت با مجموعه سنگی آق‌دربند به صورت مجموعه‌ای پیوسته است که در محدوده‌های کوماتیایتی، بازالت کوماتیایتی و بازالت تولیایتی قرار میگیرند (شکل ۵). بدیهی است که پراکندگی متفاوت نمونه‌های آق‌دربند نمایانگر سرشت متفاوت آنها و در نتیجه تغییر در میزان نسبی آهن، آلومینیم و منیزیم این سنگ‌ها در مقایسه با دو مجموعه دیگر حکایت دارد. در نمودار ارایه شده توسط [13] که با هدف بررسی میزان فشار حاکم بر محیط تشکیل ماگما بر اساس نسبت CaO/Al_2O_3 در برابر Al_2O_3 ارایه گردیده (شکل۶)، مجموعه سنگی آق‌دربند موقعیت متمایزی را در مقایسه با نمونه‌های مشهد و فریمان نشان می‌دهد. در این نمودار آن دسته از سنگ‌های آق‌دربند که موقعیت آنها از انباشت الیوین و یا کلینوپیروکسن تاثیر نپذیرفته نمایانگر فشارهای پائین تشکیل ماگما بین ۱ تا ۲ گیگا پاسکال هستند در حالی که هر دو مجموعه سنگی مشهد و فریمان در محدوده فشار بیشتر از ۲ و تا ۶ گیگاپاسکال قرار می‌گیرند [10] , [11]. با توجه به نمودار تجربی ارایه شده توسط [14] که به منظور بررسی رابطه بین میزان Al_2O_3 و MgO ماگما و شرایط تشکیل آن ارایه گردیده می‌توان مشاهده نمود که تشکیل مذاب‌های غنی از Al_2O_3 در فشارهای پائین و پیدایش ماگماهای غنی از MgO در فشارهای بالا میسر می‌باشد. بنابر این فشار حاکم بر محیط تشکیل ماگما و سازوکار آن در مناطق مورد بحث یکسان نبوده است و با توجه به موقعیت نمونه‌ها در این نمودار می‌توان تشکیل ماگما در منطقه آق‌دربند را در فشار کمتر، در مقایسه با مناطق مشهد و فریمان استنباط نمود [10]، [11].



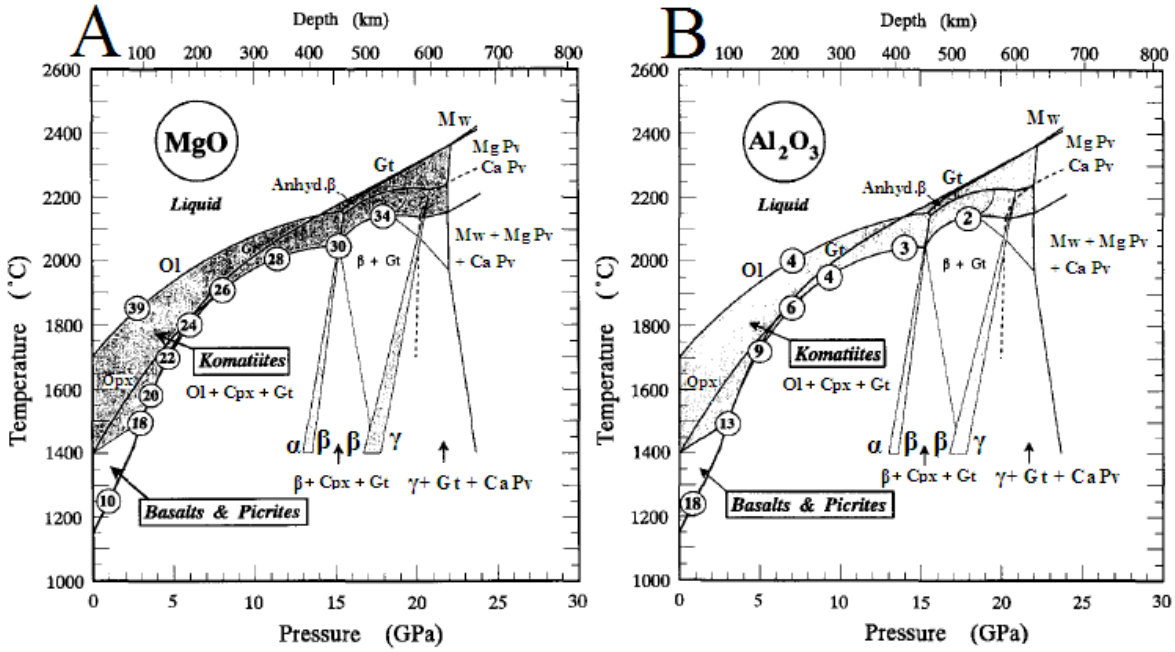
شکل ۵- موقعیت نمونه‌های مافیک-الترامافیک سه مجموعه سنگی در نمودار ویژه ارایه شده برای بررسی ماهیت این سنگ‌ها [12] . A نمونه‌های آق‌دربند، B نمونه‌های مشهد و فریمان.



شکل ۶- موقعیت نمونه‌های مافیک-الترامافیک سه مجموعه سنگی در نمودار نسبت CaO/Al_2O_3 در برابر Al_2O_3 [13] . A نمونه‌های آق‌دربند، B نمونه‌های مشهد و فریمان.

ب- زمین‌شیمی عناصر کمیاب: باتوجه به کاستی‌های موجود در خصوص داده‌های مربوط به عناصر کمیاب نمونه‌های آق‌دربند بویژه فقدان نتایج مربوط به طیف کامل عناصر خاکی نادر، امکان مقایسه کامل این سنگ‌ها با دو مجموعه مافیک-الترامافیک دیگر شمال‌شرق ایران در مناطق فریمان و مشهد از لحاظ عناصر کمیاب امکان‌پذیر نمی‌باشد. بنابراین بررسی انجام شده در این بخش تنها به استفاده از داده‌های موجود در خصوص شماری از عناصر کمیاب که در ترسیم نمودارهای عنکبوتی نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند محدود می‌گردد. بطور کلی بررسی و تحلیل داده‌های عناصر کمیاب در سنگ‌های مناطق مشهد و فریمان بر نقش یک منبع گوشته‌ای تهی شده و عمیق دلالت دارد [10] اما در مورد نمونه‌های آق‌دربند اگر چه علایم تهی‌شدگی منبع گوشته‌ای با توجه به نشیب‌های La , Ce می‌توان

استنباط نمود اما علایم مربوط به عمق زیاد مانند تهی شدگی از HREE را که به حضور گارنت در عمق زیاد نسبت داده می‌شود در نمونه‌های آق‌دربند ملاحظه نمی‌گردد [11]، به گونه‌ای که در آن تشکیل گارنت به عنوان کانی مهم حاوی HREE امکان پذیر نبوده است. بنابر این با توجه به داده‌های موجود می‌توان نتیجه گرفت برخلاف مناطق فریمان و مشهد منبع گوشته‌ای سنگ‌ها در اینجا در عمق و فشار کمتر در معرض فرایند ذوب بخشی قرار گرفته است، استنباطی که با مشاهدات عنوان شده در بخش قبل پیرامون زمین‌شیمی عناصر اصلی (شکل ۶) مطابقت می‌نماید.



شکل۶- A محتوای اکسید منیزیم مذاب در فاصله بین منحنی‌های سالیدوس و لیکوئیدوس منبع پریدوتیتی با MgO=39% درصد وزنی) در دامنه‌ای از فشار و دما. B محتوای اکسید آلومینیم مذاب در فاصله بین منحنی‌های سالیدوس و لیکوئیدوس منبع پریدوتیتی با Al_2O_3= 4% (درصد وزنی) در دامنه‌ای از فشار و دما. علایم بکار رفته شامل Ol الیوین، Gt گارنت، Opx ارتوپیروکسن، Cpx کلینوپیروکسن، Anhyd.β ذوب بی‌آب الیوین β، Mw مگنزیووستیت، Mg Pv مگنزیوم پروسکیت، CaPv کلسیم پروسکیت. هر دو نمودار از [14].

۳. نتیجه‌گیری

با توجه به شواهد ارایه شده می‌توان نتیجه گرفت که مجموعه سنگی مافیک- الترامافیک آق‌دربند دارای تفاوت‌های اساسی با دو مجموعه سنگی مشهد و فریمان بوده و صرفنظر از موقعیت جغرافیایی وجه اشتراک چندانی با دو مجموعه دیگر ندارد. حتی دو مجموعه مشهد و فریمان هم با وجود شباهت‌های بسیار در برخی از موارد با یکدیگر تفاوت دارند. برای مثال در فریمان طیف گسترده‌ای از بافت‌های نامتعادل و انواع زیادی از جریان‌های گدازه با ترکیب متنوع مشاهده می‌گردد اما در مناطق مجاور مشهد نه تنها فقدان انواع بافت‌ها نامتعادل را شاهد هستیم بلکه وفور و تنوع ترکیبی گدازه‌ها مانند آنچه در فریمان دیده می‌شود ملاحظه نمی‌گردد. در حقیقت در مجموعه سنگی مافیک-الترامافیک مشهد تنها گدازه‌های بالشی و الترامافیک نودره که ضخامتی بیشتر از ۳۰ متر دارند گواه اصلی در اثبات وجود مذاب‌های فراتافته در این منطقه می‌باشند. بنظر می‌رسد که در منطقه فریمان شرایط برای خروج مذاب راحت‌تر بوده زیرا بخش عمده واحدهای مافیک در مشهد به صورت سیل با ضخامت‌های چند متر تا بیشتر از ۵۰ متر و بندرت به صورت دایک مشاهده می‌گردند. به این ترتیب بر اساس شواهد موجود ممکن است منشا واحد الترامافیک و هارزبورگیتی مجموعه سنگی آق‌دربند را گوشته در نظر بگیریم که در خلال بسته شدن تتیس به سبب آب‌گیری، دگرسانی و کاهش چگالی و حرکت صعودی در پوسته استقرار یافته است. توالی رسوبی-

آتشفشانی مشاهده شده در این مجموعه که فاقد ارتباط پیوسته با واحد الترامافیک است نیز احتمالا در زمانی دیرتر و در یک جایگاه فوق‌فرورانشی تشکیل گردیده است. واحدهای الترامافیک در مناطق مشهد و فریمان شواهد بسیار واضح و غیر قابل انکار دارند که ماهیت آتشفشانی تا کم‌عمق آنها را اثبات می‌نماید و در نتیجه بخشی از پوسته محسوب می‌گردند. علاوه بر این با توجه به شواهد روشنی که از دخالت مذاب‌های غیرعادی با دما و محتوای بالا MgO در پیدایش این سنگ‌ها وجود دارد احتمال نقش یک تنوره گوشته‌ای را در پیدایش آنها مطرح می‌سازد. این فرض بر اساس شواهد سنگ‌خاستی که در بخش زمین‌شیمی عناصر اصلی و کمیاب توضیح داده شد و احتمال تشکیل ماگمای والد سنگ‌ها را در شرایط فشار بالا و عمق زیاد عنوان نمود مطرح می‌گردد. علاوه بر این مطالعاتی هم که پیشتر در خصوص شیمی الیوین در نمونه‌های مشهد و فریمان انجام پذیرفته وجود دمای فراتر از حد عادی را برای رخداد ذوب بخشی درجه بالا و پیدایش مذاب‌های بسیار غنی از MgO الزامی می‌داند [15] .

منابع

[1] درویش زاده، ع.، ۱۳۸۰- زمین شناسی ایران. مو سسه انتشاراتی امیر کبیر، ۹۰۱ صفحه.

[2] افتخار نژاد، ج. و بهروزی. ا.، ۱۳۷۱- یافته های جدید از سنگ های افیولیتی و سنگ های پالئوزوئیک پایانی در شمال خاوری خراسان (ازجمله کپه داغ) و اهمیت ژئودینامیکی آن. فصل نامه علوم زمین سال اول شماره اول، ص ۱۵ - ۴.

[3] آقا نباتی، ع.، ۱۳۸۹- زمین شناسی ایران. سازمان مین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۵۸۶ صفحه.

[4] افشارحرب، ع.، ۱۳۷۳- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. طرح تدوین کتاب زمین شناسی ایران. زمین شناسی ایران، زمین شناسی کپه داغ، ۲۷۵ صفحه.

[9] مولانی،م.، ۱۳۹۳- ژئوشیمی، پتروژنز و ژئوکرونولوژی افیولیت‌های آق‌دربند، پایان نامه کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشگاه علوم پایه دامغان، پژوهشکده علوم زمین، ۱۵۲ صفحه.

[10] معاف پوریان، غ.، ۱۳۸۷- بررسی پترولوژی سنگ های سری کوماتی ایتی شمال شرق ایران در مناطق مشهد و فریمان، پایان نامه دکترا، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، ۳۲۹ صفحه.

[11] معاف پوریان، غ.، ۱۳۸۷- بررسی پتروژنز سنگ های الترامافیک- مافیک منطقه آق دربند (شمال تربت جام). دانشگاه پیام نور مرکز اوز، ۱۳۹۱. طرح پژوهشی.

[15] معاف پوریان، غ.، پورمعافی، م.، وثوقی، م.، امامی، م.ه.، جان نثاری، م.، ۱۳۸۸- بررسی بافت‌های نامتعادل و شیمی کانی‌ها در مجموعه سنگ‌های الترامافیک- مافیک خاور فریمان، شمال خاوری ایران. مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران. سال هفدهم، شماره اول، صفحه ۱۰۹- ۱۳۳.

[5] Gazi, A.M., Hassanipak, A.A., Tucker, P.J., Mbasher, K., DunCan, R.A., 2001- Geochemistry and 40Ar-39Ar ages of the Mashhad Ophiolite, NE Iran: A Rare Occurrenceof a 300 Ma (Paleo-Tethys) Oceanic Crust. Cite abstract as Eos Trans. AGU, 82(47), Fall Meeting. Suppl., Abstract.

[6] Bozorgnia, F., 1973- Paleozoic foraminiferal biostratigraphy of central and east Elbruz mountains, Iran-National Iranian oil company, geological laboratories, publ. No. 4, Tehran.

[7] Kozur, H., Mostler, H. with a preliminary note by Ruttner, A. W., 1991- Pelagic Permian Conodonts from an oceanic sequence at Sang-e-Sefid (Farman, NE- Iran).Abh Geol B-A 38: pp.101- 110.

[8] Topuz, G., Hegner, E., Homam, S.M., Ackerman, L., Pfänder, J.A., Karimi, H., 2018- Geochemical and eochronological evidence for a Middle Permian oceanic plateau fragment in the Paleo-Tethyan suture zone of NE Iran. Contributions to Mineralogy and Petrology. 173:81.

[12] Jensen, L.S., & Pyke, D.R., 1982- In: Arndt, N.T., Nisbet, E.G., (ed.) Komatiites: George Allen & Unwin. pp. 147-157.

[13] Condie, K.C., 2003- Incompatible element ratios in oceanic basalts and komatiites: Tracking deep mantle sources and continental growth rates with time. Geochemistry, Geophysics, Geosistems, an electronic journal of the Earth Sciences, volume 4, number 1, ISSN: 1525-2027.

[14] Herzberg, C., 1995- Generation of plume magmas through time: an experimental perspective Chemial Geology, 126, pp.1-16.