مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال هجدهم، شمارهٔ ۴، زمستان ۸۹، از صفحهٔ ۷۰۹ تا ۷۲۲

شم و انگلیسی

انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران

پتروژنز سنگ‌های آداکیتی پس از تصادم پلیو کواترنری در شمالغرب مرند

غلامرضا احمدزاده[۱]، احمد جهانگیری[۲]، منصور مجتهدی[۲]، دیوید لنتز[۳]

۱ -گروه آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی

۲- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۳ -دانشکده زمین شناسی، دانشگاه نیو برانزویک، کانادا

(دریافت مقاله: ۸۸/۱۲/۹ ، نسخه نهایی: ۸۹/۴/۱۳)

چکیده: در شمال‌غرب مرند در بخش شمالی نوار آتشفشانی ارومیه-دختر مجموعه‌ای از سنگ‌های آتش‌فشانی با ترکیب آندزیت، داسیت، بازالت‌های سدیک، پتاسیک و اولتراپتاسیک قلیایی برونزد دارند که در گستره‌ی زمانی میوسن بالائی تا کواترنری به سطح زمین راه یافته‌اند. این مقاله به بخش ترکیب‌های آندزیتی و داسیتی این سنگ‌ها می پردازد که به‌طور پراکنده از داخل مجموعه آذرآواری بیرون ریخته‌اند. این سنگ‌های آتشفشانی دارای بافت پرفیری هستند که شامل فنوکریست‌های پلاژیوکلاز، هورنبلند، پیروکسن و به مقدار کم بیوتیت هستند. از لحاظ ژئوشیمیایی این سنگ‌ها دارای مقادیر SiO_2 در گستره‌ی ۶۷/۸ – ۵۷/۵ درصد وزنی، Al_2O_3 (۱۴/۵ تا ۱۶/۳)، Sr (۵۷۷- ۱۱۸۵) بالا، نسبت‌های بالای Sr/Y (۳۰/۷- ۸۴/۴۶) و La/Yb (۱۳/۲۷- ۶۱/۳۶) و مقادیر پایین Y (۱۱/۲-۲۰/۲) هستند که نشان‌دهنده ویژگی آداکیتی این ماگماها هستند. ویژگی‌های ژئوشیمیائی نمونه‌های منطقه‌ی با آداکیت‌های پر سیلیس (Sr<1100 ppm, Na_2O+K_2O<11 %wt, MgO = 0.85-3.5) همخوانی دارد که نشان می‌دهد آداکیت‌های منطقه‌ی مورد بررسی همانند آداکیت‌های پرسیلیس از ذوب صفحه‌ی بازالتی فرورونده به وجود آمده‌اند. همچنین این سنگ‌ها از عناصر LILEs و LREEs غنی‌شدگی نشان می‌دهند (۶/۳۳- ۲۶/۳۹=(Ce/Yb)N) و دارای تهی‌شدگی نسبی از عناصر انتخابی HFSEs مانند Ta, Ti و Nb هستند. الگوی شدید جدایشی در REE و نیز مقادیر پایین HREEs و Y ممکن است به دلیل وجود گارنت و یا آمفیبول در پسمانده‌ی جامد ماگمای این سنگ‌ها باشد. همچنین مقادیر بالای استرانسیم و بیهنجاری منفی تانتالیم، نیوبیوم و تیتانیم می‌تواند نشانگر عدم حضور پلاژیوکلاز و حضور اکسیدهای آهن و تیتان در تفاله‌ی باقیمانده‌ی ذوب باشد. ویژگی‌های ژئوشیمیائی سنگ‌های منطقه نشان می‌دهند که شکسته شدن صفحه‌ی اقیانوسی فرورونده و ذوب باقیمانده‌ی این صفحه موجب تولید ماگماتیسم آداکیتی منطقه‌ی شمال‌غرب مرند شده‌اند .همچنین بالا بودن مقادیر باریم، توریم و روبیدیم می‌تواند در اثر آغشتگی ماگما با مواد پوسته‌ای در طول صعود ماگماست.

واژه‌های کلیدی: *آداکیت، نئوتتیس، فرورانش، نوار ماگمائی ارومیه – دختر و شمالغرب ایران*

مقدمه

آداکیت‌ها سنگ‌های غنی از سیلیسیم بوده که دارای مقادیر بالای Sr/Y و La/Yb هستند و در محیط‌های زمین ساختی مثل زون‌های فرورانشی، برخوردگاه‌های قاره‌ای و محیط‌های کششی تشکیل می شوند [۱-۳]. این سنگها همچنین به آندزیتهای با منیزیم بالا اطلاق می شوند که بر خلاف بونینیتها دارای غنی شدگی شدید LREEs (مقادیر La/Yb>۴۰)، مقادیر بالای استرانسیوم (Sr>۴۰۰)، مقادیر بالای نسبت

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۴۴۱۹۲۲۳۱، پست الکترونیکی: gholamrezaahmadzadeh@yahoo.com

Archive of SID

www.SID.ir

Sr/Y، نسبتهای پایین Sr^{87}/Sr^{86}، و مقادیر پایین نسبتهای سرب رادیوژنیک و غیر رادیوژنیک اند [۴،۱] همچنین از لحاظ سنگ شناسی آداکیتها سری سنگهای حدواسط تا اسیدی هستند که دامنه ی تغییرات آنها از هورنبلند آندزیت تا داسیت و ریولیت را در بر می گیرند. بازالت در این مجموعه غایب است . از لحاظ کانی شناسی مجموعه‌ی آداکیتی دارای فنوکریستهای پلاژیوکلاز منطقه بندی شده، هورنبلند و بیوتیت اند و ارتوپیروکسن و کلینو پیروکسن فقط در آندزیتهای مافیک مشاهده می شوند. کانیهای فرعی این سنگها شامل آپاتیت، زیرکن، اسفن و تیتانومگنتیت هستند [۱۶،۱].

بررسیهای اولیه نشانگر تشکیل ماگماهای آداکیتی از ذوب بخشی صفحه ی اقیانوسی گرم و جوان فرورونده بوده [۵] ولی امروزه تشکیل سنگهای آداکیتی علاوه بر جزایر قوسی جوان از مناطق قوسهای قاره ای، کمانهای آتشفشانی بالغ و مناطق پس از برخورد نیز گزارش شده است[۱].

پهنه‌ی ایران از لحاظ زمین ساختی فعال بوده و در کمربند کوهزائی آلپ هیمالیا واقع شده است و از لحاظ ساختاری به قطعات متفاوتی تقسیم می شود .فرورانش نئوتتیس به زیرایران مرکزی در طول کرتاسه فوقانی و پالئوژن و برخورد دو ورقه ایران و عربی در ترشیری باعث ایجاد چهار زون ساختاری در ایران شده است . که عبارتند از، زاگرس مرتفع، زاگرس چین خورده، زون دگرگونی سنندج-سیرجان و نوار ماگمائی ارومیه-دخترند[۶]. فعالیت ماگمائی در پهنه ی ایران در تمام زمانها رخ داده ولی اوج آن در ائوسن بوده است. در منطقه ی مورد بررسی که در بخش شمالی گسل تبریز و در ۲۰ کیلومتری شمالغرب مرند واقع شده و سنگهای با ترکیب حدواسط - اسیدی در گستره ی گسترده ای بیرون ریخته اند که ماهیت آداکیتی دارند. بررسیهای ژئوشیمیائی نشان می دهد که ترکیب این سنگها از حدواسط - اسیدی به سمت سدیک، پتاسیک و فوق پتاسیک قلیایی تغییر می کند [۷]. ماگماتیسم آداکیتی در زون ارومیه دختر توسط[۸] در ناحیه ی بافت، انار و قم و توسط [۹] در شمالغرب ایران از منطقه تبریز، مرند و جلفا گزارش شده است. در شمال ایران ماگماتیسم پلیوکواترنری فوق پتاسی پس از ماگماتیسم آداکیتی با ترکیب داسیتی بیرون ریخته است[۹]. با توجه به گزارش چندین مورد برونزد سنگهای آداکیتی از نوار ارومیه – دختر [۹،۸] و محیط ژئودینامیکی تشکیل آنها، بررسی سنگهای آداکیتی سنوزوئیک ایران میتواند در روشن شدن مباحث وابسته به فرورانش صفحه‌ی نئوتتیس به زیر ایران مرکزی، سرنوشت صفحه ی فرورونده و زمان فرورانش کمک فراوانی کند .از اینرو در این مقاله به بررسی ژئوشیمی، کانی شناسی و خاستگاه سنگهای آداکیتی که در همراهی با سنگهای سدیک، پتاسیک و اولتراپتاسیک قلیایی هستند، پرداخته شده است.

روش کار

پس از بررسیهای صحرائی و مشخص شدن روابط سنی و صحرائی انواع سنگهای منطقه، بررسیهای آزمایشگاهی و بررسی بیش از ۶۰ مقطع نمونه تهیه شده از سنگهای سری حدواسط-اسیدی منطقه انجام شد که در کنار سنگهای سدیک و پتاسیک قلیایی واقع شده اند. پودر تعداد ۱۳ نمونه از سنگهای سالم منطقه با استفاده از آسیاب تحقیقی تهیه شد که تعداد ۵ نمونه در دانشگاه تبریز بروش XRF مورد بررسی قرار گرفت و تعداد ۸ نمونه برای تجزیه عناصر اصلی و فرعی به آزمایشگاه ALS-Chemex به کانادا ارسال شدند که برای عیین مقادیر اکسیدهای عناصر اصلی از دستگاه XRF و برای تعیین میزان عناصر کمیاب از دستگاه ICP-MS استفاده شد (جدول ۱).

زمین شناسی ناحیه ای و سنگ نگاری سنگهای منطقه

منطقه‌ی مورد بررسی در شمالغرب مرند و در بخش شمالی زون ماگمائی وابسته به فرورانش ارومیه-دختر واقع شده است. گدازه های با ترکیب حدواسط و اسیدی به صورت پراکنده از داخل مجموعه ی سنگی پیروکلاستیک با همان ترکیب بیرون ریخته است. بررسیهای صحرائی نشان می دهد که سن نسبی این مجموعه های سنگی با توجه به اینکه مارنهای ژیپس دار میوسن را قطع کرده اند میوسن بالایی تا پلیوسن است که در قسمتهای حاشیه ای گدازه های با ترکیب سدیک و پتاسیک قلیایی پس از مجموعه حدواسط اسیدی بیرون ریخته است (شکل ۱). منطقه ی مورد بررسی به گسل تبریز و دره دیز محدود می شود.

Archive of SID

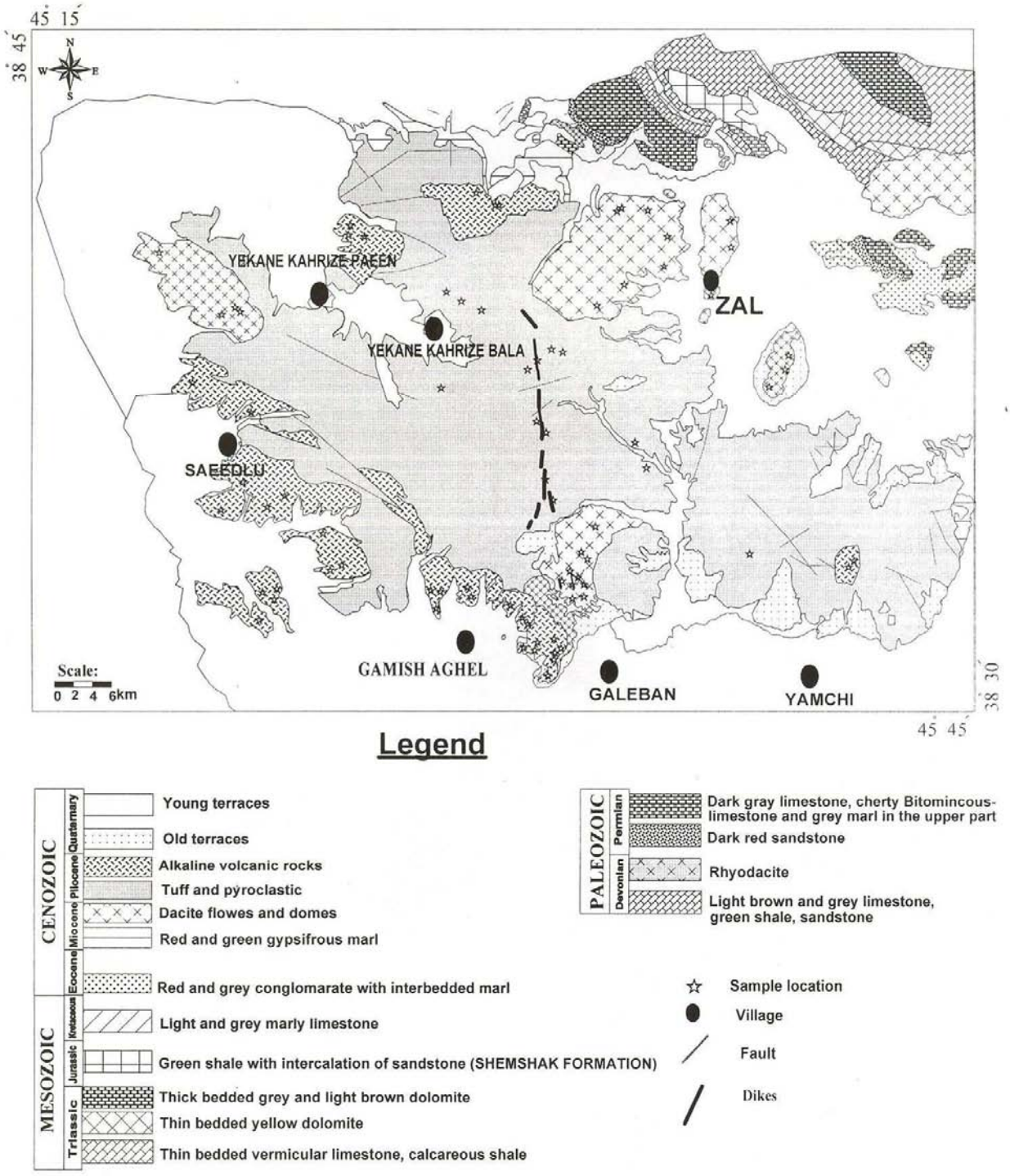
www.SID.ir

جدول ۱ نتایج آنالیز شیمیائی عناصر اصلی، فرعی و نادر خاکی از نمونه های انتخاب شده سنگهای منطقه ی مورد بررسی.

Rock type	Intermediate-Acidic series												
samples	BA2	DA14	L-1	L-2	BA1	DA3	DA5	DA11	GKH-1	GKH-2	GKH-4	F45	F47
SiO2	۵۷/۵	۶۲/۴	۶۵/۱	۶۵/۲	۵۷/۶	۶۴/۲	۶۲/۵	۶۳/۲	۶۶/۵	۶۶/۸	۶۷/۸	۶۴/۹	۵۸/۵
TiO2	۰/۹۹	۰/۵۵	۰/۴۶	۰/۴۸	۰/۹۶	۰/۵۹	۰/۵۲	۰/۴۲	۰/۶۸	۰/۳۵	۰/۶۷	۰/۵۲	۰/۸۹
Al2O3	۱۵/۶	۱۵/۹	۱۶/۳	۱۶/۳	۱۶/۲	۱۵/۵	۱۵/۳	۱۵/۶	۱۴/۵	۱۵/۲	۱۴/۵	۱۶/۲	۱۵/۹
Fe2O3	۵/۶۶	۳/۹۶	۳/۸۶	۴/۴۵	۶/۱۷	۵/۷	۳/۸۹	۳/۱۸	۳/۹۲	۳/۷	۳/۸۱	۳/۸۴	۶/۱۳
CaO	۵/۵	۵/۰۴	۳/۸۶	۴/۲۹	۵/۷۲	۶/۰۵	۴/۶۶	۴/۳۷	۴/۵۴	۴/۱۸	۴/۳۷	۴/۵۷	۷/۳۴
MgO	۳/۵	۲/۲۱	۰/۹۸	۱/۰۴	۳/۴۵	۱/۲۳	۲/۰۴	۲/۱	۱/۳۸	۱/۱۶	۱/۳	۰/۸۵	۱/۶۳
Na2O	۵/۲۷	۵/۳۱	۴/۳	۴/۲۹	۵/۱۹	۳/۶۴	۵/۲۸	۵/۲۲	۴	۳/۹۶	۴/۰۸	۴/۵۲	۴/۳۷
Cr2O3	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱					
MnO	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۶
P2O5	۰/۶۵	۰/۳۶	۰/۲۱	۰/۲	۰/۶۱	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۱۵	۰/۳۴	۰/۳۵	۰/۳۳	۰/۱۹	۰/۳۴
LOI	۰/۹	۱/۲۸	۰/۸۲	۱	۰/۷۸	۱/۴۲	۱/۲۷	۱/۶۶	۰/۵۴	۰/۱۳	۰/۳۷	۱/۱۱	۱/۲۹
Total	۹۸/۷	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۱	۹۹/۸	۱۰۰	۹۸/۷	۹۹	۹۹/۷	۹۹/۴	۹۹/۹	۹۹/۹	۱۰۰
Ba	۱۲۰۰	۱۴۵۵	۱۰۷۰	۸۸۵	۱۲۹۵	۶۶۳	۱۴۰۵	۱۲۹۰	۷۹۵	۷۴۲	۷۶۴	۷۴۱	۷۱۸
Rb	۵۶/۲	۶۹	۱۴۳	۱۲۴	۶۶/۵	۳۴/۱	۷۲/۵	۶۹/۵	۹۴	۹۴	۹۲	۵۸	۵۵
Th	۱۷/۴	۲۱/۶	۱۹/۲	۱۶/۱	۲۰/۶	۵/۳۹	۲۱/۳	۱۸/۴	۳۱	۲۶	۲۳	۶	۷
Sr	۱۰۳۰	۱۰۴۵	۹۷۲	۷۱۸	۱۱۸۵	۵۷۷	۱۱۰۵	۹۴۶	۷۳۷	۷۱۹	۷۳۷	۶۹۰	۷۶۱
Nb	۱۹/۸	۲۰/۴	۱۷/۴	۱۴/۹	۲۱/۴	۸/۷	۱۸/۹	۱۵/۶	۱۵	۱۸	۱۹	۹۰	۹۲
Co	۲۲/۱	۱۶/۴	۸/۷	۷/۱	۱۹/۵	۱۰	۱۲/۱	۱۱/۳	۱۳	۹	۶	۸	۱۱
Cr	۹۰	۱۵۰	۸۰	۱۰۰	۸۰	۹۰	۱۵۰	۱۲۰	۳۸	۳۹	۴۲	۴۹	۱۳۲
Cs	۳/۱۱	۲/۲۹	۵/۵۱	۵/۶۲	۴/۰۴	۱/۵۴	۲/۶۴	۴/۹۲					
Cu	۶۹	۵۷	۲۴	۱۷	۴۸	۱۷	۳۹	۳۰	۲۵	۱۶	۱۹	۱۵	۳۱
Ga	۲۰/۱	۲۰	۱۹/۶	۱۸	۲۱	۱۸/۹	۱۹/۵	۱۹/۳	۱۲	۱۷	۲۲	۱۳	۱۹
Hf	۵	۴/۸	۴/۹	۳/۹	۵/۱	۲/۹	۴/۳	۴				۳۹	۴۰
Mo	۳	۲	۳	۴	۵	۴	۲	۵				۴	۶
Ni	۳۶	۴۹	۸	۱۷	۳۹	۲۵	۵۱	۴۸	۴۶	۳۶	۴۲	۳۹	۵۶
Pb	۲۷	۳۴	۴۰	۳۲	۲۷	۱۲	۳۱	۳۰	۱۲	۲۱	۲۱	۲۰	۱۸
Sn	۲	۲	۱	۲	۳	۱	۲	۲					
Ta	۱/۱	۱/۲	۱/۲	۰/۹	۱/۱	۰/۵	۱	۰/۹					
U	۴/۵۹	۶/۸۲	۶/۱۹	۴/۲۸	۴/۹۷	۱/۲۶	۶/۲	۵/۳۸	۵	۴	۹	۳	۱
V	۱۸۰	۸۲	۸۱	۵۵	۱۴۵	۶۶	۴۸	۵۹	۶۸	۵۷	۶۳	۶۲	۱۰۰
W	۶	۷	۱۸	۹	۵	۲	۵	۵					
Y	۱۶/۸	۱۲/۷	۱۸	۱۸/۴	۲۰/۲	۱۸/۸	۱۳/۶	۱۱/۲	۱۶	۱۷	۱۸	۱۳	۱۵
Zn	۹۶	۷۲	۷۴	۷۴	۹۴	۷۳	۵۹	۶۳	۵۵	۵۰	۵۳	۵۶	۷۲
Zr	۱۹۶	۱۹۳	۲۰۳	۱۸۳	۲۲۲	۱۳۴	۱۹۴	۱۸۲	۲۱۷	۲۰۳	۲۱۴	۱۹۰	۱۸۹
Ag	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱		
La	۶۴/۹	۶۱/۴	۴۲/۶	۴۴/۹	۷۳/۹	۲۶	۶۳/۲	۴۹	۱۸	۴۵	۶/۳۴	۵۵	۴۱
Ce	۱۲۳	۱۰۵	۷۵/۳	۷۵/۷	۱۳۷	۴۸	۱۰۶	۷۹/۷	۵۸	۱۲۳	۹/۶۹	۲۲	۶۳
Pr	۱۴	۱۱	۷/۹	۷/۷۲	۱۵/۴	۵/۳۷	۱۰/۸	۸/۲۵			۱/۴۲		
Nd	۵۱/۹	۳۸/۶	۲۷/۴	۲۶/۳	۵۴/۶	۲۰/۴	۳۶/۳	۲۸			۷/۶۹		
Sm	۹/۰۲	۶/۲	۴/۷۸	۴/۶۴	۹/۶۹	۳/۹۴	۵/۸۷	۴/۵۲			۱/۰۸		
Eu	۲/۱	۱/۴۸	۱/۲۶	۱/۲۴	۲/۲۱	۱/۲۵	۱/۵۴	۱/۲۷			۰/۴۳		
Gd	۷/۷۷	۵/۵۸	۴/۷۶	۴/۶۴	۷/۶۴	۳/۷۵	۵/۲۳	۴/۳۹			۱/۰۳		
Tb	۰/۹۱	۰/۶۵	۰/۶۳	۰/۶۶	۱/۰۲	۰/۵۹	۰/۶۴	۰/۵۴			۰/۲		
Dy	۳/۸۹	۲/۸۴	۳/۲۸	۳/۱۵	۴/۰۵	۳/۲۷	۲/۷۷	۲/۱۶					
Ho	۰/۶۸	۰/۵۱	۰/۶۴	۰/۶۳	۰/۷۵	۰/۷	۰/۵۱	۰/۴۲					
Er	۱/۹۶	۱/۴۴	۱/۹	۱/۹۶	۲/۰۲	۲/۰۲	۱/۳۳	۱/۱۶					
Tm	۰/۲۳	۰/۱۶	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۲۵	۰/۳۲	۰/۱۷	۰/۱۶					
Yb	۱/۵۱	۱/۱	۱/۸۸	۱/۹۱	۱/۴۷	۱/۹۶	۱/۰۳	۰/۸۹					
Lu	۰/۲	۰/۱۷	۰/۳۱	۰/۳	۰/۲۲	۰/۳۳	۰/۱۷	۰/۱۴					

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱ نقشه ی زمین شناسی منطقه ی مورد بررسی (کامل شده از نقشه های ۱/۱۰۰۰۰۰ چهارگوش مرند و قره ضیاءالدین تهیه شده توسط سازمان زمین شناسی).

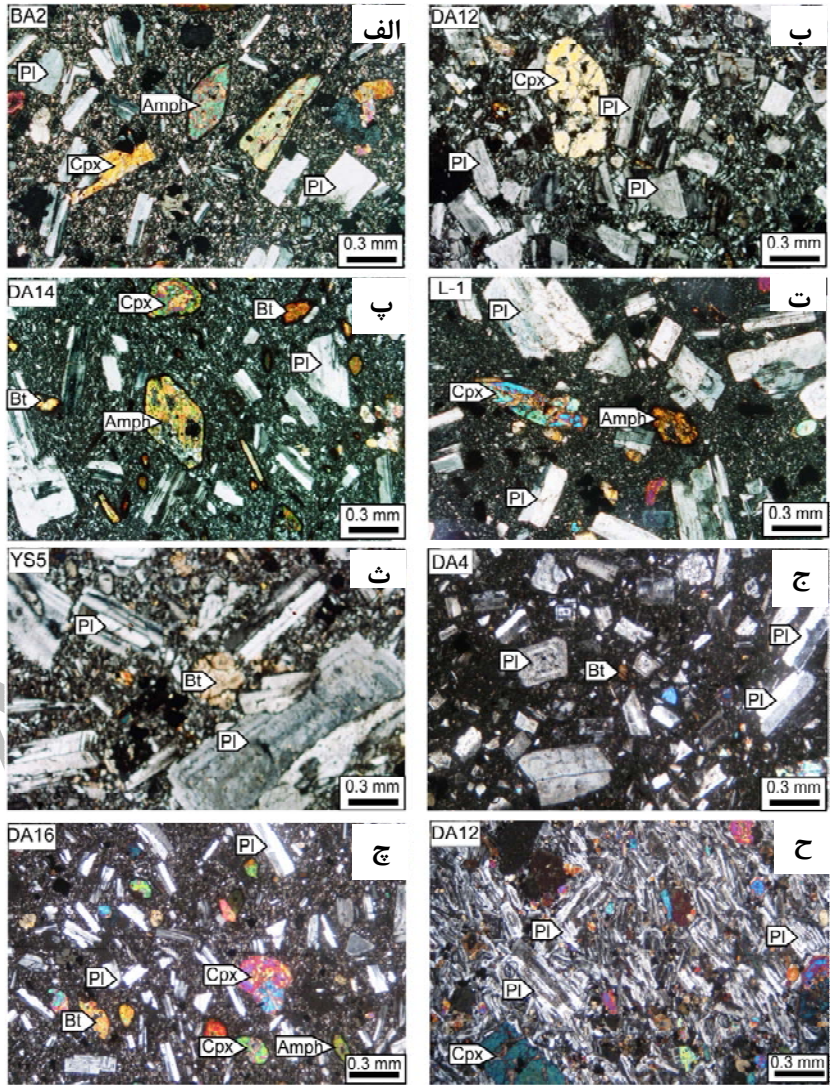
بررسیهای کانی شناسی و میکروسکوپی نمونه های منطقه شامل تراکی آندزیت، تراکی داسیت و داسیت با ترکیب دواسط و اسیدی، به رنگ خاکستری تا خاکستری روشن بوده و بافت ریزبلوری پورفیری دارد که بیشتر، پلاژیوکلاز به همراه با کلینوپیروکسن، هورنبلند و بمقدار کمتر بیوتیت، فنوکریستهای این سنگها را تشکیل می دهند و در زمینه ای از ریز بلورهای

www.SID.ir

پلاژیوکلاز، آمفیبول، بیوتیت، کلینوپیروکسن و بمقدار کمتر کوارتز قرار دارند (شکل ۲).

پلاژیوکلاز اصلی ترین کانی تشکیل دهنده ی این سنگها محسوب می شود و اندازه ی آنها در نمونه های مختلف از ۰/۲ تا ۱/۸ میلیمتر متغیر است که در یک زمینه ی ریزدانه و شیشه ای قرار گرفته اند و بافت پورفیری دارند (شکل ۲). بلورهای پلاژیوکلاز عموما نیمه شکل دار تا شکل دارند و انواع ماکلهای تکراری، آلبیتی، کارلسباد و منطقه بندی نوسانی در آنها دیده می شود (شکل ۲).

کلینوپیروکسن: کلینوپیروکسن نیز به صورت درشت بلور و ریزبلور در سنگهای منطقه مشاهده می شود و مقدار آن در نمونه های مختلف متغیر است (شکل۲ الف، ب، پ، ت، ث). نتایج آنالیز ریزپردازش الکترونی تعدادی از کلینوپیروکسنها که در آزمایشگاه دانشگاه نیوبرانزویک کانادا انجام شده (جدول نتایج آورده نشده است) نشان می‌دهد که ترکیب بلورهای کلینوپیروکسن در گستره ی دیوپسید قرار می گیرند و دارای عدد منیزیم ($Mg/(Mg+Fe^{2+})$) بالا (۸۳/۷- ۹۶/۸)، مقادیر Al_2O_3 (۰/۵۴ تا ۵/۰۶)، مقادیر Na_2O کمتر از ۱/۲۳ و در گستره ی ۰/۱۶ تا ۱/۲۳ ، مقادیر TiO_2 در گستره‌ی ۰/۳ تا ۲/۱۹ و نیز مقادیر پایین Al^6/Al^4 (صفر تا ۰/۴۴) هستند.



شکل ۲ تصاویر میکروسکوپی از نمونه های سنگهای آداکیتی منطقه. الف) درشت بلورهای کلینوپیروکسن، پلاژیوکلاز و آمفیبول ب) درشت بلورهای کلینوپیروکسن، پلاژیوکلاز پ) درشت بلور ه ای کلینوپیروکسن، پلاژیوکلاز و آمفیبول و اکسی بیوتیت ت) درشت بلورهای پلاژیوکلاز و اکسی هورنبلند ث) درشت بلورهای پلاژیوکلاز دارای منطقه بندی و بیوتیت. ج) پلاژیوکلازهای دارای منطقه بندی و ماکل کارلسباد. چ) بلورهای کلینوپیروکسن ، پلاژی وکلاز و آمفیبول در زم ینه ر یزبلور و شیشه ای ح) بلورهای سوزنی و کشیده پلاژیوکلاز در یک زمینه ی ریز بلور.

www.SID.ir

مقادیر پایین سدیم در کلینوپیروکسنهای سنگهای منطقه نشاندهنده ی فقر آنها از آکمیت است. نمود M1 معمولا با Mg (۰/۶۸۵ تا ۰/۹۰۶)، مقادیر کمی Fe^{2+} (۰/۰۳۰ تا ۰/۱۳۶) و R3 (Ti^{4+} $Cr^{3+}Fe^{3+}Al^{6}$) به میزان (۰/۰۵ تا ۰/۲۳) و نمود M2 بیشتر با Ca (۰/۸۵۸ تا ۰/۹۴۱) و مقادیر سدیم کمتر از ۰/۰۸۸ و منیزیم کمتر (۰/۰۱۷ تا ۰/۰۹۳) پر شده است. در اکثر کلینوپیروکسنها AlT در نمودهای چهارتایی بجای Si^{4+} نشسته است. مقادیر Fe^{3+} نیز در این کانیها متفاوت بوده و در هر کانی نیز تغییراتی را نشان می دهد که احتمالا در اثر شرایط اکسایش متفاوت در ماگما یا گریزندگی اکسیژن معکوس در ماگماست [۱۰].

آمفیبول: آمفیبولهای موجود در سنگهای منطقه از نوع هورنبلند بوده و در بیشتر نمونه ها به ویژه انواع حدواسط حضور دارند. مقدار آن در حدود ۵ الی ۱۵ درصد تغیر می کند. هورنبلندها در مقاطع عرضی هم بصورت لوزی و هم نیمه شکل دار دیده می شوند (شکل۲ الف، پ). برخی هورنبلندها از حاشیه اکسیده شده و به اکسی هورنبلند تبدیل شده اند (شکل ۲ ت).

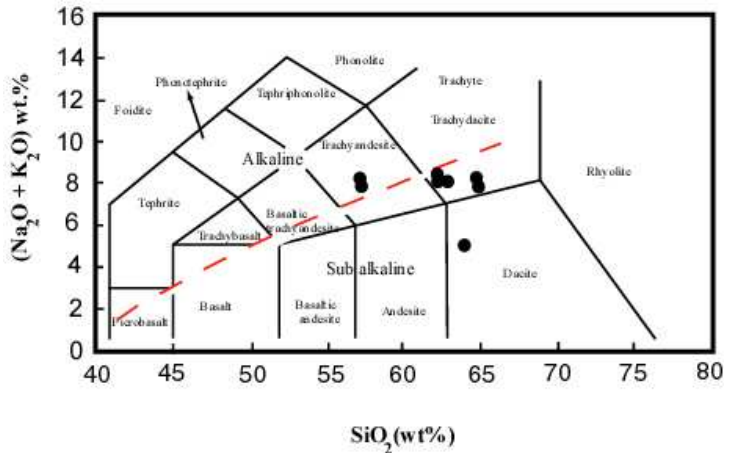
بیوتیت :بیوتیت به عنوان یک کانی آبدار در بیشتر سنگهای منطقه حضور دارد و مقدار آن در حدود ۵ درصد یا کمتر است. چند رنگی بیوتیتها از قهوه ای کمرنگ تا قهوه ای تیره قابل مشاهده است. برخی از بیوتیتها همانند آمفیبولها از حاشیه اکسیده شده و حالت کدر بخود گرفته اند (شکل ۲ پ). نتایج آنالیز ریزپردازش الکترونی سه نمونه از میکاهای منطقه نشان میدهد هر سه نمونه آنالیز شده از سنگهای سری حدواسط-اسیدی در گستره ی بیوتیتهای منیزیم دار قرار می-گیرند [۱۰].

از کانیهای کمیاب موجود در این سنگها می توان به آپاتیت و اکسیدهای آهن و تیتانیم اشاره کرد که به صورت ریزبلور در زمینه و در مواردی در پلاژیوکلازها و بیوتیتها و پیروکسنها یافت می شوند.

بحث و بررسی

ژئوشیمی

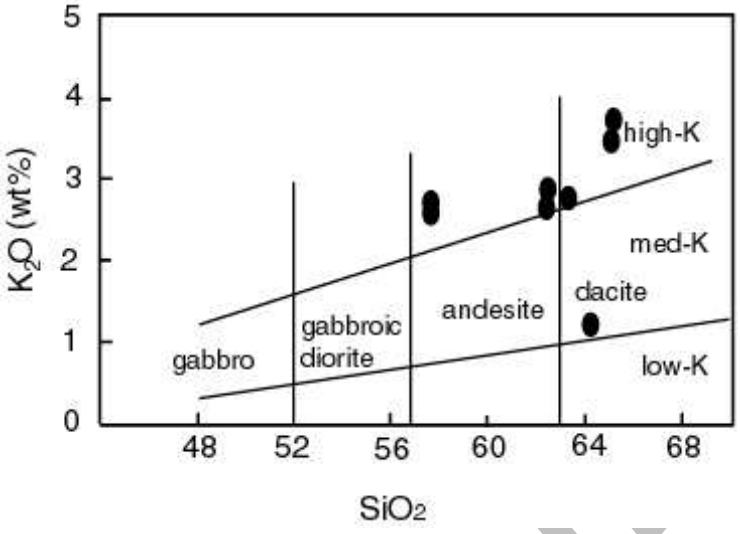
دامنه ی مقادیر SiO_2 نمونه های منطقه از ۵۷/۵ تا ۶۵/۲ تغییر می کند . برای نامگذاری سنگهای منطقه از نمودار مجموع عناصر قلیایی نسبت به سلیس [۱۱] استفاده شده است (شکل ۳). در این نمودار نمونه ها در گستره ی تراکی آندزیت، تراکی داسیت و داسیت قرار می گیرند. استفاده از نمودار K_2O نسبت به سیلیس نشان می دهد که سنگهای منطقه در گستره ی سنگهای با پتاسیم بالا و یک نمونه در گستره ی با پتاسیم متوسط واقع می شوند (شکل ۴). تمام این نمونه ها دارای مقادیر Al_2O_3 بالای ۱۵ درصد وزنی و مقادیر بالای Na_2O هستند. نسبت K_2O/Na_2O در این سنگها بیش از ۱ بوده و در حدود ۱/۲-۲/۸ است. استفاده از نمودار Zr نسبت به Y [۱۲] نشان می دهد که نمونه های منطقه ماهیت آهکی- قلیایی دارند (شکل ۵). همچنین این سنگها دارای تمرکز پایین عناصر نادر خاکی سنگین و Y (۱۱/۲-۲۰/۲) هستند. با در نظر گرفتن این ویژگیهای به همراه با مقادیر بالای Sr و نسبت بالای Sr/Y، این سنگها را میتوان در نمودار Y نسبت به Sr/Y به عنوان آداکیت رده بندی کرد (شکل ۶).



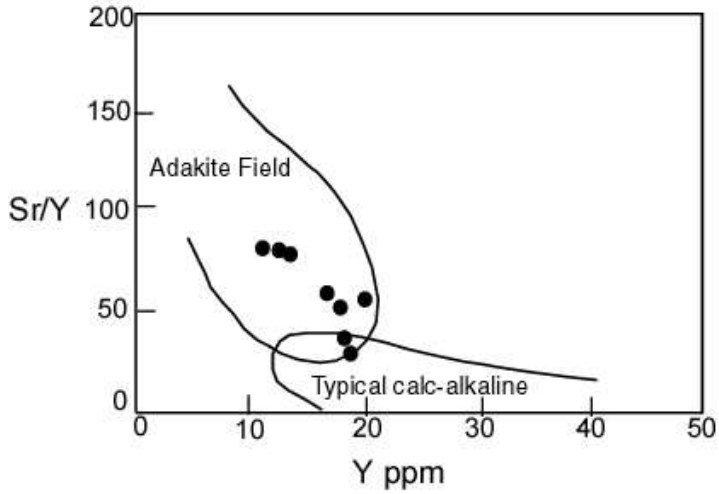
شکل ۳ نمودار مجموع عناصر قلیایی نسبت به سیلیس از [۱۱] برای رده بندی سنگهای آتشفشانی منطقه.

Archive of SID

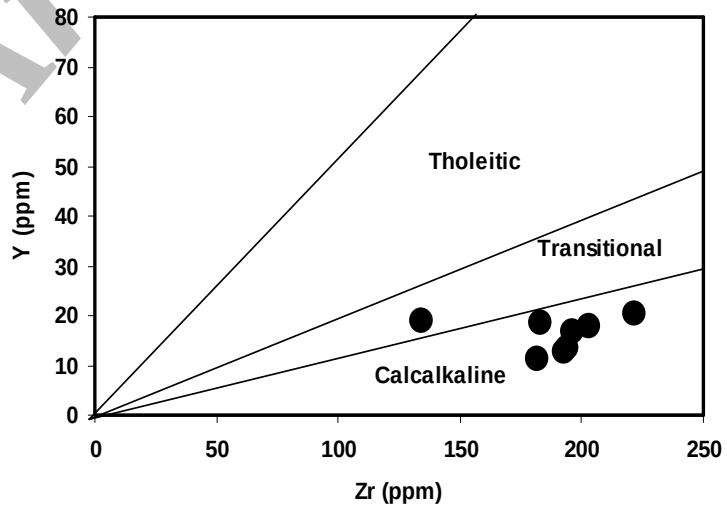
www.SID.ir



شکل ۴ نمودار K_2O نسبت به SiO_2 برای تعیین سری ماگمائی سنگهای بررسی شده.



شکل ۵ نمودار Sr/Y نسبت به Y برای تعیین ماگماهای آداکیتی از آهکی- قلیایی معمولی.



شکل ۶ نمودار Zr نسبت به Y برای تعیین سری ماگمائی.

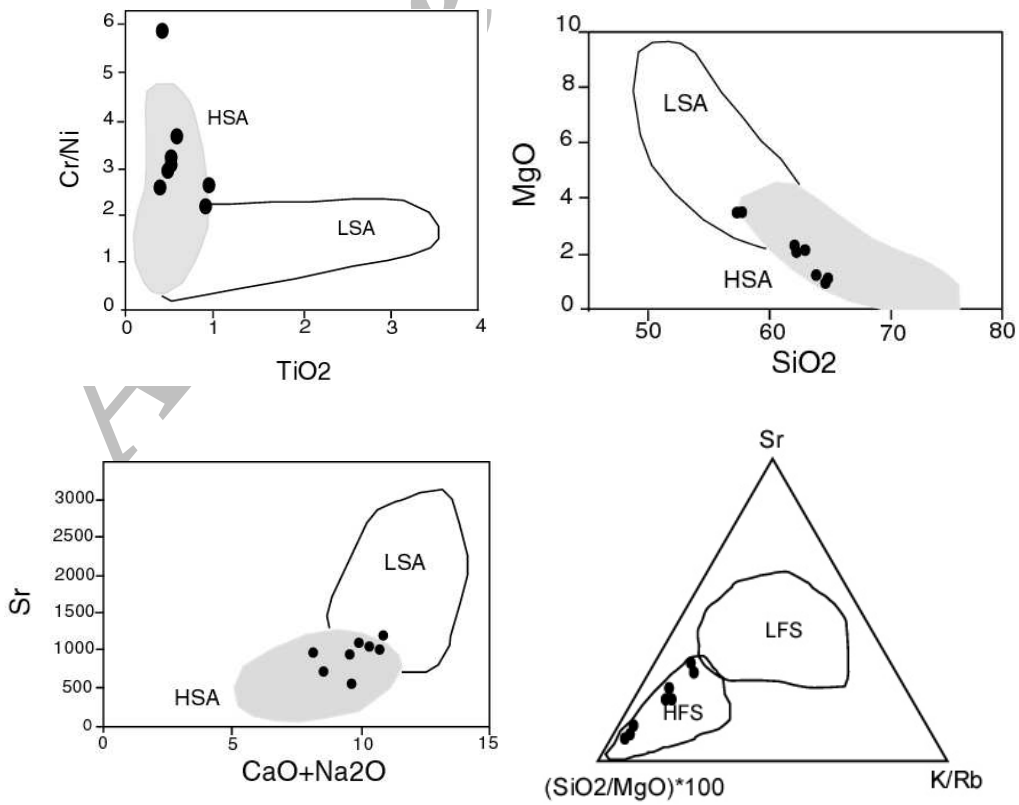
www.SID.ir

آداکیتها را بر اساس ویژگیهای کانی شناسی و ژئو شیمیائی به دو گروه آداکیتهای پرسیلیس و کم سیلیس تقسیم بندی می کنند که این دو گروه دارای خاستگاه متفاوتی هستند. آداکیتهای پر سیلیس دارای مقادیر استرانسیوم کمتر از ۱۱۰۰ ppm (Sr <۱۱۰۰ppm)، و مقادیر MgO بین ۰/۵ تا ۴ درصد وزنی، مجموع اکسیدهای سدیم و پتاسیم کمتر از ۱۱ درصد وزنی ($Na_2 + K_2O$<٪۱۱) هستند. در صورتی که آداکیتهای کم سیلیس دارا ی مقادیر MgO بین ۴ تا ۹ درصد وزنی، استرانسیوم بیشتر از ۱۰۰۰ ppm، و نیز مجموع اکسیدهای سدیم و پتاسیم بیشتر از ۱۰ درصد وزنی است [۱۳]. خاستگاه آداکیتهای پرسیلیس را به ذوب صفحه ی بازالتی فرورونده نسبت می دهند که می تواند با گوه ی گوشته ای در طول صعود ماگما واکنش دهد ولی خاستگاه آداکیتهای کم سیلیس را به ذوب گوه ی گوشته ی پریدوتیتی که ترکیب آن مورد تاثیر فلسیک آبگون صفحه ی فرورونده قرار گرفته،است وابسته می دانند [۱۳].

تمام ویژگیهای ژئوشیمیائی نمونه های منطقه (۰/۹۸ -۳/۵ = MgO, Na_2O+K_2O<11 %wt, Sr<1100 ppm) با آداکیتهای پر سیلیس همخوانی دارد، بطوری که نمودارهای Cr/Ni نسبت به TiO_2، Mg# (MgO/MgO+FeO) نسبت به SiO_2 و Sr نسبت به $CaO+Na_2O$ و نمودار مثلثی K/Rb, Sr, $(SiO_2/MgO)*100$ نیز نشانگر این ادعاست (شکل ۷).

علاوه بر مباحث بالا برای تعیین محیط زمین ساختی نمونه های منطقه، از نمودارهای مختلف استفاده شد که نشان میدهد تمامی نمونه ها در گستره ی حاشیه ی فعال قاره ای قرار می گیرد (شکل ۸ الف، ب، پ). برای جدا کردن گستره ی حاشیه های فعال قاره ای با محیط پس از تصادم از نمودار سه تایی $Zr*3, Nb*50, Ce/P_2O_5$ از [۱۶] استفاده شد که نشان می دهد نمونه های منطقه در یک محیط پس از برخورد تشکیل شده اند (شکل ۸ ت).

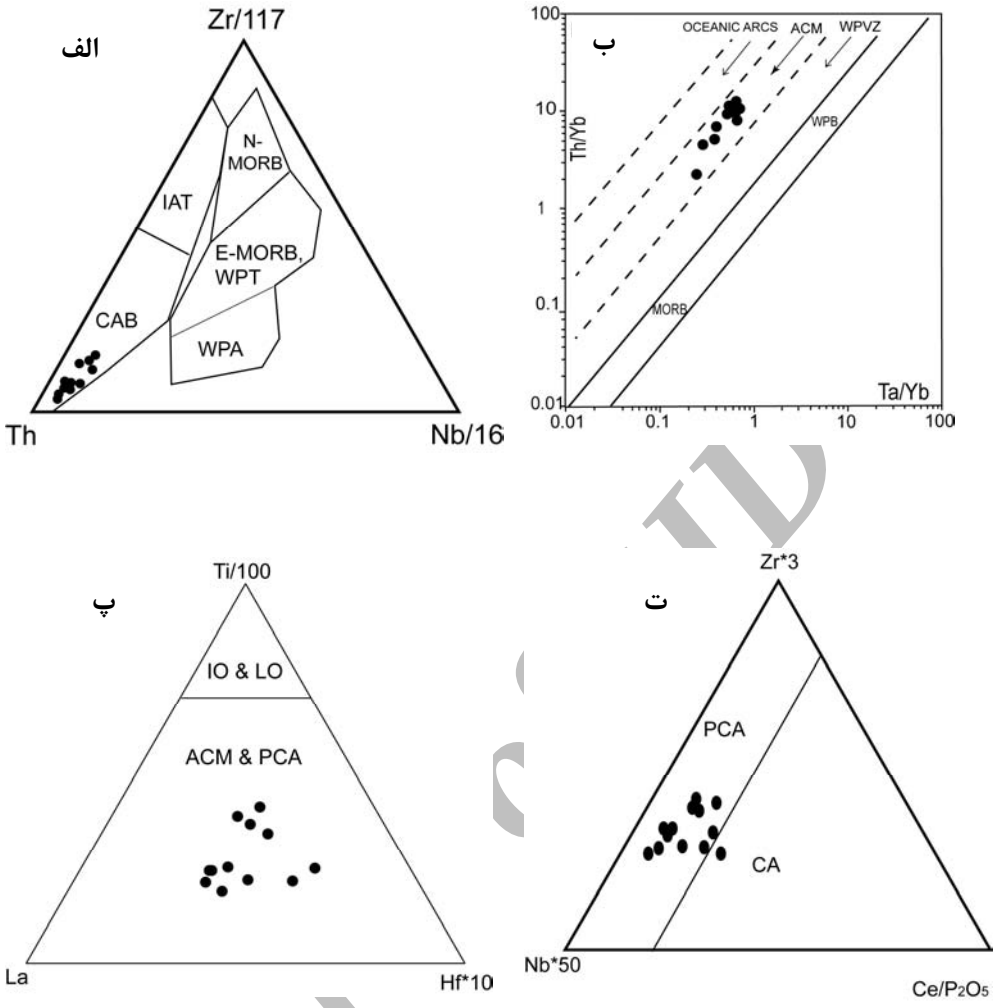
نمودار عنکبوتی استفاده شده برای نمایش الگوی عناصر نادر خاکی برای نمونه های منطقه که نسبت به کندریت [۱۴] عادی سازی شده اند نشان می دهد که عناصر نادر خاکی سبک نسبت به عناصر خاکی سنگین دارای غنی شدگی بوده (Ce/Yb)N=6.33-26.49 و الگوی جدایشی را نشان می دهد (شکل ۹).



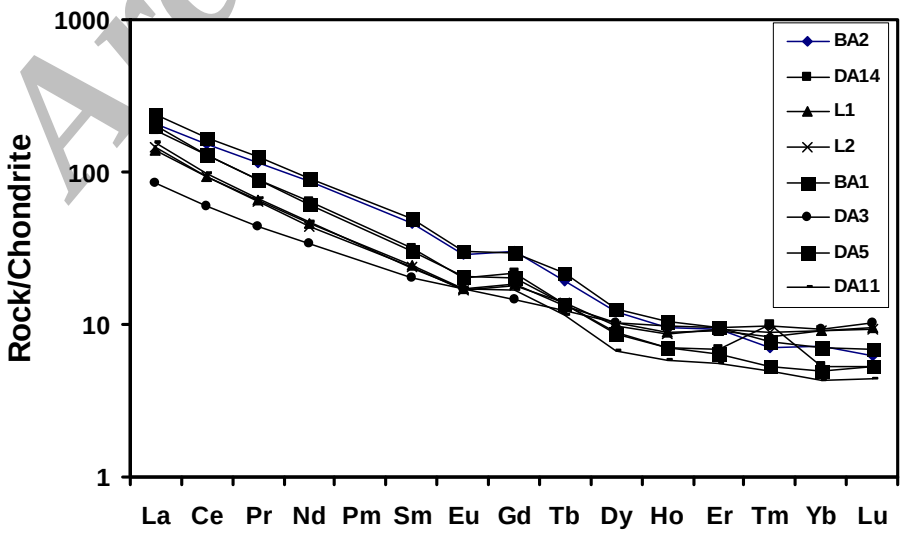
شکل ۷ نمودارهای Cr/Ni نسبت به TiO_2 ، Mg# نسبت به SiO_2، و Sr نسبت به $Na_2O + CaO$ برای جدا کردن گستره آداکیتهای پر سیلیس و کم سیلیس [۱۳].

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۸ نمودارهای مختلف برای تعیین محیط زمین ساختی نمونه های منطقه که نشان می دهد تمامی سریهای سنکی منطقه که در محیطهای پیرامونی فعال قاره ای و پس از تصادم قرار می گیرد [۱۶].



شکل ۹ نمودار عنکبوتی برای عناصر نادر خاکی که داده ها نسبت به کندریت عادی سازی شده و برای اینکار از داده های [۱۴] استفاده شده است.

www.SID.ir

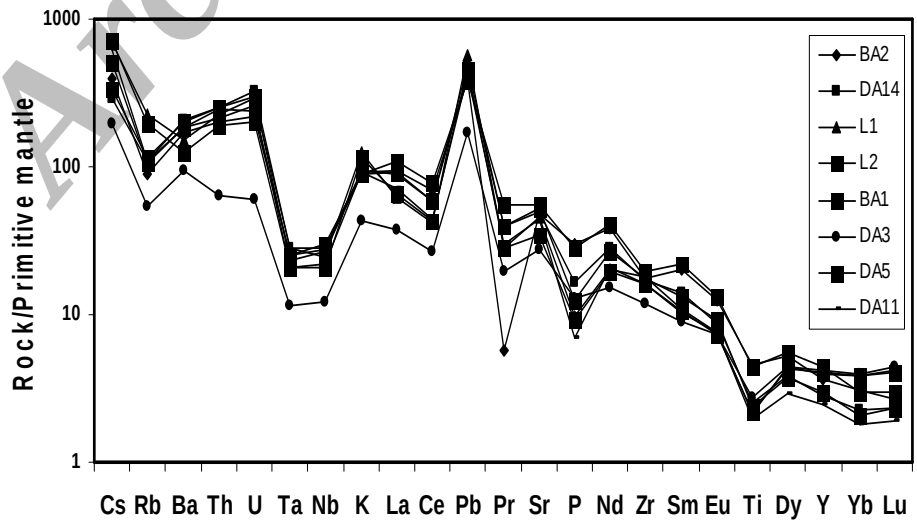
استفاده از نمودار عناصر چند عنصری برای عناصر ناسازگار نمونه های وابسته که نسبت به گوشته ی اولیه عادی سازی شده است نشان می دهد که نمونه های یادشده غنی شدگی مشخصی از عناصر لیتوفیل با شعاع یونی بزرگ (LILEs) مانند روبیدیم، باریم، توریم، اورانیم، پتاسیم و عناصر نادر خاکی سبک نسبت به عناصر با میدان پایداری قوی (HFSEs) مانند تانتالیم، نیوبیم، تیتانیم، زیرکن، هافنیم ، ایریتیم و عناصر نادر خاکی سنگین دارند (شکل ۱۰). همچنین نمونه های بررسی شده بیهنجاری منفی از عناصری چون Ta, Nb, Ti نشان می دهد. بیهنجاری منفی تانتالیم و نیوبیم مشابه سنگهای وابسته به مناطق فرورانش حاشیه ی فعال قاره ای است، جایی که خاستگاه گوشته ای با مواد فرو رونده ی غنی شده از عناصر لیتوفیل دارای شعاع یونی بزرگ دگرنهاد شده است [۱۵]. همچنین بالا بودن نسبت Ba/Nb نمونه های سنگی منطقه (۷۱-۶۱) و بالا بودن نسبت Ba/Ta (۱۲۱۲-۱۰۹۱) نشانگر اجزای فرورانشی مشخص در ماگمای تشکیل دهنده‌ی سنگهای منطقه است.

الگوی شدید جدایش از REEs و نیز مقادیر پایین HREEs و Y ممکن است بدلیل وجود گارنت و یا آمفیبول در تفاله ی باقیمانده باشد. همچنین مقادیر بالای استرانسیم نشانگر عدم حضور پلاژیوکلاز و بهنجاری منفی تانتالیم، نیوبیوم و تیتانیم می تواند نشانگر حضور اکسیدهای آهن و تیتان در تفاله باشد [۱۷].

از نمودار Sm/La نسبت به Th/La [۱۷] برای تعیین تاثیر اجزای مختلف در خاستگاه این سنگها استفاده شده است. موقعیت نمونه های منطقه در این نمودار، نشانگر قرارگیری آنها در گستره ی بین MORB و رسوبهای (S) است که می تواند دلیل بر ذوب بخشی ناشی از پوسته اقیانوسی با ویژگی MORB و آمیختگی همراه با مواد پوسته ای باشد (شکل ۱۱). استفاده از نمودار Th/Ce نسبت به Th برای تعیین خاستگاه اداکیتها نشان می دهد که اداکیتهای منطقه از نوع آداکیتهای پس از تصادم محسوب می شوند و از ذوب صفحه ی اقیانوسی فرورونده به وجود امده اند (شکل ۱۲).

خاستگاه ماگمای تشکیل دهنده ی آداکیتهای منطقه

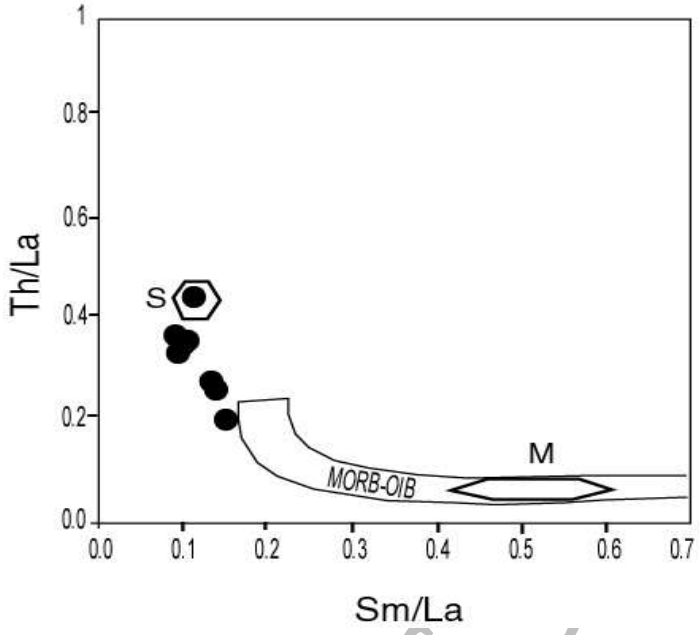
بررسیها نشان می دهد که ذوب بخشی سنگهای آذرین متابازالتی در رخساره ی گارنت - آمفیبولیت تا اکلوژیت ، در پوسته ی ضخیم شده و یا در پوسته ی اقیانوسی فرورفته می تواند آبگون با ویژگیهای ژئوشیمیائی آداکیتها تولید کند [۱-۳، ۱۹]. تشابه نزدیک آداکیتها با فراورده های آبگون مافیک [۲۱،۲۰] و این حقیقت که آداکیتها در مقیاس جهانی در صفحات جوان (Ma 25-10>)، گرم [۲۲] وابسته به فرورانش مسطح و یا در ارتباط با فرورانش تیغه های میان اقیانوسی هستند [۲۳] منجر به این باور شده که این سنگها حاصل ذوب ورقه اقیانوسی فرورونده هستند که در گستره ی فشار و دمای محدودی حاصل شده اند [۱۷،۲۴]. تولید آداکیتها از مواد پوسته ای نیازمند شرایط گرمایی غیر عادی است [۲۴] در



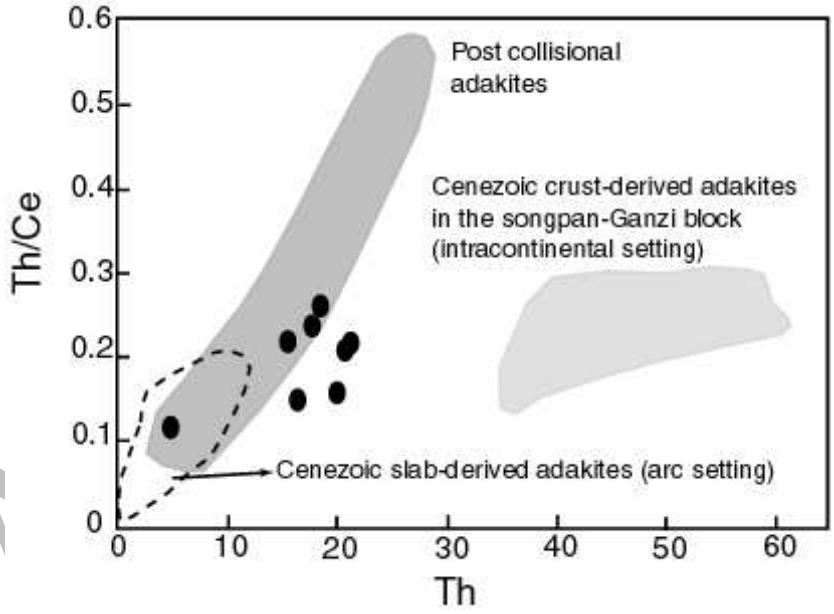
شکل ۱۰ نمودار چند عنصری عادی سازی شده به گوشته ی اولیه برای بررسی رفتار عناصر ناسازگار که داده های استفاده شده برای تمامی عناصر از [۲۸] است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱۱ دیاگرام Sm/La در مقابل Th/La جهت تعیین منشا نمونه های منطقه [۱۸].



شکل ۱۲ دیاگرام Th/Ce در مقابل Th جهت تعیین منشا نمونه های منطقه [۱۹].

صورتی که ذوب بخشی پروتولیت مافیک فقط در شرایط رخساره ی گارنت آمفیبول-اکلوژیت و در حداقل فشار ۱۵-۲۰ کیلوبار و دمای ۷۰۰-۹۰۰ درجه رخ می دهد [۱۷]. گزارشات اخیر در مورد آداکیتها نشان می دهد که آنها محدود به مناطق فرورانشی فعال نیستند و در محیطهای تصادمی جوان و بسا تصادمی [۳،۲۵] یافت می شوند. [۱۳] عنوان کردند که آداکیتهای با سیلیس بالا نشان دهنده ی ذوب سنگهای مافیک صفحه ی فرورونده هستند در حالی که آداکیتهای کم سیلیس در اثر ذوب تیغه ی گوشته ی پریدوتیتی که ترکیب آن در اثر واکنش با آبگون حاصل از ذوب صفحه ی فرورونده تغییر یافته،

www.SID.ir

حاصل شده است .لذا با در نظر گرفتن ویژگیهای آداکیتهای منطقه می توان گفت که این آداکیتها همانند آداکیتهای پرسیلیس از ذوب صفحه ی بازالتی فرورونده به وجود آمده اند. آداکیتهای تولید شده از ذوب پوسته ی زیرین از پتاسیم غنی هستند و با مقادیر بسیار بالای عناصر ناسازگاری چون باریم، روبیدیم و توریوم مشخص می شوند [۱۹]. با در نظر گرفتن مقادیر بالای Sr در سنگهای منطقه و عدم وجود بهنجاری منفی مشخص، می توان گفت که پلاژیوکلاز در مواد خاستگاه این سنگها حضور نداشته ونیز تهی شدگی Nb و Ti در این سنگها نشان دهنده حضور روتیل و یا آمفیبول در پسمانده ی خاستگاه و احتمالا خاستگاه گارنت-آمفیبولیت و یا آمفیبول - اکلوژیت این سنگها دارد .وجود این خاستگاه گارنت دار نشان می دهد که دو راهکار ممکن برای تولید آداکیتهای شمالغرب ایران وجود دارد:

۱ -ذوب بخشی پوسته ی زیرین ضخیم شده و ۲ -ذوب صفحه اقیانوسی فرورونده پس از خاتمه فرورانش [۹].

ضخامت پوسته در منطقه ی شمالغرب ایران ومنطقه ی مورد بررسی در حدود ۴۰-۴۵ کیلومتر است [۲۶]. که این عمق برای تبدیل به رخساره ی گارنت-آمفیبولیت و آمفیبول - اکلوژیت کافی نیست . با در نظر گرفتن این شرایط می توان گفت که ماگمای آداکیتی منطقه ی گله بان همانند آداکیتهای شمالغرب ایران [۹] از ذوب صفحه ی اقیانوسی فرورونده نئوتتیس که می توانست شرایط تشکیل رخساره ی گارنت-آمفیبولیت و یا آمفیبول-اکلوژیت را فراهم آورد، به وجود آمده است .همچنین با در نظر گرفتن زمان پایان فرورانش که در کرتاسه پایانی بوده و سن سنگهای منطقه ی (میوسن بالایی تا پلیوسن) و نیز ماگماتیسم غنی شده بسا تصادم با ماهیت آلکالن سدیک، پتاسیک و اولتراپتاسیک در کنار این سنگها و نیز گزارشات فراوان از ماگماتیسم غنی شده بسا از تصادم مشابه شرق آناتولی به سن پلیو کواترنر، می توان گفت پدیده ی گسیخته شدن صفحه ی اقیانوسی پس از خاتمه فرورانش و ذوب بخشی این صفحه موجب تولید ماگماتیسم آداکیتی منطقه شمالغرب مرند شده است. این مدل در سالهای اخیر توسط محققین مختلف در مورد ژنز سنگهای حین و پس از تصادم ارومیه دختر و شرق ترکیه پذیرفته شده است .با این وجود، با توجه به فاصله ی زمانی پایان فرورانش یعنی کرتاسه فوقانی و سن این سنگها که به میوسن فوقانی وابسته است، نظرهای ابراز شده از سوی برخی از پژوهشگران در مورد خاتمه فرورانش [۲۸،۲۷] و تصادم در زمان سنوزوئیک می تواند مورد توجه قرار گیرد و توجه به جدایش ژئوشیمیائی و سن سنگهای آتشفشانی سنوزوئیک در ارائه مدلهای فراگیر در جهت روشن شدن این فرایندها کمک خواهد کرد. بالا بودن مقادیر باریم (۶۶۳-۱۴۵۵) و پتاسیم (۱٫۲۸-۳٫۷۷) و روبیدیم (۳۴٫۱-۱۴۴٫۵) باید در اثر آغشتگی ماگما با مواد پوسته ای در طول صعود ماگما باشند.

برداشت

۱ -در شمالغرب مرند سنگهای آتشفشانی با ترکیب حدواسط و اسیدی و ماهیتآهکی- قلیایی از داخل سنگهای آذرآواری بیرون ریخته که گسترش وسیعی داشته و در کنار مجموعه ی جوانتر با ترکیب قلیایی قرار گرفته اند.

۲ -داده های ژئوشیمیائی نشان می دهند که این سنگها ویژگیهای سنگهای آداکیتی پر سیلیس را دارند که این نوع آداکیتها نشانگر ذوب سنگهای مافیک صفحه ی فرورونده هستند.

۳ -در مورد نحوه ی تشکیل این سنگها می توان گفت که گسیخته شدن صفحه ی اقیانوسی پس از فرورانش و ذوب این صفحه موجب تولید ماگماتیسم آداکیتی منطقه ی شمالغرب مرند شده است.

۴ -بالا بودن مقادیر باریم، توریوم و روبیدیم در اثر آغشتگی ماگما با مواد پوستهای در طول صعود ماگما نیست.

۵ -پدیده ی گسیختگی با بالا آمدن گوشته ی استنوسفری، دگرنهادی گوشته ی زیر پوسته قاره ای و تولید ماگمای سدیک و پتاسیک قلیایی همراه بوده است که با تشکیل ماگمای آداکیتی در منطقه گزارش شده است.

مراجع

[1] Denfant M.J., Drummond M.S., *"Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere"*. Nature 347 1990 662–665.

Archive of SID

www.SID.ir

[2] Wang Q., McDermott F., Xu J.F., Bellon H., Zhu Y.T., *"Cenozoic K-rich adakitic volcanic rocks in the Hohxil area, northern Tibet: lower-crustal melting in an intracontinental setting"*. Geology 33, 2005. 465–468.

[3] Guo Z., Wilson M., Liu J., *"Post-collisional adakites in south Tibet: products of partial melting of subduction-modified lower crust."*, Lithos 96, 2007. 205–224.

[4] Grove T. L., Baker M.B., Price R.C., Parman S.W., Elkins-Tanton L.T., Chatterjee N., Müntener O., *"Magnesian andesite and dacite lavas from Mt. Shasta, northern California: products of fractional crystallization of H2O-rich mantle melts"*, Contributions to Mineralogy and Petrology, v. 148, 2005, p. 542-565.

[5] Green N.L., Harry D.L, *"On the relationship between subducted slab age and arc basalt petrogenesis, Cascadia subduction system"*, North America: Earth and Planetary Science Letters, v. 171, 1999, p.367-381.

[6] Alavi M., *"Regional stratigraphy of the Zagros folded-thrust belt of Iran and its proforeland evolution."*, Am. J. Sci. 304, 2004. 1–20.

[7] Ahmadzadeh G.R., *"Petrographical and Petrological Studies of Volcanic Rocks in NW of Marand (north of Galleban)"*. Unpublished M.Sc. thesis, University of Tabriz, 2002. 114pp, (in Persian).

[8] Omrani J., et al., *"Arc-magmatism and subduction history beneath the Zagros Mountains"*, Iran: A new report of adakites and geodynamic consequences, Lithos (2008),. doi:10.1016/j.lithos.2008.09.008

[9] Jahangiri A., *"Post-collisional Miocene adakitic volcanism in NW Iran: geochemical and geodynamic implications"*. Journal of Asian Earth Sciences 30, 2007. 433–447.

[10] Ahmadzadeh G.R., *"Petrological Studies of Volcanic Rocks in NW of Marand spatially alkaline rocks. Unpublished P.H.D thesis"*, University of Tabriz, 2010. 247pp, (in Persian).

[11] LeBas M.J., Le Maitre R.W., Streckeisen A., Zanettin B., *"A chemical classification of volcanic rocks on the total alkali-silica diagram*", J. Petrol. 27, 745–750.

[12] MacLean W.H., Barrett T.J., *"Lithochemical techniques using immobile elements"*, Journal of Geochemical Exploration 48, 1993. 109–133.

[13] Martin H., Smithies R.H., Rapp R., Moyen J.-F., Champion D., *"An overview of adakite, tonalite–trondhjemite–granodiorite (TTG), and sanukitoid: relationships and some implications for crustal evolution"*, Lithos 79, 2005. 1–24.

[14] Boynton W.V., *"Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson"*, P. (Ed.), Rare Earth Element Geochemistry. Elsevier, 1984. pp. 63– 114.

[15] Pearce J.A., *"Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active 594 continental margins. In: C.J. Hawkesworth & M.J., Norry, eds. Continental 595 Basalts and Mantle Xenoliths. Shiva Press"*, Nantwich, U.K., 1983. pp 230-249.

[16] Muller D., Rock N.M.S., Groves D.I., *"Geochemical discrimination between shoshonitic and potassic volcanic rocks from different tectonic setting: a pilot study"*, Mineralogy and Petrology 46, 1992. 259-289.

[17] Martin H., *"Adakitic magmas: modern analogues of Archaean granitoids"*, Lithos 46, 1999. 411– 429.

[18] Plank T., *"Constraints from Thorium/Lanthanum on sediment recycling at subduction zones and the evolution of the continents"*, Journal of Petrology 46, 2005. 921–944.

[19] Wang Q., Wyman D.A., Xu J.F., Wan Y.S., Li C.F., Zi F., Jiang Z.Q., Qiu H.N., Chu Z.Y., Zhao Z.H., Dong Y.H., *"Triassic Nb-enriched basalts, magnesian andesites, and adakites of the Qiangtang terrane (Central Tibet): evidence for metasomatism by slabderived melts in the mantle wedge"*, Contributions to Mineralogy and Petrology 155, 2008. 473– 490.

[20] Rapp R.P., Watson E.B., *"Dehydration melting of metabasalt at 8–32 kbar: implications for continental growth and crust–mantle recycling"*, Journal of Petrology 36, 1995. 891–931.

[21] Klemme S., Blundy J.D., Wood B.J., *"Experimental constraints on major and trace element partitioning during partial melting of*

Archive of SID

www.SID.ir

melting of delaminated lower continental crust", Geology 12, 2002. 1111–1114.

[26] Dehghani G.A., Makris J., *"The gravity field and crustal structure of Iran, N. Jb. Geol. Palaeont"*. Abh., 168, 1984. 215–229.

[27] Nicolas A., *"Structures in Ophiolites and Dynamics of Oceanic Lithosphere. Kluwer"*, Dordrecht. 1989. 367 pp.

[28] Searle M.P., Cox J., *"Tectonic setting, origin and obduction of the Oman ophiolite. Geological Society of America Bulletin"*, 111, 1999. 104–122.

[29] Sun S.-s., McDonough W.F., *"Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes"*, In: Saunders, A.D., Norry, M.J. (Eds.), Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society, London, pp. 313–345.

eclogite", Geochimica et Cosmochimica Acta 66, 2002. 3109–3123.

[22] Sorensen S.S., Barton M.D., *"Metasomatism and partial melting in a subduction complex Catalina schist"*, southern California. Geology 15, 1987. 115–118.

[23] Kay S.M., Gody E., Kurtz A., *"Episodic arc migration, crustal thickening, subduction erosion and magmatism in the south-central Andes"*, Geological Society of America Bulletin 117, 2005. 67–88.

[24] Peacock S.M., Rushmer T., Thompson A.B., *"Partial melting of subducting oceanic crust: Earth and Planetary Science Letters"*, v. 121, 1994, p. 227-244.

[25] Xu J.F., Shinjio R., Defant M.J., Wang Q., Rapp R.P., *"Origin of Mesozoic adakitic intrusive rocks in the Ningzhen area of east China: partial*

Archive of SID

www.SID.ir