فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال ۱۳، شماره ۵۲، زمستان ۱۳۹۸، صفحات ۱۲۳-۱۳۸

پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های بازیک مجموعه افیولیتی پیرانشهر در زون زاگرس، شمال غرب ایران و مقایسه آن با سنگ‌های معادل از مجموعه افیولیتی زاگرس عراق

مریم یزدانی[۱و*]

۱. استادیار گروه مهندسی معدن، دانشگاه ارومیه-مرکز آموزش عالی شهید باکری میاندوآب، میاندوآب

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۲۶
تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۲/۲۶

چکیده

مجموعه افیولیتی پیرانشهر در شمال‌غرب شهرستان پیرانشهر، شمال غرب ایران واقع شده است. این مجموعه به‌شدت ملانژ شده است و مرز بین واحدهای مختلف در آن قابل تفکیک نیست. انواع سنگ‌های تشکیل‌دهنده ملانژ افیولیتی پیرانشهر شامل سنگ‌های اولترابازیک، بازیک، رسوبی و دگرگونی می‌باشند. سنگ‌های بازیک با ترکیب بازالت و دیاباز در بخش‌های مختلف به‌صورت پراکنده رخنمون دارند. در این مقاله شیمی سنگ کل و پتروژنز سنگ‌های بازیک مجموعه افیولیتی پیرانشهر (در محدوده ماشکان و گردکاوالان) مطالعه شده و با شیمی سنگ‌های بازیک معادل در ادامه غربی مجموعه افیولیتی ماوات در عراق (در محدوده حسن باغ، نئوپوردان-والاش) مقایسه شده است. ترکیب سنگ‌های بازیک ماشکان در مجموعه افیولیتی پیرانشهر و سنگ‌های بازیک حسن باغ عراق، کالکوآلکالن بوده و تهی شدگی مشخصی از عناصر MREE، HREE، Zr، Hf، Y، Ti غنی‌شدگی از عناصر Rb، Cs، Ba، U، Th، pb، LREE و آنومالی منفی Ta، Nb نشان داده است. این ویژگی ژئوشیمیایی نشان می‌دهد ماگما در محیط زمین ساختی مرتبط با سوپراسابداکشن تشکیل شده است. ترکیب سنگ‌های بازیک گردکاوالان مشابه با سنگ‌های معادل در نئوپوردان-والاش مجموعه افیولیتی عراق، تولئیتی است. سنگ‌های تولئیتی این مناطق هر دو ویژگی مورب و قوسی را توام نشان داده است که بر این اساس به نظر می‌رسد مذاب تولئیتی در محیط کششی بالای زون فرورانش تشکیل شده و ویژگی سوپراسابداکشن تشکیل سنگ‌های بازیک در مجموعه افیولیتی پیرانشهر و نیز سنگ‌های بازیک معادل در ادامه غربی آن در مجموعه افیولیتی عراق را تایید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: سنگ‌های بازیک، کمربند افیولیتی زاگرس، سوپراسابداکشن، ایران، عراق.

مقدمه

رخدادهای ژئوتکتونیکی در زاگرس توسط Alavi، (2004) و Jassim and Goff، (2006) در طی سه مرحله مورد بررسی قرار گرفته است. مرحله اول: فرورانش پلیت اقیانوسی نئوتتیس زیر لیتوسفر قاره‌ای ایران در طول کرتاسه زیرین تا پایانی، مرحله دوم: بالا راندگی پوسته اقیانوسی نئوتتیس (تشکیل افیولیت) بر روی حاشیه قاره‌ای و غیرفعال آفرو-عربی در کرتاسه پایانی (تورنین به کامپانین)، مرحله سوم برخورد لیتوسفر قاره‌ای آفرو-عربی با پلیت ایران در کرتاسه پایانی.

* نویسنده مرتبط: m.yazdani@urmia.ac.ir

مناطق افیولیتی شـــرق مدیترانه و عمان شواهد مهمی از تشـــکیل افیولیت در بالای زون فرورانـــش با خود دارند (Alastair، 2004). بنابرایـــن بررســـی پتروژنـــز و محیط تکتونیکی سنگ‌های اولترابازیک و بازیک چنین مجموعه‌های افیولیتی در درک بهتـــر مراحل تکوین و تحولات نئوتتیس اهمیت دارد.

محیط تشکیل و شیمی ســـنگ‌های بازیک در مناطق افیولیتـــی بخصوص انواع متعلق به سوپراسابداکشـــن زون بسیار پیچیده می‌باشد. برخی از عوامل تاثیرگذار عبارتند از (Dilek and Furnes، 2011): شیمی اولیه منشا گوشته‌ای، نوع و نرخ ذوب، فرایند تفریق، فلوئیدهای آزاد شده از اسلب فرورانشی و متاسوماتیسم گوشته‌ای، آلودگی ماگمای بازیک در اثر هضم پوسته‌ای و فرایند آلتراسیون. بنابراین تعیین ژنز و محیط تکتونیکی ســـنگ‌های بازیک بخصوص سنگ‌های بازالتی با حساسیت بیشتری همراه می‌باشند.

افیولیت‌های سوپراسابداکشن زون در ارتباط با مراحل ابتدایی فرورانش بوده که با عقب‌گرد سریع صفحه فرورونده، تشکیل حوضه کششی و گسترش کف دریا در صفحه بالایی به وجود می‌آیند. در مرحله آغازین، ذوب بخشـــی گوشـــته لرزولیتی در اثر کاهش فشـــار شروع شده و نخستین واحد پوسته‌ای مشابه با مورب تشکیل می‌شود. فلوئیدهای خارج شده از صفحه فرورونده تاثیری در تولید مذاب در این مرحله ندارند (Dilek and Furnes، 2011). در مرحله بعدی مذاب به‌شدت تحت تاثیر آب‌زدایی صفحه فرورونده و متاسوماتیسم گوشـــته قرار گرفته و ادامه خروج مذاب، تفاله هارزبورژیتی تهی شـــده از عناصر کمیاب و غنی از الیوین و ارتوپیروکسن بجا می‌گـــذارد. با بالا رفتـــن حرارت در گوه گوشـــته‌ای، دیاپیریســـم فزاینده آستنوسفری و افزایش جریان فلوئیدها، پریدوتیت‌های دیرگداز (هارزبورژیت) حاصل ذوب بخشـــی تشکیل می‌شود که در نتیجه آن مذاب بونینیتی نیز در این مرحله تشکیل می‌شود. ماگماهای زون سوپراسابداکشن از نظر ژئوشیمی شبیه قوس ماگمایی بوده ولی از نظر جایگاه زمین‌ساختی شبیه پوسته اقیانوسی می‌باشد که این ویژگی دوگانه حاصل تشکیل افیولیت‌های سوپراسابداکشن توسط گسترش کف اقیانوسی در بالای پوسته اقیانوسی فرورانش کرده می‌باشد (Dilek and Furnes، 2011).

مذاب‌هـــای زون افیولیتی سوپراسابداکشـــن به ترتیب ســـنی شـــامل مذاب‌های مشـــابه مورب نرمـــال، تولئیت قوس و در نهایت بونینیت می‌باشـــند کـــه به لحاظ عناصر MREE، HREE، Zr، Hf، Y، Ti تهی شـــدگی و عناصر Rb، Cs، Ba، Th، U، LREE، Pb، Sr غنی‌شدگی نشان می‌دهند. مذاب‌های مرتبط با قوس ولکانیکی نسبت به مذاب سوپراسابداکشن زون افزایش قابل توجهی در عناصر ناسازگار داشته و به‌طور قابل توجهی آنومالی منفیNb و آنومالی مثبت Pb را نشان می‌دهند. این اختلاف قابل توجه به دلیل زمان فرورانش طولانی (۳۰-۲۰ میلیون سال) در تشکیل افیولیت قوس ولکانیکی نســـبت به زمان فرورانش کوتاه مدت (کمتر از ۱۰ میلیون سال) در تشکیل افیولیت سوپراسابداکشن زون می‌باشد (Dilek and Furnes، 2011).

در این مقاله شـــیمی ســـنگ کل، نمونه‌هـــای بازیک مجموعه افیولیتی پیرانشهر مورد مطالعه قرار گرفته و نتایج با داده‌های ژئوشیمیایی ســـنگ‌های بازیک معادل در زون افیولیتی ماوات در زاگرس عراق (شکل ۱-الف) مقایسه شده و پتروژنز و محیط تکتونیکی سنگ‌ها تعیین شده است. امید است که نتایج به‌دست‌آمده برای بررسی تحولات تکتونیکی و ژئودینامیکـــی مرتبط با اقیانـــوس نئوتتیس در زاگرس و بازسازی افیولیت‌های شرق مدیترانه مفید واقع شود.

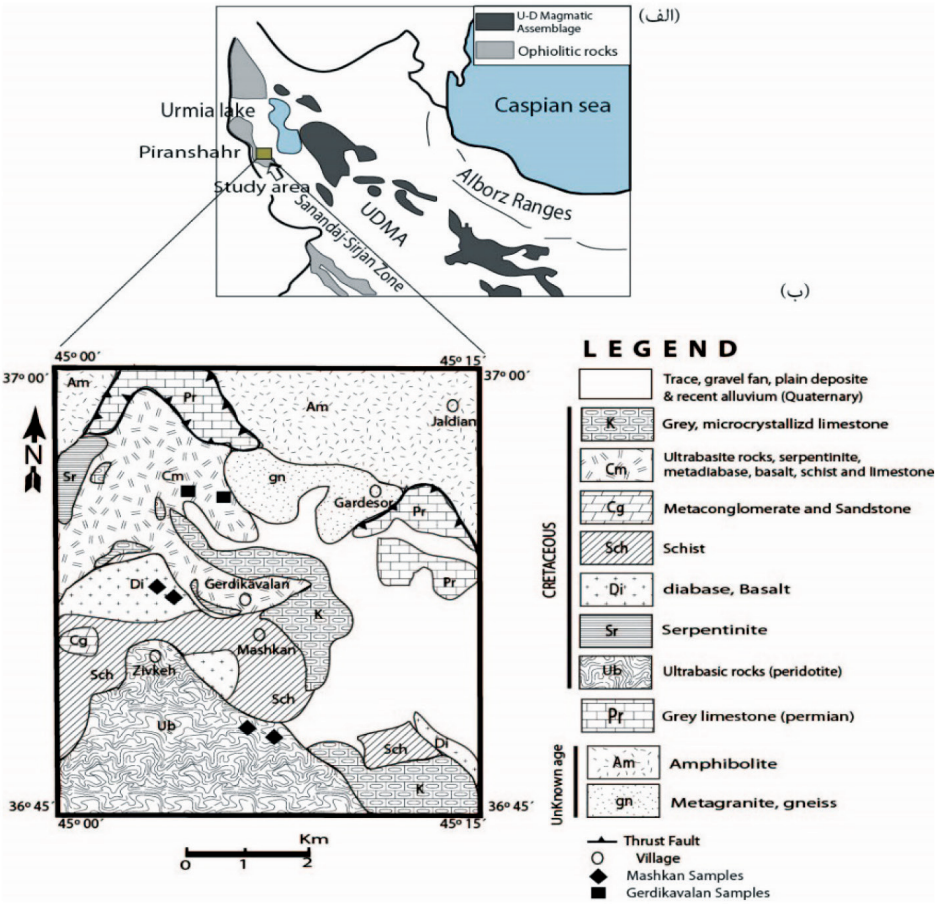
روش مطالعه

برای انجام مطالعه حاضر پس از بررســـی‌های گسترده صحرایی تعدادی مقاطع نازک از نمونه‌های بازالتی و دیابازی مجموعه افیولیتی پیرانشهر تهیه و مطالعه شد. پس از انجام مطالعات پتروگرافی به‌منظور بررسی روابط پتروژنتیکی این ســـنگ‌ها تعداد شش نمونه نسبتا ســـالم از بین دیابازها و بازالت‌های کم دگرسان شـــده مجموعه افیولیتی پیرانشهر جهت تعیین مقادیر عناصر اصلی و کمیاب انتخاب شـــده و به روش XRF و ICP-MS توســـط شرکت زمین‌پژوه سهند در آزمایشگاه Actlabs کانادا مورد تجزیه قرار گرفت. نتایج آنالیزها در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شـــده اســـت. داده‌های ژیوشیمیایی ســـنگ‌های بازالتی مجموعه افیولیتی زاگرس

عراق که جهت مقایسه با نمونه‌های مورد مطالعه در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است از (Sarmad، 2012) اقتباس شده است (جدول‌های ۳ و ۴).

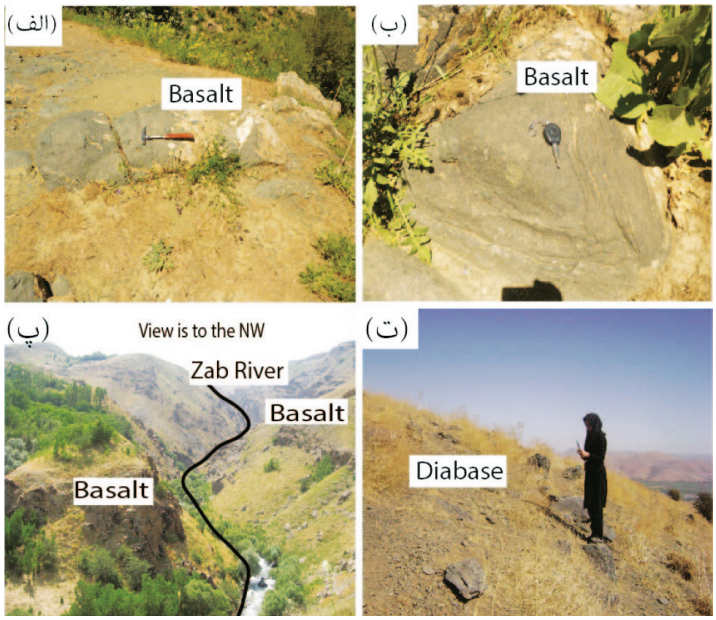
زمین‌شناسی

مجموعه افیولیتی پیرانشهر در شمال‌غرب شهرستان پیرانشهر در استان آذربایجان‌غربی واقع شده است. بر اساس تقسیم‌بندی ساختارهای زمین‌شناسی ایران (Stocklin، 1968؛ Alavi، 1991) این منطقه بخشی از کمربند دگرگونی و افیولیتی سنندج-سیرجان را تشکیل می‌دهد (شکل (۱-الف). سنگ‌های رخنمون یافته در این منطقه دارای ترکیب سنگ‌شناسی گسترده‌ای از انواع سنگ‌های رسوبی و دگرگونی و آذرین و با سنین پرکامبرین تا عهد حاضر هستند. مجموعه افیولیتی رخنمون یافته در این منطقه به‌شدت درهم‌آمیخته است و امکان جدا کردن واحدهای مختلف در آن وجود ندارد. در این مجموعه افیولیتی به سن کرتاسه (خدابنده، ۱۳۸۳) سنگ‌های اولترابازیک (عمدتاً با ترکیب هارزبورژیت و دونیت و به مقدار کمتری لرزولیت)، سنگ‌های بازیک (دیاباز، بازالت و گابرو)، سنگ‌های رسوبی (آهک‌های ریزبلور سفیدرنگ و رادیولاریت چرت‌های سبز و صورتی رنگ) و سنگ‌های دگرگونی (متاپریدوتیت‌های سرپانتینی شده و سرپانتینیت و انواع شیست‌ها) به‌طور گسترده رخنمون نشان می‌دهند (شکل ۱-ب). آهک و دولومیت‌های تیره رنگ قدیمی به سن پرمین، آمفیبولیت و گنیس گرانیتی با سن نامشخص نیز در این مجموعه دیده شده است (خدابنده، ۱۳۸۳).



شکل ۱. الف) موقعیت منطقه مورد مطالعه در نقشه تکتونیکی ایران برگرفته از (Alavi، 1991) با تغییرات. موقعیت افیولیت‌های ماوات در زون زاگرس عراق (محدوده حسن باغ، والاش و نئوپوردان) در ادامه غربی افیولیت‌های منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است، ب) نقشه زمین‌شناسی منطقه پیرانشهر برگرفته از (خدابنده، ۱۳۸۳)

بخش سنگ‌های بازیک این مجموعه شامل بازالت، دیاباز و گابرو است که به‌صورت درهم‌آمیخته با مجموعه اولترابازیک و دگرگونی‌های آمفیبولیتی مشاهده می‌شود. سنگ‌های بازالتی دارای بافت پورفیری می‌باشند و برخی ویژگی برشی شده نیز نشان می‌دهند. فنوکریست‌های پیروکسن به طول نیم تا یک سانتی‌متر در خمیره سبز رنگ (حاصل آلتراسیون خمیره) این سنگ‌ها قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۲-الف، ب). نمای کلی منطقه (شکل ۲-پ) و سنگ‌های دیابازی با بافت ریزدانه و به‌صورت قطعات نسبتا سالم در کنار مجموعه بزرگی از سرپانتینیت‌ها و رادیولاریت چرت‌ها رخنمون نشان می‌دهند (شکل ۲-ت).

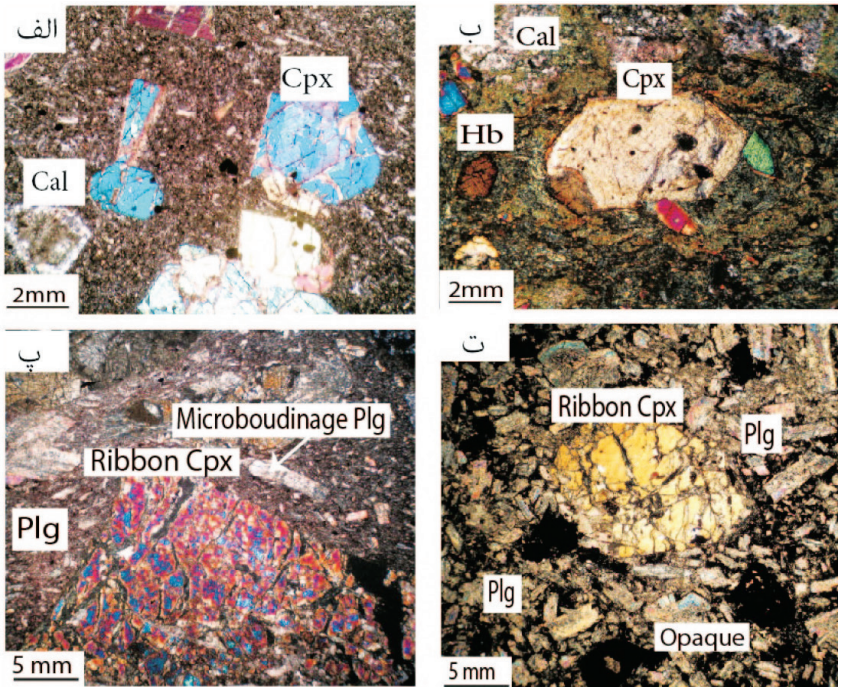


شکل ۲. تصاویر صحرایی از سنگ‌های بازیک مجموعه افیولیتی پیرانشهر. الف و ب) نمایی از سنگ‌های بازالتی رخنمون یافته در مجموعه افیولیتی پیرانشهر در شمال روستای گردکاوالان، ت) نمای کلی منطقه، پ) سنگ‌های بازالتی و دیابازی رخنمون یافته در مجموعه افیولیتی پیرانشهر در شمال و جنوب روستای ماشکان، دید به سمت جنوب غرب می‌باشد

پتروگرافی

کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز جزو کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده سنگ‌های بازالتی مجموعه افیولیت پیرانشهر می‌باشند. فنوکریست‌های کلینوپیروکسن اغلب به‌صورت خودشکل و یا نیمه‌خودشکل ظاهر شده‌اند. اکثر فنوکریست‌های کلینوپیروکسن دارای منطقه‌بندی هستند. در بسیاری موارد به کانی‌های ثانویه همچون کلسیت، کلریت و یا اورالیت تبدیل شده‌اند (شکل۳). زمینه بسیار دانه ریز سنگ متشکل از کانی‌های ریز دانه کلینوپیروکسن، پلاژیوکلاز، کانی‌های تیره و کانی‌های حاصل از دگرسانی می‌باشند. بافت غالب سنگ‌ها، پورفیری و گلومروپورفیری می‌باشد (شکل ۳-الف، ب). کلریت ثانویه حاصل دگرسانی کانی‌های تیره در زمینه سنگ‌های بازالتی می‌باشد. از نظر پتروگرافی در طول تبلور مذاب‌های قوس ماگمایی، کلینوپیروکسن قبل از پلاژیوکلاز متبلور می‌شود که نشانه توالی تبلور الیوین‌کلینوپیروکسن‌پلاژیوکلاز می‌باشد درحالی‌که توالی تبلور در مورب الیوین‌پلاژیوکلازکلینوپیروکسن می‌باشد. (Hebert and Laurent، 1990) شواهد بافتی و کانی‌شناسی در سنگ‌های بازالتی و دیابازی پیرانشهر (رشد کلینوپیروکسن غالب به شکل فنوکریستال و پلاژیوکلاز در خمیره این سنگ‌ها) با توالی تبلور قوس ماگمایی مطابقت نشان می‌دهد.

نمونه‌های دیاباز دارای فنوکرست‌های کلینوپیروکسن، زمینه دانه ریز متشکل از پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و کانی‌های تیره می‌باشند. در برخی نمونه‌ها پلاژیوکلازها دارای ماکل خمیده و در برخی نمونه‌ها خرد شده بوده و کانی‌های کلینوپیروکسن حالت روبانی شکل و خرد شده نشان می‌دهند (شکل ۳-پ، ت).



شکل ۳. تصاویر میکروسکوپی از سنگ‌های بازیکی مجموعه افیولیتی پیرانشهر. الف و ب) فنوکرست‌ها کلینوپیروکسن و بافت گلومروپورفیری در بازالت، حالت XPL، پ و ت) فنوکرســت‌ها کلینوپیروکســن‌های روبانی شکل، پلاژیوکلاز در خمیره دیاباز، حالت XPL.، علائم اختصاری کانی‌ها از Kretz (1983) است

ژئوشیمی

سنگ‌های بازیک مجموعه افیولیتی پیرانشهر دارای مقادیر پایین تا متوســط L.O.I. (۱/۴۲ wt٪ تا ۸/۴۹) می‌باشند (جدول ۱). مقادیر SiO_2 در این سنگ‌ها با توجه به ترکیب کانی‌شناسی سنگ متغیر است و در حدود ۴۳/۷۶ تا ۵۵/۰۴ درصد وزنی در تغییر می‌باشد. مقدار TiO_2 موجود در ترکیب غالب سنگ‌های بازیک نسبتاً پایین است و مقادیر آن wt٪ ۱/۰۴-۱/۶۰۳ می‌باشد و در یکی از نمونه‌ها ۰/۳۶۹ می‌باشد. مقادیر MgO، متغیر است در غالب نمونه‌ها به ترتیب برابر با ۶/۵۳-۱۱/۱۵ درصد وزنی و برخی نمونه‌ها ۳/۱-۵/۳۲ درصد وزنی می‌باشــد. مقادیر CaO برابر ۱۳/۶۵-۸ درصد وزنی و برخــی نمونه‌ها ۵/۱۱-۷/۱۱ درصد وزنی می‌باشــد. مجموع عناصر آلکالــی (Na_2O+K_2O) و Al_2O_3 در این ســنگ‌ها بــالا بوده و به ترتیب به‌صورت ۶/۱۹-۳/۴۴ و ۱۵/۵۳-۱۲/۰۹ درصد وزنی است. در این پژوهش شیمی سنگ‌های بازیک مجموعه افیولیت پیرانشــهر با شیمی ســنگ‌های بازیک مجموعه افیولیت ماوات عراق (محدوده‌های حســن باغ، نئوپوردان-والاش Sarmad، 2012) (شــکل ۱-الف) مورد مقایسه قرار گرفته است. ســنگ‌های بازیک مورد مقایسه در مجموعــه افیولیتی زاگرس عراق (محدوده‌های حســن باغ، نئوپوردان، والاش) به لحاظ کانی‌شناسی و ویژگی‌های بافتی مشابه با سنگ‌های مورد مطالعه در مجموعه افیولیتی پیرانشهر می‌باشند.

جدول ۱. نتایج شــیمی ســنگ کل (اکســید عناصــر اصلی) ســنگ‌های بازیک مجموعه افیولیتی پیرانشهر، GK: محدوده گردکاوالان و M: محدوده ماشکان

samples	GK1	M1	M2	GK2	M3	M4
SiO_2	۵۵/۰۴	۴۶	۵۱/۲۹	۴۸/۶۹	۴۴/۳۹	۴۳/۷۶
Al_2O_3	۱۴/۹۵	۱۴/۴۸	۱۵/۴۱	۱۵/۵۳	۱۲/۰۹	۱۴/۸۹
$Fe_2O3(T)$	۹/۳۹	۸/۸۵	۹/۴	۱۰/۱۵	۱۰/۷۳	۱۱/۴۵
MnO	۰/۱۲۱	۰/۱۵۷	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۱۸۱	۰/۱۷۹
MgO	۳/۱	۵/۳۲	۶/۵۳	۷/۵	۱۱/۱۵	۶/۶۶
CaO	۵/۱۱	۱۰/۵۵	۸	۷/۱۱	۱۱/۵۸	۱۳/۶۵
Na_2O	۵/۴۹	۳/۴۹	۲/۹۹	۴/۰۸	۲/۴۱	۲/۸۳
K_2O	۰/۳۲	۱/۸۹	۳/۲	۰/۷۹	۱/۸۶	۰/۶۱
TiO_2	۰/۳۶۹	۱/۱۸۶	۱/۰۹۹	۱/۶۰۳	۱/۰۷۵	۱/۰۴
P_2O5	۰/۰۴	۰/۴۱	۰/۴۲	۰/۱۵	۰/۵۶	۰/۶۸
L.O.I.	۶/۱۳	۸/۴۹	۱/۴۲	۳/۸۷	۴/۱۲	۴/۲۹
Total	۱۰۰/۱	۱۰۰/۸	۹۹/۹۳	۹۹/۶۲	۱۰۰/۱	۱۰۰

جدول ۲. نتایج شیمی سنگ کل (عناصر فرعی و کمیاب) سنگ‌های بازیک مجموعه افیولیتی پیرانشهر، GK: محدوده گردکاوالان و M: محدوده ماشکان

samples	GK1	M1	M2	GK2	M3	M4		GK1	M1	M2	GK2	M3	M4
Sc	۳۶	۳۰	۲۳	۴۴	۳۶	۲۳	La	۲/۲	۳۱/۲	۳۴/۸	۵/۵	۳۵/۸	۴۸/۴
Be	< ۱	۲	۲	< ۱	۲	۲	Ce	۴/۳	۶۰/۸	۶۳/۵	۱۴/۵	۶۸/۵	۹۰/۳
V	۳۱۹	۲۹۸	۲۳۰	۲۸۳	۲۸۹	۳۱۷	Pr	۰/۵۶	۷/۷	۷/۵۳	۲/۳۸	۸/۶۲	۱۰/۹
Cr	< ۲۰	۱۱۰	۲۱۰	۳۲۰	۳۳۰	۲۰۰	Nd	۲/۹	۳۲/۹	۲۸/۸	۱۱/۷	۳۴/۸	۴۲/۸
Co	۲۳	۳۲	۲۹	۴۲	۴۲	۴۲	Sm	۰/۹	۶/۹	۶/۱	۳/۷	۷/۲	۷/۵
Ni	< ۲۰	۵۰	۹۰	۹۰	۱۱۰	۷۰	Eu	۰/۳۸	۲/۰۸	۱/۶۱	۱/۳۸	۲/۰۵	۲/۲
Cu	۱۲۰	۲۰۰	۱۲۰	۱۴۰	۱۷۰	۱۹۰	Gd	۱/۲	۵/۵	۴/۸	۴/۲	۵/۸	۵/۸
Zn	۸۰	۱۰۰	۱۰۰	۸۰	۹۰	۹۰	Tb	۰/۳	۰/۹	۰/۸	۰/۸	۰/۹	۰/۹
Ga	۱۵	۱۶	۱۸	۱۸	۱۵	۱۹	Dy	۱/۷	۴/۵	۴/۲	۵	۴/۳	۴/۸
Ge	۲	< ۱	< ۱	۱	< ۱	۲	Ho	۰/۴	۰/۸	۰/۸	۱	۰/۸	۰/۹
As	< ۵	< ۵	< ۵	۶	< ۵	< ۵	Er	۱/۲	۲/۲	۲/۳	۲/۹	۲	۲/۲
Rb	۷	۴۱	۹۳	۲۰	۶۵	۲۵	Tm	۰/۱۸	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۴۲	۰/۲۸	۰/۳۲
Sr	۷۶	۸۶۳	۶۸۵	۲۸۰	۲۲۵	۳۲۲	Yb	۱/۳	۲	۲/۲	۲/۷	۱/۸	۲
Y	۹	۲۲	۲۲	۲۷	۲۰	۲۱	Lu	۰/۲۵	۰/۳۶	۰/۳۹	۰/۴۶	۰/۳	۰/۳۳
Zr	۱۸	۹۵	۱۷۲	۹۸	۱۰۱	۱۱۵	Hf	۰/۵	۲/۳	۳/۸	۲/۶	۲/۷	۲/۵
Nb	۱	۱۱	۱۸	۴	۱۳	۱۷	Ta	< ۰/۱	۰/۵	۱/۳	۰/۲	۰/۶	۰/۸
Mo	< ۲	< ۲	۳	< ۲	< ۲	< ۲	W	< ۱	< ۱	۳	< ۱	< ۱	۱
Ag	< ۰/۵	۰/۵	۱/۲	۰/۸	۰/۸	۰/۸	Tl	< ۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۲	< ۰/۱
In	< ۰/۲	< ۰/۲	< ۰/۲	< ۰/۲	< ۰/۲	< ۰/۲	Pb	< ۵	۷	۱۶	< ۵	< ۵	۹
Sn	۵	۶	۶	۶	۶	۵	Bi	< ۰/۴	< ۰/۴	< ۰/۴	< ۰/۴	< ۰/۴	< ۰/۴
Sb	< ۰/۵	< ۰/۵	< ۰/۵	< ۰/۵	< ۰/۵	< ۰/۵	Th	۰/۳	۴/۶	۱۱/۱	۰/۴	۵	۶/۴
Cs	< ۰/۵	۰/۸	۲/۷	۰/۵	۱/۸	۱	U	۰/۱	۱/۱	۳/۱	۰/۱	۱/۴	۱/۹
Ba	۶۵	۴۵۶	۷۴۲	۶۹	۴۱۴	۲۱۸	Ti	۲۲۱۲	۷۱۱۰	۶۵۸۹	۹۶۱۰	۶۴۴۵	۶۲۳۵

جدول ۳. نتایج شیمی سنگ کل (اکسید عناصر اصلی) سنگ‌های بازیک در مجموعه افیولیتی ماوات در زاگرس عراق (Sarmad 2012) (HI: محدوده حسن باغ و SH: محدوده نئوپوردان و V: محدوده والاش)

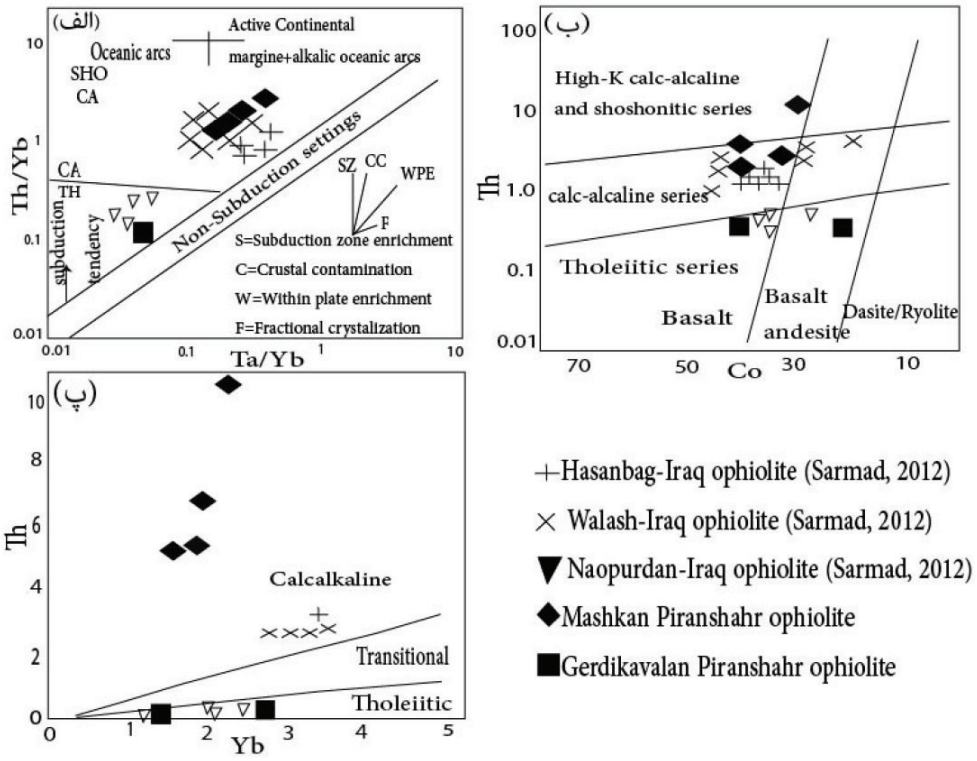
sample	H1	H2	H3	SH1	SH2	SH3	Vl	V2	V3
SiO_2	۵۱/۱۵	۵۰/۲۷	۵۰/۷۱	۵۷/۸۹	۵۵/۰۶	۶۲/۷۹	۵۹/۱۲	۵۳/۳۰	۶۱/۶۵
$A1_2O_3$	۱۵/۷۴	۱۵/۱۴	۱۵/۶۶	۱۴/۲۶	۱۵/۷۱	۱۳/۲۲	۱۴/۱۱	۱۵/۱۵	۱۴/۹۱
Fe_2O_3	۹/۸۸	۱۰/۹۶	۱۰/۹۸	۸/۹۵	۱۱/۰۷	۱۰/۳۸	۱۰/۸۵	۱۰/۷۹	۵/۹۲
MgO	۵/۹۹	۴/۹۲	۵/۰۸	۵/۰۲	۵/۶۸	۳/۱۶	۰/۱۵	۰/۲۰	۰/۱۰
CaO	۸/۳۵	۸/۷۴	۷/۴۵	۲/۸۰	۲/۹۴	۲/۳۷	۴/۵۳	۴/۵۶	۴/۲۷
Na_2O	۴/۵۵	۴/۳۳	۴/۵۸	۴/۶۸	۵/۵۶	۴/۴۹	۲/۶۴	۶/۵۷	۳/۴۸
K_2O	۰/۰۴	۰/۲۰	۰/۲۳	۰/۶۸	۰/۲۰	۰/۹۲	۴/۹۱	۴/۲۴	۲/۸۸
TiO_2	۰/۸۸	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۳۵	۰/۳۶	۰/۳۵	۰/۴۶	۰/۷۹	۴/۴۶
P_2O_5	۰/۲۳	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۹۰	۰/۷۱	۰/۷۷
MnO	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۱۴
LOI	۲/۵۰	۲/۲۲	۲/۵۷	۲/۹۵	۲/۹۳	۱/۶۹	۳/۴۰	۴/۹۰	۳/۳۳
Total	۹۹/۴۵	۹۸/۱۷	۹۸/۶۶	۹۷/۸۶	۹۹/۷۹	۹۹/۶۴	۱۰۱/۱۶	۱۰۱/۲۸	۱۰۱/۹۱

جدول۴. نتایج شیمی سنگ کل (عناصر فرعی و کمیاب) سنگ‌های بازیک در افیولیت ماوات در زاگرس عراق (HI: محدوده حسن باغ و SH: محدوده نئوپوردان و M: محدوده والاش (Sarmad، 2012)

sample	H1	H2	H3	SH1	SH2	SH3	V1	V2	V3
Ba	۴۹٫۵	۱۸۷	۱۲۴	۱۲۸٫۵	۳۶٫۷	۱۱۹٫۵	۱۱۰	۱۹۷٫۵	۶۲۶
Ce	۶۶٫۸	۴۴٫۱	۵۲	۱۰	۸ ۸	۱۰٫۸	۶٫۵	۶٫۷	۳۴٫۴
Co	۴۵٫۶	۳۷٫۹	۴۱٫۸	۳۴	۳۸	۲۹٫۶	۳۲٫۲	۳۲٫۱	۱۹
Cr	۱۸۰	۱۵۰	۱۳۰	۵۰	۴۰	۱۰۰	۶۰	۶۰	۱۰۰
Cs	۰٫۰۶	۰٫۰۶	۰٫۰۹	۰٫۰۲	<۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۱۸	۰٫۷۱	۰٫۲۲
Cu	۵۹	۵۶	۶۵	۱۰۱	۱۰۲	۹۸	۲۱۴	۶۳	۲۸
Dy	۵٫۳۲	۵٫۸	۶٫۱۴	۲٫۷۶	۳٫۱۳	۳٫۴۹	۳٫۱۱	۳٫۰۵	۳٫۲۵
Er	۳٫۰۷	۳٫۵۷	۳٫۷۴	۱٫۹۱	۲٫۱۲	۲٫۴۵	۲٫۰۸	۲٫۰۳	۲٫۱۶
Eu	۱٫۸۳	۱٫۷۶	۲٫۰۸	۰٫۶۹	۰٫۷	۰٫۷۲	۰٫۷	۰٫۶۸	۰٫۹۵
Ga	۱۹٫۲	۲۰٫۷	۲۰٫۹	۱۴٫۱	۱۵	۱۳٫۱	۱۶٫۸	۱۳	۱۶٫۷
Gd	۶٫۱۳	۵٫۹	۶٫۴۸	۲٫۲۶	۲٫۴۹	۲٫۷۴	۲٫۳۷	۲٫۴۵	۳٫۶۱
Hf	۳٫۵	۴٫۱	۴٫۴	۱٫۳	۱٫۲	۱٫۴	۱٫۸	۱٫۴	۳٫۷
Ho	۱٫۰۹	۱٫۲۵	۱٫۳	۰٫۶۵	۰٫۷۴	۰٫۸۲	۰٫۶۸	۰٫۶۸	۰٫۷۱
La	۲۹	۱۸٫۹	۲۲٫۴	۴٫۸	۴٫۵	۵٫۶	۲٫۱	۴٫۵	۲۰٫۹
Lu	۰٫۳۸	۰٫۴۵	۰٫۵	۰٫۲۸	۰٫۳۲	۰٫۴۲	۰٫۳	۰٫۲۹	۰٫۳
Mo	<۲	۷	<۲	<۲	<۲	<۲	۲	۲	۳
Nb	۱۲٫۹	۱۶٫۴	۱۷٫۵	۳٫۱	۲٫۶	۳٫۷	۱۱	۰٫۸	۱۳
Nd	۳۰٫۳	۲۱٫۷	۲۵٫۲	۵٫۴	۵٫۲	۵٫۶	۵	۵	۱۳٫۲
Ni	۵۲	۳۷	۳۸	۱۷	۲۱	۷	۱۱	۹۴	۳۳
Pb	۱٫۵	۱٫۵	۰٫۶	۱٫۴۵	۲٫۸۵	۱٫۹	bdl	۷٫۴۵	۴٫۴۵
Pr	۷٫۹۷	۵٫۲۵	۶٫۱	۱٫۲۶	۱٫۱۶	۱٫۳۷	۰٫۹۱	۰٫۹۵	۳٫۴
Rb	۴٫۲	۶٫۸	۷٫۸	۷	۲٫۸	۱۰٫۵	۴	۱۵٫۱	۵۴٫۵
Sm	۶٫۰۹	۵٫۳	۵٫۹۲	۱٫۷۴	۱٫۷۸	۱٫۹۷	۱٫۹۳	۱٫۷۷	۳٫۰۸
Sn	۱	۲	۲	۱	۱	۱	۱	۲	۲
Sr	۲۰۵	۲۳۱	۲۴۳	۸۸٫۲	۸۳٫۴	۱۰۲٫۵	۹۵٫۸	۱۳۶	۲۴۵
Ta	۰٫۸	۱	۱٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۲	<۱	<۱	۰٫۹
Tb	۰٫۹۹	۱٫۰۵	۱٫۱۴	۰٫۵	۰٫۵۵	۰٫۶	۰٫۵۴	۰٫۵۵	۰٫۶۴
Th	۱٫۷	۲٫۴۵	۲٫۵۵	<۱	<۱	۰٫۷	bdl	bdl	۷٫۱۰
Tl	<۰٫۵	<۰٫۵	<۰٫۵	<۰٫۵	<۰٫۵	<۰٫۵	<۰٫۵	<۰٫۵	<۰٫۵
Tm	۰٫۴۱	۰ ۴۹	۰٫۵۳	۰٫۲۹	۰٫۳۳	۰٫۳۹	۰٫۳۲	۰٫۳	۰٫۳
U	۰٫۸۵	۰٫۶۸	۰٫۸۸	۰٫۲۴	۰٫۱۷	۰٫۲۹	۰٫۱۹	۰٫۴۴	۲٫۵۱
V	۳۰۵	۳۳۰	۳۴۲	۲۹۷	۳۵۸	۲۴۳	۴۹۵	۳۶۷	۱۴۶
W	۲	۱	۱	۳	<۱	<۱	<۱	۲	۲
Y	۳۳	۳۷	۳۹٫۷	۱۹٫۵	۲۱	۲۴٫۱	۱۹	۱۹٫۳	۲۱٫۱
Yb	۲٫۷۶	۳٫۱۶	۳٫۴۱	۱٫۷۴	۲٫۱۱	۲٫۴۸	۲٫۰۱	۲٫۰۹	۲٫۱۹
Zn	۹۲	۹۳	۱۱۱	۲۶۱	۸۷	۷۹	۹۸	۶۸۳	۵۳
Zr	۱۱۴	۱۳۵	۱۴۱	۴۳	۳۶	۴۳	۵۵	۴۳	۱۳۵

bdl: below detection limit

داده‌های عناصر فرعی و کمیاب نمونه‌های مورد مطالعه در نمودارهای Th/Yb در برابر Ta/Ybاز (Pearce، 1982) Th در برابر Co از (Hastie et al.، 2007)، Th در برابر Yb از (Barret and Maclean، 1993) رسم شده است. بر این اساس سنگ‌های بازیک ماشکان و گردکاوالان پیرانشهر به‌ترتیب ویژگی کالکوآلکالن و تولئیتی نشان می‌دهند که با ویژگی‌های کالکوآلکالن و تولئیتی بازالت‌های حسن باغ و والاش و نئوپوردان عراق مطابقت نشان می‌دهد (شکل ۴-الف، ب، پ).



شـــکل ۴. تعیین سری ماگمایی ســـنگ‌های بازیک مجموعه افیولیتی پیرانشهر و ماوات عراق (در محدوده حســـن باغ، والاش و نئوپوردان). الف) نمودار Th/Yb در برابر Ta/Yb از (Pearce، 1982)، ب) نمودار Th در برابر CO از (Hastie et al.، 2007) و پ) نمودار Th در برابر Yb از (Barret and Maclean، 1993)

به‌منظور بررســـی و مطالعه شـــیمی عناصر نادر خاکی از الگـــوی عناصر نـــادر خاکی نرمالیز شـــده بـــه کندریت (Sun and McDonough، 1989) اســـتفاده شـــده است (شـــکل ۵-الف). در این نمودار روند مشـــاهده شده برای سنگ‌های بازیک ماشکان پیرانشهر مشابه بوده و غنی‌شدگی LREE در مقایســـه با HREE (LaN/ =۱۰/۵۹۷-۱۶/۴۳۹ YbN)، شیب منفی از La تا Dy (LaN/=۷/۱۹۷-۱۰/۴۶۶ DyN) را نشـــان می‌دهد. غنی‌شـــدگی LREE نسبت به HREE نشان داده است که این سنگ‌ها احتمالا در قوس ماگمایی و تحت تاثیر فلوئیدهای اسلب فرورانشی یا آلودگی پوسته تشکیل شده باشند.

همچنین تهی شـــدگی HREE/MREE نشانه حضور آشـــکار گارنت در منشا ماگما می‌باشـــد. بازالت‌های تهی شـــده از HREE/MREE از ذوب بخشـــی گوشـــته تهی شـــده دارای لایه‌های مافیـــک گارنت‌دار حاصل شـــده‌اند (Motanini et al.، 2008).

روند مشاهده شده برای عناصر نادر خاکی سنگ‌های بازیک گردکاوالان پیرانشـــهر به‌صورت کمابیش مسطح است (شکل ۵-الف). سنگ‌های بازیک گردکاوالان پیرانشهر تهی‌شدگی و غنی‌شـــدگی معنی‌داری برای هیچ کدام از عناصر نادر خاکی در الگوهای ترســـیم شـــده برای این عناصر مشـــاهده نشده است بنابراین ویژگی مسطح آن مشـــابه ویژگی عناصر REE تولئیت‌های مورب نرمال می‌باشد (Saccani et al.، 2008).

در نمودار چندعنصری نرمالیز شـــده به گوشـــته اولیه (Sun and McDonough، 1989)، الگوی مشـــاهده شده برای سنگ‌های بازیک ماشکان پیرانشهر یکسان است (شکل ۵-ب). در این نمودار عناصر LILE در مقایســـه با HREE غنی‌شدگی نشان می‌دهند. عناصر Nb، Ta، Zr، Hf و Ti در مقایسه با عناصر مجاور خود آنومالی منفی از خود نشان می‌دهنـــد. Sr در نمونه‌های حاوی پلاژیوکلاز دارای آنومالی

مثبت بوده ولی در نمونه‌های فاقد فنوکریست‌های پلاژیوکلاز با آنومالی منفی مشخص می‌شود (شکل ۵-ب). وجود جایگاه مناسب در ساختار بلوری پلاژیوکلاز باعث تجمع Sr در ساختار این کانی و آنومالی مثبت در نمودار چند عنصری است. نتایج بررسی نمودارهای عنکبوتی (شکل ۵-ب) نشان می‌دهد سنگ‌های بازیک ماشکان پیرانشهر از عناصر Zr، Ti، Hf، Y، Ta، Nb، MREE، HREE تهی شدگی و از عناصر ناسازگار LREE، Pb، Sr، Cs، Rb، Ba، U غنی‌شدگی نشان می‌دهند که این ویژگی‌ها سنگ‌های بازیک ماشکان پیرانشهر مطابق ویژگی مذاب‌های قوس ولکانیکی سوپراسابداکشن زون می‌باشد (Dilek and Furnes، 2011). چون در طول تشکیل بازالت‌های موجود در افیولیت‌های مرتبط با فوررانش احتمالاً منبع مذاب گوشته‌ای از طریق فلوئیدهای جدا شده از صفحه فرورونده، رسوبات فرورونده و یا پوسته بالایی، از عناصر شدیداً ناسازگار غنی شده است (Hawkesworth et al.، 1997؛ Pearce and Parkinson، 1993). مذاب‌های مرتبط با قوس ولکانیکی نسبت به سوپراسابداکشن زون افزایش قابل توجه غلظت عناصر ناسازگار، آنومالی مثبت قابل توجه Pb و آنومالی منفی قابل توجه Nb نشان می‌دهند. این اختلاف قابل توجه به دلیل زمان فرورانش طولانی (۳۰-۲۰ میلیون سال) تشکیل افیولیت قوس ولکانیکی نسبت به زمان فرورانش کوتاه مدت (کمتر از ۱۰ میلیون سال) تشکیل افیولیت سوپراسابداکشن زون می‌باشد (Dilek and Furnes، 2011).

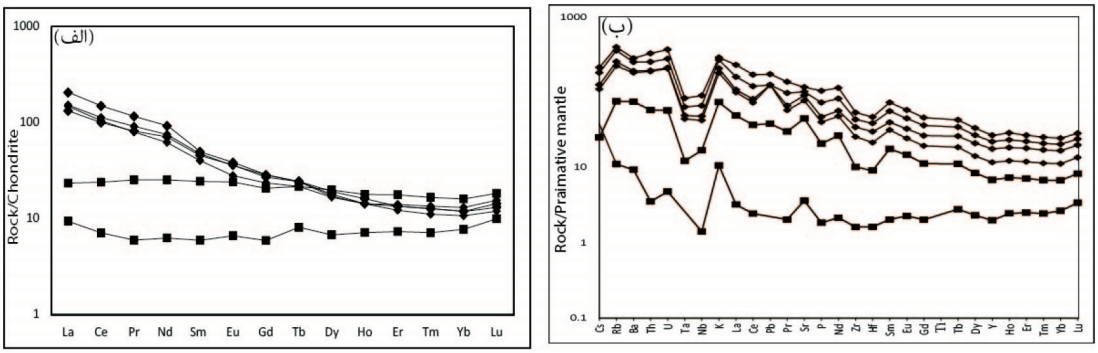
در نمودار چند عنصری نرمالیز شده به گوشته اولیه (Sun and McDonough، 1989) برای نمونه‌های گردکاوالان، عناصر Nb، Ta، Zr، Hf در مقایسه با عناصر مجاور خود مختصری آنومالی منفی نشان می‌دهند (شکل ۵-ب) که به نظر می‌رسد ویژگی مرتبط با فرورانش نشان می‌دهد درحالی‌که در نمودار (شکل ۵-الف) ویژگی تولئیت مورب نشان می‌دهد. این ویژگی دوگانه حاصل تشکیل افیولیت‌های سوپراسابداکشن توسط گسترش کف اقیانوسی در بالای پوسته اقیانوسی فرورانش کرده می‌باشد (Dilek and Furnes، 2011). احتمالا بتوان سنگ‌های بازیک گردکاوالان را به حوضه‌های کششی نسبت داد که مذاب تولئیتی در محیط کششی بالای زون فرورانش تشکیل شده و به دلیل اثرات فرورانش، ژئوشیمی مشابه با قوس ولکانیکی دارند.

داده‌های نرمالیز شده به کندریت (Sun and McDonough، 1989) سنگ‌های بازیک حسن باغ عراق نیز نشان داده است که از عناصر LILE (Sr، Rb، Ba، Ce) غنی شده و دارای تهی شدگی HFSE (Nb، P، Ce، Zr، Ti)، آنومالی منفی Nb، Ti و همچنین دارای نسبت بالایی از عناصر Ba/Nb و Nb/Y می‌باشد که مشابه بازالت‌های پیرانشهر منشا گوشته‌ای ماگمای بازیک تحت تاثیر فرایند فرورانش، تاثیر فلوئیدها و آلودگی پوسته‌ای بوده است (Sarmad، 2012).

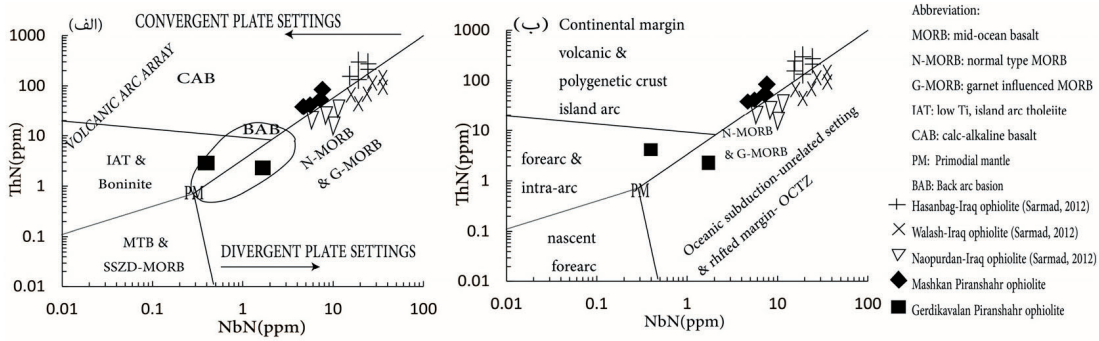
داده‌های نرمالیز شده به کندریت (Sun and McDonough، 1989) سنگ‌های بازیک والاش عراق غنی‌شدگی از عناصر خیلی ناسازگار نسبت به عناصر کمتر سازگار نشان می‌دهد که نشانه حوضه‌های پشت قوس می‌باشد (Sarmad، 2012).

داده‌های نرمالیز شده به کندریت سنگ‌های بازیک نئوپوردان تهی شده در عناصر HFSE نسبت به LILE می‌باشند و آنومالی منفی Nb، Ta نشان می‌دهند که به تشکیل مذاب از منشا گوشته‌ای که با خروج مذاب تهی شده است و سپس از طریق فرورانش از عناصر LILE غنی شده است (Sarmad، 2012).

پتروژنز و موقعیت تکتونیکی سنگ‌های بازیک پیرانشهر و سنگ‌های معادل از زون افیولیتی عراق (Sarmad، 2012) بر اساس نسبت عناصر ThN، NbN (داده‌های نرمالیز شده به کندریت از (Sun and McDonough، 1989) در نمودارهای (شکل ۶-الف، ب) مورد بررسی قرار گرفته است. در این نمودارها سنگ‌های بازیک ماشکان پیرانشهر و حسن باغ عراق در موقعیت تکتونیکی همگرایی پلیت‌ها، مرتبط با فرورانش با ویژگی ماگمایی کالکوآلکالن واقع شده است و سنگ‌های بازیک گردکاوالان پیرانشهر و نئوپوردان-والاش عراق در موقعیت تکتونیکی واگرایی پلیت‌ها، غیرمرتبط با فرورانش با ویژگی تولئیت مورب واقع شده است (شکل



شـــکل ۵. الف) الگوی عناصر نادر خاکی نرمالیز شده به کندریت (Sun and McDonough،1989) برای سنگ‌های بازیک مجموعه افیولیتی پیرانشـــهر، ب) نمودار چندعنصری نرمالیز شده به گوشـــته اولیه (Sun and McDonough،1989) برای سنگ‌های بازیک مجموعه افیولیتی پیرانشهر. علائم همانند شکل قبلی می‌باشد



شـــکل ۶. الف، ب) نمودارهای جدا کننده انواع محیط تکتونیکی و شـــیمی بازالت‌های مناطق افیولیتی بر اساس عناصر NbN در برابر ThN (Saccani، 2015)، نرمالیز شده به کندریت (Sun and McDonogh، 1997)

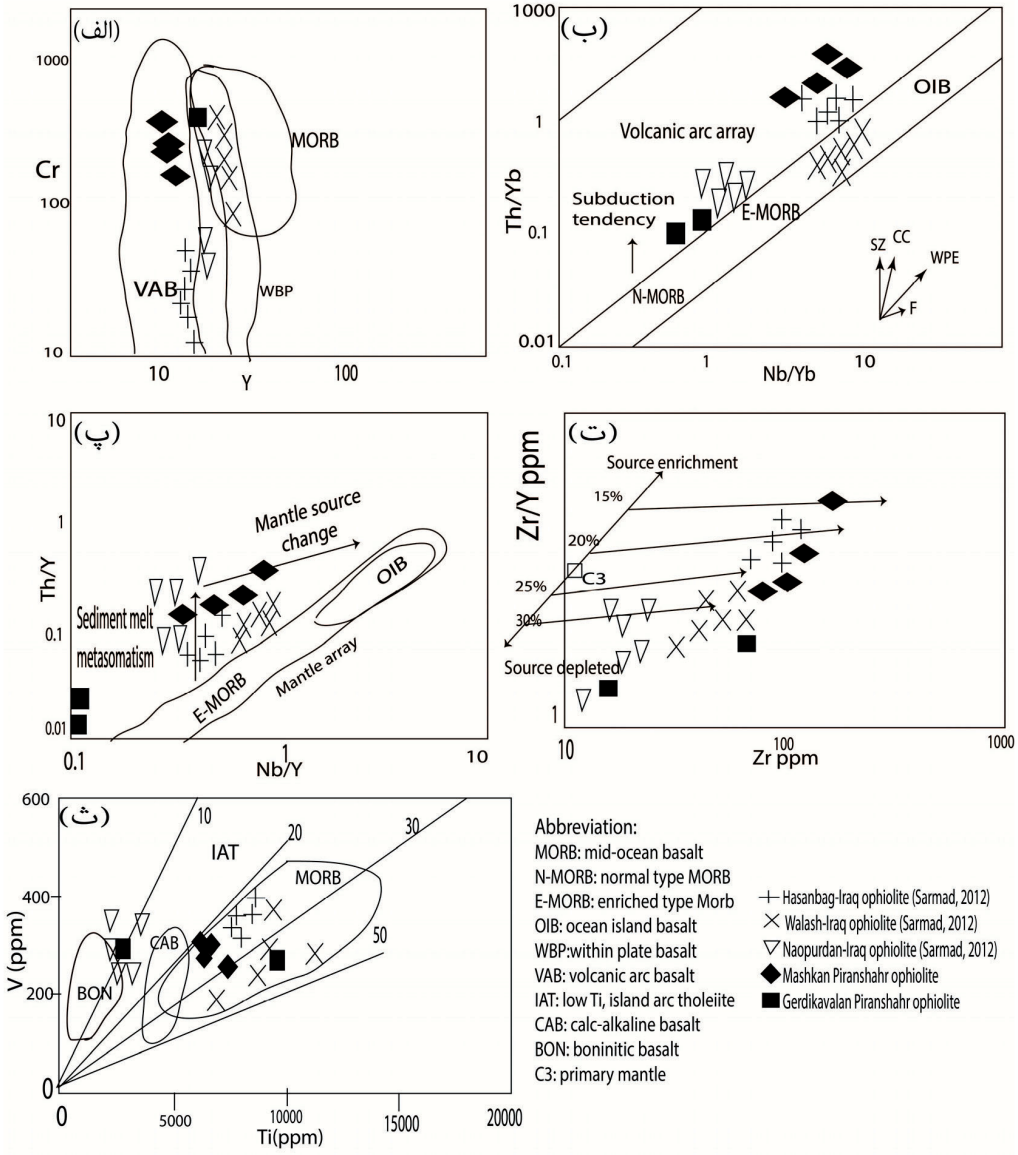
۶-الف، ب). یکـــی از نمونه‌های گـــردکاوالان در موقعیت تولئیت قوس با Ti کم (IAT) و همپوشانی موقعیت پشت قوس ولکانیکی (شـــکل ۶-الف) و پیش قـــوس ولکانیکی (شکل ۶-ب) واقع شده است.

نمودار Cr در برابر Y (Malpas، et al.، 1994) نشـــان می‌دهد سنگ‌های بازیک ماشـــکان پیرانشهر و حسن باغ عراق در موقعیت قوس ماگمایی واقع شده است و سنگ‌های بازیک گردکاوالان پیرانشـــهر و والاش و نئوپوردان عراق در موقعیت درون پلیت واقع شده است (شکل ۷-الف).

نمودار Nb/Yb در برابر Th/Yb (Dilek and Furnes، 2011) تمامی ســـنگ‌های بازیک پیرانشهر و عراق (به غیر والاش) در محـــدوده آرایـــه قوس‌های ماگمایـــی مرتبط با فرورانش قـــرار می‌گیرند. غالب نمونه‌هـــای بازالتی حاوی Nb/Yb بیـــش از ۳ هســـتند (شـــکل ۷-ب). این ویژگی نشانگر منشأ ماگمای بازیک از گوشته‌ای است که تحت تأثیر فرورانش یا آلودگی مواد پوســـته‌ای بوده است (Dilek and Furnes، 2011).

در نمودار Nb/Y در برابر Th/Y (شکل ۷-پ) با افزایش نسبت Th/Y، غالب سنگ‌های بازیک پیرانشهر و عراق بالاتر از آرایه گوشـــته‌ای واقع شده است (Elliott et al.، 1997؛ Harangi، 2007).

نمودار Zr/Y در برابر Zr (Pearce، 1979) نیز اطلاعات مفیدی در مورد طبیعت و منشـــأ ماگمای مادر دارد (شکل ۷-ت). افزایش نسبت Zr/Y همراه با افزایش Zr نشان می‌دهد سنگ‌های بازیک ماشکان پیرانشهر و حسن باغ عراق ذوب بخشی از منشأ گوشته غنی‌شده نشان داده است و سنگ‌های بازیک گردکاوالان پیرانشهر و نئوپوردان و والاش عراق ذوب بخشی منشا گوشته نسبتاً تهی شده نشان داده است (شکل ۷-ت). نمودارهـــای V در برابـــر Ti (Shervais، 1982) مشخص کرده است که غالب ســـنگ‌های بازیک پیرانشهر



شکل ۷. الف) سنگ‌های بازیک پیرانشهر در نمودار Cr در برابر Y از (Malpas et al., 1994)، ب) نمودار Nb/Yb، Th/Yb از (Dilek and Furnes 2011)، پ) نمودار Nb/Y در برابر Th/Y از (Elliott et al., 1997؛ Harangi 2007)، ت) نمودار Zr/Y در برابر Zr، (Pearce 1979)، ث) نمودارهای V در برابر Ti از (Shervais 1982)

و حسن باغ و والاش عراق ویژگی تولئیتی شبیه مورب با نسبت Ti/V=20-50 و یکی از نمونه‌های پیرانشهر و نئوپوردان عراق در مرز بین تولئیت جزایر قوسی و بونینیت Ti/V=10 واقع شده است (شکل ۷-ث).

بحث

شیمی بازالت‌های تشکیل شده در محل قوس‌های ماگمایی تحت تاثیر فلوئیدهای آزاد شده از اسلب فرورانشی و یا پوسته قاره‌ای بالایی (upper continental crust (CUU)) می‌باشند. عناصر LILE مثل Sr، Ba نسبت به LREE در فلوئیدهای آبدار بسیار محلول می‌باشند. عناصر HFSE مانند Nb، Ta، Th و عناصر HREE، MREE مانند (Sm، Lu) حلالیت کمتری در فلوئیدها دارند. به‌طور میانگین عناصر کمیاب در طی ذوب از گوشته خارج شده‌اند ولی در محل قوس‌های ماگمایی، ماگمای قوس غالباً از

یکسری عناصر کمیاب غنی‌شدگی نشان می‌دهند بنابراین احتمالا ماگما یا از گوشته متاسوماتیزه در اثر فلوئیدها منشا گرفته باشد و یا از آلودگی با پوسته قاره‌ای غنی شده است. در برخی بازالت‌های افیولیتی هر دو عامل، شیمی بازالت‌ها را تحت تاثیر قرار داده است.

گوشته اولیه (PM)، گوشته مورب تهی شده (DMM) و گوشته مورب شدیدا تهی شده (Depl DMM) قبل از متاسوماتیزه شدن دارای (Nb/Ba=(0.1-0.3، Th/Ba نسبتا کم و Sm/Nb شدیداً متغیر می‌باشد. آلودگی پوسته‌ای غالباً با افزایش Th، U و کاهش Sr، Eu همراه می‌باشد. متاسوماتیزه شدن گوشته توسط فلوئیدها با افزایش مقدار Ba/Nb و کاهش مقدار Th/Ba همراه می‌باشد (Holm et al.، 2014).

فرایند ذوب گوشته‌ای، تفریق و جدایش آشکاری بین نسبت‌های عناصر La/Sm و Nb/Sm به وجود می‌آورد (Holm et al.، 2016). جهت بررسی عامل موثر در تغییر ترکیب ماگمای بازیک پیرانشهر و عراق از مقایسه نسبت‌های La/Sm و Nb/Sm نرمالیز شده به کندریت و همچنین مقایسه نسبت‌های Nb/Ba و Th/Ba استفاده شده است.

طبق نمودار La/Sm و Nb/Sm از (Holm et al.، 2016) سنگ‌های بازیک ماشکان پیرانشهر در محدوده گوشته‌ای با غنی‌شدگی ۳ درصد تا ۵ درصد توسط فلوئیدها واقع شده است سنگ‌های بازیک گردکاوالان نیز در محدوده گوشته مورب شدیداً تهی شده (Depl DMM) واقع شده است (شکل ۸-الف).

نسبت La/Nb مشخص‌کننده منشا گوشته می‌باشد به‌طوری‌که در طی فرایند ذوب گوشته، جدایشی بین این عناصر به وجود نمی‌آید و مقدار این عناصر ترکیب منشا ماگما را نشان می‌دهند (Holm et al.، 2016). در مناطق قوس ماگمایی و پشت قوس، ماگماها از منشا غنی‌شده از La تشکیل شده است. طبق نمودار غالب سنگ‌های بازیک پیرانشهر و عراق در امتداد خط La/Nb=3 واقع شده است (شکل ۷-الف).

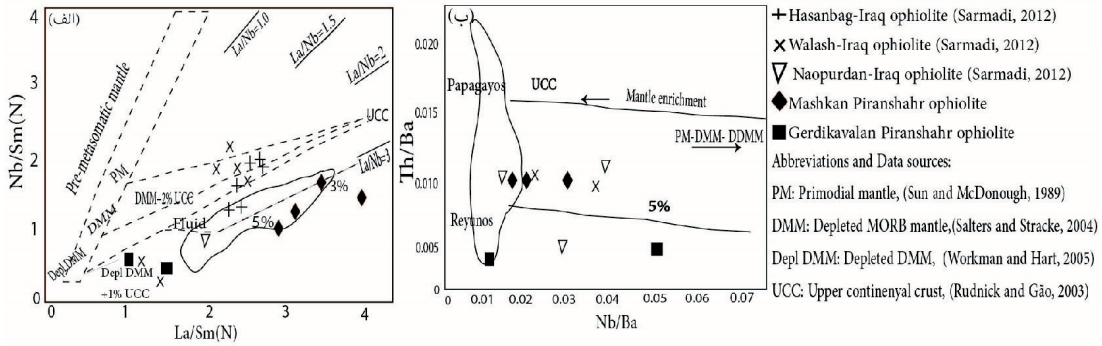
مقایسه نسبت‌های عناصر Nb/Ba، Th/Ba از (Holm et al.، 2016) آورده شده است (شکل ۸-ب). موقعیت بازالت‌های Papagayos در نمودار معرف گوشته با ویژگی نسبت عناصر Th/Ba بالا و غنی از عناصر پوسته قاره‌ای می‌باشد که نشانگر تاثیر پوسته قاره‌ای در ترکیب ماگمای بازیک است (Holm et al.، 2016). موقعیت بازالت‌های Reyunos در نمودار معرف گوشته با ویژگی نسبت عناصر Th/Ba پایین و حجم زیادی از عناصر ناسازگار محلول در فلوئیدها می‌باشد که نشانگر تاثیر فلوئیدها در ترکیب مذاب می‌باشد. طبق نمودار، سنگ‌های بازیک پیرانشهر و نیز تعدادی از نمونه‌های عراق (Sarmad، 2012) در نزدیکی بازالت‌های افیولیتی Reyunos واقع شده است.

بررسی نسبت‌های عناصر La/Sm و Nb/Sm و نسبت‌های عناصر Nb/Ba، Th/Ba برای کلیه نمونه‌های پیرانشهر تاثیر فلوئیدها در تغییر ترکیب منشا مذاب نتیجه می‌دهد این تاثیر در سنگ‌های بازیک ماشکان پیرانشهر بیش از سنگ‌های بازیک گردکاوالان پیرانشهر می‌باشد. همچنین قرار گرفتن نمونه‌ها در امتداد خط La/Nb=۳ نشان‌دهنده تشکیل سنگ‌های بازیک پیرانشهر در موقعیت قوس ماگمایی و پشت قوس می‌باشد (Holm et al.، 2016).

بازالت‌های عراق نتایج پراکنده‌ای نشان داده است که می‌توان گفت احتمالا هر دو فرایند اضافه شدن فلوئیدها از اسلب فرورانشی و هم آلودگی پوسته‌ای در تغییر ترکیب شیمیایی ماگمای بازالتی عراق تاثیر داشته است.

بررسی شیمی سنگ کل سنگ‌های بازیک پیرانشهر و مقایسه آن با بازالت‌های افیولیتی عراق نشان داده است که در این منطقه نیز مشابه افیولیت‌های سوپراسابداکشن عراق (Mohammad، 2009) و (Ahmad Mirza، 2008) و افیولیت‌های شرق مدیترانه (Alastair، 2014) تنوع مذاب‌های بازالتی وجود دارد (Alastair، 2004).

بررسی سنگ‌های بازیک افیولیت‌های نوع سوپراسابداکشن نشان داده است تکامل ماگمازایی از مرحله تشکیل مورب تا تولئیت قوس و بونینیت ادامه داشته و در برخی مناطق مذاب‌های کالکوآلکالن نیز گزارش شده است (Dilek and Furnes، 2011). این تنوع ژئوشیمی نتیجه مراحل مختلف ماگمازایی از منشا گوشته شدیداً هتروژن با نرخ ذوب‌های مختلف می‌باشد و هتروژنیتی گوشته نیز



شکل ۸. الف) نمودار La/Sm و Nb/Sm از (Holm et al., 2016)، ترکیب گوشته به سه نوع متفاوت شامل گوشته اولیه (PM)، گوشته مورب تهی شـــده (DMM) و گوشته مورب شدیداً تهی شـــده (Depleted DMM) مشخص شده است. خطوط بریده نوع و درصدهای تاثیر آلودگی پوسته‌ای و یا تاثیر فلوئیدها را مشخص می‌کند. داده‌های نرمالیز به کندریت از (Sun and McDonough, 1989)، ب) نمودار Nb/Ba و Th/Ba از (Holm et al., 2016)

حاصل اضافه شـــدن فلوئیدهای اسلب فرورانشی و رسوبات فرورانشی می‌باشد. بازالت‌های کالکوآلکالن گزارش شده از افیولیت‌های نئوتتیس شرق مدیترانه (Alastair, 2014) و افیولیت‌های سوپراسابداکشن جهان طی تکامل ماگماتیسم قوس همراه با دخالت فزاینده رســـوبات فرورانشی تشکیل شده اســـت و تشـــکیل بازالت‌های کالکوآلکالن نشانه‌ای از طولانی بـــودن دوره فرورانش و مچوریتی قوس می‌باشـــد (Dilek and Furnes, 2011).

بررسی ژئوشیمی سنگ کل و نمودارهای متمایز کننده محیط‌های تکتونیکی نشـــان داده اســـت که سنگ‌های بازیـــک ماشـــکان با ویژگـــی کالکوآلکالـــن از نظر عناصر MREE، HREE، Zr، Hf، Y، Ti تهی شدگی و از نظر عناصر Rb، Cs، Ba، Th، U، LREE، Sr غنی‌شدگی و آنومالی منفی Nb، Ta و غنی‌شـــدگی Pb نشان می‌دهند کـــه تایید کننده ماگمای مرتبط با زون سوپراسابداکشـــن می‌باشد.

ســـنگ‌های بازیک گردکاوالان پیرانشهر ویژگی تولئیتی داشـــته و آنومالی منفـــی Nb، Ta نشـــان می‌دهند و در نمودارهـــای متمایزکننـــده محیط‌هـــای تکتونیکی نتایج مختلفـــی مانند تولئیت مـــورب، تولئیت جزایر قوســـی و تولئیت حوضه‌های کششی پشـــت قوس نشان داده است. این ویژگی دوگانه (شـــبیه مورب و قوس ولکانیکی) حاصل تشکیل افیولیت‌های سوپراسابداکشن توسط گسترش کف اقیانوسی در بالای پوسته اقیانوسی فرورانش کرده می‌باشد (Dilek and Furnes, 2011). احتمالا بتوان ســـنگ‌های بازیـــک گـــردکاوالان را به حوضه‌های کششـــی بالای زون فرورانش نســـبت داد که مذاب تولئیتی در محیط کششی تشکیل شده ولی به دلیل اثرات فرورانش، ژئوشیمی مشابه با قوس ولکانیکی دارند.

بنابراین از بررســـی‌های فوق می‌تـــوان برای مجموعه افیولیتی زاگرس در شمال غرب ایران و عراق نتیجه گرفت که ســـنگ‌های بازیک پیرانشـــهر و عراق احتمالاً طی یک سیستم فرورانشـــی با عقب‌گرد فرورانش و تشکیل حوضه کششـــی پیش قوس و یا پشت قوس تشکیل شده است و تکامل مذاب از مرحله تشـــکیل مورب، تا تشـــکیل قوس ماگمایی با مذاب تولئیتی و کالکوآلکالن ادامه یافته است و حوضه کششی با مذاب تولئیتی نیز تشکیل شده است. نتایج به‌دست‌آمده در خصوص ویژگی‌های سوپراسابداکشن سنگ‌های بازیک پیرانشهر با نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات قبلی ســـنگ‌های اولترابازیک مجموعه افیولیتی پیرانشهر (یزدانی، ۱۳۹۲) و (Hajialioghli and Moazzen 2014) مطابقت نشان می‌دهد. نتایج مطالعات سنگ‌های بازیک افیولیـــت مـــاوات عـــراق (Sarmad, 2012) و همچنین مطالعات ســـنگ‌های اولترابازیک افیولیـــت ماوات عراق (Mohammad, 2009)و (Ahmad Mirza, 2008) نیز ویژگی سوپراسابداکشن را نشان داده شده است.

نتیجه‌گیری

بر اساس مطالعات پتروگرافی، سنگ‌های بازیک مجموعه افیولیتی پیرانشهر شامل بازالت و دیاباز با فنوکریست غالب کلینوپیروکسن می‌باشند.

بررسی ژئوشیمی عناصر کمیاب نشان داده است که سنگ‌های بازیک مجموعه افیولیتی پیرانشهر (محدوده ماشکان و گردکاوالان) مشابه با افیولیت ماوات عراق (محدوده حسن باغ، والاش-نئوپوردان) دارای رژیم ماگمازایی تولئیتی و کالکوآلکالن می‌باشد.

نتایج بررسی ژئوشیمی سنگ کل سنگ‌های بازیک ماشکان پیرانشهر و حسن باغ عراق ویژگی کالکوآلکالن و موقعیت قوس ماگمایی سوپراسابداکشن زون نشان داده است. بررسی آلودگی منشا گوشته نیز نشان داده است که منشا گوشته غالباً تحت تاثیر فلوئیدهای اسلب فرورانشی بوده است. وجود مذاب کالکوآلکالن پیرانشهر نیز نشانه تکامل قوس و دخالت فزاینده فلوئیدها در بالا بردن نرخ ذوب می‌باشد.

نتایج بررسی ژئوشیمی سنگ کل سنگ‌های بازیک گردکاوالان پیرانشهر و نئوپوردان و والاش عراق ویژگی تولئیتی نشان داده است و از نظر محیط زمین ساختاری نتایج متفاوتی از جمله تولئیت جزایر قوسی، قوس ولکانیکی، تولئیت مورب و پشت قوس نشان داده است. بنابراین سنگ‌های تولئیتی هر دو ویژگی‌های مورب و قوسی را توام نشان داده که بر این اساس به نظر می‌رسد مذاب تولئیتی در محیط کششی بالای زون فرورانش مرتبط با زون سوپراسابداکشن تشکیل شده است.

منابع

- خدابنده، ع.ا.، ۱۳۸۳، نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ نقده، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- یزدانی، م.، ۱۳۹۲، مطالعه روابط صحرایی و پترولوژی مجموعه افیولیتی شمال‌غرب پیرانشهر-شمال‌غرب ایران، دانشگاه تبریز، رساله دکتری، ۱۶۰.

- Ahmed Mirza, T., 2008. Petrogenesis of the Mawat Ophiolite Complex and the associated
- chromitite, Kurdistan Region, NE Iraq, Submitted to the College of Science, University of Sulaimani, PhD Thesis, 164.

- Alastair, R., 2004. Development of concepts concerning the genesis and emplacement of Tethyan ophiolites in the Eastern Mediterranean and Oman regions, Earth-Science Reviews, 66, 331-387.

- Alavi, M., 1991. Tectonic map of the Middle East, scale: 1:5,000,000, Tehran, Iran, Geological Survey of Iran one sheet.

- Alavi, M., 2004. Regional stratigraphy of the Zagros Fold-Thrust Belt of Iran and its proforeland evolution, American Journal of Science, 304, 1-20.

- Barret, T.J. and Maclean, W.H., 1993. Lithogeochemical techniques using immobile element, Journal of Geochemical Exploration, 48, 109-133.

- Dilek, Y. and Furnes, H., 2011. Ophiolite genesis and global tectonics: Geochemical and tectonic fingerprinting of ancient oceanic lithosphere, Geological Society of America Bulletin, 123, 387-411.

- Elliott, T., Plank, T., Zindler, A. White, W., and Bourdon, B., 1997. Elemant transport from slab to volcanic front at the Mariana arc, Journal of Geophysical Research, 102, 14991-15019.

- Harangi, S., Downes, H., Thirlwall, M. and Gméling, K., 2007. Geochemistry, petrogenesis and geodynamic relationships of Miocene calc-alkaline volcanic rocks in the Western Carpathian Arc, Eastern Central Europe, Journal of Petrology, 48, 2261-2287.

- Hajialioghli, R. and Moazzen M., 2014. Supra-subduction and mid-ocean ridge peridotites from the Piranshahr area, NW Iran, Journal of

Geodynamics 81, 41-55.

- Hastie, A. R., Kerr, A. C., Pearce, J. A. and Mitchell, S. F., 2007. Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements: Development of the Th-Co discrimination diagram, Journal of Petrology, 48, 122-341.

- Hawkesworth, C.J., Turner, S.P., McDermott, F., Peate, D.W. and Van Calsteren, P., 1997. U-Th Isotopes in arc magmas: Implications for element transfer from the subducted crust, Science 276, 551-555.

- Hebert, R. and Laurent, R., 1990. Mineral chemistry of the plutonic section of the Troodos Ophiolite: New constraints for genesis of arc-related ophiolites, in Ophiolites: Oceanic Crustal Analogues. Proceedings of the Symposium Troodos 1987, edited by Journal Malpas, E.M., Moores, A., Panayiotou, and C., Xenophontos, Geology Survey Department, Nicosia, Cyprus, 149-163.

- Holm, P. M., Søager, N., Alfastsen, M. and Bertotto, G.W., 2016. Subduction zone mantle enrichment by fluids and Zr-Hf-depleted crustal melts as indicated by back arc basalts of the Southern Volcanic Zone, Argentina, in Lithos, 262, 135-152.

- Holm, P.M., Søager, N., Dyhr, C.T. and Nielsen, M.R., 2014. Enrichments of the mantle sources beneath the Southern Volcanic Zone (Andes) by fluids and melts derived from abraded upper continental crust, Contributions to Mineralogy and Petrology, 167, 1004-2014.

- Jassim, S.Z. and Goff, J.C., 2006. Geology of Iraq, Dolin, Prague and Moravian Museure, Brno, Czech Republic, 341.

- Kretz, 1983. Symbols for rock-forming minerals, American Mineralogist, 68, 277-279.

- Malpas, J., Calon, T. and Macdonald, R., 1994. The Shulpas Ophiolite Complex of British Columbia, Canada: a Palaeozoic/Mesozoic arc-related microterrane, In Proceedings of the 29th International Geological Congress: Circum-Pacific, VSP Int1 Science, 69-87.

- Mohammad, Y.O., 2009. Serpentinites and their tectonic signature along the Northwest Zagros Thrust Zone, Kurdistan Region, Iraq, Arabian Journal of Geosciences, 4, 69-83.

- Montanini, A., Tribuzio, R. and Vernia, L. (2008) Petrogenesis of basalts and gabbros from an ancient continenteocean transition (External Liguride ophiolites, Northern Italy), Lithos 101, 453-479.

- Pearce, J.A. and Norry, M.J., 1979. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks, Contributions to Mineralogy and Petrology, 69, 33-47.

- Pearce, J.A. and Parkinson, I.J., 1993. Trace element models for mantle melting: application to volcanic arc petrogenesis, Geological Society, London, Special Publications, 76, 373-403.

- Pearce, J.A., 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorpe, R.S. (Ed.), Andesites, Wiley and Sons, New York, 525-548.

- Shervais, J.W., 1982. Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas, Earth and Planetary Science Letters, 59, 101-118.

- Sun, S.S. and McDonough W.F., 1989. Chemical and isotopic systematic 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, Special Publications, 142, 313-345.

- Sarmad A.A., 2012. Geochemistry and geochornology of Thetyan arc related igneous arc,

NE Iraq, PhD thesis, University of Wollongong.

- Saccani, E., Principi, G., Garfagnoli, F. and Menna, F., 2008 Corsica ophiolites: geochemistry and petrogenesis of basaltic and metabasaltic rocks, Ophioliti 33, 187-207.

- Stocklin J., 1968. Structures history and tectonic of Iran: A review, American Association of Petroleum Geologist Bulletin 52, 1229-1258.