

# 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<sup>(۱)</sup>

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 شمال غرب 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 گردکاولان) 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، کالکوالکانل بوده و تهی شدگی مشخصی از عناصر MREE, HREE, Zr, Hf, Y, Ti, Gfنی نشان داده است. این ویژگی ژئوشیمیایی نشان می‌دهد ماگما در محیط زمین ساختی مرتبط با سوپراسابداکشن تشکیل شده است. ترکیب سنگ‌های بازیک گردکاولان مشابه با سنگ‌های معادل در نئوپوردان-والاش مجموعه افیولیتی عراق، تولییتی است. سنگ‌های تولییتی این مناطق هر دو ویژگی مورب و قوسی را توأم نشان داده است که بر این اساس به نظر می‌رسد مذاب تولییتی 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، کمر بند افیولیتی زاگرس، سوپراسابداکشن، ایران، عراق.

## مقدمه

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.

رخدادهای ژئوتکتونیک در زاگرس توسط Alavi, (2004) و (2006) و Jassim and Goff, در طی سه مرحله مورد بررسی قرار گرفته است. مرحله اول: فرورانش پلیت اقیانوسی نئوتتیس زیر لیتوسفر قاره‌ای ایران در طول

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

کرده می‌باشد (Dilek and Furnes, 2011). مذاب‌های زون افیولیتی سوپراسابداکشن به ترتیب سنی شامل مذاب‌های مشابه مورب نرمال، تولیت قوس و در نهایت بونینیت می‌باشند که به لحاظ عناصر MREE, HREE, Zr, Hf, Y, Ti تهی شدگی 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 منفی Nb 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 نسبت به زمان فرورانش کوتاه مدت (کمتر از ۱۰ میلیون سال) در تشکیل افیولیت سوپراسابداکشن زون می‌باشد (Dilek and Furnes, 2011).

در این مقاله شیمی سنگ کل، نمونه‌های بازیک مجموعه افیولیتی پیرانشهر مورد مطالعه قرار گرفته و نتایج با داده‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های 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 ژئودینامیکی مرتبط با اقیانوس نئوتتیس در زاگرس و بازسازی افیولیت‌های شرق مدیترانه مفید واقع شود.

### روش مطالعه

برای انجام مطالعه حاضر پس از بررسی‌های 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 سنگ‌ها تعداد شش نمونه نسبتاً سالم از بین دیابازها و بازالت‌های کم دگرسان شده مجموعه افیولیتی پیرانشهر جهت تعیین مقادیر عناصر اصلی و کمیاب انتخاب شده و به روش XRF و ICP-MS توسط شرکت زمین‌پژوه سهند در آزمایشگاه Actlabs کانادا مورد تجزیه قرار گرفت. نتایج آنالیزها در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده است. داده‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های بازالتی مجموعه افیولیتی زاگرس

مناطق افیولیتی شرق مدیترانه و عمان شواهد مهمی از تشکیل افیولیت در بالای زون فرورانش با خود دارند (Alastair, 2004). بنابراین بررسی پتروژنز و محیط تکتونیکی سنگ‌های اولترابازیک و بازیک چنین مجموعه‌های افیولیتی در درک بهتر مراحل تکوین و تحولات نئوتتیس اهمیت دارد. محیط تشکیل و شیمی سنگ‌های بازیک در مناطق افیولیتی بخصوص انواع متعلق به سوپراسابداکشن 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 سنگ‌های بازیک بخصوص سنگ‌های بازالتی با حساسیت بیشتری همراه می‌باشند.

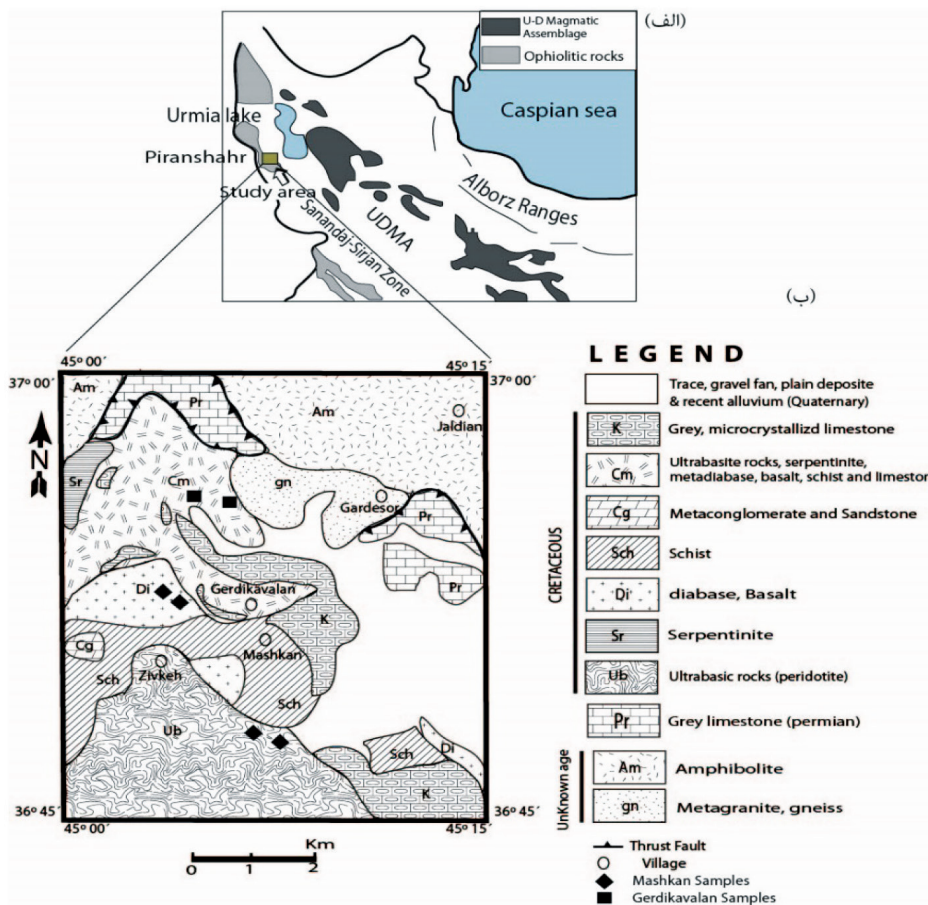
افیولیت‌های سوپراسابداکشن زون در ارتباط با مراحل ابتدایی فرورانش بوده که با عقب‌گرد سریع صفحه فرورونده، تشکیل حوضه کششی و گسترش کف دریا در صفحه بالایی به وجود می‌آیند. در مرحله آغازین، ذوب بخشی گوشته لرزولیتی در اثر کاهش فشار شروع شده و نخستین واحد پوسته‌ای مشابه با مورب تشکیل می‌شود. فلوئیدهای خارج شده از صفحه فرورونده تأثیری در تولید مذاب در این مرحله ندارند (Dilek and Furnes, 2011). در مرحله بعدی مذاب به‌شدت تحت تأثیر آب‌زدایی صفحه فرورونده و متاسوماتیسم گوشته قرار گرفته و ادامه خروج مذاب، تقاله هارزبورژیتی تهی شده از عناصر کمیاب و غنی از البوین و ارتوپيروکسن بجا می‌گذارد. با بالا رفتن حرارت در گوه گوشته‌ای، دیاپیریسم فزاینده آستنوسفری و افزایش جریان فلوئیدها، پدیدوتیت‌های دیرگداز (هارزبورژیت) حاصل ذوب بخشی 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

هستند. مجموعه افیولیتی رخنمون یافته در این منطقه به شدت درهم آمیخته 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) به طور گسترده رخنمون نشان می‌دهند (شکل ۱-ب). آهک و دولومیت‌های تیره رنگ قدیمی به سن پرمین، آمفیبولیت و گنیس گرانیته با سن نامشخص نیز در این مجموعه دیده شده است (خدابنده، ۱۳۸۳).

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

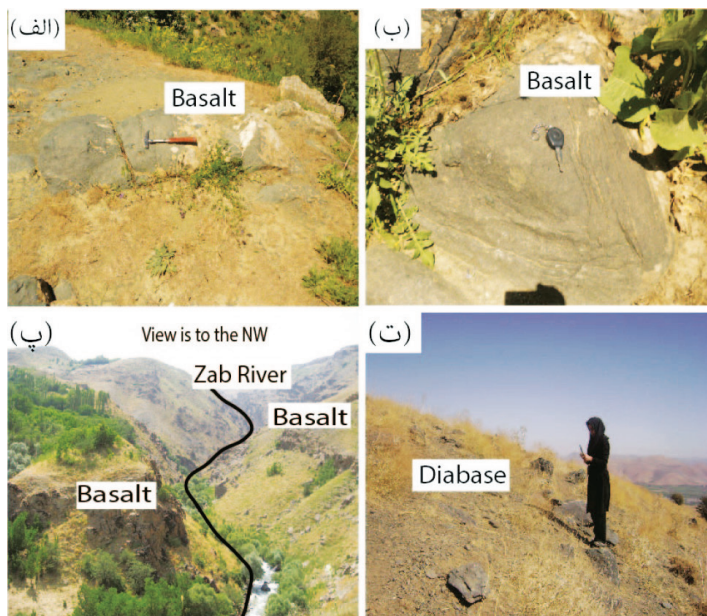
مجموعه افیولیتی پیرانشهر در شمال غرب شهرستان پیرانشهر در استان آذربایجان غربی واقع شده است. بر اساس تقسیم‌بندی ساختارهای زمین‌شناسی ایران (Stocklin, 1968; Alavi, 1991) این منطقه بخشی از کمربند دگرگونی و افیولیتی سندج-سیرجان را تشکیل می‌دهد (شکل ۱-الف). سنگ‌های رخنمون یافته در این منطقه دارای ترکیب سنگ‌شناسی گسترده‌ای از انواع سنگ‌های رسوبی و دگرگونی و آذرین و با سنین پرکامبرین تا عهد حاضر



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)

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 به صورت قطعات نسبتاً سالم در کنار مجموعه بزرگی از سریانتینیت‌ها و رادیولاریت چرت‌ها رخمون نشان می‌دهند (شکل ۲-ت).

بخش سنگ‌های بازیک این مجموعه شامل بازالت، دیاباز و گابرو است که به صورت 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

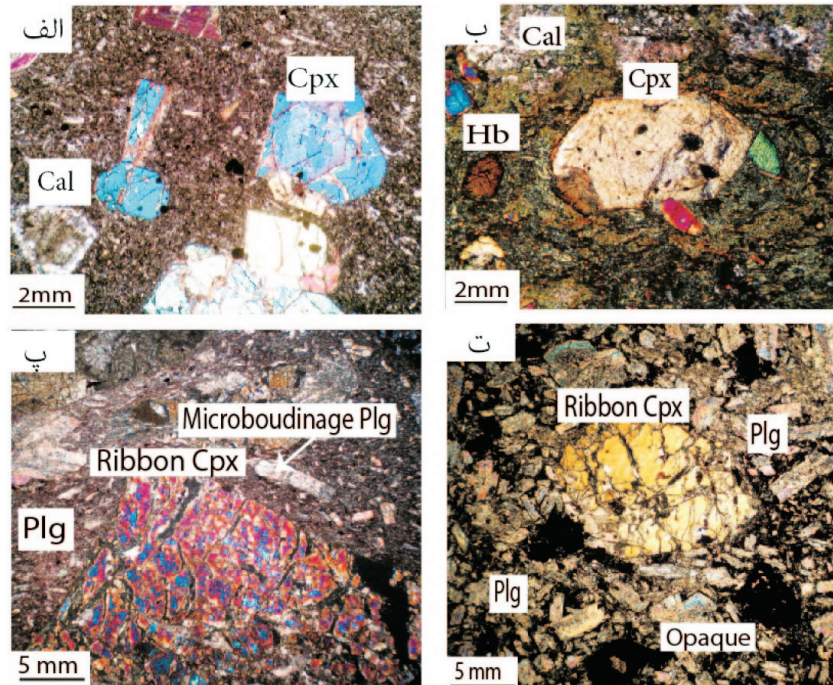


شکل ۲. تصاویر صحرایی از سنگ‌های بازیک مجموعه افیولیتی پیرانشهر. الف و ب) نمایی از سنگ‌های بازالتی رخمون یافته در مجموعه افیولیتی پیرانشهر در شمال روستای گردکاولان، ت) نمای کلی منطقه، پ) سنگ‌های بازالتی و دیابازی رخمون یافته در مجموعه افیولیتی پیرانشهر در شمال و جنوب روستای ماشکان، دید به سمت جنوب غرب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

## پتروگرافی

کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز جزو کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده سنگ‌های بازالتی مجموعه افیولیت پیرانشهر می‌باشند. فنوکریست‌های کلینوپیروکسن اغلب به صورت 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 (شکل ۳). 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 الیوین کلینوپیروکسن پلاژیوکلاز می‌باشد در حالی که توالی تبلور در مورب الیوین پلاژیوکلاز کلینوپیروکسن 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 فنوکریست‌های 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) فنوکست‌ها کلینوپیروکسن و بافت گلوپورفیری در بازالت، حالت XPL، پ و ت) فنوکست‌ها کلینوپیروکسن‌های روبانی شکل، پلاژیوکلاز در خمیره دیاباز، حالت XPL، علائم اختصاری کانی‌ها از Kretz (1983) است

### ژئوشیمی

مقایسه قرار گرفته است. سنگ‌های بازیکی مورد مقایسه در مجموعه افیولیتی زاگرس عراق (محدوده‌های حسن باغ، نئوپوردان، والاش) به لحاظ کانی‌شناسی و ویژگی‌های بافتی مشابه با سنگ‌های مورد مطالعه در مجموعه افیولیتی پیرانشهر می‌باشند.

جدول ۱. نتایج شیمی سنگ کل (اکسید عناصر اصلی) سنگ‌های بازیکی مجموعه افیولیتی پیرانشهر، GK: محدوده گردکاولان و M: محدوده ماشکان

| samples                            | GK1   | M1    | M2    | GK2   | M3    | M4    |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>                   | ۵۵/۰۴ | ۴۶    | ۵۱/۲۹ | ۴۸/۶۹ | ۴۴/۳۹ | ۴۳/۷۶ |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>     | ۱۴/۹۵ | ۱۴/۴۸ | ۱۵/۴۱ | ۱۵/۵۳ | ۱۲/۰۹ | ۱۴/۸۹ |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (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 <sub>2</sub> O                  | ۵/۴۹  | ۳/۴۹  | ۲/۹۹  | ۴/۰۸  | ۲/۴۱  | ۲/۸۳  |
| K <sub>2</sub> O                   | ۰/۳۲  | ۱/۸۹  | ۳/۲   | ۰/۷۹  | ۱/۸۶  | ۰/۶۱  |
| TiO <sub>2</sub>                   | ۰/۳۶۹ | ۱/۱۸۶ | ۱/۰۹۹ | ۱/۶۰۳ | ۱/۰۷۵ | ۱/۰۴  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>      | 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   |

سنگ‌های بازیکی مجموعه افیولیتی پیرانشهر دارای مقادیر پایین تا متوسط L.O.I. (۱/۴۲ تا ۸/۴۹ wt/.) می‌باشند (جدول ۱). مقادیر SiO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> موجود در ترکیب غالب سنگ‌های بازیکی نسبتاً پایین است و مقادیر آن ۰/۳۶۹ wt/ 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 می‌باشد. مقادیر CaO برابر ۸-۱۳/۶۵ درصد وزنی و برخی نمونه‌ها ۵/۱۱-۷/۱۱ درصد وزنی می‌باشد. مجموع عناصر آلكالی (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) و Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> در این سنگ‌ها بالا بوده و به ترتیب به صورت ۳/۴۴-۶/۱۹ و ۱۲/۰۹-۱۵/۵۳ درصد وزنی است. در این پژوهش شیمی سنگ‌های بازیکی مجموعه افیولیتی پیرانشهر با شیمی سنگ‌های بازیکی مجموعه افیولیتی ماوات عراق (محدوده‌های حسن باغ، نئوپوردان-والاش (Sarmad, 2012) (شکل ۱-الف) مورد

جدول ۲. نتایج شیمی سنگ کل (عناصر فرعی و کمیاب) سنگ‌های بازیک مجموعه افیولیتی پیرانشهر، GK: محدوده گردکاولان 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   | ۳/۲   | 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   | V1     | V2     | V3     |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | ۵۱/۱۵ | ۵۰/۲۷ | ۵۰/۷۱ | ۵۷/۸۹ | ۵۵/۰۶ | ۶۲/۷۹ | ۵۹/۱۲  | ۵۳/۳۰  | ۶۱/۶۵  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۱۵/۷۴ | ۱۵/۱۴ | ۱۵/۶۶ | ۱۴/۲۶ | ۱۵/۷۱ | ۱۳/۲۲ | ۱۴/۱۱  | ۱۵/۱۵  | ۱۴/۹۱  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 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 <sub>2</sub> O              | ۴/۵۵  | ۴/۳۳  | ۴/۵۸  | ۴/۶۸  | ۵/۵۶  | ۴/۴۹  | ۲/۶۴   | ۶/۵۷   | ۳/۴۸   |
| K <sub>2</sub> O               | ۰/۰۴  | ۰/۲۰  | ۰/۲۳  | ۰/۶۸  | ۰/۲۰  | ۰/۹۲  | ۴/۹۱   | ۴/۲۴   | ۲/۸۸   |
| TiO <sub>2</sub>               | ۰/۸۸  | ۰/۹۷  | ۰/۹۶  | ۰/۳۵  | ۰/۳۶  | ۰/۳۵  | ۰/۴۶   | ۰/۷۹   | ۴/۴۶   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 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 |

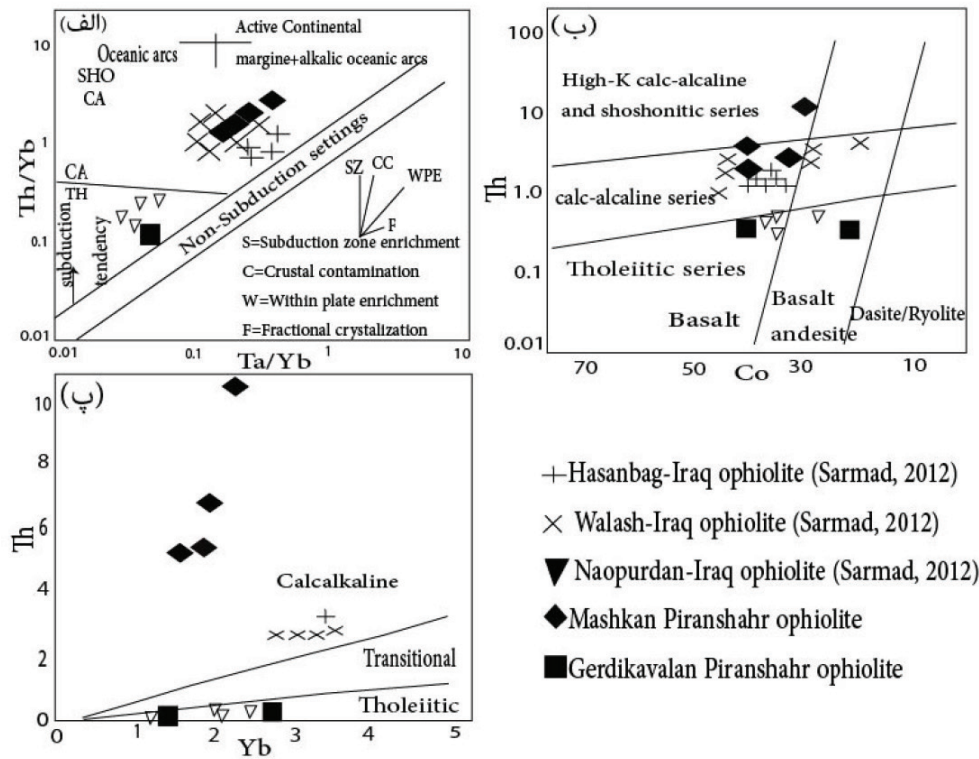
جدول ۴. نتایج شیمی سنگ کل (عناصر فرعی و کمیاب) سنگ‌های بازیک در افیولیت ماوات در زاگرس عراق (HI): محدوده حسن باغ و SH: محدوده نئوپوردان و M: محدوده والاش (Sarmad, 2012)

| 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     | ۲۰/۵ | ۲۳/۱ | ۲۴/۳ | 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      | ۳۰/۵ | 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

پیرانشهر به ترتیب ویژگی کالکوالکان و تولییتی نشان می‌دهند که با ویژگی‌های کالکوالکان و تولییتی بازالت‌های حسن باغ و والاش و نئوپوردان عراق مطابقت نشان می‌دهد (شکل ۴-الف، ب، پ).

داده‌های عناصر فرعی و کمیاب نمونه‌های مورد مطالعه در نمودارهای Th/Yb در برابر Ta/Yb از (Pearce, 1982) در برابر Th در برابر Co از (Hastie et al., 2007)، در برابر Yb از (Barret and Maclean, 1993) رسم شده است. بر این اساس سنگ‌های بازیک ماشکان و گردکاولان



شکل ۴. تعیین سری ماگمایی سنگ‌های بازیک مجموعه افیولیتی پیرانشهر و ماوات عراق (در محدوده حسن باغ، والا ش 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)

(Motanini et al., 2008).

روند مشاهده شده برای عناصر نادر خاکی سنگ‌های بازیک گردکاولان پیرانشهر به صورت کمابیش مسطح است (شکل ۵-الف). سنگ‌های بازیک گردکاولان پیرانشهر تهی‌شدگی و غنی‌شدگی معنی‌داری برای هیچ کدام از عناصر نادر خاکی در الگوهای ترسیم شده برای این عناصر مشاهده نشده است بنابراین ویژگی مسطح آن مشابه ویژگی عناصر REE تولئیت‌های مورب نرمال می‌باشد (Saccani et al., 2008). در نمودار چندعنصری نرمالیز شده به گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989)، الگوی مشاهده شده برای سنگ‌های بازیک ماشکان پیرانشهر یکسان است (شکل ۵-ب). در این نمودار عناصر LILE در مقایسه با HREE غنی‌شدگی نشان می‌دهند. عناصر  $Hf, Zr, Ta, Nb$  و  $Ti$  در مقایسه با عناصر مجاور خود آنومالی منفی از خود نشان می‌دهند.  $Sr$  در نمونه‌های حاوی پلاژیوکلاز دارای آنومالی

به‌منظور بررسی و مطالعه شیمی عناصر نادر خاکی از الگوی عناصر نادر خاکی نرمالیز شده به کندریت (Sun and McDonough, 1989) استفاده شده است (شکل ۵-الف). در این نمودار روند مشاهده شده برای سنگ‌های بازیک ماشکان پیرانشهر مشابه بوده و غنی‌شدگی LREE در مقایسه با HREE ( $La/Nd = 10/597-16/439$ )، شیب منفی از  $La$  تا  $Dy$  ( $La/Nd = 7/197-10/466$ )، شیب منفی از  $La$  تا  $Dy$  را نشان می‌دهد. غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE نشان داده است که این سنگ‌ها احتمالاً در قوس ماگمایی و تحت تاثیر فلوئیدهای اسلب فرورانشی یا آلودگی پوسته تشکیل شده باشند.

همچنین تهی‌شدگی HREE/MREE نشانه حضور آشکار گارنت در منشا ماگما می‌باشد. بازالت‌های تهی شده از HREE/MREE از ذوب بخشی گوشته تهی شده دارای لایه‌های مافیک گارنت‌دار حاصل شده‌اند



بازیک گردکاولان را به حوضه‌های کششی نسبت داد که مذاب تولییتی 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 فلئوئیدها و آلودگی پوسته‌ای بوده است (Sarmad, 2012).

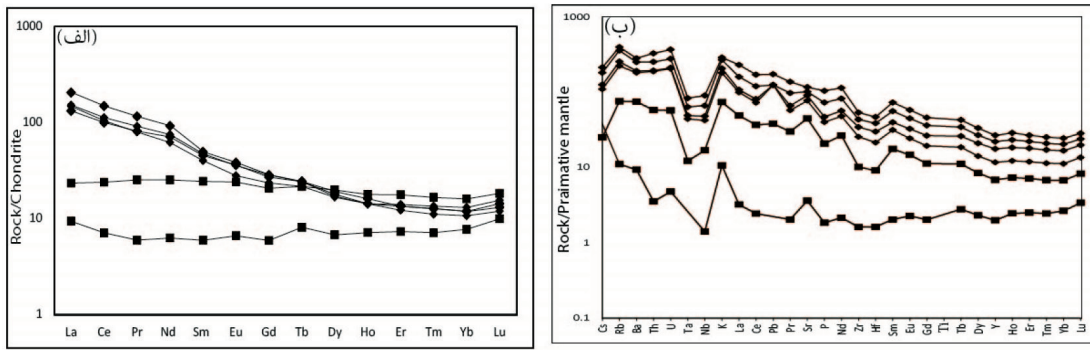
داده‌های نرمالیز شده به کندریت (Sun and McDonough, 1989) سنگ‌های بازیک والاش عراق غنی‌شدگی از عناصر خیلی ناسازگار نسبت به عناصر کمتر سازگار نشان می‌دهد که نشانه حوضه‌های پشت قوس می‌باشد (Sarmad, 2012).

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).

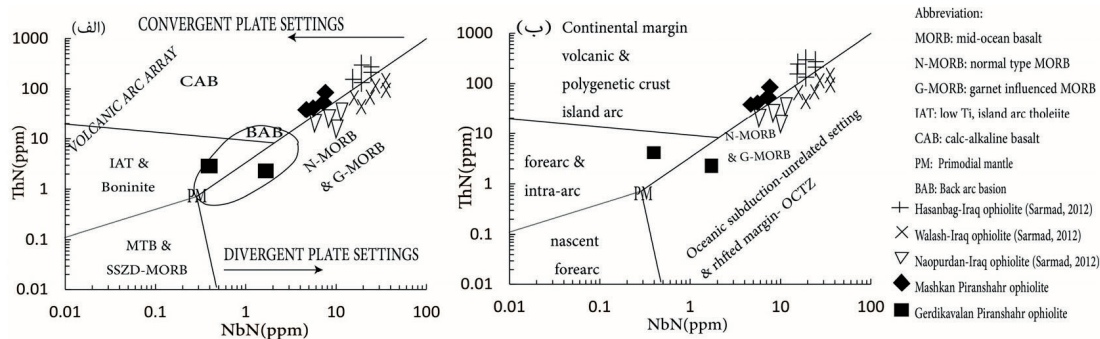
پتروژنز و موقعیت تکتونیکی سنگ‌های بازیک پیرانشهر و سنگ‌های معادل از زون افیولیتی عراق (Sarmad, 2012) بر اساس نسبت عناصر ThN, NbN (داده‌های نرمالیز شده به کندریت از (Sun and McDonough, 1989) در نمودارهای (شکل ۶-الف، ب) مورد بررسی قرار گرفته است. در این نمودارها سنگ‌های بازیک ماشکان پیرانشهر و حسن باغ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

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 فرورانش احتمالاً منع مذاب گوشته‌ای از طریق فلئوئیدهای 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 (۲۰-۳۰ 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 گردکاولان، 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 در حالی که در نمودار (شکل ۵-الف) ویژگی تولییتی 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). احتمالاً بتوان سنگ‌های



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



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

فرورانش یا آلودگی مواد پوسته‌ای بوده است (Dilek and Furnes, 2011).

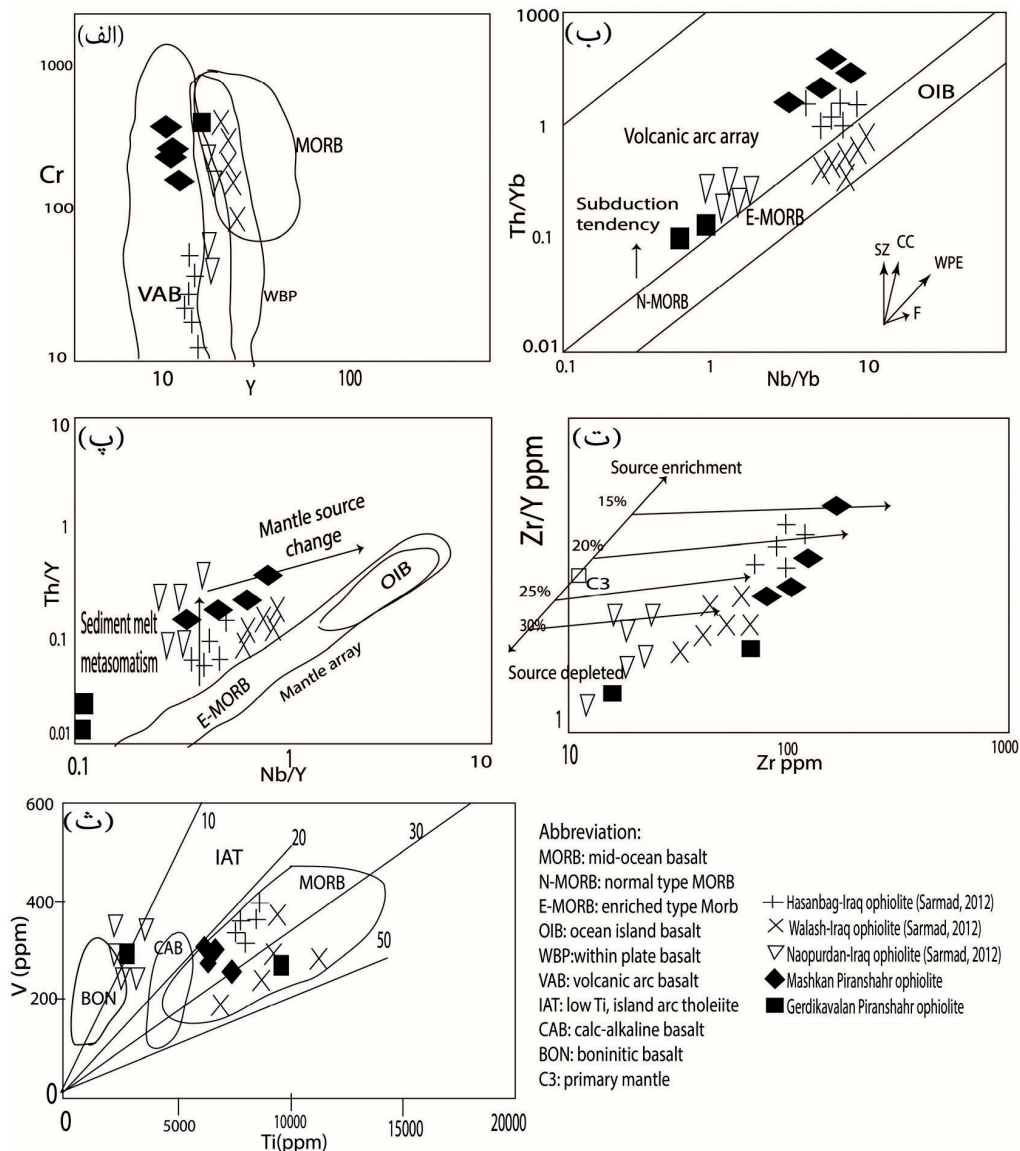
در نمودار Nb/Y در برابر Th/Y (شکل ۷-پ) با افزایش نسبت Th/Y، غالب سنگ‌های بازیک پیرانشهر و عراق بالاتر از آرایه گوشته‌ای واقع شده است (Elliott et al., 1997; Harangi, 2007).

نمودار Zr/Y در برابر Zr (Pearce, 1979) نیز اطلاعات مفیدی در مورد طبیعت و منشأ 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 غنی شده نشان داده است و سنگ‌های بازیک گردکاولان پیرانشهر و نئوپوردان و والاش عراق ذوب بخشی منشأ گوشته نسبتاً تهی شده نشان داده است (شکل ۷-ت). نمودارهای V در برابر Ti (Shervais, 1982) مشخص کرده است که غالب سنگ‌های بازیک پیرانشهر

۶-الف، ب). یکی از نمونه‌های گردکاولان در موقعیت تولیث قوس با Ti کم (IAT) و همپوشانی موقعیت پشت قوس ولکانیکی (شکل ۶-الف) و پیش قوس ولکانیکی (شکل ۶-ب) واقع شده است.

نمودار Cr در برابر Y (Malpas, et al., 1994) نشان می‌دهد سنگ‌های بازیک ماشکان پیرانشهر و حسن باغ عراق در موقعیت قوس ماگمایی واقع شده است و سنگ‌های بازیک گردکاولان پیرانشهر 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 سنگ‌های بازیک پیرانشهر و عراق (به غیر والاش) در محدوده آرایه قوس‌های ماگمایی مرتبط با فرورانش قرار می‌گیرند. غالب نمونه‌های بازالتی حاوی Nb/Yb بیش از ۳ هستند (شکل ۷-ب). این ویژگی نشانگر منشأ ماگمای بازیک از گوشته‌ای است که تحت تأثیر



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 Pearce 2011)، پ) نمودار Nb/Y در برابر Th/Y از (Elliott et al., 1997; Harangi 2007)، ت) نمودار Zr/Y در برابر Zr، (Furnes 2011)، ث) نمودارهای V در برابر Ti از (Shervais 1979)، (1979)

یا پوسته قاره‌ای بالایی (upper continental crust (CUU)) می‌باشند. عناصر LILE مثل Sr, Ba نسبت به LREE در فلئوئیدهای آبدار بسیار محلول می‌باشند. عناصر HFSE مانند Nb, Ta, Th و عناصر HREE, MREE مانند Sm, Lu) حلالیت کمتری در فلئوئیدها دارند. به‌طور میانگین عناصر کمیاب در طی ذوب از گوشته خارج شده‌اند ولی در محل قوس‌های ماگمایی، ماگمای قوس غالباً از

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

### بحث

شیمی بازالت‌های تشکیل شده در محل قوس‌های ماگمایی تحت تاثیر فلئوئیدهای آزاد شده از اسلب فرورانشی و

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 Th/Ba, Nb/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 گردکاولان پیرانشهر می‌باشد. همچنین قرار گرفتن نمونه‌ها در امتداد خط  $La/Nb=3$  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 احتمالاً 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 تولد قوس و بونینیت ادامه داشته و در برخی مناطق مذاب‌های کالکوالکان 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 هتروژنیته گوشته نیز

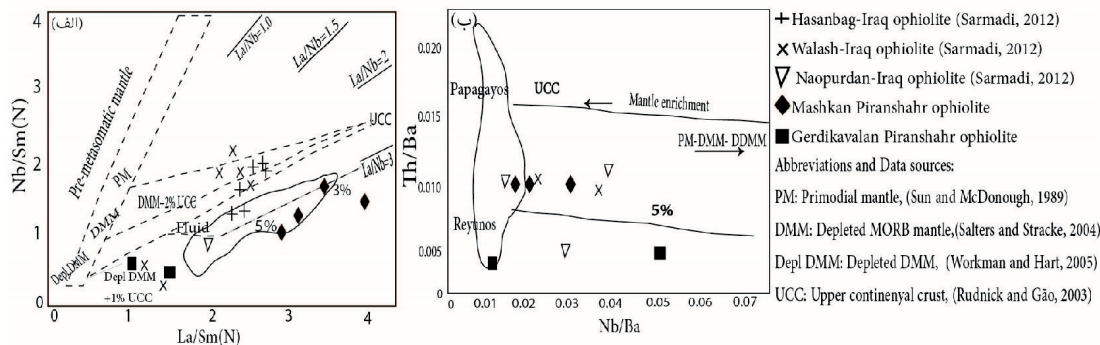
یکسری عناصر کمیاب غنی‌شدگی نشان می‌دهند بنابراین احتمالاً ماگما یا از گوشته متاسوماتیزه در اثر فلوئیدها منشا گرفته باشد و یا از آلودگی با پوسته قاره‌ای غنی شده است. در برخی بازالت‌های افیولیتی هر دو عامل، شیمی بازالت‌ها را تحت تاثیر قرار داده است.

گوشته اولیه (PM)، گوشته مورب تهی شده (DMM) و گوشته مورب شدیداً تهی شده (Depl DMM) قبل از متاسوماتیزه شدن دارای  $Nb/Ba=(0.1-0.3)$ ،  $Th/Ba$  نسبتاً 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  $Th/Ba$  و  $Nb/Ba$  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 گردکاولان نیز در محدوده گوشته مورب شدیداً تهی شده (Depl DMM) واقع شده است (شکل ۸-الف).

نسبت  $La/Nb$  مشخص‌کننده منشا گوشته می‌باشد به طوری که 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



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 شده (DMM) و گوشته مورب شدیداً تهی شده (Depleted DMM) مشخص شده است. خطوط بریده نوع و درصد های تاثیر آلودگی پوسته ای و یا تاثیر فلوتیدها را مشخص می کند. داده های نرمالیز به کندریت از (Sun and McDonough, 1989)، نمودار Nb/Ba و Th/Ba از (Holm et al., 2016) Ba

اقیانوسی در بالای پوسته اقیانوسی فرورانش کرده می باشد (Dilek and Furnes, 2011). احتمالاً بتوان سنگ های بازیک گردکاولان را به حوضه های کششی بالای زون فرورانش نسبت داد که مذاب تولییتی در محیط کششی تشکیل شده ولی به دلیل اثرات فرورانش، ژئوشیمی مشابه با قوس ولکانیکی دارند.

بنابراین از بررسی های فوق می توان برای مجموعه افیولیتی زاگرس در شمال غرب ایران و عراق نتیجه گرفت که سنگ های بازیک پیرانشهر و عراق احتمالاً طی یک سیستم فرورانشی با عقب گرد فرورانش و تشکیل حوضه کششی پیش قوس و یا پشت قوس تشکیل شده است و تکامل مذاب از مرحله تشکیل مورب، تا تشکیل قوس ماگمایی با مذاب تولییتی و کالکوالکالن ادامه یافته است. و حوضه کششی با مذاب تولییتی نیز تشکیل شده است. نتایج به دست آمده در خصوص ویژگی های سوپراسابداکشن سنگ های بازیک پیرانشهر با نتایج به دست آمده از مطالعات قبلی سنگ های اولترابازیک مجموعه افیولیتی پیرانشهر (یزدانی، ۱۳۹۲) و (Hajialioghli and Moazzen 2014) و مطابقت نشان می دهد. نتایج مطالعات سنگ های بازیک افیولیت ماوات عراق (Sarmad, 2012) و همچنین مطالعات سنگ های اولترابازیک افیولیت ماوات عراق (Mohammad, 2009) و (Ahmad Mirza, 2008) نیز ویژگی سوپراسابداکشن را نشان داده شده است.

حاصل اضافه شدن فلوتیدهای اسلب فرورانشی و رسوبات فرورانشی می باشد. بازالت های کالکوالکالن گزارش شده از افیولیت های نئوتتیس شرق مدیترانه (Alastair, 2014) و افیولیت های سوپراسابداکشن جهان طی تکامل ماگماتیسیم قوس همراه با دخالت فزاینده رسوبات فرورانشی تشکیل شده است و تشکیل بازالت های کالکوالکالن نشانه ای از طولانی بودن دوره فرورانش و مچوریتی قوس می باشد (Dilek and Furnes, 2011).

بررسی ژئوشیمی سنگ کل و نمودارهای متمایز کننده محیط های تکتونیک نشان داده است که سنگ های بازیک ماشکان با ویژگی کالکوالکالن از نظر عناصر MREE, HREE, Zr, Hf, Y, Ti تهی شدگی و از نظر عناصر Rb, Cs, Ba, Th, U, LREE, Sr غنی شدگی و آنومالی منفی Nb, Ta و غنی شدگی Pb نشان می دهند که تایید کننده ماگمای مرتبط با زون سوپراسابداکشن می باشد.

سنگ های بازیک گردکاولان پیرانشهر ویژگی تولییتی داشته و آنومالی منفی Nb, Ta نشان می دهند و در نمودارهای متمایزکننده محیط های تکتونیک نتایج مختلفی مانند تولییت مورب، تولییت جزایر قوسی و تولییت حوضه های کششی پشت قوس نشان داده است. این ویژگی دوگانه (شبه مورب و قوس ولکانیکی) حاصل تشکیل افیولیت های سوپراسابداکشن توسط گسترش کف

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. Lithochemical 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. Element transport from slab to volcanic front at the Mariana arc, *Journal of Geophysical Research*, 102, 14991-15019.

- Harangi, S., Downes, H., Thirlwall, M. and Gmélíng, 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.

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

## 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 گردکاولان) مشابه با افیولیت ماوات عراق (محدوده حسن باغ، والاش-نئوپوردان) دارای رژیم ماگمایی تولییتی و کالکوالکالن می‌باشد.

نتایج بررسی ژئوشیمی سنگ کل سنگ‌های بازیک ماشکان پیرانشهر و حسن باغ عراق ویژگی کالکوالکالن 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 کالکوالکالن پیرانشهر نیز نشانه تکامل قوس و دخالت فزاینده فلوئیدها در بالا بردن نرخ ذوب می‌باشد.

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

## منابع

- خدابنده، ع.ا، ۱۳۸۳، نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ نده، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- یزدانی، م، ۱۳۹۲، مطالعه روابط صحرائی و پترولوژی مجموعه افیولیتی شمال غرب پیرانشهر- شمال غرب ایران، دانشگاه تبریز، رساله دکتری، ۱۶۰.
- Ahmed Mirza, T., 2008. Petrogenesis of the Mawat Ophiolite Complex and the associated chromitite, Kurdistan Region, NE Iraq,

- 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., Alfatsen, 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 microterran, 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 geochemistry 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 meta-basaltic 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.