

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته زمین شناسی (گرایش ژئوشیمی)

عنوان:

سیل بازالتی حرمک، جنوب شرق ایران: ژئوشیمی منشأ  
گوشته‌ای بر اساس مدل‌سازی عناصر ناچیز

استاد راهنما:

دکتر علی احمدی

استاد مشاور:

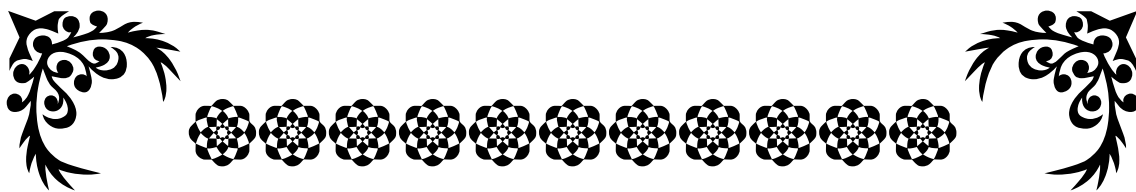
دکتر علی اصغر مریدی فریمانی

تحقیق و نگارش:

آزاد کریمی

(این پایان نامه از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان بهره مند شده است)

شهریور ۱۳۹۰



تقدیم به تمام عزیزانم:

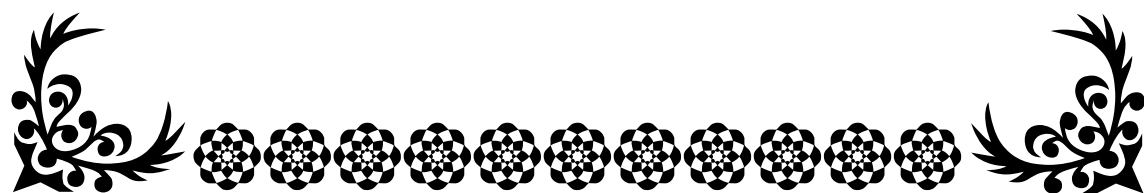
پدر و مادرم

سعیده، شکوفه، فریا، سارا، شهین

نوزاد، اکبر، عابد

روشنا

و کلیه کسانی که به هر نحوی در گردآوری این پایان نامه من را یاری کرده اند



## سپاسگزاری

حمد و ستایش خداوند یکتا که نعمت آموختن را در وجود انسان به ودیعت نهاد تا با قدرت فکر و اندیشه، عالم هستی را بشناسد و شکرگزار آن خالق هستم که فرصتی را به من بخشید تا بتوانم بخش ناچیزی از وجودش را نمایان کنم.

من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق

بر خود لازم می‌بینم از کلیه عزیزانی که به هر نحوی در راستای انجام این پایان‌نامه من را یاری کرده اند تشکر و قدردانی کنم.

در آغاز از استاد گرانقدر و عزیزم جناب آقای دکتر علی احمدی که علاوه بر استاد راهنمای بنده، استاد اخلاق من بودند و در تمام مراحل کار با جان و دل من را راهنمایی و نصیحت کرده و به من امید بخشیده است، و یافته‌ها و تجربه‌های خود را با سعه صدر و با نهایت صبر و حوصله در اختیار اینجانب قرار داده اند تشکر و قدردانی ویژه‌ای داشته باشم.

از آقای دکتر علی اصغر مریدی که زحمت مشاوره‌ی این پایان‌نامه را بر عهده گرفتند و همکاری صمیمانه‌ای با من داشته اند نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

از آقایان دکتر مصطفی قماش و دکتر میثم نوروزی‌فر که وقت ارزشمند خود را برای داوری این پایان‌نامه گذاشته اند و نکات ارزشمندی را در جهت بهبود پایان‌نامه یادآوری کردند، سپاسگزارم.

از آقای مهندس مهران نماینده محترم تحصیلات تکمیلی و مدیر گروه زمین‌شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان که زحمت فراوانی برای دانشجویان می‌کشند، بی نهایت سپاسگزارم.

از دوست عزیزم جناب آقای مجید کوهستانیان که مانند یک برادر مشوق و راهنمای من بوده اند و از هیچ کمکی دریغ نکرده اند نهایت سپاس و تشکر را دارم.

از خانم‌ها فیروزکوهی، علافر، مختاری و سراوانی که زحمت فراوانی برای اینجانب کشیده‌اند نهایت تشکر و سپاس را دارم.

از آقایان آوات کریمی و زانا قادری که در نمونه برداری و عملیات صحرائی من را یاری کردند، تشکر می‌کنم. از اهالی روستای حرملک که بی نهایت مهمان نواز بودند و در مدت نمونه برداری، مهمان ایشان بوده ام تشکر و قدردانی می‌کنم.

از آقای حمدالهی که زحمت تهیه مقاطع را کشیده اند تشکر می کنم.

از آقای مهندس گرگیج و همکاران محترم ایشان که همکاری لازم را با من در جهت در اختیار گذاشتن آزمایشگاه و گارگاه زمین شناسی گذاشته اند، تشکر می کنم.

از خانم یعقوبی کارشناس محترم گروه زمین شناسی و همکاران محترم ایشان نیز به خاطر زحماتی که انجام داده اند تشکر و قدردانی می کنم.

از کلیه دوستان و همکلاسیهای خوبم علی ویسی، ابراهیمی، احمدی بنکدار، اسفرم، سالاری، قاسم پور و تمامی کسانی که به هر نحوی در به ثمر رسیدن این تحقیق نقش داشته اند و نام آنها سهواً از قلم افتاده تشکر نموده و از خداوند رحمان سلامتی و سعادت آنها را آرزومندم.

و در پایان منت دار آنانم که نخست حق را بر من دارند، شرمسار رنج خستگی نهفته در دیدگان پدر و مادر برادران و خواهرانم هستم.



## تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب آزاد کریمی تأیید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان‌نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: آزاد کریمی

امضاء

## چکیده:

بازالت‌های منطقه حرمک، شمال زاهدان، شامل سه نوع بازالت آلکان الیون دار، الیون تولیت و به مقدار کمتر کوارتز تولیت هستند. انواع آلکان که حجم غالب بازالت‌ها را تشکیل می‌دهند، از نوع سدیک هستند. این سنگ‌ها از نظر کانی شناسی دارای الیون (Fo<sub>87.46</sub> - 87.43)، دیوپسید (Wo<sub>45.66</sub> Fs<sub>11.67</sub> En<sub>42.67</sub>)، اوزیت (Wo<sub>42.24</sub> Fs<sub>13.47</sub> En<sub>44.29</sub>)، کلینوانستاتیت (Wo<sub>2.88</sub> Fs<sub>24.21</sub> En<sub>72.91</sub>)، پلاژیوکلاز (An<sub>86.83</sub> - 60.09)، سانیدین (An<sub>4.42</sub> Ab<sub>41.78</sub> Or<sub>53.30</sub>)، آنالسیم، زئولیت، مگنیتیت، اولواسپینل، هورنبلند، و بیوتیت می‌باشند. آنالسیم به صورت فنوکریست، میکروفنوکریست و فاز زمینه به مقدار قابل توجهی در بازالت‌های آلکان الیون دار وجود دارد. طبق شواهد میکروسکوپی نظیر روابط پاراژنتیکی کلینوپیروکسن - آنالسیم - مگنیتیت، عدم تجزیه شدگی منیتیت و کلینوپیروکسن، حضور کانی‌های آبدار و روند تفریق سدیم در این سنگ‌ها آنالسیم کانی اولیه در نظر گرفته شده است. بیشتر سنگ‌ها دارای مقدار Mg# بالا ( ۶۸ تا ۷۵ ) بوده که از این نظر ترکیب شیمیایی آنها نزدیک به ماگمای اولیه می‌باشد. غلظت پایین نیکل در این سنگ‌ها (کمتر از ۱۷۰ ppm) و روندهای دیگرام‌های تغییرات، احتمال تفریق کانی الیون را نشان می‌دهد. گروهی از این سنگ‌ها، به دلیل بالا بودن LILE/HFSE (مثلاً [Rb/Nb]<sub>N</sub>=۶۳/۲۸، [Rb/Zr]<sub>N</sub>=۱۵۵/۴۲، [K/Nb]<sub>N</sub>=۱۴/۰۳) و بالا بودن نسبت LREE/HFSE (مثلاً [Ce/Zr]<sub>N</sub>=۵، [Ce/Nb]<sub>N</sub>=۲) دارای ویژگی‌های منطقه فرورانش هستند. و گروهی دیگر، به دلیل پایین بودن نسبت LILE/HFSE (مثلاً [Rb/Nb]<sub>N</sub>=۱/۹۲، [K/Nb]<sub>N</sub>=۱/۶۶) و پایین بودن نسبت LREE/HFSE (مثلاً [Ce/Zr]<sub>N</sub>=۳، [Ce/Nb]<sub>N</sub>=۰/۵۱)، خصوصیات مناطق ریفتی را نشان می‌دهند. مدل‌سازی ژئوشیمیایی ذوب بخشی و تعادلی سه نتیجه کلی را به دست می‌دهد: ۱- درصد ذوب بخشی سنگ منشاء متفاوت است (۰.۱٪، ۰.۳٪ و ۰.۵٪)، ۲- گوشته ناهمگن بوده و ۳- گوشته در مقایسه با گوشته اولیه، از عناصر ناسازگار غنی، و از عناصر سازگار تهی شده است.

**کلمات کلیدی:** ایالت زمین‌شناختی سیستان - بازالت - آلکان - عناصر ناچیز - آنالسیم اولیه - مدل‌سازی

ژئوشیمیایی - گوشته

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱.....	فصل اول.....
۱.....	کلیات.....
۲.....	۱-۱ مقدمه.....
۲.....	۲-۱ موقعیت و راه‌های دسترسی به منطقه.....
۲.....	۳-۱ تعریف مسأله.....
۳.....	۴-۱ مروری بر تحقیقات پیشین.....
۵.....	۵-۱ ضرورت و اهمیت انجام تحقیق:.....
۵.....	۶-۱ فرضیات تحقیق.....
۶.....	۷-۱ اهداف تحقیق.....
۶.....	۸-۱ نوآوری.....
۶.....	۹-۱ روش کار(مراحل انجام تحقیق).....
۷.....	فصل دوم.....
۷.....	زمین‌شناسی عمومی منطقه.....
۸.....	۱-۲ مقدمه.....
۸.....	۲-۲ تاریخچه‌ی ایالت زمین‌شناختی سیستان.....
۱۲.....	۳-۲ ماگماتیسم در زون جوش خورده‌ی سیستان.....
۱۳.....	۴-۲ زمین‌شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه.....
۱۳.....	۵-۲ واحدهای رسوبی منطقه.....
۱۴.....	۵-۲ - ۱ مارن و ماسه سنگ.....
۱۵.....	۵-۲ - ۲ کنگلومرا.....
۱۶.....	۶-۲ سیل بازالتی حرمک.....
۲۴.....	فصل سوم.....
۲۴.....	سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی.....
۲۵.....	۱-۳ مقدمه.....
۲۵.....	۲-۳ مراحل و روش کار.....
۲۸.....	۳-۳ - ۱ گروه اول.....
۳۱.....	۳-۳ - ۲ گروه دوم.....
۳۶.....	۳-۳ - ۳ گروه سوم.....
۳۹.....	۳-۳ - ۴ گروه چهارم.....
۴۰.....	۳-۳ - ۵ گروه پنجم.....



۴۲	..... گروه ششم ۶-۲-۳
۴۶	..... گروه هفتم ۷-۲-۳
۴۸	..... کانی‌شناسی ۳-۳-۳
۴۸	..... الیون ۱-۳-۳
۵۰	..... گروه اسپینل ۲-۳-۳
۵۱	..... پیروکسن ۳-۳-۳
۵۵	..... ادخال در کانی‌های الیون و کلینوپيروكسن ۴-۳-۳
۵۷	..... گروه فلدسپار ۵-۳-۳
۵۹	..... آنالسیم، اولیه یا ثانویه ۶-۳-۳
۶۷	..... هورنبلند ۷-۳-۳
۶۹	..... آپاتیت ۸-۳-۳
۷۱	..... فصل چهار
۷۱	..... ژئوشیمی
۷۲	..... مقدمه ۱-۴
۷۲	..... روش کار ۲-۴
۷۲	..... محاسبه نورم CIPW ۱-۲-۴
۷۷	..... تعیین ماهیت شیمیایی سنگ‌ها ۳-۴
۷۷	..... نمودارهای تغییرات ژئوشیمیایی، تعیین کننده تفریق کانیها ۴-۴
۸۰	..... دیاگرام‌های تغییرات بر مبنای FeO/MgO ۱-۴-۴
۸۰	..... نمودار FeO/MgO درمقابل $Al_2O_3$ ۱-۱-۴-۴
۸۱	..... دیاگرام FeO/MgO درمقابل $TiO_2$ ۲-۱-۴-۴
۸۲	..... دیاگرام FeO/MgO درمقابل Ni ۳-۱-۴-۴
۸۳	..... دیاگرام‌های تغییرات بر مبنای Mg# ۲-۴-۴
۸۳	..... نمودار CaO در برابر Mg# ۱-۲-۴-۴
۸۴	..... نمودار $Al_2O_3$ در برابر Mg# ۲-۲-۴-۴
۸۵	..... نمودار FeO در برابر Mg# ۳-۲-۴-۴
۸۶	..... نمودار $TiO_2$ در برابر Mg# ۴-۲-۴-۴
۸۷	..... نمودار MnO در برابر Mg# ۵-۲-۴-۴
۸۸	..... نمودار $P_2O_5$ در برابر Mg# ۶-۲-۴-۴
۸۹	..... نمودارهای $Na_2O$ و $K_2O$ در برابر Mg# ۷-۲-۴-۴
۹۱	..... عناصر جزئی ۵-۴
۹۳	..... دیاگرام تغییرات عناصر جزئی ۱-۵-۴
۱۰۲	..... نمودار عنکبوتی ۲-۵-۴
۱۰۶	..... نمودارهای REE ۳-۵-۴
۱۰۹	..... جایگاه تکتونیکی سنگ‌های منطقه ۶-۴
۱۱۰	..... نمودار CaO در مقابل $TiO_2$ ۱-۶-۴

۱۱۱	.....	۲-۶-۴ نمودار Ti در مقابل Zr
۱۱۱	.....	۳-۶-۴ نمودار P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> در مقابل TiO <sub>2</sub>
۱۱۲	.....	۴-۶-۴ نمودار Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> در مقابل TiO <sub>2</sub>
۱۱۳	.....	۵-۶-۴ نمودار La در برابر Nb
۱۱۴	.....	۶-۶-۴ نمودار Ti در برابر Nb
۱۱۵	.....	۷-۶-۴ نمودار Nb در برابر Zr
۱۱۶	.....	۸-۶-۴ نمودار V / Ti در مقابل Zr
۱۱۷	.....	۷-۴ منشأ احتمالی ماگما
۱۱۸	.....	<b>فصل پنج</b>
۱۱۸	.....	<b>مدل سازی ژئوشیمیایی</b>
۱۱۹	.....	۱-۵ مقدمه
۱۲۲	.....	۲-۵ مدل ذوب بخشی رایلی
۱۲۸	.....	۳-۵ مدل ذوب تعادلی
۱۳۰	.....	۴-۵ مدل سازی معکوس
۱۳۳	.....	<b>فصل ششم</b>
۱۳۳	.....	<b>نتیجه گیری</b>
۱۳۶	.....	<b>مراجع</b>

## فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۳	شکل ۱-۱ راه دسترسی به منطقه مورد مطالعه (امیری، ۱۳۷۳).
۱۰	شکل ۱-۲ زون جوش خورده‌ی سیستان و زیر تقسیمات اصلی آن.
۱۴	شکل ۲-۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه با تصحیحات.
۱۵	شکل ۲-۳ نمایی از واحدهای رسوبی منطقه، قسمت عمده این واحدها ماسه سنگ و مارن ماسه‌ای است.
۱۶	شکل ۲-۴ مقطعی دیگر از واحدهای رسوبی منطقه که در آن تناوبی از لایه‌های ماسه سنگ و کنگلومرا را نشان می‌دهد.
۱۷	شکل ۲-۵ نمایی کلی از منطقه که از روی تصویر ماهواره‌ای google earth برداشت شده‌است.
۱۹	شکل ۲-۶ سه تصویر از محل کنتاکت بین سیل و سنگ رسوبی.
۲۰	شکل ۲-۷ لایه بندی و چین خوردگی داخل سیل، دید به سمت جنوب.
۲۱	شکل ۲-۸ نمایی در مقیاس بزرگ از منطقه که در آن چندین واحد مافیکی کوچک و بزرگ داخل واحدهای رسوبی فوران کرده‌اند.
۲۲	شکل ۲-۹ نمایی از منشورهای بازالتی منطقه، منشورها مربوط به لایه میانی هستند.
۲۳	شکل ۲-۱۰ کانی‌های زئولیتی منطقه به‌صورت کانی‌های ثانویه پرکننده حفرات، در سنگ‌های منطقه.
۲۳	شکل ۲-۱۱ نمایی از کانی‌های زئولیتی منطقه، همانطور که ملاحظه می‌شود کانی‌های زیولیتی به فراوانی در سطح زمین پراکنده شده‌اند.
۲۸	شکل ۳-۱ نمونه دستی سنگ‌های گروه اول.
۲۸	شکل ۳-۲ فنوکریست‌های کلینوپیروکسن در زمینه شیشه‌ای قهوه‌ای رنگ.
۲۹	شکل ۳-۳ فنوکریست الیوین که در آن اذخالی از شیشه و کانی اپک وجود دارد.
۲۹	شکل ۳-۴ فنوکریست کلینوپیروکسن که تمام شکل‌دار است. همچنین دارای اذخالی‌های قهوه‌ای رنگ شیشه است.
۳۰	شکل ۳-۵ فنوکریست کلینوپیروکسن با اذخالی‌های قهوه‌ای.
۳۰	شکل ۳-۶ بلور تقریباً خود شکل و چندوجهی آنالسیم به همراه بلورهای گرد و ریزتر آنالسیم که به فراوانی در زمینه مشاهده می‌شوند.
۳۱	شکل ۳-۷ نمونه دستی گروه دوم.
۳۲	شکل ۳-۸ فنوکریست‌های الیوین، کلینوپیروکسن و کانی‌های درشت آنالسیم در زمینه‌ای از آنالسیم و فلدسپات.
۳۲	شکل ۳-۹ فنوکریست‌های شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار الیوین در زمینه فلدسپاتی.
۳۳	شکل ۳-۱۰ فنوکریست‌های اولیوین با حاشیه آتره شده.
۳۳	شکل ۳-۱۱ فنوکریست کلینوپیروکسن که به‌صورت تمام بلورین در مقطع ظاهر شده‌است.
۳۴	شکل ۳-۱۲ اذخالی‌هایی از کانی‌های اپک به موزات سطوح بلوری در یکی از فنوکریست‌های پیروکسن.
۳۴	شکل ۳-۱۳ فنوکریست‌های کلینوپیروکسن با زونینگ دو منطقه‌ای که در زمینه‌ای از فلدسپات، آنالسیم و کانی‌های اپک قرار گرفته‌است.

- شکل ۳-۱۴ حاشیه رشته‌ای ایجاد شده در بعضی فنوکریست‌های کلینوپیروکسن..... ۳۵
- شکل ۳-۱۵ بلورهای درشت آنالسیم که در نور طبیعی به حالت کدر مشاهده می‌شوند. .... ۳۵
- شکل ۳-۱۶ نمونه دستی از سنگ‌های گروه سوم که به صورت تیره رنگ و مخفی بلور دیده می‌شود. .... ۳۶
- شکل ۳-۱۷ بلورهای الیوین خود شکل و نیمه‌شکل‌دار همرا با بلورهای کلینوپیروکسن در زمینه میکروولیتی ریز دانه. .... ۳۷
- شکل ۳-۱۸ بلور الیوین که به صورت تمام شکل‌دار، اسکلتی و خلیجی در مقاطع مشاهده می‌شود، زمینه میکروولیتی بوده و حالت جریان‌ی از خود نشان می‌دهد. .... ۳۷
- شکل ۳-۱۹ بلورهای الیوین که به شدت تجزیه شده‌اند. .... ۳۸
- شکل ۳-۲۰ مقطعی تیپیک از میکروفنوکریست‌های الیوین در یک زمینه درشت بلور میکروولیتی که حالت جریان‌ی در آن به وضوح مشاهده می‌شود. .... ۳۸
- شکل ۳-۲۱ نمونه دستی سنگ‌های گروه چهارم که تیره رنگ و و آثار تجزیه شدگی کانی‌های کلینوپیروکسن را در خود نشان می‌دهد. .... ۳۹
- شکل ۳-۲۲ میکروفنوکریست کلینوپیروکسن در زمینه میکروولیتی- شیشه‌ای. .... ۴۰
- شکل ۳-۲۳ نمونه دستی سنگ‌های گروه پنجم که قرمز رنگ بوده و کانی‌های کلینوپیروکسن در آن، با چشم غیر مسلح مشاهده می‌شوند. .... ۴۰
- شکل ۳-۲۴ فنوکریست‌های کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز در زمینه‌ای ریز بلور و شیشه‌ای. .... ۴۱
- شکل ۳-۲۵ تجمع کانی‌های اپک و کلینوپیروکسن که باعث ایجاد بافت گلوموپورفیری شده است. .... ۴۱
- شکل ۳-۲۶ کانی تتراگونال یا کوبیک به اندازه فنوکریست‌های کلینوپیروکسن، با برجستگی مشابه با پلاژیوکلاز، رنگ تداخلی خاکستری روشن و دارای زوناسیون متحدالمرکز. .... ۴۲
- شکل ۳-۲۷ سنگ‌های گروه ششم در نمونه دستی که شباهت نزدیکی با گروه پنجم دارند. .... ۴۳
- شکل ۳-۲۸ فنوکریست‌های کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز در زمینه دانه ریز و احتمالاً شیشه‌ای. .... ۴۳
- شکل ۳-۲۹ فنوکریست‌های شکل‌دار و نیمه‌شکل‌دار کلینوپیروکسن که دارای ادخال‌های از کانی‌های اپک هستند به همراه پلاژیوکلاز در زمینه ریز بلور- شیشه‌ای. .... ۴۴
- شکل ۳-۳۰ دو درشت بلور پلاژیوکلاز که به دلیل حاشیه واکنشی‌ای که در آنها مشاهده می‌شود این احتمال را می‌دهد که بیگانه بلور باشند. .... ۴۵
- شکل ۳-۳۱ نمونه دستی سنگ‌های گروه هفتم که دارای ظاهری تیره متمایل به روشن می‌باشد. .... ۴۶
- شکل ۳-۳۲ بلورهای هورنبلند به صورت تقریباً خودشکل و با حاشیه سوخته به همراه پلاژیوکلاز در زمینه‌ای شیشه‌ای- ریز بلور. .... ۴۶
- شکل ۳-۳۳ هورنبلند خود شکل و با حاشیه سوخته. .... ۴۷
- شکل ۳-۳۴ نمونه‌ای از بیوتیت مشاهده شده در سنگ‌های این گروه. .... ۴۷
- شکل ۳-۳۵ کانی با برجستگی متوسط تا زیاد، خاکستری رنگ، شکل‌دار به صورت چند وجهی و دارای منطقه بندی متحدالمرکز که نتایج تجزیه شیمیایی نشان می‌دهد که پلاژیوکلاز می‌باشد. .... ۴۸
- شکل ۳-۳۶ تصویر میکروسکروپ الکترونی از پیروکسن با حاشیه رشته‌ای. .... ۵۳
- شکل ۳-۳۷ نمودار سه تایی مربوط به پیروکسن‌ها و نتایج به دست آمده از پروب کانی‌های پیروکسن موجود در سنگ‌های منطقه. .... ۵۳
- شکل ۳-۳۸ تصویر میکروسکروپ الکترونی از یک پیروکسن ادخال‌دار. .... ۵۶

شکل ۳-۳۹ دیگرام سه‌تایی مربوط به گروه فلدسپار که فلدسپارهای آنالیز شده از سنگ‌های منطقه روی آن پلات شده‌اند. .... ۵۷

شکل ۳-۴۰ تصویر میکروسکوپ الکترونی از کانی‌های آنالسیم به همراه هاله‌های قهوه‌ای رنگ اطراف آنالسیم‌ها. .... ۶۰

شکل ۳-۴۱ تصویر میکروسکوپ الکترونی از آنالسیم که ترکیبات به رنگ روشن در آن مشاهده می‌شوند. .... ۶۲

شکل ۳-۴۲ نمونه‌ای از پیروکسن با ادخال آنالسیم. .... ۶۳

شکل ۳-۴۳ تصویر میکروسکوپ الکترونی از کلینوپیروکسن و آپاتیت. کانی آپاتیت به شکل سوزنی کشیده، با علامت پیکان در عکس مشخص شده‌است. .... ۶۹

شکل ۴-۱ الف، رده‌بندی نمونه‌ها بر اساس نورم CIPW، اقتباس از اشتريکایزین (۱۹۷۹). ب، نمودار تقسیم-بندی بازالت‌ها بر گرفته از یودر و تیلی (۱۹۶۷). .... ۷۶

شکل ۴-۲ نمودار عناصر آلکالی در برابر سیلیس (له باس و همکاران، ۱۹۹۲) که سری ماگمای آلکالن از ساب آلکالن را از هم تفکیک می‌کند. .... ۷۸

شکل ۴-۳ نمودار تفکیک سری‌های آلکالن سدیک و پتاسیک، همانطور که مشاهده می‌شود اکثر نمونه‌ها در محدوده سری پتاسیک و دو نمونه در محدوده شوشونیت قرار می‌گیرند. .... ۷۸

شکل ۴-۴ نمودار تغییرات عناصر اصلی برای نشان دادن تفریق کانیها. در این شکل تفریق کانی‌های الیوین، کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز نشان داده شده‌است. .... ۸۱

شکل ۴-۵ نمودار تغییرات  $TiO_2$  در مقابل نسبت  $FeO/MgO$  که نشان‌دهنده تفریق بلورهای الیوین و کلینوپیروکسن است. .... ۸۲

شکل ۴-۶ نمودار تغییرات  $Ni$  در مقابل نسبت  $FeO/MgO$  که نشان‌دهنده تفریق الیوین به نسبت‌های متفاوت در سنگ‌های منطقه می‌باشد. .... ۸۳

شکل ۴-۷ نمودار  $CaO$  در برابر  $Mg\#$  که با کاهش  $Mg\#$  مقدار  $CaO$  در دو گروه سنگی افزایش می‌یابد و این نشان‌دهنده عدم تفریق پیروکسن و پلاژیوکلاز می‌باشد. .... ۸۴

شکل ۴-۸ نمودار  $Al_2O_3$  در برابر  $Mg\#$  که نشان‌دهنده تفریق الیوین و عدم تفریق کانی‌های کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز است. .... ۸۵

شکل ۴-۹ نمودار  $FeO$  در برابر  $Mg\#$  که تفریق الیوین را نشان می‌دهد. .... ۸۶

شکل ۴-۱۰ نمودار  $TiO_2$  در برابر  $Mg\#$  که نمایانگر تفریق الیوین و عدم تفریق کانی‌های  $Ti$  دار مثل ایلمنیت و تیتانومگنتیت و کلینوپیروکسن است. .... ۸۷

شکل ۴-۱۱ نمودار  $MnO$  در برابر  $Mg\#$  که نشان‌دهنده تفریق الیوین و کلینوپیروکسن در سنگ‌های با  $Mg\#$  بالا و عدم تفریق منیتیت در سنگ‌های با  $Mg\#$  پایین منطقه باشد. .... ۸۸

شکل ۴-۱۲ نمودار  $P_2O_5$  در برابر  $Mg\#$  که نشان‌دهنده تفریق بلور الیوین و عدم تفریق کانی‌های فسفردار مثل آپاتیت است. .... ۸۹

شکل ۴-۱۳ نمودارهای  $Na_2O$  در برابر  $Mg\#$  که می‌تواند بیانگر عدم تفریق فلدسپارهای سدیک باشد. .... ۹۰

شکل ۴-۱۴ نمودار  $K_2O$  در برابر  $Mg\#$  که می‌تواند بیانگر عدم تفریق فلدسپارهای پتاسیک باشد. .... ۹۰

شکل ۴-۱۵ نمودار  $CaO$  در مقابل  $MgO$  که نشان‌دهنده تفریق الیوین کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز باشد. .... ۹۱

شکل ۴-۱۶ روند کاهشی  $Co$  همزمان با کاهش  $Mg\#$  که می‌تواند نمایانگر تفریق کانی الیوین باشد. .... ۹۴

شکل ۴-۱۷ کاهش  $Ni$  با کاهش  $Mg\#$  که نشان‌دهنده تفریق الیوین از ماگما در سنگ‌های منطقه است. .... ۹۴

- شکل ۴-۱۸ تغییرات V با Mg# را نشان می‌دهد. کاهش هم‌زمان V و Mg# می‌تواند بیانگر تفریق پیروکسن و مگنتیت باشد. ۹۵.....
- شکل ۴-۱۹ تغییرات Sr در مقابل تغییرات Mg# که نشان‌دهنده تفریق الیوین در سنگ‌ها و عدم تفریق کانی-های استرانسیم‌دار مثل پلاژیوکلازها باشد. ۹۶.....
- شکل ۴-۲۰ تغییرات سه عنصر Rb, Ba و Cs در مقابل Mg# ..... ۹۷.....
- شکل ۴-۲۱ (الف) تغییرات Nb در مقابل Mg#، افزایش Nb هم‌زمان با کاهش Mg# را نشان می‌دهد. (ب) افزایش Ta هم‌زمان با کاهش Mg#، که نشان‌دهنده تمرکز این عنصر در مذاب باقیمانده است. ۹۹.....
- شکل ۴-۲۲ هر دو شکل الف و ب رفتار مشابه این عناصر را طی فرایند تفریق ماگمایی نشان می‌دهد. .... ۱۰۰.....
- شکل ۴-۲۳ تغییرات Ga در برابر Mg#. در مراحل اولیه با تبلور الیوین، مقدار Ga در مذاب افزایش می‌یابد و در مراحل پایانی با تفریق کانیهای فلدسپاتی روند نزولی نشان می‌دهد. .... ۱۰۱.....
- شکل ۴-۲۴ تغییرات Y در برابر Mg#. روند افزایشی Y هم‌زمان با کاهش Mg# می‌تواند دلیلی بر عدم تفریق کانی حامل Y باشد. .... ۱۰۲.....
- شکل ۴-۲۵ نمودارهای عنکبوتی بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (مک دو ناف و همکاران، ۱۹۹۲). .... ۱۰۳.....
- شکل ۴-۲۶ نمودارهای REE رسم شده برای نمونه‌ها. .... ۱۰۸.....
- شکل ۴-۲۷ تفکیک نمونه‌ها را به دو گروه مرتبط با فرورانش و مرتبط با جزایر اقیانوسی نشان می‌دهد. .... ۱۱۰.....
- شکل ۴-۲۸ تمایل نمونه‌ها به دو محیط تکتونیکی مرتبط با فرورانش و مرتبط با ریفت را نشان می‌دهد. ... ۱۱۱.....
- شکل ۴-۲۹ تمایل نمونه‌ها به دو محیط تکتونیکی مرتبط با فرورانش و مرتبط با ریفت را نشان می‌دهد. ... ۱۱۲.....
- شکل ۴-۳۰ تمایل نمونه‌ها به دو محیط تکتونیکی مرتبط با فرورانش و مرتبط با ریفت درون قاره‌ای را نشان می‌دهد. .... ۱۱۳.....
- شکل ۴-۳۱ تفکیک نمونه‌ها به دو محیط تکتونیکی متفاوت که در اینجا می‌توان شباهت داشتن سنگ‌های گروه سوم را به یک محیط ریفتی به وضوح مشاهده کرد. .... ۱۱۴.....
- شکل ۴-۳۲ ارتباط مشخص نمونه‌های گروه سوم را با ریفت نشان داده است. .... ۱۱۵.....
- شکل ۴-۳۳ تفکیک سنگ‌های منطقه به دو محیط تکتونیکی و قرابت نزدیک سنگ‌های گروه سوم به ریفت را نشان می‌دهد. .... ۱۱۵.....
- شکل ۴-۳۴ قرار گرفتن نمونه‌ها در دو محیط تکتونیکی متفاوت را تأیید می‌کند. .... ۱۱۶.....
- شکل ۵-۱ نمای شماتیکی از مقایسه انواع روندهای ذوب. .... ۱۲۰.....

## فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۳ خلاصه‌ای از خصوصیات سنگ‌شناسی نمونه‌های مورد مطالعه	۲۶
جدول ۲-۳ نتایج حاصل از تجزیه کانی الیوین در سه نمونه انتخابی.	۵۰
جدول ۳-۳ نتایج حاصل از تجزیه کانی‌های گروه اسپینل توسط میکروپروپ	۵۱
جدول ۴-۳ تجزیه کانی پیروکسن در نمونه‌های منطقه، محاسبه اعضای نهایی کانی‌ها نشان می‌دهد که اغلب پیروکسن‌ها در محدوده دیوپسید-اوپت قرار می‌گیرند.	۵۴
جدول ۵-۳ تجزیه ادخال درون یکی از پیروکسن‌ها که نشان می‌دهد این ادخال شیشه نبوده و دارای ترکیب سرپانتین می‌باشد.	۵۶
جدول ۶-۳ نتایج حاصل از میکروپروپ برای کانی‌های گروه فلدسپار، تعیین فرمول ساختاری و محاسبه اعضای نهایی برای آنها.	۵۸
جدول ۷-۳ مقایسه ترکیب شیمیایی بین آنالسیم، کانی پرماند و کلینوپيروكسن.	۶۱
جدول ۸-۳ مقایسه بین ترکیب آنالسیم (Anl) و ترکیبات داخل آن.	۶۴
جدول ۹-۳ مقایسه بین ترکیب کلینوپيروكسن و آنالسیمی که به صورت ادخال در آن قرار دارد.	۶۴
جدول ۱۰-۳ مقایسه بین دو گونه آنالسیم موجود در منطقه که نشان می‌دهد تغییری در ترکیب شیمیایی آنالسیم‌ها مشاهده نمی‌شود.	۶۷
جدول ۱۱-۳ تجزیه کانی‌های گروه آمفیبول توسط دستگاه میکروپروپ و محاسبه فرمول ساختاری کانی.	۶۸
جدول ۱۲-۳ نتایج حاصل از تجزیه آپاتیت که به وسیله میکروپروپ گزارش شده است.	۷۰
جدول ۱-۴ نتایج تجزیه شیمیایی ۱۶ نمونه انتخاب شده از سنگ‌های منطقه.	۷۳
جدول ۲-۴ داده‌های عناصر اصلی مربوط به نمونه‌ها و نورم CIPW محاسبه شده برای آنها.	۷۵
جدول ۳-۴ مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین عناصر اصلی در سنگ‌های منطقه.	۸۰
جدول ۴-۴ مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین عناصر جزئی در نمونه‌های مورد مطالعه.	۹۲
جدول ۱-۵ درصد کانی و ترکیب عناصر جزئی پریدوتیت فرضی، با کمی تغییرات.	۱۲۱
جدول ۲-۵ ضرایب جدایش کانی / مذاب در کانی‌های رایج پریدوتیتی برای مذاب‌های بازالتی تا آندزیتی-بازالتی.	۱۲۵
۳-۵ مقادیر محاسبه شده برای تمام عناصر انتخابی در پریدوتیت فرض شده.	۱۲۶
جدول ۴-۵ مقادیر $C_1$ برای تمام عناصر که بر اساس معادله ۵-۱۱ به دست آمده است.	۱۲۷
جدول ۵-۵ مقادیر عناصر جزئی در سه نمونه، این سه نمونه به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که دارای $Mg\#$ بالا باشند به عبارت دیگر، کمترین میزان تفریق یافتگی یا آرایش را نشان دهند.	۱۲۷
جدول ۶-۵ مقادیر $C_1$ برای تمام عناصر که بر اساس معادله ۵-۱۶ به دست آمده است.	۱۲۹
جدول ۷-۵ ترکیب احتمالی گوشته که از روی مدل ذوب رایلی به دست آمده است.	۱۳۱
جدول ۸-۵ ترکیب احتمالی گوشته که از روی مدل ذوب دسته‌ای به دست آمده است.	۱۳۱
جدول ۹-۵ مقایسه ترکیب به دست آمده از دو مدل ذوب بخشی (Rayleigh M.) و ذوب تعادلی (Batch M.)	
برای گوشته منطقه با گوشته اولیه (Primitive M.).	۱۳۲

فصل اول

کلیات



## ۱-۱ مقدمه

با توجه به پیچیدگی‌های زمین‌شناسی در ایالت زمین‌شناختی سیستان (مریدی، ۱۳۸۹)، بررسی بازالت‌ها در این منطقه ضروری است، زیرا بازالت‌ها یکی از بهترین نمونه‌ها برای پی بردن به ویژگی‌های شیمیایی گوشته و تحولات پترولوژیکی مربوط به آن هستند. بنابراین در این پژوهش سعی شده است با بررسی سنگ‌های بازالتی منطقه حرمک و با تأکید بر تغییرات ژئوشیمیایی عناصر ناچیز، به شناخت محیط تکتونیکی گدازه‌ها و ماهیت شیمیایی گوشته پرداخته شده و شباهت گوشته در ایالت زمین‌شناختی سیستان با گوه گوشته ای<sup>۱</sup> بررسی گردد.

## ۲-۱ موقعیت و راه‌های دسترسی به منطقه

منطقه مورد مطالعه در فاصله ۵۲ کیلومتری جاده زاهدان به سمت بیرجند و در اطراف روستای حرمک واقع شده است. گدازه‌ها به نحوی در منطقه قرار گرفته‌اند که قسمتی از آن‌ها توسط جاده اصلی زاهدان-بیرجند در کنار روستای حرمک قطع شده است. بنابراین برای دسترسی به گدازه‌ها می‌توان در کنار جاده اصلی در روستای حرمک و چند جاده فرعی دیگر به سمت روستاهای لورباب، پدگی و قرقروک در طول مسیر استفاده کرد (شکل ۱-۱).

## ۳-۱ تعریف مسأله

ایالت زمین‌شناختی سیستان، زمین‌درز سیستان نیز نامیده شده است (تیرول<sup>۲</sup> و همکاران، ۱۹۸۳). به فرض صحت فروانش در این پهنه، این فرایند و ماگماتیسم همراه آن باید ترکیب گوشته لیتوسفری را در این پهنه تحت تأثیر قرار داده باشد (وایت،<sup>۳</sup> ۱۹۸۹). از آنجا که بازالت‌ها از گوشته زمین سرچشمه می‌گیرند (هس،<sup>۴</sup> ۱۹۸۹)، می‌توانند جهت مطالعه ترکیب گوشته زمین مورد استفاده قرار گیرند. نتیجه چنین مطالعه‌ای معلوم خواهد کرد که آیا گوشته لیتوسفری در جنوب شرق ایران (ایالت زمین‌شناختی سیستان) از نوع زیر قوس<sup>۵</sup>

---

<sup>1</sup> Mantle wedge

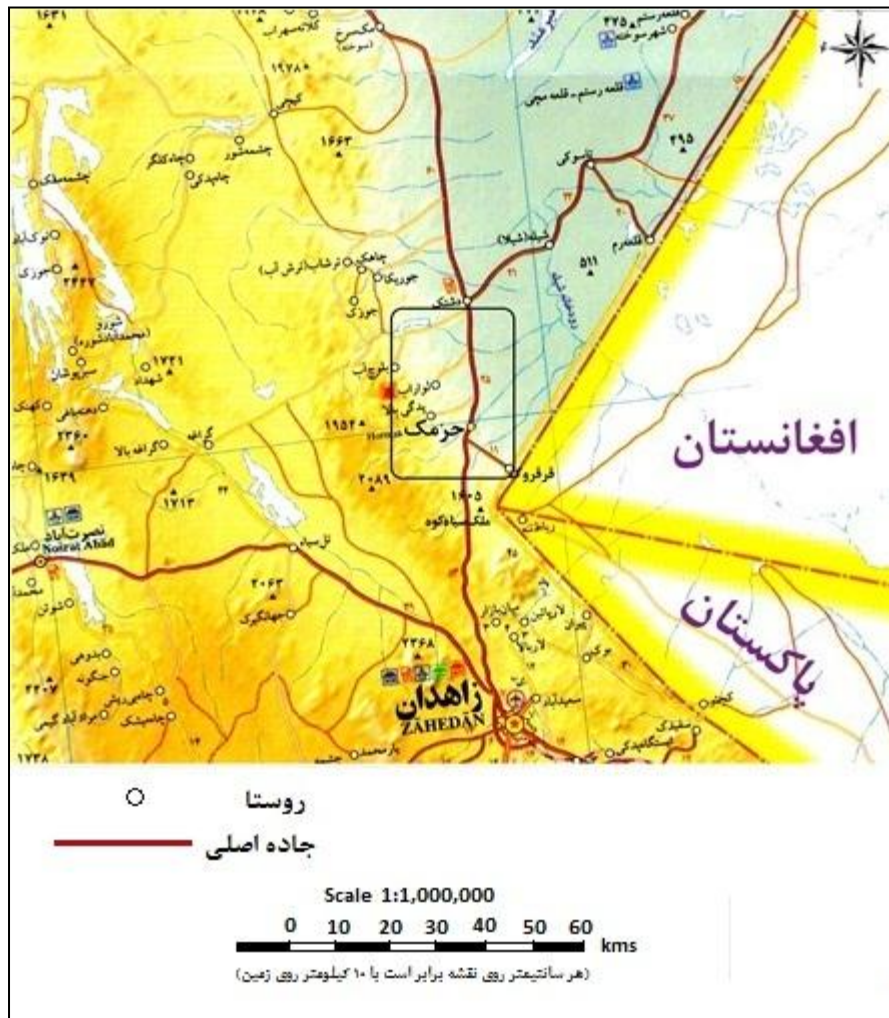
<sup>2</sup> Tirrul

<sup>3</sup> White

<sup>4</sup> Hess

<sup>5</sup> sub – arc mantle

است. چنین نتیجه‌ای، شاهدهی بر درستی این باور پیشین و سنتی که این بخش از شرق ایران به صورت زمیندرز است، خواهد بود.



شکل ۱-۱: راه دسترسی به منطقه مورد مطالعه (امیری، ۱۳۷۳).

#### ۴-۱ مروری بر تحقیقات پیشین

قبل از هرگونه اظهار نظر در مورد منطقه و بیان روش کار، در اینجا تحقیقاتی که تاکنون در مورد زمیندرز سیستان انجام گرفته است، آورده شده است. می توان گفت که زمیندرز سیستان از جنبه های مختلف مورد

بررسی قرار گرفته است. برای داشتن دید کلی از منطقه و روشن شدن موضوع پژوهش، تحقیقاتی که تاکنون انجام شده است به ترتیب زیر ذکر می‌شوند:

۱- اولین بررسی انجام شده در منطقه توسط فروند<sup>۱</sup> (۱۹۷۰) صورت گرفته که پیرامون گسل زاهدان وساز و کار آن می باشد و در مقاله ای تحت عنوان "چرخش گسل های امتداد لغز در سیستان، جنوب شرق ایران" ارائه شده است.

۲- مدل تکتونیک صفحه ای برای ایالت زمین‌شناختی سیستان توسط افتخارنژاد (۱۳۵۲) مطرح شد.

۳- نقشه زمین شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ شرکت ملی نفت ایران<sup>۲</sup> در قالب برگه ششم و کامل شده به وسیله هابر<sup>۳</sup> (۱۹۷۸) که چکیده ای از فعالیت های زمین‌شناسی چند دهه قبل خود بوده است.

۴- گزارش اکتشاف مقدماتی مواد معدنی بلوک شرق ( پروژه شرق ایران ) توسط مهندسیین مشاور آب و خاک و مشاورین کانادایی آن ها در سال ۱۹۷۸ ارائه شد.

۵- کمپ و گریفیس<sup>۴</sup> (۱۹۸۲) مقاله ای تحت عنوان " خصوصیت، ژنز و جایگزینی تکتونیکی سنگ های آذرین در زمیندرز سیستان، شرق ایران" ارائه کردند.

۶- تیروول و همکاران (۱۹۸۳) مقاله ای به نام " زون جوش خورده سیستان، شرق ایران" به چاپ رساندند.

۷- سازمان زمین شناسی کشور در سال ۱۳۷۰ نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ چهار گوش دریاچه هامون را منتشر کرد.

۸- سامانی و اشتري (۱۳۷۱) با تحقیقات خود در منطقه دو مقاله تحت عناوین " تکوین زمین شناسی ناحیه سیستان و بلوچستان" و " چرخه های فلزایی و مدل متالوژی ناحیه سیستان و بلوچستان" ارائه کردند.

۹- مریدی (۱۳۷۳) تحقیقی پیرامون گسل زاهدان انجام داد و از این تحقیق در سال ۱۳۷۴ مقاله ای تحت عنوان " تحلیل ساختاری گسل زاهدان" ارائه داد.

۱۰- در سال ۱۳۷۴ سازمان زمین شناسی کشور، نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ چهار گوش زاهدان را منتشر می کند.

۱۱- کوهستانیان (۱۳۷۷) پایان نامه خود را به بررسی پترولوژی و ژئوشیمیایی منطقه ملک سیاه کوه اختصاص داده است.

---

<sup>1</sup>Freund

<sup>2</sup>NIOC

<sup>3</sup>Huber

<sup>4</sup>Camp & Griffis

۱۲- سال ۱۳۷۸ پروژه اکتشاف کانی‌های گروه زئولیت در شمال زاهدان توسط باقری (۱۳۷۸) انجام شد که نتیجه آن مقاله‌ای تحت عنوان "منشأ و گسترش کانی‌های زئولیت" بوده است.

۱۳- باقری و بخشی (۲۰۰۱) از ماگماتیسم الیگومیوسن منطقه زمیندرز سیستان با نام ماگماتیسم پتاسیک بعد از برخورد یاد نموده اند.

۱۴- باقری و بخشی (۱۳۸۰) ماگماتیسم لامپروفیک شوشونیتی را در منطقه معرفی کرده اند.

۱۵- باقری و بخشی (۱۳۸۰) طرح تحقیقاتی تحت عنوان "بررسی ماگماتیسم شمال زاهدان و ارتباط آن با کانسار سازی" را ارائه کرده اند.

تمام مطالعات پیشین که در اینجا آمده است، عمدتاً در چهارچوب زمین‌شناسی عمومی، تکتونیک و بررسی ماگماتیسم منطقه از نظر سن، محل، ترکیب سنگ‌شناسی و ژنز ماگماتیسم بر اساس مدل تکتونوماگمایی بوده است. در این پژوهش سعی بر آن است که در جهت تکمیل و ادامه مطالعات زمین‌شناختی منطقه به بررسی ویژگی‌های گوشته منطقه پرداخته شود و با توجه به نتایج حاصل از بررسی گوشته، به خصوصیات ژئوتکتونیکی منطقه پی برده شود.

#### ۱-۵ ضرورت و اهمیت انجام تحقیق:

از آنجا که سیل مورد مطالعه متشکل از سنگ‌های بازالتی بوده و بازالت‌ها یکی از بهترین نمونه‌ها برای پی بردن به ویژگی‌های گوشته و تحولات پترولوژیکی مربوط به گوشته هستند، بنابراین این پژوهش یکی از بهترین روش‌های پی بردن به موقعیت تکتونیکی ایالت سیستان است.

#### ۱-۶ فرضیات تحقیق

- بازالت حرمک از نظر ترکیب شیمیایی بیانگر (یا نزدیک به) یک ماگمای اولیه است.
- این بازالت می‌تواند وسیله‌ای برای تعیین خاستگاه تکتونیکی خود باشد.
- می‌توان با تکیه بر مدل‌سازی ژئوشیمیایی، از ترکیب این بازالت برای پی بردن به ماهیت گوشته در این بخش از زمین استفاده کرد.