

## پترولوژی و پتروگرافی سنگ‌های آتشفشانی کواترنری شمال-شمال شرق

### ورزقان (آذربایجان شرقی)

پروین حاجی زاده<sup>۱</sup>، محمد هاشم امامی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران

۲- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اسلامشهر

#### چکیده

منطقه مورد مطالعه در شمال-شمال شرق شهرستان ورزقان در استان آذربایجان شرقی واقع شده است و از نظر ساختاری، در زون البرز-آذربایجان قرار دارد. در این منطقه سنگ‌های آتشفشانی کواترنری بر روی واحدهای پلیوسن گسترش یافته‌اند. سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه عبارتند از: بازالت، تراکی بازالت، تراکی آندزیت و تراکی آندزیت بازالتی. این سنگ‌ها اکثراً دارای بافت پورفیریک با زمینه میکرولیتی بوده و کانی‌های اصلی آنها شامل پیروکسن و پلاژیوکلاز می‌باشد. بر اساس مطالعات ژئوشیمی، سنگ‌های آتشفشانی منطقه دارای ماهیت آکالن با گرایش سدیک می‌باشند و از عناصر کمیاب خاکی سبک (LREE)، غنی شدگی و از عناصر کمیاب خاکی سنگین (HREE)، تهی شدگی نشان می‌دهند. شواهد پتروگرافی و ژئوشیمیایی دلالت بر دخالت پدیده‌های ذوب بخشی گوشته، تبلور بخشی، آلودگی و آناتکسی پوسته قاره‌ای در تشکیل سنگ‌های آتشفشانی منطقه دارد. طبق نمودارهای محیط تکتونوماگمایی، نمونه‌ها در محدوده بازالت‌های درون قاره‌ای قرار می‌گیرند.

**واژگان کلیدی:** ورزقان، بازالت، آندزیت، آلودگی پوسته‌ای، بازالت درون قاره‌ای.

#### مقدمه

(اشتوکلین، ۱۹۶۸) و البرز غربی-آذربایجان (نبوی، ۱۳۵۵) قرار دارد. اشتامپلی (۱۹۷۸) این قسمت از ایران را جزو البرز می‌داند. سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه زمین‌شناسی این منطقه را در سال ۱۳۷۱ تهیه و برای اولین بار ویژگی‌های زمین‌شناسی این منطقه را منتشر ساخت و از آن زمان تا کنون مطالعات زمین‌شناسی در منطقه مورد مطالعه، صورت نگرفته است. هدف این مقاله، شناخت دقیق‌تر و با جزئیات

منطقه مورد مطالعه در شمال غرب ایران و شمال-شمال شرق شهرستان ورزقان قرار داشته و از نظر موقعیت جغرافیایی در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ تبریز-ورزقان بین طول جغرافیایی  $46^{\circ}$  تا  $47^{\circ}$  شرقی و عرض جغرافیایی  $30^{\circ}$  تا  $38^{\circ}$  شمالی واقع شده است. محدوده مورد مطالعه بر روی رشته کوه‌های ارسباران (قره‌داغ) قرار گرفته است و از لحاظ تقسیم‌بندی زون‌های ساختاری ایران، در زون ایران مرکزی

بیشتر منطقه، از دیدگاه زمین‌شناسی است و طی انجام این تحقیق، سنگ‌های آتشفشانی مربوط به دوره کواترنر، از دیدگاه پتروگرافی، ژئوشیمی و محیط تکتونوماگمایی مورد بررسی قرار گرفته است.

### روش تحقیق

بعد از جمع‌آوری اطلاعات، نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، عکس‌های هوایی و گزارشات موجود از منطقه مورد مطالعه، عملیات صحرایی زمین‌شناسی و نمونه‌برداری انجام شد. در کل ۶ مسیر پیمایش، ۱۱۴ نمونه برداشت شد. از بین نمونه‌های برداشت شده حدود ۶۷ نمونه انتخاب و از آنها مقطع نازک تهیه گردید. مطالعه بر روی مقاطع نازک، در آزمایشگاه زمین‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و

تحقیقات انجام شد. پس از مطالعه دقیق پتروگرافی نمونه‌ها، تعداد ۱۴ نمونه برای آنالیز شیمیایی عناصر اصلی و کمیاب انتخاب شدند، که مراحل خرد و آسیاب کردن آن‌ها در آزمایشگاه شرکت کان‌پژوه تهران انجام گردید، سپس به آزمایشگاه ژئوشیمی ALS-Chemex کشور کانادا ارسال گشت و به روش‌های ME-ICP06 و ME-MS81 مورد آنالیز قرار گرفتند که نتایج آن در جدول (۱) و (۲) آمده است. بعد از تجزیه نمونه‌ها و بررسی آماری داده‌های تجزیه شده، از نرم‌افزارهای کامپیوتری (Excel و Gcdkit) برای تحلیل داده‌های تجزیه‌ای، تفسیر نتایج و دیگرگرم‌های مختلف، استفاده کرده و در آخر تمام اطلاعات کتابخانه‌ای، صحرایی و آزمایشگاهی را تطبیق داده و تدوین مقاله انجام شد.

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی عناصر اصلی

شماره نمونه‌ها	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Total (%)
۱	۴۶/۶	۱۳/۴۰	۱۰/۰۵	۱۰/۹۵	۹/۸۱	۴/۰۵	۱/۰۹	۱/۷۷	۰/۱۵	۱/۲۱	۹۹/۸
۲	۴۹/۱	۱۵	۹/۰۷	۱۰/۷۰	۷/۳۵	۴/۱۰	۱/۵۲	۱/۴۶	۰/۱۴	۰/۷۵	۹۹/۹
۳	۵۹/۷	۱۸/۷۰	۵/۰۱	۶/۵۹	۱/۶۶	۵/۳۱	۱/۴۴	۰/۷۷	۰/۱۰	۰/۴۸	۹۹/۸
۴	۵۵/۷	۱۸/۰۵	۵/۹۱	۷/۴۰	۲/۹۵	۵/۴۱	۱/۹۰	۰/۹۸	۰/۰۹	۰/۷۲	۹۹/۸
۵	۵۸/۷	۱۸	۴/۸۴	۷/۴۷	۲/۷۳	۵/۰۹	۱/۳۰	۰/۷۲	۰/۰۷	۰/۴۶	۹۹/۸
۶	۵۴/۳	۱۷/۷۵	۶/۱۳	۷/۷۱	۳/۴۹	۴/۹۵	۱/۵۷	۰/۹۳	۰/۰۹	۰/۶۸	۹۸/۱
۷	۵۵/۸	۱۷/۸۰	۶	۷/۵۸	۳/۴۱	۵/۰۷	۱/۵۴	۰/۸۹	۰/۰۹	۰/۵۹	۹۸/۹
۸	۵۵/۴	۱۸	۶/۱۹	۷/۸۲	۳/۱۳	۴/۹۰	۱/۶۳	۰/۹۱	۰/۱۰	۰/۶۱	۹۹/۹
۹	۴۶/۸	۱۱/۶۵	۱۰/۵۵	۹/۹۷	۶/۰۴	۳/۱۰	۳/۰۸	۲/۴۹	۰/۱۴	۱/۱۹	۹۸/۲
۱۰	۵۱/۱	۱۴/۱۰	۸/۹۷	۹/۷۹	۸/۱۹	۳/۱۲	۱/۲۱	۱/۲۹	۰/۲۶	۰/۶۷	۹۸/۱
۱۱	۶۷	۱۳/۶۰	۲/۰۲	۴/۳۱	۰/۷۳	۶/۶۱	۰/۲۸	۰/۱۵	۰/۰۸	۰/۰۳	۹۸/۱
۱۲	۵۹	۱۶/۸۵	۵/۱۱	۷/۴۰	۲/۵۲	۴/۸۸	۱/۴۴	۰/۷۷	۰/۰۹	۰/۵۷	۹۸
۱۳	۵۸/۶	۱۶/۷۵	۵/۰۹	۷/۳۳	۲/۶۸	۴/۹۰	۱/۴۱	۰/۷۷	۰/۰۸	۰/۵۳	۹۸/۲
۱۴	۵۶/۷	۱۶/۱۵	۵/۳۳	۶/۷۸	۲/۸۰	۳/۰۸	۱/۴۴	۰/۶۸	۰/۰۸	۰/۲۹	۹۸

پetroلوژی و پetroگرافی سنگهای آتشفشانی کواترنری شمال-شمال شرق ورزقان (آذربایجان شرقی)

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی عناصر فرعی

شماره نمونه ها	Ag (ppm)	Ba (ppm)	Ce (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cs (ppm)	Cu (ppm)	Dy (ppm)	Er (ppm)	Eu (ppm)	Ga (ppm)	Gd (ppm)	Hf (ppm)
۱	<۱	۱۲۶۰	۱۴۷/۵	۴۴/۹	۴۳۰	۴/۴۲	۸۷	۴/۳۸	۲/۱۴	۲/۶۰	۱۸/۳	۹/۰۵	۴/۹
۲	<۱	۵۸۹	۱۰۴	۳۷/۹	۳۳۰	۰/۸۳	۷۸	۳/۲۸	۱/۶۶	۱/۷۹	۱۹/۵	۹/۰۸	۳/۹
۳	<۱	۵۹۳	۶۹/۵	۱۵/۱	۱۱۰	۰/۱۲	۶۰	۱/۸۳	۰/۹۳	۱/۱۳	۲۱/۱	۳/۸۳	۳/۲
۴	<۱	۶۷۵	۱۰۱	۱۸/۴	۷۰	۰/۲۹	۵۰	۲/۲۸	۱/۱۴	۱/۴۳	۲۱/۲	۴/۹۷	۳/۹
۵	<۱	۶۴۶	۷۲/۱	۱۵/۴	۸۰	۰/۴۷	۳۵	۲/۰۵	۱/۰۲	۱/۲۰	۲۰/۶	۳/۹۴	۳/۴
۶	<۱	۵۵۵	۹۰/۱	۱۹/۸	۶۰	۰/۲۰	۶۳	۲/۲۹	۱/۱۲	۱/۳۸	۲۰/۶	۴/۵۸	۳/۲
۷	<۱	۵۷۳	۹۰/۷	۱۹/۴	۶۰	۰/۵۲	۵۵	۲/۲۸	۱/۱۶	۱/۳۷	۲۰/۴	۴/۵۹	۳/۴
۸	<۱	۶۱۰	۹۲	۱۹/۶	۱۱۰	۰/۵۴	۵۷	۲/۳۴	۱/۲۲	۱/۳۳	۲۱	۴/۶۳	۳/۴
۹	<۱	۱۳۳۰	۱۱۶	۴۰/۱	۲۱۰	۱/۵۱	۱۶۳	۲/۹۲	۱/۴۸	۱/۸۳	۱۸/۷	۶/۳۸	۴/۳
۱۰	<۱	۸۱۱	۸۸/۶	۳۷/۲	۵۰۰	۰/۷۰	۵۸	۳/۱۳	۱/۶۵	۱/۵۱	۱۷/۹	۵/۳۴	۳/۵
۱۱	<۱	۱۵۱	۴۴/۴	۲/۹	۳۰	۰/۵۴	۶	۲/۵۰	۱/۹۲	۰/۶۰	۷/۴	۲/۶۳	۴/۰
۱۲	<۱	۶۲۱	۷۵/۵	۱۷	۷۰	۰/۱۹	۴۱	۲/۲۲	۱/۱۶	۱/۴۲	۱۸/۹	۴/۱۲	۳/۲
۱۳	<۱	۵۸۲	۷۴/۶	۱۵/۷	۵۰	۰/۲۱	۳۵	۲/۲۰	۱/۱۰	۱/۳۸	۱۹/۲	۴/۰۸	۳/۱
۱۴	<۱	۱۷۰۵	۶۱/۸	۱۵/۴	۶۰	۱۲/۶۵	۳۳	۲/۸۳	۱/۶۰	۱/۳۸	۱۶/۸	۳/۹۳	۳/۷

ادامه جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی عناصر فرعی

شماره نمونه ها	Ho (ppm)	La (ppm)	Lu (ppm)	Mo (ppm)	Nb (ppm)	Nd (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Pr (ppm)	Rb (ppm)	Sm (ppm)	Sn (ppm)	Sr (ppm)
۱	۰/۸۰	۷۳/۱	۰/۲۳	۳	۳۴/۸	۶۵/۶	۲۴۴	۱۳	۱۸/۱۵	۱۰/۵	۱۰/۹۰	۲	۱۳۶۰
۲	۰/۶۱	۵۴/۹	۰/۲۰	۳	۳۰/۶	۴۲/۴	۱۸۲	۱۰	۱۲/۲۰	۲۵/۶	۷/۰۱	۱	۱۳۸۵
۳	۰/۳۵	۳۹/۸	۰/۱۰	<۲	۱۵/۸	۲۶/۶	۲۲	۱۴	۷/۸۷	۱۲/۸	۴/۳۴	۱	۱۲۰۰
۴	۰/۴۳	۵۵/۶	۰/۱۲	<۲	۲۱/۵	۳۷/۶	۲۲	۱۳	۱۱/۴۰	۲۲/۲	۵/۷۷	۲	۱۵۴۰
۵	۰/۳۹	۴۰/۴	۰/۱۲	۲	۱۵/۷	۲۷/۸	۲۵	۱۳	۸/۱۸	۱۷/۶	۴/۵۰	۱	۱۱۸۵
۶	۰/۴۳	۵۱/۲	۰/۱۴	<۲	۲۰/۷	۳۳/۰	۲۵	۱۲	۹/۹۰	۲۲/۳	۵	۱	۱۳۶۰
۷	۰/۴۳	۵۰/۷	۰/۱۴	۲	۲۰/۰	۳۲/۹	۲۷	۱۰	۹/۸۶	۲۱/۴	۵/۰۶	۱	۱۳۹۵
۸	۰/۴۵	۵۱/۹	۰/۱۳	۳	۲۰/۰	۳۳/۵	۲۸	۱۶	۱۰/۱۰	۲۱/۶	۵/۰۶	۱	۱۴۲۵
۹	۰/۵۴	۴۸/۰	۰/۱۶	<۲	۲۴/۴	۵۵/۶	۱۱۴	۱۷۶	۱۵/۴۰	۳۲/۴	۸/۲۵	۲	۴۴۷۰
۱۰	۰/۶۲	۴۶/۳	۰/۲۱	۲	۲۴/۴	۳۶/۴	۱۹۴	۳۱	۱۰/۴۵	۲۱/۰	۵/۹۵	۱	۱۱۹۰
۱۱	۰/۵۶	۲۶/۵	۰/۳۹	۲	۹/۵	۱۵/۷	<۵	۷	۴/۸۱	۹/۰	۲/۶۸	۱	۴۱۸
۱۲	۰/۴۳	۴۵/۴	۰/۱۵	<۲	۱۶/۰	۲۹/۴	۲۷	۱۱	۸/۴۸	۲۳/۴	۴/۷۱	۱	۱۲۶۰
۱۳	۰/۳۹	۴۲/۴	۰/۱۳	<۲	۱۶/۴	۲۸/۹	۱۸	۱۰	۸/۴۱	۲۳/۴	۴/۶۱	۱	۱۲۶۰
۱۴	۰/۵۳	۳۳/۴	۰/۲۲	<۲	۱۲/۳	۲۵/۹	۲۹	۱۵	۷/۱۴	۲۲/۱	۴/۴۷	۱	۱۵۵۵

ادامه جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی عناصر فرعی

شماره نمونه ها	Ta (ppm)	Tb (ppm)	Th (ppm)	Tl (ppm)	Tm (ppm)	U (ppm)	V (ppm)	W (ppm)	Y (ppm)	Yb (ppm)	Zn (ppm)	Zr (ppm)
۱	۱/۹	۱/۰۶	۱۲/۳۰	<۰/۵	۰/۲۶	۲/۴۷	۲۲۸	۳	۲۰/۷	۱/۵۶	۱۲۳	۱۹۳
۲	۱/۷	۰/۷۴	۸/۷۱	<۰/۵	۰/۲۱	۱/۹۷	۲۱۲	۱	۱۶/۲	۱/۲۹	۱۱۷	۱۵۹
۳	۰/۹	۰/۴۶	۶/۲۴	<۰/۵	۰/۱۱	۱/۲۳	۱۱۶	۲	۹/۳	۰/۶۹	۷۳	۱۳۱
۴	۱/۱	۰/۵۶	۸/۴۱	<۰/۵	۰/۱۴	۱/۴۹	۱۴۲	۲	۱۱/۱	۰/۸۷	۹۵	۱۶۱
۵	۰/۹	۰/۴۸	۷/۱۳	<۰/۵	۰/۱۲	۱/۴۱	۱۱۰	۳	۹/۹	۰/۷۶	۷۹	۱۳۷
۶	۱/۱	۰/۵۴	۷/۶۹	<۰/۵	۰/۱۳	۰/۷۸	۱۲۳	۱	۱۱/۳	۰/۸۱	۱۰۲	۱۳۹
۷	۱/۱	۰/۵۴	۷/۵۰	<۰/۵	۰/۱۴	۱/۳۲	۱۲۲	۱	۱۱/۲	۰/۸۹	۸۸	۱۳۸
۸	۱/۰	۰/۵۵	۷/۵۳	<۰/۵	۰/۱۴	۱/۵۶	۱۵۱	۲	۱۱/۶	۰/۹۰	۹۲	۱۴۱
۹	۱/۵	۰/۷۰	۴/۲۱	<۰/۵	۰/۱۷	۰/۷۲	۳۱۶	۱	۱۳/۷	۱/۰۲	۱۷۷	۱۴۰
۱۰	۱/۴	۰/۶۷	۷/۷۴	<۰/۵	۰/۲۱	۱/۷۳	۱۸۹	۲	۱۶/۰	۱/۳۴	۱۰۵	۱۴۴
۱۱	۰/۹	۰/۴۱	۱۰/۷۰	<۰/۵	۰/۳۳	۲/۰۱	۲۸	۱	۱۶/۷	۲/۳۳	۱۳	۱۱۷
۱۲	۰/۹	۰/۵۱	۵/۹۴	<۰/۵	۰/۱۴	۱/۱۵	۷۶	۲	۱۱/۳	۰/۹۱	۸۳	۱۲۸
۱۳	۰/۹	۰/۵۰	۶/۱۰	<۰/۵	۰/۱۴	۱/۱۷	۸۱	۱	۱۰/۳	۰/۸۷	۸۱	۱۲۵
۱۴	۰/۸	۰/۵۴	۱۰/۴۰	<۰/۵	۰/۲۲	۳/۳۳	۱۲۷	۱	۱۴/۱	۱/۳۷	۶۹	۱۳۰

## بحث

### زمین شناسی عمومی

علاوه بر گدازه‌های آتشفشانی، سنگ‌های کاملاً تخریبی از قبیل کنگلومرا، ماسه سنگ، سیلت، رس و... نیز رخنمون دارند که از نهشته‌های مربوط به کواترنری محسوب می‌گردند. این سنگ‌ها در نمونه دستی به رنگ خاکستری دیده می‌شوند که از خاکستری روشن تا خاکستری تیره متغیر هستند و دارای بافت نهران بلوری می‌باشند.



شکل ۱- آندزیت بازالت‌های منشوری شکل جنوب کيفال

به طور کلی در منطقه مورد مطالعه برونزدی از سنگ‌های قبل از ائوسن وجود ندارد. بخش‌هایی از منطقه توسط مواد گدازه‌ای نوع بازالت منشوری مربوط به دوره کواترنری پوشیده شده است (شکل‌های ۱ و ۲). این رخساره‌های آتشفشانی به دلیل موقعیت چینه‌شناسی و استقرارشان بر روی نهشته‌های مارن، سیلت و کنگلومرای پلیوسن، به نظر می‌رسد سرآغاز ولکانیسم کواترنری در منطقه باشند. تنوع ترکیب و فواصل میان فوران‌ها و سنگ‌های آتشفشانی برشی و کنگلومرای آتشفشانی میان گدازه‌ها، خود دلیل و شاهی بر تعدد فعالیت‌های آتشفشان‌ها در این منطقه می‌باشد [۴]. ترکیب شیمیایی این گدازه‌های آتشفشانی کواترنری آندزیت، پیروکسن آندزیت، تراکیت تا تراکی آندزیت و آندزیت بازالت می‌باشد.

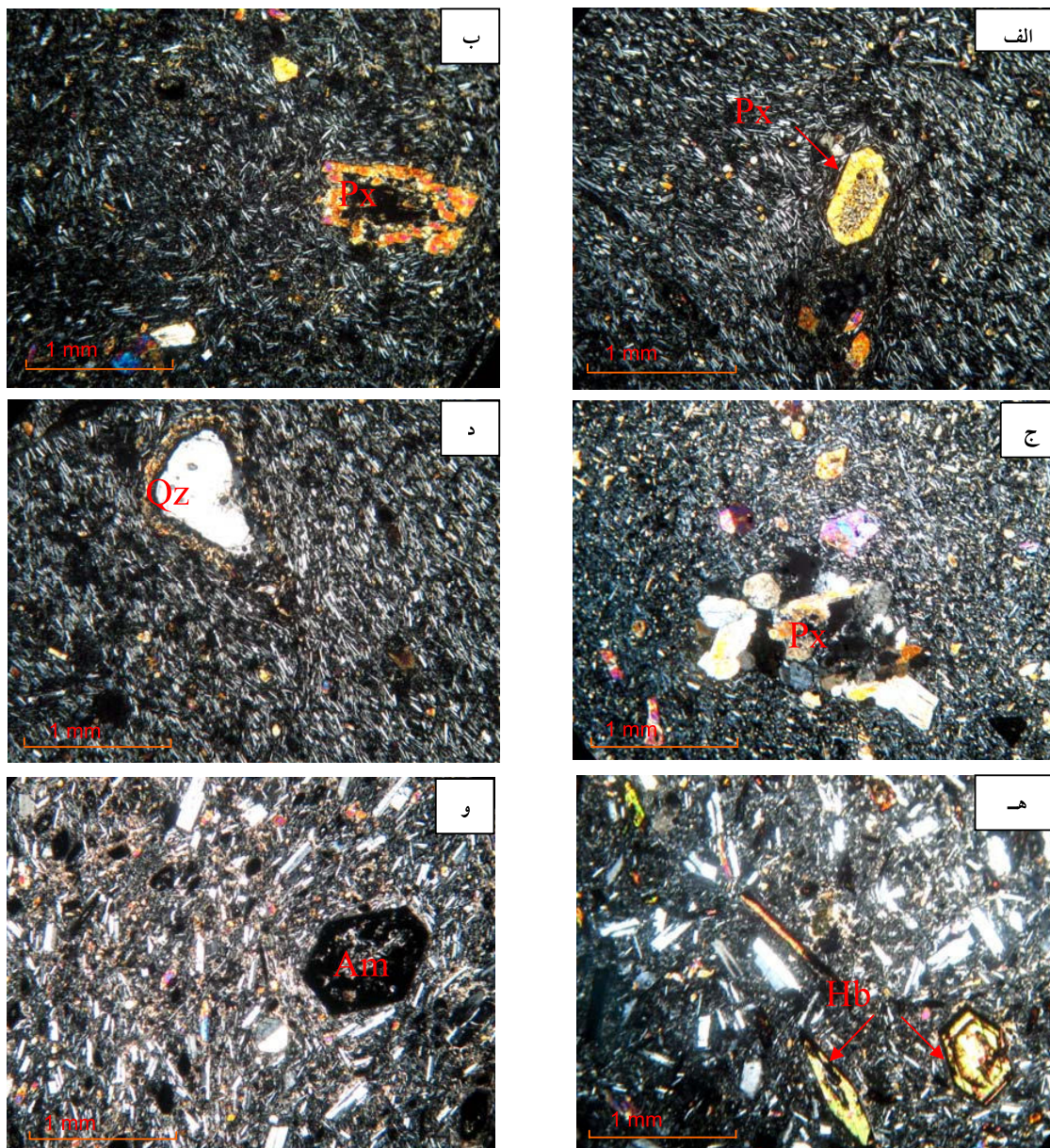
به کانی تیره تبدیل شده‌اند. نکته جالب توجه وجود زینوکریستال‌های کوارتز در این نمونه‌ها می‌باشد که در حاشیه این زینوکریستال‌ها تجمعی از بلورهای ریز کلینوپیروکسن ملاحظه می‌گردد که مؤید آلودگی پوسته‌ای است (شکل ۳-د). تراکی آندزیت‌ها و تراکی آندزیت بازالت‌ها اغلب از کانی‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن و ندرتاً آمفیبول و بیوتیت تشکیل شده‌اند. فنوکریست پلاژیوکلاز در این نمونه‌ها به مقدار فراوان یافت می‌شود. این بلورها دارای ترکیب لابرادوریت تا آندزین می‌باشند. ساختمان منطقه‌ای، آثار خوردگی و بافت غربالی در برخی بلورهای پلاژیوکلاز مشاهده می‌شود. علت تشکیل بافت غربالی مربوط به کاهش سریع فشار (صعود سریع ماگما) و یا تغییرات فشار بخار آب ماگما است [9, 13, 15, 21]. در ضمن اختلاط ماگمایی نیز می‌تواند چنین بافتی را به وجود آورد [6] و [8, 14, 17]. به نظر می‌رسد علت اصلی، مربوط به صعود سریع ماگما و کاهش فشار است. بقایایی از فنوکریست‌های آمفیبول بازالتی به رنگ قهوه‌ای مشاهده می‌شود که در برخی مقاطع دارای حاشیه سوخته بوده و در برخی به طور کامل سوخته و کدر شده‌اند اما شکل اولیه خود را تا حدود زیادی حفظ کرده‌اند (شکل ۳-ه و ۳-و). دلیل این امر علاوه بر تأثیر متفاوت سیالات در ماگما، افزایش ناگهانی دما در اثر کاهش فشار به هنگام خروج ماگما می‌باشد [2 و 5]. در برخی از نمونه‌ها حفره‌هایی دیده می‌شود که عمدتاً خالی بوده و فقط تعداد کمی توسط کانی‌های کلسیت و کوارتز پر شده‌اند. خمیره این سنگ‌ها عمدتاً از میکرولیت‌های پلاژیوکلاز و بلورهای ریز پیروکسن و کانی‌های ثانویه نظیر اکسید آهن، کانی تیره، لوکوکسن، شیشه و ندرتاً آلکالی فلدسپار تشکیل شده است.



شکل ۲- بازالت تا آندزیت بازالت‌های شمال کرویق (دید به سمت جنوب شرق)

### پتروگرافی

نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در مقیاس میکروسکوپی دارای بافت پورفیریک با خمیره میکرولیتی یا میکرولیتی-شیشه‌ای می‌باشند. در برخی از نمونه‌ها حالت جریان‌ی و یا نیمه جریان‌ی در میکرولیت‌های خمیره دیده می‌شود. بافت گلمروپورفیریک نیز در برخی نمونه‌ها مشاهده می‌شود. بازالت‌ها و تراکی بازالت‌ها عمدتاً از کانی‌های پیروکسن، پلاژیوکلاز و ندرتاً الیون و آمفیبول تشکیل شده‌اند. کانی پیروکسن فراوان‌ترین فنوکریست موجود در این سنگ‌ها است. این بلورها دارای ساختمان منطقه‌ای و بافت غربالی می‌باشند (شکل ۳-الف)، همچنین حواشی برخی از پیروکسن‌ها خلیجی شکل است که ناشی از سرد شدگی سریع گدازه است. آثار خوردگی نیز در مرکز و حواشی برخی بلورهای پیروکسن مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده عدم تعادل در بلورهای پیروکسن نسبت به تبلور زمینه سنگ است (شکل ۳-ب). در بعضی موارد پیروکسن‌ها تجمع حاصل کرده و بافت گلمروپورفیریک را ایجاد کرده‌اند که حاکی از پدیده تبلور بخشی و تفریق ماگمایی می‌باشد (شکل ۳-ج). در این سنگ‌ها بلورهای الیون به مقدار کمی مشاهده می‌شود و اغلب

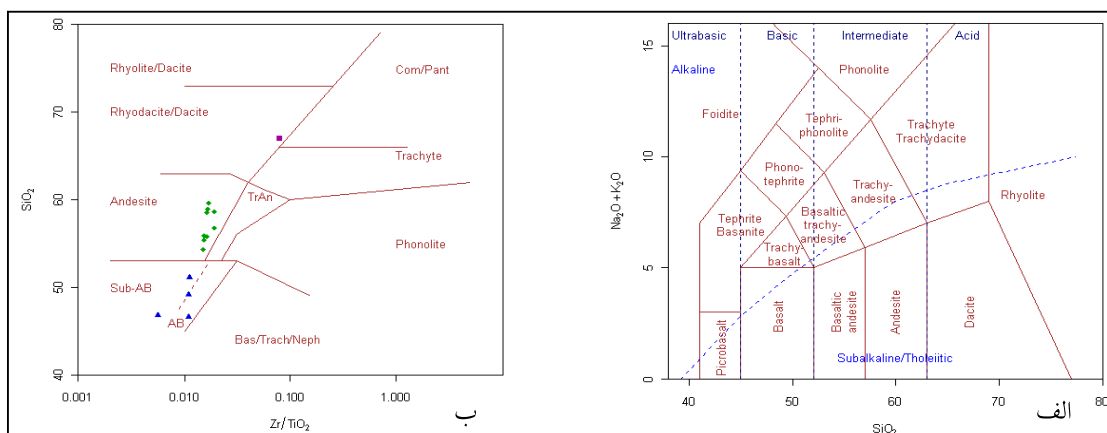


شکل ۳- الف) بافت پورفیریک با خمیره میکرولیتی در بازالت تا بازالت آندزیتی. بلور شکل دار کلینوپروکسن با بافت غربالی در زمینه‌ای از میکرولیت‌های پلاژیوکلاز و میکروکریستال‌های پروکسن (نور XPL). ب) تحلیل رفتن بخش درونی بلور پروکسن در آندزیت بازالتی (نور XPL). ج) تجمع بلورهای پروکسن بصورت بافت گلمروپورفیری در آندزیت بازالتی (نور XPL). د) بلور کوآرتز با حاشیه واکنشی در بازالت آندزیتی. بر اثر پدیده هضم در اطراف زینوکریستال کوآرتز، بلورهای پروکسن تشکیل شده است (نور XPL). ه) بافت پورفیریک با خمیره میکرولیتی تا شیشه‌ای در تراکی آندزیت بازالتی. فنوکریست هورنبلند قهوه‌ای شکل دار و سانیدین در زمینه‌ای از میکرولیت‌های پلاژیوکلاز و شیشه (نور XPL). و) بافت پورفیریک با خمیره میکرولیتی نیمه جریان‌ی در تراکی آندزیت بازالتی. فنوکریست آمفیبول سوخته و میکروفنوکریست‌های سانیدین و پلاژیوکلاز (نور XPL).

### پترولوژی و ژئوشیمی

محدوده‌های بازالت، تراکی بازالت، تراکی آندزیت و تراکی آندزیت بازالتی واقع می‌شوند. این نمونه‌ها در نمودار  $\text{SiO}_2$  در برابر  $[\text{Zr}/\text{TiO}_2]$  [19]، در قلمرو آلکالی بازالت، ساب آلکالی بازالت و آندزیت قرار می‌گیرند (شکل ۴- الف و ۴- ب).

با توجه به ریز دانه بودن و وجود شیشه در زمینه بعضی از سنگ‌ها، ۱۴ نمونه مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفت و نمودارها رسم گردید. بر اساس نمودار مجموع آلکالن در برابر  $[\text{SiO}_2]$  [11]، اکثر نمونه‌ها در

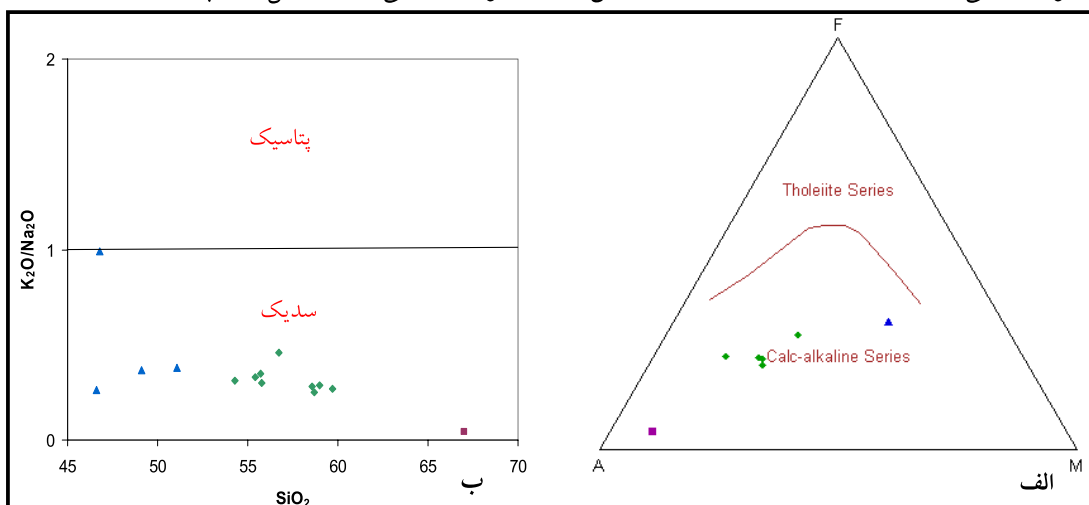


شکل ۴- الف) طبقه‌بندی سنگ‌های آتشفشانی با استفاده از نمودار مجموع آلکالی در مقابل سیلیس [11]، ب) نمودار طبقه‌بندی

سنگ‌های آتشفشانی با استفاده از پارامترهای  $\text{Zr}/\text{TiO}_2$  در برابر  $[\text{SiO}_2]$  [19]

واقع شدند که علت قرارگیری نمونه‌ها در محدوده کالک آلکالن، آلودگی پوسته‌ای است و وجود زینوکریست کوارتز، آن را توجیه می‌کند (شکل ۵- الف). این نمونه‌ها در نمودار نسبت  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  در مقابل  $[\text{SiO}_2]$  [7]، سرشت سدیک از خود نشان می‌دهند (شکل ۵- ب).

به منظور بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی و سرشت ماگمای والد تشکیل دهنده سنگ‌ها از نمودار مجموع آلکالن در مقابل  $[\text{SiO}_2]$  [11]، استفاده شد. طبق این نمودار، نمونه‌ها در محدوده‌های آلکالن و ساب آلکالن قرار گرفتند (شکل ۴- الف). نمونه‌های ساب آلکالن در نمودار مثلثی AFM [10]، در محدوده کالک آلکالن

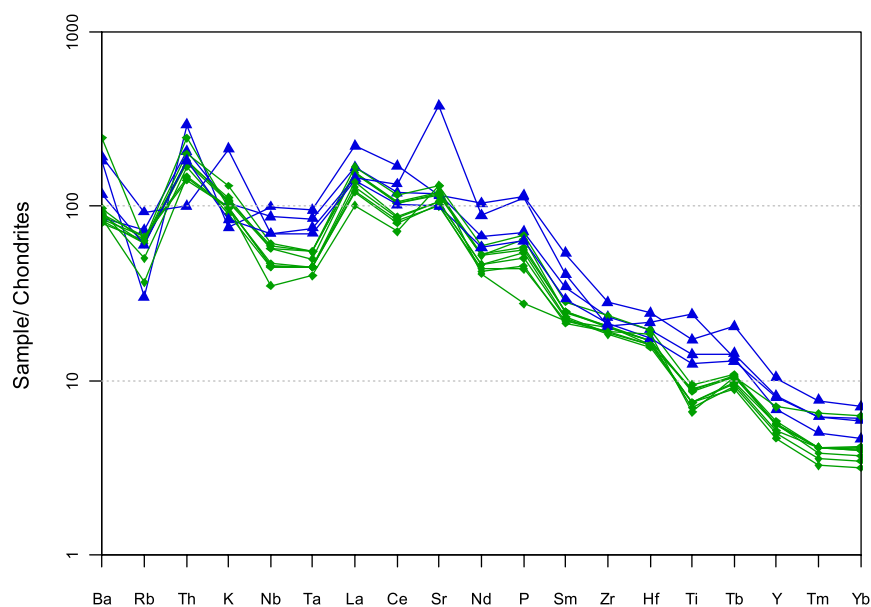


شکل ۵- الف) نمودار تفکیک سری‌های تولیتی و کالک آلکالن [10]، ب) نمودار تفکیک سری‌های سدیک و پتاسیک [7]

نسبت به کندریت [16]، شیب تغییرات منفی است که بیانگر غنی شدگی از عناصر کمیاب خاکی سبک و تهی شدگی از عناصر کمیاب خاکی سنگین است که این مسأله می‌تواند در ارتباط با کم بودن نسبی درجه ذوب بخشی در سنگ منشأ گوشته بالایی باشد. در این نمودار، آنومالی مثبت عناصر Ba و Th و آنومالی منفی Nb مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده آلودگی پوسته‌ای است (شکل ۶). در مقایسه نمودارهای عنکبوتی نمونه‌های منطقه با پوسته فوقانی و تحتانی، تشابه بیشتری با پوسته فوقانی مشاهده می‌شود، بنابراین به نظر می‌رسد نمونه‌های منطقه، اندکی آلودگی با پوسته فوقانی داشته‌اند (شکل ۷).

در نمودارهای تغییرات عناصر اصلی و کمیاب نسبت به  $\text{SiO}_2$ ، روند عادی تبلور تا حدی دیده می‌شود. روند CaO در برابر  $\text{SiO}_2$ ، تأییدی بر اثرات تفریق پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و تبلور بخشی، کاهش MgO مبنی بر تفریق کانی‌های مافیک مانند الیوین و پیروکسن و روند  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{tot}}$  به علت تفریق کانی‌های تیره، آمفیبول و بیوتیت در حال تبلور می‌باشد. در نمودار  $\text{K}_2\text{O}$ ، Th و Nb نسبت به  $\text{SiO}_2$  پراکندگی مشاهده می‌شود. پراکندگی‌های مشاهده شده به علت درجات متفاوت ذوب بخشی، میزان درصد متفاوت فنوکریست‌ها، تبلور بخشی و آلودگی پوسته‌ای (وجود زینوکریست کوارتز) است.

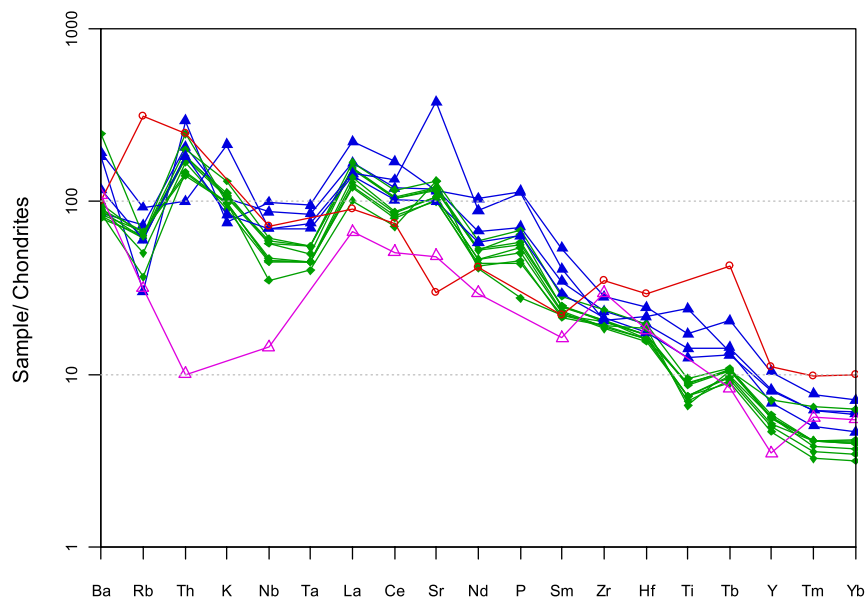
از نمودارهای عنکبوتی نیز جهت بررسی ژئوشیمیایی استفاده شد. در نمودار عنکبوتی عادی سازی شده



شکل ۶- نمودار عنکبوتی نمونه‌های منطقه در عادی سازی با کندریت [16]

علائم: سنگ‌های بازیگ (▲)، سنگ‌های حدواسط (◆)، پوسته پائینی (△) و پوسته فوقانی (○)

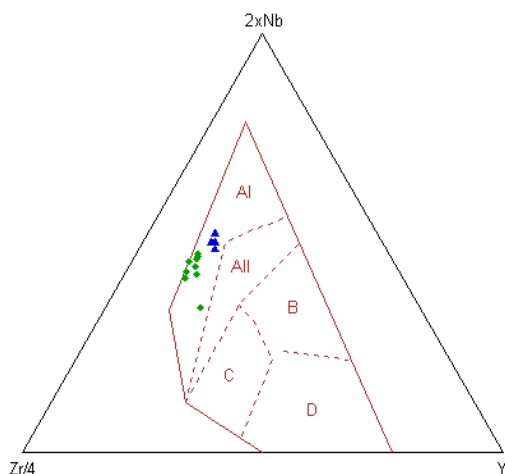




شکل ۷- مقایسه نمودارهای عنکبوتی نمونه‌های منطقه مورد مطالعه با پوسته پائینی و پوسته فوقانی در عادی سازی با کندریت [16].

علائم: سنگ‌های بازیک (▲)، سنگ‌های حدواسط (◆)، پوسته پائینی (△) و پوسته فوقانی (○)

پتروگرافی، آلودگی پوسته‌ای سنگ‌های منطقه مورد مطالعه محرز است [18].



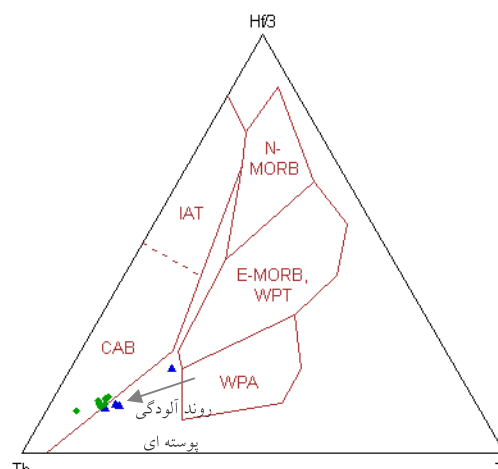
شکل ۸- نمودار متمایز کننده بازالت‌ها بر اساس متغیرهای Zr - Nb - Y [12]. در این نمودار محدوده‌ها چنین تعریف شده‌اند: AI، آلکالی بازالت درون صفحه‌ای؛ AII، آلکالی بازالت درون صفحه‌ای و تولیت درون صفحه‌ای؛ B، MORB نوع E؛ C، تولیت درون صفحه‌ای و بازالت قوس آتشفشانی؛ D، MORB نوع N و بازالت قوس آتشفشانی.

از دیگر ویژگی‌های ژئوشیمیایی که در این مطالعه به آن توجه شده است تعیین خاستگاه ماگمایی سنگ‌های مورد مطالعه است. برای تعیین محیط تکتونوماگمایی سنگ‌های آتشفشانی منطقه مطالعاتی، تعدادی از نمودارهای جایگاه تکتونیکی بازالت‌ها مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس نمودار مثلثی Zr-Nb-Y [12]، همه نمونه‌ها در قلمرو آلکالی بازالت‌های درون صفحه‌ای قرار می‌گیرند (شکل ۸) و در نمودار مثلثی Th-Hf/3-Ta [20]، این نمونه‌ها در محدوده بازالت‌های کالک آلکالن و در نزدیکی این محدوده واقع می‌شوند (شکل ۹). لازم به ذکر است که نمونه‌های مورد مطالعه جزو بازالت‌های آلکالن درون صفحه‌ای هستند. طبق نظر ویلسون اگر بازالت‌های درون صفحه‌ای با پوسته آلودگی پیدا کنند به علت افزایش Th، گرایش به سمت قطب Th یعنی بازالت کالک آلکالن پیدا می‌کنند و با توجه به شواهد

نسبت  $K_2O/Na_2O$  کوچک‌تر از یک بوده و دارای گرایش سدیک می‌باشند.

در نمودارهای تغییرات عناصر اصلی و کمیاب نسبت به  $SiO_2$ ، روند عادی تبلور تا حدی دیده می‌شود. پراکندگی‌های مشاهده شده در نمودارها بیشتر به علت تبلور بخشی کانی‌های مافیک (پیروکسن و الیون) و آلودگی پوسته‌ای است.

وجود شیب منفی در نمودارهای عنکبوتی، حاکی از درجه کم ذوب بخشی منشأ گوشته‌ای است و آنومالی مثبت عناصر Ba و Th و آنومالی منفی Nb، ناشی از آلودگی پوسته‌ای است و طبق نمودارهای محیط تکنونوماگمایی، نمونه‌ها در محدوده آلکالی بازالت‌های درون قاره‌ای قرار می‌گیرند.



شکل ۹- نمودار متمایز کننده بازالت‌ها بر اساس متغیرهای Th - Hf - Ta [20]، که محدوده‌های MORB نوع N، MORB نوع E و تولیت درون صفحه‌ای (WPT)، بازالت آلکالن درون صفحه‌ای (WPA)، تولیت جزایر قوسی (IAT) و بازالت کالک آلکالن (CAB) را نشان می‌دهد.

### نتیجه‌گیری

سنگ‌های منطقه مورد مطالعه بر روی نهشته‌های مارن، سیلت و کنگلومرای پلیوسن قرار گرفته و دارای سن کواترنری می‌باشند. این سنگ‌ها در نمونه دستی به رنگ خاکستری تیره دیده می‌شوند و دارای بافت نهان بلوری می‌باشند.

سنگ‌های منطقه دارای ترکیب بازالت، تراکی بازالت، تراکی آندزیت، تراکی آندزیت بازالتی و آندزیت بازالتی هستند. در این سنگ‌ها پدیده تبلور بخشی (کومولیت پیروکسن)، اختلاط ماگمایی و آلایش پوسته‌ای (زینوکریست کوارتز، منطقه‌بندی نوسانی، بافت غربالی و خوردگی در کانی‌های پیروکسن و پلاژیوکلاز، آمفیبول با حاشیه سوخته) دیده می‌شود. سنگ‌های منطقه دارای ویژگی سری آلکالن است که به علت آلودگی پوسته‌ای، برخی از سنگ‌ها به سمت کالک‌آلکالن گرایش پیدا کرده‌اند. در نمونه‌ها

### منابع

- ۱- آقاباتی، ع. (۱۳۸۳)، زمین شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ص ۵۸۶.
- ۲- سبزه‌ای، م. (۱۳۸۴)، فروپاشی آمفیبول‌ها و بیوتیت‌ها در ماگماها و اهمیت پترولوژیکی آن، مجموعه مقالات گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ص ۶-۱۵.
- ۳- کریم زاده ثمرین، ع. (۱۳۸۱)، کاربرد داده‌های ژئوشیمیایی، انتشارات دانشگاه تبریز، ص ۵۵۷.
- ۴- مهرپرتو، م. امینی فضل، آ. رادفر، ج. (۱۳۷۱)، نقشه زمین‌شناسی ورزقان، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ۵- وزیر، ف. لطفی، م. (۱۳۸۵)، پتروگرافی و ژئوشیمی منشورهای بازالتی جنوب غرب کلیبر (آذربایجان خاوری)، مجموعه مقالات گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ص ۶-۱۴.

- 6- Dungan M.D. and Rhodes, J.M., (1978). Residual glasses and melt inclusions in basalts from DSPP legs 45 and 46: Evidence for magma mixing. *Contrib. Mineral. Petrol*, 67, 417-431.
- 7- Emami, M.H., (1981). *Geologie de la region de Qom- Aran (Iran), contribution a L'etude dynamique et geochimique du volcanisme tertiaire de l'Iran central*, These d'Etat, Univer. Grenoble, France, 312-317.
- 8- Halsor, S.P., (1989). Large glass inclusions in plagioclase phenocrysts and their bearing on the origin of mixed andesitic lavas at Toliman Volcano, Guatemala. *Bull Volcanol, Guatemala. Bull. Volcanol*, 51, 271-280.
- 9- Holl, A., (1996). *Igneous petrology*. Longman, Newyork, 551p.
- 10- Irvin T.N. and Barragar W.R.A., (1971). A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. Earth Sci*, 8, 523-548.
- 11- Le Bas, M.J., Le Maiter, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B., (1986). A chemical classification of volcanic rocks based on the total- alkali- Silica Diagram. *J. Petrol*, 27, 745- 750.
- 12- Meschede M., (1986). A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites the Nb-Zr-Y diagram. *Chem. Geol*, 56, 207-218.
- 13- Nelson, S.T., Montana, A., (1992). Sieve textured plagioclase in volcanic rocks produced by rapid decompression, *AM. Min*, 77, 1242-1249.
- 14- Shelly D., (1993). *Igneous and metamorphic rocks under the microscope* Chapman and Hall, 630p.
- 15- Stormer, J.C., (1972). Mineralogy and petrology of the Raton- Clayton volcanic field northeastern New Mexico. *Geol. Soc. Am. Bull*, 83, 3299-3322.
- 16- Thompson R.N., (1982). British Tertiary volcanic province. *Scott. Geol*, 18, 49-107.
- 17- Tsuchiyama, A., (1985). Dissolution kinetics of plagioclase in the melt of the system diopsid- Albit- Anortite and origin of dusty plagioclase in andesite. *Contrib. Mineral. Petrol*, 89, 1-16.
- 18- Wilson M., (1989). *Igneous Petrogenesis: A Global Tectonic Apoach*. Unwin Hyman. London, 466p.
- 19- Winchester J.A. and Floyd P.A., (1977). Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chem. Geol*, 20, 325-343.
- 20- Wood D.A., (1980). The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth planet. Sci. Lett*, 50, 11-30.
- 21- Zellmer, G.F., Sparks, R.S.J., Hawksworth, G.J. and Wiedenbeck, M., (2003). Magma Emplacment and Remobilization Timescales Beneath Montserrat: Insights from Sr and Ba zonation in plagioclase phenocrysts. *Journal of Petrology*. 44, 1413-1431.

