



## بررسی نقش جدایش بلورین و آرایش پوسته‌ای در شکل‌گیری ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی پالئوژن داماش گیلان

شهرز حق نظر<sup>۱\*</sup>، سارا ملکوتیان<sup>۲</sup>

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند

(دریافت مقاله: ۹۰/۲/۷، نسخه نهایی: ۹۰/۸/۲۵)

**چکیده:** سنگ‌های آتشفشانی داماش به سن پالئوژن در زون ساختاری البرز واقع در استان گیلان برونزد قابل توجهی دارند. این سنگ‌ها تنوع ترکیبی بین اولیوین بازالت، آندزیت بازالتی، پیروکسن آندزیت و آندزیت نشان می‌دهند. بررسی‌های سنگ‌شناختی و ژئوشیمیایی حکایت از آن دارد که جدایش کانی‌های کلینوپیروکسن و اولیوین عامل اصلی تنوع سنگ‌های آتشفشانی داماش است. همبستگی مثبت Hf و Nb در برابر Zr و  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  در برابر MgO و  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO}$  در برابر  $\text{SiO}_2$  از نشانه‌های ژئوشیمیایی جدایش بلورین کانی‌های کلینوپیروکسن و اولیوین هستند. فقر در عناصری چون Hf, Zr, P, Ti, Ta, Nb و نسبت‌های بالای La/Nb, Ba/Nb و Rb/Y و محتوای پایین Y/Nb و Zr/Nb نشان از آرایش پوسته‌ای این سنگ‌ها دارد. بررسی روند الگوی عناصر ناسازگار و مقایسه آنها با مقادیر پوسته‌ای نشان می‌دهد که این سنگ‌ها دارای تعادل عنصری شاخصی با سنگ‌های پوسته‌ی قاره‌ای بوده و با آنها آرایش یافته‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** سنگ‌های آتشفشانی؛ جدایش بلورین؛ آرایش پوسته‌ای؛ داماش؛ گیلان.

### مقدمه

منطقه‌ی داماش از روستاهای ییلاقی بخش عمارلو از توابع شهرستان رودبار در استان گیلان است. گستره‌ی مورد بررسی بین طول‌های شرقی ۴۲°، ۳۶° و ۵۶'، ۳۶° و عرض‌های شمالی ۴۳'، ۴۹° و ۱۵'، ۵۰° و در بخش مرکزی ورقه‌ی ۱/۱۰۰۰۰۰ جیرنده [۱] قرار دارد.

این منطقه بنابر تقسیم‌بندی اشتوکلین [۲] جزء زون ساختاری البرز محسوب می‌شود. بنابر نظر وی کوه‌های البرز از شمال به جنوب به ۶ زون ساختاری تقسیم شده است، که بر این اساس منطقه‌ی داماش در زون مرکزی - جنوب قرار دارد. در این زون، رسوب‌های کم عمق وابسته به قبل از سنوزوئیک با سنگ‌های آتشفشانی بسیار ضخیم سنوزوئیک به ویژه آئوسن پوشیده شده است.

چینه‌شناسی واحدهای برونزد در گستره‌ی مورد بررسی

داماش براساس نقشه‌ی زمین‌شناسی تهیه شده در مقیاس ۱/۴۰۰۰۰ (شکل ۱) به ترتیب از قدیم به جدید به قرار زیرند:

۱- واحد آهکی (EL): این واحد با لایه‌بندی کاملاً مشخص و به رنگ کرم با ترکیب سنگ آهک ماسه‌ای، آهک میکرایتی و بایواسپارایت بوده و حاوی فسیل نومولیت هستند. با توجه به انباشت فسیلی، سن این واحد آئوسن زیرین تا میانی تعیین می‌شود.

۲- واحد اولیوین بازالت تا آندزیت‌های بازالتی (OB): که در صحرا به رنگ تیره دیده می‌شوند. برخی از سنگ‌های این واحد دارای لایه‌بندی مشخص بوده که این می‌تواند احتمالاً بر اثر توقف‌های کوتاه مدت خروج گدازه و یا انحراف مسیر جریان در فاصله‌ی زمانی کوتاه مدت برونریزی گدازه‌ها به وجود آمده باشد.

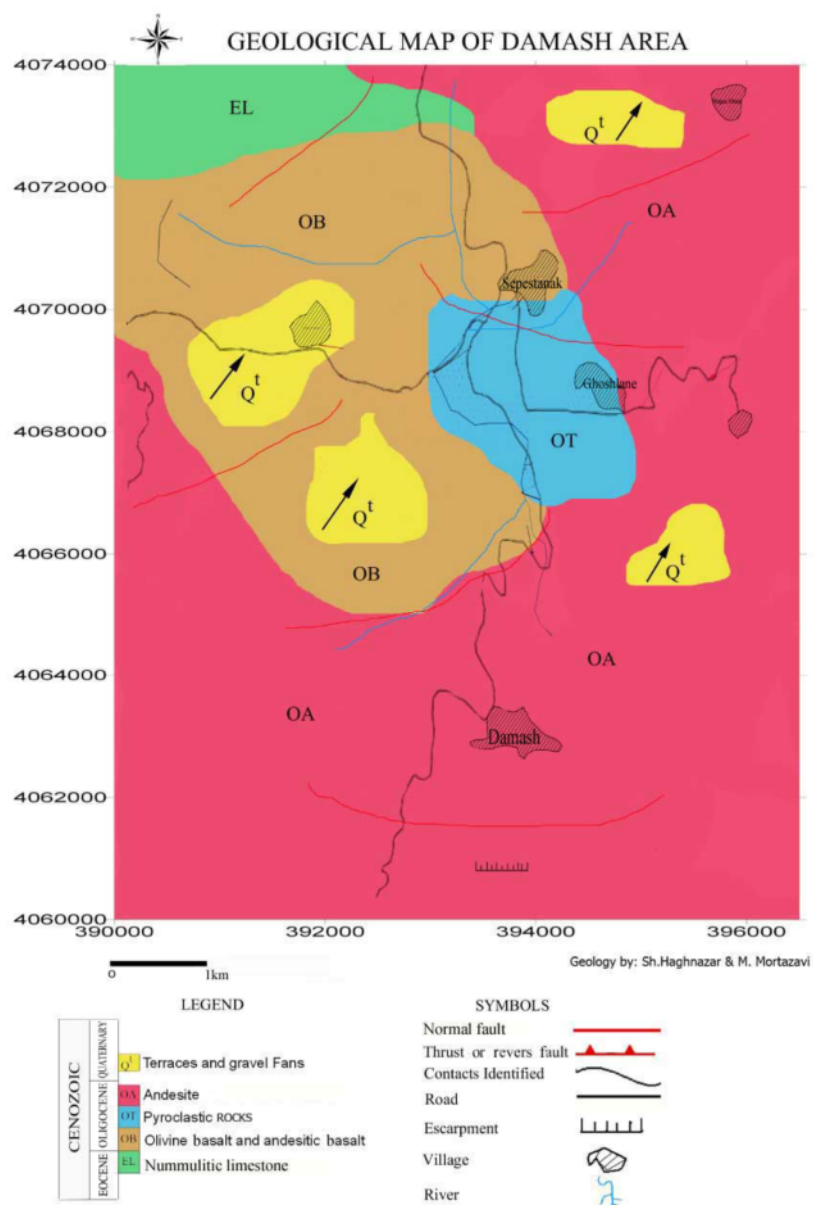
۳- واحد پیروکلاستیک بازی لایه‌ای (OT): در شمال روستای داماش دنباله‌ای از سنگ‌های پیروکلاستیک ریزشی به رنگ

لاپیلی توف واحد (OT) واحد گدازه‌ای آندزیتی قرار دارد که از قاعده به رأس تناوبی از آندزیت‌های بازالتی، پیروکسن آندزیت و آندزیت را تشکیل می‌دهد و بیشترین برونزد را در منطقه دارند.

در این پژوهش سعی شده تا با توجه به اطلاعات صحرایی، بررسی‌های کانی‌شناسی و سنگ‌نگاری و باتوجه به نتایج تجزیه‌های شیمیایی عناصر اصلی و فرعی، شکل‌گیری ماگمایی صورت گرفته روی گدازه‌های پالئوژن منطقه داماش، مورد بررسی قرار گیرد.

تیره و لایه‌بندی مشخص دیده می‌شود که روی واحد اولیوین بازالت (OB) قرار گرفته و بخوبی از توپوگرافی آن پیروی می‌کند. داخل این پیروکلاستیک‌ها، قطعات زاویه‌دار با اندازه‌هایی بین ۲ تا ۶۴ میلی‌متر به چشم می‌خورد. ترکیب این پیروکلاستیک‌ها در حد لاپیلی توف و برش‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیت بازالتی و آندزیت است. براساس بررسی‌های میکروسکوپی بلورهای کوارتز، پلاژیوکلاز، پیروکسن و قطعات سنگی آندزیت بازالتی و آندزیت و حتی ماسه سنگی در یک زمینه‌ی شیشه‌ای کاملاً اکسیده به رنگ تیره قرار گرفته‌اند.

۴- واحد پیروکسن آندزیت و آندزیت (OA): پس از واحد



شکل ۱ نقشه‌ی زمین‌شناسی گستره‌ی داماش در مقیاس ۱:۴۰۰۰۰.

جدول ۱ نتایج تحلیل شیمیایی اکسیدهای عناصر اصلی سنگ‌های آتشفشانی داماش به روش XRF.

| نمونه                          | DB-۴   | DB-۸   | DB-۱۰  | DB-۱۳  | DB-۱۷  | DB-۱۹ | DB-۲۰  | DB-۲۱  | DB-۲۲  |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | ۴۹,۳۷  | ۴۸,۶۱  | ۴۹,۱۵  | ۵۶,۱۹  | ۵۳,۷۵  | ۶۲,۷۹ | ۵۴,۷۰  | ۶۰,۴۲  | ۶۸,۱۰  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۱۹,۴۱  | ۲۰,۳۳  | ۱۸,۵۳  | ۱۶,۳۳  | ۱۷,۶۲  | ۱۵,۴۹ | ۱۷,۷۳  | ۱۶,۵۹  | ۱۵,۷۵  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۸,۹۰   | ۷,۴۰   | ۹,۱۰   | ۷,۳۲   | ۹,۱۸   | ۴,۰۸  | ۹,۴۱   | ۵,۴۵   | ۳,۸۰   |
| CaO                            | ۱۰,۸۰  | ۱۰,۷۳  | ۱۰,۶۶  | ۷,۶۳   | ۸,۵۳   | ۴,۰۶  | ۶,۷۸   | ۲,۸۵   | ۳,۲۶   |
| Na <sub>2</sub> O              | ۲,۵۰   | ۲,۴۵   | ۲,۴۸   | ۲,۶۵   | ۳,۲۸   | ۴,۱۲  | ۳,۶۰   | ۳,۷۴   | ۳,۹۳   |
| K <sub>2</sub> O               | ۰,۷۶   | ۰,۷۶   | ۰,۸۰   | ۲,۸۱   | ۲,۰۵   | ۱,۹۴  | ۲,۳۸   | ۱,۶۴   | ۴,۱۹   |
| MgO                            | ۵,۷۲   | ۴,۹۳   | ۶,۷۴   | ۵,۰۸   | ۳,۱۹   | ۱,۷۲  | ۲,۹۸   | ۳,۱۳   | ۰,۲۳   |
| MnO                            | ۰,۱۶   | ۰,۱۰   | ۰,۱۶   | ۰,۱۳   | ۰,۱۸   | ۰,۰۸  | ۰,۱۷   | ۰,۱۲   | ۰,۰۸   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | ۰,۱۴   | ۰,۱۴   | ۰,۱۵   | ۰,۱۷   | ۰,۳۲   | ۰,۱۹  | ۰,۴۲   | ۰,۲۱   | ۰,۱۸   |
| TiO <sub>2</sub>               | ۰,۷۰   | ۰,۷۱   | ۰,۷۸   | ۰,۶۱   | ۰,۹۰   | ۰,۴۷  | ۰,۸۳   | ۰,۵۲   | ۰,۳۷   |
| LOI                            | ۱,۹۸   | ۴,۰۴   | ۲,۱۳   | ۱,۰۸   | ۱,۹۵   | ۴,۴۱  | ۱,۵۲   | ۲,۵۲   | ۰,۹۹   |
| Total                          | ۱۰۰,۴۲ | ۱۰۰,۱۹ | ۱۰۰,۶۶ | ۱۰۰,۰۰ | ۱۰۰,۹۳ | ۹۹,۳۵ | ۱۰۰,۵۱ | ۱۰۰,۱۹ | ۱۰۰,۸۷ |

جدول ۲ نتایج تجزیه‌ی شیمیایی عناصر فرعی و REE سنگ‌های آتشفشانی داماش به روش ICP.

| نمونه | DB-۴    | DB-۸    | DB-۱۰   | DB-۱۳   | DB-۱۷   | DB-۱۹   | DB-۲۰   | DB-۲۱   | DB-۲۲   |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Ba    | ۳۲۵,۳   | ۳۵۲,۰   | ۳۳۷,۹   | ۶۷۶,۶   | ۷۶۱,۱   | ۸۴۲,۹   | ۵۱۹,۸   | ۷۳۰,۸   | ۵۸۶,۱   |
| Bi    | ۰,۰۱۳   | ۰,۰۰۹   | ۰,۰۴۷   | ۰,۰۸۲   | ۰,۰۹۵   | ۰,۱۱۰   | ۰,۱۳۴   | ۰,۴۷    | ۰,۰۱۰   |
| Co    | ۳۴,۳    | ۲۸,۱    | ۳۶,۶    | ۲۶,۷    | ۲۱,۸    | ۷,۵     | ۲۳,۲    | ۱۵,۷    | ۳,۴     |
| Cr    | ۶۹      | ۶۰      | ۱۲۲     | ۱۷۳     | ۷۷      | ۷۶      | ۴۴      | ۱۱۱     | ۷۹      |
| Cs    | ۱,۰۰    | ۰,۳۲    | ۰,۷۱    | ۲,۲۶    | ۱,۹۹    | ۲,۸۸    | ۰,۹۷    | ۴,۱۲    | ۳,۳۲    |
| Cu    | ۵۷      | ۵۵      | ۶۱      | ۴۰      | ۲۳      | ۷       | ۵       | ۲۲      | ۵       |
| Ga    | ۱۷,۱۶   | ۱۷,۶۹   | ۱۶,۵۹   | ۱۶,۹۹   | ۲۰,۰۲   | ۱۸,۱۱   | ۱۹,۴۳   | ۱۷,۱۱   | ۱۶,۸۳   |
| Hf    | ۱,۴۹    | ۱,۴۵    | ۱,۵۹    | ۳,۰۰    | ۳,۱۰    | ۵,۰۲    | ۴,۱۱    | ۳,۶۴    | ۴,۵۷    |
| Mo    | ۰,۶۸    | ۰,۵۱    | ۰,۷۶    | ۱,۱۳    | ۱,۳۰    | ۲,۴۷    | ۱,۳۵    | ۱,۶۸    | ۰,۹۹    |
| Nb    | ۴,۳۹    | ۴,۲۸    | ۴,۴۹    | ۹,۰۶    | ۷,۰۵    | ۲۱,۰۵   | ۱۶,۷۷   | ۱۰,۷۷   | ۱۷,۷۲   |
| Ni    | ۲۱      | ۱۹      | ۳۶      | ۲۶      | ۴       | ۴       | ۶       | ۱۹      | ۳       |
| Pb    | ۵,۸     | ۵,۵     | ۵,۳     | ۱۳,۲    | ۹,۶     | ۱۲,۸    | ۳,۴     | ۱۶,۶    | ۷,۹     |
| Rb    | ۱۹,۲۰   | ۱۶,۷۳   | ۱۸,۰۶   | ۱۱۱,۶۲  | ۵۳,۰۷   | ۱۱۱,۴۴  | ۷۳,۵۵   | ۱۲۸,۱۱  | ۱۲۴,۰۲  |
| Sc    | ۳۲,۶    | ۳۲,۷    | ۳۱,۳    | ۲۶,۴    | ۲۰,۳    | ۸,۵     | ۱۹,۷    | ۱۴,۲    | ۵,۵     |
| Sn    | ۰,۷۰    | ۰,۳۶    | ۰,۳۵    | ۰,۶۱    | ۱,۹     | ۰,۹۹    | ۱,۷۳    | ۱,۷۷    | ۱,۶۱    |
| Sr    | ۴۷۱     | ۴۸۹     | ۴۳۱     | ۳۸۴     | ۶۹۹     | ۴۴۷     | ۵۳۷     | ۴۱۴     | ۳۶۷     |
| Ta    | ۰,۳     | ۰,۳     | ۰,۳     | ۰,۶     | ۰,۵     | ۱,۷     | ۱,۰     | ۰,۸     | ۱,۴     |
| Th    | ۲,۸۷    | ۲,۸۲    | ۲,۷۹    | ۸,۶۰    | ۴,۶۲    | ۱۲,۹۵   | ۴,۰۷۰   | ۱۱,۰۶   | ۱۰,۷۵   |
| Ti    | ۴۲۸۶,۹۷ | ۴۳۰۱,۳۶ | ۴۵۹۲,۶۸ | ۳۶۹۵,۲۱ | ۵۴۰۹,۲۹ | ۲۷۸۶,۹۱ | ۴۹۵۶,۸۰ | ۳۱۸۲,۹۳ | ۲۲۲۶,۸۷ |
| U     | ۰,۹۱    | ۰,۸۹    | ۰,۸۷    | ۲,۴۳    | ۱,۳۵    | ۳,۴۸    | ۱,۴۲    | ۳,۱۷    | ۲,۵۹    |
| V     | ۲۱۳,۲۴  | ۲۲۰,۰۸  | ۲۱۳,۹۸  | ۱۶۳,۲۹  | ۱۹۹,۲۹  | ۵۵,۳۱   | ۱۳۲,۴۱  | ۹۳,۵۲   | ۲۵,۵۸   |
| Y     | ۱۳,۷۱   | ۱۲,۰۲   | ۱۳,۸۶   | ۱۸,۶۲   | ۳۱,۰۱   | ۱۸,۸۱   | ۲۲,۷۵   | ۱۹,۱۰   | ۱۸,۷۰   |
| Zn    | ۶۹,۲۵   | ۵۶,۸۳   | ۶۹,۹۳   | ۶۸,۱۲   | ۹۶,۳۸   | ۵۵,۲۰   | ۸۳,۶۸   | ۶۴,۸۳   | ۳۵,۴۱   |
| Zr    | ۵۷      | ۵۵      | ۶۱      | ۱۲۰     | ۱۱۳     | ۲۱۵     | ۱۸۳     | ۱۴۸     | ۲۱۰     |
| La    | ۱۱,۸۰   | ۱۱,۰۳   | ۱۲,۵۶   | ۲۴,۷۸   | ۲۳,۳۸   | ۴۴,۱۶   | ۲۷,۲۹   | ۳۰,۶۲   | ۳۲,۴۷   |
| Ce    | ۲۳,۷۴   | ۲۲,۳۰   | ۲۶,۲۹   | ۴۷,۴۵   | ۴۹,۱۰   | ۷۶,۴۱   | ۵۶,۸۰   | ۵۷,۴۳   | ۵۸,۷۸   |
| Sm    | ۲,۸۵    | ۲,۷۷    | ۳,۱۳    | ۴,۲۰    | ۵,۹۶    | ۴,۷۶    | ۵,۸۰    | ۴,۳۹    | ۳,۹۶    |
| Pr    | ۲,۹۸    | ۳,۸۶    | ۳,۲۸    | ۵,۴۳    | ۶,۲۷    | ۸,۱۴    | ۷,۰۳    | ۶,۳۸    | ۶,۳۴    |
| Eu    | ۱,۰۱    | ۱,۰۳    | ۱,۱۱    | ۱,۰۹    | ۱,۶۸    | ۱,۲۰    | ۱,۷۸    | ۱,۰۶    | ۰,۹۸    |
| Gd    | ۲,۶۶    | ۲,۵۶    | ۲,۹۵    | ۳,۶۰    | ۵,۷۳    | ۳,۸۳    | ۵,۲۰    | ۳,۵۹    | ۳,۲۳    |
| Ho    | ۰,۵۰    | ۰,۴۵    | ۰,۵۲    | ۰,۶۷    | ۱,۱۱    | ۰,۶۶    | ۰,۸۴    | ۰,۶۷    | ۰,۶۵    |
| Nd    | ۱۲,۵۴   | ۱۱,۸۶   | ۱۳,۵۱   | ۲۰,۵۳   | ۲۶,۰۳   | ۲۷,۵۲   | ۲۸,۰۵   | ۲۳,۵۸   | ۲۲,۱۹   |
| Dy    | ۲,۵۱    | ۲,۳۱    | ۲,۶۵    | ۳,۲۷    | ۵,۵۵    | ۳,۳۳    | ۴,۴۹    | ۳,۳۸    | ۳,۱۶    |
| Er    | ۱,۴۳    | ۱,۲۷    | ۱,۴۷    | ۱,۹۴    | ۳,۲۲    | ۱,۸۸    | ۲,۳۰    | ۱,۹۴    | ۱,۹۲    |
| Tm    | ۰,۲۰۵   | ۰,۱۸۰   | ۰,۲۱۳   | ۰,۲۸۱   | ۰,۲۶۵   | ۰,۲۸۴   | ۰,۳۳۲   | ۰,۲۸۵   | ۰,۳۰۴   |
| Tb    | ۰,۴۱۲   | ۰,۳۸۶   | ۰,۴۳۷   | ۰,۵۴۴   | ۰,۸۸۵   | ۰,۵۵۵   | ۰,۷۴۵   | ۰,۵۵۷   | ۰,۵۰۱   |
| Yb    | ۱,۳۲۷   | ۱,۱۶۰   | ۱,۳۶۴   | ۱,۸۲۰   | ۳,۰۱۵   | ۱,۸۸۸   | ۲,۱۲۰   | ۱,۸۷۸   | ۲,۰۳۹   |
| Lu    | ۰,۲۰    | ۰,۱۷    | ۰,۲۰    | ۰,۲۸    | ۰,۴۸    | ۰,۲۹    | ۰,۳۱    | ۰,۲۸    | ۰,۳۲    |

## روش بررسی

پس از بررسی‌های صحرایی، با استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای منطقه، اقدام به تهیه نقشه ۱/۴۰۰۰ زمین‌شناسی شد. پس از جدایش واحدهای سنگی منطقه، در حدود ۷۰ نمونه مقطع نازک تهیه شدند و از نظر سنگ‌نگاری با میکروسکوپ قطبشی مورد بررسی قرار گرفتند. تعداد ۹ نمونه از سنگ‌های آتشفشانی منطقه به منظور تجزیه عناصر اصلی به روش XRF (جدول ۱) و تعداد ۹ نمونه نیز به منظور تجزیه عناصر فرعی و REE به روش ICP (جدول ۲) در آزمایشگاه GeoLabs کانادا (سادبری) تجزیه عنصری شدند.

## شواهد سنگ‌نگاری و کانی‌شناسی شکل‌گیری ماگمایی منطقه داماش

با بررسی‌های میکروسکوپی صورت گرفته روی گدازه‌های منطقه‌ی داماش سه ترکیب سنگی از یکدیگر تفکیک شدند:

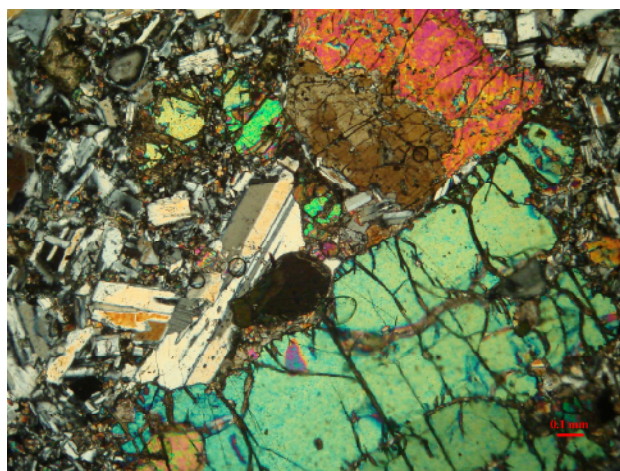
- ۱- اولیوین بازالته‌ها ۲- آندزیت‌های بازالته‌ی ۳- پیروکسن آندزیت و آندزیت

## اولیوین بازالته‌ها

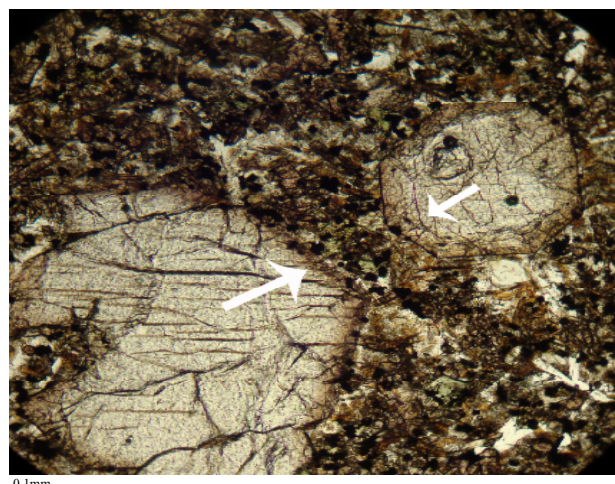
این سنگ‌ها پایین‌ترین بخش برونزد سنگ‌های آتشفشانی منطقه را تشکیل می‌دهند و دارای بافت پورفیریک با خمیره‌ی میان دانه تا ریزبلورند. فنوکریست‌های غالب به ترتیب فراوانی شامل: اولیوین، پیروکسن و پلاژیوکلاز هستند. اولیوین هم به

صورت فنوکریست و هم میکروفنوکریست در سنگ حضور دارد. درشت بلورهای اولیوین سالم‌اند، ولی میکروفنوکریست‌های اولیوین کاملاً دگرسان شده و به کلریت، سرپانتین و ایدینگسیت تبدیل شده‌اند (شکل ۲).

پیروکسن‌ها دارای ساختار منطقه‌ای بوده به نحوی که چند رنگی قهوه‌ای در حاشیه را نشان می‌دهند (شکل ۳). این کلینوپيروکسن‌ها در واقع از نوع تیتان اوزیت بوده که دارای  $Fe^{+3}$  هستند [۳]. این حاشیه در نتیجه افزوده شدن  $Al, Ti$  طی روند جدایش یک ماگمای بازالته‌ی قلیایی ایجاد می‌شود [۴]. با توجه به حاشیه‌ی غنی از  $Ti$  در این پیروکسن‌ها باید انتظار داشت که مقادیر  $TiO_2$  در ماگمای جدایشی بالا باشد. ولی نتیجه‌ی تجزیه‌های شیمیایی نمونه‌ها خلاف آن را نشان می‌دهد. محتوای پایین  $TiO_2$  در این سنگ‌ها که به کمتر از ۱٪ می‌رسد، نشان‌دهنده‌ی این است که احتمالاً پس از تشکیل فنوکریست‌های پیروکسن در عمق، آرایش پوسته‌ای سبب افت مقدار  $TiO_2$  در کل سنگ و ترم تحول یافته‌ی بعدی شده است، زیرا میزان  $TiO_2$  در سنگ یک معیار کاملاً حساس نسبت به آلودگی پوسته‌ای بوده [۵] و مقادیر پایین آن نشانه‌ی دخالت پوسته در شکل‌گیری‌های ماگمایی است [۶]. خمیره‌ی این سنگ‌ها از پلاژیوکلاز تشکیل شده است که دانه‌های کلینوپيروکسن و اولیوین‌های دگرسان شده و کانی‌های ریز کدر فضای بین آنها را پر کرده‌اند.



شکل ۲ اولیوین بازالته منطقه داماش حاوی بلورهای اولیوین، پیروکسن و پلاژیوکلاز (با آنالیزور XPL)



شکل ۳ کلینوپيروکسن غنی از تیتان با حاشیه‌ی قهوه‌ای متمایل به بنفش (با آنالیزور XPL).

### آندزیت‌های بازالتی

گدازه‌های آندزیت بازالتی با لایه‌بندی مشخص روی اولیوین بازالت‌ها قرار دارند. بافت این سنگ‌ها پورفیریک با خمیره میکروولیتی و میکروولیتی - شیشه‌ای بوده و فنوکریست‌های آن به ترتیب فراوانی عبارتند از پلاژیوکلاز و پیروکسن (شکل ۴). فنوکریست‌های اولیوین به مقدار بسیار اندک نیز در این سنگ‌ها مشاهده می‌شوند. پلاژیوکلازها دارای ساختار منطقه‌ای و نیز گاهی با بافت غربالی دیده می‌شوند.

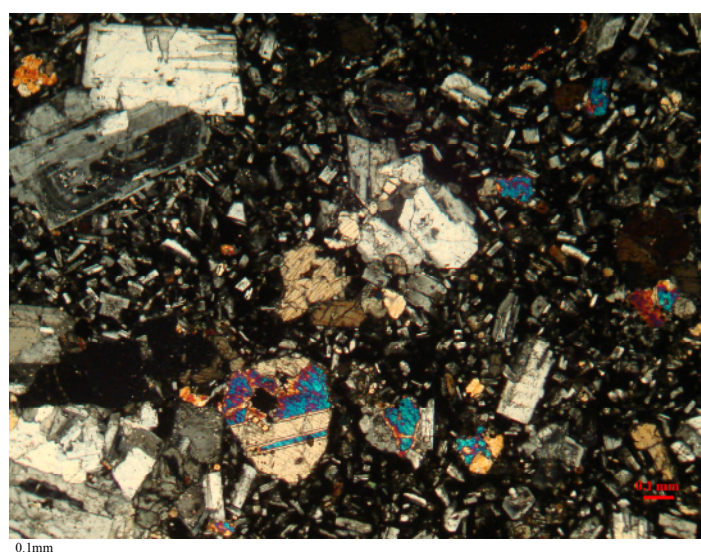
### پیروکسن آندزیت‌ها و آندزیت‌ها

ترم شکل‌گیری بعدی در سنگ‌های آتشفشانی منطقه داماش، پیروکسن آندزیت‌ها و آندزیت‌هایی هستند که برونزد قابل توجهی در منطقه دارند. اختلاف مهم کانی‌شناسی این سنگ‌ها با ترم‌های قبلی پیدایش آمفیبول به عنوان یک فاز اصلی فنوکریستی و نیز کاهش چشم‌گیر تعداد فنوکریست‌های پیروکسن و حذف تدریجی آنها در آندزیت‌هاست (شکل‌های ۵ و ۶). فنو کریست غالب موجود در این سنگ‌ها پلاژیوکلاز است که دارای بافت‌های غیرتعادلی چون؛ ساختارهای منطقه‌ای مشخص و بافت غربالی هستند (شکل ۶).

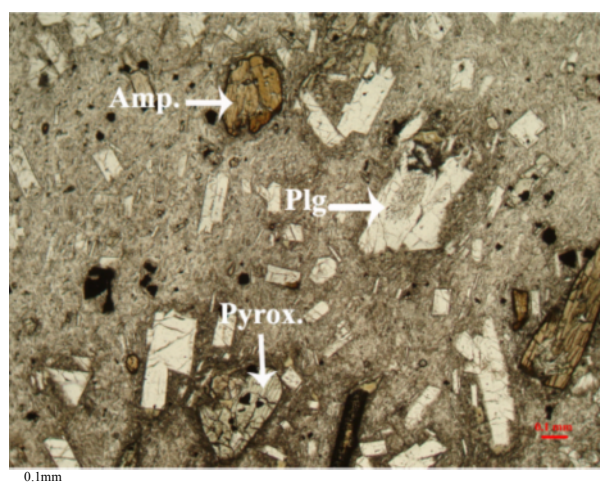
به عقیده ترول و همکاران [۷] تشکیل بافت غربالی، ترکیبی از تأثیر ورود یک دسته ماگمای جدید به حجره ماگمایی و نیز شکستن سقف حجره‌ی ماگمایی و برداشته شدن

سریع فشار از روی حجره و آزاد شدن گاز ماگماست. آمفیبول‌ها نیز کدر شده و گاهی در نمونه‌های آندزیتی، کل ساختار آمفیبول از هم پاشیده و به مجموعه‌ی کانی‌های تیره تبدیل شده‌اند. به عقیده‌ی رادرفورد و هیل [۸] ناپایداری آمفیبول با نرخ صعود ماگما در ارتباط است. وقتی نرخ صعود زیاد باشد، هیچ حاشیه واکنشی مشاهده نمی‌شود ولی اگر نرخ صعود متوسط (۳۵ تا ۵۰ متر بر ساعت) باشد یک حاشیه نازک از آمفیبول، کدر می‌شود و در صورتی که سرعت صعود ماگما کم (در حدود ۱۵ تا ۳۰ متر بر ساعت) باشد حاشیه‌ی سوخته ضخیم‌تر شده و در سرعت‌های کم‌تر، کل ساختار آمفیبول از هم می‌پاشد.

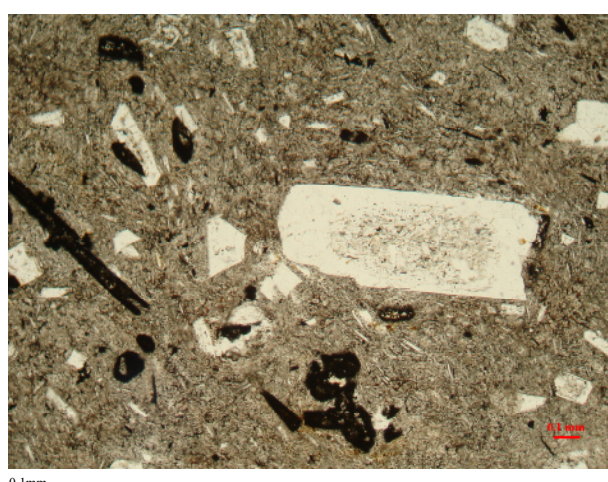
با بررسی‌های میکروسکوپی به خوبی می‌توان روند جدایش ماگمایی را در مورد سنگ‌های آتشفشانی منطقه داماش تشخیص داد: سنگ‌های اولیوین بازالتی کم جدا شده‌ترین برونزد سنگ‌های منطقه را تشکیل می‌دهند. با پیشرفت جدایش، اولیوین از گدازه‌ی باقیمانده حذف می‌شود و برنسبت درصد بلورهای پلاژیوکلاز در نمونه‌های آندزیت بازالتی افزوده می‌شود. با پیشرفت جدایش به تدریج نسبت درصد بلورهای پیروکسن نسبت به پلاژیوکلاز کاهش یافته و با آبدار شدن ماگما، آمفیبول ظاهر می‌شود. پیشرفت جدایش باعث حذف کامل بلورهای پیروکسن در نمونه‌های آندزیتی شده است.



شکل ۴ آندزیت بازالتی منطقه‌ی داماش (با آنالیزور XPL).



شکل ۵ بلورهای پلاژیوکلاز، آمفیبول و پیروکسن در سنگ پیروکسن آندزیت (بدون آنالیزور PPL).



شکل ۶ پلاژیوکلاز با بافت غربالی و آمفیبول کدر شده در آندزیت (بدون آنالیزور PPL).

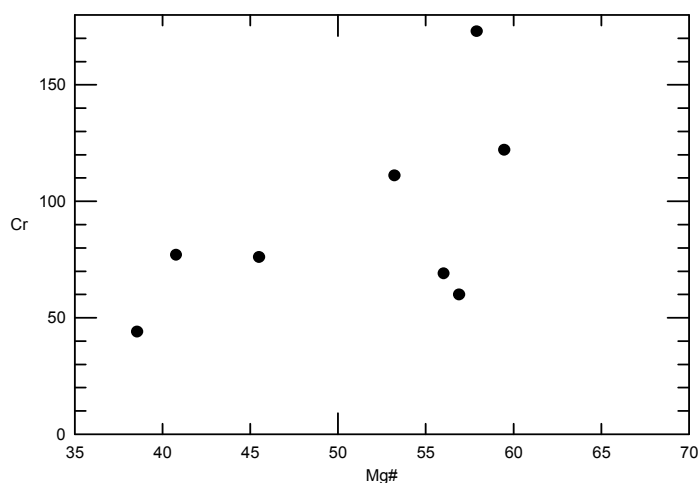
به عقیده ویلسون [۵] ثابت ماندن غلظت‌های دو عنصر ناسازگار تنها در نتیجه‌ی رویداد تبلور جدایشی محتمل است. البته به عقیده‌ی وی روندهای خطی ممکن است در سری‌هایی که در معرض فرآیند جدایش و هضم (AFC) قرار گرفته باشند، نیز حفظ شود.

در شکل (۱۰) در نمودار  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  نسبت به  $\text{MgO}$ ، همگام با کاهش مقدار  $\text{MgO}$  و افزایش مقدار جدایش، نسبت  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  کاهش می‌یابد. جدایش اولیوین نمی‌تواند نسبت  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  را در ماگما تغییر دهد و تنها با مصرف  $\text{MgO}$  در ساختار خود باعث کاهش  $\text{MgO}$  ماگما می‌شود. کاهش  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  همگام با کاهش  $\text{MgO}$  نیازمند به جدایش کلینوپیروکسن غنی از  $\text{Ca}$  به عنوان یکی از اجزای مهم جدایش (در کنار اولیوین) است [۹].

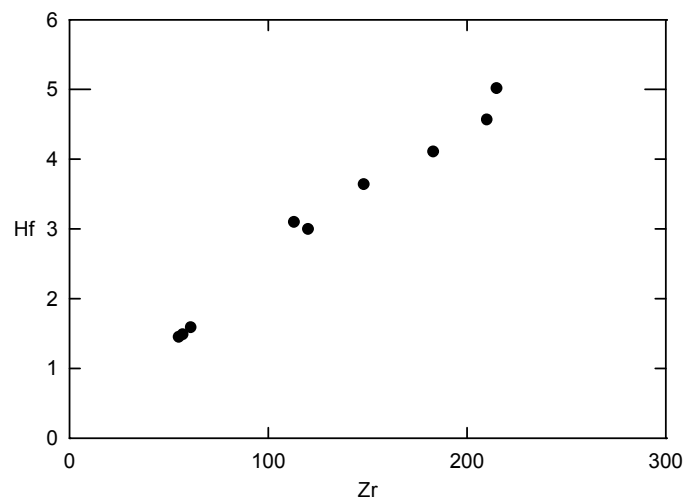
### شاخص‌های ژئوشیمیایی جدایش بلوری در سنگ‌های آتشفشانی داماش

از روی نسبت‌های عناصر کمیاب سازگار و ناسازگار می‌توان برای تعیین ارتباط ژنتیکی نمونه‌ها و شکل‌گیری‌های ماگمایی استفاده کرد.

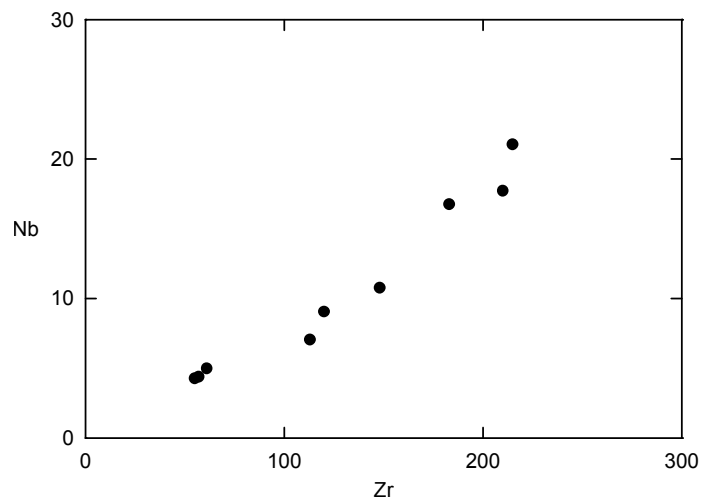
در شکل (۷) کاهش تدریجی مقدار کروم به عنوان یک عنصر سازگار، همگام با افزایش جدایی و کاهش عدد منیزیم به چشم می‌خورد. در شکل‌های (۸ و ۹) در نمودارهای تغییرات  $\text{Hf}$  نسبت به  $\text{Zr}$  و  $\text{Nb}$  نسبت به  $\text{Zr}$  همبستگی مثبت خطی بین این عناصر در سنگ‌های آتشفشانی داماش به چشم می‌خورد. مشاهده‌ی این پیوستگی و همبستگی خطی در نمودارها حاکی از آن است که روندهای ممتد در این نمودارها در حقیقت نشانگر خطوط نزول مایع و فرایند جدایشند [۵].



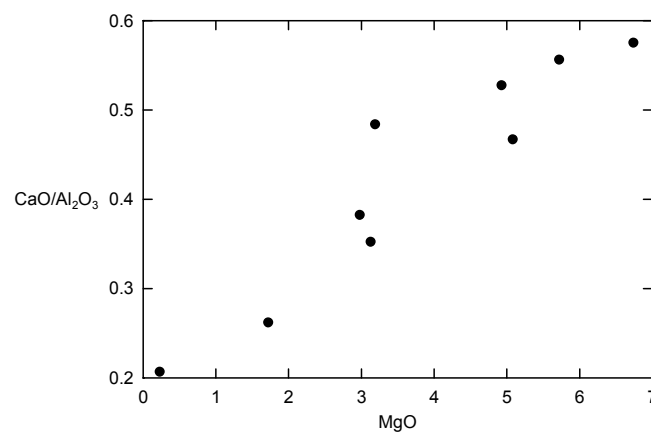
شکل ۷ نمودار تغییرات Cr نسبت به عدد منیزیم برای سنگ‌های داماش.



شکل ۸. نمودار تغییرات Hf نسبت به Zr برای سنگ‌های منطقه‌ی داماش.



شکل ۹. نمودار تغییرات Nb نسبت به Zr برای سنگ‌های منطقه‌ی داماش.



شکل ۱۰. نمودار تغییرات  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  نسبت به MgO برای سنگ‌های آتشفشانی داماش.

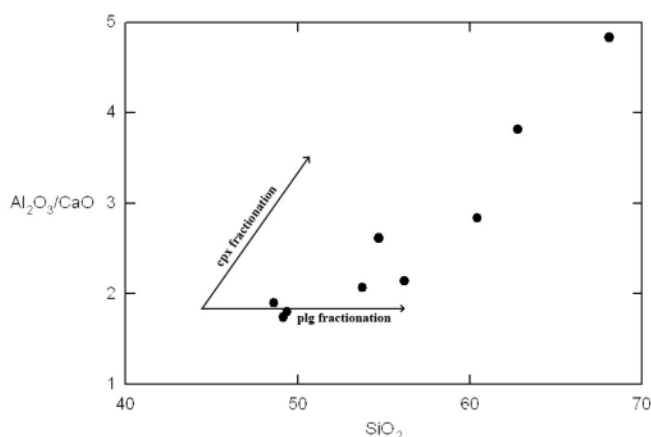
پلاژیوکلاز مشخص شده است [۱۰]. چنانکه ملاحظه می‌شود، با افزایش مقدار  $\text{SiO}_2$  نسبت  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO}$  زیاد می‌شود که

در شکل (۱۱) در نمودار تغییرات  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO}$  نسبت به  $\text{SiO}_2$ ، روندهای جدایشی کانی‌های کلینوپیروکسن و

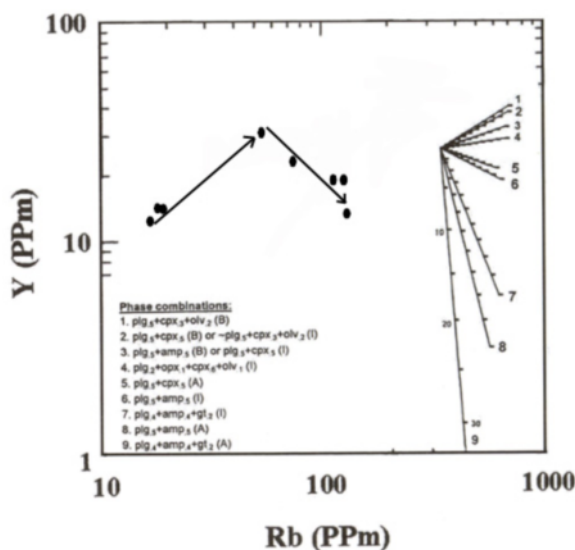
در نمودار فوق اگر شیب داده‌ها افقی و یا مثبت باشد نشانه‌ی آن است که ماگمای اولیه تحت تأثیر جدایش بدون آب قرار گرفته و اگر منفی باشد نشانه‌ی تبلور کانی‌های آبدار و جدایی آنهاست. چنانکه ملاحظه می‌شود در سنگ‌های آتشفشانی داماش دو روند مشاهده می‌شوند: روند مثبت که با افزایش Rb مقدار Y زیاد می‌شود و از بردارهای شماره‌ی ۱ و ۲ پیروی می‌کند و روند منفی که با افزایش Rb مقدار Y کم شده که حکایت از تبلور کانی آبدار چون آمفیبول دارد. این دو روند به خوبی با بررسی‌های سنگ‌نگاری همخوانی دارد: در روند مثبت ترکیب سنگ‌ها از اولیوین بازالت به سمت آندزیت بازالتی در تغییر است و در روند منفی ترکیب سنگ‌ها از آندزیت بازالتی به سمت پیروکسن آندزیت و آندزیت در تغییر است.

این تغییر حکایت از جدایش کلینوپیروکسن در شکل‌گیری‌های ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی منطقه است.

به منظور بررسی پدیده‌ی جدایش بلورین و نوع فازهای حاصل از تبلور یک ماگما در شرایط آبدار و بدون آب در سنگ‌های آتشفشانی داماش، از نمودار لگاریتمی Y نسبت به Rb [۱۱] استفاده شد (شکل ۱۲). ایتريوم (Y) یک عنصر ناسازگار با کانی‌های بدون آب چون پلاژیوکلاز، اولیوین، پیروکسن (اوژیت) و مگنتیت بوده و طی روند جدایی کانی‌های فوق به صورت ناسازگار عمل کرده و مقدار آن زیاد می‌شود، ولی در اثر تبلور و جدایش کانی‌های آبداری چون آمفیبول، عنصر ایتريوم جذب کانی یاد شده می‌شود و مقدار آن در گدازه‌ی باقی مانده کم خواهد شد [۱۲]. همچنین این عنصر حتی در درجات بالای آلودگی پوسته‌ای ماگماها نیز بدون تغییر باقی می‌ماند [۵].



شکل ۱۱ نمودار تغییرات  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO}$  نسبت به  $\text{SiO}_2$  [۱۰]. چنانکه ملاحظه می‌شود نمونه‌های منطقه‌ی داماش از روند جدایی کلینوپیروکسن پیروی می‌کند.

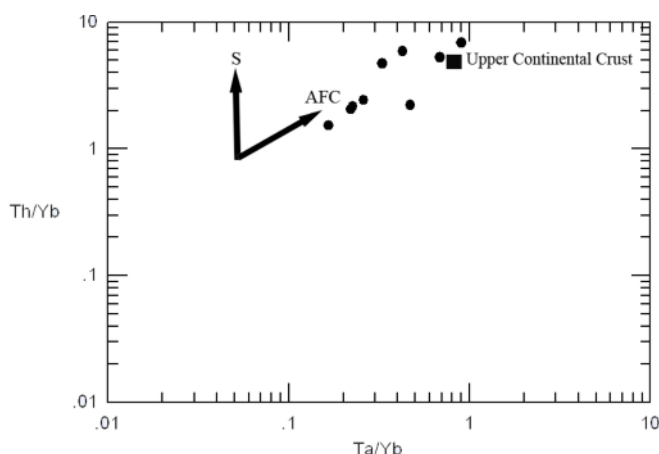


شکل ۱۲ نمودار لگاریتمی تغییرات Y نسبت به Rb [۱۱] برای سنگ‌های آتشفشانی داماش.

بین ۱/۶ تا ۳/۳۱ تغییر می‌کند، عموماً نسبت  $La/Nb > 1$  نشانه‌ی هضم سنگ‌های پوسته‌ی قاره‌ای است [۱۶]. در شکل (۱۴) در نمودار  $Ba/Nb$  نسبت به  $La/Nb$  (اقتباس از [۱۷]) نمونه‌ها روندی از گوشته (PM) به سمت سنگ‌های پوسته‌ی قاره‌ای را نشان می‌دهند. این نمودار به خوبی آلیش ماگماهای مولد سنگ‌های منطقه داماش را با سنگ‌های پوسته‌ی قاره‌ای نشان می‌دهد.

در نمودار مثلثی  $Rb/Y - Zr/Nb - Y/Nb$  نمونه‌های داماش به خوبی روند آلیش پوسته‌ای را تعقیب می‌کنند (شکل ۱۵). با افزایش آلیش پوسته‌ای هر دو نسبت  $Zr/Nb$  و  $Y/Nb$  کاهش می‌یابند [۵]. این پدیده در بسیاری از مناطق کافتی درون قاره‌ای که با پوسته‌ی قاره‌ای آلوده شده‌اند (مانند ایالت کافتی ریوگراند) مشاهده شده است [۵].

در شکل (۱۶) در نمودار لگاریتمی  $Rb/Th$  نسبت به  $Rb$  (اقتباس از [۱۱]) ترکیب میانگین پوسته‌ی فوقانی از [۱۸] و از معادلات AFC [۱۹] استفاده شد. در این نمودار درجات مختلف تبلور بخشی به ازای مقادیر مختلف  $r$  نشان داده شده‌اند. پارامتر  $r$  نسبت آهنگ هضم به آهنگ تبلور بخشی است. در این نمودار هرچه داده‌های تجزیه‌ی شیمیایی در مقادیر بالاتر  $r$  قرار گیرد، هضم بیشتری صورت گرفته است.



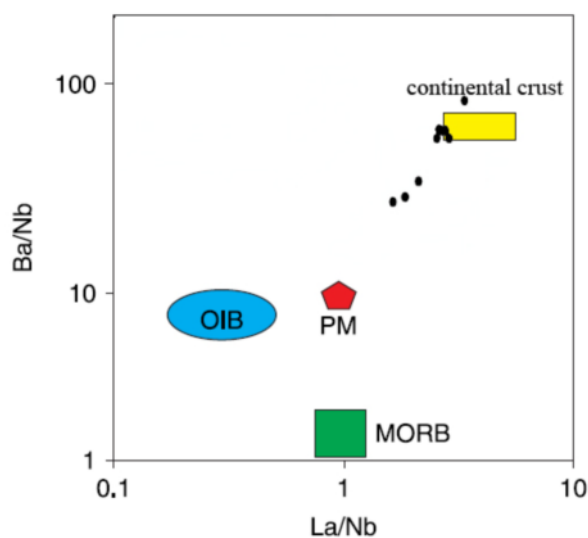
شکل ۱۳ نمودار تغییرات  $Th/Yb$  نسبت به  $Ta/Yb$  پیشنهادی پیرس [۱۴]. بردار S مؤلفه فرورانش و بردار AFC فرایند هضم و جدایش بلوری را نشان می‌دهد.

### شاخصه‌های ژئوشیمیایی آلیش پوسته‌ای در سنگ‌های آتشفشانی داماش

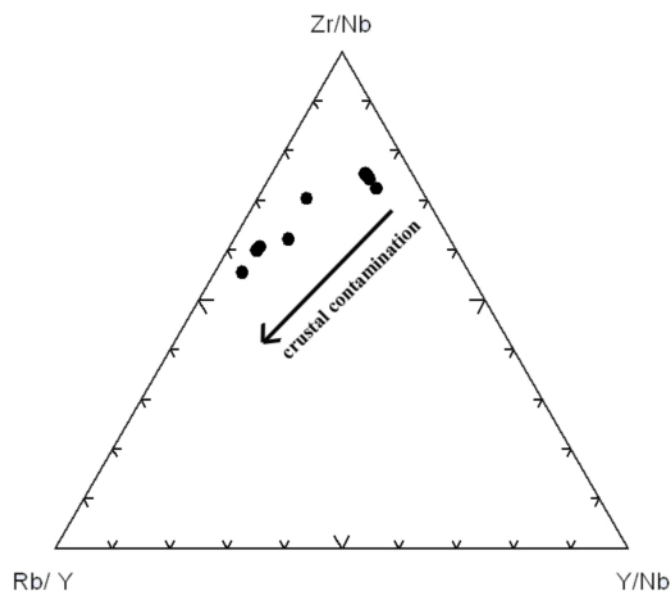
به عقیده ویور [۱۳] از روی نسبت‌های عناصر کمیاب ناسازگار در سیستم بازالتی می‌توان برای تشخیص منابع پوسته‌ای و گوشته‌ای استفاده کرد.

در شکل (۱۳) در نمودار لگاریتمی پیشنهادی  $Th/Yb$  نسبت به  $Th/Yb$  پیشنهادی پیرس [۱۴]، موقعیت پوسته‌ی قاره‌ای فوقانی و مؤلفه‌های فرورانش و همچنین هضم و تفریق (فرایند AFC) مشخص شده است. نمونه‌های داماش به خوبی روند هضم و تفریق (AFC) را نشان داده و دخالت فرایند آلیش پوسته‌ای همراه با جدایش بلورین را در سنگ‌زایی ماگمای مولد سنگ‌های منطقه نشان می‌دهند. به عقیده [۱۴] اگر مؤلفه فرورانش به طور مؤثر در خاستگاه بازالت‌های منطقه تأثیرگذار باشد، باید روند غنی‌شدگی صعودی  $Th/Yb$  را از نسبت ثابت  $Th/Yb$  داشته باشیم، به این دلیل که مواد فرورانشی  $Th$  را با خود منتقل کرده ولی  $Yb$  و  $Ta$  را با خود حمل نمی‌کنند.

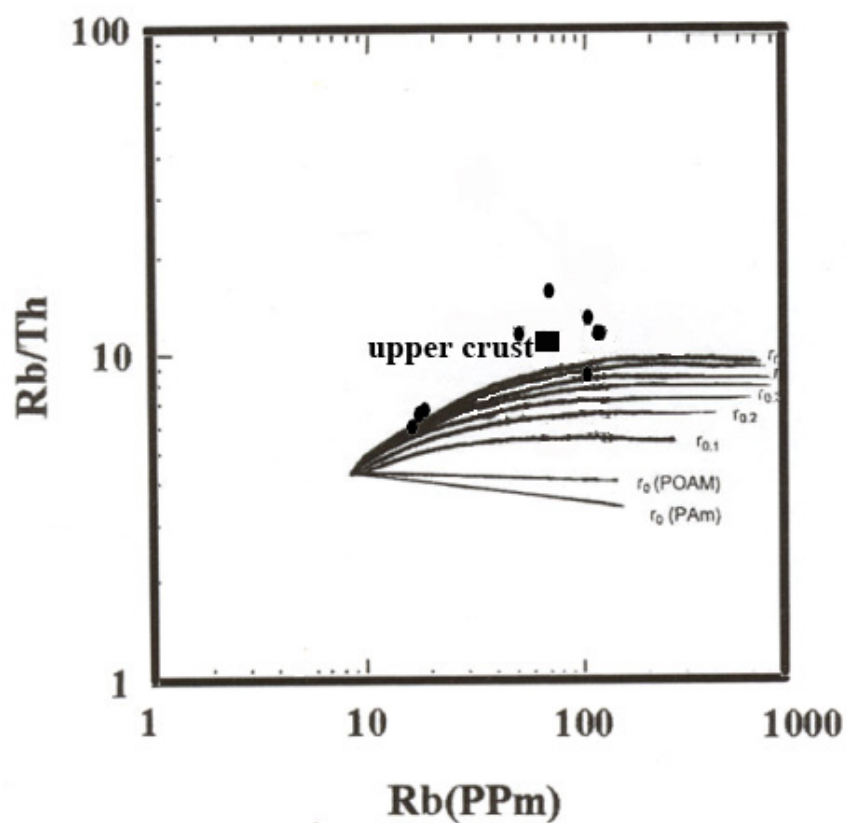
نسبت  $Ba/Nb$  در سنگ‌های منطقه داماش بالا و میانگین آن ۵۳ است. نسبت‌های بالای  $Ba/Nb$  معمولاً در گوشه‌ی لیتوسفری زیر قاره‌ای و سنگ‌های پوسته‌ی قاره‌ای دیده می‌شود [۱۵]. چون نسبت  $La/Nb$  در سنگ‌های منطقه‌ی داماش



شکل ۱۴ نمودار تغییرات  $Ba/Nb$  نسبت به  $La/Nb$  (اقتباس از [۱۷])



شکل ۱۵ نمودار مثلثی Rb/Y - Zr/Nb - Y/Nb سنگ‌های آتشفشانی داماش.



شکل ۱۶ نمودار لگاریتمی Rb/Th نسبت به Rb (اقتباس از [۱۱]) برای سنگ‌های آتشفشانی داماش.

نشان داده به نحوی که از این فرایند برای بدست آوردن عمق تقریبی آلودگی پوسته‌ای استفاده می‌شود [۵]. نسبت Rb/Th

Rb و Th به خصوص در سنگ‌های پوسته‌ای قاره‌ای فوقانی در مقایسه با سنگ‌های پوسته‌ای قاره‌ای زیرین غنی‌شدگی

۲- بررسی عناصر اصلی و فرعی و نسبت‌های عناصر ناسازگار حکایت از آن دارد که در سنگ‌های منطقه پدیده‌ی هضم سنگ‌های پوسته‌ای همراه با تبلور جدایشی (تحت عنوان فرآیند AFC) صورت پذیرفته است. در این حالت گدازه‌های آندزیتی که تکامل یافته‌ترین سنگ‌های منطقه محسوب می‌شوند بیشترین آلودگی پوسته‌ای را نشان می‌دهند.

۳- در اثر برهم کنش ماگمای اولیه ریشه گرفته از گوشته با مواد پوسته‌ای قاره‌ای، ترکیب ژئوشیمیایی اولیه ماگمای سنگ‌های منطقه تعدیل و تغییر یافته است، به نحوی که کاملاً روندهای عنصری پوسته را به خود گرفته است.

به نظر پژوهندگان، در اثر این تغییرات نسبت‌های ژئوشیمیایی جدیدی به صورت کاذب ایجاد شده که ناشی از آلیش پوسته‌ای بوده است بنابراین باید بخصوص در استفاده از نمودارهای ژئوشیمیایی برای تشخیص خاستگاه و نمودارهای تشخیص محیط زمین‌ساختی که برپایه‌ی عناصر حساس نسبت به آلیش پوسته‌ای ترسیم شده‌اند، کاملاً محتاط بود زیرا آثار ناشی از آلودگی پوسته‌ای کاربرد آنها را گاهی ناممکن می‌سازد.

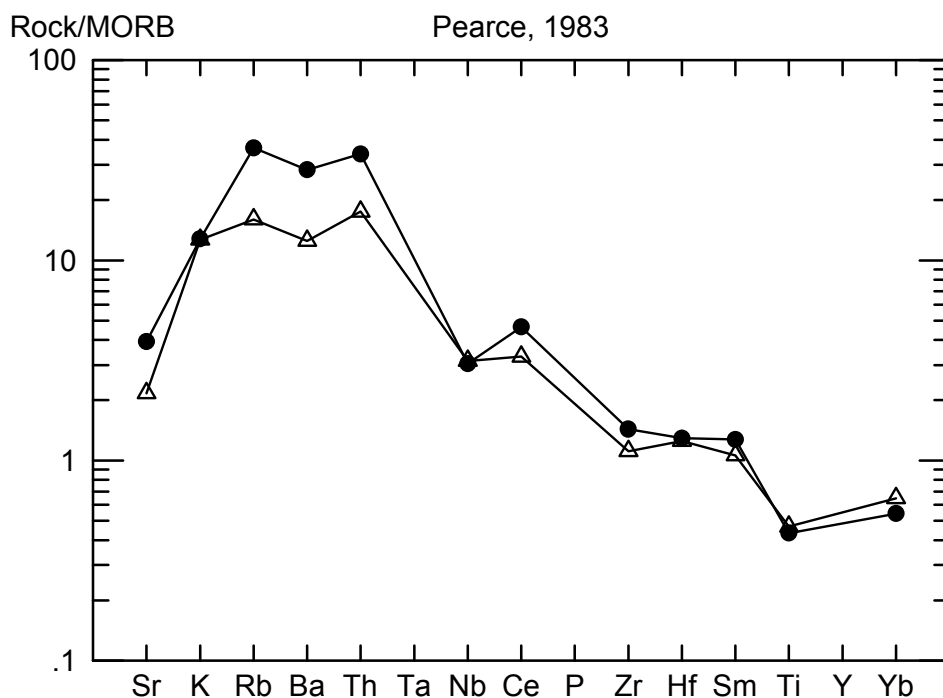
به خصوص در سنگ‌های پوسته‌ای فوقانی بالاتر از منابع پوسته‌ای و گوشته‌ای دیگر است. در نمودار  $Rb/Th$  نسبت به  $Rb$  (شکل ۱۶)، نمونه‌های منطقه‌ی داماش به مقادیر پوسته‌ای قاره‌ای فوقانی نزدیک بوده و در مقادیر بالاتری از  $r$  قرار گرفته‌اند و در نتیجه آلودگی و هضم زیادی داشته‌اند.

در شکل (۱۷) الگوی میانگین عناصر کمیاب سنگ‌های آتشفشانی داماش در مقایسه با مقادیر میانگین پوسته [۲۰] هماهنگی و مانستگی روندهای عنصری بین سنگ‌های منطقه و پوسته‌ی قاره‌ای به چشم می‌خورد.

روندهای مشابه و نشیب و فرازهای یکسان نمونه با مقادیر پوسته‌ای، برهم کنش ماگمای بازالتی منطقه‌ی داماش را با پوسته‌ی قاره‌ای مدلل می‌سازد.

#### برداشت

۱- سنگ‌های آتشفشانی پالئوژن داماش تنوع ترکیبی بین اولیوین بازالت تا آندزیت دارند. بررسی‌های سنگ‌نگاری حکایت از آن دارد که جدایش کانی‌های اولیوین و پیروکسن نقش بسیار مهم در تنوع سنگ‌شناسی سنگ‌های منطقه داشته است.



شکل ۱۷ مقایسه‌ی الگوی میانگین عناصر کمیاب سنگ‌های آتشفشانی داماش با مقادیر میانگین پوسته [۲۰].

● میانگین سنگ‌های آتشفشانی داماش      △ میانگین پوسته‌ی قاره‌ای

## مراجع

- collision-related volcanism on the Erzurum-kars plateau,northeastern Tuerkey", Journal of Volcanology and Geothermal Resseract, 85 (1998) 355-404.
- [12] Pearee J.A., Bender J.F, DeLong S.E., Kidd W.S.F, Low P.J.,Guner Y.Saraghu F., Yilmaz Y., Moorbath S., Mitchell j.G., "Genesis of collision volcanism in Eastern Anatolia",Turkey, J.Volcanol. Geothermal. Res. 44(1990)189-229.
- [13] Weaver B.L., "Trace element evidence for the origin of ocean-island basalts", Geology, 19(1991)123-126.
- [14] Pearce j.A., "Trace element characteristics of lava from destructive plate boundaries." In:Thorpe, R.S.(eds) Andesites:orogeic andesites and related rocks,(1982)524-548.
- [15] Rudnick R.L., Goldstein S.L., "The pb isotopic composition of lower crust Xenoliths and the evolution of lower crust Pb", Earth Planet . Sci . Lett, 98(1990)192-207.
- [16] Thompson R.N., Morrison M.A., Hendry G.L., parry S.j., "An assessment of The relative roles of a crust and mantle in magma genesis:an element approach", Phil Trans R. Soc. Lond. 310 (1984) 549-590.
- [17] Dilek Y., Imamverdiyev N., Altunkaynak S., "Geochrmistry and tectonics of Cenozoic volcanism in The Lassaer Caucasus(Azerbaijan) and the peri-Arabian region:collision- induced mantle dynamics and its magmatic fingerprint", International Geology Review, 52(2010) 536-578.
- [18] Taylor S.R., McLennan S.M., "The continental crust : its composition and evolution", Blackwel Sci. Pub.Oxford,(1985)312P.
- [19] DePolo D.J., "Tracc element and isotopic effects of combined wall-rock assimilation and fractional crystallization", Earth Planet. Sci. Lett, 53(1981)189-202.
- [20] Rudnick R.L., Fountain D.M., "Nature and composition of the continental crust:A Lower crustal perspective", Rev.Geophys.33(1995)267-309.
- [۱] قلمقاش ج.، "نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ جیرنده"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور(۱۳۸۱).
- [2] Stocklin j., "Northern Iran:Alborz mountains.Mesozoic-Cenozoic orogenic belt.data for orogenic studies", Geol. Soc. London,Sp. Pubu (1974a) 213-234.
- [3] Pichler H., Shmitt-Riegraf C., "Gesteinsbildende minerale im dunnschliff", Ferdinand Enke, Verlag Stuttgart,(1985).
- [4] Duda A., Schmincke H.- U., "Polybaric differentiation of Alkali basaltic magmas: evidence from green-Core Clinopyroxenes (Eifel , FRG)", Contrib. Mineral. Petrol, 91(1985) 340-353.
- [5] Wilson M., "Igneous petrogenesis-A global tectonic approach", Unwin Hyman London,(1989)466p.
- [6] Fodor R.V., "Low and high-Tio<sub>2</sub> flood basalts of southern Brazil.Origin from picritic Parentage and a common mantle source", Earth planet.Sci.Lett.84(1987)423-430.
- [7] Troll V.R., Donaldson C.H., Emeleus C.H., "Pre-eruptive magma mixing in ash-flow deposits of the tertiary Rum Igneous Centre", Scotland, Contrib .Mineral.petrol.147(2004)722-739.
- [8] Rutherford M.j., Hill P.M., "Magma ascent rates from Amphibole breakdown:an experimental study applied to the 1980 Helens eruption", j.Geophys.Res,98(1993)19667-19686.
- [9] Class C., Altherr R., Volker F., Eberz G., McCulloch M.T, "Geochmistry of pliocene to Quaternary alkali basalts from the Huri Hills, Northern Kenya", Chemical Geology, 113(1994)1-22.
- [10] Zhu D., Pan G., MO X., Liao Zh., Jiang X., Wang L., Zhao Zh., "Petrogenesis of volcanic rocks in the Sangxiu Formation,central segment of Tethyan Himalaya:A probable example of plume-lithosphere interaction", journal of Asian Earth Sciences,29(2007)320-335.
- [11] Keskin M., Pearce J.A., Mitchell J.G., "Volcano-stratigraphy and geochemistry of