

شیمی کانی سنگ‌های پلیوکواترنر مناطق کلیبر، ورزقان-اهر-شمال غرب ایران

مهدیه فاضلی حق^{*}، نصیر عامل، احمد جهانگیری، محسن موید

دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۹/۲۰، نسخه نهایی: ۱۴۰۴/۱۱/۸)

چکیده: گدازه‌های پلیوکواترنری مورد بررسی در شمال غرب ایران و در پهنه البرز-آذربایجان واقع هستند. بر اساس بررسی‌های زمین شیمیایی، این واحدهای آتشفشانی از نوع بازالت، آندزیت بازالت، تراکی بازالت، بازالت-تراکی آندزیت و تراکی آندزیت هستند. ترکیب کانی‌شناسی واحدها شامل کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن، آمفیبول، الیوین و کانی‌های فرعی آپاتیت، کوارتز و کانی‌های کدر است. کلینوپیروکسن‌ها از نوع اوژیت و دیوپسید بوده و دارای ماهیت قلیایی و نیمه‌قلیایی هستند و در گستره سنگ‌های آذرین واقع می‌شوند. محیط تشکیل کلینوپیروکسن‌ها دارای گریزندگی اکسیژن بالا بوده است و در فشارهای پایین تا متوسط تشکیل شده‌اند. عدد منیزیم کلینوپیروکسن‌ها نشان‌دهنده تشکیل آنها از ماگمای اولیه است. ترکیب کانی‌شناسی پلاژیوکلازها از نوع آندزین، بیتونیت، لابرادوریت و الیگوکلاز است. آمفیبول‌های موجود در مناطق مورد بررسی از نوع پارگازیت و چرمکیت بوده، دارای ماهیت قلیایی-نیمه‌قلیایی و نیمه‌قلیایی هستند. همه الیوین‌های مناطق مورد بررسی از نوع کریزولیت و اکسیدهای آهن-تیتان از نوع مگنتیت و تیتانومگنتیت هستند.

واژه‌های کلیدی: آهن-تیتان، الیوین، آمفیبول، پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن، شیمی کانی، پلیوکواترنری.

مقدمه

دلیل اینکه ترکیب‌های آنها اطلاعاتی را درباره وضعیت و جایگاه تبلور در اختیار می‌گذارد، اهمیت زیادی دارند. با اینکه گروه پیروکسن در دو سامانه متفاوت راستگوشی و تک میل متبلور می‌شوند و از نظر ویژگی‌های بلورشناسی و فیزیکی و همچنین ترکیب‌های شیمیایی به هم وابسته هستند [۵]. فرمول ترکیب شیمیایی پیروکسن‌ها $M_2M_1T_2O_6$ است که شامل یک جایگاه چاروجهی (T) و دو جایگاه هشت‌وجهی (M_2 و M_1) است. مجموع کاتیون‌های قرار گرفته در جایگاه‌های چاروجهی (T) و جایگاه هشت‌وجهی (M_1) به ترتیب برابر ۲ و ۱ است. کاتیون‌هایی با هم‌آرایی چاروجهی شامل Si^{4+} ، Al^{3+} و Fe^{3+} ، در جایگاه چاروجهی T و باقیمانده‌ای از کاتیون‌ها در جایگاه چاروجهی T که دربردارنده Al^{3+} و Fe^{3+} در جایگاه هشت‌وجهی M_1 که شامل کاتیون‌هایی با هم‌آرایی

پژوهشگران بسیاری به ارتباط بین ترکیب شیمیایی کانی‌ها (به ویژه کلینوپیروکسن، پلاژیوکلاز و آمفیبول) و ترکیب شیمیایی ماگمای میزبان تأکید دارند [۱-۳] در پیروکسن‌ها، مقدار آلومینیوم به فشار تبلور بستگی دارد و فشار بیشتر سبب جایگزینی آلومینیوم چاروجهی در ساختار پیروکسن‌ها شده [۴] و اهمیت این امر در تعیین سری ماگمایی سنگ میزبان پررنگ‌تر می‌شود. کلینوپیروکسن، پلاژیوکلاز، آمفیبول و الیوین مهم‌ترین کانی‌های موجود در سنگ‌های مورد بررسی هستند و بررسی ترکیب شیمیایی آنها، اطلاعات بسیار مهمی را درباره خاستگاه ماگمایی و شرایط فیزیکوشیمیایی تبلور ماگما (چون دما، فشار، گریزندگی اکسیژن) ارائه می‌دهد. در سنگ‌شناسی سنگ‌های آذرین، کانی‌های گروه پیروکسن به

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۰۴۰۰۵۰۸۲، پست الکترونیکی: m.fazeli@tabrizu.ac.ir

هشت وجهی منظم هستند، جایگزین می‌شوند [۶]. پیروکسن-ها بوسیله کاتیون‌های موجود در جایگاه هشت وجهی M (M1 و M2) و بر اساس ۶ اتم اکسیژن دسته‌بندی و تقسیم‌بندی می‌شوند. از آنجا که تاکنون ترکیب شیمیایی کانی‌های مناطق کلیبر، درزقان-اهر-شمال غرب ایران تعیین نشده، در این پژوهش ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی کانی‌ها بررسی شده است.

روش بررسی

پس از پیمایش‌های صحرایی و نمونه‌برداری، مقاطعی برای بررسی‌های سنگ‌نگاری تهیه گردید و حدود ۲۰ مقطع برای تجزیه کیفی به روش طیف‌سنجی (EDX) با ریزپردازشگر JEOL JSM- 7001FA مجهز به آشکارساز پرتوی ایکس به دانشگاه کوچی (Kuchi) ژاپن ارسال شد. شرایط تجزیه شامل ولتاژ شتاب‌دهنده ۱۵ کیلوولت، جریان ۱۵ نانوآمپر و زمان شمارش ۱۰۰ ثانیه در فاصله کاری ۱۰ میلی‌متر بود که سیگنال‌های خام با استفاده از روش تصحیح ZAF اصلاح ماتریسی شده و نسبت به استانداردهای کانی‌شناسی طبیعی واسنجی شده‌اند. انحراف معیار نسبی (RSD) اکسیدها با

فراوانی اکسیدهای کانی‌شناسی همبستگی مثبت دارند و اکسیدهای بیش از ۰/۵ و ۱/۰ درصدوزنی را می‌توان به ترتیب با RSD کمتر از ۱۰٪ و ۵٪ تجزیه کرد. ۳۷۳ تجزیه نقطه‌ای از پیروکسن‌های مناطق مورد بررسی انجام شد که نتایج تعدادی از آنها در جدول ۱ آورده شده‌اند. ۳۸۲ تجزیه نقطه‌ای از پلاژیوکلازهای مناطق زندآباد، نهار، گنگل‌آباد، مرزرود، سیاه‌کلان، لاله‌بجان و کلیبر پس از محاسبه بر اساس فرمول ساختاری ۸ اکسیژن انجام شد که نتایج تعدادی از آنها در جدول ۲ آورده شده‌اند. حدود ۱۳۰ تجزیه نقطه‌ای از آمفیبول‌های مناطق زندآباد، کلیبر، مرزرود و لاله‌بجان بر اساس ۲۳ اکسیژن انجام شد که نتایج تعدادی از آنها در جدول ۳ ارائه شده است. ۱۱۸ تجزیه نقطه‌ای از الیوین‌های مناطق نهار و گنگل‌آباد بر اساس ۴ اکسیژن انجام شد که نتایج تعدادی از آنها در جدول ۴ آمده است. برای تعیین نوع و ترکیب شیمیایی اکسیدهای آهن-تیتان، ۱۳۰ تجزیه نقطه‌ای از مناطق زندآباد، نهار، مرزرود، گنگل‌آباد، کلیبر، سیاه‌کلان و لاله‌بجان، انجام شد که نتایج تعدادی از آنها در جدول ۵ آورده شده‌اند.

جدول ۱ نتایج تجزیه نقطه‌ای تعدادی از پیروکسن‌های مورد بررسی

نمونه	BZ	BZ	NB	NB	GB	GB	PBM	PBM	SB	SB	KB
SiO ₂	۵۱٫۸۴	۵۱٫۷۰	۵۱٫۰۷	۵۱٫۹۱	۴۸٫۳۸	۴۶٫۵۱	۵۰٫۴۴	۵۰٫۶۲	۵۲٫۰۲	۵۲٫۲۰	۵۲٫۱۶
TiO ₂	۰٫۲۴	۰٫۵۵	۰٫۶۸	۰٫۴۰	۱٫۸۱	۲٫۶۹	۰٫۹۶	۱٫۰۸	۰٫۴۳	۰٫۴۴	۰٫۷۷
Al ₂ O ₃	۱٫۲۸	۲٫۳۹	۴٫۱۲	۲٫۲۸	۵٫۱۲	۶٫۳۴	۳٫۷۰	۴٫۴۸	۱٫۹۷	۱٫۶۶	۳٫۰۴
FeO	۹٫۲۳	۶٫۰۸	۵٫۲۲	۴٫۸۹	۷٫۴۶	۷٫۳۱	۶٫۸۴	۶٫۸۲	۱۰٫۰۷	۹٫۷۴	۶٫۳۲
MnO	۰٫۶۹	۰٫۰۸	۰٫۱۶	۰٫۰۶	۰٫۰۳	۰٫۱۵	۰٫۱۰	۰٫۰۸	۰٫۴۴	۰٫۴۲	۰٫۱۶
MgO	۱۳٫۶۴	۱۵٫۷۶	۱۵٫۹۳	۱۷٫۲۰	۱۳٫۷۰	۱۲٫۹۰	۱۴٫۶۲	۱۴٫۷۰	۱۴٫۵۸	۱۴٫۷۸	۱۵٫۶۶
CaO	۲۱٫۹۱	۲۲٫۶۸	۲۱٫۷۸	۲۱٫۷۳	۲۳٫۴۸	۲۲٫۸۹	۲۲٫۶۸	۲۲٫۲۳	۲۰٫۹۴	۲۰٫۹۹	۲۲٫۲۷
Na ₂ O	۰٫۶۰	۰٫۳۸	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۳۸	۰٫۸۲	۰٫۵۶	۰٫۶۸	۰٫۳۳	۰٫۳۴	۰٫۵۷
مجموع	۹۹٫۴۳	۹۹٫۶۹	۹۹٫۶۱	۹۹٫۹۷	۱۰۰٫۴۱	۹۹٫۷۳	۹۹٫۹۸	۱۰۰٫۷۴	۱۰۰٫۸۱	۱۰۰٫۵۸	۱۰۰٫۶۴
Si	۱٫۹۵۶	۱٫۹۱۷	۱٫۸۸۴	۱٫۹۳۶	۲٫۴۰۷	۲٫۳۳۸	۱٫۸۷۵	۱٫۸۶۳	۱٫۹۳۳	۱٫۹۴۱	۱٫۸۷۸
Ti	۰٫۰۰۷	۰٫۰۱۵	۰٫۰۱۹	۰٫۰۱۱	۰٫۰۶۸	۰٫۱۰۲	۰٫۰۲۷	۰٫۰۳۰	۰٫۰۱۲	۰٫۰۱۲	۰٫۰۲۰
Al	۰٫۵۷۰	۰٫۱۰۴	۰٫۱۷۹	۰٫۰۹۹	۰٫۳۰۰	۰٫۳۷۶	۰٫۱۶۲	۰٫۱۹۴	۰٫۰۸۶	۰٫۰۷۳	۰٫۱۴۳
Fe	۰٫۲۹۱	۰٫۱۸۸	۰٫۱۶۱	۰٫۱۴۹	۰٫۳۱۰	۰٫۳۰۷	۰٫۲۱۳	۰٫۲۱۰	۰٫۳۱۳	۰٫۳۰۳	۰٫۲۲۵
Mn	۰٫۰۲۲	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۷	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۳	۰٫۰۱۴	۰٫۰۱۳	۰٫۰۵۵
Mg	۰٫۷۶۷	۰٫۸۷۱	۰٫۸۷۶	۰٫۹۳۸	۱٫۰۱۶	۰٫۹۶۷	۰٫۸۱۰	۰٫۸۰۷	۰٫۸۰۷	۰٫۸۱۹	۰٫۸۳۶
Ca	۰٫۸۸۶	۰٫۹۰۱	۰٫۸۶۱	۰٫۸۵۲	۱٫۲۵۲	۱٫۲۳۲	۰٫۹۰۳	۰٫۸۷۷	۰٫۸۳۴	۰٫۸۳۶	۰٫۸۸۷
Na	۰٫۰۴۴	۰٫۰۲۷	۰٫۰۴۴	۰٫۰۳۲	۰٫۰۳۶	۰٫۰۸۰	۰٫۰۴۰	۰٫۰۴۹	۰٫۰۲۴	۰٫۰۲۴	۰٫۰۳۱
مجموع	۴٫۰۳۱	۴٫۰۲۸	۴٫۰۲۹	۴٫۰۱۹	۵٫۳۹۲	۵٫۴۱۱	۴٫۰۳۶	۴٫۰۳۳	۴٫۰۲۳	۴٫۰۲۲	۴٫۰۳۶
#Mg	۷۲٫۴۸	۸۲٫۲۱	۸۴٫۴۷	۸۶٫۲۵	۷۶٫۶۱	۵۷٫۸۷	۷۹٫۲۰	۷۹٫۳۴	۷۲٫۰۷	۷۳٫۰۱	۸۱٫۵۳
Fe ²⁺	۰٫۱۹۹	۰٫۱۰۲	۰٫۰۷۲	۰٫۰۹۰	۰٫۰۹۸	۰٫۰۵۳	۰٫۱۰۳	۰٫۱۹۸	۰٫۲۴۱	۰٫۲۳۴	۰٫۱۱۶
Fe ³⁺	۰٫۰۹۰	۰٫۰۸۵	۰٫۰۸۸	۰٫۰۵۹	۰٫۱۳۲	۰٫۱۷۴	۰٫۱۰۸	۰٫۰۹۹	۰٫۰۷۰	۰٫۰۶۷	۰٫۰۷۶
Al ^(IV)	۰٫۰۴۴	۰٫۰۸۲	۰٫۱۱۶	۰٫۰۶۴	۰٫۱۹۴	۰٫۲۴۶	۰٫۱۲۵	۰٫۱۳۶	۰٫۰۶۷	۰٫۰۵۹	۰٫۰۹۲
Al ^(VI)	۰٫۰۱۳	۰٫۰۲۲	۰٫۰۶۳	۰٫۰۳۵	۰٫۰۳۱	۰٫۰۳۶	۰٫۰۳۷	۰٫۰۵۸	۰٫۰۱۹	۰٫۰۱۴	۰٫۰۳۹
Wo	۴۴٫۱۱	۴۵٫۲۹	۴۴٫۲۵	۴۳٫۱۸	۴۷٫۹۰	۴۷٫۶۲	۴۵٫۹۰	۴۵٫۱۲	۴۱٫۸۹	۴۱٫۹۳	۴۴٫۴۳
En	۳۸٫۲۱	۴۳٫۸۰	۴۵٫۰۴	۴۷٫۵۶	۳۸٫۹۰	۳۷٫۳۵	۴۱٫۱۷	۴۱٫۵۲	۴۰٫۵۹	۴۱٫۰۸	۴۳٫۴۸
Fs	۱۵٫۴۹	۹٫۵۴	۸٫۴۷	۷٫۶۴	۱۱٫۸۰	۱۱٫۹۴	۱۰٫۸۷	۱۰٫۸۵	۱۶٫۳۳	۱۵٫۷۶	۱۰٫۰۳
Ac	۲٫۱۹	۱٫۳۷	۲٫۲۴	۱٫۶۲	۱٫۴۰	۳٫۰۹	۲٫۰۵	۲٫۵۱	۱٫۱۹	۱٫۲۳	۲٫۰۶

جدول ۲ نتایج تجزیه نقطه‌ای پلاژیوکلازهای مورد بررسی.

نمونه	BZ	BZ	NB	GB	GB	PBM	SB	SB	LB	KB	KB
SiO ₂	۵۶/۳۱	۵۷/۲۶	۵۶/۹۱	۵۴/۹۷	۵۶/۴۲	۵۸/۶۹	۵۳/۶۰	۶۵/۴۸	۵۶/۶۳	۵۵/۵۹	۵۶/۷۵
TiO ₂	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۱۸	۰/۲۸	۰/۱۷	۰/۶۶	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۴
Al ₂ O ₃	۲۶/۶۸	۲۵/۶۱	۲۷/۲۴	۲۶/۶۱	۲۶/۸۰	۲۵/۳۷	۲۸/۰۶	۲۱/۶۹	۲۶/۸۷	۲۸/۹۱	۲۷/۷۲
FeO	۰/۲۸	۰/۴۴	۱/۲۰	۰/۹۱	۰/۸۱	۱/۲۴	۱/۸۰	۰/۱۱	۰/۳۶	۰/۵۶	۰/۳۹
MnO	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۲۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۰
MgO	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۳۷	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۰
CaO	۹/۱۳	۸/۱۱	۹/۶۹	۹/۰۵	۸/۷۸	۷/۳۵	۱۱/۲۱	۲/۴۸	۹/۰۹	۱۱/۰۱	۹/۶۷
Na ₂ O	۵/۹۷	۶/۴۲	۶/۲۱	۵/۷۵	۶/۲۲	۶/۰۱	۴/۷۹	۱۰/۲۴	۶/۱۲	۵/۳۹	۶/۱۹
K ₂ O	۰/۵۴	۰/۶۶	۰/۳۲	۰/۷۲	۰/۴۱	۰/۶۴	۰/۲۹	۰/۰۳	۰/۳۹	۰/۲۴	۰/۲۳
P ₂ O ₅	۰/۱۷	۰/۲۲	۰/۱۱	۰/۴۲	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۲۳	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۱۸
مجموع	۹۹/۱۸	۹۸/۷۷	۱۰۱/۹۰	۹۹/۰۳	۹۹/۸۱	۱۰۰/۱۷	۱۰۰/۳۲	۱۰۰/۲۷	۹۹/۷۳	۱۰۱/۹۷	۱۰۱/۱۸
Si	۲/۵۵۶	۲/۶۰۶	۲/۵۲۹	۲/۵۱۸	۲/۵۴۹	۷/۵۵۸	۲/۴۳۷	۲/۸۷۴	۲/۵۵۵	۲/۴۶۷	۱/۵۲۸
Ti	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۰۹	۰/۰۰۶	۰/۰۶۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱
Al	۱/۴۲۸	۱/۳۷۴	۱/۴۲۷	۱/۴۳۷	۱/۴۲۷	۳/۸۵۰	۱/۵۰۴	۱/۱۲۲	۱/۴۲۹	۱/۵۱۲	۱/۴۵۵
Fe	۰/۰۱۰	۰/۰۱۷	۰/۰۴۵	۰/۰۳۵	۰/۰۳۰	۰/۱۳۴	۰/۰۶۸	۰/۰۰۴	۰/۰۱۳	۰/۰۲۱	۰/۰۱۴
Mn	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۹	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
Mg	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۲۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰
Ca	۰/۴۴۴	۰/۳۹۵	۰/۴۶۱	۰/۴۴۴	۰/۴۲۵	۱/۰۱۵	۰/۵۴۶	۰/۱۱۷	۰/۴۲۹	۰/۵۲۳	۰/۴۶۱
Na	۰/۵۲۵	۰/۵۶۶	۰/۵۳۵	۰/۵۱۱	۰/۵۴۴	۱/۵۰۰	۰/۴۲۳	۰/۸۷۲	۰/۵۲۵	۰/۴۶۳	۰/۵۳۵
K	۰/۰۳۱	۰/۰۳۸	۰/۰۱۸	۰/۰۴۲	۰/۰۴۴	۰/۱۰۶	۰/۰۱۷	۰/۰۰۲	۰/۰۲۲	۰/۰۱۴	۰/۰۱۳
مجموع	۵۰/۰۲	۵۰/۰۲	۵۰/۲۵	۵۰/۱۹	۵۰/۱۰	۱۴/۲۴۱	۵۰/۲۵	۴/۹۹۵	۵۰/۰۲	۵۰/۰۹	۵۰/۱۲
Ab	۵۲/۵۷	۵۶/۶۳	۵۲/۷۴	۵۱/۲۳	۵۴/۸۴	۵۷/۲۸	۴۲/۸۶	۸۸/۰۵	۵۳/۶۹	۴۶/۳۴	۵۲/۹۷
An	۴۴/۳۰	۳۹/۵۳	۴۵/۴۷	۴۴/۵۵	۴۲/۷۸	۳۸/۷۱	۵۵/۴۳	۱۱/۷۸	۴۴/۰۶	۵۲/۳۱	۴۵/۷۳
Or	۳/۱۲	۳/۸۳	۱/۷۹	۴/۲۲	۲/۳۸	۴/۰۱	۱/۷۱	۰/۱۷	۲/۲۵	۱/۳۶	۱/۳۰

جدول ۳ نتایج تجزیه نقطه‌ای آمفیبول‌های مورد بررسی

نمونه	BZ	BZ	BZ	KB	KB	KB	PBM	PBM	LB	LB	LB
SiO ₂	۴۲/۹۱	۴۲/۰۳	۴۱/۳۳	۴۱/۹۲	۴۰/۹۹	۴۰/۵۰	۵۲/۴۹	۴۵/۰۵	۴۳/۲۲	۴۲/۷۲	۴۱/۰۶
TiO ₂	۲/۶۶	۲/۷۱	۲/۸۴	۲/۵۵	۲/۵۳	۲/۶۷	۰/۱۹	۲/۹۰	۲/۳۷	۲/۵۰	۲/۱۰
Al ₂ O ₃	۱۰/۷۶	۱۱/۳۳	۱۱/۹۴	۱۴/۲۷	۱۳/۸۵	۱۴/۲۶	۲/۲۳	۸/۲۲	۱۲/۷۶	۱۲/۶۷	۱۳/۶۱
FeO	۹/۰۸	۹/۹۶	۹/۵۴	۱۳/۸۳	۱۳/۸۸	۱۴/۸۲	۱۱/۷۲	۷/۸۷	۱۰/۱۹	۱۰/۲۹	۱۵/۶۱
MnO	۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۱۸	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۸	۰/۵۲	۰/۰۵	۰/۱۳	۰/۰۹	۰/۲۴
MgO	۱۶/۰۴	۱۵/۰۳	۱۵/۵۷	۱۱/۹۰	۱۲/۲۶	۱۱/۴۰	۱۱/۴۳	۱۲/۸۹	۱۴/۹۹	۱۴/۸۰	۱۱/۱۶
CaO	۱۱/۷۶	۱۱/۹۰	۱۱/۶۷	۱۱/۹۴	۱۱/۸۵	۱۱/۸۱	۲۰/۱۸	۲۲/۳۳	۱۱/۷۲	۱۱/۸۰	۱۱/۴۰
Na ₂ O	۲/۵۰	۲/۵۹	۲/۶۱	۲/۶۰	۲/۶۱	۲/۶۲	۲/۰۵	۰/۸۶	۲/۶۱	۲/۵۷	۲/۵۲
K ₂ O	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۹۴	۰/۴۵	۰/۴۶	۰/۵۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۴۱	۰/۴۷	۰/۵۹
P ₂ O ₅	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۱۰
مجموع	۹۶/۹۵	۹۶/۷۰	۹۶/۷۰	۹۹/۶۷	۹۸/۶۲	۹۸/۸۸	۱۰۰/۹۰	۱۰۰/۱۹	۹۸/۵۶	۹۷/۹۸	۹۸/۳۹
Si	۶/۳۱۶	۶/۲۳۸	۶/۱۲۹	۶/۱۰۲	۶/۰۴۹	۵/۹۹۵	۱/۹۶۶	۶/۴۹۲	۶/۲۶۰	۶/۲۴۴	۶/۱۱۷
Ti	۰/۲۹۵	۰/۳۰۳	۰/۳۱۶	۰/۲۷۹	۰/۲۸۱	۰/۲۹۷	۰/۰۰۵	۰/۳۱۴	۰/۲۵۷	۰/۲۷۴	۰/۲۳۵
Al	۱/۸۶۷	۱/۹۸۲	۲/۰۸۸	۲/۴۴۸	۲/۴۰۹	۲/۴۸۷	۰/۰۹۹	۱/۳۹۶	۲/۱۷۳	۲/۱۷۶	۲/۲۸۹
Fe	۱/۱۱۷	۱/۲۳۵	۱/۱۸۳	۱/۶۸۴	۱/۷۱۳	۱/۸۳۴	۰/۳۶۷	۰/۹۴۹	۱/۲۳۱	۱/۲۵۴	۱/۹۴۵
Mn	۰/۰۱۷	۰/۰۱۰	۰/۰۲۳	۰/۰۱۴	۰/۰۱۴	۰/۰۲۳	۰/۰۱۷	۰/۰۰۶	۰/۰۱۶	۰/۰۱۱	۰/۰۳۱
Mg	۳/۵۲۰	۳/۳۲۶	۳/۴۴۱	۲/۵۸۳	۲/۶۹۷	۲/۵۱۶	۰/۶۳۸	۲/۷۷۰	۳/۲۳۰	۳/۲۱۵	۲/۴۷۹
Ca	۱/۸۵۵	۱/۸۹۳	۱/۸۵۴	۱/۸۶۳	۱/۸۷۴	۱/۸۷۳	۰/۸۱۰	۳/۴۴۷	۱/۱۸۵	۱/۸۴۲	۱/۸۲۰
Na	۰/۷۱۳	۰/۷۴۵	۰/۷۵۱	۰/۷۳۴	۰/۷۴۷	۰/۷۵۲	۰/۱۴۹	۰/۲۳۹	۰/۷۲۲	۰/۷۲۶	۰/۷۲۸
K	۰/۱۷۴	۰/۱۷۲	۰/۱۷۸	۰/۰۸۳	۰/۰۸۶	۰/۰۹۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۷۵	۰/۰۸۷	۰/۱۱۲
P	۰/۰۱۱	۰/۰۰۹	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶
مجموع	۱۵/۸۸۴	۱۵/۹۱۴	۱۵/۹۶۷	۱۵/۷۹۵	۱۵/۸۷۵	۱۵/۸۸۰	۴/۰۵۳	۱۵/۶۱۶	۱۵/۷۹۴	۱۵/۸۱۴	۱۵/۸۶۳
#Mg	۷۵/۹۱	۷۲/۹۲	۷۴/۴۲	۶۰/۵۴	۶۱/۱۶	۵۷/۸۳	۶۳/۴۹	۷۴/۴۸	۷۲/۴۰	۷۱/۹۴	۵۶/۰۴
Fe ²⁺	۰/۵۹۵	۰/۸۵۲	۰/۵۱۳	۱/۲۵۸	۱/۰۹۸	۱/۲۵۱	۵/۹۷۶	۵/۱۴۷	۰/۶۱۰	۰/۶۷۹	۱/۱۹۹
Fe ³⁺	۰/۵۱۱	۰/۳۷۶	۰/۶۵۴	۰/۴۱۲	۰/۵۴۲	۰/۵۶۲	۴/۴۴۳	۴/۰۰۵	۰/۶۰۶	۰/۵۶۶	۰/۷۱۷
Al ^(IV)	۱/۷۴۷	۱/۸۰۵	۱/۹۵۵	۱/۹۴۸	۲/۰۲۶	۲/۰۷۵	۰/۳۷۸	۱/۳۹۶	۱/۸۱۹	۰/۸۲۰	۱/۹۴۷
Al ^(VI)	۰/۱۰۱	۰/۱۵۹	۰/۱۰۳	۰/۴۷۹	۰/۳۵۳	۰/۳۸۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۳۲۶	۰/۶۵۰	۰/۳۸۱

جدول ۴ نتایج تجزیه نقطه‌ای الیومین‌های مورد بررسی

نمونه	NB	NB	NB	NB	NB	NB	GB	GB	GB	GB	GB
SiO ₂	۴۱٫۴۲	۴۰٫۹۸	۴۱٫۱۹	۴۰٫۳۰	۴۰٫۶۳	۴۱٫۰۸	۴۱٫۱۹	۴۱٫۵۵	۴۱٫۵۷	۴۰٫۱۶	۴۰٫۴۳
TiO ₂	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۶	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۴
Al ₂ O ₃	۰٫۰۶	۰٫۰۷	۰٫۰۸	۰٫۱۱	۰٫۰۸	۰٫۰۶	۰٫۰۶	۰٫۰۸	۰٫۰۴	۰٫۱۰	۰٫۰۸
FeO	۱۱٫۸۵	۱۱٫۶۷	۱۰٫۲۵	۱۱٫۹۲	۱۱٫۸۵	۱۰٫۵۹	۱۰٫۵۶	۱۰٫۵۸	۹٫۶۲	۱۴٫۵۲	۱۳٫۰۵
MnO	۰٫۴۰	۰٫۳۵	۰٫۵۵	۰٫۳۰	۰٫۲۳	۰٫۴۶	۰٫۳۸	۰٫۳۸	۰٫۵۲	۰٫۳۶	۰٫۶۱
MgO	۴۸٫۷۳	۴۸٫۳۷	۴۹٫۴۲	۴۷٫۴۴	۴۷٫۶۵	۴۹٫۴۸	۴۹٫۱۳	۴۹٫۶۹	۵۰٫۳۲	۴۵٫۳۷	۴۶٫۷۲
CaO	۰٫۱۸	۰٫۱۲	۰٫۲۰	۰٫۱۳	۰٫۱۴	۰٫۲۶	۰٫۱۲	۰٫۱۸	۰٫۱۷	۰٫۲۰	۰٫۱۳
Na ₂ O	۰٫۱۰	۰٫۰۵	۰٫۰۸	۰٫۰۴	۰٫۰۷	۰٫۰۹	۰٫۰۷	۰٫۱۰	۰٫۰۴	۰٫۰۶	۰٫۰۴
K ₂ O	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰
P ₂ O ₅	۰٫۰۳	۰٫۱۳	۰٫۰۴	۰٫۰۶	۰٫۱۱	۰٫۰۹	۰٫۰۱	۰٫۰۹	۰٫۰۶	۰٫۱۶	۰٫۰۷
مجموع	۱۰۲٫۷۹	۱۰۱٫۷۷	۱۰۱٫۸۹	۱۰۰٫۳۱	۱۰۰٫۷۹	۱۰۲٫۱۱	۱۰۱٫۵۳	۱۰۲٫۶۷	۱۰۲٫۴۰	۱۰۰٫۹۹	۱۰۱٫۲۸
Si	۰٫۹۹۷	۰٫۹۹۶	۰٫۹۹۴	۰٫۹۹۵	۰٫۹۹۸	۰٫۹۹۱	۰٫۹۹۸	۰٫۹۹۶	۰٫۹۹۵	۰٫۹۹۷	۰٫۹۹۵
Ti	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱
Al	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۲
Fe	۰٫۲۳۹	۰٫۲۳۷	۰٫۲۰۷	۰٫۲۴۶	۰٫۲۴۳	۰٫۲۱۴	۰٫۲۱۴	۰٫۲۱۲	۰٫۱۹۳	۰٫۳۰۲	۰٫۲۶۹
Mn	۰٫۰۰۸	۰٫۰۰۷	۰٫۰۱۱	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۹	۰٫۰۰۸	۰٫۰۰۸	۰٫۰۱۱	۰٫۰۰۸	۰٫۰۱۳
Mg	۱٫۷۴۸	۱٫۷۵۲	۱٫۷۷۹	۱٫۷۴۶	۱٫۷۴۴	۱٫۷۸۰	۱٫۷۷۵	۱٫۷۷۵	۱٫۷۹۶	۱٫۶۷۹	۱٫۷۱۴
Ca	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۷	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۶
Na	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۲
K	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰
P	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۱
مجموع	۳٫۰۰۴	۳٫۰۰۲	۳٫۰۰۵	۳٫۰۰۳	۳٫۰۰۱	۳٫۰۰۸	۳٫۰۰۳	۳٫۰۰۴	۳٫۰۰۴	۳٫۰۰۰	۳٫۰۰۳
#Mg	۸۷٫۹۹	۸۸٫۰۸	۸۹٫۵۸	۸۷٫۶۴	۸۷٫۶۴	۸۹٫۲۸	۸۹٫۲۴	۸۹٫۳۳	۹۰٫۳۱	۴۸٫۷۷	۸۶٫۴۶
Fe	۸۷٫۶۳۹	۸۷٫۷۶۳	۸۹٫۰۷۵	۸۷٫۳۷۳	۸۷٫۵۴۸	۸۸٫۸۶۳	۸۸٫۸۹۳	۸۸٫۹۸۶	۸۹٫۸۳۹	۸۴٫۴۵۹	۸۵٫۴۵۱
Fa	۱۱٫۹۵۳	۱۱٫۸۷۶	۱۰٫۳۶۲	۱۲٫۳۱۴	۱۲٫۲۱۲	۱۰٫۶۶۸	۱۰٫۷۱۷	۱۰٫۶۲۷	۹٫۶۳۳	۱۵٫۱۶۱	۱۴٫۱۶۷
TP	۰٫۴۰۹	۰٫۳۶۱	۰٫۵۶۳	۰٫۳۱۴	۰٫۲۴۰	۰٫۴۶۹	۰٫۳۹۱	۰٫۳۸۷	۰٫۵۲۷	۰٫۳۸۱	۰٫۳۸۱

جدول ۵ نتایج تجزیه نقطه‌ای اکسیدهای آهن- تیتان مورد بررسی

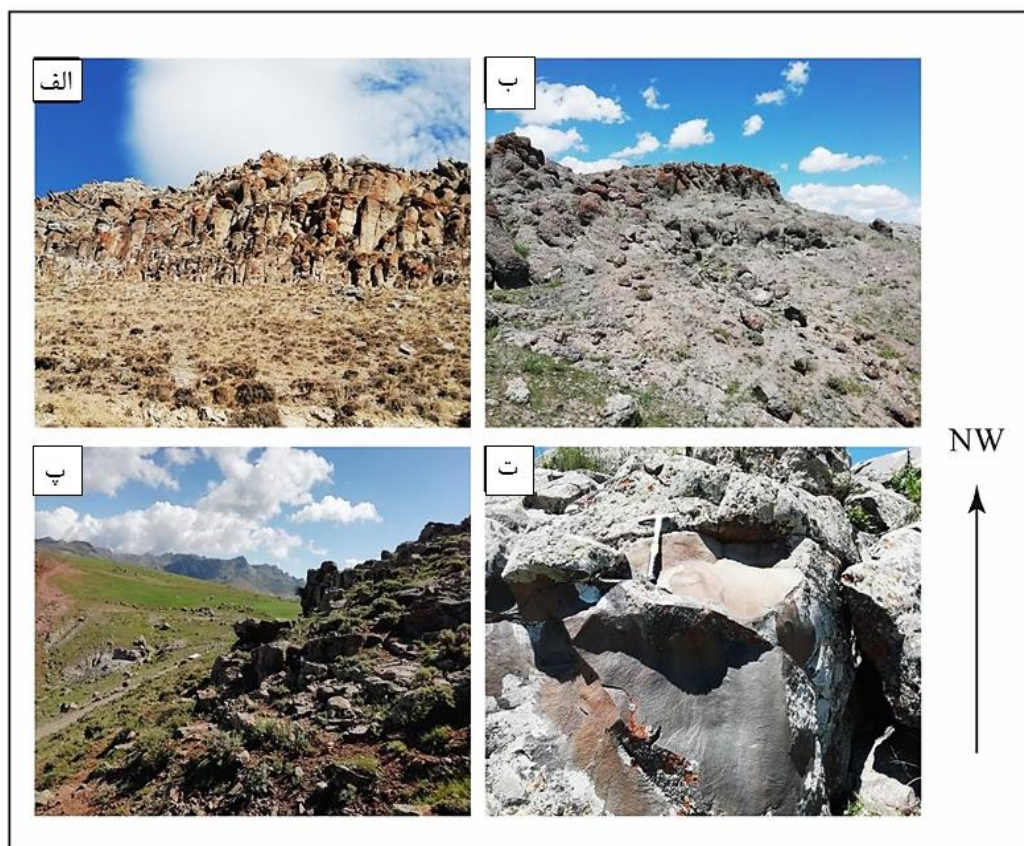
نمونه	BZ	BZ	NB	NB	PBM	GB	GB	KB	KB	SB	LB
SiO ₂	۰٫۲۸	۰٫۴۲	۰٫۲۲	۰٫۲۴	۰٫۲۴	۰٫۲۳	۰٫۲۶	۰٫۳۱	۰٫۲۹	۰٫۲۸	۰٫۲۶
TiO ₂	۳٫۱۹	۳٫۴۷	۴٫۰۳	۴٫۳۱	۸٫۶۴	۳٫۷۱	۱۱٫۷۶	۱۸٫۹۷	۱٫۷۴	۱۱٫۵۶	۸٫۴۸
Al ₂ O ₃	۱٫۲۵	۰٫۲۹	۲٫۸۶	۳٫۱۰	۲٫۳۶	۲٫۲۷	۱٫۸۶	۰٫۴۲	۲٫۶۱	۳٫۴۸	۳٫۹۱
FeO	۸۰٫۹۰	۵۵٫۴۴	۷۸٫۲۷	۷۸٫۰۸	۷۵٫۵۶	۷۹٫۸۸	۷۱٫۰۹	۶۶٫۵۸	۷۶٫۸۰	۷۶٫۲۲	۷۹٫۵۴
MnO	۱٫۲۵	۰٫۳۸	۰٫۶۹	۰٫۷۲	۰٫۸۴	۰٫۸۴	۱٫۱۲	۰٫۷۲	۱٫۵۸	۰٫۲۱	۰٫۲۹
MgO	۲٫۱۵	۱٫۵۶	۵٫۱۴	۵٫۲۲	۵٫۱۵	۴٫۶۶	۵٫۲۸	۴٫۰۴	۷٫۵۵	۰٫۰۴	۰٫۰۳
CaO	۰٫۲۳	۰٫۷۵	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۱۱	۰٫۲۱	۰٫۴۶	۰٫۴۱	۰٫۳۷	۰٫۱۱	۰٫۰۹
Na ₂ O	۰٫۲۲	۰٫۰۷	۰٫۱۵	۰٫۲۰	۰٫۱۴	۰٫۰۸	۰٫۱۳	۰٫۰۸	۰٫۲۰	۰٫۲۴	۰٫۰۷
K ₂ O	۰٫۰۵	۰٫۰۹	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
P ₂ O ₅	۰٫۰۰	۰٫۶۲	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۵	۰٫۰۰	۰٫۰۷	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۰	۰٫۰۲
مجموع	۸۹٫۵۳	۹۲٫۹۰	۹۱٫۴۵	۹۱٫۹۶	۹۳٫۱۵	۹۱٫۹۳	۹۲٫۰۶	۹۱٫۶۰	۹۱٫۱۸	۹۲٫۱۵	۹۲٫۶۸
Si	۰٫۰۰۰	۰٫۰۳۳	۰٫۰۱۰	۰٫۰۱۱	۰٫۰۲۲	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۱	۰٫۰۲۰	۰٫۰۲۰	۰٫۰۲۵	۰٫۰۱۲
Ti	۰٫۰۶۲	۱٫۹۷۲	۰٫۱۴۲	۰٫۱۵۰	۰٫۵۸۰	۰٫۱۳۲	۰٫۳۹۱	۰٫۹۲۳	۰٫۰۹۲	۰٫۷۸۶	۰٫۲۹۳
Al	۱٫۱۲۰	۰٫۰۲۶	۰٫۱۵۷	۰٫۱۶۹	۰٫۲۴۸	۰٫۱۲۶	۰٫۰۹۷	۰٫۰۳۲	۰٫۲۱۷	۰٫۳۷۱	۰٫۲۱۱
Fe	۲۰٫۲۹۹	۳٫۶۱۹	۳٫۰۶۲	۳٫۰۲۲	۵٫۶۴۴	۳٫۱۴۸	۲٫۶۲۹	۳٫۶۰۱	۴٫۵۲۰	۵٫۷۶۷	۳٫۰۵۳
Mn	۲۰٫۳۸۸	۰٫۰۲۵	۰٫۰۲۷	۰٫۰۲۸	۰٫۰۶۳	۰٫۰۳۳	۰٫۰۴۲	۰٫۰۴۰	۰٫۰۹۴	۰٫۰۱۶	۰٫۰۱۱
Mg	۰٫۵۵۷	۰٫۱۸۲	۰٫۳۵۹	۰٫۳۶۰	۰٫۶۸۶	۰٫۳۲۸	۰٫۳۴۸	۰٫۳۸۹	۰٫۷۹۲	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۲
Ca	۰٫۶۸۶	۰٫۰۶۳	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۳	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۱	۰٫۰۲۲	۰٫۰۲۸	۰٫۰۲۸	۰٫۰۱۱	۰٫۰۰۵
Na	۰٫۱۳۵	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۴	۰٫۰۱۸	۰٫۰۲۵	۰٫۰۰۷	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۰	۰٫۰۲۸	۰٫۰۴۳	۰٫۰۰۶
K	۰٫۰۸۱	۰٫۰۰۹	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰
P	۰٫۰۰۶	۰٫۰۲۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰
مجموع	۲۳٫۳۳۰	۵٫۹۶۱	۳٫۷۷۶	۳٫۷۶۴	۷٫۲۸۶	۳٫۷۹۹	۳٫۵۵۴	۵٫۰۴۵	۵٫۷۹۱	۷٫۰۲۵	۳٫۵۹۳
#Mg	۴٫۵	۴٫۸۰	۱۰٫۴۸	۱۰٫۶۵	۱۰٫۸۴	۹٫۴۲	۱۱٫۷۰	۹٫۷۶	۱۴٫۹۱	۰٫۱۰	۰٫۰۶۵

زمین‌شناسی مناطق

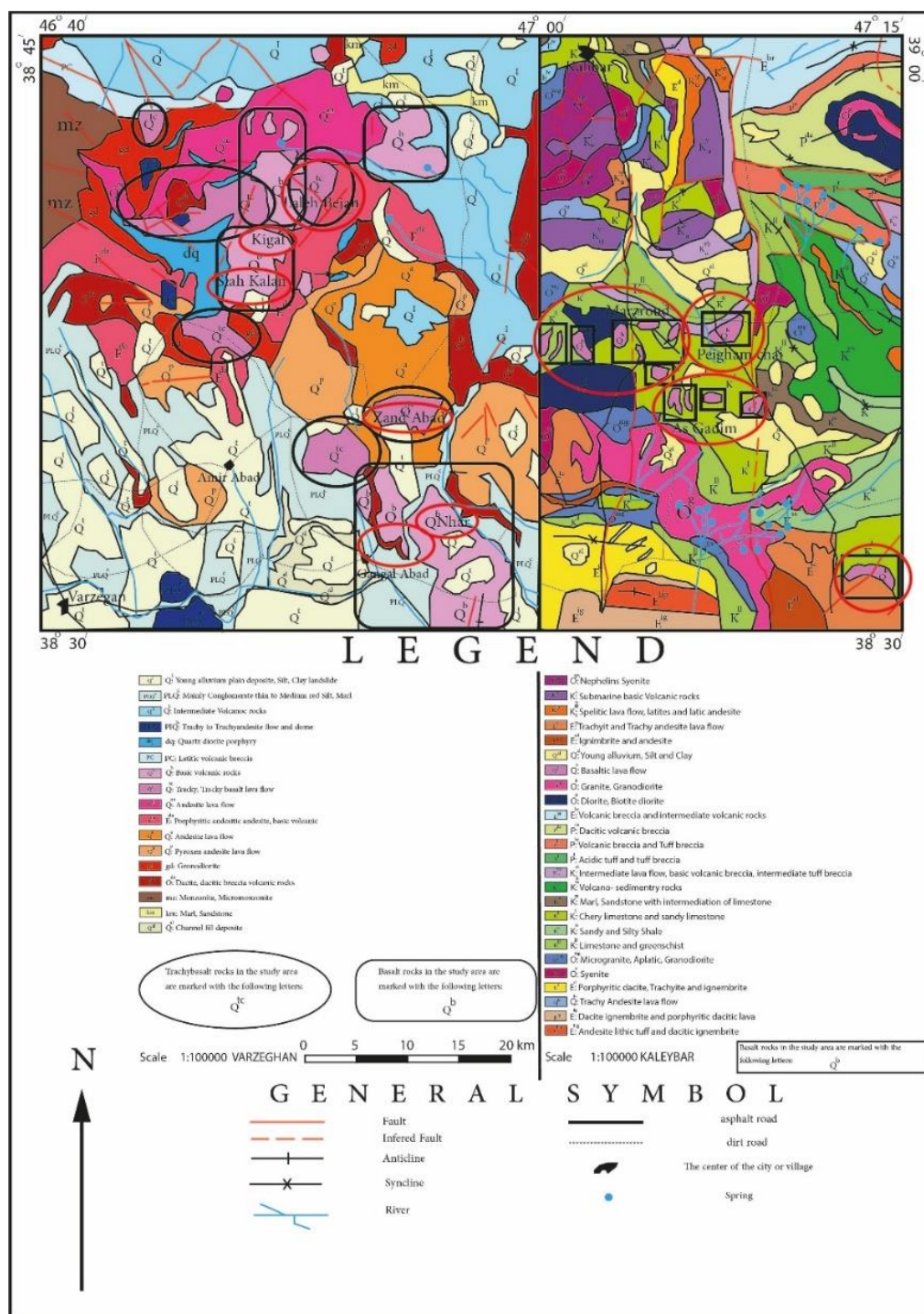
مناطق مورد بررسی در شمال غرب ایران و در غرب پهنه ساختاری البرز- آذربایجان واقع هستند. رخنمون‌های متعددی از سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب بیشتر بازالتی و با ساخت منشوری در اغلب مناطق مورد بررسی دیده می‌شوند (شکل ۱ الف). بر اساس شواهد صحرایی، روابط چینه‌شناسی و گزارش‌های نقشه‌های زمین‌شناسی، این واحدها وابسته به کواترنری هستند و در بیشتر مناطق، رسوب‌ها و واحدهای آذرآواری پلیو-پلیوستوسن و تهنشت‌های آبرفتی را پوشانده‌اند. مناطق مورد بررسی در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ ورزقان و کلیبر در شکل ۲ نشان داده شده‌اند.

در مناطق مورد بررسی، هیچ‌گونه آثاری از سنگ‌های کرتاسه پیشین دیده نمی‌شود. نبود این نهشته‌ها می‌تواند به دلیل تشکیل نشدن آنها باشد. البته، وجود کنگلومرای قاعده‌ای که مربوط به نهشته‌های کرتاسه پسین است را می‌توان دلیلی بر وجود یک فاز زمین ساختی که به احتمال در ارتباط با رخدادهای آسترین است، دانست و این نیز می‌تواند پیامدهایی از چین‌خوردگی‌های سیمین پسین باشد.

نیروهایی که منجر به این رخدادهای شده‌اند بیشتر از نوع فشارشی بوده‌اند که سبب ایجاد شکاف‌هایی در پوسته زمین و بیرون آمدن گدازه از این شکاف‌ها گردیده است. محیط تشکیل اینگونه سنگ‌ها اغلب زیر دریایی و از نوع آذرآواری است. گدازه‌ها بیشتر دارای ترکیب تراکی آندزیتی یا لاتیتی، آندزیت بازالتی و بازالت قلیایی الیوین‌دار هستند. سپس، رسوب‌های ائوسن در اثر فاز آلی میانی چین خورده و از آب خارج شده‌اند. حوضه رسوبی کم‌عمق تا قاره‌ای در الیگوسن-میوسن در منطقه حکم‌فرما بوده است و در اثر فاز پایانی آلی چین خورده، از آب خارج شده و تاق‌دیس‌ها و ناودیس‌هایی را در جنوب منطقه بوجود آورده‌اند. آخرین مرحله رسوب‌گذاری نیز در منطقه مربوط به زمان پلیوسن است که رسوب‌های این زمان نیز، بیشتر نشان‌دهنده محیط‌های دریاچه‌ای هستند که ضخامت آن‌ها تا حدود ۱۰۰ متر می‌رسد. در پایان بر اثر فازهای آتشفشانی دوره کواترنر، فوران‌های آتشفشانی انجام شده و باعث خروج مواد بازالتی فراوان گردیده است. در شکل ۱، رخنمون‌هایی از مناطق مورد بررسی نشان داده شده‌اند.



شکل ۱ رخنمون سنگ‌های مورد بررسی در مناطق کلیبر، اهر و ورزقان: الف) مربوط به منطقه کلیبر، ب و پ) منطقه ورزقان، ت) منطقه اهر.



شکل ۲ گستره‌های مورد بررسی در نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و رزقان و کلیبر.

سنگ‌نگاری

بازالت‌ها و تراکی بازالت‌ها: ترکیب کانی‌شناسی این واحدها شامل کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن، الیوین و کانی‌های فرعی آپاتیت، کوارتز و کانی‌های تیره هستند، این سنگ‌ها در مقاطع میکروسکوپی دارای بافت‌های غالب

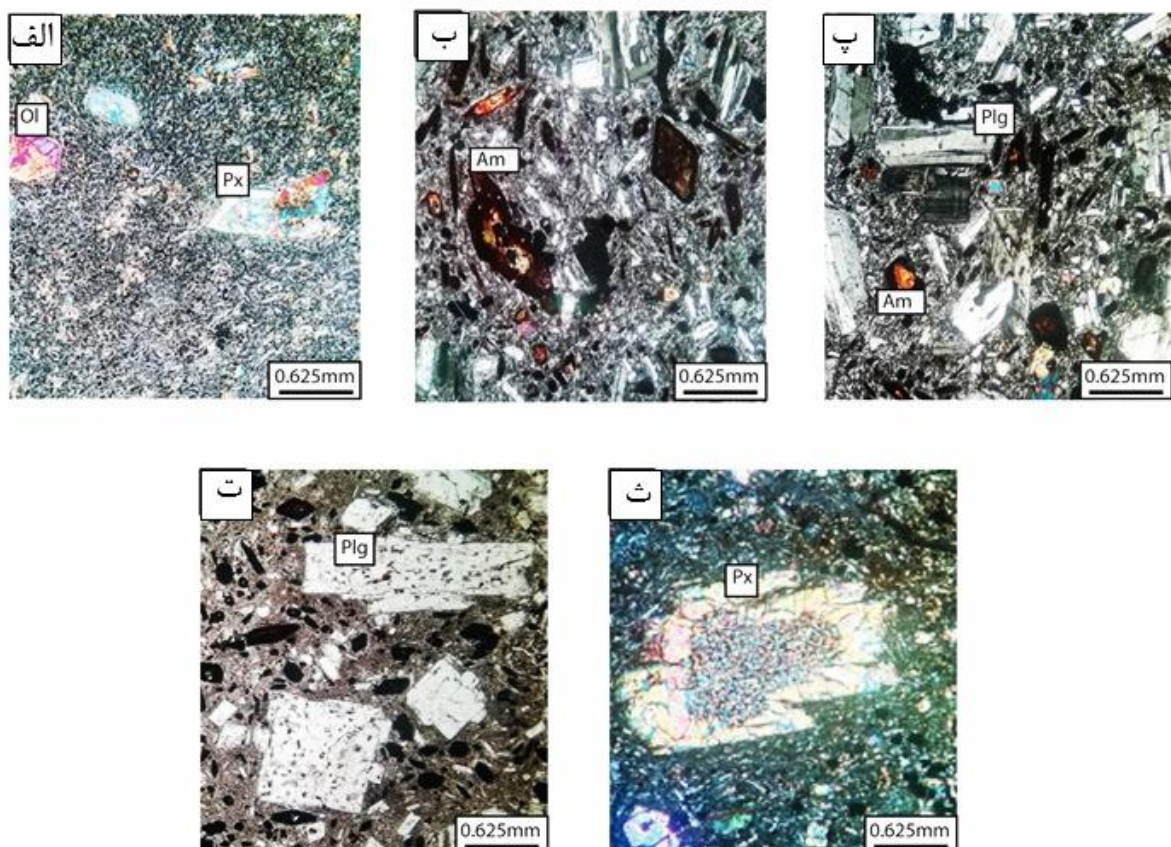
ریزسنگی پورفیری، شیشه‌ای پورفیری و پورفیری، انبوهه- پورفیری و تراکیتی هستند. اغلب پیروکسن‌ها به صورت درشت‌بلور نیمه‌شکل‌دار تا شکل‌دار و به عنوان فراوان‌ترین درشت‌بلور وجود دارند (شکل ۳ الف)، همچنین در برخی از نمونه‌ها، بافت تراکیتی نیز دیده می‌شود (شکل ۳ الف). در

پ). همچنین بیشتر پلاژیوکلازها دارای بافت غربالی هستند (شکل ۳ ت) که این بافت اغلب به علت کم شدن فشار در مرکز و کناره‌های بلور ایجاد شده و یک بافت غیر تعادلی به حساب می‌آید [۷]. فراوانی پلاژیوکلازها نشان می‌دهد که هنگام فوران ماگما، پلاژیوکلاز فاز جامد گدازه را تشکیل می‌داده است [۸].

آمفیبول‌ها هم به صورت شکل‌دار و هم به صورت نیمه-شکل‌دار پس از پلاژیوکلازها کانی اصلی به حساب می‌آیند و اغلب دارای لبه‌های سوخته هستند (شکل ۳ ب)، این بافت بیشتر در سنگ‌های آتشفشانی دارای کانی‌های آبدار چون آمفیبول و بیوتیت شکل می‌گیرد. آمفیبول‌ها و بیوتیت‌ها هنگام صعود به سطح، در پاسخ به کاهش فشار آب درون ماگما، آب متصل به ساختار خود را درون ماگما آزاد کرده و دارای لبه سوخته می‌شوند [۸].

سنگ‌های تراکی بازالتی، اغلب پیروکسن‌هایی وجود دارند که هم دارای بافت غربالی و هم دارای لبه‌های خردشده هستند (شکل ۳ ث).

آندزیت‌بازالت و تراکی‌آندزیت: ترکیب کانی‌شناسی این واحدها شامل کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن، آمفیبول و کانی‌های فرعی آپاتیت، کوارتز و کانی‌های تیره هستند. این سنگ‌ها در مقاطع میکروسکوپی دارای بافت‌های غالب ریزسنگی پورفیری، هیالو پورفیری و پورفیری، گلومروپورفیریتیک و تراکیتی هستند. بافت پورفیری برخی از سنگ‌ها با درشت بلورهای پلاژیوکلاز، پیروکسن و آمفیبول در یک زمینه دانه‌ریز کاملاً مشخص است (شکل ۳ ب). پلاژیوکلازها به عنوان کانی اصلی هم به صورت درشت بلور و هم به صورت ریزسنگ دیده می‌شود (شکل ۳ پ). برخی از پلاژیوکلازها دارای منطقه‌بندی نوسانی هستند و برخی از پلاژیوکلازها نیز با ماکل چندریخت دیده می‌شوند (شکل ۳

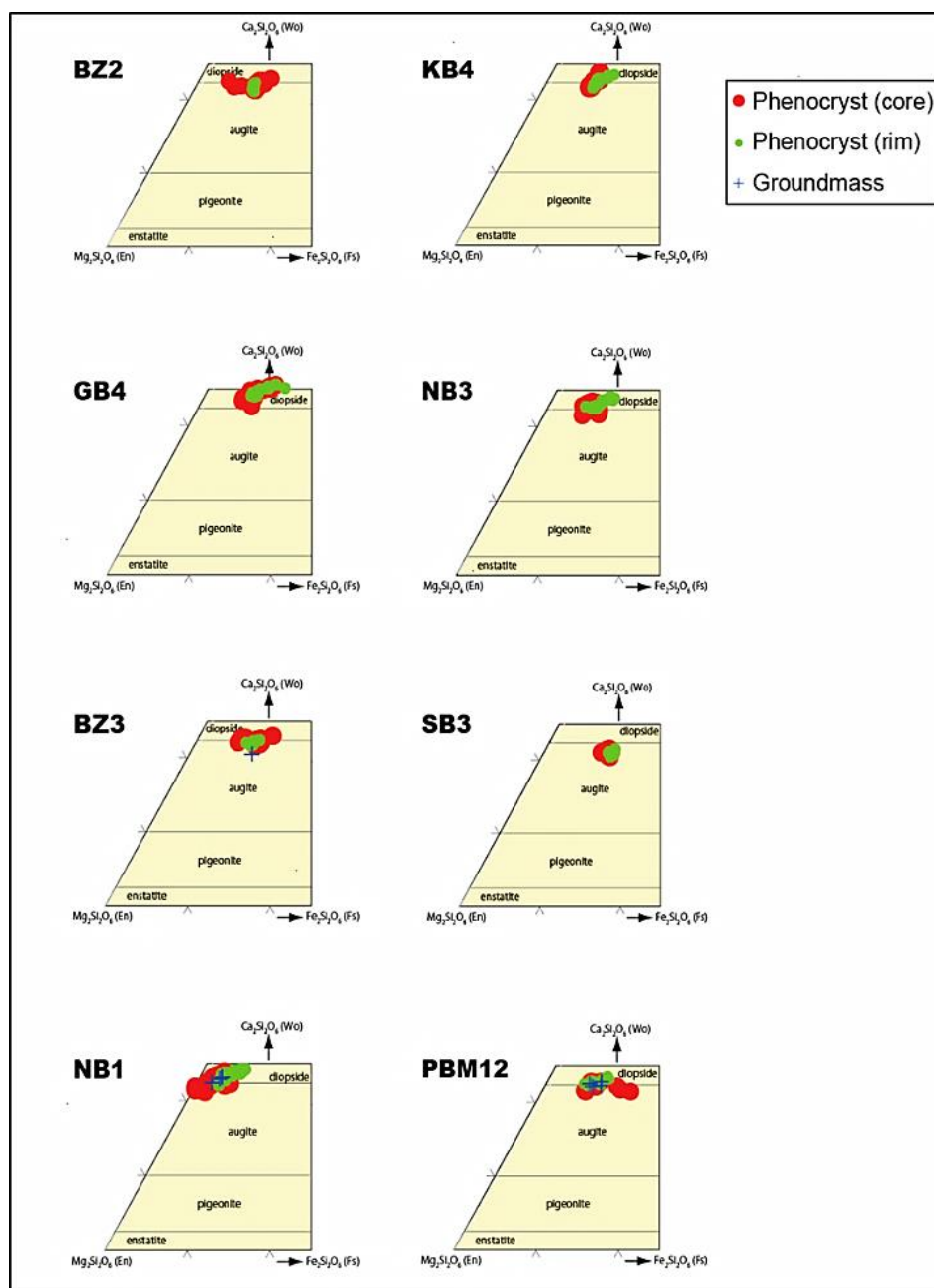


شکل ۳ الف) درشت بلورهای پیروکسن و الیون در یک بافت پورفیری و تراکیتی، ب) درشت بلورهای پلاژیوکلاز و آمفیبول در یک زمینه دانه‌ریز و آمفیبول با لبه سوخته، پ) پلاژیوکلاز هم به صورت درشت بلور و هم ریزسنگ، ت) درشت بلور پلاژیوکلاز با بافت غربالی، ث) درشت بلور پیروکسن با بافت غربالی و لبه خوردشده، همه تصاویر در نور قطبیده متقاطع (XPL) ثبت شده‌اند.

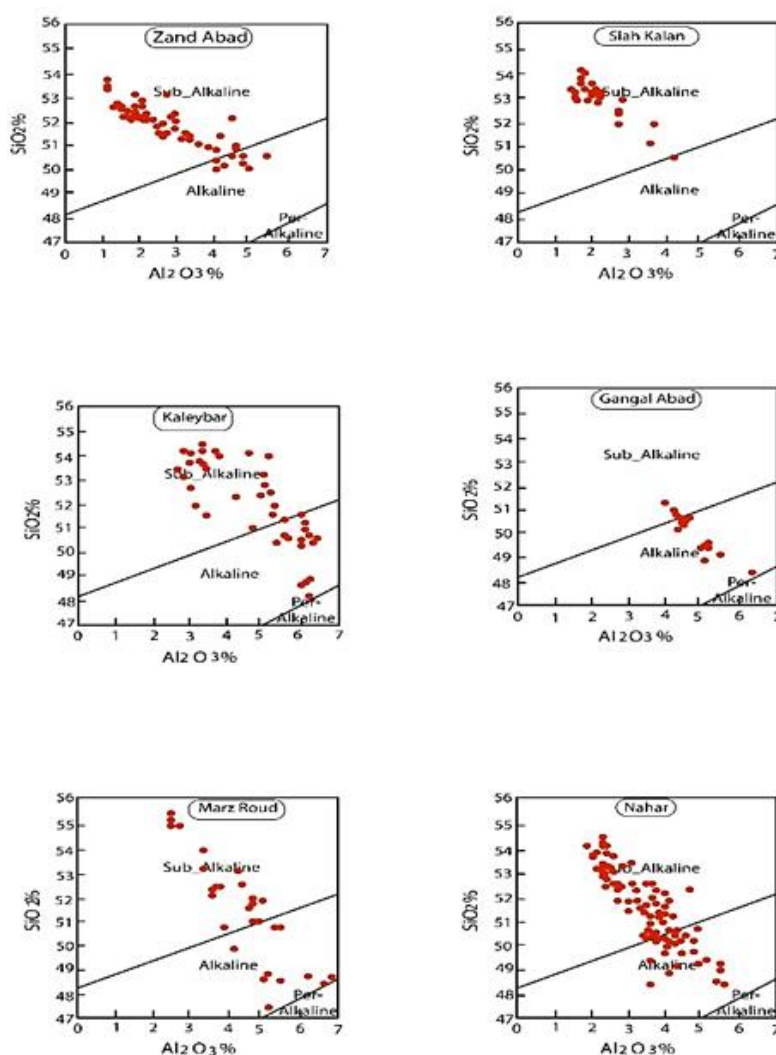
بحث و بررسی

شیمی کانی پیروکسن: بر اساس ترکیب، کلینوپیروکسن‌های مناطق مورد بررسی، در گستره دیوپسید و اوژیت واقع هستند (شکل ۴). کلینوپیروکسن‌ها کانی‌های سنگزایی هستند که نسبت به دگرسانی مقاومت بیشتری دارند و براساس ترکیب آنها می‌توان نوع سری ماگمایی آنها را مشخص کرد [۱]. مقادیر Si، Al و Ti درون شبکه ساختاری پیروکسن به درجه قلیایی بودن بستگی دارد و بر پایه این مشخصه، سری‌های

ماگمایی را می‌توان از هم تفکیک کرد. براساس مقادیر SiO_2 و Al_2O_3 در ترکیب شیمیایی پیروکسن‌ها، سری‌های ماگمایی پرقلیایی، قلیایی و نیمه‌قلیایی از هم قابل تفکیک هستند [۲] (شکل ۵). ر پایه شکل ۵، کلینوپیروکسن‌های منطقه زندآباد بیشتر در گستره نیمه قلیایی و تعداد کمتری از آنها در گستره قلیایی، کلینوپیروکسن‌های منطقه سیاه‌کلان در گستره نیمه‌قلیایی، کلینوپیروکسن‌های منطقه‌های کلبر، گنگل‌آباد، مرز رود و نهار در گستره نیمه‌قلیایی و قلیایی واقع می‌شوند.



شکل ۴ نمایش ترکیب پیروکسن‌ها در سامانه سه تایی Wo, En, Fs [۹].

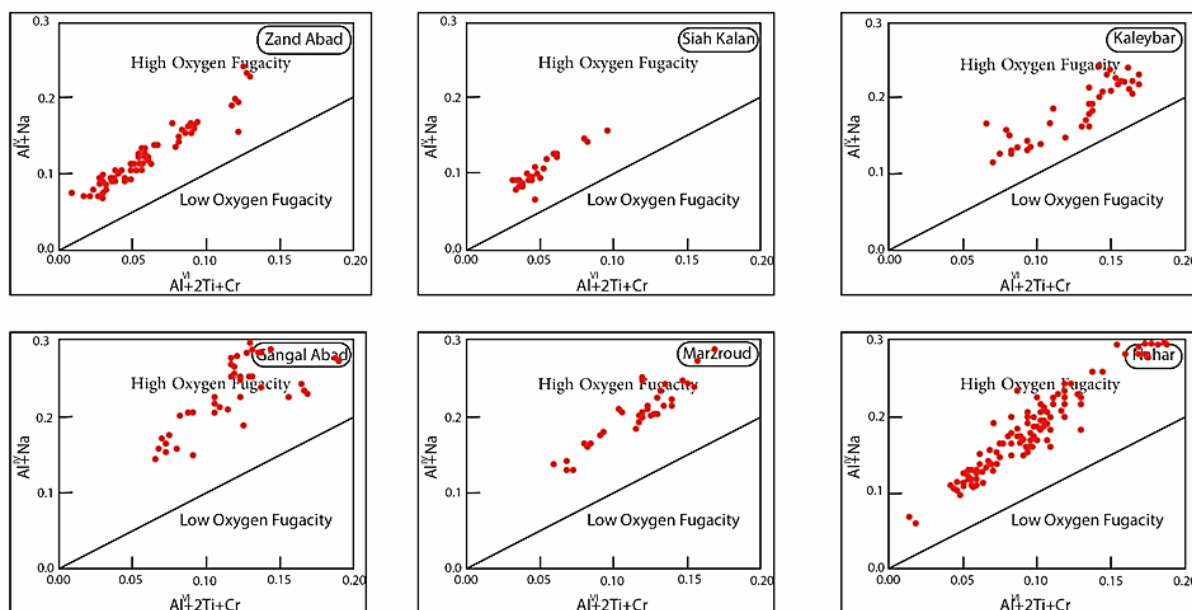


شکل ۵ نمودار تغییرهای $\text{Ti}/\text{Ca}+\text{Na}$ [۱۰].

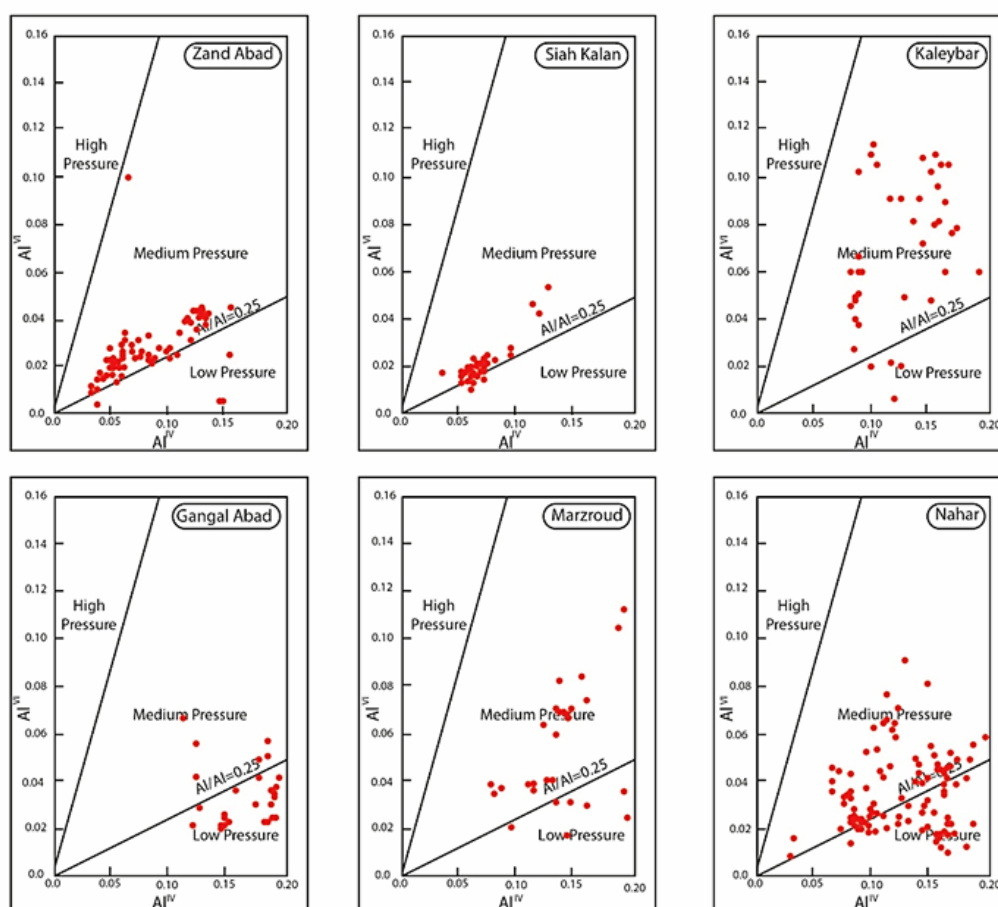
آنها بستگی دارد، به طوری که هر چه مقدار Al^{VI} موجود در کلینوپیروکسن‌ها بیشتر باشد، این کانی در فشارهای بالاتری تشکیل می‌شود، همچنین مقدار Al^{IV} با افزایش مقدار آب موجود در محیط تبلور پیروکسن‌ها کاهش می‌یابد. بر این اساس، با توجه به نمودار Al^{IV} نسبت به Al^{VI} ، کلینوپیروکسن‌های مناطق مورد بررسی در فشارهای پایین تا متوسط تشکیل شده‌اند (شکل ۷) [۱۰]. بر پایه نمودار Al^{IV} نسبت به Al^{VI} می‌توان مقدار تقریبی آب ماگما هنگام تبلور کانی را برآورد کرد [۹]، که بر این اساس، مقدار آب ماگمایی در زمان تشکیل کلینوپیروکسن‌های موجود در مناطق مورد بررسی متوسط و پایین بوده است و این کانی‌ها در فشار آب کمتر از ۱۰ کیلو بار تشکیل شده‌اند (شکل ۸).

گریزندگی اکسیژن اثر ویژه‌ای در تغییر دمای لیکیدوس و ترکیب مذاب و بلور پیروکسن دارد [۱۱] و از عوامل مؤثر در کنترل فرآیندهای ماگمایی به حساب می‌آید [۱۲-۱۵]، بر این اساس و بر پایه نمودار مجموع $\text{Al}(\text{IV}) + 2\text{Ti} + \text{Cr}$ نسبت به $\text{Al}(\text{VI}) + \text{Na}$ که خود تابعی از مقدار آهن سه ظرفیتی پیروکسن‌هاست، مقدار گریزندگی اکسیژن را می‌توان به دست آورد [۱۶]. این نمودار بر اساس Al موجود در جایگاه چاروچی و Al ، Cr^{3+} و Ti موجود در جایگاه هشت وجهی به کار برده می‌شود. با جایابی نمونه‌ها در این نمودار می‌توان گفت که گریزندگی اکسیژن در محیط تشکیل این سنگ‌ها بالا بوده است (شکل ۶).

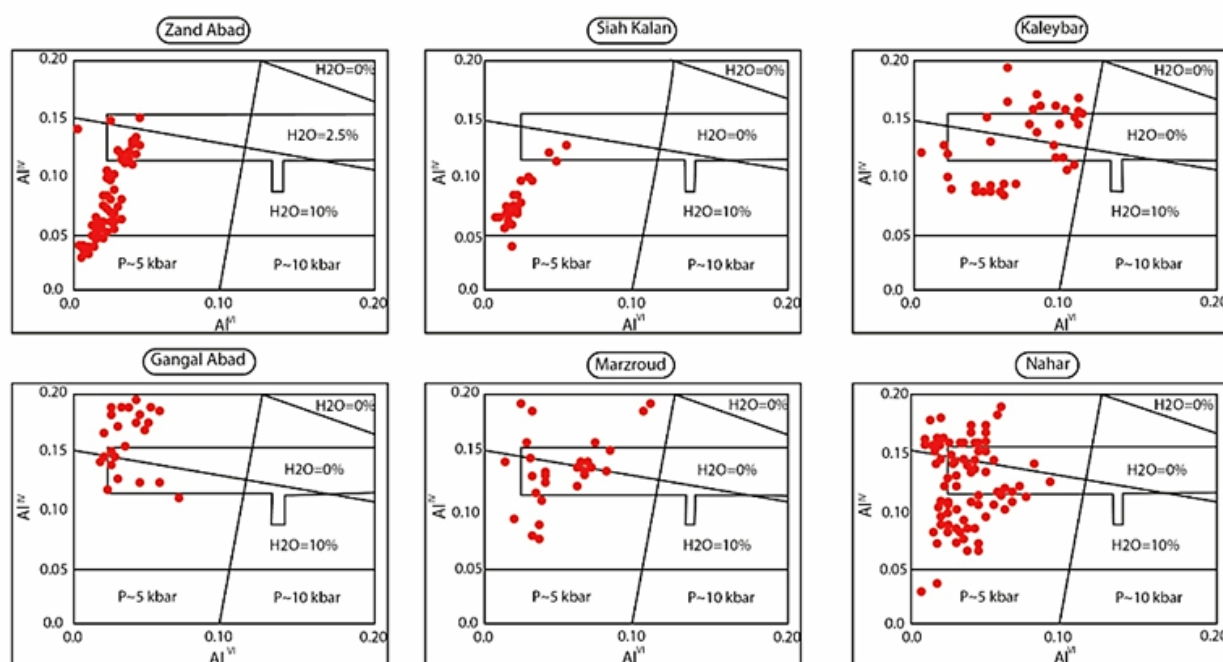
قرار گرفتن Al در جایگاه‌های چاروچی و هشت‌وجهی کلینوپیروکسن‌ها به فشار و مقدار آب موجود در محیط تبلور



شکل ۶ نمودار تغییرات $2\text{Ti}+\text{Cr}+\text{Al}^{\text{VI}}/\text{Al}^{\text{IV}}+\text{Na}$ برای تعیین گریزندگی اکسیژن [۱۷].



شکل ۷ نمودار Al^{IV} نسبت به Al^{VI} که براساس آن کلینوپیروکسن‌های مناطق مورد بررسی در فشارهای پایین تا متوسط متبلور شده‌اند [۱].

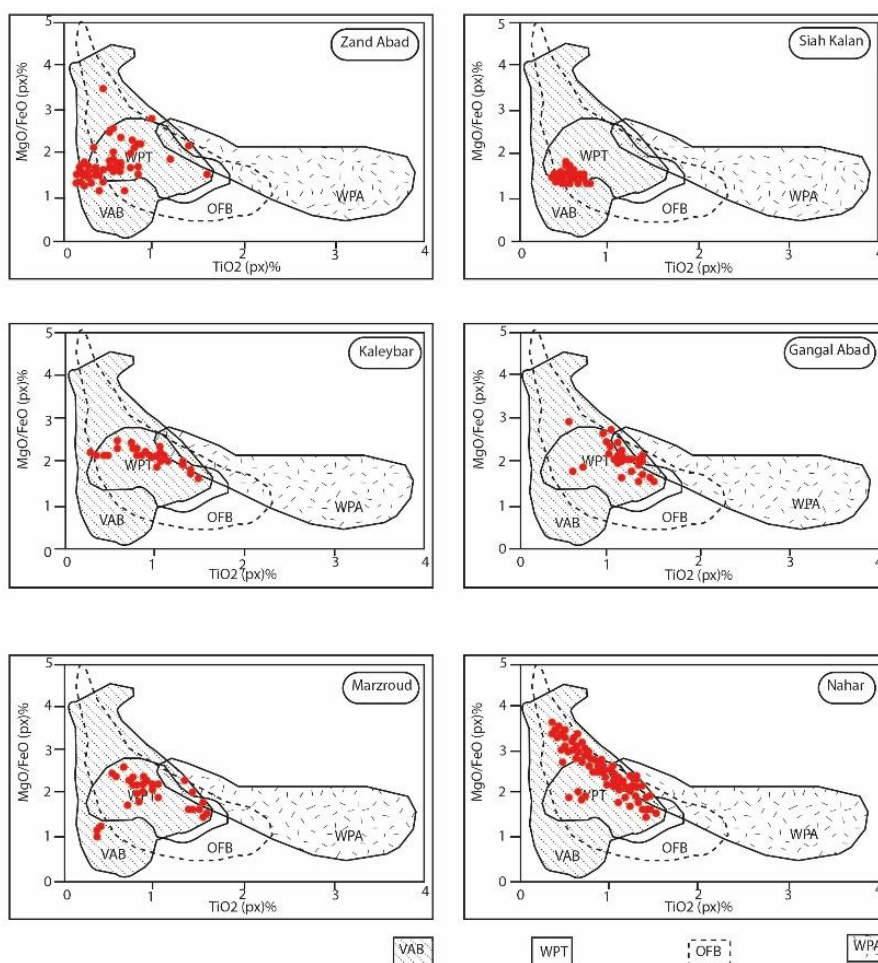


شکل ۸ جایابی کلینوپیروکسن‌های مناطق مورد بررسی در نمودار Al^{IV} نسبت به Al^{VI} [۱۲].

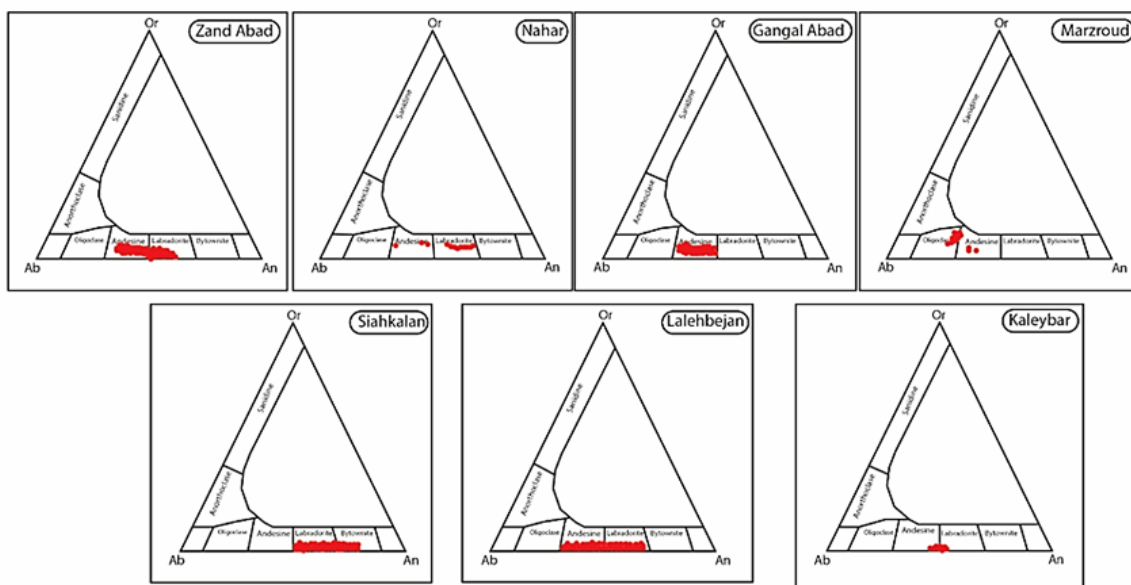
در منطقه سیاه‌کلان در گستره آندزین و بیتونیت، در منطقه گنگل‌آباد در گستره آندزین و در منطقه مرزرو در گستره آندزین و الیگولاز واقع هستند (شکل ۱۰).
شیمی کانی آمفیبول: بر اساس نمودار ارائه شده توسط لیک و همکاران [۲۱] ترکیب آمفیبول‌های مناطق زندآباد، کلیبر و لاله‌بجان در گستره پارگازیت و ترکیب آمفیبول‌های منطقه مرزرو در گستره چرماکیت واقع هستند (شکل ۱۱).
 آمفیبول‌های سری‌های نیمه‌قلیایی نسبت به سری‌های قلیایی، دارای مقدار TiO_2 کمتر هستند و مقدار TiO_2 آمفیبول‌های با ۹ تا ۱۴ درصد وزنی MgO می‌تواند به حدود ۳/۵ درصد وزنی نیز برسد، همچنین آمفیبول‌های سامانه نیمه‌قلیایی، مقدار Al_2O_3 ، K_2O و Na_2O پایین‌تری نسبت به محیط قلیایی دارند [۱۷]. بر پایه نمودار دو متغیره Al_2O_3 نسبت به TiO_2 ، آمفیبول‌های مورد بررسی از مناطق زندآباد و کلیبر در گستره قلیایی-نیمه‌قلیایی و نیمه‌قلیایی، آمفیبول-های منطقه لاله‌بجان در گستره قلیایی-نیمه‌قلیایی و آمفیبول‌های منطقه مرزرو در گستره نیمه‌قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۱۲).

همچنین، با استفاده از شیمی کانی کلینوپیروکسن، می‌توان جایگاه زمین‌ساختی ماگمایی سنگ‌ها را بررسی کرد. نمودار تغییرهای TiO_2 نسبت به MgO/FeO این تمایز را بهتر نشان می‌دهد [۱۸]. بر این اساس و بر پایه داده‌های شیمیایی کلینوپیروکسن‌ها، واحدهای مورد بررسی در سنگ‌های بازالت، تراکی‌بازالت و آندزیت‌بازالت در گستره بازالت‌های کمان‌های آتشفشانی جای دارند (شکل ۹). مقدار $\#Mg = 100Mg/(Mg+Fe^{2+})$ برای کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی در گستره ۶۴/۸۱-۹۰/۹۴ محاسبه شده است که به باور برخی از پژوهشگران [۱۹]، کلینوپیروکسن‌هایی با $\#Mg$ بالا (بیش از ۷۰) از یک ماگمای اولیه متبلور شده‌اند.

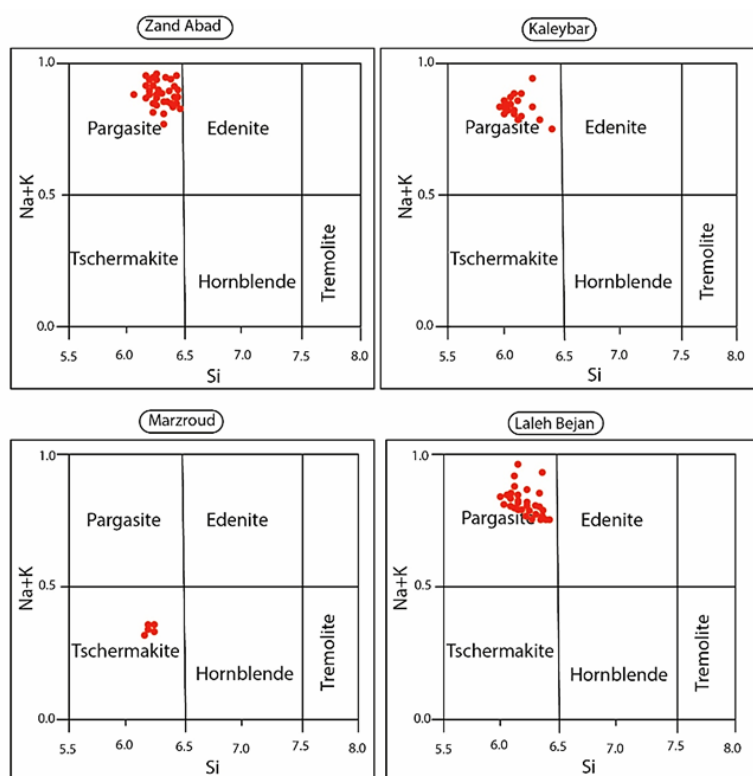
شیمی کانی پلاژیوکلاز: پلاژیوکلازها از فراوان‌ترین کانی‌های تشکیل‌دهنده نمونه‌های مورد بررسی به حساب می‌آیند که به صورت هم درشت بلور و هم ریزسنگ حضور دارند. فرمول کلی پلاژیوکلازها به صورت $(Na, Ca)(Si, Al)_4O_8$ است. بر اساس نتایج و نمودارهای رسم شده [۲۰]، ترکیب کانی-شناسی پلاژیوکلازهای نمونه‌های مورد بررسی در مناطق زندآباد، نهار، لاله‌بجان و کلیبر در گستره آندزین و لابرادوریت،



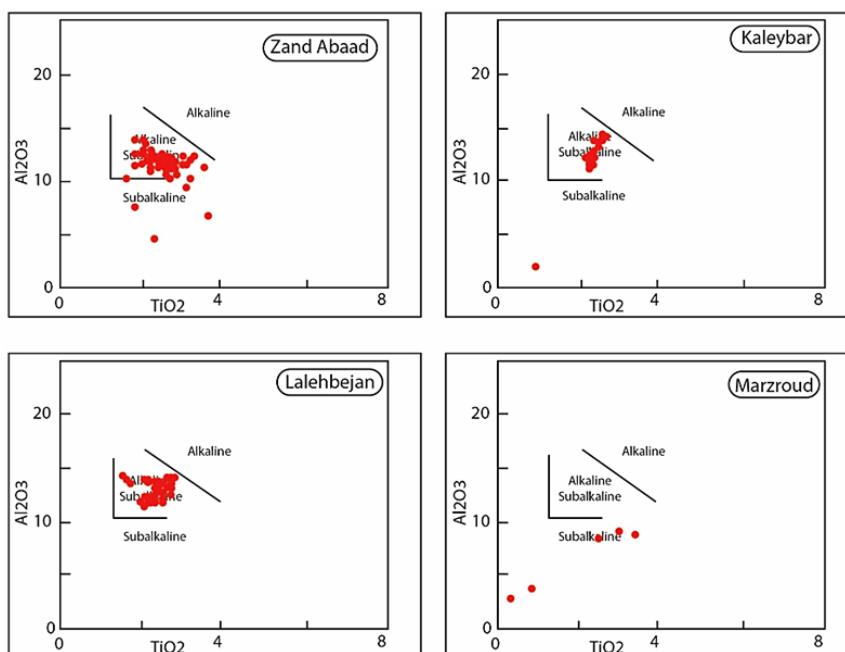
شکل ۹. نمایش تغییرات عناصر اصلی در ترکیب کلینوپیروکسن و تفکیک محیط‌های مختلف زمین‌ساخت-ماگمایی. گستره‌ها برگرفته از مرجع [۱۸] هستند. بر پایه این نمودار، کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی در گستره بازالت‌های کمان‌های آتشفشانی جای دارند. (OFB: بازالت‌های کف اقیانوس، VAB: بازالت‌های کمان آتشفشانی، WPT: بازالت‌های تولیتی درون صفحه‌ای، WPA: بازالت‌های قلیایی درون صفحه‌ای).



شکل ۱۰. نمودار تعیین ترکیب پلاژیوکلاز [۷].



شکل ۱۱ نمودار تعیین نوع ترکیب آمفیبول‌ها [۱۴].



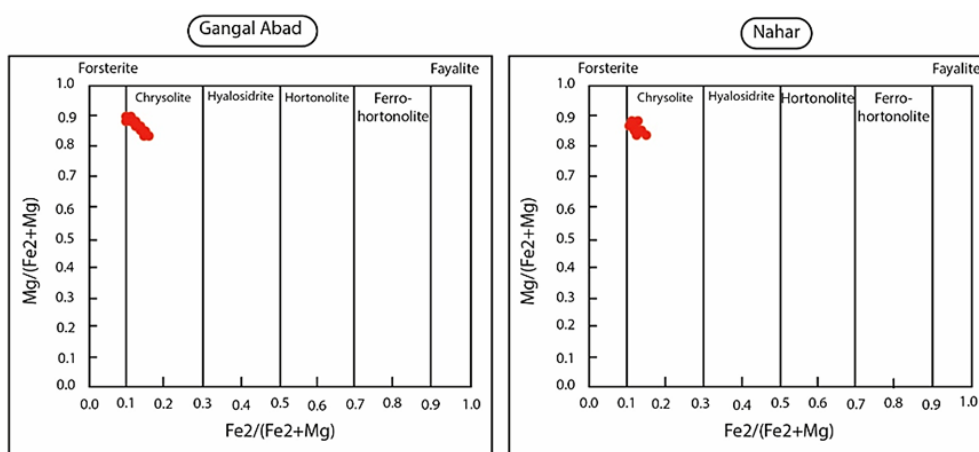
شکل ۱۲ تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی بر اساس ترکیب شیمیایی آمفیبول‌ها [۱۰].

آتشفشانی تشکیل شود، قابل تشخیص است [۵]. مذاب الیوین غنی از منیزیم در دماهای بالاتری نسبت به مذاب الیوین غنی از آهن وجود می‌آید؛ از این رو الیوین فورستریتی به طور

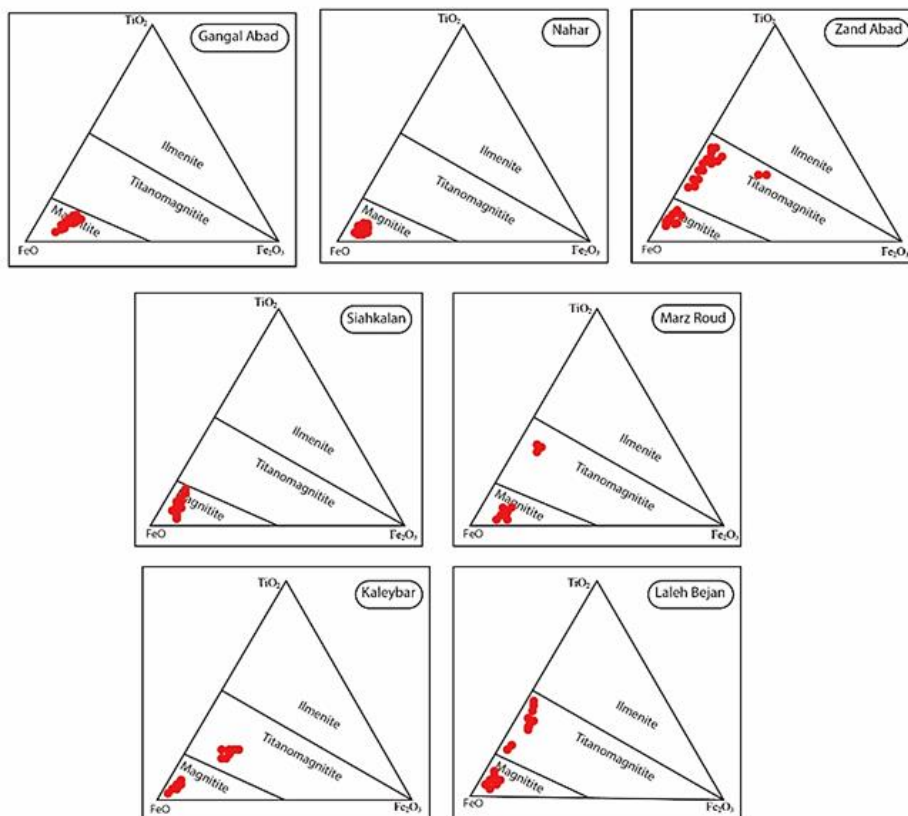
شیمی کانی الیوین: فرمول کلی الیوین‌ها به صورت $(Mg, Fe)_2SiO_4$ است. ساختار بلوری الیوین که راستگوشی است، تنها وقتی که الیوین به صورت درشت بلور در سنگ‌های

مورد بررسی در گستره کریزولیت واقع هستند (شکل ۱۳).
شیمی کانی اکسیدهای آهن- تیتان: کانی‌های کدر به عنوان کانی فرعی در سنگ‌های مورد بررسی به حساب می‌آیند. بر اساس نتایج بدست آمده، ترکیب شیمیایی کانی‌های آهن- تیتان در نمودار رده‌بندی $\text{FeO}-\text{TiO}_2-\text{Fe}_2\text{O}_3$ [۲۲] در همه مقاطع در گستره مگنتیت و تیتانومگنتیت واقع هستند (شکل ۱۴).

معمول در گوشته یا در سنگ‌های آذرینی که به طور مستقیم از گوشته به سمت بالا صعود می‌کنند، یافت می‌شود [۵]. همچنین بر پایه مقدار MnO نیز می‌توان تا حدی نوع الیوین را تشخیص داد، به طوری که الیوین‌های فایالیتی دارای چند درصد MnO هستند [۵]. در نمونه‌های مورد بررسی، مقدار MnO زیر یک درصد اندازه‌گیری شد. با توجه به داده‌های جدول‌ها و نمودار ارائه شده [۱۹]، همه الیوین‌های مناطق



شکل ۱۳ نمودار تعیین ترکیب الیوین در سنگ‌های مورد بررسی [۱۹].



شکل ۱۴ نمودار رده‌بندی سه تایی $\text{FeO}-\text{TiO}_2-\text{Fe}_2\text{O}_3$ [۲].

برداشت

واحدها و سنگ‌های مورد بررسی در استان آذربایجان شرقی و در پهنه البرز- آذربایجان قرار دارند. ترکیب سنگ‌های مورد بررسی از نوع بازالت، آندزیت بازالت، تراکی بازالت، بازالت-تراکی آندزیت و تراکی آندزیت است و دارای کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن، آمفیبول، الیوین و کانی‌های فرعی آپاتیت، کوارتز و کانی‌های کدر هستند. بافت شاخص سنگ‌ها ریزسنگی پورفیری، هیالو پورفیری و پورفیری، انبوه پورفیری و تراکیتی هستند. نتایج تجزیه نقطه‌ای کلینوپیروکسن‌ها نشان‌دهنده نوع ترکیب اوژیت و دیوپسید است که ماهیت قلیایی و نیمه‌قلیایی دارند و نشانگر خاستگاه آذرین آن‌ها بوده و مقدار عدد منیزیم نیز بیانگر تشکیل آنها در ماگمای اولیه است. شیمی کلینوپیروکسن‌ها نشان‌دهنده تشکیل آنها در گریزندگی اکسیژن بالا، فشارهای پایین تا متوسط و حضور مقدار آب ماگما حدود کمتر از ۱۰ کیلو بار فشارسنجی آب است. شیمی کانی پلاژیوکلازها به عنوان فراوان‌ترین کانی هم به صورت درشت بلور و هم ریزسنگ از نوع آندزین، بیتونیت، لابرادوریت و الیگوکلاز است. تغییر درصد وزنی FeO نسبت به درصد مولی آنورتیت پلاژیوکلازها، نشان‌دهنده پدید آمدن این کانی‌ها در شرایط آمیختگی ترکیبی است که با حضور بافت‌های نامتعادلی چون غربالی هم‌خوانی دارند. شیمی کانی آمفیبول‌ها نشان‌دهنده نوع ترکیب پارگاسیت و شرماکیت است که ماهیت قلیایی-نیمه‌قلیایی و نیمه‌قلیایی دارند. شیمی کانی الیوین‌های مناطق مورد بررسی از نوع کریزولیت و اکسیدهای آهن-تیتان از نوع مگنتیت و تیتانومگنتیت هستند.

قدردانی

تجزیه‌های ریزپردازشی این پژوهش در دانشگاه کوچی ژاپن و توسط پروفسور هیروشی کاواباتا انجام شده است، که نگارندگان به این وسیله سپاس و قدردانی خود را اعلام می‌دارند. نگارندگان همچنین از نظرها و پیشنهادهای سازنده داوران محترم مجله سپاسگزاری می‌نمایند.

مراجع

- [2] Le Bas M.J., "The role of aluminum in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage", American journal of science 260 (1962) 267-288.
- [3] Bacon C.R., Hirschmann M.M., "Mg/Mn partitioning as a test for equilibrium between coexisting Fe-Ti oxides", Mineral 73(1-2) (1988) 57-61.
- [4] Putirka K.D., Mikaelian H., Ryerson F., Shaw H., "New clinopyroxene-liquid thermobarometers for mafic, evolved, and volatile-bearing lava compositions, with applications to lavas from Tibet and the Snake River Plain, Idaho", American Mineralogist 88 (2003) 1542-1554.
- [5] Frost A., Frost C., "Essentials of Igneous and Metamorphic Petrology", 32 Avenue of the Americas, New York NY (2014) 10013-2473, USA, Cambridge University Press is part of the University of Cambridge, Royal Holloway University of London.
- [6] Morimoto N.J., Fabrice A., Ferguson I.V., Ginzburg M., Ross F.A., Seifert J., Zussman K., Gottardi G., "Nomenclature of pyroxene", Mineralogical Magazine 52 (1988) 535-555.
- [7] Shelley D., "Igneous and Metamorphic Rocks under the Microscope. Classification, Textures, Microstructures and Mineral Preferred Orientations", xvi + 445 pp. London, Glasgow, New York, Tokyo, Melbourne (1992) Madras: Chapman & Hall, ISBN 0 412 44200 0.
- [8] Vernon R. H., Clarke G. L., "Principles of Metamorphic Petrology", Cambridge University Press (2008) 366 p.
- [9] Helz R.T., "Phase relations of basalts in their melting ranges at $p_{H_2O}=5$ kb as a function of oxygen fugacity", Part I, mafic phases, Journal of Petrology 14 (1973) 249-302.
- [10] Aoki K., Shiba I., "Pyroxenes from Iherzolite inclusions of Itinome-Gata, Japan", Lithos 6 (1973) 41-51.
- [11] France L., Ildefonse B., Koepke J., Bech F., "A new method to estimate the oxidation state of basaltic series from microprobe analyses", Journal of Volcanology and Geothermal Research 189 (2010) 340-346.
- [12] Botcharnikov R.E., Koepke J., Holtz F., McCammon C., Wilke M., "The effect of water activity on the oxidation and structural state of Fe in a ferro-basaltic melt", Geochimica et Cosmochimica Acta 69 (2005) 5071-5085.
- [13] Moretti R., "Polymerization, basicity, oxidation state and their role in ionic modelling of silicate melts", Geophysics 48 (2005) 583-608.
- [1] Leterrier J., Maury R.C., Thonon P., Girard D., Marchal M., "Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleo-volcanic series", Earth and Planetary Science Letters 59 (1982) 139-154.

settings", Contributions to Mineralogy and Petrology 63 (1977) 149-160.

[19] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., "An introduction to the rock forming minerals", Longman Scientific Technical, New York (1992) 528 p.

[20] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., "An Introduction to the Rock-forming minerals", Longman, London (1991) 528 p.

[21] Leake B.E., Wolley R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorn F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., "Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association commission on new minerals and mineral names", Canadian Mineralogist 35 (1997) 219-246.

[22] Beccaluva L., Macciotta G., Piccardo G.B., Zeda O., "Clinopyroxene composition of ophiolite basalts as petrogenetic indicator", Chemical Geology 77 (1988) 165-182.

[14] Ottonello G., Moretti R., Marini L., Zuccolini M.V., "Oxidation state of iron in silicate glasses and melts: a thermochemical model", Chemical Geology 174 (2001) 157-179.

[15] Kress V.C., Carmichael I.S.E., "The compressibility of silicate liquids containing Fe_2O_3 and the effect of composition, temperature, oxygen fugacity and pressure on their redox states", Contributions to Mineralogy and Petrology 108 (1991) 82-92.

[16] Schweitzer E.L., Papike J.J., Bence A.E., "Statistical analysis of clinopyroxenes from deep-sea basalts", American Mineralogist 64 (1979) 501-513.

[17] Molina J., Scarrow J., Montero P.G., Bea F., "High-Ti amphibole as a petrogenetic indicator of magma chemistry: evidence for mildly alkalic-hybrid melts during evolution of Variscan basic-ultrabasic magmatism of Central Iberia", Contribution to Mineralogy and Petrology 158 (2009) 69-98.

[18] Nisbet E., Pearce J., "Clinopyroxene composition in mafic lavas from different tectonic