

سنگ‌شناسی و بررسی ترکیب شیمیایی کانی‌های مافیک سنگ‌های آذرین خروجی منطقه‌ی شمال شرق بیرجند

اسماعیل اله پور^{۱*}، منصور وثوقی عابدینی^۲، سیدمحمد پورمعافی^۲، ثریا هویس آسپیشلر^۳

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور بیرجند، بیرجند، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۳- بخش کانی‌شناسی و پترولوژی، دانشکده زمین‌شناسی و محیط زیست، دانشگاه لودویگ ماکسیمیلیان، مونیخ - آلمان

(دریافت مقاله: ۸۹/۱/۱۷، نسخه نهایی: ۸۹/۸/۲۲)

چکیده: بخش بزرگی از واحدهای زمین‌شناسی منطقه‌ی شمال شرق بیرجند را سنگ‌های آذرین خروجی تشکیل می‌دهند. بررسی‌ها نشان می‌دهند که سنگ‌های آذرین منطقه‌ی مورد بررسی را می‌توان به انواع آندزیتی، داسیتی، ریولیتی و گروهی مشتمل بر آندزیت-های بازالتی و بازالت رده‌بندی کرد. در گروه اخیر که بر اساس خواص ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی از انواع دیگر تمیز داده می‌شود، علاوه بر آندزیت‌های بازالتی دارای پتاسیم متوسط و بازالت شبه قلیایی، آندزیت‌های بازالتی غنی از پتاسیم و به‌صورت محدود بنموریت و موژه آریت نیز وجود دارند. نتایج تجزیه شیمیایی نشان می‌دهد که اکتیویته‌ی فورستریت در بلورهای الیوین موجود در آندزیت‌های بازالتی و بازالت‌ها از ۰/۶۷ تا ۰/۷۳ در تغییر و نوع آن‌ها کریزولیت است. بلورهای پیروکسن در بازالت از نوع دیوپسید، در آندزیت‌های بازالتی اوژیت و در آندزیت‌ها انستاتیت بوده و آمفیبول موجود در سنگ‌های حدواسط منیزیه‌هورنبلند - چرماکیت هورنبلند است.

واژه‌های کلیدی: کانی‌شناسی؛ بیرجند؛ آندزیت؛ بنموریت؛ شبه قلیایی.

مقدمه

از جمله مطالعات قبلی صورت گرفته در منطقه بوده و وجود شواهد اولیه مبنی بر حضور سنگ‌های آتشفشانی بازی وابسته به پلیوکواترن در شمال شرق بیرجند، اهمیت این بررسی را آشکار می‌نماید. [۱-۳]. منطقه‌ی مورد بررسی گستره‌ای میان $30^{\circ} / 59^{\circ}$ تا $33^{\circ} / 60^{\circ}$ طول شرقی و $33^{\circ} / 30^{\circ}$ عرض شمالی می‌باشد. نقشه‌ی زمین‌شناسی این منطقه که بیش از دو سوم سطح آن با سنگ‌های آذرین خروجی ترشیری تا پلیوکواترن پوشیده شده است در سال ۲۰۰۴ میلادی (۸۲-۱۳۸۱) تحت عنوان نقشه‌ی سرچاه منتشر شده است. این منطقه به وسعت تقریبی ۲۶۰۰ کیلومتر مربع شامل بخش‌هایی از شمال شرقی

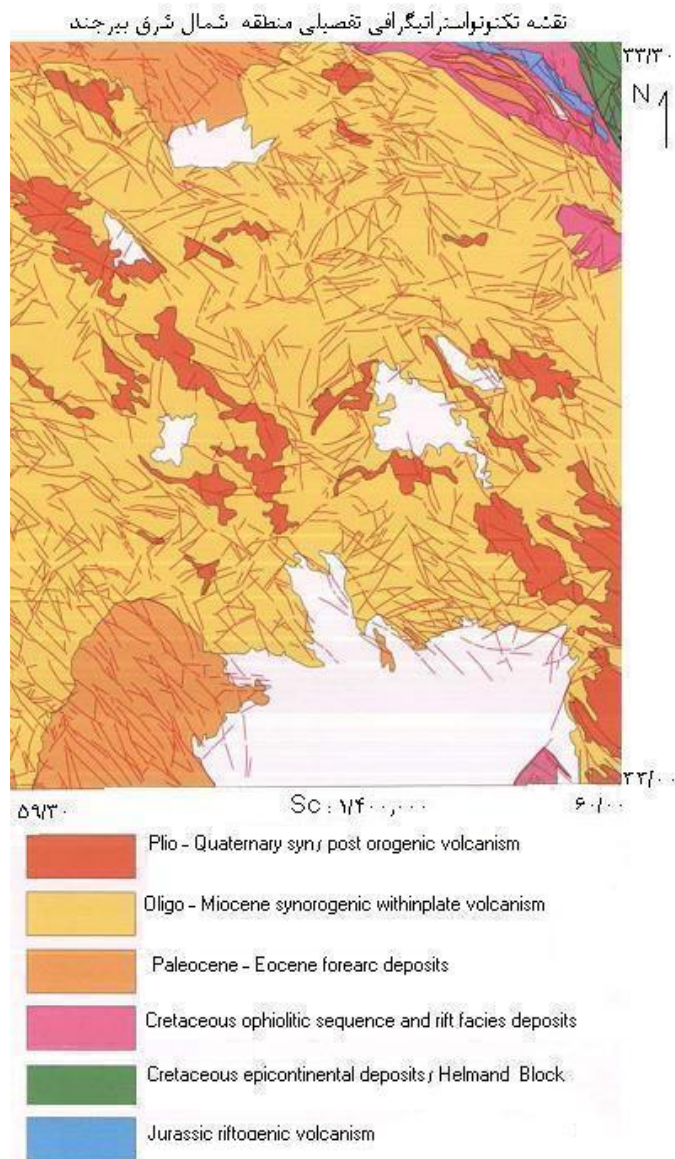
با توجه به گسترش چشمگیر سنگ‌های آذرین خروجی پیرامون شهر بیرجند و لزوم بررسی آن‌ها به‌منظور بازسازی چگونگی شکل‌گیری ژئودینامیکی منطقه‌ی شرق ایران، بررسی این مجموعه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این راستا بررسی ژئوشیمی و سنگ‌شناختی سنگ‌های آذرین خروجی ترشیری شمال بیرجند، اله پور و همکاران (۱۳۸۸) و سنگ‌شناسی، ژئوشیمی و پتروژنز سنگ‌های آتشفشانی ترشیری منطقه‌ی بیرجند - خوسف (شمال غرب بیرجند) با نگرش ویژه بر برونوم‌های موجود در آن‌ها، یوسف‌زاده و همکاران (۱۳۸۸)

پژوهشی شش ماهه‌ی مؤلف اول در دانشگاه مونیخ آلمان، به منظور شناسایی نوع و ترکیب شیمیایی کانی‌ها، آنالیز نقطه‌ای کانی‌ها (EPMA) روی پنج نمونه با دستگاه CAMEX-SX-100 به عمل آمد. علاوه بر این به منظور بررسی‌های ژئوشیمیایی و بررسی عناصر اصلی و فرعی نیز تعداد چهل و یک نمونه در پژوهشگاه علوم زمین شهر پتسدام آلمان (GFZ) مورد آنالیز XRF قرار گرفت (جدول ۱ و ۲). برای بررسی، تجزیه و تحلیل داده‌ها و اندازه‌گیری‌ها از نرم افزارهای Excel, & Minipet20, Petrograph 1-0-5, F1 WinAX, F5 - Thermocalc استفاده شد [۴].

شهرستان بیرجند، جنوب شرقی شهرستان قاینات و غرب و شمال غربی شهرستان درمیان می‌شود (شکل ۱). راه اصلی دسترسی به منطقه، جاده‌ی آسفالت‌هی بیرجند- منصورآباد- زهان و راه‌های فرعی منتهی به آن است از جمله سکونتگاه‌های مهم منطقه می‌توان به شهر قهستان (تشکیل شده از تلفیق دو روستای درخش و آسیابان) با ارتفاع ۲۰۱۰ متر از سطح دریا و زهان با ارتفاع ۱۶۸۰ متر اشاره کرد. بلندترین نقطه‌ی منطقه با ۲۵۰۲ متر ارتفاع در شمال روستای اسنان قرار گرفته است.

روش کار و روند بررسی‌ها

علاوه بر تهیه و بررسی بالغ بر صد مقطع نازک، در فرصت



شکل ۱ شمای کلی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد بررسی (اقتباس از عمرانی و همکاران، ۸۲-۱۳۸۱، نقشه‌ی زمین‌شناسی سرچاه).

جدول ۱ داده‌های تجزیه‌ی شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی شمال‌شرق بیرجند (محتوی اکسیدها بر حسب درصد وزنی و مقدار عناصر بر حسب گرم در تن گزارش شده است).

نمونه ها	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	*FeO	MnO	MgO	CaO
۱۲۳۴	۵۱٫۲۲	۱٫۳۱	۱۷٫۳۱	۳٫۵۳	۴٫۳۱	۰٫۱۵	۶٫۷۳	۸٫۴۶
۱۲۶۴	۵۱٫۷۷	۱٫۳۳	۱۶٫۲۴	۵٫۴۴	۲٫۶۶	۰٫۱۲	۷٫۹۲	۹٫۲۸
۱۴۶۱۱	۵۳٫۱۵	۱٫۷۵	۱۶٫۴۵	۸٫۲۳	۰٫۸۷	۰٫۱۴	۵٫۷۸	۸٫۴۴
۱۲۶۸	۵۳٫۳۷	۱٫۲	۱۶٫۴۸	۷٫۲۸	۰٫۹۱	۰٫۱۴	۴٫۲۲	۱۰٫۲
۱۲۶۹	۵۴٫۲۲	۱٫۶۱	۱۶٫۳۱	۳٫۶۲	۴٫۷	۰٫۱۳	۵٫۷	۸٫۷۱
۱۴۶۹	۵۴٫۶۱	۱٫۵۴	۱۶٫۰۲	۴٫۷۲	۳٫۶۶	۰٫۱۳	۵٫۲۵	۸٫۴
۱۲۶۵	۵۴٫۶۶	۱٫۲۲	۱۷٫۱۵	۵٫۱۲	۲٫۵	۰٫۱۳	۵٫۱۵	۸٫۶۳
۶۷۲	۵۴٫۹۵	۱٫۴۲	۱۷	۲٫۷۲	۴٫۸۲	۰٫۱۵	۵٫۶۴	۷٫۷۶
۳۰۵۱۳	۵۴٫۹۸	۱٫۲۶	۱۷٫۳۲	۲٫۶۶	۴٫۵۲	۰٫۱۳	۵٫۶	۸٫۵۴
۳۰۵۹	۵۷٫۴	۰٫۹۶	۱۶٫۲۹	۲٫۱۹	۴٫۳۳	۰٫۱۲	۵٫۹۴	۸٫۰۴
۳۰۵۱۰	۵۸٫۶۶	۰٫۹۳	۱۶٫۶	۳٫۷۸	۱٫۸۵	۰٫۱۱	۴٫۰۱	۷٫۲۸
۳۰۵۸	۵۹٫۷۳	۰٫۶۹	۱۷٫۶۶	۳٫۱۹	۲٫۰۴	۰٫۰۹	۳٫۴۱	۷٫۴۹
۲۷۵۶۲	۶۰٫۶۷	۰٫۹۸	۱۶٫۶۳	۲٫۵۳	۲٫۹۶	۰٫۱۱	۴٫۰۱	۶٫۳
۱۴۶۱۰	۶۰٫۷۸	۰٫۹۹	۱۶٫۷۶	۲٫۹	۲٫۷۷	۰٫۱۱	۳٫۴۱	۶٫۲۳
۲۷۵۶۱	۶۰٫۹۵	۰٫۸۴	۱۷٫۴۹	۲٫۲	۲٫۷۳	۰٫۰۹	۳٫۵۶	۶٫۳۱
۳۰۵۱۱	۶۲٫۰۸	۰٫۹۱	۱۷٫۰۵	۲٫۴۹	۲٫۵۱	۰٫۱	۲٫۹	۵٫۹۷
۳۰۵۱۲	۶۲٫۵۹	۰٫۷۸	۱۶٫۱	۱٫۹۵	۲٫۷	۰٫۰۸	۳٫۵۸	۶٫۴
۲۵۵۴	۶۲٫۶۷	۰٫۸۱	۱۶٫۴۶	۱٫۹۳	۳٫۲۶	۰٫۱۱	۳٫۳	۵٫۹۱
۳۰۵۱۵	۶۲٫۷۳	۰٫۸۲	۱۶٫۲۶	۲٫۶	۱٫۹۸	۰٫۱۴	۲٫۸۳	۶٫۹۹
۱۴۶۳	۶۲٫۹۵	۰٫۵۸	۱۶٫۶۴	۲٫۴	۲٫۳۵	۰٫۱	۲٫۴۳	۶٫۲۷
۱۴۶۲	۶۳٫۱۱	۰٫۷۲	۱۶٫۳۸	۱٫۶۲	۳٫۲۴	۰٫۱۱	۳٫۳	۵٫۷۵
۱۲۶۷	۶۳٫۳۶	۰٫۷۲	۱۶٫۳۳	۱٫۴۳	۳٫۳۷	۰٫۱	۳٫۲۳	۵٫۷۳
۱۴۶۱	۶۴٫۲۱	۰٫۶۲	۱۶٫۲۷	۲٫۱۹	۲٫۴۳	۰٫۱	۲٫۸۷	۵٫۸۳
۳۰۵۷	۶۴٫۴۹	۰٫۵۸	۱۷٫۰۲	۳٫۶۷	۱٫۰۳	۰٫۱۱	۱٫۳۶	۵٫۸۷
۲۵۵۷	۶۴٫۶۵	۰٫۵۸	۱۶٫۷	۲٫۸۳	۱٫۷۲	۰٫۱۱	۲٫۱۷	۵٫۴۴
۲۵۵۵	۶۴٫۹۹	۰٫۶۶	۱۶٫۸۴	۲٫۶۴	۱٫۷۲	۰٫۰۷	۱٫۸۹	۵٫۱۸
۲۵۵۱۰	۶۵٫۵	۰٫۵۵	۱۶٫۵۶	۲٫۶۴	۱٫۵۶	۰٫۰۷	۱٫۹۶	۵٫۳۶
۲۵۵۲	۶۶٫۲۵	۰٫۴۵	۱۶٫۵۶	۲٫۵۳	۱	۰٫۰۶	۲٫۰۷	۵٫۲۲
۱۴۶۷	۶۷٫۳۵	۰٫۴۸	۱۶٫۳۲	۲٫۳۸	۱٫۱	۰٫۰۷	۱٫۸	۵٫۱۲
۱۳۶۹	۶۷٫۴۶	۰٫۴۸	۱۶٫۱۷	۱٫۵۹	۱٫۹۸	۰٫۰۸	۱٫۸۴	۴٫۶۹
۱۲۶۶	۶۷٫۵۲	۰٫۴۸	۱۶٫۰۵	۲٫۷۳	۰٫۸	۰٫۰۵	۱٫۴۷	۴٫۹۶
۱۳۶۱	۶۷٫۹۶	۰٫۴۹	۱۶٫۱	۳٫۷	۰٫۰۸	۰٫۰۶	۰٫۶۶	۴٫۳۹
۶۷۱	۶۸٫۷۱	۰٫۴۵	۱۵٫۵۹	۲٫۵۵	۰٫۷۷	۰٫۰۵	۱٫۵۱	۴٫۶۸
۱۳۶۷	۶۹٫۱۲	۰٫۳۸	۱۵٫۷۶	۲٫۱۸	۰٫۵۹	۰٫۰۴	۱٫۶۹	۴٫۸۳
۲۷۵۳	۶۹٫۱۷	۰٫۴	۱۶٫۰۶	۲٫۹۷	۰٫۱۲	۰٫۰۷	۰٫۲۷	۴٫۶۳
۱۲۶۱۰	۶۹٫۳۹	۰٫۴۱	۱۵٫۲۱	۱٫۵۱	۱٫۴۲	۰٫۰۷	۱٫۳۸	۴٫۶۴
۱۳۶۸	۶۹٫۵۱	۰٫۴۲	۱۵٫۳	۲٫۰۴	۱٫۰۱	۰٫۰۷	۱٫۴۹	۴٫۰۹
۲۷۵۲	۷۰٫۴	۰٫۳۲	۱۵٫۸۸	۲٫۴	۰٫۰۱	۰٫۰۴	۰٫۹۴	۴٫۰۳
۲۷۵۱	۷۰٫۴۹	۰٫۳۲	۱۵٫۸۸	۲٫۳۸	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۹۱	۳٫۹۴
۱۳۶۵	۷۲٫۰۹	۰٫۳۲	۱۴٫۷۸	۲٫۴۹	۰٫۰۱	۰٫۰۴	۰٫۵۴	۳٫۳۸
۱۴۶۵	۷۲٫۷۱	۰٫۲۹	۱۵٫۲۳	۲٫۰۷	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۵۲	۳٫۳۳

ادامه جدول ۱

نمونه ها	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Total	Ba	Cr	Ga	Nb
۱۲۳۴	۴/۴	۲/۰۳	۰/۵۵	۱۰۰	۳۳۸	۱۲۶	۱۸	۳۰
۱۲۶۴	۳/۷	۱/۱۴	۰/۴۱	۱۰۰	۹۹/۷۱	۳۴۱	۲۸۳	۱۷
۱۴۶۱۱	۳/۷۱	۱/۰۸	۰/۳۹	۱۰۰	۳۴۷	۱۱۶	۲۲	۱۸
۱۲۶۸	۴/۳۷	۱/۲۲	۰/۶	۱۰۰	۲۳۴	۱۸۴	۱۸	۲۰
۱۲۶۹	۳/۵۳	۱/۱	۰/۳۷	۱۰۰	۲۴۱	۱۷۹	۱۷	۱۸
۱۴۶۹	۳/۴۱	۱/۹	۰/۳۶	۱۰۰	۳۰۴	۱۳۹	۱۷	۱۹
۱۲۶۵	۳/۹۳	۱/۰۲	۰/۴۷	۱۰۰	۳۸۲	۱۵۶	۱۷	۱۲
۶۷۲	۳/۸۲	۱/۳۴	۰/۳۷	۱۰۰	۱۸۸	۱۷۰	۱۵	۱۵
۳۰۵۱۳	۳/۵۸	۱/۲۶	۰/۳۷	۱۰۰	۲۲۹	۱۴۸	۲۱	۱۷
۳۰۵۹	۳/۴	۱/۰۶	۰/۲۷	۱۰۰	۲۴۵	۲۲۴	۱۶	۱۳
۳۰۵۱۰	۴/۸۹	۱/۵	۰/۳۸	۱۰۰	۳۱۳	۸۶	۱۷	۲۴
۳۰۵۸	۳/۸۳	۱/۴	۰/۴۸	۱۰۰	۳۳۱	۸۵	۱۶	۱۶
۲۷۵۶۲	۳/۷۷	۱/۷	۰/۳۵	۱۰۰	۳۳۲	۹۷	۱۶	۱۶
۱۴۶۱۰	۴/۱۶	۱/۵۳	۰/۳۵	۱۰۰	۳۶۳	۵۷	۱۷	۱۶
۲۷۵۶۱	۳/۹۴	۱/۵۹	۰/۳۱	۱۰۰	۳۰۷	۹۴	۱۶	۱۶
۳۰۵۱۱	۴/۰۶	۱/۵۹	۰/۳۴	۱۰۰	۲۴۳	۴۱	۱۶	۱۴
۳۰۵۱۲	۳/۶۵	۱/۹۹	۰/۱۷	۱۰۰	۳۱۰	۱۳۵	۱۵	۱۱
۲۵۵۴	۴	۱/۲۳	۰/۳۲	۱۰۰	۳۱۰	۴۹	۱۶	۱۶
۳۰۵۱۵	۳/۸۸	۱/۴۶	۰/۳	۱۰۰	۳۱۸	۱۴۱	۱۵	۱۷
۱۴۶۳	۴/۱۵	۱/۷۹	۰/۳۴	۱۰۰	۲۶۲	۷۶	۱۴	۱۳
۱۴۶۲	۴/۱۷	۱/۳	۰/۳	۱۰۰	۲۴۸	۸۵	۱۴	۱۴
۱۲۶۷	۴/۰۶	۱/۳۵	۰/۳۱	۱۰۰	۲۷۲	۹۰	۱۸	۱۵
۱۴۶۱	۳/۹۸	۱/۱۷	۰/۳۲	۱۰۰	۲۵۹	۸۱	۱۸	۱۵
۳۰۵۷	۳/۹۷	۱/۵۷	۰/۳۳	۱۰۰	۳۷۹	۶۷	۱۷	۱۵
۲۵۵۷	۳/۸۵	۱/۶۳	۰/۳۲	۱۰۰	۵۵۸	۴۸	۱۵	۱۴
۲۵۵۵	۳/۷	۱/۹۸	۰/۳۵	۱۰۰	۳۰۷	۴۲	۱۵	۱۳
۲۵۵۱۰	۳/۸۲	۱/۷۳	۰/۲۴	۱۰۰	۳۷۶	۵۵	۱۷	۱۳
۲۵۵۲	۳/۸۹	۱/۶۹	۰/۲۷	۱۰۰	۳۱۲	۵۹	۱۸	۱۶
۱۴۶۷	۳/۵۸	۱/۵۸	۰/۲۱	۱۰۰	۳۱۶	۶۰	۱۷	۱۱
۱۳۶۹	۳/۵۶	۱/۸۹	۰/۲۶	۱۰۰	۵۰۰	۵۳	۱۶	۱۵
۱۲۶۶	۳/۸۷	۱/۸۵	۰/۲۲	۱۰۰	۴۸۳	۳۶	۱۴	۱۱
۱۳۶۱	۳/۹۷	۲/۳۲	۰/۲۷	۱۰۰	۳۸۴	۵۸	۱۵	۱۰
۶۷۱	۳/۹	۱/۶۴	۰/۱۴	۱۰۰	۲۹۶	۴۸	۱۷	۱۷
۱۳۶۷	۳/۵۸	۱/۶۸	۰/۱۴	۱۰۰	۲۹۷	۵۲	۱۷	۱۰
۲۷۵۳	۳/۸۷	۲/۲۵	۰/۱۷	۱۰۰	۲۹۶	۴۸	۱۴	۹
۱۲۶۱۰	۳/۹	۱/۹۱	۰/۱۶	۱۰۰	۴۷۸	۵۰	۱۷	۱۰
۱۳۶۸	۳/۸۸	۲/۰۱	۰/۱۷	۱۰۰	۳۳۳	۶۹	۱۵	۱۲
۲۷۵۲	۳/۸۴	۲/۰۱	۰/۱۲	۱۰۰	۴۳۳	۴۰	۱۴	۱۰
۲۷۵۱	۳/۹۸	۱/۹۵	۰/۱۲	۱۰۰	۴۲۹	۳۹	۱۹	۹
۱۳۶۵	۳/۶	۲/۶۳	۰/۱۱	۱۰۰	۴۵۲	۳۵	۱۶	۹
۱۴۶۵	۳/۶۹	۲/۰۳	۰/۰۹	۱۰۰	۳۲۱	۲۸	۱۴	۸

ادامه جدول ۱

نمونه ها	Ni	Rb	Sr	V	Y	Zn	Zr
۱۲۳۴	۹۰	۳۴	۶۷۱	۱۵۲	۲۷	۷۵	۲۱۲
۱۲۶۴	۱۱	۱۷۳	۲۳	۶۹۹	۱۶۶	۲۴	۱۸۸
۱۴۶۱۱	۷۸	۲۷	۸۳۹	۲۱۳	۲۱	۹۴	۲۰۰
۱۲۶۸	۱۰۳	<۳	۵۰۰	۱۶۰	۲۸	۸۹	۲۰۳
۱۲۶۹	۱۰۵	۳۲	۴۸۸	۱۶۷	۲۶	۸۴	۱۸۸
۱۴۶۹	۸۶	۲۶	۵۲۸	۱۴۱	۲۶	۷۶	۲۰۱
۱۲۶۵	۷۴	۳۴	۴۹۴	۲۰۱	۲۶	۸۴	۱۸۳
۶۷۲	۹۴	۲۶	۵۳۱	۱۴۴	۲۴	۸۴	۲۰۸
۳۰۵۱۳	۹۱	۱۳	۵۳۷	۱۴۸	۲۶	۷۰	۲۱۳
۳۰۵۹	۱۴۲	۳۷	۳۹۲	۱۲۴	۲۶	۶۳	۱۹۴
۳۰۵۱۰	۵۷	۵۳	۴۲۴	۱۰۲	۲۸	۶۴	۲۷۸
۳۰۵۸	۵۲	۳۵	۵۲۰	۱۰۷	۲۰	۸۸	۲۲۵
۲۷۵۶۲	۶۹	۵۳	۴۸۶	۱۰۷	۲۹	۶۴	۲۴۷
۱۴۶۱۰	۵۴	۵۹	۴۹۲	۸۸	۲۲	۶۱	۲۰۶
۲۷۵۶۱	۶۳	۳۶	۴۰۰	۹۴	۳۰	۶۲	۲۴۴
۳۰۵۱۱	۲۶	۵۰	۴۱۰	۹۷	۲۵	۶۱	۲۲۳
۳۰۵۱۲	۷۹	۶۹	۲۸۸	۹۵	۲۵	۴۹	۱۸۷
۲۵۵۴	۲۸	۵۰	۳۵۵	۸۵	۲۹	۷۰	۲۳۸
۳۰۵۱۵	۶۲	۴۴	۳۲۹	۹۸	۲۶	۶۸	۲۲۳
۱۴۶۳	۴۹	۳۲	۳۳۷	۹۵	۳۲	۶۹	۲۴۴
۱۴۶۲	۵۵	۴۲	۲۹۹	۹۰	۳۱	۶۶	۲۴۳
۱۲۶۷	۵۸	۴۴	۴۲۹	۸۴	۲۷	۶۲	۲۴۱
۱۴۶۱	۵۵	۳۷	۳۰۲	۸۵	۳۱	۶۴	۲۵۴
۳۰۵۷	۳۶	۵۹	۳۵۹	۶۹	۲۶	۶۴	۲۳۷
۲۵۵۷	۲۹	۳۶	۳۵۲	۷۵	۲۷	۶۳	۲۴۱
۲۵۵۵	۲۵	۴۳	۳۲۲	۸۴	۲۸	۶۶	۲۳۴
۲۵۵۱۰	۳۳	۶۵	۳۲۸	۷۵	۲۵	۶۰	۲۰۵
۲۵۵۲	۲۸	۴۹	۳۸۰	۶۴	۱۸	۵۴	۲۱۵
۱۴۶۷	۲۹	۷۳	۳۴۲	۵۷	۱۷	۴۱	۱۹۵
۱۳۶۹	۲۷	۴۸	۴۷۱	۶۵	۲۶	۵۱	۲۵۲
۱۲۶۶	۱۸	۸۹	۴۳۹	۴۶	۲۲	۴۹	۱۹۰
۱۳۶۱	۳۰	۵۷	۳۴۸	۶۰	۱۷	۵۲	۱۹۷
۶۷۱	۳۱	۱۰۴	۳۱۳	۶۵	۲۵	۵۵	۱۷۵
۱۳۶۷	۲۵	۸۰	۲۷۱	۵۹	۲۲	۴۴	۱۸۴
۲۷۵۳	۲۸	۶۰	۲۹۹	۴۲	۱۲	۴۳	۱۸۲
۱۲۶۱۰	۲۶	۶۶	۲۹۳	۳۴	۱۸	۳۲	۱۹۵
۱۳۶۸	۷۷	۷۶	۲۳۹	۵۳	۲۵	۴۷	۲۱۲
۲۷۵۲	۲۳	۶۴	۴۷۱	۲۸	۱۱	۳۹	۱۶۴
۲۷۵۱	۲۱	۶۹	۳۲۶	۳۷	۱۳	۴۵	۱۵۸
۱۳۶۵	۲۵	۹۲	۲۴۲	۲۵	۱۶	۴۱	۱۵۹
۱۴۶۵	۱۵	۷۴	۲۳۹	۲۲	۱۵	۳۲	۱۷۰

* - آزمایشگاه تمام محتوی آهن را به صورت Fe_2O_3 گزارش کرده است. اعداد در اختیار برای تبدیل به اکسید آهن دو ظرفیتی بر ۱/۱۱۱۳۴۴ تقسیم شده است. مقدار اکسید آهن دو ظرفیتی جداگانه به روش عیارسنجی اندازه‌گیری شده و با کسر مقدار آن از محتوی آهن کل که بر حسب اکسید آهن دو ظرفیتی محاسبه شده بود، محتوی اکسید آهن سه ظرفیتی بر حسب اکسید آهن دو ظرفیتی به دست آمده است. حاصل ضرب عدد مورد اشاره در ۱/۱۱۱۳۴۴ مقدار واقعی اکسید آهن سه ظرفیتی است.

جدول ۲ راهنمای موقعیت جغرافیایی برداشت نمونه‌های مورد آزمایش قرار گرفته.

ردیف	کد نمونه	ترکیب شیمیایی	موقعیت جغرافیایی نمونه برداری
۱	۰۱۲۶۴	بازالت (ساب آلکان)	ترانشه جاده سراب N33°/13'-E59°/55'
۲	۰۱۲۳۴	موژه آریت	بعدازدوراهی کبودان بسمت افین N33°/29'-E59°/46'
۳	۱۴۶۱۱	موژه آریت	جنوبشرق پایهان N33°/26'-E59°/48'
۴	۰۱۲۶۸	آندزیت بازالتی	شمالشرق خلف N33°/10'-E59°/55'
۵	۰۱۲۶۹	آندزیت بازالتی	شمال خلف N33°/10'-E59°/54'
۶	۰۱۴۶۹	آندزیت بازالتی	قبل ازدوراهی کبودان بسمت افین N33°/28'-E59°/47'
۷	۰۱۲۶۵	آندزیت بازالتی	منطقه قنات سراب N33°/13'-E59°/58'
۸	۰۰۶۷۲	آندزیت بازالتی	جنوب آسو N33°/12'-E59°/29'
۹	۳۰۵۱۳	آندزیت بازالتی	خروجی شاخن بسمت مبارک آباد N33°/23'-E59°/32'
۱۰	۳۰۵۱۰	بنموریت	مسیر ارتباطی واشان به شاخن N33°/19'.25 - E59°/34'.038
۱۱	۰۳۰۵۹	آندزیت	حاشیه شرقی جاده واشان N33°/19'.2 - E59°/34'.05
۱۲	۰۳۰۵۸	آندزیت	خروجی اوجاد بسمت واشان N33°/16 - E59°/30'
۱۳	۲۷۵۶۲	آندزیت	بلندی تخت ملک ، سرخنگ N33°/11'.5 - E59°/42'.4
۱۴	۱۴۶۱۰	آندزیت	جنوبشرق پایهان، حاشیه شرقی جاده N33°/26' - E59°/49'
۱۵	۲۷۵۶۱	آندزیت	دامنه تخت ملک ، شمالشرق سرخنگ N33°/11' - E59°/42'.6
۱۶	۳۰۵۱۱	آندزیت	حداصل واشان - شاخن N33°/21' - E59°/34'
۱۷	۳۰۵۱۲	آندزیت	جنوب شاخن N33°/21'.7 - E59°/33'.188
۱۸	۰۲۵۵۴	آندزیت	شمالغرب منند N33°/12' - E59°/38'
۱۹	۳۰۵۱۵	آندزیت	شمال شاخن N33°/21'.9 - E59°/32'
۲۰	۰۱۴۶۳	آندزیت	جنوب شیرگ N33°/17' - E59°/47'.28
۲۱	۰۱۴۶۲	داسیت	بعد از دوراهی سراب - زهان، بسمت زهان - شرق جاده N33°/15' - E59°/48'
۲۲	۰۱۴۶۷	داسیت	جنوب سراب N33°/12' - E59°/52'
۲۳	۰۱۴۶۱	داسیت	دوراهی سراب - زهان، بسمت زهان - شرق جاده N33°/14'.5 - E59°/48'
۲۴	۰۳۰۵۷	داسیت	حاشیه جاده نوغابچیک - دارج N33°/16' - E59°/31'
۲۵	۰۲۵۵۷	داسیت	شمالغرب منند N33°/12'.5 - E59°/37'.5
۲۶	۰۲۵۵۵	داسیت	غرب منند N33°/13' - E59°/37'
۲۷	۲۵۵۱۰	داسیت	حداصل اسنان - بیدخت N33°/16'.2 - E59°/33'.7
۲۸	۰۲۵۵۲	داسیت	شمالشرق آویشک N33°/11' - E59°/37'.3
۲۹	۰۱۴۶۷	داسیت	رودخانه زهان N33°/24'.8 - E59°/47'.6
۳۰	۰۱۲۶۹	داسیت	روستای فخران N33°/20'.7 - E59°/41'.4
۳۱	۰۱۲۶۶	داسیت	مسیر سراب - درخش، دوراهی خلف N33°/12'.5 - E59°/52'.15
۳۲	۰۱۲۶۱	داسیت	شمالشرق درخش N33°/14' - E59°/57'.5
۳۳	۰۰۶۷۱	داسیت	جنوبغرب آسو N33°/12'.5 - E59°/29'
۳۴	۰۱۴۶۷	داسیت	جنوبشرق نوغاب N33°/19' - E59°/42'.05
۳۵	۰۲۷۵۳	داسیت	روستای توت کری N33°/07' - E59°/42'
۳۶	۱۲۶۱۰	داسیت	جنوب دره چرم N33°/07' - E59°/53'.8
۳۷	۰۱۳۶۸	داسیت	نوغاب فخران N33°/19' - E59°/41'
۳۸	۰۲۷۵۲	داسیت	جاده درخش، فرعی کوشکک N33°/07' - E59°/43'
۳۹	۰۲۷۵۱	داسیت	دوراهی درخش - کوشکک N33°/06'.9 - E59°/43'
۴۰	۰۱۳۶۵	ریولیت	شمالشرق خوان N33°/16' - E59°/43'
۴۱	۰۱۴۶۵	ریولیت	روستای بایمرغ N33°/19'.85 - E59°/48'

زمین‌شناسی منطقه

منطقه‌ی بیرجند بین زون جوش خورده‌ی سیستان [۵،۶] در شرق و پهنه‌ی لوت در غرب قرار گرفته است. زون جوش خورده‌ی سیستان با روند کلی شمالی جنوبی، در واقع زمین درز برخوردی قطعه‌ی لوت با قطعه‌ی هیلمند است که حاصل بسته شدن باریکه‌ی اقیانوسی خاور ایران در مزوزوئیک پایانی و ترشیر آغازین است. این پهنه‌ی برخوردی شامل مجموعه‌های سنگی زمین‌ساختی لیتوسفر اقیانوسی، نهشته‌های رخساره‌ی فلش، مجموعه‌های آذرآواری - آتشفشانی و نهشته‌های رخساره‌ی مولاس از کرتاسه فوقانی به بعد است. پهنه‌ی لوت نیز توده‌ای است کشیده و مستحکم که طول آن در راستای شمال جنوبی به ۹۰۰ کیلومتر می‌رسد و آن بخش از خاور ایران است که در مغرب زون فلش شرق ایران و بین آن و ایران مرکزی قرار گرفته است. از ویژگی‌های این ناحیه رسوبات ضخیم مزوزوئیک است که ضخامت آن‌ها گاهی به بیش از ۵۰۰ متر می‌رسد. به علاوه گسترش سنگ‌های آتشفشانی ترشیر از ویژگی‌های بارز این پهنه است که به صورت واحدهای آذرآواری قدیمی‌تر و سنگ‌های آتشفشانی جوان‌تر رخمون دارند. بخش گسترده‌ای از این پهنه با رسوبات تخریبی پلیوکواترن پوشیده شده است [۷،۸]. زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد بررسی را می‌توان بازتاب تاریخ زمین‌ساختی شرق ایران دانست چنانکه بیش از دوسوم سطح منطقه زیر پوشش سنگ‌های آتشفشانی ترشیری تا پلیوکواترن پهنه‌ی لوت بوده و حضور نوار همبافت

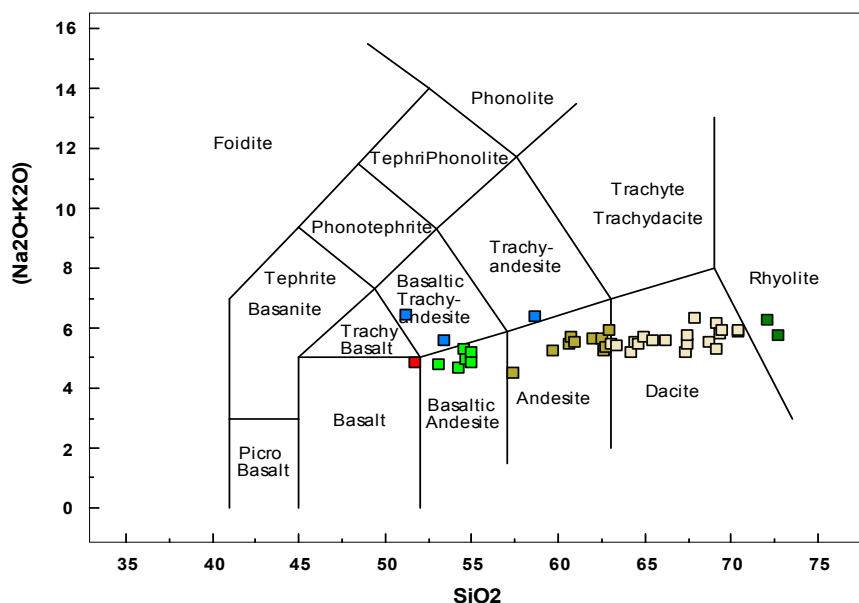
افیولیتی در شمال خاوری و بخش فلشی در جنوب و شمال باختری آن را می‌توان نتیجه‌ی رژیم زمین‌ساختی حاکم بر ناحیه دانست.

سنگ‌شناسی

بر اساس نمودار مجموع اکسیدهای پتاسیم و سدیم نسبت به سیلیس (شکل ۲) سنگ‌های آذرین خروجی مورد بررسی را می‌توان به دو مجموعه بازی شامل بازالت، آندزیت بازالتی و تراکی آندزیت بازالتی و مجموعه حدواسط تا اسیدی شامل آندزیت، تراکی آندزیت، داسیت و ریولیت رده‌بندی کرد.

بازالت‌ها و آندزیت‌های بازالتی

این سنگ‌ها عموماً تیره رنگ و دارای بافت پرفیری با مزوستاز میکرولیتی تا شیشه‌ای - میکرولیتی هستند. محتوی فنوکریست در این سنگ‌ها اندک و مشتمل بر الیوین، کلینوپیروکسن (دیوپسید، اوژیت دیوپسیدی و اوژیت) و پلاژیوکلاز با ترکیب متوسط لابرادوریت و اکسیدهای آهن و تیتان است (جدول ۳). جدایش آندزیت‌های بازالتی از تراکی آندزیت‌های بازالتی (موژه آریته‌ها) [۹] در نمونه‌ی دستی امکان‌پذیر نبوده و ترکیب متوسط خمیره که با آنالیز ریزپردازشی در نمونه‌ی بازالتی مورد آزمایش قرار گرفته آندزیت بازالتی مشخص شده است. این در حالیست که در نمونه‌ای منتخب از آندزیت‌های بازالتی فنوکریست‌ها در خمیره‌ای با ترکیب داسیتی پراکنده‌اند (شکل‌های ۳ تا ۶).

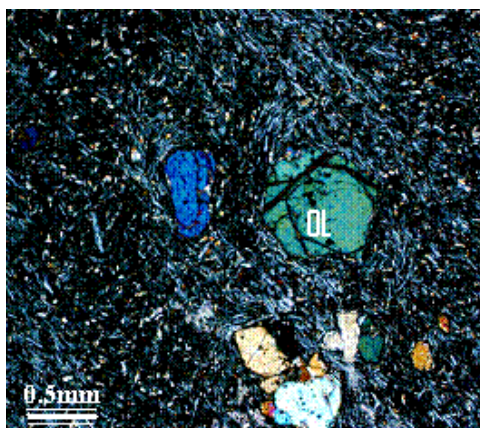


شکل ۲ رده‌بندی سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی بر اساس نمودار مجموع قلیای نسبت به سیلیس (Le Maitre et al, 1989).

جدول ۳ بنابر مشاهدات سنگ‌شناختی سنگ‌ها در منطقه‌ی مورد بررسی به پنج گروه به صورت جدول تقسیم می‌شوند (علامت + به معنای حضور و علامت - به معنای عدم حضور کانی در ترکیب سنگ است).

Composition	ol	cpx	opx	hbl	bi	Plg	Kfs	Qz	Ilm	Ap	Iron oxide	Glass	Common texture
Rhyolite	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	Porphyric with vitric mesostasis
Dacite	-	-	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+	Porphyric with microlitic + vitric mesostasis
Andesite	-	+	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+	Porphyric with microcrystalline + vitric mesostasis and sometimes Glomeroporphyritic
Basaltic Andesite	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	+	Porphyric with microcrystalline + vitric mesostasis
Basalt	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	Porphyric with microlitic mesostasis

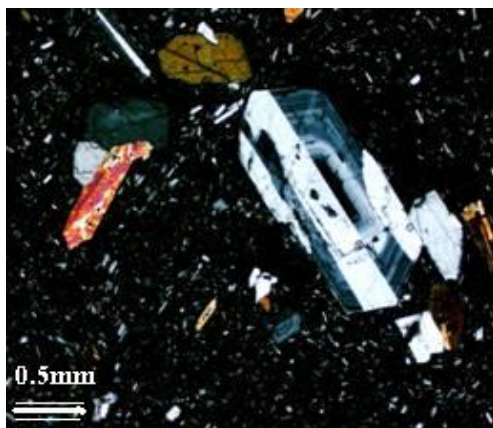
ol : Olivine – cpx : Clinopyroxene – opx : Orthopyroxene – hbl : Hornblende – plg : Plagioclase
kfs : Alkali Feldspare – bi : Biotite – Qz : Quartz – Ilm : Ilmenite – Ap : Apatite



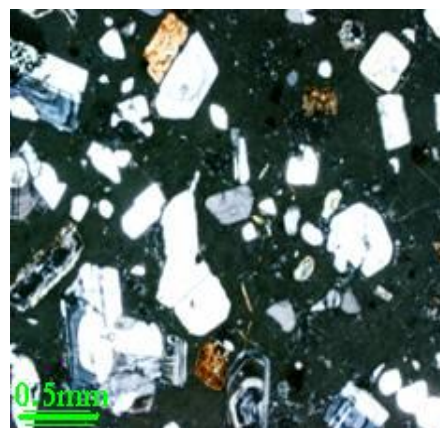
شکل ۳ فنوکریست‌های الیوین کریزولیتی در بازالت XPL.



شکل ۴ اجتماع ارتوپیروکسن و هورنبلند و تشکیل بافت گلومروپرفیری در آندزیت (XPL).



شکل ۵ بلورهای درشت و زون پلاژیوکلاز همراه با هورنبلند و بیوتیت در خمیره‌ی شیشه‌ای داسیت XPL.



شکل ۶ بافت پرفیری با خمیره‌ی شیشه‌ای در ریولیت XPL.

آندزیت‌ها، داسیت‌ها و ریولیت‌ها

بافت غالب این سنگ‌ها که مشتمل بر طیف گسترده‌ای از سنگ‌های مزوکرات تا لوکوکراتند، یورفیری بوده و فنوکریست-ها در مزوستاز ریزبلور تا شیشه‌ای پراکنده‌اند. در این سنگ‌ها گاهی بافت گلمروپورفیری نیز دیده می‌شود. فنوکریست‌های سنگ‌های آندزیتی را به ترتیب فراوانی ارتوپروکسن (انستاتیت)، کلینوپروکسن (اوژیت)، پلاژیوکلاز (آندزین)، هورنبلند و اکسیدهای آهن و تیتان تشکیل می‌دهند. بر این اساس عموماً سنگ‌های آندزیتی مورد بررسی پروکسن آندزیت‌اند. در یک نمونه‌ی منتخب از این سنگ‌ها، ترکیب خمیره شیشه‌ی ریولیتی فقیر از عناصر قلیایی اندازه‌گیری شده است.

فراوانترین فنوکریست‌ها در سنگ‌های داسیتی دارای بافت پرفیری با مزوستاز میکرولیتی - شیشه‌ای عبارتند از هورنبلند، بیوتیت و پلاژیوکلاز که با بلورهایی از جنس کوارتز، آپاتیت و اکسیدهای آهن و تیتان همراهی می‌شوند. بافت سنگ‌های لوکوکرات ریولیتی پرفیری با مزوستاز عموماً شیشه‌ای بوده و فراوانترین فنوکریست‌ها در این سنگ‌ها مشتمل بر بیوتیت، پلاژیوکلاز، فلدسپات پتاسیم و کوارتز بوده که با بلورهای کوچک ایلمنیت و آپاتیت درون شیشه‌ای با محتوی سیلیس بالغ بر ۷۰٪ قرار گرفته‌اند.

کانی‌شناسی

نظر به جایگاه ترکیب‌های سنگی مختلف در بازسازی تاریخچه-ی فرآیند آتشفشانی منطقه، اعمال ضریب فراوانی و بحث انتخاب نمونه‌های با حداقل دگرسانی و حداکثر پارامترهای کیفی سنگ‌شناسی و نیز محدودیت‌های سخت افزاری کانی-های پنج نمونه‌ی سنگی بازالت (ردیف ۱ جدول ۲)، آندزیت بازالتی (ردیف ۹ جدول ۲)، آندزیت (ردیف ۲۰ جدول ۲)، داسیت (ردیف ۳۴ جدول ۲) و ریولیت (ردیف ۴۱ جدول ۲) مورد آنالیز نقطه‌ای قرار گرفتند. کانی‌های مورد بررسی با توجه به نقش آن‌ها در ترکیب‌های مختلف سنگی از مجموعه‌ی الیون‌ها، پروکسن‌ها و آمفیبول‌ها انتخاب شده‌اند.

شیمی الیون‌ها

در مجموعه‌ی سنگ‌های بازالتی و آندزیت‌های بازالتی بلورهای الیون وجود دارند. تغییر فعالیت‌ها در این سنگ‌ها از $Fe_{0.67}O$

در آندزیت‌های بازالتی تا $Fe_{0.73}O$ در بازالت‌ها متغیر است (جدول‌های ۴ و ۵). فرمول الیون $Mg_{1.618}Fe_{0.382}SiO_4$ برای بازالت و $Mg_{1.72}Fe_{0.28}SiO_4$ در آندزیت بازالتی محاسبه شده است و الیون‌ها برابر شکل ۷ از نوع کریزولیت‌اند. بنابر این ترکیب الیون‌ها در طیف‌های مختلف این گروه سنگی تفاوت شیمیایی چندانی ندارد. در شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ تصویر ریز پردازشی کانی و شکل نوسان‌های سطح منیزیم و آهن در دو راستای طولی و عرضی بلور مورد بررسی در آندزیت بازالتی دیده می‌شود. شکل‌ها حاکی از آنند که در هر دو راستای طولی و عرضی از حاشیه به مرکز بلور بر محتوی منیزیم افزوده و متناسب با آن از آهن کاسته می‌شود. این تغییر در عناصر یاد شده در راستای عرضی بلور شاخص‌تر است. در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ تصویر کانی و تصویر نوسان‌های آهن و منیزیم در راستای طولی بلور الیون نمونه‌ی بازالتی نیز نشانگر افزایش منیزیم به تناسب کاهش آهن از حاشیه به مرکز بلور است. در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ نیز تصویر ریز پردازشی و تصویر نوسان‌ها در راستای عرضی یک بلور دیگر الیون در نمونه بازالتی به خوبی تقارن در منحنی‌های سطح آهن و منیزیم را نشان می‌دهند.

شیمی پروکسن‌ها

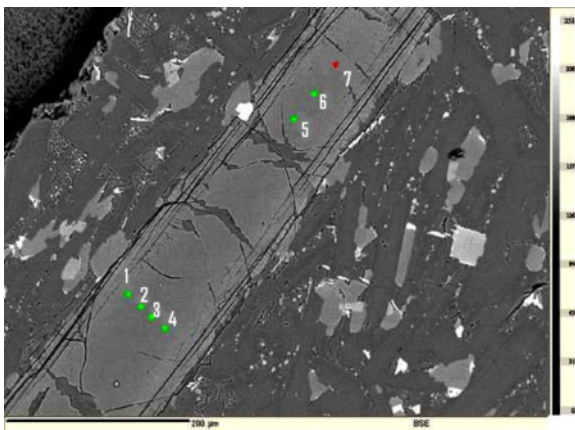
پروکسن علاوه بر سنگ‌های بازالتی در آندزیت‌ها نیز دیده می‌شود. برابر شکل ۱۵ پروکسن در بازالت‌ها از نوع دیوپسید، در آندزیت‌های بازالتی از جنس اوژیت و در آندزیت‌ها انستاتیت است. در سنگ‌های بازی فعالیت دیوپسید از ۰/۵۲ در آندزیت-های بازالتی تا ۰/۶۴ در بازالت‌ها در نوسان است. این در حالیست که فعالیت انستاتیت در بلورهای ارتوپروکسن سنگ-های آندزیتی ۰/۵۸ اندازه‌گیری شده است. بر مبنای اندازه-گیری‌ها فرمول متوسط پروکسن در بازالت‌ها $Ca_{0.92}Mg_{0.88}Fe_{0.2}Si_2O_6$ ، در آندزیت‌های بازالتی $Mg_{0.88}, Ca_{0.82}, Fe_{0.3}, Si_2O_6$ و در آندزیت‌ها فرمول $Mg_{1.56}Fe_{0.39}Ca_{0.05}Si_2O_6$ است (جدول‌های ۶، ۷ و ۸). اندک محتوی کلسیم در ساختار پروکسن باعث شده تا این ترکیب در نمودار رده‌بندی پروکسن‌ها کلینوانستاتیت معرفی شود گرچه ویژگی‌های سنگ‌شناسی آن و از جمله پدیده خاموشی موازی حاکی از وابستگی این کانی به ارتوپروکسن‌هاست. در شکل‌های ۱۶ و ۱۷ تصویر ریز پردازشی کانی و تصویر نوسان-

های محتوی آهن، منیزیم و کلسیم بلورهای دیوپسید ترکیب- های بازالتی حاکی از آن است که گرچه کانی دارای سطح بالایی از CaO است ولی مقدار این تشکیل دهنده مستقل از محتوا و تغییرات اکسیدهای آهن و منیزیم است. شکل حاکی از آن است که از حاشیه به مرکز بلور بر محتوی منیزیم افزوده و از مقدار آهن کاسته می‌شود. شکل ۱۸ نشان دهنده‌ی فراوانی

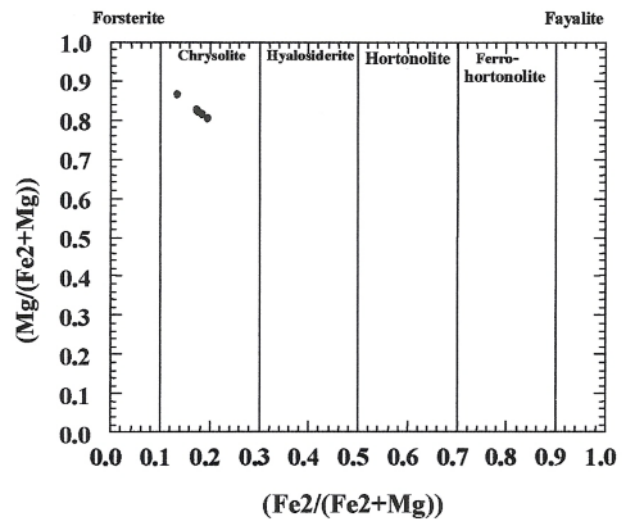
و چگونگی پراکندگی بلورهای اوژیت در نمونه‌ی آندزیت بازالتی است. شکل‌های ۱۹ و ۲۰ وابسته به ارتوپیروکسن‌های موجود در سنگ‌های آندزیتی هستند. بررسی شکل مورد نظر حاکی از آن است که کانی دارای محتوای اندک کلسیم بوده و از حاشیه به مرکز بلور به تناسب افزایش منیزیم از میزان آهن کاسته می‌شود.

جدول ۵ میانگین ترکیب شیمیائی الیوین در بازالت آزمایش شده. جدول ۴ میانگین ترکیب شیمیائی الیوین در آندزیت بازالتی مورد آزمایش قرار گرفته .

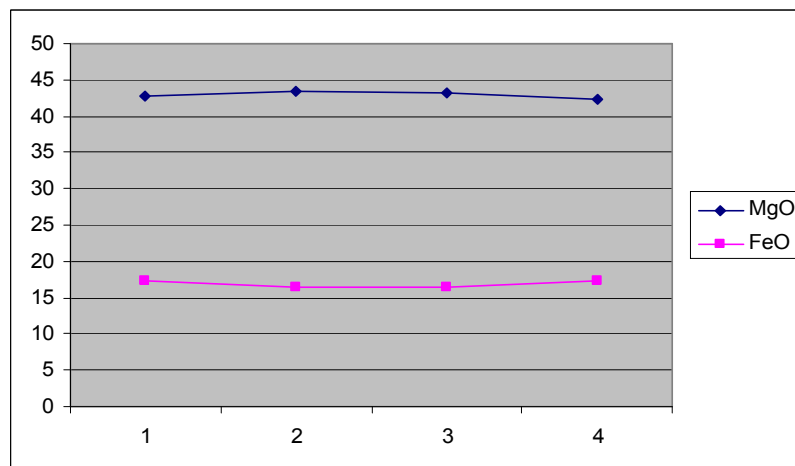
جدول ۴	میانگین	جدول ۵	میانگین
SiO ₂	۳۸٫۸۶	SiO ₂	۳۸٫۹۵
TiO ₂	۰٫۰۲	TiO ₂	۰٫۰۱
Al ₂ O ₃	۰٫۰۳	Al ₂ O ₃	۰٫۰۲
Cr ₂ O ₃	۰	Cr ₂ O ₃	۰
FeO	۱۷٫۷۱	FeO	۱۷٫۰۸
MnO	۰٫۳۵	MnO	۰٫۳۱
MgO	۴۲٫۱۵	MgO	۴۲٫۹۸
CaO	۰٫۱۵	CaO	۰٫۱۸
Na ₂ O	۰٫۰۱	Na ₂ O	۰٫۰۱
K ₂ O	۰٫۰۲	K ₂ O	۰٫۰۱
Total	۹۹٫۳	Total	۹۹٫۵۳
(O) p.f.u.	۴	(O) p.f.u.	۴
Formula		Formula	
Si	۰٫۹۹۷	Si	۰٫۹۹۴
Ti	۰٫۰۰۰	Ti	۰
Al	۰٫۰۰۱	Al	۰٫۰۰۱
Cr	۰٫۰۰۰	Cr	۰
Fe ⁺⁺	۰٫۳۸۰	Fe ⁺⁺	۰٫۳۶۴
Mn	۰٫۰۰۸	Mn	۰٫۰۰۷
Mg	۱٫۶۱۲	Mg	۱٫۶۳۵
Ca	۰٫۰۰۴	Ca	۰٫۰۰۵
Na	۰٫۰۰۰	Na	۰
K	۰٫۰۰۱	K	۰
Total	۳٫۰۰۳	Total	۳٫۰۰۶



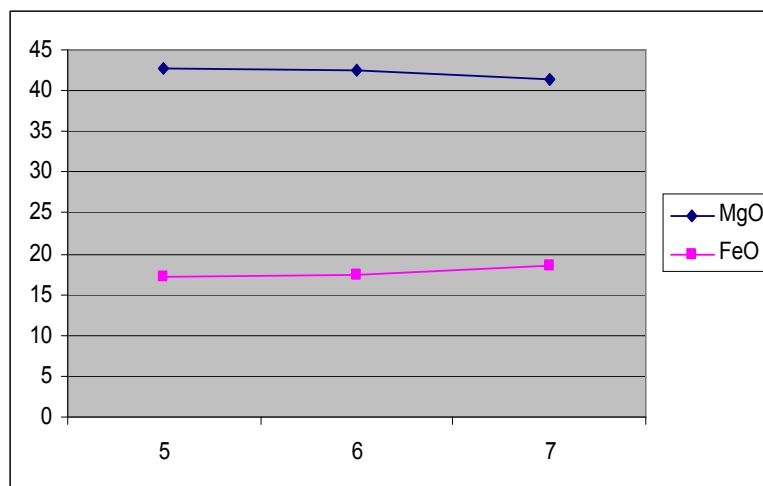
شکل ۸ تصویر ریز پردازشی بلور الیوین در آندزیت بازالتی که موقعیت نقاط آنالیز شده روی آن مشخص شده است.



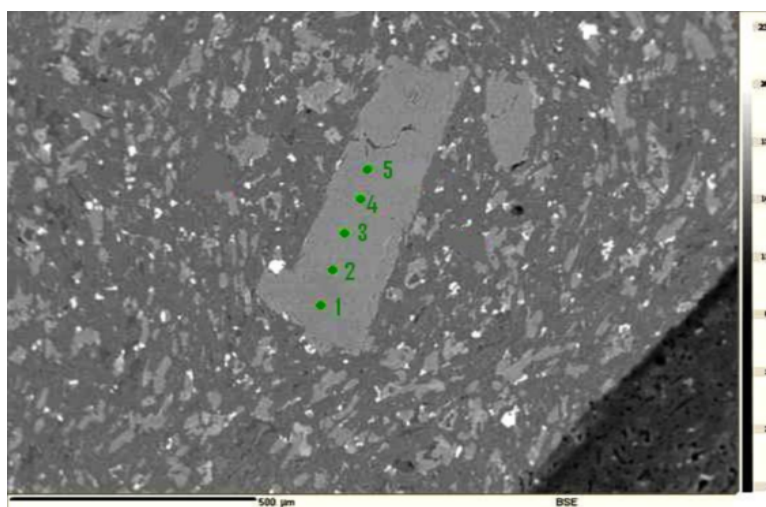
شکل ۷ ترکیب شیمیایی بلورهای الیوین بازالت‌ها و آندزیت‌های بازالتی مورد بررسی.



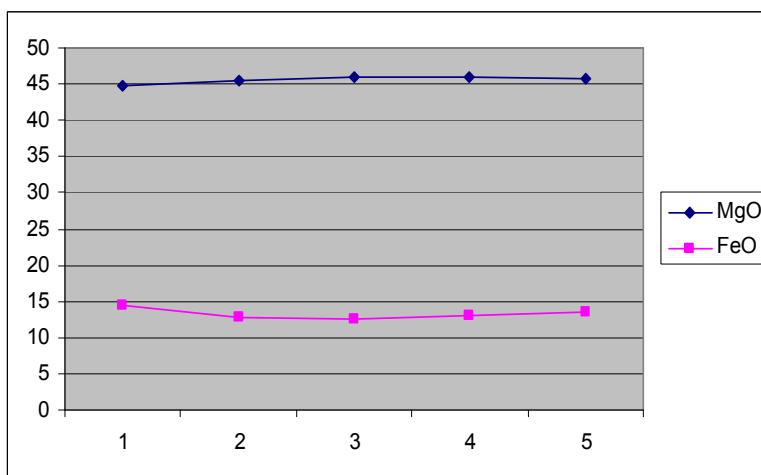
شکل ۹ نوسان‌های محتوای آهن و منیزیم در راستای عرضی بلور الیوین در آندزیت بازالتی (در تمامی شکل‌های نشانگر نوسان‌های کاتیونی روی محور X شماره نقاطی از کانی که مورد آزمایش قرار گرفته‌اند و روی محور Y درصد وزنی اکسید مورد بررسی نشان داده شده‌اند).



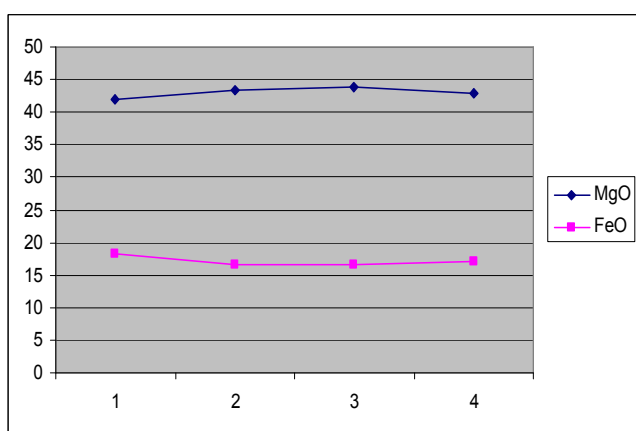
شکل ۱۰ نوسان‌های محتوای آهن و منیزیم در راستای طولی بلور الیوین در آندزیت بازالتی.



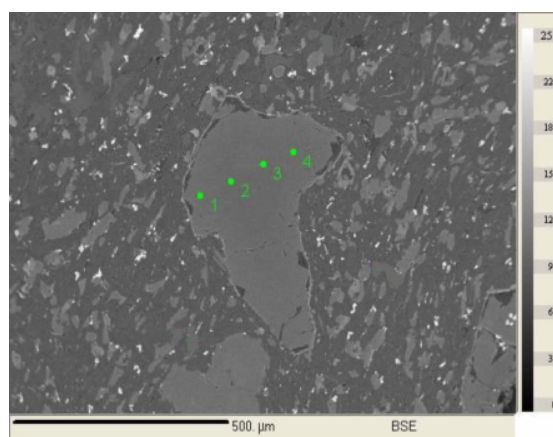
شکل ۱۱ تصویر ریز پردازشی بلور الیومین در بازالت که موقعیت نقاط آنالیز شده روی آن مشخص شده است.



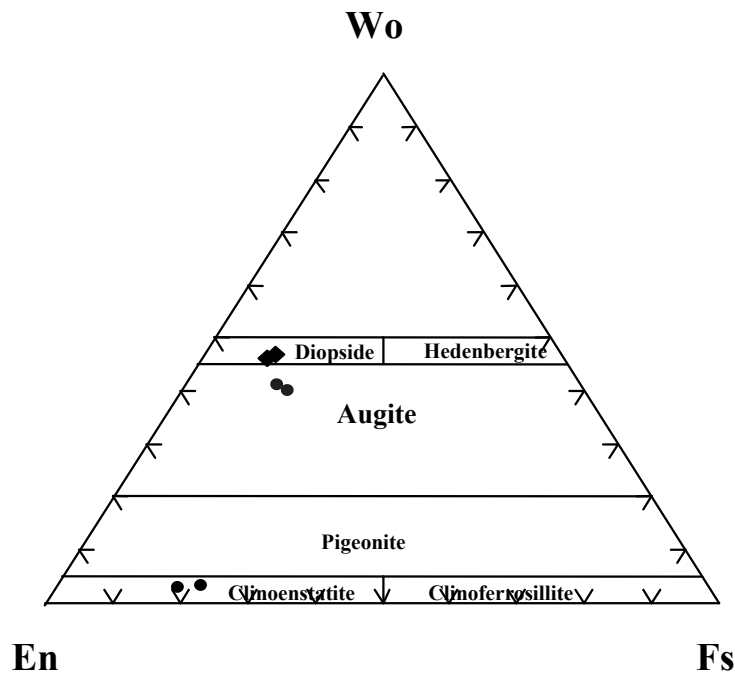
شکل ۱۲ نوسان‌های آهن و منیزیم در بلور الیومین نشان داده شده در نمونه‌ی بازالتی شکل ۱۱.



شکل ۱۴ نوسان‌های آهن و منیزیم مربوط به بلور الیومین نمونه بازالتی شکل ۱۳.

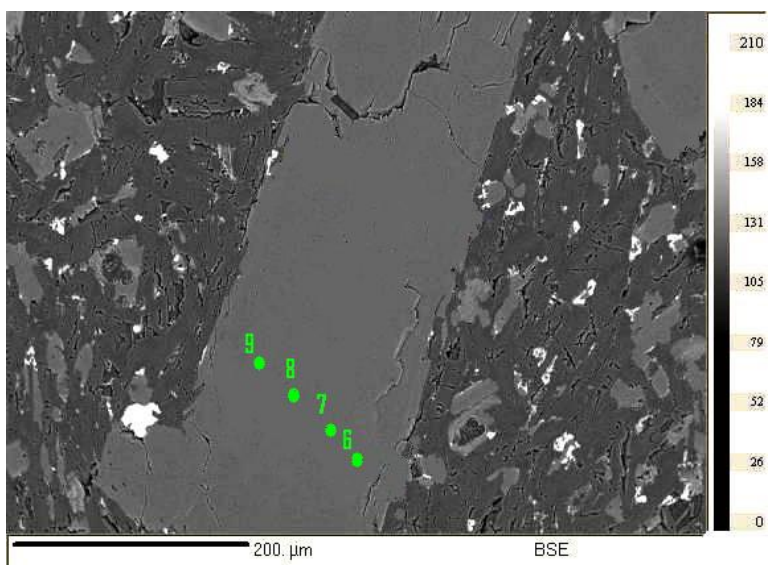


شکل ۱۳ تصویر ریز پردازشی بلوری دیگر از کانی الیومین در بازالت که موقعیت نقاط آنالیز شده روی آن مشخص شده است.

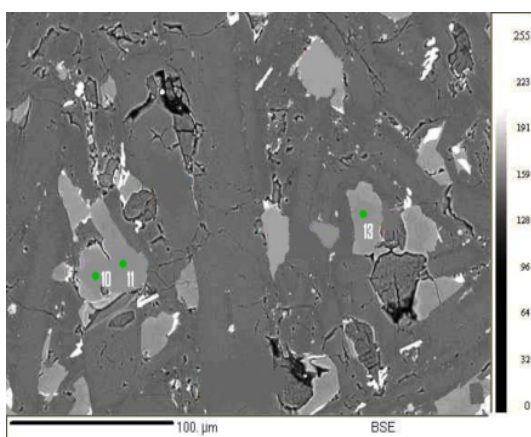


شکل ۱۵ نمودار حاکی از آن است که نوع پیروکسن در بازالت دیوپسید، در آندزیت بازالتی اوژیت و در آندزیت کلینوانستاتیت است.

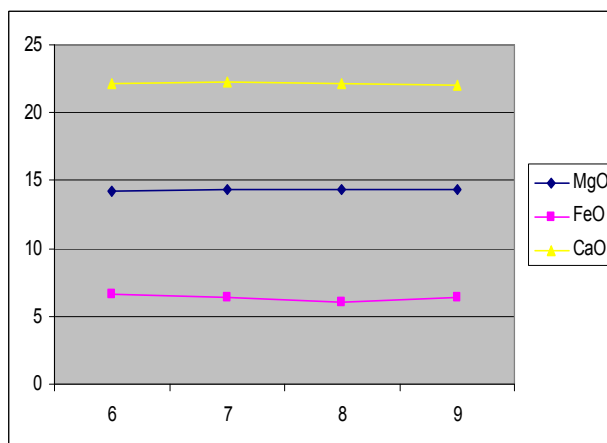
جدول ۶ میانگین ترکیب شیمیایی پیروکسن در نمونه‌ی آندزیت بازالتی آزمایش شده.		جدول ۷ میانگین ترکیب شیمیایی پیروکسن در بازالت مورد آزمایش قرار گرفته.		جدول ۸ میانگین ترکیب شیمیایی پیروکسن در نمونه‌ی آندزیتی آزمایش شده.	
جدول ۶	میانگین	جدول ۷	میانگین	جدول ۸	میانگین
SiO ₂	۵۰٫۵۳	SiO ₂	۴۹٫۶۸	SiO ₂	۵۴٫۰۱
TiO ₂	۱٫۰۷	TiO ₂	۰٫۹۶	TiO ₂	۰٫۲۲
Al ₂ O ₃	۲٫۰۹	Al ₂ O ₃	۴٫۲۲	Al ₂ O ₃	۱٫۶۸
Cr ₂ O ₃	۰	Cr ₂ O ₃	۰	Cr ₂ O ₃	۰
FeO	۸٫۸۵	FeO	۵٫۸۶	FeO	۱۲٫۷۶
MnO	۰٫۲۴	MnO	۰٫۱۲	MnO	۰٫۳۳
MgO	۱۵٫۳۸	MgO	۱۵	MgO	۲۸٫۳۸
CaO	۱۹٫۳۳	CaO	۲۱٫۹۸	CaO	۱٫۴۱
Na ₂ O	۰٫۳۵	Na ₂ O	۰٫۳۴	Na ₂ O	۰٫۰۳
K ₂ O	۰٫۰۱	K ₂ O	۰	K ₂ O	۰٫۰۱
Total	۹۷٫۸۴	Total	۹۸٫۱۸	Total	۹۸٫۸۳
(O) p.f.u.	۶	(O) p.f.u.	۶	(O) p.f.u.	۶
Formula		Formula		Formula	
Si	۱٫۹۱۲	Si	۱٫۸۵۸	Si	۱٫۹۴۶
Ti	۰٫۰۳	Ti	۰٫۰۲۷	Ti	۰٫۰۰۶
Al	۰٫۰۹۳	Al	۰٫۱۸۶	Al	۰٫۰۷۲
Fe ⁺⁺⁺	۰٫۰۴۹	Fe ⁺⁺⁺	۰٫۰۶۹	Fe ⁺⁺⁺	۰٫۰۲۷
Fe ⁺⁺	۰٫۲۳۱	Fe ⁺⁺	۰٫۱۱۴	Fe ⁺⁺	۰٫۳۵۸
Mn	۰٫۰۰۸	Mn	۰٫۰۰۴	Mn	۰٫۰۱
Mg	۰٫۸۶۷	Mg	۰٫۸۳۶	Mg	۱٫۵۲۴
Ca	۰٫۷۸۴	Ca	۰٫۸۸۱	Ca	۰٫۰۵۵
Na	۰٫۰۲۶	Na	۰٫۰۲۵	Na	۰٫۰۰۲
K	۰	K	۰	K	۰
Total	۴	Total	۴	Total	۴
Mg/(Mg/Fe ₂)	۰٫۷۹	Mg/(Mg/Fe ₂)	۰٫۸۸	Mg/(Mg/Fe ₂)	۰٫۸۱



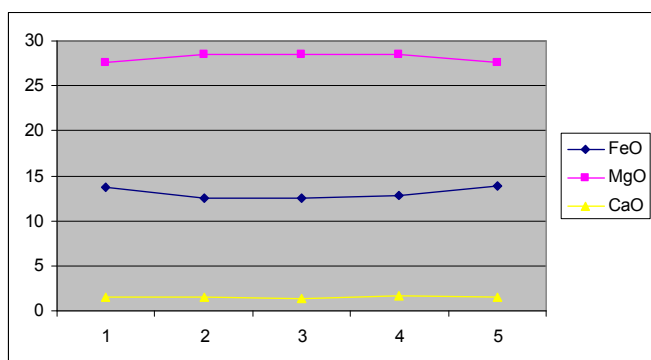
شکل ۱۶ تصویر ریز پردازشی بلور دیوپسید موجود در بازالت که موقعیت نقاط آنالیز شده روی آن مشخص شده است.



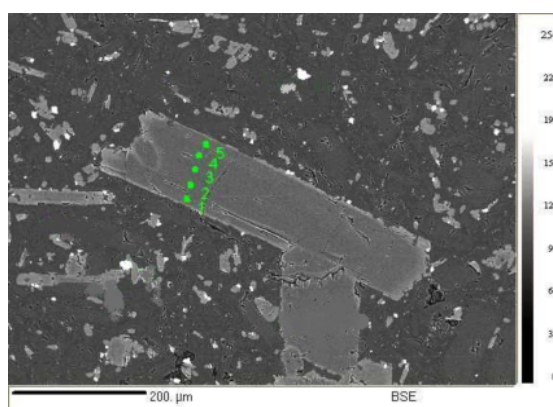
شکل ۱۸ فراوانی و نحوه پراکندگی بلورهای اوزیت در آندزیت بازالتی.



شکل ۱۷ شکل تغییرات ترکیبی در بلور دیوپسید بازالت.



شکل ۲۰ نوسان‌های آهن و منیزیم و سطح فراوانی کلسیم در بلورهای انستاتیت آندزیت‌ها.



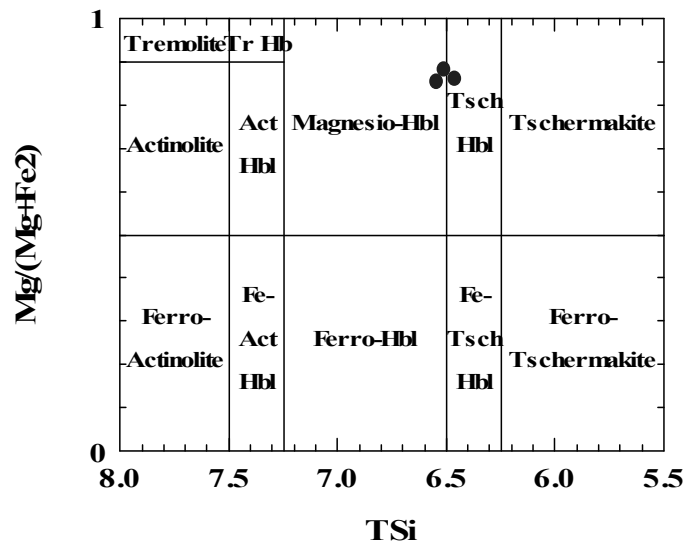
شکل ۱۹ تصویر ریز پردازشی بلورهای انستاتیت در سنگ-های آندزیتی که محل نقاط آنالیز شده روی آن نشان داده شده است.

شیمی آمفیبول‌ها

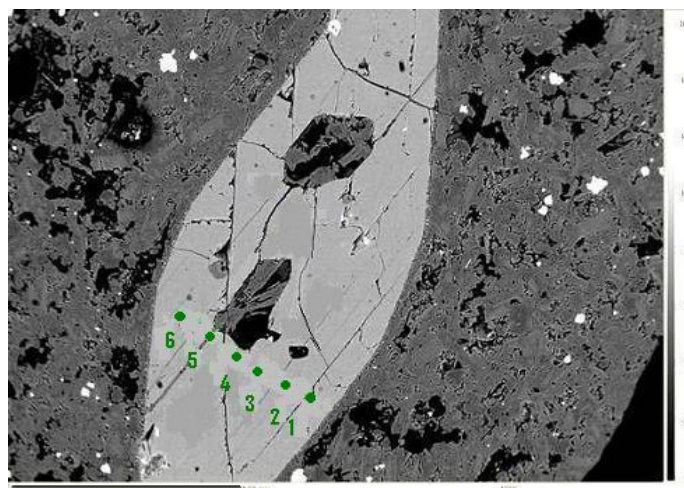
نظر به اینکه آندزیت‌های منطقه عموماً پیروکسن آندزیت بوده و به دلیل اکسایش شدید فاقد آمفیبول مناسب برای آنالیز ریز پردازشی هستند، این کانی‌ها تنها در سنگ‌های داسیتی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در این سنگ‌ها بر اساس شکل ۲۱ آمفیبول از نوع منیزیوهورنبلند - چرماکیت هورنبلند بوده و فعالیت ترمولیت در این کانی‌ها ۰.۴۹ و فعالیت پارگازیت معادل ۰.۸۶ به دست آمده است. فرمول میانگین این کانی‌ها را می‌توان به صورت $\text{Na}_{0.56}\text{Fe}^{3+}_{0.89}\text{Ca}_{1.76}\text{Al}_{1.98}\text{Mg}_{3.79}\text{Si}_7\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ (جدول ۹) نوشت که نزدیک‌ترین فرمول تعریف شده به آن $\text{Ca}_2 \text{Mg}_4\text{Al} \text{Fe}^{3+}(\text{Si}_7 \text{Al} \text{O}_{22})(\text{OH})_2$ (فرمول

منیزیوهورنبلند) است.

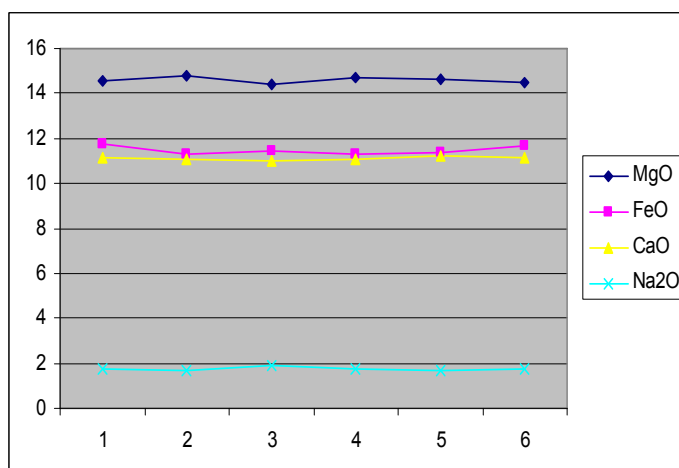
شکل ۲۲ نشان می‌دهد که در راستای عرضی بلور، آهن و منیزیم نوسان‌های وارون افزایشی و کاهشی دارند. کانی دارای محتوای پایین پتاسیم و سدیم و سطح نسبتاً بالایی از کلسیم بوده و سطح فراوانی سدیم و کلسیم در این بلورها تابع تغییرات در محتوای آهن و منیزیم بلور نیست (شکل ۲۳). با استفاده از نرم افزار ترموکالک و شیمی آمفیبول‌ها و پلاژیوکلازها در داسیت‌های مورد بررسی، دمای تبلور تعادلی آمفیبول و پلاژیوکلازی که همزمان متبلور شده‌اند در فشار بین صفر تا پنج کیلو بار و دمای ۸۶۲ تا ۸۲۳ درجه سانتیگراد ارزیابی شده است [۱۰] (جدول ۱۰).



شکل ۲۱ ترکیب شیمیایی بلورهای آمفیبول موجود در سنگ‌های داسیتی منطقه‌ی شمال شرق بیرجند.



شکل ۲۲ تصویر ریز پردازشی بلور آمفیبول در داسیت.



شکل ۲۳ نوسان‌های آهن و منیزیم و سطح فراوانی کلسیم و سدیم در بلور آمفیبول نمونه‌ی داسیت (ردیف ۳۴ جدول ۲)، تصویر ۲۲.

جدول ۹ متوسط ترکیب شیمیائی بلور منتخب آمفیبول در نمونه داسیتی.

جدول ۹	Average
SiO ₂	۴۴٫۹۵
TiO ₂	۱٫۹۱
Al ₂ O ₃	۱۰٫۰۹
Cr ₂ O ₃	۰
FeO	۱۱٫۵۲
MnO	۰٫۲۲
MgO	۱۴٫۵۹
CaO	۱۱٫۰۷
Na ₂ O	۱٫۷۵
K ₂ O	۰٫۳۲
Total	۹۶٫۴۳
(O) p.f.u.	۲۳
Formula	
Si	۶٫۵۰۳
Ti	۰٫۲۰۸
Al	۱٫۷۲
Fe ⁺⁺⁺	۰٫۸۷۲
Fe ⁺⁺	۰٫۵۲۲
Mn	۰٫۰۲۷
Mg	۳٫۱۴۷
Ca	۱٫۷۱۷
Na	۰٫۴۹۲
K	۰٫۰۶
Total	۱۵٫۲۶۸
Mg/(Mg/Fe ₂)	۰٫۸۵۸

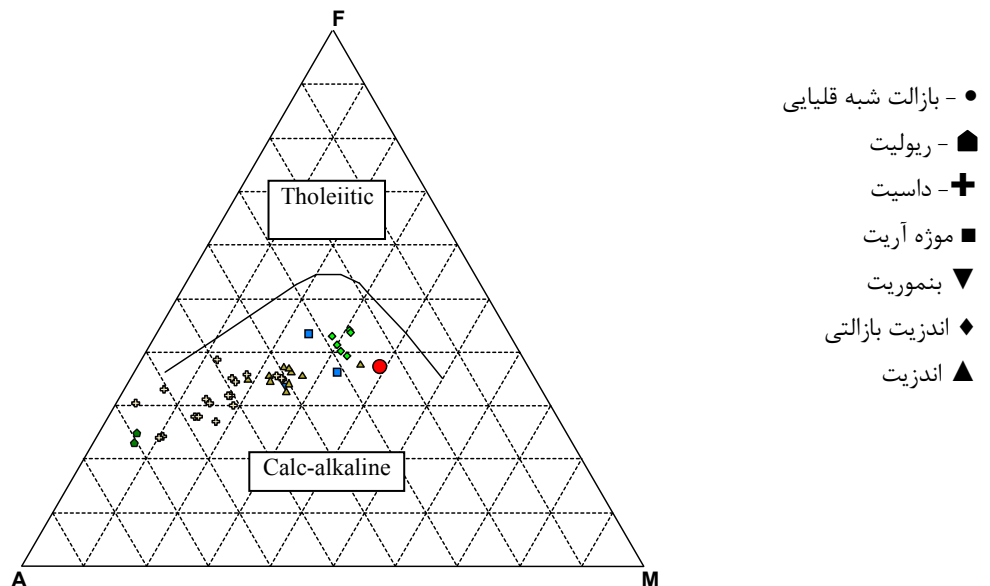
جدول ۱۰ دمای تعادلی تبلور آمفیبول و پلاژیوکلازی که همزمان متبلور شده‌اند. داده‌ها در نتیجه آزمایش روی ترکیب منتخب داسیتی به دست آمده‌اند (Holland & Blundy, 1994).

P (kbr)	۰	۵	۱۰	۱۵
T(ed - tr)	۸۶۲	۸۲۳	۷۸۴	۷۴۵
T(ed- ri)	۸۱۶	۸۳۸	۸۶۰	۸۸۱

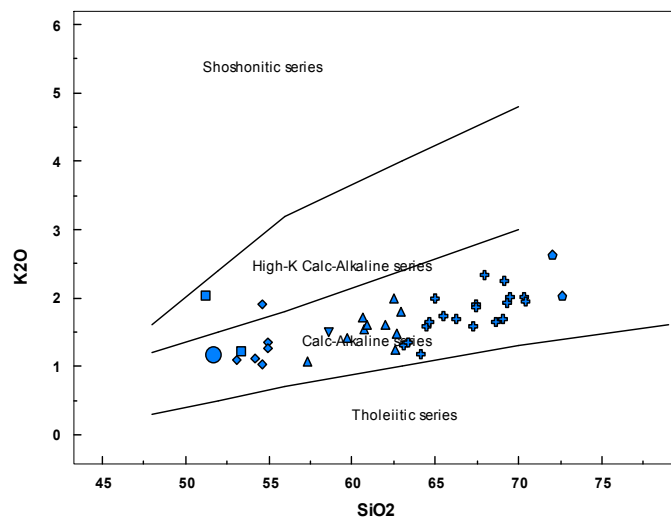
سیمای ژئوشیمیایی

نمودارهای تغییرات شیمیایی برای آشکار ساختن تفاوت‌ها و روندهای تغییرات ترکیب شیمیایی موجود در میان یک سری خاص از سنگ‌ها که نتیجه‌ی ذوب یا تبلور بخشی و نیز آمیختن ماگمایی و پدیده‌های دیگر چون هضم و آلودگی پوسته‌ای هستند، مناسب‌ترین ابزار به‌شمار می‌روند. بنابر این با استفاده از تعدادی از این نمودارها به بررسی سنگ‌های مورد بررسی پرداخته‌ایم. بنابر نمودار AFM (شکل ۲۴) تمامی سنگ‌های مورد بررسی آهکی-قلیایی هستند گرچه تعداد محدودی از این سنگ‌ها بر اساس شکل ۲۵ آهکی-قلیایی غنی از پتاسیم بوده و به مجموعه بنموریت‌ها و موژه آریته وابسته-

اند. نمودارهای مشهود در شکل‌های ۲۶ تا ۲۹ که تغییرات TiO_2 و MgO ، CaO ، SiO_2 را نسبت به ضریب جدایش تاتل و تورنتون^۱ (۱۹۶۰) [۱۱] نشان می‌دهند تماماً حاکی از وجود ناپیوستگی روشنی بین مجموعه بازالت‌ها و آندزیت‌های بازالتی با دیگر اعضای این مجموعه آتشفشانی هستند. از نمونه نمودارهای نوع هارکر (۱۹۰۹) [۱۲] نیز نمودار MgO نسبت به سیلیس (شکل ۳۰) به‌عنوان ضریب جدایش این عدم پیوستگی را تایید می‌کند. برای بررسی بیشتر و تبیین این موضوع آزمایش‌های ایزوتوپی و سال‌سنجی می‌تواند راهگشا باشد.

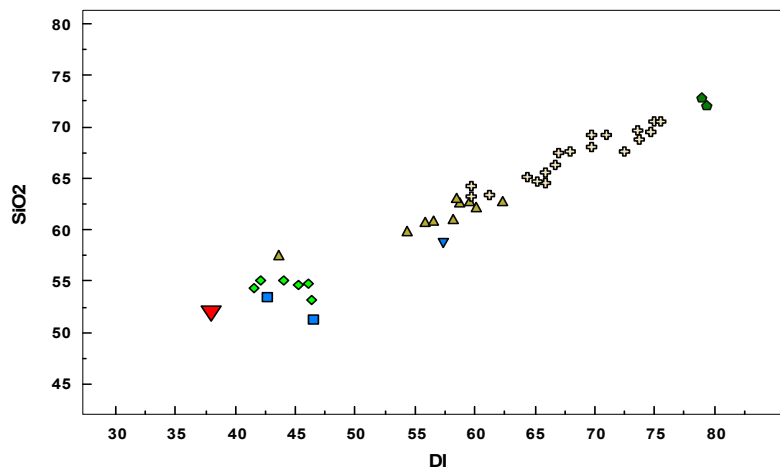


شکل ۲۴ نمودار AFM * $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{MgO} - \text{FeO}$; (Irvine & Baragar, 1971) [۱۳].

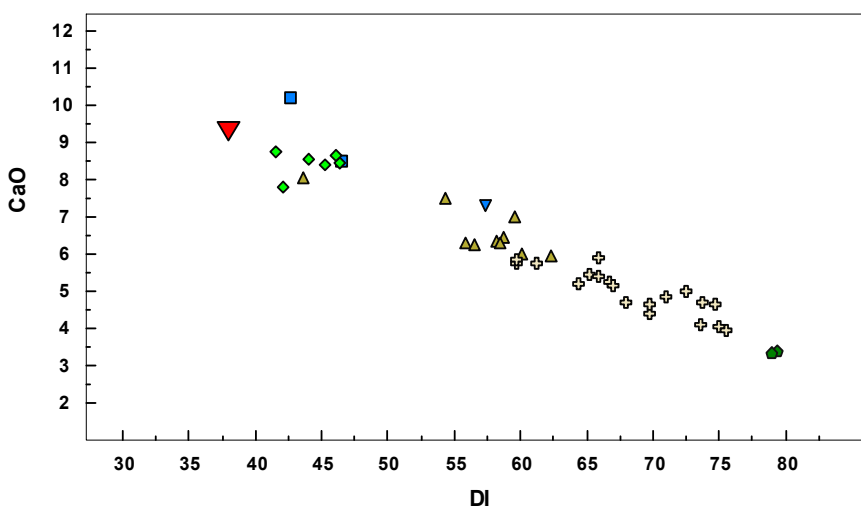


شکل ۲۵ نمودار K_2O نسبت به سیلیس (Peccerillo and Taylor, 1976) [۱۴].

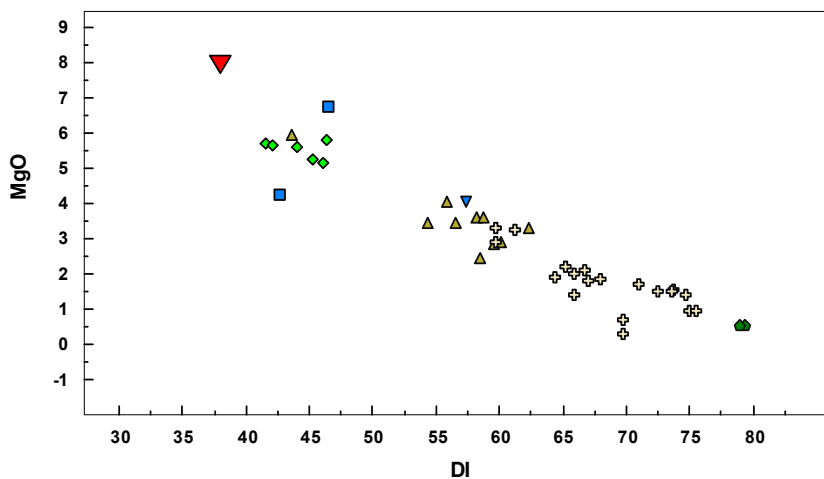
1 - Tuttle & Thornton (1960); $DI = Qz + Or + Ab + Ne + Ks + Ls$



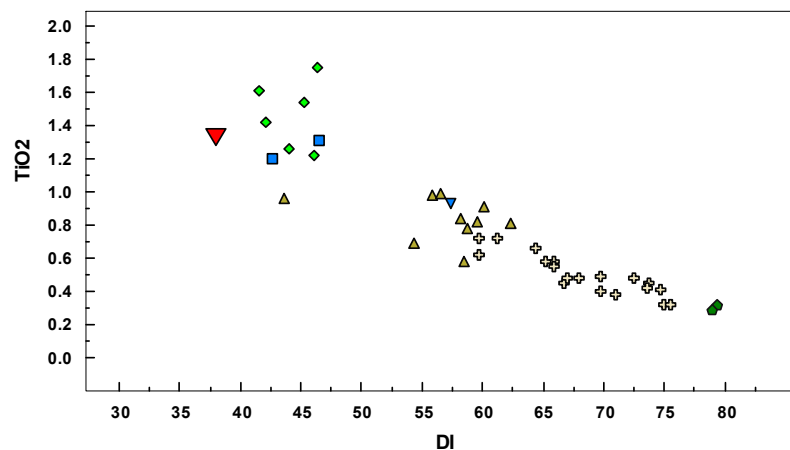
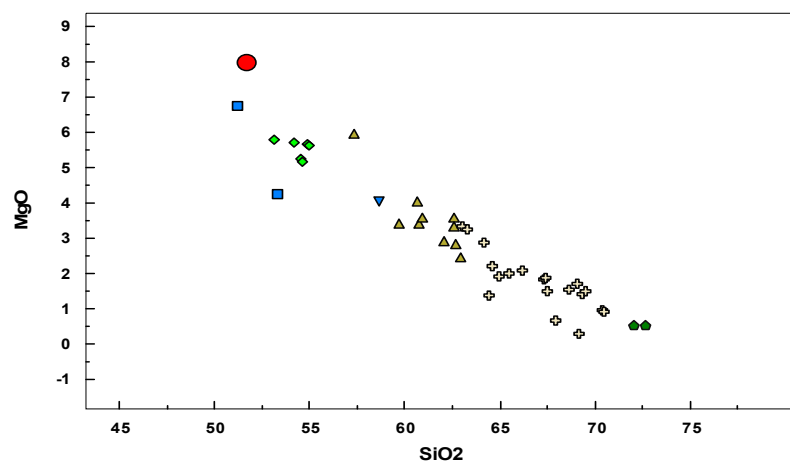
شکل ۲۶ نمودار تغییرات سیلیس نسبت به شاخص تفریق (Tuttle & Thornton, 1960) (در تصاویر ۲۶ تا ۲۹ از نماد ▼ برای نشان دادن جایگاه بازالت شبه قلیایی استفاده شده است).



شکل ۲۷ نمودار تغییرات CaO نسبت به شاخص تفریق.



شکل ۲۸ نمودار تغییرات MgO نسبت به شاخص تفریق.

شکل ۲۹ نمودار تغییرات TiO_2 نسبت به شاخص تفریق.

شکل ۳۰ نمودار تغییرات MgO نسبت به سیلیس (Harker, 1909). ● - بازالت شبه قلیایی.

برداشت

سنگ‌های آتشفشانی منطقه را آندزیت، داسیت و ریولیت تشکیل می‌دهند، گرچه ریولیت‌ها از فراوانی محدودی برخوردارند و در مقابل داسیت‌ها و آندزیت‌ها گسترش قابل توجهی دارند. طیف دوم سنگ‌های آذرین خروجی منطقه را آندزیت‌های بازالتی و به صورت محدود بازالت تشکیل می‌دهند. تمایل ژئوشیمیایی عمومی همه‌ی این سنگ‌ها آهکی-قلیایی بوده گرچه معدودی از ترکیب‌های حدواسط و بازی به مجموعه‌های قلیایی تمایل داشته و بنموریت و موژه آریت نامگذاری شده‌اند. با توجه به ماهیت غنی از کلسیم تمامی سنگ‌های مورد بررسی و فراوانی فنوکریست ارتوپروکسن، سرشت اصلی سنگ‌های آتشفشانی منطقه شمال شرق بیرجند آهکی-قلیایی بوده و بروز ماهیت قلیایی ممکن است معلول

نوعی فرایند ثانویه مانند آلیش پوسته‌ای باشد. در این سنگ‌ها الیوین عموماً از نوع کریزولیت، پیروکسن در بازالت‌ها دیوپسید، در آندزیت‌های بازالتی اوژیت، و در آندزیت‌ها انستاتیت است. حضور کلسیم در ساختار انستاتیت باعث شد تا این کانی در نمودار رده‌بندی پیروکسن‌ها کلینوانستاتیت نامگذاری شود، گرچه ویژگی‌های نوری ارتوپروکسن را داراست. کلسیم در ساختار آمفیبول‌ها نیز اثرگذار بوده و این کانی‌ها از نوع منیزیوهورنبلند تا چرماکیت هورنبلندند. شکل‌های بدست آمده از بررسی محتوی کاتیونی کانی‌ها نشانگر نوسان‌های فراوانی آهن و منیزیم در الیوین‌ها، ارتوپروکسن‌ها و آمفیبول‌ها و کلسیم و آهن در کلینوپروکسن هستند. بررسی پاراژنز هورنبلند - پلاژیوکلاز دمای تبلور تعادلی این فازها در نمونه‌ی داسیتی را ۸۲۳ تا ۸۶۲ درجه‌ی سانتیگراد بین پنج تا صفر

[6] Tirrul R., Bell I. R., Griffis R. J., Camp V. E., "The Sistan suture zone of eastern Iran", Geological Soc. Of America. Bul. V. 94. (1989) pp. 134 -150.

[7] Ohanian T., Tatavoosian Sh., "Geological map of Birjand, sheet No. 7855, Scale 1 : 100000", Geological survey of Iran , 1975, final reserVISION : Eftekharneshad, 1986.

[۸] اله پور ا.، "بررسی پتروژنز و ژئوشیمی ولکانیسم ترشیری شمال بیرجند با نگرشی بر توان کانسارزائی آن"، پایان نامه کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشگاه شهید بهشتی (۱۳۷۵).

[9] Le Maitre R. W., "A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms", Blackwell. Oxford, (1989) 193 pp.,.

[10] Holland T., Blundy J., "Non- ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry", Contributions to Mineralogy and Petrology, 116, (1994) 433-447.

[11] Thornton C. P., Tuttle O.F., "Chemistry of igneous rocks", 1. Differentiation index. Am. Jour.. Sa. No. 258, (1960) p. 665 – 684.

[12] Harker A., "The natural history of igneous rocks", Methuen, London (1909).

[13] Irvine T.W., Baragar W.R.A., "A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks", Canadian journal of Earth sciences, Vol. 8, (1971) pp. 523 -548.

[14] Peccerillo A., Taylor S.R., "Geochemistry of Eocene Calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area", Northern Turkey . Contributions to Mineralogy and Petrology 58, (1976) 63 -81.

[۱۵] اله پور ا.، "پتروژنز و ارزیابی رابطه ژنتیک ولکانیکهای ترشیری و بازالت‌های جوان منطقه شمالشرق بیرجند"، رساله دکتری پترولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، (۱۳۹۰).

کیلو بار فشار نشان می‌دهد. بررسی نمودارهای اکسیدهای اصلی نسبت به شاخص جدایش و نیز مقابله اکسیدهای اصلی، نشانگر عدم پیوستگی و وجود گسستگی بین طیف آندزیت بازالتی - بازالت و سنگ‌های مورد بررسی دیگر است که ممکن است نتیجه‌ی تفاوت در چگونگی تشکیل، محیط تشکیل، سن و یا تلفیقی از تمامی این موارد باشد [۱۵]. آزمایش‌های ایزوتوپی و سال‌سنجی می‌تواند این موضوع را روشن کند.

قدردانی

لازم می‌دانیم از پروفیسور دکتر Thomas Fehr استاد کانی-شناسی دانشگاه ماکسیمیلیان مونیخ برای مساعدت ایشان برای انجام آنالیز ریز پردازشی که در تهیه بیشتر آنالیزها مشارکت مستقیم نیز داشته‌اند و پروفیسور دکتر Jorg Erzinger که امکان آنالیز XRF را در پژوهشگاه علوم زمین پتسدام فراهم آورده‌اند، سپاسگزاری نمایم.

مراجع

[۱] اله پور ا، وثوقی عابدینی م، امامی م. ه.، "ژئوشیمی و پترولوژی سنگهای آذرین خروجی ترشیری منطقه بیرجند"، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان، جلد بیستم، شماره ۲ (۱۳۸۳)، ص ۱۲۱ - ۱۳۸

[۲] یوسف زاده م. ح.، "پتروگرافی، ژئوشیمی و پتروژنز سنگهای آتشفشانی ترشیری منطقه بیرجند - خوسف با نگرشی ویژه بر آنکلاوهای موجود در آن"، رساله دکتری پترولوژی دانشگاه شهید بهشتی (۱۳۸۸).

[۳] عمرانی ج.، نظری ح.، "نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ سرچاه"، سازمان زمین شناسی ایران (۸۲-۱۳۸۱).

[4] Holland, Powell, F5 – Thermocalc – Version 3/ 22/ 2001.

[5] Camp V. E., Griffis R. J., "Character. genesis and tectonic setting of igneous rocks in Sistan suture zone", Lithos 15 , (1981) pp . 221 – 239.