بررسی روند تفریق در سنگ‌های ولکانیک بازیک منطقهٔ جنوب مرزن‌آباد براساس مدل‌های ژئوشیمیایی

فریبرز مسعودی، رقیه دوروزی*؛
دانشگاه شهید بهشتی، دانشکدهٔ علوم‌زمین

چکیده

در دامنهٔ شمالی البرز مرکزی، در جنوب مرزن‌آباد سنگ‌های ولکانیک بازیکی برونزد دارند که منتسب به زمان کرتاسه هستند. در این تحقیق، فرایندهای مؤثر بر تکوین و تکامل این سنگ‌های ولکانیکی به‌منظور درک بهتر فرایند ماگماتیسم مزوزوئیک در البرز مرکزی بررسی شده است. با توجه به بررسی‌های پتروگرافی و ژئوشیمیایی، سنگ‌های مذکور را می‌توان به دو دسته کلی بازالت و آندزیت بازالت تقسیم کرد. براساس نمودارهای ژئوشیمیایی، ماگمای سنگ‌های بازالتی جنوب مرزن‌آباد ماهیت آلکالن دارد و در محیط کششی درون قاره‌ای تشکیل شده است. بررسی‌های میکروسکوپی، بررسی‌های ترکیب شیمیایی کانی‌ها و روندهای مشاهده شده در نمودارهای ژئوشیمیایی سنگ کل، همگی تأیید کنندهٔ رخداد تبلور تفریقی است، به‌طوری که تبلور کانی‌های الیوین و کلینوپیروکسن و به‌مقدار کم‌تر پلاژیوکلاز در بازالت‌ها و کانی‌های کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز در آندزیت بازالت‌ها به‌وقوع پیوسته است. علاوه بر شواهد پتروگرافی، کانی‌شناسی و شیمیایی، فرایند تفریق با مدل‌های ژئوشیمیایی تأیید و کیفیت این تفریق با نرم‌افزار Melts بازسازی شد. بر پایهٔ مدل‌سازی تفریق بلورین در سنگ‌های بازیک جنوب مرزن‌آباد، سنگ‌های بازالتی در طی تبلور تفریقی حدود ۳۰ درصدی ماگمای اولیه تشکیل شده‌اند. سنگ‌های آندزیت بازالتی نیز می‌توانند پس از بازالت‌ها، از ماگمای مشابه پس از تبلور تفریقی نزدیک به ۵۰ درصدی تشکیل شده باشند. پژوهش‌های ترموبارومتری الیوین نیز تأیید کننده صحت داده‌های به‌دست آمده با نرم‌افزار Melts است.

مقدمه

در روند تشکیل سنگ‌های ولکانیک یا پلوتونیک عوامل مختلف و مؤثری دخیلند. سنگ‌هایی که در مناطق مختلف تکتونیکی بررسی می‌شوند، می‌توانند از یک منشأ یک‌سان تشکیل شده باشند و یا این‌که از منابع ماگمایی متفاوتی سرچشمه گرفته باشند. طی تشکیل سنگ‌ها عوامل مختلفی در تکوین و تشکیل آن‌ها نقش دارند. این عوامل باعث پیش‌برد و تکامل فرایندهای ماگمایی و تشکیل نهایی سنگ‌ها می‌شوند. فرایندهایی از جمله تفریق بلورین، اختلاط ماگمایی، آلایش با سنگ‌های دیواره و یا پوستهٔ زمین از جمله فرایندهای مؤثر و مهم در روند

واژه‌های کلیدی: بازالت، مرزن‌آباد، تبلور تفریقی، مدل‌سازی، نرم‌افزار Melts، ترموبارومتری
دریافت ۹۲/۲/۲۰ پذیرش ۹۲/۸/۲۵
***نویسنده مسئول** r.doroozi220@gmail.com

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

تکوین و تکامل ماگماها هستند [۱]، [۲]، [۳]، [۴]، [۵]، [۶]، [۷]، [۸]. یکی از اهداف اصلی علم پترولوژی تشخیص فرایندهای حاکم بر ماگماتیسم و چگونگی تکوین ماگما است. حل این مسائل می‌تواند کلید بسیار مهمی برای درک روند تکوین و تشکیل سنگ‌ها و سیستم‌های زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی باشد [۱]، [۲]. سنگ‌های ولکانیکی بازالتی و آندزیت بازالتی جنوب مرزن‌آباد واقع در یال شمالی البرز مرکزی در مقالهٔ حاضر بررسی شده‌اند (شکل۱). در این مقاله براساس شواهد میکروسکوپی، داده‌های عناصر اصلی و فرعی و مدل‌های ژئوشیمیایی، فرایند اصلی حاکم بر ماگماتیسم و نحوهٔ تکوین سنگ‌های آتشفشانی مزوزوئیک البرز بررسی شده است. در این راستا علاوه بر بررسی و مطالعهٔ مقاطع نازک میکروسکوپی و نمودارهای متداول ژئوشیمیایی، کیفیت فرایند ماگمایی با نرم‌افزار Melts مدل‌سازی و بازسازی شده است.

زمین‌شناسی منطقه

قدیمی‌ترین سنگ‌های مشاهده شده در یال شمالی البرز مرکزی مربوط به سازند کهار است. این سنگ‌ها شامل سیلت‌ها و شیل‌های کمی دگرگون شده‌اند که دولومیت‌های سازند سلطانیه بر روی آن‌ها قرار می‌گیرند [۹]. سنگ‌های پالئوزوئیک شامل آهک‌های سیاه‌رنگ سازند مبارک است که در جنوب مرزن‌آباد برونزد دارند. هم‌چنین برونزدهایی از دولومیت‌های سازند روته و دولومیت‌های ستبر سازند الیکا نیز در شمال منطقه بررسی شده دیده می‌شود. سازند شمشک نیز به‌طور چشمگیری در منطقهٔ بررسی شده برونزد دارد. این سازند سنگ‌های قدیمی‌تر از جمله سنگ‌های منتسب به پرکامبرین و تریاس را با دگرشیبی زاویه‌دار می‌پوشاند [۹].

در سال ۱۹۷۱ کارتیر مجموعه‌ای از رسوبات کربناته کرتاسه همراه با سنگ‌های ولکانیکی را در شمال مرزن‌آباد با نام سازند چالوس معرفی کرد که این سازند رسوبات ژوراسیک بالایی را می‌پوشاند. کارتیر [۹] پنج بخش برای این سازند در نظر گرفت. بخش اول که شامل سنگ‌های ولکانیکی بازیک است و در زیر آهک‌های اوربیتولین‌دار سازند تیزکوه قرار می‌گیرد. سنگ‌های ولکانیکی که در بالای سازند تیزکوه قرار می‌گیرند به‌عنوان بخش سوم و پنجم سازند چالوس در نظر گرفته شدند [۹]. برای اولین بار در سال ۱۹۷۱ کارتیر سن کرتاسه را برای این مجموعه رسوبی ولکانیکی معرفی کرد.

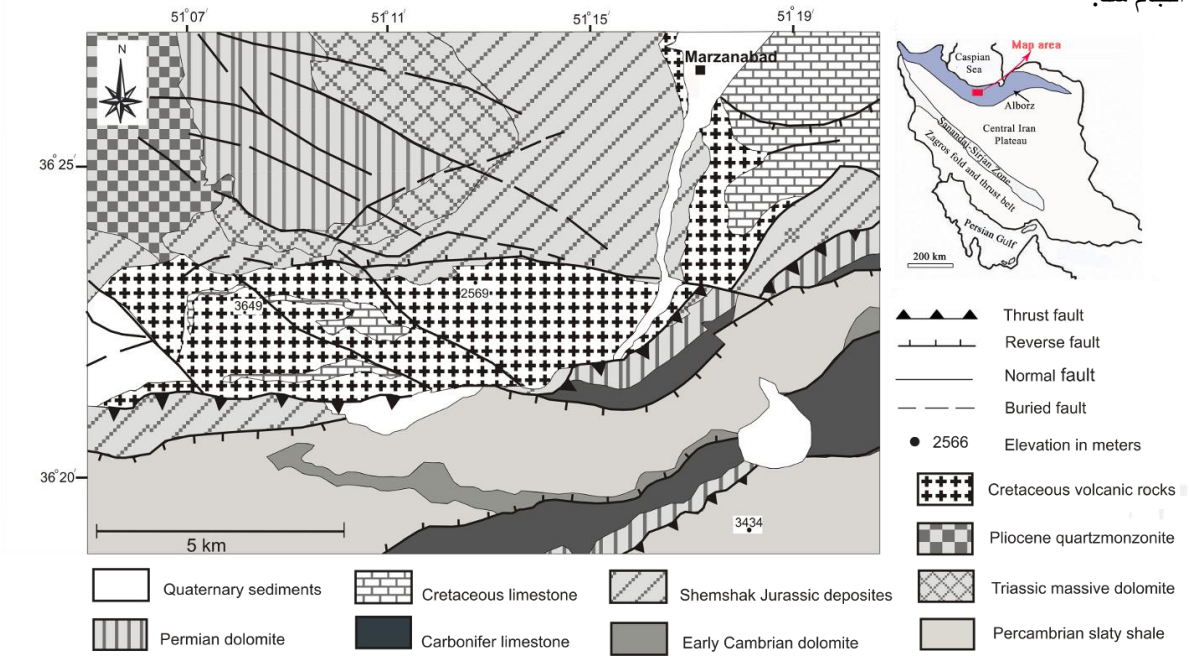
آقازاده [۱۰] پترولوژی سنگ‌های آذرین کرتاسه ناحیهٔ جنوب چالوس را بررسی کرده و وجود سیستم ریفت کششی درون قاره‌ای در زمان کرتاسه را مسبب بالا آمدن ماگما از منشأ، از طریق شکستگی‌های عمیق پوسته زمین دانسته است. هم‌چنین منشأ ماگمای مادر سنگ‌های آذرین کرتاسه را در جنوب چالوس حاصل ذوب گوشته غنی‌شده در درجات ذوب‌بخشی کم ذکر کرده است.

سنگ‌های مربوط به زمان ائوسن و پالئوسن در کوهای البرز به وفور برونزد دارند ولی در منطقهٔ مرزن‌آباد رخنمون چندانی ندارند. در شمال‌غربی منطقه برونزدی از تودهٔ کوارتز مونزونیتی مربوط به زمان پلیوسن دیده می‌شود. ماسه سنگ‌های آهکی، مارن‌های میوسن همراه با تراس‌هاس آبرفتی از جمله رسوبات دوران سنوزوئیک و کواترنری هستند که در منطقهٔ بررسی شده دیده می‌شوند [۱۱].

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

روش انجام پژوهش

در ابتدای پژوهش، سعی شد که نمونه‌برداری کاملی از سنگ‌های بازیک جنوب مرزن‌آباد انجام شود. از میان نمونه‌های برداشت شده، تعداد ۷۰ مقطع نازک تهیه شد. پس از بررسی‌های سنگ‌شناسی و پتروگرافی سالم‌ترین نمونه‌های سنگی برای انجام آنالیزهای شیمیایی انتخاب شدند. اکسیدهای عناصر اصلی و فرعی ۳۰ نمونه به‌روش XRF در آزمایشگاه دانشکدهٔ علوم زمین دانشگاه فرارا[۱] در کشور ایتالیا با دستگاه اسپکترومتر فیلیپس[۲] PW۱۴۰۰ تجزیه شد. آنالیز کانی‌شناسی مقاطع میکروسکوپی انتخابی نیز با روش آنالیز نقطه‌ای با دستگاه کمراکمباکس[۳] (مجهز به سه اسپکترومتر پراش دهندهٔ امواج) با ولتاژ ۱۵ کیلو ولت، جریان ۱۵ نانوآمپر و استفاده از سیلیکات‌های طبیعی و اکسیدها به‌عنوان استاندارد، در دانشگاه علوم‌زمین شهرپادوا[۴] در کشورایتالیا انجام شد.



شکل ۱ـ نقشهٔ زمین‌شناسی منطقهٔ بررسی شده، اقتباس با تغییر از [۱۱]

پتروگرافی

براساس بررسی‌های پتروگرافی سنگ‌های ولکانیکی جنوب مرزن‌آباد را می‌توان به دو گروه کلی بازالت‌ها و آندزیت‌های بازالتی تقسیم کرد. سنگ‌های بازالتی در نمونهٔ دستی به‌رنگ خاکستری تیره تا سبز تیره دیده می‌شوند و ساخت‌های توده‌ای و پورفیریک را نشان می‌دهند. این سنگ‌ها به‌صورت عمده شامل دو زیر گروه بازالت‌های الیوین‌دار و بازالت‌های فاقد الیوین هستند. در این سنگ‌ها فنوکریست‌ها حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد حجمی سنگ را تشکیل می‌دهند. الیوین بازالت‌ها دارای فنوکریست‌های الیوین و کلینوپیروکسن و به‌مقدار کم‌تر پلاژیوکلاز در خمیره‌ای متشکل از پیروکسن، پلاژیوکلاز و به‌ندرت الیوین هستند و به‌صورت غالب بافت پورفیریک

۱. Ferrara ۲. Philips PW 1400 ۳. Cameca-Camebax ۴. Padova

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

دارند (شکل ۲ a, b). کلینوپیروکسن‌ها حدود ۷۰ درصد فنوکریست‌ها را تشکیل می‌دهند و کانی الیوین نیز حدود ۳۰ درصد این مقدار را شامل می‌شود. اندازه فنوکریست‌های کلینوپیروکسن و الیوین در این سنگ‌ها تا ۱ میلی‌متر در تغییر است. این در حالی است که سنگ‌های بازالتی فنوکریست‌های پیروکسن و پلاژیوکلاز در خمیره‌ای متشکل از پیروکسن و پلاژیوکلاز دارند. بافت غالب مشاهده شده در بازالت‌ها پورفیریک و گاهی گلومروپورفیریک است. کلینوپیروکسن‌ها حدود ۶۰ درصد حجمی فنوکریست‌ها را در این گروه سنگی تشکیل می‌دهند و اندازهٔ آن‌ها نیز تا حدود ۱/۵ میلی‌متر است. پلاژیوکلازها نیز حدود ۴۰ درصد حجمی سنگ را تشکیل می‌دهند و تا اندازهای ۱ میلی‌متر مشاهده می‌شوند. اکثر الیوین‌ها در سنگ‌های الیوین بازالتی به ایدینگزیت، کلریت و اکسیدهای آهن تبدیل شده‌اند و به‌ندرت می‌توان الیوین سالمی در آن‌ها مشاهده کرد. تبدیل‌شدگی به کانی‌های ثانویه‌ای از جمله سریسیت و کربنات در پلاژیوکلازهای سنگ‌های الیوین بازالتی و بازالتی متداول است.

گروه سنگی آندزیت‌های بازالتی در صحرا ساخت‌های توده‌ای، پورفیری (شکل۲ e) و به‌ندرت آمیگدالوئیدی (شکل ۲ f) را نشان می‌دهند. فنوکریست‌ها حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد حجمی آندزیت‌های بازالتی را تشکیل می‌دهند. بافت‌های متنوعی مانند پورفیریک با خمیره میکرولیتی یا ریزدانه در این سنگ‌ها مشاهده می‌شود و دارای فنوکریست‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن و گاهی آمفیبول در خمیره‌ای متشکل از پلاژیوکلاز و پیروکسن هستند (شکل ۲ c, d). پلاژیوکلازها حدود ۶۰ درصد حجمی، کلینوپیروکسن‌ها حدود ۳۵ درصد حجمی و آمفیبول حدود ۵ درصد حجمی فنوکریست‌ها را در گروه سنگی آندزیت بازالتی تشکیل می‌دهند. در برخی از نمونه‌ها مگاکریست‌هایی از پلاژیوکلاز دیده می‌شود که اندازه آن‌ها تا ۲ سانتی‌متر نیز می‌رسد. تبدیل برخی از پلاژیوکلازهای این سنگ‌ها، به کانی‌های ثانویه از جمله سریسیت، کربنات و کلریت نیز دیده می‌شود.

شیمی کانی‌ها

۱. الیوین

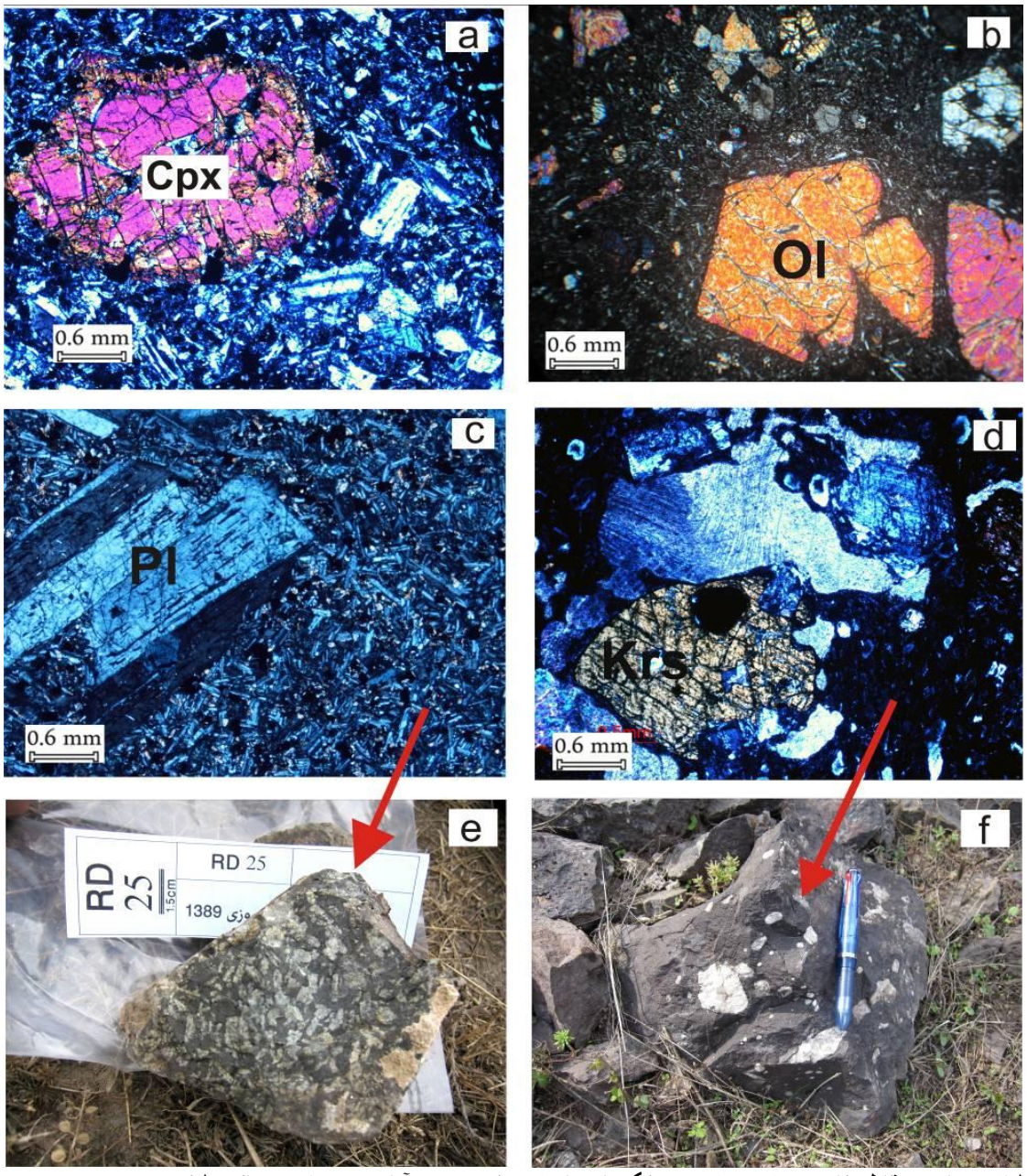
این کانی در سنگ‌های الیوین بازالتی مشاهده می‌شود و منطقه‌بندی عادی دارد. هسته الیوین‌ها مقادیر زیادی MgO و مقادیر کم FeO، CaO و MnO دارد که می‌تواند نمایانگر رخداد تبلور تفریقی در مذاب پدیدآورندهٔ این کانی‌ها باشد. ترکیب شیمیایی الیوین‌ها در مرکز $Fo_{۷۱-۸۶}$ و در حاشیهٔ $Fo_{۶۷-۸۱}$ است که با منطقه‌بندی عادی در الیوین‌ها هم‌خوانی دارد (جدول ۱).

۲. کلینوپیروکسن

کلینوپیروکسن اصلی‌ترین کانی تشکیل دهندهٔ در سنگ‌های بررسی شده است. پیروکسن‌ها منطقه‌بندی عادی دارند. در مقایسهٔ مرکز و حاشیهٔ بلور، مرکز غنی‌شده از اکسیدهای MgO، $SiO_۲$ و $Cr_۲O_۳$ و تهی‌شده از FeO، $TiO_۲$، $Al_۲O_۳$، CaO و MnO است. این الگوی توزیع عناصر، با تبلور تفریقی عادی قابل تفسیر است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

ترکیب کلی پیروکسن‌ها شامل دیوپسید است و ترکیب آن‌ها در سنگ‌های بازالتی از $Wo_{47/9}Fs_{4/5}En_{47/6}$ تا $Wo_{49/8}Fs_{12/6}En_{37/6}$ و در سنگ‌های آندزیت بازالت از $Wo_{44/8}Fs_{10/7}En_{44/5}$ تا $Wo_{49/5}Fs_{13/6}En_{36/9}$ متغیر است. ترکیب پیروکسن‌ها در خمیرهٔ مشابه ترکیب حواشی پیروکسن‌های فنوکریست‌ها است ولی مقادیر بیش‌تری از SiO_2 و FeO دارند (جدول ۲).



شکل۲. تصاویر مقاطع نازک میکروسکوپی سنگ‌های بازیک جنوب مرزن‌آباد به‌همراه a) کانی کلینوپیروکسن (Cpx) در نمونهٔ بازالتی، b) کانی الیوین (Ol) در نمونهٔ الیوین بازالتی، c) کانی پلاژیوکلاز (Pl) در نمونهٔ تراکی آندزیت بازالت، d) کانی کرسوتیت (Krs) در نمونهٔ تراکی آندزیت بازالت در حالت xpl، e) نمایی از نمونهٔ دستی سنگ تراکی آندزیت بازالتی با ساخت پورفیری، f) نمایی از نمونهٔ دستی سنگ تراکی آندزیت بازالتی با ساخت حفره‌ای علایم اختصاری نام کانی‌ها از [۱۲] اقتباس شده است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

جدول۱. منتخب تجزیهٔ شیمیایی الیوین در سنگ‌های ولکانیکی بازیک جنوب مرزن‌آباد (محاسبات بر پایه ۴ اکسیژن)

	RD-۱ حاشیه	RD۷-۲ مرکز	مرکز RD۷-۳	RD۱۵۰-a۱ مرکز	RD۱۵۰-a۲ حاشیه	RD۱۵۰-b۱ مرکز	RD۱۵۰-b۲ مرکز	RD۱۵۰b-۳ حاشیه
SiO_2	۳۷/۲۱	۳۹/۹۵	۳۹/۳۹	٤۰/۲٤	۳۹/۸٦	٤۰/۰۱	٤۰/۲۷	۳۹/۵۱
TiO_2	۰/۰٤	۰/۰۳	۰/۰٤	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۱
Al_2O_3	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰٤	۰/۱٦	۰/۱۰	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰٦
Cr_2O_3	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰٤	۰/۱۰
FeO	۲۵/۵۰	۱۵/۰۰	۱۵/۱۲	۱۵/٤۸	۱۷/۰٤	۱۳/۲۷	۱۲/٤٤	۱۳/٦٤
MnO	۰/۵	۰/۲۲	۰/۲٦	۰/۲۰	۰/۲۸	۰/۱۵	۰/۲۱	۰/۱۹
MgO	۳٦/٦۹	٤۵/٤٤	٤۵/۷٦	٤٤/۰۰	٤۲/۵۳	٤٦/۵٦	٤۷/٤۱	٤٦/۳۵
CaO	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۲٦	۰/٤۱	۰/٤۵	۰/۲۷	۰/۲۵	۰/۲۸
Na_2O	۰/۰٤	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲
Total	۱۰۰/۳۲	۱۰۰/۹۷	۱۰۰/۸۹	۱۰۰/٦۳	۱۰۰/۳۰	۱۰۰/۳۸	۱۰۰/٦۷	۱۰۰/۱۷
Si	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۸	۱/۰۱	۱/۰۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
Ti	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Al	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Cr	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Fe۲+	۰/۵٦	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۳٦	۰/۲۸	۰/۲٦	۰/۲۸
Mn	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Mg	۱/٤٤	۱/٦۸	۱/۷۰	۱/٦٤	۱/٦۰	۱/۷۲	۱/۷٤	۱/۷۲
Ca	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
Ni	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Total	۳/۰۱	۳/۰۰	۳/۰۱	۲/۹۹	۲/۹۹	۳/۰۱	۳/۰۱	۳/۰۱
Fo	۷۱/۵۵	۸٤/۱۸	۸٤/۱٤	۸۳/۳٤	۸۱/٤۰	۸٦/۰۸	۸٦/۹۸	۸۵/٦٦
Fa	۲۷/۹۰	۱۵/۵۹	۱۵/٦۰	۱٦/٤۵	۱۸/۲۹	۱۳/۷٦	۱۲/۸۰	۱٤/۱٤
Mg#	۷۱/۹۵	۸٤/۳۸	۸٤/۳٦	۸۳/۵۱	۸۱/٦۵	۸٦/۲۲	۸۷/۱۷	۸٤/۸٤

۳. پلاژیوکلاز

ترکیب پلاژیوکلازها در نمودار سه‌تایی فلدسپارها نمایانگر طیف گسترده‌ای از آندزین تا بیتونیت است. پلاژیوکلازها نیز منطقه‌بندی عادی نشان می‌دهند، در این کانی‌ها از حاشیهٔ به‌سمت مرکز میزان Na_2O وK_2O افزایش و CaO کاهش می‌یابد. ترکیب پلاژیوکلازها در بازالت‌ها و الیوین بازالت‌ها در حدود ($Ab_{۱۳/۲}An_{۸٦/۰۹}Or_{۰/۱٦}$) تا ($Ab_{٤۷/۳۵}An_{٤۹/۷۱}Or_{۲/۹۳}$) و در آندزیت بازالت‌ها از($Ab_{۳٦/٦۷}An_{٦۱/۰٤}Or_{۲/۲۷}$) تا ($Ab_{۵۵/۵٦}An_{۳۹/۸٦}Or_{٤/۵۷}$) تا متغیر است. این ترکیبات بیانگر رخداد تبلور تفریقی عادی در پلاژیوکلازهای سنگ‌های بازالتی و آندزیت بازالتی است (جدول ۳).

۴. آمفیبول

این کانی در سنگ‌های آندزیت بازالت مشاهده می‌شود. براساس طبقه بندی آمفیبول‌ها [۱۳] این کانی‌ها دارای ترکیب پارگازیت و فرو پارگازیت هستند و به‌علت داشتن Ti (apfu)>۰/۵ ترکیب کرسوتیت را ارائه می‌دهند [۱۳] (جدول ۴).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

جدول۲. منتخب تجزیهٔ شیمیایی کلینوپیروکسن در سنگ‌های ولکانیکی بازیک جنوب مرزن‌آباد (محاسبات بر پایهٔ۶ اکسیژن)

	تراکی آندزیت بازالت	تراکی آندزیت بازالت	بازالت	بازالت	بازالت	بازالت	بازالت	بازالت
	RD۱۰۷ حاشیه	RD۱۰۷ مرکز	RD۱۵۰ حاشیه	RD۱۵۰ مرکز	RD۲۹ حاشیه	RD۲۹ مرکز	CA۵۳ مرکز	CA۵۳ حاشیه
SiO_2	٤٦/٨٨	٤٩/٩٩	٤٩/٩٦	٤٩/٠١	٤٨/٥٧	٤٩/٥٢	٤٥/٨٣	٤٦/٣٥
TiO_2	٣/٤٤	١/٩١	١/٨٩	١/٩٥	٠/٧٧	١/٣٢	٢/٤٤	٢/٦٣
Al_2O_3	٥/٥٦	٢/٢٦	٢/٦٤	٤/٤٩	٦/٤١	٣/٨٤	٨/٢٨	٦/٠٨
Cr_2O_3	٠/٠٤	٠/٠٣	٠/٠٠	٠/١١	٠/٧٤	٠/٠٠	٠/٧٩	٠/٣٥
FeO	٩/٦٣	١٠/٩٥	١٠/٢٤	٧/٢١	٥/٩٤	٧/٩٤	٦/٠٠	٦/٦٦
MnO	٠/١٩	٠/٢٠	٠/١٨	٠/١٧	٠/١٤	٠/١٦	٠/١٠	٠/١٣
MgO	١١/٧٥	١٢/٣٧	١٢/٤٦	١٤/٠٥	١٥/٠٩	١٤/٥٠	١٣/١٩	١٢/٩٣
CaO	٢١/٩٧	٢١/٧٤	٢٢/٠٨	٢٢/٣٧	٢١/١٦	٢١/٨٧	٢٢/٠٨	٢٢/٣٢
Na_2O	٠/٤٦	٠/٣٨	٠/٤٥	٠/٤٠	٠/٤٥	٠/٢٨	٠/٥٩	٠/٥٢
K_2O	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠١	٠/٠٠
Total	٩٩/٩٦	٩٩/٨٤	٩٩/٨٩	٩٩/٧٧	٩٩/٢٨	٩٩/٤٤	٩٩/٢٩	٩٧/٩٧
Si	١/٧٦	١/٨٩	١/٨٨	١/٨٢	١/٧٩	١/٨٤	١/٧٠	١/٧٥
Ti	٠/١٠	٠/٠٥	٠/٠٥	٠/٠٥	٠/٠٢	٠/٠٤	٠/٠٧	٠/٠٧
Al	٠/٢٥	٠/١٠	٠/١٢	٠/٢٠	٠/٢٨	٠/١٧	٠/٣٦	٠/٢٧
Cr	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٢	٠/٠٠	٠/٠٢	٠/٠١
Fe^{3+}	٠/٠٦	٠/٠٤	٠/٠٥	٠/٠٨	٠/١٠	٠/٠٩	٠/١١	٠/١٠
Fe^{2+}	٠/٢٤	٠/٣٠	٠/٢٧	٠/١٤	٠/٠٨	٠/١٦	٠/٠٧	٠/١١
Mn	٠/٠١	٠/٠١	٠/٠١	٠/٠١	٠/٠٠	٠/٠١	٠/٠٠	٠/٠٠
Mg	٠/٦٦	٠/٧٠	٠/٧٠	٠/٧٨	٠/٨٣	٠/٨١	٠/٧٣	٠/٧٣
Ca	٠/٨٩	٠/٨٨	٠/٨٩	٠/٨٩	٠/٨٤	٠/٨٧	٠/٨٨	٠/٩١
Na	٠/٠٣	٠/٠٣	٠/٠٣	٠/٠٣	٠/٠٣	٠/٠٢	٠/٠٤	٠٤/٠
K	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠
Total	٤/٠٠	٤/٠٠	٤/٠٠	٤/٠٠	٤/٠٠	٤/٠٠	٤/٠٠	٤/٠٠
Mg#	٧٣/٠٣	٦٨/١١	٧١/٤٧	٨٤/٤٧	٩١/٣٤	٨٣/٥٦	٩٠/٨٦	٨٦/٤٨
Wel	٠/٤٧	٠/٤٨	٠/٤٩	٠/٤٨	٠/٤٨	٠/٥١	٠/٥٢	٠/٥٢
Fs	٠/١٦	٠/١٥	٠/٠٨	٠/١٠	٠/٠٩	٠/٠٦	٠/٠٧	٠/٠٦
En	٠/٣٧	٠/٣٨	٠/٤٣	٠/٤٢	٠/٤٤	٠/٤٣	٠/٤٢	٠/٤٢

ژئوشیمی ماگمای سنگ‌های بازیک جنوب مرزن‌آباد

براساس نمودار ژئوشیمیایی TAS (شکل ۳ a) سنگ‌های مرزن‌آباد شامل بازالت، تراکی بازالت و تراکی آندزیت بازالت می‌شوند. نحوهٔ قرارگیری این نمونه‌ها در نمودار TAS بیان‌گر ماهیت آلکالن ماگمای تشکیل دهندهٔ آن‌ها است. این سنگ‌ها در نمودار شکل ۳ b [۱۴] نیز نمایان‌گر ترکیبات بازالتی و آندزیت بازالتی آلکالن هستند. براساس نحوهٔ قرارگیری نمونه‌های سنگی در نمودارهای فوق و برای سهولت در امر مطالعه و بررسی، این سنگ‌ها به دو گروه کلی بازالت و تراکی آندزیت بازالت تقسیم شدند. در نمودارهای تکتونیکی از جمله [۱۵] و [۱۶] تمامی نمونه‌ها در جایگاه بازالت‌های درون صفحه‌ای مرتبط با فرایند ریفتینگ و کافت‌زایی قرار می‌گیرند (شکل ۴، جدول ۵).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

جدول۳. منتخب تجزیهٔ شیمیایی پلاژیوکلاز در سنگ‌های ولکانیکی بازیک جنوب مرزن‌آباد (محاسبات بر پایهٔ ۸ اکسیژن)

	بازالت	بازالت	تراکی آندزیت بازالت	تراکی آندزیت بازالت	تراکی آندزیت بازالت	بازالت	بازالت	بازالت
	RD۲۹ مرکز	RD۲۹ حاشیه	مرکز RD۱۰۷	حاشیه RD۱۰۷	حاشیه RD۱۰۷	میانه RD۱۵۰	RD۱۵۰ حاشیه	RD۱۵۰ میانه
SiO_2	٤٥/٩٠	٥٢/٩٢	٤٥/٦٠	٥١/١٤	٥٣/١٤	٤٨/٦٩	٥٤/٨٤	٤٨/٦٩
TiO_2	٠/٠٢	٠/١٥	٠/٠٢	٠/١٥	٠/١٥	٠/٠٨	٠/١٥	٠/٠٨
Al_2O_3	٣٣/٨٠	٢٨/٧١	٣٣/٦٧	٢٩/٨٦	٢٨/٣٣	٣١/٩٤	٢٨/٠١	٣١/٩٤
FeO	٠/٦٥	٠/٦٩	٠/٤٤	٠/٨٢	٠/٦٣	٠/٥٢	٠/٥٣	٠/٥٢
MgO	٠/٠٧	٠/١٦	٠/٠٥	٠/١٠	٠/١١	٠/٠٦	٠/١١	٠/٠٩
CaO	١٧/٥١	١١/٦٥	١٧/٥١	١٣/٢٤	١١/٢٠	١٥/٤٩	١٠/١٢	١٥/٤٩
Na_2O	١/٥٤	٤/٦٣	١/٤٨	٣/٨٠	٢/٦٠	٥/٣٣	٢/٦٠	٤/٧٨
K_2O	٠/٠٦	٠/٣٣	٠/٠٣	٠/٢٤	٠/٥٢	٠/١٥	٠/٥٠	٠/١٥
Total	٩٩/٥٨	٩٩/١٥	٩٨/٧٨	٩٩/٢٠	٩٨/٧٠	٩٩/٤٩	٩٩/٤٠	٩٩/٤٩
Si	٢/١٣	٢/٤٢	٢/١٣	٢/٣٥	٢/٤٤	٢/٢٤	٢/٤٩	٢/٢٤
Ti	٠/٠٠	٠/٠١	٠/٠٠	٠/٠١	٠/٠١	٠/٠٠	٠/٠١	٠/٠٠
Al	١/.٨٥	١/٥٥	١/٨٥	١/٦٢	١/٥٣	١/٧٣	١/٥٠	١/٧٣
Fe^{2+}	٠/٠٣	٠/٠٣	٠/٠٢	٠/٠٣	٠/٠٢	٠/٠٢	٠/٠٢	٠/٠٢
Mg	٠/٠١	٠/٠١	٠/٠٠	٠/٠١	٠/٠١	٠/٠١	٠/٠٠	٠/٠١
Ca	٠/٨٧	٠/٥٧	٠/٨٨	٠/٦٥	٠/٥٥	٠/٧٦	٠/٤٩	٠/٧٦
Na	٠/١٤	٠/٤١	٠/١٣	٠/٣٤	٠/٤٣	٠/٢٣	٠/٤٧	٠/٢٣
K	٠/٠٠	٠/٠٢	٠/٠٠	٠/٠١	٠/٠٣	٠/٠١	٠/٠٣	٠/٠١
Total	٥/٠٢	٥/٠١	٥/٠١	٥/٠١	٥/٠١	٥/٠١	٥/٠١	٥/٠١
Ab %	١٣/٦٧	٤١/٠٠	١٣/٢٥	٣٣/٧٠	٤٢/٢٥	١٣/٠٨	٤٧/٣٥	٢٣/٠٨
An %	٨٧/٩٥	٥٧/٠٥	٨٦/٥٨	٦٤/٩١	٥٤/٧٣	٧٦/٠٥	٤٩/٧١	٧٦/٠٥
Or %	٠/٣٨	١/٩٥	٠/١٦	١/٣٨	٣/٠٢	٠/٨٧	٢/٩٤	٠/٨٧

جدول۴. منتخب تجزیه شیمیایی آمفیبول در سنگ‌های ولکانیکی بازیک جنوب مرزن‌آباد (محاسبات بر پایه ۲۲ اکسیژن)

	CA۲۴	CA۲۴	CA۲۴	CA۲۴	CA۲۴	CA۲۴	CA۲۴	CA۲۴
SiO_2	٣٩/٤٠	٣٩/٠٦	٣٨/٨٣	٣٨/٩٨	٤١/٠٦	٣٩/١٥	٤١/١٨	٣٨/٩٥
TiO_2	٦/٦٨	٦/٦٢	٦/٧٤	٦/٧٣	٦/٥٤	٦/٦٤	٦/٣٢	٦/٢٧
Al_2O_3	١٣/٦٠	١٣/٧٤	١٣/٨٨	١٣/٨٦	١٣/٣٢	١٣/٧٨	١٣/٢٩	١٣/٥١
FeO	١٢/١٨	١٢/٨١	١٢/٤٠	١٢/٦٩	١٢/٣٧	١٢/٩٨	١٢/٩٦	١٢/١٤
Mno	٠/١٨	٠/١٦	٠/١٣	٠/١٣	٠/١٧	٠/١٧	٠/١٧	٠/١٩
MgO	١١/٦٨	١١/٦١	١١/٦٤	١١/٦٢	١١/٧٦	١١/٣٠	١١/٨٥	١١/٧٦
CaO	١٠/٥٥	١٠/٤٥	١٠/٤٨	١٠/٥٣	١٠/٢٢	١٠/٥٠	١٠/٨٢	١٠/٧٣
Na_2O	٢/٥٤	٢/٥٥	٢/٥٣	٢/٥٢	٢/٥٤	٢/٥٨	٢/٥٤	٢/١٦
K_2O	١/١٣	١/١٠	١/٠٩	١/٠٨	١/٠٩	١/١٠	١/٠١	١/٠١
Total	٩٥/٧٥	٩٨/١٣	٩٧/٧٣	٩٨/١٣	٩٩/٠٩	٩٨/٢٢	٩٩/١٦	٩٦/٧٢
Si	٥/٨١	٥/٧٥	٥/٧٣	٥/٧٣	٥/٩٥	٥/٧٧	٥/٩٩	٥/٧٩
Ti	٠/٧٤	٠/٧٣	٠/٧٥	٠/٧٤	٠/٧١	٠/٧٤	٠/٦٩	٠/٧٠
Al^{IV}	٢/١٩	٢/٢٥	٢/٢٧	٢/٢٧	٢/٠٥	٢/٢٣	٢/٠١	٢/٢١
Al^{VI}	٠/١٧	٠/١٣	٠/١٤	٠/١٣	٠/٢٣	٠/١٦	٠/٢٧	٠/١٦
Fe^{3+}	٠/٢٧	٠/٤٣	٠/٣٩	٠/٤١	٠/٣٠	٠/٣٤	٠/٠٩	٠/٤٢
Fe^{2+}	١/٢٣	١/١٤	١/١٤	١/١٥	١/٢٠	١/٢٦	١/٣٧	١/٠٩
Mn	٠/٠٢	٠/٠٢	٠/٠٢	٠/٠٢	٠/٠٢	٠/٠٢	٠/٠٢	٠/٠٢
Mg	٢/٥٧	٢/٥٥	٢/٥٦	٢/٥٥	٢/٥٤	٢/٤٨	٢/٥٧	٢/٦١
Ca	١/٦٧	١/٦٥	١/٦٦	١/٦٦	١/٥٩	١/٦٦	١/٦٩	١/٧١
Na	٠/٧٣	٠/٧٣	٠/٧٢	٠/٧٢	٠/٧١	٠/٧٤	٠/٧١	٠/٦٢
K	٠/٢١	٠/٢١	٠/٢١	٠/٢٠	٠/٢٠	٠/٢١	٠/١٩	٠/١٩
Total	١٥/٣٩	١٥/٣٧	١٥/٣٨	١٥/٣٨	١٥/٣٠	١٥/٣٩	١٥/٤٠	١٥/٣٣
Mg#	٠/٦٨	٠/٦٩	٠/٦٩	٠/٦٩	٠/٦٨	٠/٦٦	٠/٦٥	٠/٧٠

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

میزان SiO_2 و MgO به‌ترتیب در این سنگ‌ها از ۴۳/۴۵ تا ۵۲/۳۶ و۲/۹۲ تا ۱۱/۸۱ درصد وزنی متغیر است، میزان عدد منیزیم [$Mg\# = 100(Mg/Mg+Fe_{total})$] نیز بین ۳۶ تا ۶۴/۶۳ تغییر می‌کند. براساس [۱۷] ماگماهای اولیه دارای عدد منیزیم بزرگ‌تر از ۶۸ و نیکل بیش‌تر از ۳۲۰ppm هستند. در سنگ‌های ولکانیکی جنوب مرزن‌آباد نمونه‌ای که می‌تواند بیش‌ترین نزدیکی به‌ترکیب اولیه را داشته باشد، دارای عدد منیزیم ۶۴/۶۳ و نیکل ۱۱۷ppm است. میزان کم نیکل در این سنگ نشان‌دهندهٔ تفریق الیوین و کلینوپیروکسن است [۶]. در این سنگ‌ها روند منفی در اکسیدهای SiO_2، Al_2O_3 و Na_2O+K_2O همراه با افزایش MgO دیده می‌شود (شکل ۵).

جدول۵. منتخب تجزیهٔ شیمیایی سنگ‌های ولکانیکی بازیک جنوب مرزن‌آباد با روش XRF.

	بازالت	بازالت	بازالت	بازالت	بازالت	بازالت	بازالت	تراکی آندزیت بازالت	تراکی آندزیت بازالت	تراکی آندزیت بازالت	تراکی آندزیت بازالت
Sample	RD۱۴	RD۱۱۴	RD۱۵۰	RD۱۰۰	RD۱۴۲	RD۲۹	RD۷	CA۲۰	RD۱۲۵	RD۱۴۰	RD۱۰۷
SiO_2	۴۷/۷۵	۴۲/۴۵	۴۵/۲۷	۴۴/۰۱	۴۳/۸۲	۴۶/۹۳	۴۴/۲۸	۵۲/۱۸	۵۴/۰۸	۴۹/۸۹	۵۳/۳۷
TiO_2	۲/۰۰	۳/۲۵	۲/۰۵	۳/۱۹	۲/۸۸	۲/۲۶	۲/۱۱	۱/۶	۱/۴۹	۱/۷۹	۱/۵۶
Al_2O_3	۱۴/۸۳	۱۵/۲۲	۱۵/۸۳	۱۵/۰۷	۱۶/۰۰	۱۶/۹۴	۵۲/۷۲	۱۸/۱۸	۱۸/۰۹	۱۷/۶۸	۱۸/۱۶
Fe_2O_3	۱۲/۱۲	۱۷/۱۶	۱۲/۸۹	۱۶/۸۳	۱۵/۲۸	۱۲/۹۳	۱۲/۸۳	۱۰/۱۵	۹/۰۵	۱۱/۲۹	۹/۲۴
MnO	۰/۱۵	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۲۰	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۱۶
MgO	۱۰/۳۱	۷/۳۳	۱۱/۶۸	۶/۹۶	۹/۶۲	۵/۸۲	۱۱/۸۳	۳/۲۷	۳/۲۴	۵/۱۸	۲/۹۲
CaO	۹/۳۲	۹/۸۲	۸/۹۲	۱۰/۰۲	۷/۹۵	۱۱/۴۲	۹/۶۸	۸/۴۱	۶/۳۴	۸/۹۱	۸/۸۴
Na_2O	۲/۰۸	۲/۱۴	۱/۷۵	۲/۲۱	۱/۷۷	۲/۹۱	۱/۷۳	۳/۹۷	۵/۷۶	۳/۳۳	۴/۸۵
K_2O	۰/۹۷	۰/۸۳	۱/۰۳	۰/۸۹	۱/۷۴	۰/۲۷	۱/۲۳	۱/۳۵	۱/۲۴	۱/۰۱	۱/۲۶
P_2O_5	۰/۴۷	۰/۶۳	۰/۳۹	۰/۶۷	۰/۷۵	۰/۳۰	۰/۴۱	۰/۷۱	۰/۵۵	۰/۷۳	۰/۶۴
Total	۱۰۰/۰	۹۹/۰۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۱
Ba	۲۹۲	۴۲۸	۲۸۰	۳۵۱	۳۷۶	۲۰۸	۳۲۴	۵۱۸	۴۶۱	۵۱۴	۴۵۵
Co	۵۰	۵۸	۵۶	۵۱	۴۸	۵۴	۵۹	۲۰	۲۸	۳۲	۴۷
Cr	۲۲۲	۱۶۱	۲۱۸	۱۵۳	۱۲	۱۴۲	۲۴۸	۰	۱۱	۱	۶
Cu	۲۱	۵۳	۹۹	۵۵	۵۹	۳۴	۹۱	۳	۱۲	۱۴	۷
Ga	۱۶	۲۳	۱۸	۲۱	۱۹	۱۶	۱۸	۱۷	۱۸	۱۸	۱۸
Hf	۵	۶	۳	۷	۶	۳	۳	۳	۶	۴	۳
Nb	۳۶	۳۸	۲۹	۴۲	۵۵	۱۸	۳۵	۲۸	۲۸	۲۴	۴۹
Nd	۲۶	۴۶	۲۰	۵۳	۳۹	۱۸	۱۹	۳۸	۳۳	۳۹	۳۴
Ni	۹۸	۱۰۳	۱۰۰	۱۰۳	۳۶	۳۶	۱۱۷	۰	۱	۰	۰
Rb	۴	۰	۳	۰	۷	۰	۶	۱۶	۱۲	۲	۱۱
Sc	۲۳	۲۰	۲۴	۲۵	۱۶	۳۶	۲۶	۹	۷	۱۳	۸
Sr	۶۲۵	۷۶۵	۵۳۱	۷۹۱	۸۸۶	۶۵۴	۵۷۸	۶۰۸	۱۰۲۳	۷۱۸	۶۶۳
Th	۳	۶	۳	۶	۶	۴	۴	۲	۵	۲	۴
V	۲۱۳	۲۶۱	۲۳۸	۲۵۳	۱۹۳	۳۲۷	۲۴۲	۸۷	۱۵۰	۱۳۷	۱۰۹
Y	۲۲	۳۲	۲۵	۳۳	۲۸	۲۳	۲۵	۲۶	۳۰	۲۶	۲۳
Zn	۶۹	۱۰۷	۸۵	۹۶	۸۱	۷۰	۸۰	۸۰	۸۱	۹۸	۹۹
Zr	۱۶۵	۱۸۶	۱۵۳	۳۶۵	۲۴۸	۱۰۴	۱۵۱	۲۵۵	۱۹۴	۱۵۴	۴۰۲

در نمودارهای ژئوشیمیایی سنگ‌های آندزیت بازالتی دارای مقادیر بالاتری از SiO_2، Al_2O_3 و Na_2O+K_2O و مقدار کم‌تری از MgO نسبت به بازالت‌ها هستند (شکل ۵). در نمودار MgO در مقابل CaO هر دو روند افزایشی و کاهشی همراه با کاهش Mg برای اکسید کلسیم قابل مشاهده است (شکل ۵ b).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

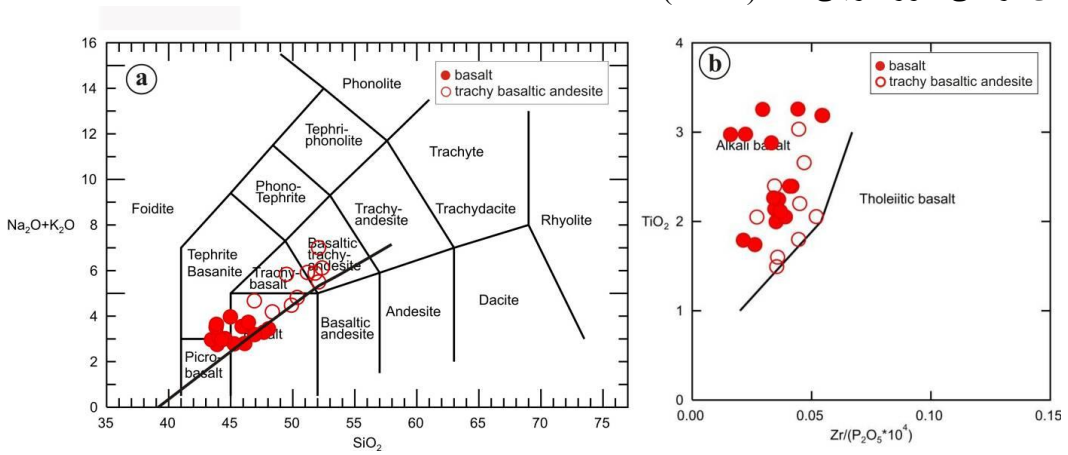
در نمودارهای MgO در مقابل CaO/Al_2O_3 (شکل ۵ c)، Sc در مقابل CaO/Al_2O_3 (شکل ۵ e) و MgO در مقابل CaO/Na_2O (شکل ۵ d) نیز روندهای منفی قابل مشاهده هستند.

بحث

۱. تفریق، فرایند اصلی حاکم بر ماگماتیسم کرتاسه جنوب مرزن‌آباد

براساس پژوهش‌های پتروگرافی و کانی‌شناسی، در هر دو گروه سنگی بررسی شده، رخداد تفریق در فرایند تکاملی سنگ‌ها نقش مهمی را ایفا می‌کند. در سنگ‌های بازالتی روند تبلور از الیوین بازالت‌ها به‌سمت بازالت‌ها همراه با تشکیل کانی‌های الیوین←کلینوپیروکسن←پلاژیوکلاز است، در صورتی که در آندزیت‌های بازالتی روند تبلور با کانی‌های پیروکسن← پلاژیوکلاز← آمفیبول ظاهر می‌شود.

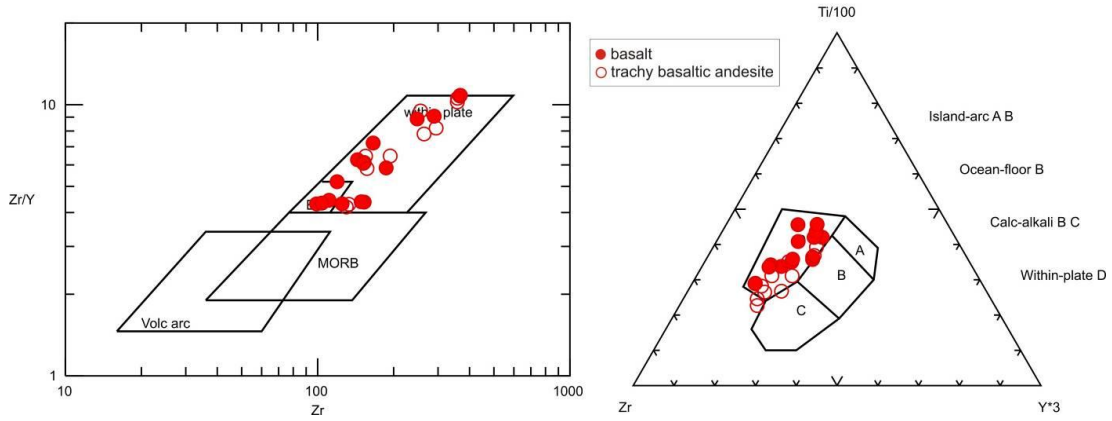
ترکیب شیمیایی کانی‌ها نیز بیانگر رخداد تبلور عادی در آن‌ها است. منطقه‌بندی عادی مشاهده شده در کانی‌های پیروکسن، الیوین و پلاژیوکلاز می‌تواند شاهدی بر وقوع رخداد تبلور تفریقی در مسیر تکوین سنگ‌های بازیک جنوب مرزن‌آباد باشد. روندهای منفی مشاهده شده مابین SiO_2، Al_2O_3 و Na_2O+K_2O همراه با افزایش MgO در هر دو گروه سنگی، می‌تواند نشاندهنده شکل‌گیری سنگ‌ها از یک منبع ماگمایی یکسان در طی تبلور تفریقی باشد (شکل ۵).



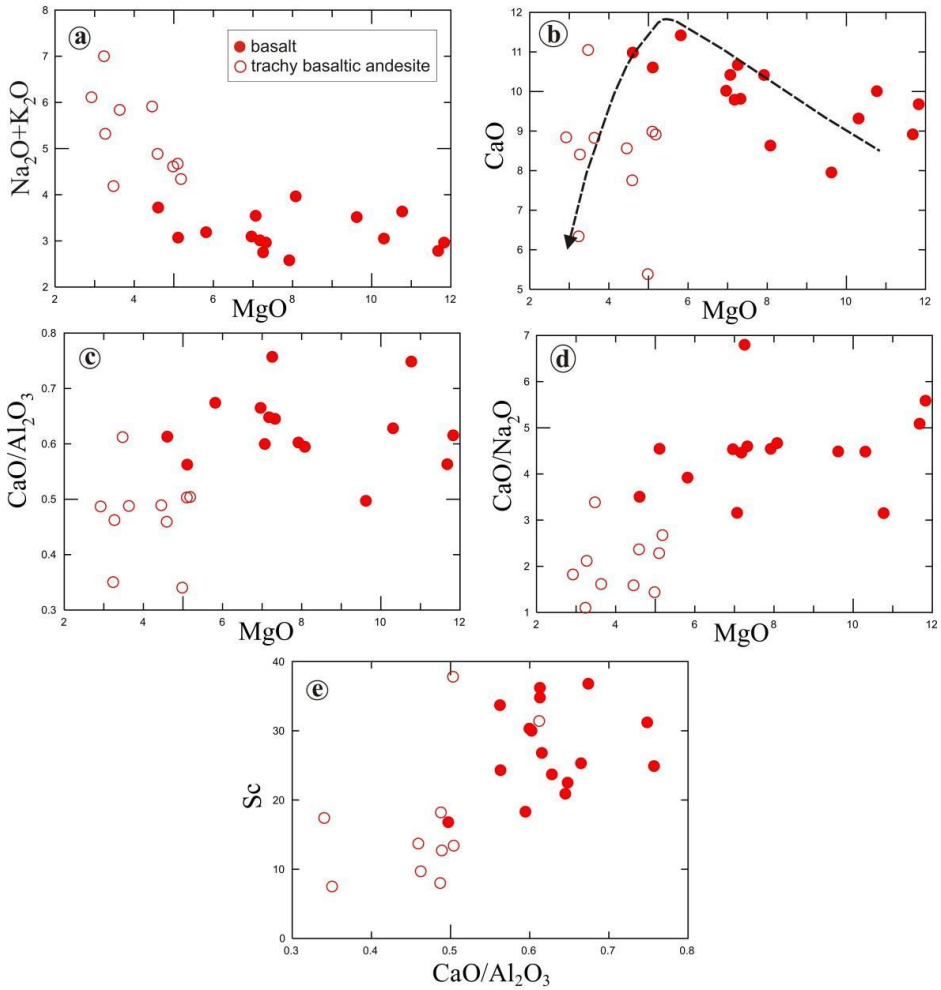
شکل۳. a) سنگ‌های آتشفشانی مرزن‌آباد در نمودار TAS [۱۸]، خط جداکنندهٔ سری‌های آلکالن و کالک آلکالن از [۱۹]،b) قرارگیری سنگ‌های آتشفشانی مرزن‌آباد در محدودهٔ سنگ‌های بازالتی و تراکی آندزیت بازالتی [۱۴]

در دیاگرام MgO در مقابل CaO (شکل ۵ b) برای مقادیر بیشتر از ۷ درصد اکسید منیزیوم روند منفی مشاهده می‌شود که می‌تواند نمایانگر تبلور الیوین و باقی ماندن CaO در ماده مذاب باشد، برای مقادیر کمتر از ۷ درصد اکسید منیزیم روند مثبت مشاهده شده بیانگر تبلور کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز است [۲]. روند منفی مشاهده شده در نمودار MgO در برابر CaO/Al_2O_3 در هر دو گروه سنگی نیز نشانه‌ای بر تبلور کلینوپیروکسن است (شکل ۵ c). همچنین تبلور کلینوپیروکسن روند مثبتی در نمودار MgO و CaO/Na_2O (شکل ۵ d) به‌وجود می‌آورد [۲۰].

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]



شکل ۴. قرارگیری نمونه‌های سنگ‌های بازیک مرزن‌آباد در نمودارهای تکتونیکی در جایگاه بازالت‌های دورن صفحه‌ای [۱۵]، [۱۶]



شکل۵. نمودارهای ژئوشیمیایی و نحوهٔ رفتار اکسیدها و عناصر مختلف در سنگ‌های بازیک جنوب مرزن‌آباد

Sc نیز به‌عنوان عنصری ناسازگاز در طی تبلور الیوین و پلاژیوکلاز عمل می‌کند در صورتی‌که طی تبلور کلینوپیروکسن رفتار سازگاری از خود نشان می‌دهد، این مسئله همراه با روند مثبت مشاهده شده بین Sc و CaO/Al_2O_3 (شکل ۵ e) و تبلور کلینوپیروکسن توجیه‌پذیر است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

بنا بر این با توجه به مطالب ذکر شده، در سنگ‌های ولکانیکی جنوب مرزن‌آباد تبلور تفریقی فازهای اصلی مانند الیوین و کلینوپیروکسن و تبلور فاز فرعی پلاژیوکلاز نقش مهمی در روند تکوین و تکامل سنگ‌ها داشته است.

۲. بررسی روند تفریق با استفاده از مدل‌سازی ژئوشیمیایی

چگونگی فرایند تفریق در سنگ‌های بازیک کرتاسه جنوب مرزن‌آباد، با استفاده از مدل‌سازی ژئوشیمیایی با نرم‌افزار پترولوژی Melts بررسی شد. این مجموعه نرم‌افزاری برای بررسی و مدل‌سازی فازها (کانی، سنگ و مذاب) طی ذوب یا تبلور استفاده می‌شود. این نرم‌افزار می‌تواند برای مدل‌سازی فرایندهایی مانند ذوب بخشی، تبلور تعادلی، تبلور تفریقی و هضم استفاده شود. کاربران این نرم‌افزار می‌توانند روابط فازی تعادلی برای سیستم‌های آذرین را در درجه حرارت‌های ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد و فشارهای ۰ تا ۲ گیگاپاسکال (۰ تا ۶۵ کیلومتر و ۲۰ کیلوبار) محاسبه کنند.

این نرم‌افزار با چندین نسخه متفاوت برای استفاده در سیستم‌های سنگی متفاوت تولید شده است مانند pMelts، xMelts و mdMelts . در این پژوهش از نرم‌افزار Melts استفاده شده است که برای بررسی روابط فازی در سیستم‌های آذرینی که ترکیب مافیک دارد مناسب است (بهترین نتیجه برای ماگماهای مافیک آلکالن به‌دست می‌آید).

برای این مدل‌سازی از نمونه‌ای که بیش‌ترین نزدیکی به ترکیب اولیه را در بین سنگ‌های ولکانیکی کرتاسه جنوب مرزن‌آباد داشت، استفاده شد. این نمونه عدد منیزیمی حدود ۶۴/۶۳، MgO= ۱۱/۸۳ % و Ni=۱۱۷ppm دارد در این مدل‌سازی این ترکیب به‌عنوان ترکیب اولیه ماگمای به‌وجود آورندهٔ سنگ‌های ولکانیکی در نظر گرفته شد. تغییر درجهٔ حرارت برای سیستم ماگمایی مذکور با نرم‌افزار (با توجه به ترکیب اولیه ارائه شده و سیستم آذرین آلکالن مافیک) بین ۱۳۰۰ تا ۱۰۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد و فشار ثابت ۵ کیلوبار مفروض شد. محاسبات برای بررسی روند تبلور تفریقی و پارامترهای ترمودینامیکی در سنگ‌های بررسی شده با نرم‌افزار انجام شد.

براساس محاسبات انجام شده برای مدل‌سازی تبلور تفریقی در سنگ‌های بررسی شده که در شکل ۶ دیده می‌شود، نمودارهای MgO در مقابل CaO، FeO، SiO_2 و Na_2O+K_2O ترسیم شد. در این نمودارها ترکیب اولیه ماگمای سنگ‌های ولکانیکی کرتاسه جنوب مرزن‌آباد با علامت ستاره مشخص شده است و اعداد نمایانگر درصد تبلور تفریقی در سیستم ماگمایی مفروض هستند. با توجه به نحوهٔ قرارگیری نمونه‌های سنگ‌های ولکانیکی جنوب مرزن‌آباد در این نمودارها، می‌توان عنوان کرد که سنگ‌های بازالتی جنوب مرزن‌آباد حاصل تبلور تفریقی حدوداً ۳۰ درصدی ماگمای اولیه و تراکی آندزیت‌های بازالتی حاصل تبلور نزدیک به ۵۰ درصدی از ماگمای اولیه مشابه هستند.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

با استفاده از این نرم‌افزار شبیه‌سازی فرایند تبلور، براساس کانی‌های حاضر در روند تبلور انجام شد. تبلور الیوین به‌عنوان کانی حاضر در سنگ‌های الیوین بازالتی کرتاسه جنوب مرزن‌آباد با این نرم‌افزار شبیه‌سازی شد. چنان‌که در شکل ۷ ملاحظه می‌شود، تبلور الیوین در دماهای ۱۳۰۰ تا ۱۱۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد بررسی شده است و نمودار مذکور تغییرات ترکیبی الیوین متبلور شده را در این طیف دمایی نشان می‌دهد. از آن‌جاکه ترکیب الیوین آنالیز شده در نمونهٔ سنگی که به‌عنوان ترکیب اولیه مفروض شده بین $Fo_{۸۴}$ تا $Fo_{۸۱}$ متغیر است، نمودار شکل ۷ به‌صورت انتخابی برای الیوین‌های این طیف ترکیبی ترسیم شده است.

براساس مدل‌سازی انجام شده، تبلور الیوین با ترکیب شیمیایی $Fo_{۸۴}$ در طیف دمای ۱۲۶۴ تا ۱۲۴۶ درجهٔ سانتی‌گراد و فشار ثابت ۵ کیلوبار صورت گرفته است. در این راستا و در جهت مقایسه و اطمینان از صحت داده‌های به‌دست آمده از مدل‌سازی کانی‌های حاصل در سری تبلور سنگ‌های جنوب مرزن‌آباد از ترمومتری کانی الیوین و و مذاب در حال تعادل استفاده شد.

در محاسبات ترمومتری مذکور که براساس معادلهٔ [۲۱] انجام شد (جدول ۶)، حرارت تبلور برای دو نمونه الیوین با ترکیب $Fo_{۸۴/۱۴}$ و $Fo_{۸۴/۱۸}$ (ترکیب شیمیایی هسته کانی الیوین در نمونه سنگی مفروض شده به‌عنوان ترکیب ماگمای اولیه) که در حال تعادل با ترکیب مذاب مجاور در هنگام تبلور است، به‌دست آمد. در هر دو نمونه، حرارت تبلور برای الیوین‌های مذکور ۱۲۶۱ و ۱۲۶۲ درجهٔ سانتی‌گراد به‌دست آمد. چنان‌که مشاهده می‌شود، حرارت به‌دست آمده قابل انطباق با حرارت محاسبه شده برای الیوین $Fo_{۸۴}$ با نرم‌فزار Melts است. این مسئله دلیلی بر صحت و درستی داده‌های به‌دست آمده از طریق روابط ترمودینامیکی با استفاده از این نرم‌افزار است.

جدول۶. نتایج حاصل از ترموبارومتری کانی الیوین با استفاده از روش [۲۱]

نمونه	نوع سنگ	مرجع	ترکیب هسته کانی الیوین	درجه حرارت (C°)
RD۷	آلکالی الیوین بازالت	[۲۱]	$Fo_{۸۴/۱۸}$	۱۲۶۲
RD۷	آلکالی الیوین بازالت	[۲۱]	$Fo_{۸۴/۱۴}$	۱۲۶۱

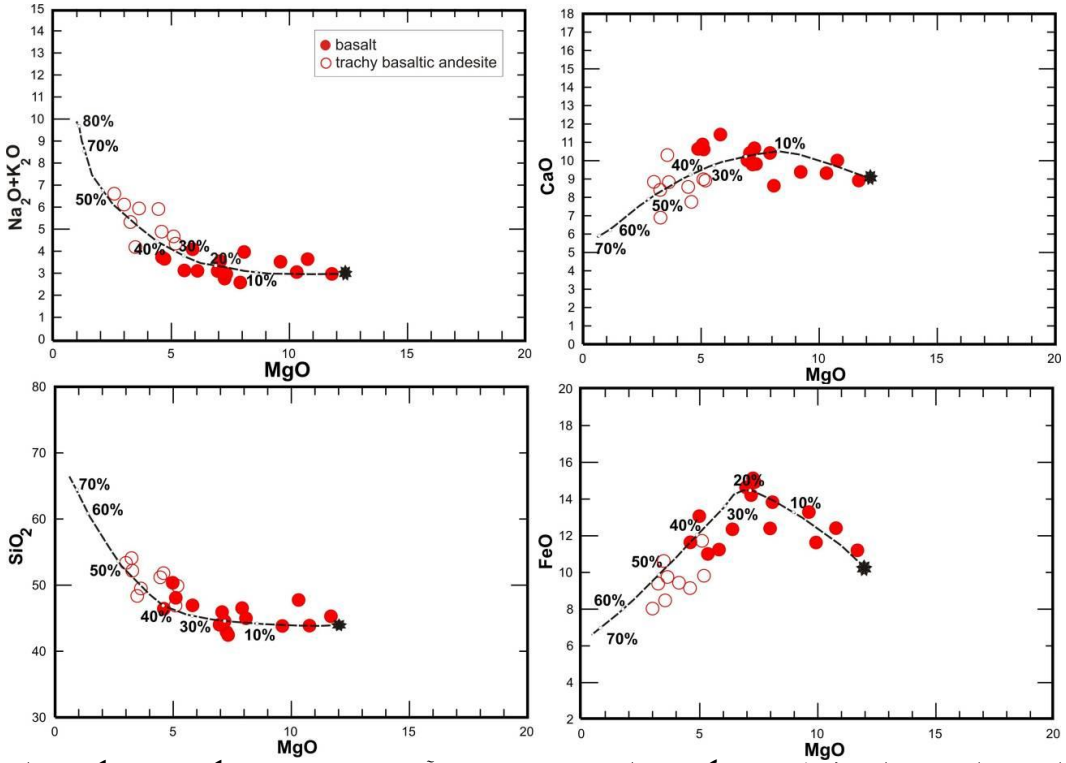
جای‌گاه تکتونیکی و تحولات البرز در زمان کرتاسه

در زمان پالئوزوئیک بالایی، البرز مرکزی بخشی از پلیت گندوانا بوده است، جدایش البرز مرکزی از صفحه گندوانا در طی اوردوویسن تا سیلورین همزمان با تشکیل اقیانوس پالئوتتیس است و در نهایت در زمان تریاس به صفحهٔ اوراسیا الحاق شده است [۲۲]، [۲۳]، [۲۴]. بعد از واقعه کوه‌زایی تریاس، حرکات فشارشی درون قاره‌ای همرا با ته‌نشست سازند زغال دار شمشک در البرز مرکزی، آغاز شده است [۲۵]. این حرکات فشارشی در واقع نتیجه هم‌گرایی دو صفحه اوراسیا و عربی هستند [۲۶].

دوران مزوزوئیک در البرز مزکزی با ته‌نشست رخساره‌های کربناته تخریبی آغاز و در پایان تریاس به رخساره‌های آواری و توربیدایت‌های مجموعه شمشک و رخساره‌های هم ارز زمانی آن می‌پیوندد. گدازه‌ها و آذر

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

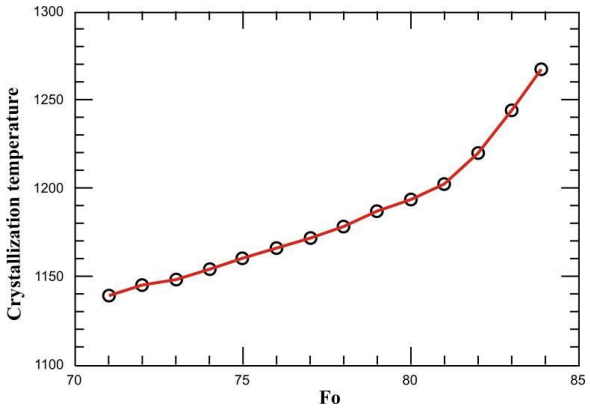
آواری‌های آلکالن در تکرار با رخساره‌های توربیدایتی ژوراسیک نشان از آغاز سامانه کششی- برشی در این دوره داشته که در کرتاسه بالایی با ظهور طبقات ستبر از آتشفشان‌های آلکالن در البرز به اوج تکوین خود می‌رسد [۲۷]. همچنین [۲۸] بر این باورند که وجود ماگماتیزم آلکالن در بخش قاعده‌ای سازند شمشک، وجود گسل‌های عادی همزمان با رسوب‌گذاری به‌همراه تغییرات بی‌شمار افقی و عمودی رخساره، نشان‌گر رسوب‌گذاری در حوضه‌ای کششی بسیار فعال است.



شکل ۶ . مدل‌سازی تبلور تفریقی در سنگ‌های ولکانیکی جنوب مرزن‌آباد. نماد ستاره نمایان‌گر ترکیب ماگمای اولیه مفروض و اعداد بیان‌گر درصد تبلور تفریقی هستند

تحولات مربوط به زمان کرتاسه در ایران پیوسته با تحولات کمربند کوه‌زایی آلپ-هیمالیا است. به‌طوری‌که حتی پس از زمان کرتاسه، جدایی میکروپلیت هند و برخورد آن با پلیت تبت جنوبی و برخورد صفحه‌های اوراسیا و صفحه عرب، تأثیر به‌سزایی در تاریخ تحولات تکتونیکی البرز مرکزی داشته است [۲۴]. در زمان کرتاسه جهت حرکت صفحات اوراسیا و عربی در دو طرف دریای تتیس، عکس روند آن در ژوراسیک راست گرد شده است، این تغییر در جهت حرکت صفحات باعث رخدادهای از جمله تورم و بالاآمدگی در دو طرف دریای تتیس شده است [۲۴]. رخداد توده‌های درونی و جریان‌های ماگمایی الیوین دیاباز نیز در البرز مرکزی در زمان ژوراسیک بالایی-کرتاسه زیرین [۹]، [۲۵]، [۲۹]، [۳۰]، [۳۱] می‌تواند به‌عنوان پیامد معکوس شدن جهت حرکت صفحات اوراسیا و عربی در نظر گرفته شود [۳۲].

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]



شکل ۷. مدل‌سازی تبلور الیوین در ترکیب ماگمایی اولیه مفروض برای سنگ‌های جنوب مرزن‌آباد در دماهای ۱۳۰۰ تا ۱۱۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد با نرم‌افزار Melts

طی دورهٔ ژوراسیک نیروهای کششی باعث جدایی پلیت ایران مرکزی از پلیت اوراسیا شده است. گسیختگی‌ها، تنش‌ها و کشش‌های لیتوسفری که همگام با نفوذ پلوم‌های آستنوسفری و ذوب بخشی آن‌ها است، باعث گسترش ریفت مزبور شده است. این رویداد همزمان با رسوب‌گذاری رسوبات کربناته ژوراسیک میانی تا کرتاسه زیرین است [۳۳]. کشش و توسعه سیستم ریفتی به‌وجود آمده نتوانسته بیش‌تر از چند میلیون سال ادامه یابد، زیرا حرکات تکتونیکی فاز کوه‌زایی لارامید (در زمان ماستریشتین) باعث خاتمه یافتن سیستم ریفتی مزبور می‌شود.

بنا بر این با توجه به مطالب ذکر شده، در جنوب مرزن‌آباد واقع در بخش شمالی زون البرز مرکزی در زمان کرتاسه، مانند بسیاری دیگر از بخش‌های ایران یک حوضه کششی ریفتی وجود داشته است. احتمالاً کشش و ذوب‌بخشی گوشته در حوضه‌ای کششی ریفتی، ولکانیزم آلکالن جنوب مرزن‌آباد را به‌وجود آورده است. این ولکانیک‌ها با ناپیوستگی زاویه‌دار روی رسوبات ژوراسیک شمشک قرار گرفته‌اند. احتمالاً وجود اتاق‌های ماگمایی در مسیر صعود ماگمای تشکیل شده به‌سطح زمین، موجب رخداد تبلور تفریقی در سنگ‌های مذکور شده است. در این بین گاهی با کاهش فعالیت‌های ولکانیکی و گسترش حوضه ریفتی، آهک‌های اوربیتولین دار فرصت ته نشین شدن مابین ولکانیک‌های بازیک جنوب مرزن‌آباد را داشته اند. سرانجام در کرتاسه بالایی فاز کوه‌زایی لارامید موجب خاتمه ولکانیزم و بسته شدن ریفت مزبور شده است.

نتیجه‌گیری

سنگ‌های بازیک جنوب مرزن‌آباد براساس ویژگی‌های ژئوشیمیایی ماهیت آلکالن دارند.

بر پایه پژوهش‌های قبلی انجام شده در منطقهٔ بررسی شده [۷] و نیز داده‌های به‌دست آمده با بررسی حال حاضر، سنگ‌های بازیک کرتاسه جنوب مرزن‌آباد، در حوضه‌ای کششی ریفتی درون قاره‌ای به‌وجود آمده‌اند.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

براساس پژوهش‌های کانی‌شناسی و همچنین نتایج به‌دست آمده از تجزیهٔ شیمیایی کانی‌های موجود در سنگ‌های ولکانیکی بازیک جنوب مرزن‌آباد، پدیدهٔ تفریق بلورین فرایند اصلی حاکم بر ماگماتیسم این سنگ‌ها است. بررسی‌های ژئوشیمی سنگ کل نیز تأیید کنندهٔ حضور این پدیده در روند تکاملی سنگ‌های بررسی شده است. با توجه به پژوهش‌های انجام شده و روندهای ژئوشیمیایی مشاهده شده، این سنگ‌ها تأثیرات چندانی از آغشتگی با سنگ‌های پوسته را نشان نمی‌دهند و می‌توانند تحت تأثیر فرایند اصلی تفریق بلورین در طی تفریق‌های پیاپی از یک ماگمای مادر اولیه یکسان، تشکیل شده باشند.

استفاده از نرم‌افزار Melts در این پژوهش برای مدل‌سازی تبلور تفریقی، تأیید کنندهٔ کارایی چشمگیر این نرم‌افزار برای بررسی و مدل‌سازی فرایندهای ماگماتیسم از جمله تبلور تفریقی است.

منابع

1. M. Wilson, "Igneouse petrogenesis a global tectonical approach", originally published by Chapman & Hall (1989).
2. H. Rollinson, "Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation", Longman Scientific & Technical (1993).
3. A. Hall, Igneous petrology, "Addison Wesley Publishing Company (1996).
4. Myron G. Best, "Igneous and metamorphic petrology", Blackwell publishing (2002).
5. R. McBirney, A., "Igneous petrology. Jones & Bartlett Publishers (2006).
6. G. Wörner, "Lithospheric dynamics and mantle sources of alkaline magmatism of the Cenozoic West Antarctic Rift System", Global and Planetary Change, 23 (1999) 61-77.
7. C. Jung, S. Jung, E. Hoffer, J. Berndt, "Petrogenesis of Tertiary Mafic Alkaline Magmas in the Hocheifel", Germany, J. Petrology, 47 (2006) 1637-1671.
8. Bianchini, G., Beccaluva, L., Siena, F., "Post-collisional and intraplate Cenozoic volcanism in the rifted Apennines/Adriatic domain", Lithos, 101 (2008) 125-140.
9. E. G. Cartier, "Die Geologic des unteren Chalus Tals, Zentral-Alborz", Iran. 133-1. Mitt. Geol. Inst. ETH Univ. Zurich (1971).

۱۰. مهراج آقازاده، *بررسی پترولوژی سنگ‌های آذرین کرتاسه ناحیه چالوس-مرزن‌آباد (البرز مرکزی)*، پایان نامهٔ کارشناسی ارشد، پژوهشکدهٔ علوم‌زمین سازمان زمین‌شناسی (۱۳۸۱).

۱۱. فرهاد وحدتی دانشمند، *نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مرزن‌آباد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور* (۱۳۸۳).

12. R. Kretz, "Symbols for rock-forming minerals", American Mineralogist 68 (1983) 277-279.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

13. B. E. Leake, A. R. Woolley, C. E. S. Arps, "Nomenclature of amphiboles: report of the Subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on new minerals and mineral names", Mineralogical Magazine 61 (1997) 295-321.
14. J. A. Winchester, P. A. Floyd, "Geochemical magma type discrimination: application to altered and metamorphosed basic igneous rocks", Earth and Planetary Science Letters, 28 (1977) 459-469.
15. J. A. Pearce, J. R. Cann, "Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis: Earth and Planetary Science Letters",19 (1973) 290-300.
16. J. A. Pearce, M. J. Norry, "Petrogenesis implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks: Contribution to Mineralogy and Petrology", 69 (1979) 33-47.
17. F. A. Frey, D. H. Green, S. D. Roy, "Integrated models of basalt petrogenesis: a study of quartz tholeiites to olivine melilitites from south eastern Australia utilizing geochemical and experimental petrological data", Journal of Petrology, 19 (1978) 463-513.
18. M. J. Le Bas, R. W. Le Maitre, A. Streckeisen, B. Zanettin, "A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali– silica diagram", Journal of Petrology 27 (1986) 745-750.
19. T. N. Irvine, W. R. A. Baragar, "A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks", Canadian Journal of Earth Sciences, 8 (1971) 523-548.
20. C. T. Herzberg, J. Zhang, "Melting experiments on anhydrous peridotite KLB-1: Compositions of magmas in the upper mantle and transition zone", Journal of Geophysical Research, 101 (1996) 8271-8295.
21. T. W. Sisson, "T. L. Grove Temperatures and H2O contents of low-MgO high-alumina basalts, Contribution to Mineralogy and Petrology", 113 (1993b) 167-18.
22. J. Stocklin, "Northern Iran: Alborz Mountains, in Spencer, A.M., ed., Mesozoic-Cenozoic orogenic belts; data for orogenic studies", Alpine-Himalayan orogens: Geological Society [London] Special Publication, 4 (1974) 213-234.
23. M. Berberian, G. C. P. King, "Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran: Canadian Journal of Earth Sciences", 18 (1981) 210-265.
24. G. M. Stampfli, "Etude Géologique générale del'Elburz oriental au Sde Gonbad-e-Qabus Iran N-E", PhD thesis (1978) Genève.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

25. M. Berberian, "The southern Caspian: A compressional depression floored by a trapped", modified oceanic crust: Canadian Journal of Earth Sciences, 20 (1983) 163-183.

26. A. Zanchi, F. Berra, M. Mattei, M. Ghassemi, J. Sabouri, "Inversion tectonics in central Alborz, Iran", J. Struct. Geol. (2006) 2023-2037.

27. H. Nazari, J. F. Ritz, Sh. Oghbaei, "New insight to paleogeography and structural evolution of the Alborz in Tethyside", Geological survey of Iran, Journal of Earth Scince, 64 (2008) 38-53.

۲۸. حمید نظری، علیرضا شهیدی، *زمین ساخت ایران "البرز" ، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور*، پژوهشکدهٔعلوم‌زمین (۱۳۹۰).

29. P. Allenbach, "Geologie und petrographie des Damavand und seiner umgeurg (Zentral-Elburz): Iran: Geologisches Institut", ETH-Zurich, Mitteilung Nr. 63 (1966).

30. R. Steiger, "Die geologie der west-Firuzkuh area (Zentralelburz/Iran)", Mitteilungen aus dem Geologischen Institut der Eidgen6ssischen Technischen Hochschule und der Universitiit Zurich, 145 (1966).

31. P.E. Sussli, "The geology of the lower Haraz valley area, central Alborz, Iran", Geological Survey of Iran, No. 38 (1976).

۳۲. علی درویش‌زاده، *زمین‌شناسی ایران*، انتشارات ندا (۱۳۷۲).

33. H. C. Soffel, H. G. Förster, "Polar wander path of the Central-East-Iran microplate including new results", N Jahrb Geol Paläontol Abh 168 (1984) 165-172.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]