



شیمی کانی‌ها و زمین دما - فشارسنجی دسته دایک‌های دیابازی ژوراسیک، غرب رضاآباد (جنوب غربی بیارجمند)

مجتبی رستمی‌حصوری^{۱*}، حبیب‌الله قاسمی^۱، پانگ کاوان نانگ^۲، مهدی رضایی^۱، محسن مباشری^۱

۱- گروه پترولوژی و زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲- موسسه علوم زمین، آکادمی سینیکا، تایپه، تایوان

(دریافت مقاله: ۹۵/۹/۲۰، نسخه نهایی: ۹۵/۱۲/۲۶)

چکیده: در منطقه رضا آباد در شرق شاهرود، دسته دایک‌های دیابازی (گابرو/ دیوریتی) با روندهای شمال غربی- جنوب خاور، مجموعه دگرگونی- آذرین پرکامبرین ایران مرکزی را قطع کرده‌اند. این سنگ‌ها دارای بافت‌های میان دانه‌ای، افیتی و نیمه‌افیتی هستند. کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده این سنگ‌ها شامل کلینوپیروکسن (اوژیت تا دیوپسید)، پلاژیوکلاز (الیگوکلاز- آندزین و لابرادوریت- بیتونیت) و آمفیبول (مگنزیوهورنبلند) است. آپاتیت، اسفن و منیتیت نیز کانی‌های فرعی آن‌ها را تشکیل می‌دهند. براساس شیمی کلینوپیروکسن‌ها، ماگمای اولیه سازنده این سنگ‌ها دارای ماهیت قلیایی و بیانگر جایگاه درون ورقه‌ای بوده است. برآوردهای دما- فشارسنجی روی کانی کلینوپیروکسن بیانگر گستره دمایی ۱۱۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ تا ۱۰ کیلوبار با تراکمی در گستره ۴ تا ۸ کیلوبار برای تبلور این سنگ‌هاست. براین اساس می‌توان شروع تبلور کلینوپیروکسن‌ها را در آشیانه ماگمایی موجود در عمق ۲۵ کیلومتری معادل با پوسته‌ی میانی در نظر گرفت.

واژه‌های کلیدی: شیمی کانی؛ دما- فشارسنجی؛ دایک دیابازی؛ جایگاه پشت‌کمان؛ رضاآباد، ژوراسیک؛ ایران مرکزی.

مقدمه

به باور بسیاری از پژوهشگران، با شروع فروورانش ورقه اقیانوسی نفوتتیس به زیر ورقه ایران مرکزی در تریاس پسین- ژوراسیک پیشین، در بخش‌های درونی و شمالی ایران مرکزی [۱-۳] و حتی در جنوب البرز [۴-۸]، حوضه‌های کششی پشت‌کمانی اولیه و نابالغ تشکیل شده‌اند. در این حوضه‌ها، سنگ‌های ماگمایی به هر دو صورت نفوذی (دایک، سیل و استوک‌های کوچک گابرویی) و خروجی (بازالت) برونزد دارند. این سنگ‌ها، ویژگی‌های زمین‌شیمیایی ماگماهای محیط‌های کششی پشت-کمانی نابالغ را نشان می‌دهند [۱-۳]. در لبه شمالی ایران مرکزی (مناطق دلب، شترکوه، بندهزارچاه، سفیدسنگ، رضاآباد و احمد-آباد در جنوب شرقی شاهرود)، دسته دایک‌های دیابازی با روند-های شرقی- غربی مجموعه دگرگونی- آذرین پرکامبرین ایران

مرکزی و دنباله‌های رسوبی تریاس پسین- ژوراسیک پیشین را قطع می‌کنند [۱-۳، ۹-۱۱]. به اعتقاد هانسکی و همکاران [۱۲] این دسته دایک‌ها، اطلاعات زیادی درباره یک کشش بزرگ مقیاس در سنگ‌کره قاره‌ای فراهم آورده و در تفسیر دگرگونی قاره‌ای بسیار مفیدند. بررسی ویژگی‌های ماگمایی در این سنگ‌ها بیانگر ماهیت قلیایی تا نیمه‌قلیایی ماگمای اولیه و تشکیل آن‌ها از ذوب‌بخشی ۵ تا ۳۰ درصدی یک خاستگاه گوشته‌ای غنی شده اسپینل پریدوتیتی در یک محیط کششی درون قاره‌ای پشت-کمانی اولیه و نابالغ است [۱-۴، ۹-۱۱]. با وجود بررسی‌های متعدد بر روی ویژگی‌های مختلف سنگ‌شناسی این دایک‌ها، هنوز شیمی کانی‌ها و شرایط فیزیکی تبلور آن‌ها با استفاده از روش‌های مختلف دما- فشارسنجی مورد مطالعه قرار نگرفته است. از جمله مطالعات کانی‌شناختی مشابه در مناطق مجاور می‌توان به

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۱۴۱۷۱۴۹۰، نمابر: ۰۳۱۳۵۵۸۳۱۶۴، پست الکترونیکی: Mojtabarostami32@gmail.com

بررسی نقطه‌ای کانی‌ها در جدول‌های ۱-۳ آورده شده است. در بررسی و پردازش داده‌ها از نرم افزارهای مختلف 1.07 Winpyrox, Grapher 11, Excel و WinAmphcal 1.02 استفاده شده است.

زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد بررسی در استان سمنان، در ۵۰ کیلومتری جنوب شرقی بیارجمند قرار گرفته و بخش‌هایی از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ خارتوران [۱۳] و ۱:۱۰۰۰۰۰ احمدآباد [۱۴] است. سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین در منطقه رضاآباد توسط تعداد زیادی دایک‌های مافیک با روند شمال غربی- جنوب‌شرقی قطع می‌شوند (شکل ۱ و ۲). دسته دایک‌های دیابازی دارای چند صدمتر طول هستند و ضخامت آنها از چند سانتیمتر تا چندین متر تغییر می‌کند و بعضی از آنها توسط گسل‌ها جابه‌جا شده‌اند (شکل‌های ۳ الف و ب). این دایک‌ها در صحرا دارای رنگ خاکستری تیره، ساخت‌های ناپیدا بلور و پورفیری با ترکیب گابرویدیوریتی هستند. وجود حاشیه انجماد سریع نیز از دیگر ویژگی‌های بارز آنهاست. به طور کلی این دایک‌ها در قسمت حاشیه‌ای به شدت دانه‌ریز، شیشه‌ای و بدون درشت‌بلور بوده و بیانگر جایگزینی ماگما در اعماق کم هستند.

[۹-۱۱] اشاره کرد. این مقاله، نخستین پژوهش در زمینه شیمی کانی‌ها و زمین‌دما - فشارسنجی دایک‌های دیابازی ژوراسیک میانی منطقه رضاآباد است که در آن، سعی شده است با تکیه بر ترکیب دقیق کانی‌ها، جایگاه زمین‌ساختی، نوع ماگما و شرایط تبلور این سنگ‌ها مورد بررسی قرار گیرد.

روش بررسی

پس از بررسی‌های جامع میدانی و برداشت‌های دقیق صحرایی، در مجموع بیش از ۱۰۰ نمونه سنگی از دایک‌های مورد بررسی برداشت شد و تقریباً از همه آن‌ها مقاطع نازک میکروسکوپیکی تهیه شد و مورد بررسی سنگ‌شناسی قرار گرفت. پس از بررسی‌های دقیق سنگ‌نگاری، دو نمونه با کمترین دگرسانی انتخاب شدند و پس از تهیه مقطع نازک صیقلی با استفاده از ریزپردازنده‌های الکترونی در انجمن سینیکا (Academia Sinica) در کشور تایوان مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفتند. تعداد ۱۲۰ نقطه از کانی‌های کلینوپیروکسن، پلاژیوکلاز و آمفیبول موجود در این سنگ‌ها با استفاده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) به همراه بررسی کیفی به روش EDS با دستگاه مایکروپروب ریزپردازنده (JEOL EPMA JXA-8900R) با قطر باریکه الکترونی ۲ μm، با ولتاژ شتاب دهنده ۱۵ kV، شدت جریان ۱۲ nA مطالعه شدند. نتایج

جدول ۱ نتایج تجزیه نقطه‌ای و محاسبه فرمول ساختاری برخی از کلینوپیروکسن‌ها بر حسب ۶ اتم اکسیژن.

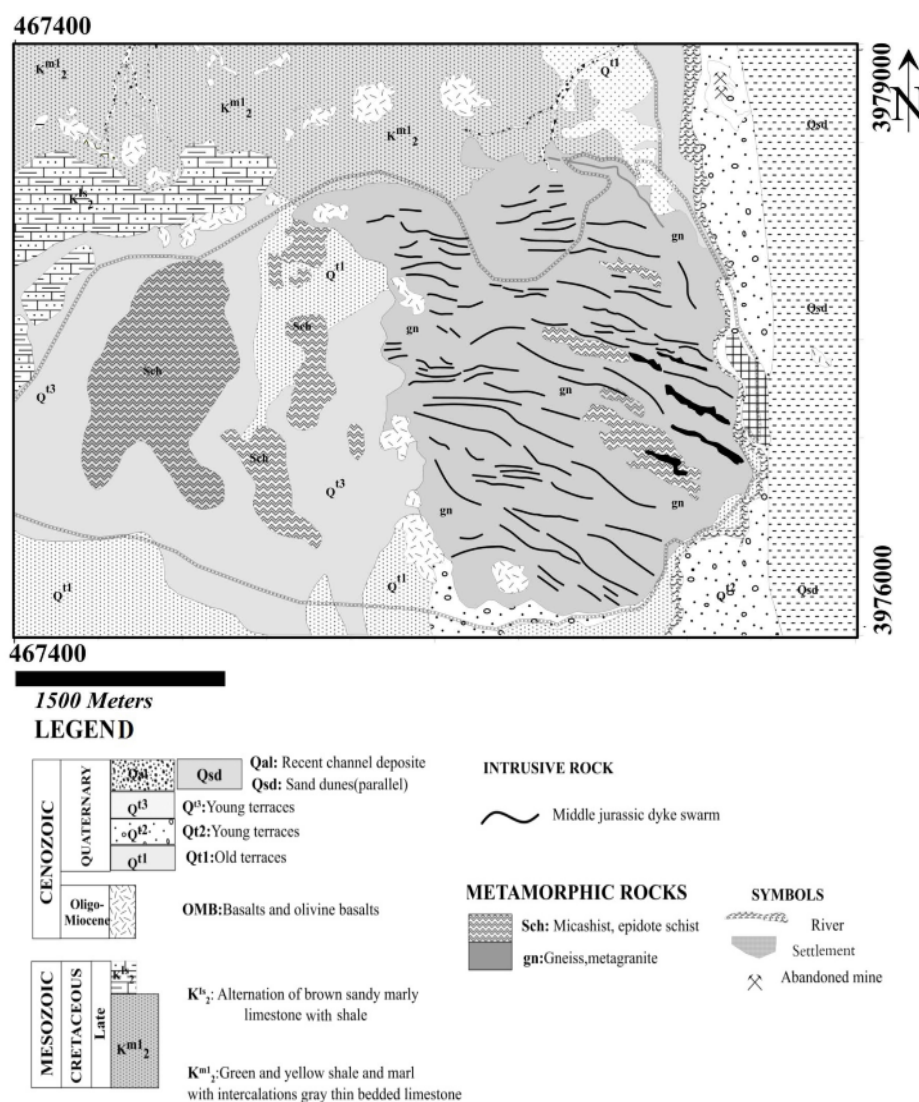
Point	R50-168	R46-11	R46-12	R46-15	R46-18	R46-19	R46-33	R50-112	R50-113	R50-166
SiO ₂	۴۹٫۶۹	۴۹٫۵۸	۵۰٫۸۰	۴۹٫۸۳	۴۸٫۸۰	۵۰٫۰۳	۴۹٫۳۹	۵۰٫۲۵	۵۰٫۵۰	۴۹٫۹۷
TiO ₂	۱٫۰۴	۰٫۸۰	۰٫۶۳	۰٫۷۲	۰٫۸۹	۰٫۷۷	۰٫۶۷	۰٫۹۲	۰٫۸۹	۰٫۶۶
Al ₂ O ₃	۳٫۱۶	۲٫۸۱	۲٫۴۴	۳٫۱۶	۳٫۸۵	۳٫۷۵	۱٫۸۰	۳٫۲۷	۲٫۹۰	۴٫۸۹
FeO	۸٫۳۰	۱۱٫۱۱	۷٫۱۷	۷٫۱۶	۷٫۱۵	۶٫۸۳	۱۳٫۳۲	۸٫۲۱	۸٫۹۴	۵٫۳۷
MnO	۰٫۲۳	۰٫۲۸	۰٫۱۷	۰٫۱۲	۰٫۱۷	۰٫۱۲	۰٫۴۰	۰٫۱۸	۰٫۲۳	۰٫۳۴
MgO	۱۴٫۵۲	۱۳٫۹۷	۱۶٫۱۱	۱۵٫۸۷	۱۵٫۶۶	۱۵٫۳۰	۱۲٫۸۱	۱۵٫۴۹	۱۵٫۱	۱۵٫۶۴
CaO	۲۰٫۹۵	۱۹٫۷۰	۲۰٫۷۵	۲۰٫۶۸	۲۰٫۲۷	۲۱٫۲۵	۱۹٫۲۳	۲۱٫۲۴	۲۰٫۸۴	۲۲٫۱۶
Na ₂ O	۰٫۵۴	۰٫۴۷	۰٫۳۲	۰٫۳۸	۰٫۴۱	۰٫۳۶	۰٫۴۴	۰٫۴۹	۰٫۴۷	۰٫۳۲
Total	۹۸٫۵۰	۹۸٫۷۷	۹۸٫۴۲	۹۷٫۹۹	۹۸٫۵۴	۹۸٫۵۳	۹۸٫۰۸	۱۰۰٫۰۹	۹۹٫۹۰	۹۹٫۴۸
Si	۱٫۸۶	۱٫۸۷	۱٫۸۹	۱٫۸۶	۱٫۸۵	۱٫۸۶	۱٫۸۹	۱٫۸۵	۱٫۸۷	۱٫۸۳۸
Ti	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۱۸	۰٫۰۲	۰٫۰۲۵	۰٫۰۲۲	۰٫۰۱۹	۰٫۰۲۶	۰٫۰۲۵	۰٫۰۱۸
Al	۰٫۱۴	۰٫۱۲۵	۰٫۱۰۸	۰٫۱۴	۰٫۱۶۹	۰٫۱۶۵	۰٫۰۸۲	۰٫۱۴۲	۰٫۱۲۷	۰٫۲۱۲
Fe ⁺³	۰٫۱۱۴	۰٫۱۱۹	۰٫۰۸۸	۰٫۱۱۴	۰٫۰۸۶	۰٫۰۸۲	۰٫۱۱۶	۰٫۱۴۲	۰٫۱۱۸	۰٫۰۸۹
Fe ⁺²	۰٫۱۴۷	۰٫۲۳۲	۰٫۱۳۶	۰٫۱۱۰	۰٫۱۳۷	۰٫۱۳۱	۰٫۳۱۲	۰٫۱۱۱	۰٫۱۵۹	۰٫۰۷۶
Mn	۰٫۰۰۷	۰٫۰۰۹	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۴	۰٫۰۱۳	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۷	۰٫۰۱
Mg	۰٫۸۱۳	۰٫۷۸۷	۰٫۸۹۶	۰٫۸۸۶	۰٫۸۷۱	۰٫۸۵۱	۰٫۷۳۴	۰٫۸۵	۰٫۸۳۳	۰٫۸۵۷
Ca	۰٫۸۴۳	۰٫۷۹۷	۰٫۸۳۰	۰٫۸۳۰	۰٫۸۱	۰٫۸۵	۰٫۷۹۲	۰٫۸۳۸	۰٫۸۲۷	۰٫۸۳۷
Na	۰٫۰۴۲	۰٫۰۳۵	۰٫۰۲۳	۰٫۰۲۸	۰٫۰۳	۰٫۰۲۶	۰٫۰۳۳	۰٫۰۳۵	۰٫۰۳۴	۰٫۰۲۳
Total	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
Mg#	۷۵٫۷۱	۶۹٫۱۵	۸۰٫۰۱	۷۹٫۷۹	۷۹٫۵۹	۷۹٫۹۶	۶۳٫۱۶	۷۷٫۰۶	۷۵٫۰۵	۸۳٫۸۴
Wo%	۴۳٫۹۸	۴۱٫۲۰	۴۲٫۵۶	۴۲٫۷۶	۴۲٫۵۳	۴۴٫۳۹	۴۰٫۵۲	۴۳٫۱۶	۴۲٫۶۷	۴۶٫۰۵
En%	۴۲٫۴۱	۴۰٫۶۵	۴۵٫۹۵	۴۵٫۶۷	۴۵٫۷۳	۴۴٫۴۶	۳۷٫۵۶	۴۳٫۷۹	۴۳٫۰۲	۴۵٫۲۲
Fs%	۱۳٫۶۰	۱۸٫۱۳	۱۱٫۴۸	۱۱٫۵۶	۱۱٫۷۲	۱۱٫۱۳	۲۱٫۹۱	۱۳٫۰۳	۱۴٫۳	۸٫۷۱

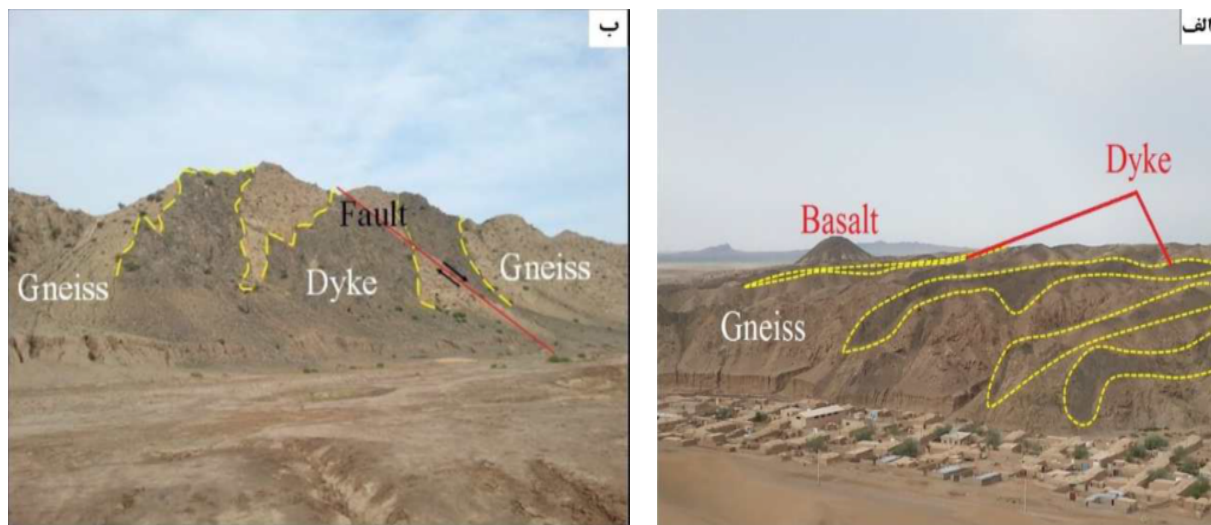
جدول ۲ نتایج تجزیه نقطه‌ای و محاسبه فرمول ساختاری برخی از پلاژیوکلازها بر حسب ۸ اتم اکسیژن.

Point	R50-3	R-50-4	R50-8	R50-46	R50-47	R46-1	R46-2	R46-22	R46-23	R46-24
SiO ₂	۴۶٫۴۷	۴۶٫۷۹	۵۳٫۹۱	۵۶٫۸۳	۵۰٫۷۹	۵۱٫۵۹	۶۰٫۴۰	۵۵٫۷۸	۵۸٫۲۳	۵۶٫۸۰
TiO ₂	۰٫۰۲	۰	۰٫۰۷۵	۰٫۰۸۶	۰٫۱۲۲	۰٫۰۶۲	۰٫۰۳۷	۰٫۰۸۵	۰٫۰۵۲	۰٫۰۷۹
Al ₂ O ₃	۳۲٫۵۵۲	۳۲٫۸۲۴	۲۷٫۶۵۱	۲۶٫۰۵۳	۲۹٫۹۵۲	۲۷٫۴۲۸	۲۳٫۷۶۷	۲۶٫۳۸	۲۵٫۳۵۹	۲۶٫۲۲۳
FeO	۰٫۴۵۷	۰٫۳۶	۰٫۵۲۸	۰٫۴۵۸	۰٫۶۸۵	۰٫۵۳۳	۰٫۲۵۷	۰٫۴۱۲	۰٫۴۸۱	۰٫۴۴۸
CaO	۱۶٫۴۷۷	۱۶٫۴۶۳	۱۰٫۲۷۴	۸٫۳۱	۱۳٫۲۱۶	۹٫۴۶۴	۵٫۷۲۷	۸٫۸۱۸	۷٫۱۷	۸٫۲۴۴
Na ₂ O	۲٫۱۶۴	۲٫۱۲۶	۵٫۵۲۷	۶٫۸۶۲	۴٫۱۷۱	۵٫۹۷۹	۷٫۸۹۱	۶٫۴۵۶	۷٫۰۲۱	۶٫۳۴۹
K ₂ O	۰٫۰۳۱	۰٫۰۸۳	۰٫۱۰۵	۰٫۰۹۴	۰٫۰۶۹	۰٫۰۶	۰٫۳۶۳	۰٫۰۷۴	۰٫۱۴۶	۰٫۲۰۳
Total	۹۸٫۱۷۸	۹۸٫۶۴۹	۹۸٫۰۷۱	۹۸٫۶۹۸	۹۹٫۰۰۶	۹۷٫۱۱	۹۸٫۴۴	۹۸	۹۸٫۴۵	۹۸٫۳۴
Si	۲٫۱۷۸	۲٫۱۸۱	۲٫۴۸۳	۲٫۵۸۶	۲٫۳۴۲	۲٫۵۲۴	۲٫۷۲۸	۲٫۵۵۹	۲٫۶۴۲	۲٫۵۸۸
Ti	۰٫۰۰۱	۰	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۳
Al	۱٫۷۹۸	۱٫۸۰۳	۱٫۵۰۱	۱٫۳۹۷	۱٫۶۲۷	۱٫۴۶۸	۱٫۲۶۵	۱٫۴۲۶	۱٫۳۵۶	۱٫۴۰۸
Fe ⁺²	۰٫۰۱۸	۰٫۰۱۴	۰٫۰۲	۰٫۰۱۷	۰٫۰۲۶	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱۶	۰٫۰۱۸	۰٫۰۱۷
Ca	۰٫۸۲۷	۰٫۸۲۲	۰٫۵۰۷	۰٫۴۰۵	۰٫۶۵۳	۰٫۴۶	۰٫۲۷۷	۰٫۴۳۳	۰٫۳۴۸	۰٫۴۰۲
Na	۰٫۱۹۷	۰٫۱۹۲	۰٫۴۹۴	۰٫۶۰۵	۰٫۳۷۳	۰٫۵۲۶	۰٫۶۹۱	۰٫۵۷۴	۰٫۶۱۷	۰٫۵۶۱
K	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۳	۰٫۰۲۱	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۸	۰٫۰۱۲
Total	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵
An	۸۰٫۶۵	۸۰٫۶۷	۵۰٫۳۶	۳۹٫۸۸	۶۳٫۴۲	۴۶٫۴۹	۲۸٫۰۲	۴۲٫۸۵	۳۵٫۷۶	۴۲٫۲۷
Or	۰	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰	۰	۰٫۰۲	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱
Ab	۱۹٫۱۷	۱۸٫۸۵	۴۹٫۰۳	۵۹٫۵۹	۳۶٫۲۲	۵۳٫۱۵	۶۹٫۸۷	۵۶٫۷۸	۶۳٫۳۷	۵۷٫۵۲

جدول ۳ نتایج تجزیه نقطه‌ای و محاسبه فرمول ساختاری برخی از آمفیبول‌ها بر حسب ۲۳ اتم اکسیژن.

Point	R46-52	R46-53	R46-53	R46-54	R46-55	R50-79	R50-73	R50-76	R50-77	R50-78
SiO ₂	۵۰٫۸۹	۵۴٫۶۹	۵۳٫۵۵	۵۲٫۳۵	۴۴٫۶۲	۵۳٫۰۵	۴۸	۵۰٫۲۶	۵۴٫۲۷	۵۲٫۸۶
TiO ₂	۰٫۰۱	۰	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۱۲	۰٫۰۰۲	۰٫۰۶۹	۰٫۰۰۷	۰٫۰۷۹	۰٫۰۵۶
Al ₂ O ₃	۳٫۹۴	۰٫۶	۱٫۶	۲٫۲۳	۷٫۱۳	۱٫۱۹	۸٫۵۸	۴٫۷۸	۱٫۲۷	۲٫۹۱
FeO	۱۳٫۹۵	۱۰٫۲۳	۱۲٫۴۶	۱۲٫۰۶۵	۱۸٫۰۱۴	۸٫۶۷	۱۱٫۴	۱۱٫۶۵	۱۱٫۱۸	۱۰٫۷۶
MnO	۰٫۲۸۶	۰٫۱۵۱	۰٫۲۲۴	۰٫۱۶۴	۰٫۲۰۴	۰٫۱۷۴	۰٫۱۰۵	۰٫۱۱۷	۰٫۱۱۵	۰٫۱۱۲
MgO	۱۴٫۹۱	۱۷٫۶۸	۱۶٫۲۷	۱۷٫۴۳	۱۱٫۸۲	۱۸٫۶۶	۱۳٫۴۲	۱۶٫۳۷	۱۷٫۱۰۸	۱۷٫۰۷۵
CaO	۱۱٫۱۰	۱۲٫۸۶	۱۲٫۲۳	۱۱٫۳۲	۱۲٫۰۲	۱۲٫۹۵	۱۳٫۲۳	۱۱٫۸۹	۱۲٫۶۳	۱۲٫۸۴
Na ₂ O	۰٫۴۷۲	۰٫۰۵۵	۰٫۳۲۱	۰٫۲۷۱	۱٫۲۳	۰٫۱۲۲	۰٫۱۳۷	۰٫۱۴۴	۰٫۱۳۹	۰٫۳۹۵
K ₂ O	۰٫۱۴۱	۰٫۰۰۸	۰٫۰۰۶	۰٫۰۱۳	۰٫۴۲۱	۰٫۰۱۲	۰٫۰۰۱	۰٫۰۷۳	۰٫۰۲۸	۰٫۰۴۲
Total	۹۵٫۷	۹۶٫۳	۹۶٫۷	۹۵٫۹	۹۵٫۶	۹۵	۹۵	۹۵٫۳	۹۶٫۸	۹۷٫۱
Si(T)	۷٫۳۱	۷٫۸۵	۷٫۶۶	۷٫۴۲	۶٫۵۹	۷٫۶۷	۷٫۱۶	۷٫۲۳	۷٫۷۵	۷٫۵۱
Ti(T)	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۱	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۱
Al(T)	۰٫۶۷	۰٫۱	۰٫۲۷	۰٫۳۷	۱٫۲۴	۰٫۲	۰٫۸۴	۰٫۷۷	۰٫۲۲	۰٫۴۹
Fe ⁺³ (C)	۱٫۳۷	۰٫۲۵	۰٫۷۲	۱٫۳۹	۱٫۹۳	۰٫۴۹	۰	۱٫۰۸	۰٫۴۲	۰٫۶۵
Fe ⁺² (C)	۰٫۳۱	۰٫۹۷	۰٫۷۸	۰	۰٫۲۹	۰٫۴۹	۱٫۳۰	۰٫۳۲	۰٫۹۱	۰٫۶۲
Mn ⁺² (C)	۰٫۰۴	۰	۰٫۰۳	۰	۰٫۰۳	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱
Mn ⁺² (B)	۰	۰٫۰۲	۰	۰٫۰۲	۰	۰٫۰۲	۰	۰	۰	۰
Fe ⁺² (B)	۰	۰٫۰۱	۰	۰٫۰۴	۰	۰٫۰۷	۰	۰	۰	۰
Mg(C)	۳٫۲	۳٫۷۹	۳٫۴۷	۳٫۶۱	۲٫۶	۴٫۰۲	۲٫۹۸	۳٫۵۱	۳٫۶۴	۳٫۶۱
Ca(B)	۱٫۷۱	۱٫۹۷	۱٫۸۸	۱٫۷۲	۱٫۹۰	۱٫۹۱	۲	۱٫۸۳	۱٫۹۳	۱٫۹۵
Na(B)	۰٫۱۳	۰	۰٫۰۹	۰٫۰۷	۰٫۱۰	۰	۰	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۵
(Na+K)A	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰	۰	۰٫۳۳	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۷
(Na+Ca)B	۱٫۸۴	۱٫۹۷	۱٫۹۷	۱٫۸۰	۲	۱٫۹۱	۲	۱٫۸۷	۱٫۹۷	۲
Mg(Mg+Fe2)	۰٫۹۱	۰٫۷۹	۰٫۸۲	۰٫۹۹	۰٫۹۰	۰٫۸۸	۰٫۷۰	۰٫۹۲	۰٫۸۰	۰٫۸۵





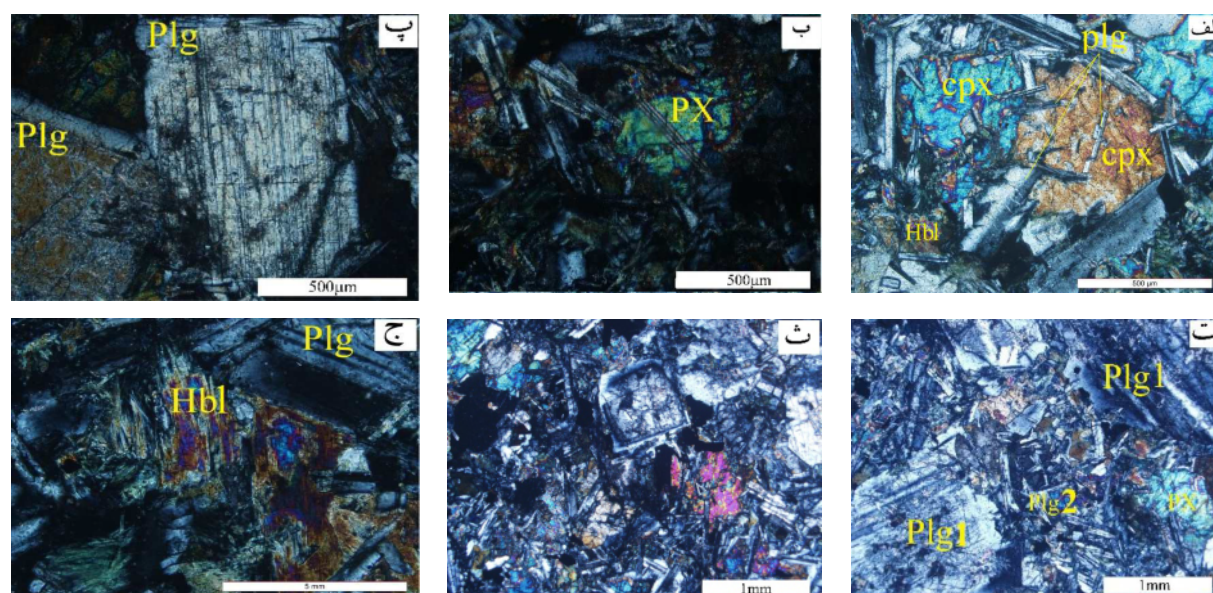
شکل ۳ الف) نمایی از دسته دایک‌های دیابازی قطع کننده واحد گنیسی در غربی روستای رضاآباد (دید به سمت جنوب غربی). ب) نمایی از دایک‌های رضا آباد که توسط گسل راستگرد جابه‌جا شده است (دید به سمت شمال غربی).

(شکل‌های ۴ الف و ب). از کانی‌های اصلی تشکیل دهنده این سنگ‌ها می‌توان به پلاژیوکلاز، پیروکسن و آمفیبول اشاره کرد. پلاژیوکلاز، بیشتر به صورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار با ماکل کارلسباد و پلی‌سنتتیک به دو صورت درشت‌بلور و ریزبلور در زمینه این سنگ‌ها حضور دارد (شکل‌های ۴ پ و ت). این کانی در بعضی نمونه‌ها تاحدودی سریسیتی شده است. در این سنگ‌ها دو نسل پلاژیوکلاز را می‌توان تشخیص داد و علت تشکیل این دو نسل در ارتباط با دوره‌های متفاوت سرد شدن ماگماست. درشت بلورها می‌توانند به علت وجود یک مرحله سرد شدن طولانی و توقف ماگما در یک آشیانه ماگمایی ایجاد شده باشند ولی ریزبلورها در طی صعود و جایگیری نهایی ماگما در نزدیکی سطح زمین، تشکیل شده‌اند. بیشتر پلاژیوکلازها دارای بافت غربالی، منطقه‌بندی (شکل ۴ ث) و برهم‌رشدی هستند. سازوکار تشکیل بافت غربالی در پلاژیوکلازها می‌تواند به دلیل تغییر ترکیب ماگمای درحال تبلور بر اثر ورود ماگمای داغ و تازه به داخل آشیانه ماگمایی، افزایش دما به دلیل ورود ماگمای داغ و یا انتقال بلورها از مناطق کم‌دما به مناطق داغ آشیانه به دلیل بروز جریان‌های همرفتی، کاهش فشار لیتواستاتیک بر اثر بالا آمدن ماگما و یا افزایش فشار بخار آب در هنگام صعود ماگما ایجاد شود [۱۵، ۱۶]. در اکثر نمونه‌ها، بلورهای پلاژیوکلاز در داخل درشت بلورهای کلینوپیروکسن قرار دارند و منجر به تشکیل بافت‌های افیتی و نیمه‌افیتی شده‌اند. این امر به شروع هسته‌بندی و تبلور

در مناطق مجاور از جمله سفیدسنگ، دلبر، میامی و شترکوه و بندهزارچاه نیز دایک‌های مشابهی رخنمون دارند [۱-۳، ۹-۱۱]. این دایک‌ها مجموعه دگرگونی و گرانیتوئیدهای نفوپروتوزوئیک و همچنین دنباله رسوبی تخریبی تریاس پسین - ژوراسیک پیشین (معادل با سازند شمشک) را قطع کرده‌اند ولی در آهک‌های ماسه‌ای و فسیل‌دار ژوراسیک پیشین (معادل سازند دلیچایی) و آهک‌های کرتاسه پیشین ادامه ندارند [۹-۱۱]. لذا می‌توان سن اواخر ژوراسیک میانی را برای آنها در نظر گرفت. به‌علاوه، تعیین سن دایک‌های موجود در منطقه دلبر با استفاده از روش U-Pb بر آپاتیت، سن ۱۵۲ میلیون سال را نتیجه داده است [۱۱] که با سن به دست آمده از جایگاه چینه-شناختی یکی است. در داخل سازند شمشک در پهنه البرز شرقی نیز دایک‌های مشابهی نفوذ کرده‌اند که در آهک‌های سازند دلیچای به سن ژوراسیک پسین ادامه ندارند [۵-۸]. مقایسه دایک‌های مشابه در مناطق مجاور و پهنه البرز با دایک‌های مورد بررسی در رضاآباد نشان می‌دهد که هر دو گروه دارای جایگاه چینه‌شناختی، گستره سنی و سنگ‌زایی بسیار مشابهی هستند.

سنگ‌نگاری

سنگ‌های سازنده دایک‌های مورد بررسی در نمونه دستی دارای رنگ خاکستری تیره و ساخت‌های ناپیدابلور و پورفیری هستند. بررسی‌های سنگ‌نگاری دقیق روی مقاطع نازک میکروسکوپیکی تهیه شده از آنها نشان می‌دهند که این سنگ‌ها دارای بافت‌های میان‌دانه‌ای، افیتی، نیمه‌افیتی هستند



شکل ۴ الف) نمایش بافت افیتی و نیمه افیتی در دایک‌های دیابازی (ب) تصویری از بلور کلینوپیروکسن با ماکل اوژییتی (XPL)، (پ) ماکل پلی-سنتتیک در پلاژیوکلازها (XPL)، (ت) تصویری از وجود دو نسل پلاژیوکلاز در نمونه‌های دیابازی (XPL)، (ث) منطقه‌بندی در درشت بلور پلاژیوکلازهای نسل اول (XPL)، (ج) تصویری از کانی هورنبلند در دایک‌های دیابازی که در حال تبدیل شدن به کلریت است (XPL).

دار تا نیمه‌شکل‌دار با خاستگاه اولیه و در برخی نمونه‌ها با خاستگاه ثانویه و به صورت اورالیت در اطراف کلینوپیروکسن وجود دارند. همچنین خود کانی آمفیبول نیز در اثر دگرسانی به کلریت، اپیدوت و کانی کدر تبدیل شده است (شکل ۴ ج). از جمله کانی‌های فرعی موجود در این سنگ‌ها می‌توان به آپاتیت، اسفن و منیتیت اشاره کرد.

شیمی کانی‌ها

کلینوپیروکسن: به منظور بررسی ترکیب دقیق کلینوپیروکسن‌های موجود در دایک‌های دیابازی مورد بررسی، ۵۰ تجزیه نقطه‌ای روی آن‌ها صورت گرفت (جدول ۱). براساس نمودار Q-J [۱۸] کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی در محدوده $Ca-Mg-Fe$ قرار می‌گیرند (شکل ۵ الف) به منظور تعیین نوع دقیق پیروکسن‌ها از نمودار رده‌بندی مرجع [۱۸] استفاده شد. بر این اساس، پیروکسن‌های منطقه، ترکیب اوژیت تا دیوپسید را نشان می‌دهند (شکل‌های ۵ ب، ۶ ب). ترکیب اعضای نهایی این کانی در گستره $Wo_{39-18-50-77} En_{33-99-50-69} Fs_{4-89-16-43}$ قرار می‌گیرد و مقدار عدد منیزیم $[Mg\# = 100Mg/(Mg+Fe^{+2})]$ این کانی در حدود ۵۰ تا ۵۲ درصد محاسبه شده است. در نمودار توزیع Al و Si پیروکسن-

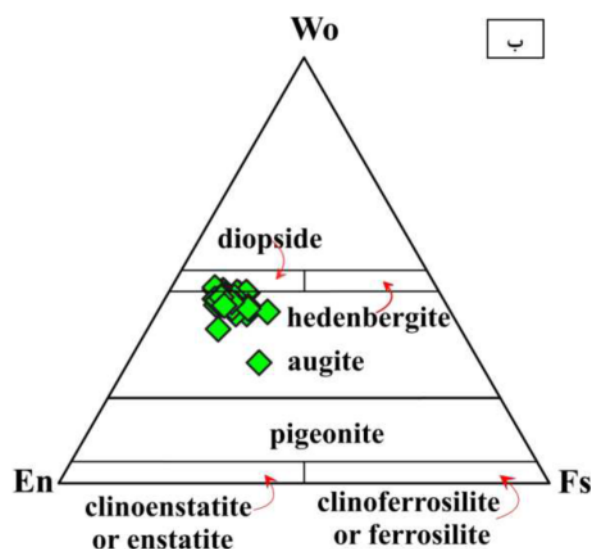
زودتر پلاژیوکلاز و یا شروع تبلور تقریباً همزمان این دو کانی و تداوم بیشتر تبلور کلینوپیروکسن مربوط است [۱۷]. درشت بلورهای کلینوپیروکسن به صورت غیر خودشکل تا نیمه‌شکل-دار و گاهی همراه با ماکل دوتایی و تکراری دیده می‌شوند (شکل ۴ ب). برخی از کلینوپیروکسن‌ها طی فرآیندهای دگرسانی به آمفیبول تبدیل شده‌اند (اورالیتی شدن). کلینوپیروکسن‌ها بیشتر به صورت پرکننده فضای بین پلاژیوکلازها حضور دارند و بافت میان دانه‌ای را ایجاد کرده‌اند. چنان که بیان شد، از جمله ویژگی‌های بافتی شاخص در کلینوپیروکسن‌ها، بافت‌های افیتی و نیمه‌افیتی هستند (شکل-های ۴ الف و ب). به عقیده بست [۱۷] سه روش برای تبلور پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن و تشکیل این بافت‌ها وجود دارد (الف) ابتدا شکل‌گیری چند هسته کلینوپیروکسن در گدازه و رشد اولیه‌ای آنها و به دنبال آن، هسته‌زایی فراوان پلاژیوکلاز صورت می‌گیرد و سپس رشد جریان دو فاز تشکیل بافت افیتی. (ب) هسته‌بندی همزمان کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز در گدازه و رشد همزمان آنها. (ج) بروز هسته‌بندی و رشد پلاژیوکلاز پیش از کلینوپیروکسن و سپس انجام هسته‌بندی کلینوپیروکسن، و در ادامه رشد سریع و همزمان هردو. آمفیبول به صورت شکل-

های مورد بررسی در بالای خط اشباع در جایگاه چاروچی قرار می‌گیرند. بنابراین، جایگاه چاروچی این کلینوپیروکسن‌ها به طور کامل با Si و به طور بخشی با Al_{IV} جایگزین شده است و Al اضافی نیز به همراه سایر عناصر سه ظرفیتی وارد جایگاه هشت وجهی پیروکسن‌ها می‌شود. در نتیجه، این جایگاه نمی‌تواند با کاتیون‌های سه ظرفیتی مثل Cr، Fe^{+3} و Ti اشغال شده باشد. (شکل ۶ الف) [۱۹-۲۱]. از این رو چنین پیروکسنی، واجد آلومینیوم، در جایگاه هشت‌وجهی است.

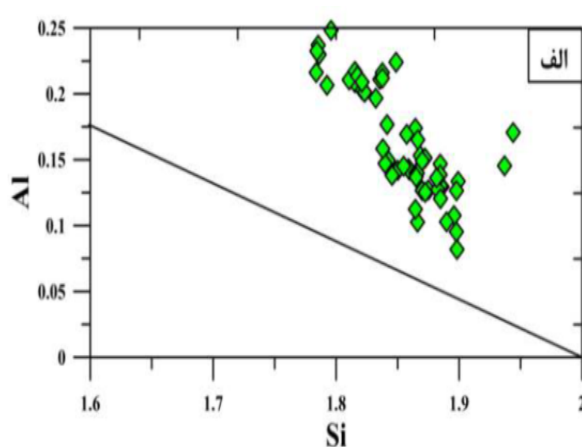
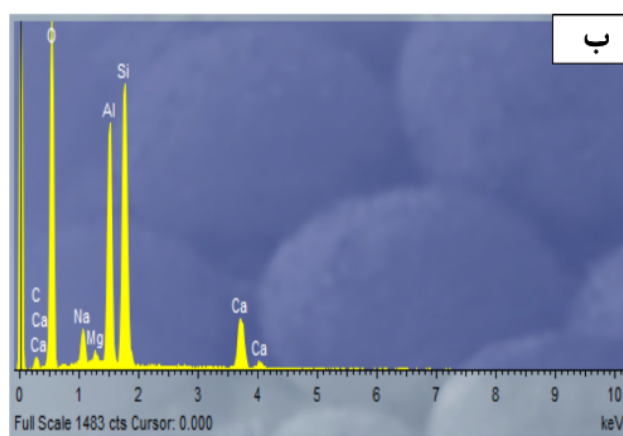
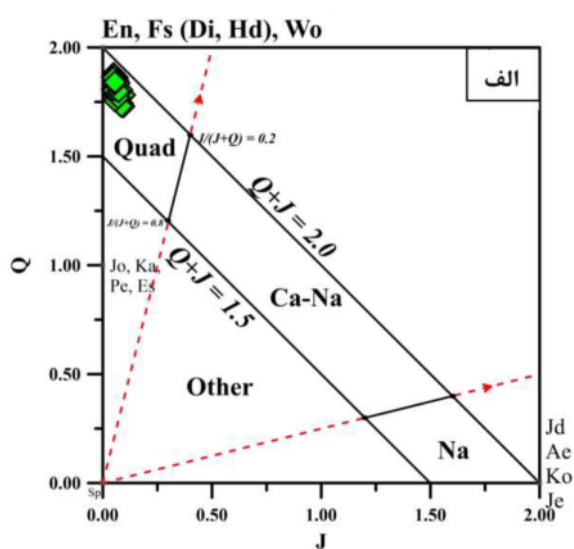
پلاژیوکلاز: پلاژیوکلاز، فراواترین کانی تشکیل دهنده دایک

های مورد بررسی در بالای خط اشباع در جایگاه چاروچی قرار می‌گیرند. بنابراین، جایگاه چاروچی این کلینوپیروکسن‌ها به طور کامل با Si و به طور بخشی با Al_{IV} جایگزین شده است و Al اضافی نیز به همراه سایر عناصر سه ظرفیتی وارد جایگاه هشت وجهی پیروکسن‌ها می‌شود. در نتیجه، این جایگاه نمی‌تواند با کاتیون‌های سه ظرفیتی مثل Cr، Fe^{+3} و Ti اشغال شده باشد. (شکل ۶ الف) [۱۹-۲۱]. از این رو چنین پیروکسنی، واجد آلومینیوم، در جایگاه هشت‌وجهی است.

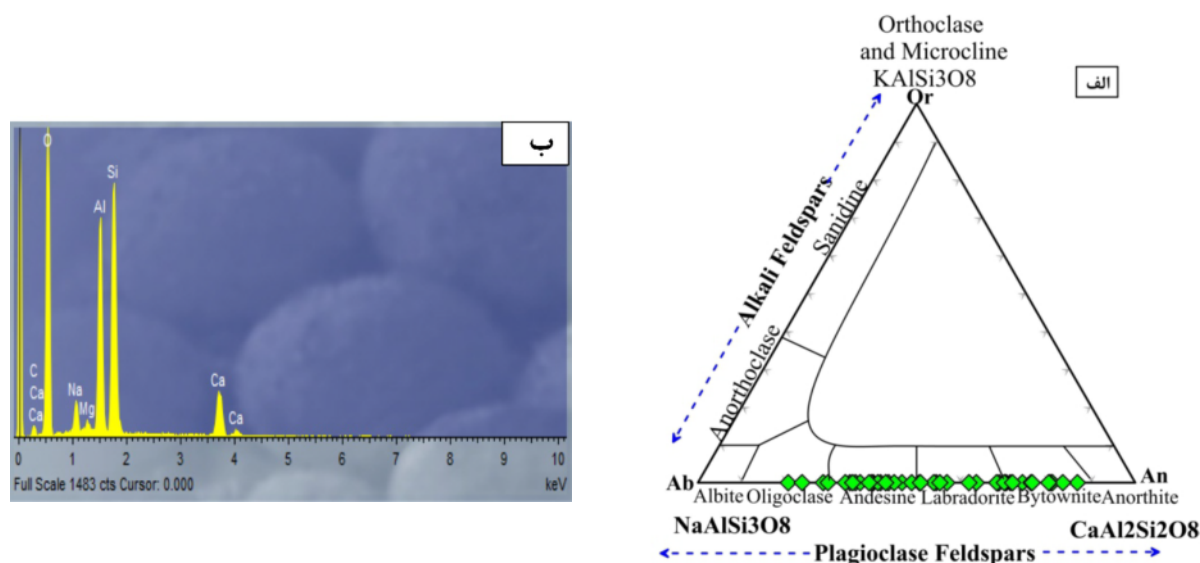
پلاژیوکلاز: پلاژیوکلاز، فراواترین کانی تشکیل دهنده دایک



شکل ۵ الف و ب) رده‌بندی پیروکسن‌های منطقه باتوجه به نمودارهای مرجع [۱۹].



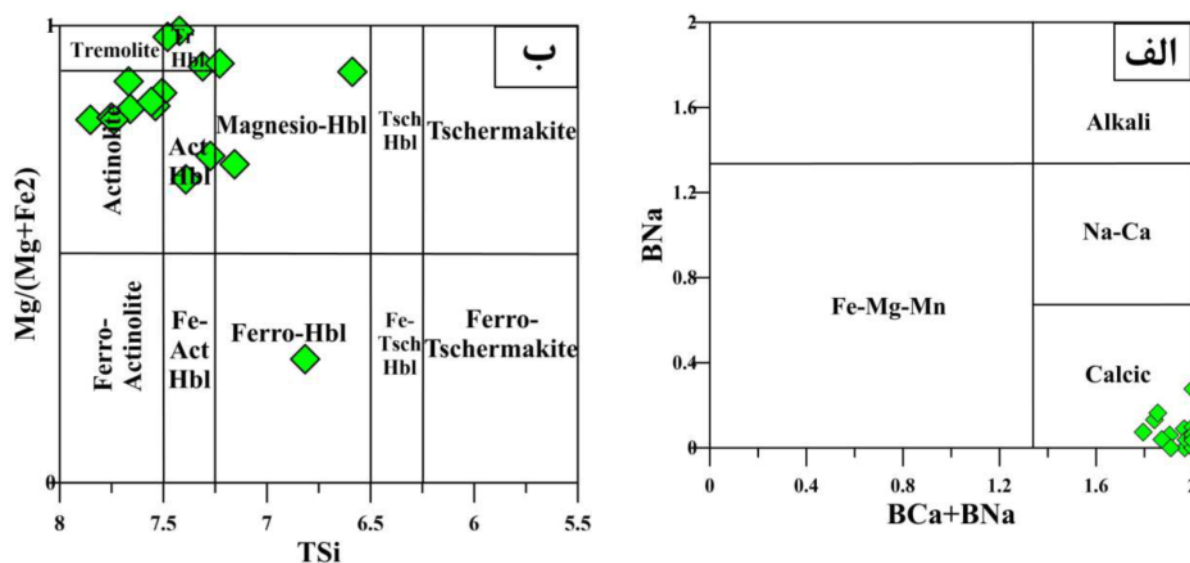
شکل ۶ الف) درنمودار مرجع [۲۲] که نمونه‌های مورد بررسی در بالای خط اشباع چاروچی قرار می‌گیرند، ب) تصویر بررسی کیفی به روش EDS یک نمونه از پیروکسن‌های مورد بررسی.



شکل ۷ الف) ترکیب شیمیایی فلدسپارها بر اساس رده‌بندی مرجع [۲۳]، ب) تصویر بررسی کیفی به روش EDS یک نمونه از پلاژیوکلازهای مورد بررسی.

بر اساس فرمول بیشترین و کمترین Fe^{+3} بهنجار می‌شود، برای هورنبلند اشباع از کلسیم مناسب است [۲۴]. بر اساس نمودار مرجع [۲۴] ترکیب آمفیبول‌های مورد بررسی در قلمرو کلسیمی واقع شده‌اند (شکل ۸ الف). آمفیبول‌های کلسیمی اولیه در محدوده مگنیوهورنبلند و نمونه‌های کلسیمی ثانویه در محدوده اکتینولیت و هورنبلند اکتینولیت قرار می‌گیرند (شکل ۸ ب).

آمفیبول: فرمول ساختاری آمفیبول به ازای ۲۳ اتم اکسیژن و ۱۳ کاتیون بدون در نظر گرفتن کاتیون‌های K ، Ca و Na محاسبه شده است (جدول ۳). برای نامگذاری آمفیبول‌ها از نرم افزار WinAmphcal 1.2 [۲۳] بر پایه رده‌بندی مرجع [۲۴] استفاده شده است. برآورد نسبت Fe^{+3} برای محاسبه دوباره فرمول بر پایه میانگین روش 15e NK و 13e CNC صورت گرفته است، که به ترتیب کمترین و بیشترین نسبت آهن سه ظرفیتی را به دست می‌دهند. این روش که در آن فرمول کانی

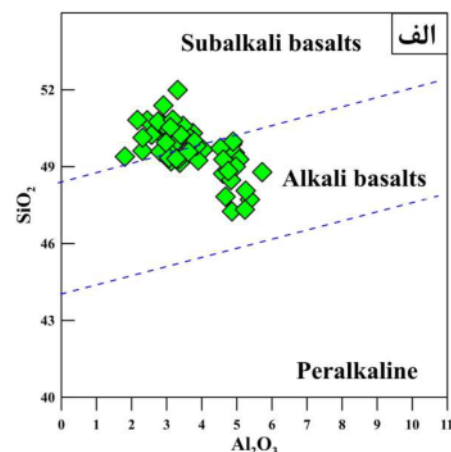
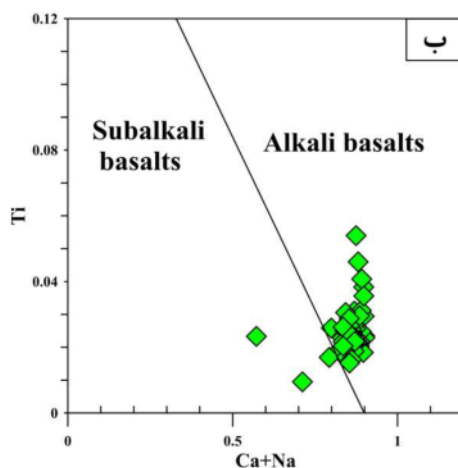


شکل ۸ الف و ب) نمودارهای رده‌بندی و نامگذاری آمفیبول‌های مورد بررسی بر اساس رده‌بندی مرجع [۲۵].

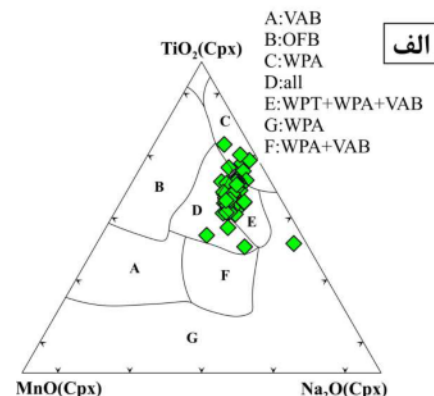
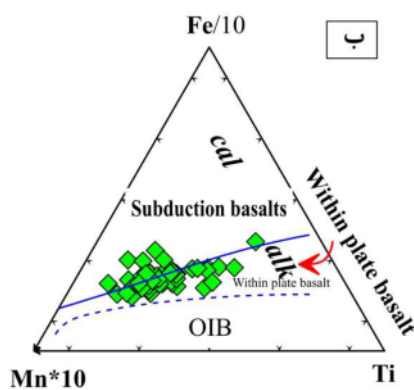
تعیین سری ماگمایی و محیط زمین‌ساختی

برپایه برخی پژوهش‌ها (از جمله [۲۵-۲۷]) ترکیب شیمیایی پیروکسن‌ها به ویژه فراوانی عناصری مانند Cr ، Na ، Ti ، Al و Si در شناسایی ماهیت ماگما و موقعیت زمین‌ساختی بسیار با اهمیت هستند. بر این اساس چندین نمودار تعیین سری ماگمایی بر پایه شیمی پیروکسن طراحی شده است. پس [۲۶] معتقد است که مقادیر Si ، Al و Ti در شبکه ساختار پیروکسن به درجه قلیائیت بستگی دارد و ابزار مناسبی برای تفکیک سری‌های ماگمایی است. بر همین اساس در نمودار SiO_2 نسبت به Al_2O_3 [۲۶] نمونه‌های مورد بررسی در محدوده قلیایی تا نیمه قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۹ الف). [۲۸] معتقد است که برای جلوگیری از اثر غنی‌شدگی Al و Ti که گاهی بر اثر سرد شدن سریع ماگما ایجاد می‌شود از مقدار $Ca+Na$ کلینوپیروکسن به جای مقدار Al استفاده شود. در نمودار

$Na+Ca$ نسبت به Ti ، ترکیب شیمیایی پیروکسن‌های مورد بررسی در محدوده قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۹ ب). ماهیت قلیایی ماگمای سازنده کلینوپیروکسن‌ها با ماهیت قلیایی دایک‌های دیابازی که بر پایه ترکیب سنگ کل به دست آمده همخوانی دارد [۱-۳، ۹-۱۱]. به منظور تشخیص جایگاه زمین-ساختی و خاستگاه احتمالی ماگمای سازنده این سنگ‌ها، از نمودارهای مختلف تمایز محیط زمین‌ساختی استفاده شده است. از آنجا که کلینوپیروکسن‌های محیط‌های درون ورقه‌ای دارای مقادیر Al ، Ti و Si مشخصی هستند، استفاده از این کانی برای شناسایی این محیط‌ها بسیار مناسب است [۲۹]. در نمودارهای مثلثی TiO_2 - MnO - Na_2O [۲۸] و Mn^*10 - $Fe/10$ - Ti [۲۵] نمونه‌های مورد بررسی در قلمرو محیط‌های درون ورقه‌ای قرار می‌گیرند (شکل ۱۰ الف و ب).



شکل ۹ تعیین سری ماگمایی نمونه‌های مورد بررسی با استفاده از ترکیب شیمیایی پیروکسن، الف) نمودار Al_2O_3 نسبت به TiO_2 [۲۷]، ب) نمودار $Ca+Na$ نسبت به Ti [۲۸].



شکل ۱۰ تعیین محیط زمین‌ساختی دایک‌های دیابازی با استفاده از ترکیب کلینوپیروکسن، الف) [۲۹]، ب) [۲۶].

زمین‌دما - فشار سنجی

$$P(\text{kbar}) = 3205 + 0.384 \cdot T(^{\circ}\text{K}) - 518 \cdot \ln[T(^{\circ}\text{K})] - 5.62 \cdot (X_{\text{Mg}}^{\text{Cpx}}) + 83.2 \cdot (X_{\text{Na}}^{\text{Cpx}}) + 68.2 \cdot (X_{\text{DiHd}}^{\text{Cpx}}) + 2.52 \cdot \ln(X_{\text{AlVI}}^{\text{Cpx}}) - 51.1 \cdot (X_{\text{DiHd}}^{\text{Cpx}})^2 + 34.8 \cdot (X_{\text{EnFs}}^{\text{Cpx}})^2 \quad (۴)$$

که در آن

$$X_{\text{DiHd}}^{\text{Cpx}} = \text{Ca-CaTs-CaTi-CrCaTs} \quad (۵)$$

$$X_{\text{EnFs}}^{\text{Cpx}} = [(\text{Fe}_{\text{tot}} + \text{Mg}) - (\text{Ca-CaTi-CaTs-CrCaTs})] / 2 \quad (۶)$$

طبق این روش، میانگین دمای تشکیل کلینوپیروکسن‌ها بین ۱۱۴۶ تا ۱۲۱۷ درجه سانتیگراد و میانگین فشار ۰/۳۳ تا ۱۰ کیلوبار برآورد شده است.

روش کلینوپیروکسن - گدازه بر پایه توزیع Al بین کلینوپیروکسن و گدازه همزیست در سیستم‌های ماگمایی آبدار بنا شده است. به عقیده پاتریکا [۳۳]، ضریب توزیع آهن و منیزیم بین کلینوپیروکسن و مایع برابر 0.27 ± 0.08 و مستقل از دماست. این بیانگر آن است که ترکیب کلینوپیروکسن می‌تواند برای تعیین نسبت‌های منیزیم به آهن در مایعی که از آن متبلور شده است، استفاده شود، همچنین برای پیش‌بینی ترکیب کلینوپیروکسنی که از مایعی با نسبت منیزیم به آهن مشخص، متبلور می‌شود، کاربرد دارد. برای درک رابطه تعادل کلینوپیروکسن/ گدازه، از نمودار عدد منیزیم سنگ کل نسبت به عدد منیزیم کلینوپیروکسن استفاده شد. در این پژوهش تنها از نمونه‌های در تعادل با گدازه بودند استفاده شد (شکل ۱۱، الف). نتایج بدست آمده از این روش بیانگر دمای ۱۱۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد و فشار ۵ تا ۱۰ کیلوبار است.

$$P(\text{kbar}) = -57.9 + 0.0475T(\text{K}) - 40.6(X_{\text{FeO}}^{\text{liq}}) - 47.7(X_{\text{CaTs}}^{\text{cpx}}) + 0.676(H_{2\text{O}}^{\text{liq}}) - 153(X_{\text{CaO}}^{\text{liq}}) + 6.89[X_{\text{Al}}^{\text{cpx}}/X_{\text{AlO}}^{\text{liq}}] \\ X_{\text{Al}}^{\text{cpx}} = X_{\text{Al(IV)}}^{\text{cpx}} + X_{\text{Al(VI)}}^{\text{cpx}}$$

در ادامه برای تأیید نتایج یادشده از روش ترسیمی [۳۵] استفاده شد. [۳۵] با بهره‌گیری از مقادیر XPT و YPT در ترکیب کلینوپیروکسن، یک نمودار ترسیمی برای برآورد دما و فشار ارائه نموده است. باتوجه به این نمودار، کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی در گستره دمایی حدود ۱۱۰۰ تا ۱۱۸۰ درجه سانتیگراد و فشار کمتر از ۱۰ کیلوبار متبلور شده‌اند (شکل‌های ۱۱، ب و پ).

در دهه‌های اخیر بررسی‌های زمین‌دماسنجی و زمین-فشارسنجی برای شناخت شرایط دما و فشار تشکیل سنگ‌ها، به عنوان یک روش مفید مطرح شده‌اند [۳۰]. اساس این تحقیقات بر این فرض استوار است که مجموعه کانی‌های سنگ در شرایط تعادلی تشکیل شده باشند. در این بخش به منظور تعیین شرایط دما - فشار تبلور کانی‌ها از روش‌های متعدد تبادل کاتیونی استفاده شده است. با توجه به این که بیشتر آمفیبول‌ها اولیه نبوده و ناشی از دگرسانی هستند و در گستره اکتینولیت قرار دارند، بنابراین قابلیت استفاده برای دما-فشارسنجی را ندارند. لذا در این پژوهش، تنها از ترکیب کلینوپیروکسن برای دما-فشارسنجی استفاده شده است.

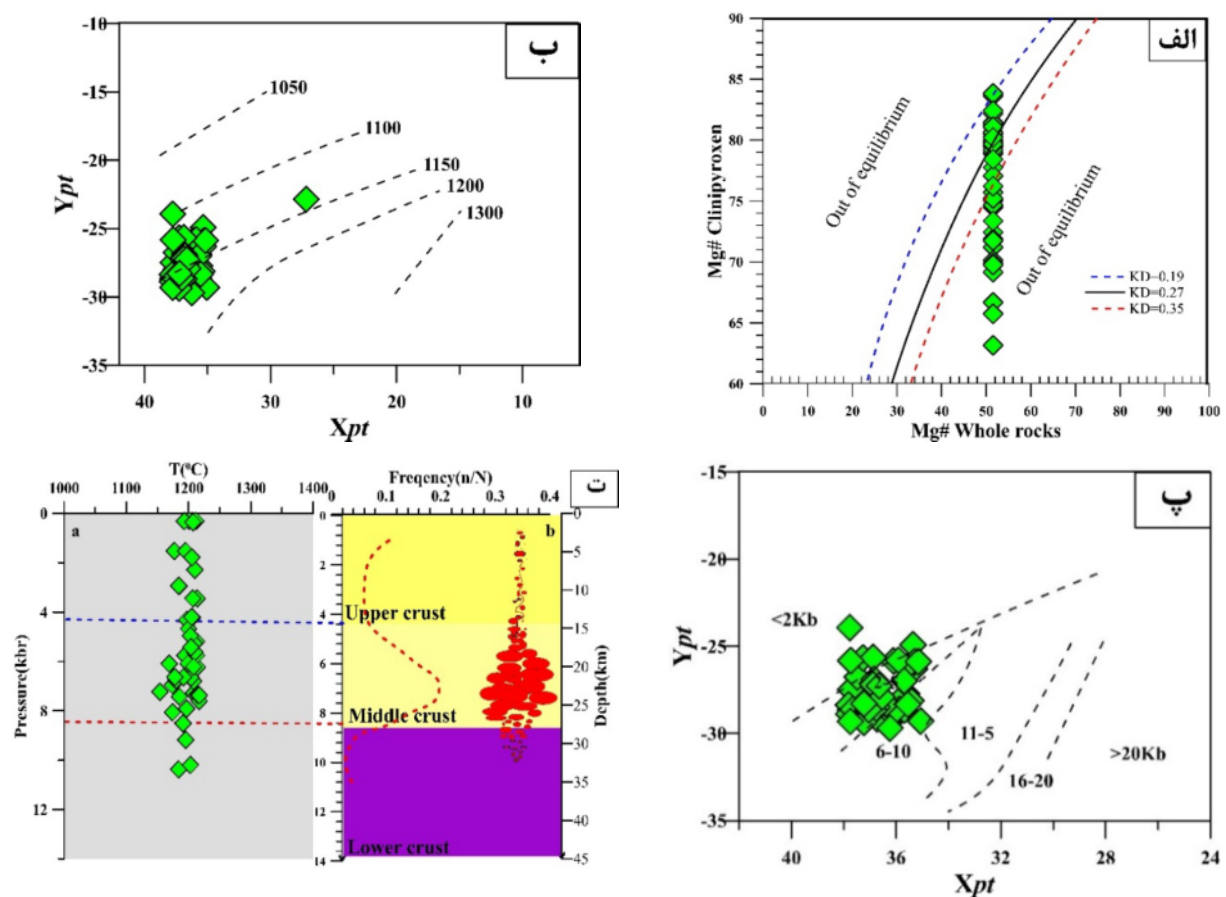
بررسی‌های اخیر درباره پیروکسن‌ها بیانگر آن است که تغییرات شرایط فشار و دما نقش مهمی در ترکیب کلینوپیروکسن‌های متبلور شده از ماگما دارند و به همین علت در ماگماهای بازی مورد توجه‌اند [۳۲، ۳۱]. بر همین اساس ترکیب شیمیایی پیروکسن‌ها را می‌توان در راستای تعیین دما و فشار سنگ‌های حامل آن‌ها به کار برد. پاتریکا [۳۳] بر اساس مدل مرجع [۳۴] دو نوع دما-فشارسنج بر اساس ترکیب تک کلینوپیروکسن (به عنوان مثال معادله ۳۲ الف در مرجع [۳۳]) و کلینوپیروکسن - گدازه (به عنوان مثال معادله‌های ۳۲ ب و ج در مرجع [۳۳] ارائه داد). این مدل‌ها دارای بالاترین دقت و کمترین خطا هستند. روش تک کلینوپیروکسن بر اساس محاسبه میزان فعالیت انستاتیت در کلینوپیروکسن و بدون دخالت ترکیب گدازه طراحی شده است و عموماً برپایه تعادل Ca-Mg است [۳۱]. در این پژوهش از برنامه Winpyrox [۳۱] برای برآورد شرایط دما و فشار تبلور پیروکسن به روش تک کلینوپیروکسن بر اساس رابطه‌های (۱) و (۴) استفاده شد:

$$T(\text{K}) = 93100 + 544P(\text{kbar})/61.1 + 36.6(X_{\text{Ti}}^{\text{cpx}}) + 10.9(X_{\text{Fe}}^{\text{cpx}}) - 0.95(X_{\text{Al}}^{\text{cpx}} + X_{\text{Cr}}^{\text{cpx}} - X_{\text{Na}}^{\text{cpx}} - X_{\text{K}}^{\text{cpx}}) + 0.395[\ln(a_{\text{En}}^{\text{cpx}})]^2 \quad (۱)$$

که در این معادله:

$$X_{\text{Al}}^{\text{cpx}} = X_{\text{Al(IV)}}^{\text{cpx}} + X_{\text{Al(VI)}}^{\text{cpx}} \quad (۲)$$

$$a_{\text{En}}^{\text{cpx}} = (1 - X_{\text{Ca}}^{\text{cpx}} - X_{\text{Na}}^{\text{cpx}} - X_{\text{K}}^{\text{cpx}}) * (1 - 0.5(X_{\text{Al}}^{\text{cpx}} + X_{\text{Cr}}^{\text{cpx}} + X_{\text{Na}}^{\text{cpx}} + X_{\text{K}}^{\text{cpx}})) \quad (۳)$$



شکل ۱۱ الف) آزمون تعادل کانی - گدازه با استفاده از $Kd[Fe-Mg]$ بین کلینوپیروکسن و گدازه همزیست [۳۴]، ب) نمودار تعیین دمای کلینوپیروکسن با استفاده از روش مرجع [۳۵]، پ) نمودار تعیین فشار با استفاده از روش مرجع [۳۵]، ت) مدلی طرحوار از صعود ماگما بر پایه فراوانی عمق تبلور پیروکسن (عمق موهو با توجه به بررسی‌های پیشین [۳۷،۳۶] ۴۵ کیلومتر در نظر گرفته شده است).

منحنی کوتکتیک است، می‌توان تبلور پلاژیوکلازها را نیز در فشارهای مشابه با کلینوپیروکسن‌ها در نظر گرفت. همچنین با فرض اینکه فشار حاکم در زمان تبلور کلینوپیروکسن، فشار همه جانبه لیتواستاتیک، ناشی از وزن سنگ‌های بالایی بوده است، می‌توان با استفاده از رابطه $P = p.g.h$ عمق را محاسبه کرد. با فرض چگالی ۲/۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب برای سنگ‌های پوسته قاره‌ای می‌توان عمق تبلور ماگما را در آشیانه/آشیانه‌های ماگمایی واقع در اعماق کمتر از ۲۵ کیلومتر دانست (شکل ۱۱ ت).

برداشت

در منطقه رضآباد دایک‌های دیابازی ژوراسیک میانی- پسین، با روندهای شمال غربی - جنوب شرقی سنگ‌های دگرگونی

به طور کلی نتایج حاصل از دما - فشار سنجی روی کلینوپیروکسن‌های موجود در دایک‌های دیابازی ژوراسیک منطقه رضآباد به روش‌های مطرح شده در مراجع [۳۵،۳۳] در بردارنده‌ی نتایج بسیار قابل قبول و همخوانی با یکدیگر و نیز سازگار با شواهد سنگ‌نگاری هستند. با توجه به همپوشی این گستره‌ها می‌توان فشار کمتر از ۱۰ کیلو بار و دمای بین ۱۱۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد را برای تبلور آنها در نظر گرفت که با نتایج بدست آمده از مناطق مجاور، دلبر و بند هزار جاه، (فشار کمتر از ۱۰ کیلو بار و دمای بین ۱۱۰۰ تا ۱۱۹۰ درجه- سانتیگراد) [۱۰،۱۲] قابل مقایسه است. با توجه به اینکه پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن کانی‌های اصلی دایک‌های دیابازی هستند و روابط بافتی و حضور فراوان بافت نیمه‌افیتی در آنها حاکی از همپوشی وسیع در بازه زمانی رشد این دو کانی بر

[۲] اصغرزاده ز.، "زمین‌شناسی، ژئوشیمی و پترولوژی دایک-های دیابازی منطقه دلبز"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، (۱۳۹۲).

[۳] دادپور م.، "پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های بازالتی موجود در قاعده توالی رسوبی ژوراسیک منطقه جمیل (خاور سهل) و اهمیت ژئودینامیکی آنها"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، (۱۳۹۳).

[۴] مقدسی ص.، "پترولوژی، پتروژنز و جایگاه چینه‌نگاری سنگ‌های آتشفشانی ژوراسیک در زون البرز خاوری"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، (۱۳۸۲).

[۵] قاسمی ح.، جمشیدی خ.، "ژئوشیمی، سنگ‌شناسی و الگوی تکتونوماگمایی پیشنهادی برای تشکیل سنگ‌های بازی‌قلیایی در قاعده‌ی سازند شمشک"، زون البرز خاوری، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۴ (۱۳۹۰) ص ۶۹۹-۷۱۴.

[۶] قاسمی ح.، جمشیدی خ.، "بررسی خصوصیات ناحیه منشأ سنگ‌های آلکالن بازیک قاعده سازند شمشک در البرز خاوری"، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، شماره ۲۷ (۱۳۹۲) ص ۱۷-۲۹.

[۷] جمشیدی خ.، "مطالعه ماگماتیسم مافیک قاعده سازند شمشک در زون البرز خاوری"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، (۱۳۸۹).

[8] Wilmsen M., Fursich F., Emami K., Majidifard M., Taheri J., *The Cimmerian Orogeny in northern Iran: tectono-stratigraphic evidence from the foreland*, Terra Nova 21 (2009) 211-218.

[۹] حسینی ح. س.، صادقیان م.، قاسمی ح.، "سنگ‌شناسی، زمین‌شیمی و جایگاه چینه‌شناختی اجتماعات دایکی دیابازی قطع‌کننده توده گرانیتوبیدی بند هزارچاه (جنوب‌خاور شاهرود) شاهدهی بر ماگماتیسم سیمربین میانی"، مجله ژئوشیمی زرنده، شماره ۴ (۱۳۹۳) ص ۳۱۰-۳۱۸.

[۱۰] حسینی ح. س.، صادقیان م.، جای م.، قاسمی ح.، "شیمی کانی، دما فشارسنجی و پتروژنز فوج دایک بازیک بند هزار چاه (جنوب خاور شاهرود)"، فصلنامه پترولوژی، شماره ۲۵ (۱۳۹۵) ص ۸۱-۹۶.

[۱۱] بلاغی ز.، صادقیان م.، قاسمی ح.، محجل م.، جای م.، "کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و سن پرتوسنجی دایک‌های مافیک موجود در

پرکامبرین را قطع کرده‌اند. این دایک‌ها از کانی‌های اصلی کلینوپیروکسن، پلاژیوکلاز و آمفیبول تشکیل شده‌اند. برپایه بررسی‌های سنگ‌نگاری، بافت آنها میان دانه‌ای، افیتی، نیمه-افیتی است. نتایج حاصل از بررسی‌های ریزپردازنده الکترونی نشان می‌دهند که پیروکسن‌های موجود در این دایک‌ها در گستره کلینوپیروکسن‌های کلسیم - منیزیم - آهن‌دار قرار دارند و از نوع اوژیت تا دیوپسید هستند. ترکیب این کانی منطبق بر پیروکسن‌های موجود در سری ماگمایی قلیایی بوده و بیانگر یک محیط زمین‌ساختی درون ورقه‌ای است. آمفیبول-های (مگزیوهورنبلند تا اکتینولیت) موجود در این دایک‌ها از نوع کلسیمی هستند. ترکیب پلاژیوکلازها در محدوده الیگوکلاز - آندزین و لابرادوریت - بیتونیت هستند. نتایج حاصل از دما - فشارسنجی روی کلینوپیروکسن‌های موجود در دایک-های دیابازی بیانگر فشار ۱ تا ۱۰ کیلو بار با تراکمی در گسترده ۴ تا ۸ کیلو بار و دمای بین ۱۱۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه‌سانتی‌گراد برای آنهاست که معادل عمق کمتر از ۲۵ کیلومتری در پوسته میانی است. به دلیل تبلور دست کم دو مرحله‌ای سنگ‌های آتشفشانی (تبلور در آشیانه‌های عمیق و سطح زمین) همیشه وجود چنین اختلافاتی در فشار تبلور کانی‌ها منطقی است، زیرا برخی از درشت بلورها در آشیانه‌های ماگمایی عمیق و برخی دیگر در افق‌های بالاتر نزدیک به سطح زمین تبلور می‌شوند. بررسی‌های اخیر نشان داده است که ماگماهای بازی در بخش-های درونی و شمالی ایران مرکزی در تریاس پسین - ژوراسیک پیشین (مناطق دلبز، شترکوه، بندهزارچاه، سفیدسنگ، رضا-آباد و احمدآباد در جنوب شرقی شاهرود)، در حوضه‌های کششی پشت‌کمانی اولیه و نابالغ تشکیل شده‌اند [۱-۳، ۹-۱۱]. بنابراین با توجه به نشانه‌های زمین‌شناسی، زمین‌شیمیایی و کانی‌شناسی مرتبط با محیط‌های درون صفحه‌ای می‌توان تشکیل دایک‌های رضاآباد را به یک سیستم کششی پشت‌کمانی اولیه و نابالغ نسبت داد.

مراجع

[۱] ابتهاج م.، "پترولوژی و ژئوشیمی دایک‌های دیابازی منطقه باختر بند هزارچاه"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، (۱۳۹۳).

- [23] Yavuz F., "WinAmphcal: A Windows program for the IMA-04 amphibole classification." *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 8.1 (2007).
- [24] Leak B.E., Wooley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J.A., Maresch W.V., Nickel E.H., Rock N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N., Ungaretti L., Whittaker J.W., youzhi G., "Nomenclature of amphiboles: Report of The subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, commission on new minerals and mineral names", *The Canadian Mineralogist* 82(1997) 219-246.
- [25] Aparicio A., "Relationship between clinopyroxene composition and the formation environment of volcanic host rocks", *IUP J Earth Sci* (2010)4(3) 1-11.
- [26] Le Bas M.J., "The Role of Aluminium in Igneous Clinopyroxenes with Relation to Their Parentage", *American Journal of Science* 260(4) (1962) 267-288.
- [27] Shellnutt J. G., Lee T. Y., Yang C. C., Hu S. T., Wu J. C., Iizuka Y., "A mineralogical investigation of the Late Permian Doba gabbro, southern Chad: Constraints on the parental magma conditions and composition", *Journal of African Earth Sciences* 114 (2016) 13-20.
- [28] 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(1) (1982) 139-154.
- [29] Nisbet E. G., Pearce J. A. "Clinopyroxene composition in mafic lavas from different tectonic settings", *Contributions to mineralogy and petrology* 63(2) (1977) 149-160.
- [۳۰] شیردشت زاده ن، صمدی ر، آشنایی با روشهای زمین دماسنجی و زمین فشارسنجی، انتشارات دانشگاه اصفهان، (۱۳۸۹) ص ۹۹.
- [31] Yavuz F., "WinPyrox: A Windows program for pyroxene calculation classification and thermobarometry", *American Mineralogist* 98.7 (2013): 1338-1359.
- [32] Aydin F., Thompson R. M., Karsli, O. Uchida H., Burt J. B., Downs R.T., "C2/c pyroxene مجموعه‌ی دگرگونی دلیبر، بیارجمند (جنوب خاور شاهرود)، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۳ (۱۳۹۳) ص ۴۷۱ - ۴۸۴.
- [12] Hanski E., Mertanen S., Ramo T., Vuollo J., "Dyke swarms: Time markers of crustal evolution", Taylor & Francis Group (2006) London: 3-26.
- [۱۳] نوایی ا، صالحی راد م، مجیدی ب، نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ خارتوران، سازمان زمین‌شناسی کشور، (۱۳۷۹).
- [۱۴] سلامتی ر، شافعی ع، سعیدی ع، باباخانی ع، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ احمدآباد، سازمان زمین‌شناسی کشور، (۱۳۷۸).
- [15] Gill R., *Igneous rocks and processes a practical guide*, Department of Earth Sciences Royal Holloway University of London (2010) 472.
- [۱۶] قاسمی ح، الهیاری س، طاهری ع، صادقیان م، موقعیت چینه-شناختی و تحلیل بافتی سنگ‌های آتشفشانی نوار آتشفشانی-رسوبی عباس‌آباد، شمال خاور شاهرود، مجله پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، سال ۲۹، شماره ۵۰ (۱۳۹۲) ص ۲۵-۴۲.
- [17] Best G., "Igneous and metamorphic petrology", Blackwell Science (2003) 729.
- [18] Morimoto N., Fabrice J., Ferguson A., Ginzburg I. V., Ross M., Seifert F.A., Zussman J., Akoi K., Gottardi G., "Nomenclature of pyroxenes", *American Mineralogist* 173 (1988) 1123-1133.
- [۱۹] نوری ف، عزیزی ح، رشیدنژاد عمران ن، ویژگی‌های ماگمایی و زمین‌دما - فشارسنجی توده گابرویی وناکو، جنوب خاور صحنه با استفاده از شیمی دو کانی پیروکسن و پلاژیوکلاز، فصلنامه پترولوژی، شماره ۲۴ (۱۳۹۴) ص ۱۳۱-۱۵۰.
- [۲۰] سخایی ز، داودیان ع، شبانیان ن، پایداری م، رهیافتی بر ویژگی‌های ماگمای سازنده گابروهای شمال خمین بر پایه‌ی شیمی کانیایی کلینوپیروکسن، مجله بلور شناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۳ (۱۳۹۴) ص ۵۳۳-۵۴۴.
- [21] Schweitzer E. L., Papike J. J., Bence A. E., "Statistical analysis of clinopyroxenes from deep sea basalts", *American Mineralogist* 64 (1979) 501-513.
- [22] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., "An introduction to the rock forming minerals", Longmans 696 p, 2th editions, London (1992).

[35] Soesoo A., "A multivariate statistical analysis of clinopyroxene composition: empirical coordinates for the crystallisation PT-estimations", Geological Society of Sweden (Geologiska Föreningen) 119 (1997): 55-60.

[۳۶] جمشیدی خ، "پترولوژی، ژئوشیمی و پتروژنز گنبد‌های آداکیتی شمال باشتین، سبزوار"، پایان‌نامه دکتري، دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، (۱۳۹۴).

[37] Motaghi K., Tatar M., Shomali Z. H., Kaviani K., Priestley K., "High resolution image of uppermost mantle beneath NE Iran continental collision zone", Physics of the Earth and Planetary Interiors 208 (2012) 38-49.

phenocrysts from three potassic series in the Neogene alkaline volcanics, NE Turkey: their crystal chemistry with petrogenetic significance as an indicator of P-T conditions", Contributions to Mineralogy and Petrology 158 (2009) 131-146.

[33] Putirka K. D., "Thermometers and barometers for volcanic systems", Reviews in Mineralogy and Geochemistry 69.1 (2008) 61-120.

[34] Nimis P., Taylor W.R., "Single clinopyroxene thermobarometry for garnet peridotites. Part I. Calibration and testing of a Cr-in-Cpx barometer and an enstatite-in-Cpx thermometer", Contributions to Mineralogy and Petrology 139 (2000) 541-554.