

سال سی و دوم، شمارهٔ اول، بهار ۱۴۰۳، از صفحهٔ ۹۹ تا ۱۱۲



دما-فشارسنجی تودههای گابرویی اواخر نئوپروتروزوئیک منطقه شترکوه، شمال طرود (جنوب شرق شاهرود) بر اساس شیمی پیروکسن و آمفیبول

فاطمه مردانی، قاسم قربانی ٌ، هادی شفاییمقدم

د*انشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران* (دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۳/۶، نسخه نهایی: ۱۴۰۲/۶/۱۸)

چکیده: منطقه مورد بررسی از سرزمینهای پیسنگی ایران در جنوب شرق شاهرود، شمال طرود و در شمال پهنه ساختاری ایران مرکزی است. مجموعه سنگشناسی این منطقه طیف گستردهای از سنگهای آذرین و دگرگونی با ترکیبهای سنگی متنوع را شامل میشود. تودههای گابرویی مورد بررسی بخش کوچکی از این مجموعه را تشکیل میدهند و کانیهای شاخص تشکیل دهندهی آنها شامل پلاژیوکلاز (لابرادوریت و بایتونیت)، پیروکسن (در گروه کلسیمی و از نوع اوژیت و کلینوانستاتیت)، اولیوین (کریزولیت)، بیوتیت و آمفیبول (در گروه کلسیمی و از نوع پارگازیت و پارگازیتهورنبلند) هستند. با توجه به شیمی کانیها، ماهیت ماگمای سازنده این سنگها آهکی قلیایی بوده و گریزندگی اکسیژن طی تشکیل و تبلور آنها بالا بوده است. دماسنجیهای انجام شده برای این سنگها بیانگر توقف تبادل و تعادل نهایی کانیها در دماهای ۹۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد برای پیروکسن و دماهای ۲۹ درجه سانتیگراد برای آمفیبول است. فشارسنجی این سنگها بر پایه مقدار آلومینیم کل آمفیبول (مقدار ایما مایو ۲ تا ۵٫۷ تا ۶٫۸ تا ۱۸٫۸ کیلوبار را برای کانیهای پیروکسن، و ۵ تا ۲۷ کیلوبار را برای آمفیبول برآورد مینماید و این شرایط مادل با تشکیل و تعادل نهایی آنها در اعماق حدود ۳۲ تا ۲۲ کیلومتری پوسته پایینی هستند.

واژههای کلیدی: دما-فشارسنجی؛ پیروکسن؛ آمفیبول؛ گابرو؛ شترکوه؛ جنوب شرق شاهرود.

مقدمه

پیسنگ قدیمی ایران از دیرباز مورد توجه زمین شناسان بوده است و بسیاری به معرفی واحدهای آذرین – دگرگونی و حتی واحدهای رسوبی قدیمی بخشهایی از ایران مرکزی و شمال غرب ایران پرداخته و آنها را قدیمیترین مجموعههای ایران و وابسته به نئوپروتروزوئیک دانستهاند [۱–۳]. منطقه مورد بررسی مجموعه شتری است که در جنوب شرق شاهرود، در شمال طرود و در پهنه ساختاری ایران مرکزی قرار دارد [۴]. راه ارتباطی شاهرود-طرود مسیر اصلی دسترسی به تودههای مورد بررسی است. سنگهای اصلی منطقه مورد بررسی را سنگهای آذرین و دگرگونی نئوپروتروزوئیک پایانی تشکیل دادهاند و تاکنون پژوهشهای متعددی پیرامون سنگشناسی و سنسنجی این مجموعه آذرین-دگرگونی انجام شده است. سن

سنجیهای انجام توسط شکاری [۵-۷] و شفائیمقدم و همکاران [۸] سن این مجموعه را بر اساس روش U-Pb زیرکن، نئوپروتروزوئیک پایانی تعیین کردهاند. سنگهای دگرگونی این مجموعه شامل طیف گستردهای از متاپلیتها (فیلیت، میکاشیست، گنیس و میگماتیت)، متاپسامیتها (ماسهسنگهای دگرگون شده)، متاکربناتها (مرمرهای آهکی و دولومیتی)، متابازیتها (آمفیبولیت و گارنت آمفیبولیت) و متاریولیتها به همراه مقادیر کمی از سنگهای آذرین بازیک اولیوین گابرویی، گابرویی و دیوریتی است [۶۰۶]. براساس سن-میلیون سال بدست آمده است [۸]. با توجهبه بررسیهای انجام شده تاکنون شیمی کانیهای تشکیل دهنده سنگهای گابرویی شده تاکنون شیمی کانیهای تشکیل دهنده سنگهای گابرویی

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۸۳۲۲۷۵۸، نمابر: ۰۲۳۳۵۲۳۰۰۹۱، پست الکترونیکی: ghorbani@du.ac.ir

کانیهای تشکیلدهنده این سنگها و بررسی شرایط ترمودینامیکی آنها تعیین شده است.

زمينشناسي عمومي منطقه

پیسنگ پرکامبرین-کامبرین ایران در مناطق مختلفی از جمله در شمال شرق ایران (طرود-بیارجمند)، مرکز ایران (ساغند-پشت بادام)، شمال غرب (زنجان-تکاب و خوی-سلماس)، پهنه سنندج-سیرجان (نزدیک مهاباد و گلپایگان)، جنوب کاشمر، جندق و زرند رخنمون دارد و از انواع سنگهای دگرگونی شامل گنیسها (پارا- و ارتوگنیسها)، آمفیبولیتها، متاکربناتها متاپلیتها و میگماتیتها و سنگهای آذرین مرونی و بیرونی تشکیل شدهاند [۱-۳، ۹، ۱۰]. سنسنجیهای طور کلی محدود به اواخر نئوپروتروزوئیک-اوائل کامبرین (Ma طور کلی محدود به اواخر نئوپروتروزوئیک-اوائل کامبرین (۱۹ مسته زیرکنها و یا زیرکنهای بیگانه بلور هستند [۸، ۱۱-۱۴]. مجموعه شتری طیف گستردهای از سنگهای دگرگونی و آذرین را در بر میگیرد و سنگهای دگرگونی ناحیهای بخش

ماهیت متاپلیتی، متاگریوکی، متاپسامیتی، متاکربناتی و متابازیتی هستند و متاپلیت ها بیشتر حجم این مجموعه را تشکیل دادهاند [۷]. تودههای آذرین در حد استوک، به طور پراکنده و با ترکیب فلوگوپیت الیوین گابرویی، اولیوین گابرویی و گابرودیوریتی در مقیاس کوچک و در اندازه چند صد متر مربع تا کیلومتر مربع و تقریباً در یک راستای شمالی-جنوبی در مجموعه دگرگونی -آذرین شترکوه رخنمون دارند [۵] (شکل رنگ آنها در صحرا در سطح هوازده تیره است و بافت دانه-ای دارند (شکل ۲ الف). در برخی از بخشهای گابرویی جدایش جرمی کانیهای اولیوین و پیروکسن منجر به تشکیل لایههای پریدوتیت انباشتی شده است [۷] (شکل ۲ ب). بر اساس سن سنجیهای انجام شده به روش اورانیم – سرب بر زیرکنهای استخراج شده از گابرودیوریتها، گستره زمانی ۵۳۷ تا ۵۴۰ ميليون سال (برابر با نئويرتروزوئيک ياياني –معادل ادياکارن) برای این دسته از سنگها به دست آمده است [۵]. مردانی [۱۵] ماهیت ماگمای تشکیل دهنده سنگهای گابرویی را بر اساس شیمی کلینوییروکسن نیمه قلیایی و شرایط تشکیل آنها را فشار جزئي اكسيژن بالا ميداند.



شکل ۱ نقشه زمین شناسی منطقه مورد بررسی واقع در شمال طرود که تودههای بازیک گابرویی در آن مشخص شدهاند (برگرفته از مرجع [۷]).



شکل ۲ الف) نمایی به نسبت دور از تودههای گابرویی در صحرا، ب) بافت انباشتی برآمده از انباشت بلورهای اولیوین در سنگهای اولیوین گابرویی، در نور قطبیده متقاطع (XPL)، پ- لبه واکنشی بین اولیوین و پلاژیوکلاز در پهنه برشی، نور XPL، ت- بافت پوست ماری در سنگهای گابرویی، نور XPL، ث و ج) بیوتیت و آمفیبول با چندرنگی قهوهای و وجود رخهای آمفیبولی کاملا مشخص در نورهای به ترتیب XPL و PPL.

روش بررسی

پس از تهیه مقاطع نازک و نازک صیقلی و بررسی های سنگ-نگاری، برای کانی شناسی دقیق سنگهای گابرویی به منظور استفاده برای دما-فشارسنجی، دو نمونه از مقاطع نازک صیقلی آنها ریزگمانه الکترونی در آزمایشگاه موسسه زمین شناسی و زمین فیزیک چین تجزیه گردیدند. محاسبه کاتیون ها و فرمول ساختاری کانی های آمفیبول، پلاژیوکلاز و پیروکسن به ترتیب بر اساس ۲۳، ۸ و ۶ اکسیژن انجام شد.

سنگنگاری

سنگهای مورد بررسی اولیوین گابرویی و گابرویی هستند. این سنگها دارای بافت غالب دانهای، انباشتی، خال خال، پوست ماری و نیمهپوست ماری هستند و از کانیهای شاخص پلاژیوکلاز، پیروکسن (ارتو و کلینوپیروکسن)، میکا (بیوتیت و فلوگوپیت) و آمفیبول (پارگازیت و پارگازیتهورنبلند) و کانی-های فرعی آپاتیت، اسفن، زیرکن، کانیهای کدر و از کانیهای

ثانویه سریسیت، کلریت و اکسید آهن تشکیل شدهاند. پلاژیوکلاز عمدهترین کانی روشن در این سنگهاست که اغلب نيمه شكل دار تا بي شكل دار و به صورت مستطيلي كشيده و گاهی جهتدار، در اندازههای بیشتر متوسط تا درشت بلور و با ماکل تکراری دیده می شود. بلورهای آپاتیت گاهی به شکل منشوری وگاهی سوزنی شکل در پلاژیوکلازها وجود دارند. همچنین دگرسانی بلورهای پلاژیوکلاز به کانی های رسی در نمونه ها به چشم مىخورد. اوليوين اغلب به صورت بى شكل و دارای شکستگی و دگرسانی به سرپانتین در راستای شکستگی-ها و همچنین لبه واکنشی با پلاژیوکلاز در برخی نمونهها به ویژه در محل پهنههای بُرشی وجود دارد که تبدیل شدگی به آمفيبول و ارتوپيروكسن نشان مىدهند (شكل ۲ پ). از انباشت کانی های اولیوین و پیروکسن در برخی از نمونه ها بافت انباشتی تشکیل شده و به احتمال بسیار نتیجه انباشتگی در جای این کانیها در مخزن ماگمایی است (شکل ۲ ب). اولیوین از نوع كريزوليت است. پيروكسنها اغلب نيمه شكل دار تا بي شكل و با فراوانی متغیر دیده میشوند. برخی پیروکسنها با حضور کانی-های پلاژیوکلاز، بافت پوست ماری و نیمه پوست ماری را نشان مىدهند (شكل ٢ ت). پيروكسنها از نوع كلينوپيروكسن (اوژیت) و ارتوپیروکسن (از نوع انستاتیت) هستند. آمفیبولها به سمت طیفهای جدایش یافته گابروها به صورت نیمه شکل-دار تا بیشکل و همچنین در لبه واکنشی بین اولیوین – یلاژیوکلاز در اولیوین گابروها تشکیل شدهاند (شکل ۲ پ).

گاهی وجود میانبارهای پلاژیوکلاز و میکا درون آمفیبول بافت

خال خال را تشکیل میدهند. آمفیبولها از نوع پارگازیت و پارگازیتهورنبلند هستند و با چندرنگی و رخ آمفیبولی مشخص میشوند (شکل ۲ ث و ج). بیوتیت اغلب شکلدار تا نیمه شکل دار، دانه درشت و دارای چندرنگی قهوه ای پررنگ تا شکلاتی بارز است (شکل ۲ ث و ج).

شیمی کانیها

آمفیبول: ترکیب شیمیایی آمفیبولهای تشکیلدهنده سنگ-های منطقه مورد بررسی در جدول ۱ آورده شده است.

آمفیبولهای سنگهای گابرویی مورد بررسی بر اساس تقسیمبندی مراجع [۱۸–۱۸] در گروه کلسیمی قرار می گیرند (شکل ۳ الف) و از نوع پارگازیت و پارگازیتهورنبلند هستند (شکل ۳ ب). آمفیبولهای مورد بررسی براساس نمودار (شکل ۳ ب). آمفیبولهای مورد بررسی براساس نمودار اشکل ۳ ب). آمفیبولهای مورد بررسی براساس نمودار مها حدار (شکل ۴ الف). همچنین خاستگاه ماگمایی آمفیبول-قرار دارند (شکل ۴ الف). همچنین خاستگاه ماگمایی آمفیبول-آلومینیم و تیتانیم مشخص است [۲۰]. آمفیبولهای سنگهای گابرویی مورد بررسی از نوع ماگمایی و دمای بالا هستند و تشکیل دهنده آنها باید دارای آب زیادی بوده باشد. برای تعیین تشکیل دهنده آنها باید دارای آب زیادی بوده باشد. برای تعیین از نمودار Mg است از نوع ماگمایی امفیبولهای مورد بررسی از نمودار Mg استاده آنها در محیط با گریزندگی اکسیژن بالا شد که بر این اساس، آنها در محیط با گریزندگی اکسیژن بالا



شکل ۳ نمودارهای ردهبندی آمفیبولهای سنگهای مورد بررسی بر گرفته از مرجع [۱۸] که براساس آنها الف) همه نمونهها در گروه کلسیم_و واقع شدهاند و ب) آمفیبولها از نوع پارگازیت و پارگازیتهورنبلند هستند.

	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	. (0			, 0 ,) ()				•	
نمونه	226-9	۹-۲۳۷	۹-۲۳۸	۹_۲۳۹	9-740	9-741	9-747	9-743	9-740	۹-۲۷۵	9-778
SiO ₂	47,191	47,849	۴۳,۵	47,41	42,2.4	44,789	44,040	44,18	44,101	48,188	44,9
TiO ₂	۳٬۸۹۹	5,101	7,89V	5,791	۲,۷۳۱	٣,٠٩٩	٢,٩٣	۲,۵۰۲	1,9+1	٣,٠٧٩	7,774
Al ₂ O ₃	۱۰,۸۵۵	18,888	14,777	14,990	14,279	17/217	17,879	18,787	18,9.9	14,74	11,988
FeO	9,818	٨,٩٨۵	٨,٨۵	٨,٩٢٧	9,494	٨,٩۴٩	۸,۲۵۳	۷٬۵۵۶	٧,٣٧١	۹٫۰۵۷	٨,۶۴٣
Cr ₂ O ₃	• ,• Y	• /• ١٩	• /• ٣١	• /• ١٨	• /• ١٩	• /• 19	• ,• ۴	۰٬۰۹۵		۰,۰۲۸	• • • • • •
MnO	• / ١٣٨	•,1•Y	• /• 97	۰,۱۰۵	۰,۱۲۸	• / ١	۰٬۰۸۲	•/131	۰,۰۹۸	•,1•٣	٠,٠٩٧
MgO	10,0.4	18/212	١٣,٧۵	18/211	18,800	14,744	16,477	10/17	10,474	17,749	۱۵,۰۷۷
CaO	11,875	11,798	11,904	11,88	11,841	11,908	11,908	17,08	11,777	11,717	11,114
Na ₂ O	۲,۳۱۸	2,846	٢,٩١٣	۲٫۹٩	۲,۹۳۷	۲,۷۷	۲,۶۹۹	۲٬۸۵۱	۲٬۸۴۸	5,985	5,805
K ₂ O	1,1.7	• 114	· /۵۶۱	۰٬۵۸۳	· /۵۹۲	۰٬۸۵۱	٠,٨٩٨	۰٬۸۱۱	. 84	• ,9•٢	۱٬۱۵۸
مجموع	٩٩	۹۸٬۲۱	۹۸٫۵۳	۹۸,۵۷	٩٨,۴۴	٩٨,٧۴	٩٨٫۵	۹۹ /۰۱	٩٨٫٨۶	۹۸٫۷۱	٩٨٫٨
O_F_Cl	• ,• ٣	•	•	۰,۰۲	•	• /• 1	• .• 1	• .• 1	•	• ,• ٢	• /• 1
TSi	8,887	۶,۴۰۸	8,881	8,829	8,74	8,404	8,418	8,808	8,471	8,814	۶,۴۸
TAl	1,888	1,097	1,889	1,871	1,78	1,048	1,014	1,848	۱,۵۶۹	1,888	۱٬۵۲
Sum_T	٨	٨	٨	٨	٨	٨	٨	٨	٨	٨	٨
CAl	• , ۲۲۱	٠,٧٢	· /YYA	٠,٩	۰ _/ ۸	• 8• 4	• 881	686, •	٠, ٧ ٧٩	· /YAA	۰٬۵۳
CCr	• /• • ٨	• /• • ٢	•,••٢	• . • • ٢	•,••٢	•,••٢	•,••۵	• /• ١١	• /• • ٧	•,•••	۵
CTi	• ,420	• ,٣۴٨	•,٢٩٢	· , ۲۴۸	٣	• ,74	٢ ٣٣ /	• , ٣٧١	۵ ۲۰ ۲	۰,۳۳۹	۰,۲۹۸
CMg	۳٫۳۵۳	۲,90٨	۲,۹۸۳	۲,۹۳۲	۲,۸۹۸	۳٬۰۹۵	5,156	۳,۲۵۳	۳,۳۱	5,915	37,788
CFe2	•,997	• ,٩٧٢	•,980	٠,٩١٨	• , ٩٩٩	•,987	۰,۸۸	۰ ۸۷٫۱	• , 899	۰,۹۵۸	٠,٩٠١
CMn	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
CCa	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Sum_C	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵
BFe ²⁺	۸۳۱,۰	• / ١٣١	•,187	· 181	•,181	•,179	•,180	۰,۱۲۸	·/1AD	•/101	•,149
BMn	• /• 14	• /• ١٣	• /• 11	• /• ١٣	• /• 18	• /• 18	• /• 1	• /• 18	• /• 18	• /• ١٣	• /• 17
BCa	1,240	۱,۸۵۶	۱,۸۵۶	۱,۸۱۹	1,274	۱,۸۵۹	۱,٨۶۵	۱,۸۵۶	۱٫٨۰۳	۱/۸۳۶	١٫٨٣٩
Sum_B	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢
Fet	1,17	۱,۱۰۳	۱,۰۷۷	۱٬۰۸۶	1,18	۱,٠٩١	۱٬۰۰۵	•,9•9	· ,114	1,1.9	٥.
ANa	• 1805	• ۸۱	· / X Y Y	. 144	۲۳۸٬۰	۰,۷۸۳	•,787	۰,۷۹۵	•,٧٩٢	۰,۸۳۲	•,747
AK	• , 7 • 4	•,140	.1.4	· / ۱ · ۸	•/11	·/10A	•,184	.149	•/117	.181	۰,۲۱۵
Sum_A	· 1208	۰,۹۵۵	•,978	· ,907	•,947	.941	•,979	.,944	• , ٩ • ٩	١	•,987
Sum_cat	۱۵,۸۵۶	10,900	10,978	10,907	10,947	10,941	10,959	10,944	۱۵,۹۰۹	18	10,985
Sum_oxy	55,105	۲۳٬۳۹	25,51	۲۳٬۳۳۹	77,797	۲۳٬۳۳۹	27,781	TT/TSV	22,258	۲۳٬۳۹۳	22,272

جدول ۱ نتایج ریز پردازش الکترونی آمفیبولها در نمونههای مورد بررسی گابرویی جنوب شرق شاهرود.



شکل۴ الف- نمودار Na+Ca+K نسبت به Si [۱۹] که براساس آن آمفیبولهای مورد بررسی در گستره آمفیبولهای آذرین قرار دارند و ب-نمودار Fe_{total}/Fe_{total} +Mg نسبت به Al^{IV} [۲۱] برای تعیین گریزندگی اکسیژن محیط تشکیل آمفیبولها که بر این اساس، آمفیبولهای مورد بررسی در قلمرو با گریزندگی اکسیژن بالا قرار دارند.

پیروکسن: کلینوپیروکسنهای مورد بررسی به طور کلی دارای

مقدار TiO₂ كمتر از (wt%) و Na كمتر از (0.64 wt%)

(wt%) پایین و #Mg متوسط تا بالا (0.72-0.79) هستند. بر

یایه نمودار تقسیمبندی مرجع [۲۲]، ییروکسنهای مورد

بررسی در گسترهی پیروکسنهای کلسیمی قرار میگیرند

نمودار فت انباشتی بوده (شکل ۵ الف)، کلینوپیروکسنها از نوع

اوژیت (Wo _{۴۰-۴۳/۴} En _{۴۷/۱-۴۸/۶} Fs رارتوییروکسن-

های برآمده از لبه واکنشی بین اولیوین و پلاژیوکلاز از نوع

كلينوانستاتيت هستند (شكل ۵ ب). براساس نمودار Al نسبت

به Ti+Cr+Na [۲۳]، کلینوپیروکسنهای مورد بررسی در

گستره پیروکسنهای آذرین و ارتوپیروکسنها در قلمرو دگرگونی قرار می گیرند (شکل ۶ الف). نمودار SiO2 نسبت به

Al₂O₃ [۲۴] پیروکسن برای تعیین سری ماگمایی سنگهای گابرویی مورد بررسی، نشاندهنده سری آهکی قلیایی است (شکل ۶ ب). در نمودار Na+Al^{IV} نسبت به Fe³⁺ قرار [۲۵]، نمونههای مورد بررسی در مرز و بالای خط Fe³⁺ قرار میگیرند که بیانگر گریزندگی اکسیژن به نسبت بالا هستند (شکل ۷ الف). این امر همچنین با غنی بودن کانیهای اکسیدی از آهن تایید میشود (٪ ۶۶ –۳۶ = FeO). همچنین بر پایه نمودار Ti نسبت به Al [۶۲] و با توجه به پایین بودن نسبت Al پیروکسن، گریزندگی اکسیژن بالاست (شکل ۷ب). نتایج تجزیه پیروکسنهای سنگهای مورد بررسی در جدول ۲ آمده است.



شکل ۵ الف - ترکیب شیمیایی پیروکسنهای سنگهای مورد بررسی بر نمودار Q-J [۲۲] که بر این اساس، نمونههای مورد بررسی در قلمرو کلسیمی قرار دارند، ب- و از نوع اوژیت و کلینوانستاتیت هستند.



شکل ۶ الف- نمودار Al نسبت به Ti+Cr+Na [۲۳]، برای تفکیک پیروکسنهای آذرین و دگرگونی از هم. ب- نمودار SiO₂ نسبت به Al₂O₃ پیروکسن (۲۴] برای تعیین سری ماگمایی سنگهای گابرویی مورد بررسی.



شکل ۷ الف- نمودار Na+Al^{IV} نسبت به Al^{VI}+2Ti+Cr (۲۵] برای تعیین گریزندگی اکسیژن نمونههای مورد بررسی، ب- نمودار Ti نسبت به Al [۲۶] .

			. 6.,,,,	,,, ,, <u>,</u>	, ,	0 %(,, ,, ,, ,, ,, ,, ,, ,, ,, ,, ,, ,, ,,	, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	0, 1	
نمونه	۹-۲۵۰	۹-۲۲۱	۹-۲۳۱	۹–۲۳۲	9-734	۹-۲۳۵	۹-۲۳۶	9-242	9-749	۹-۲۵۶
SiO ₂	۵۲٬۶۸	۵۲٬۵۵۱	۵۲,۱۹۷	۵۲٬۴۵	۵۱/۹۴۷	۵۲٫۴	57,484	۵۳٬۱۷۶	۵۳٬۳۶	۵۲٬۳۰۳
TiO ₂	۰٬۵۷۲	۵۳۴.	•,۴٨	•,888	• ،۵۴۹	۰,۵۰۲	۰,۵۲۶	•,447	۰٬۵۷۳	۰ <i>٫</i> ۴۹۷
Al ₂ O ₃	۳,۳۶۷	۳,۲۸۳	۳ /۷۲۸	۳٫۸۴۶	۳٬۸۴۷	۳٬۷۸۱	۳٫۷۰۴	۳,۰۱۷	۳٫۱۳۸	۳,۳۵۷
FeO	۷٫۰۲۶	Δ,ΔΥ ١	۵٫۶۰۶	۵٫۷۴۴	۵٫۶۷۷	۵٫۷۶۱	۵٫۵۶۹	۶٬۵۳	۶٫۲۳۱	۵٫۵۶۹
Cr ₂ O ₃	۰ ٬۹۶۱	۱٬۰۱۶	۱٬۰۸	۱٬۰۵	1,147	۱,۱۵۶	۱٬۰۶۵	۰٫۸۹۳	۰٫۹۷۵	٠٫٩٨٨
MnO	۰,۱۸۵	۰,۱۵۴	٠٫۱۵٩	۰,۱۴۵	•,184	۰,۱۶۷	۰,۱۵۶	۰,۱۵۳	•,172	•,141
NiO	•،•۱۸	۰,۰۳۸	•,••A	۰٬۰۳۶	•,••A	۰,۰۵۸	٠٬٠٣١	•,•18	•,• ٢۶	•,• ٢٢
MgO	18,776	۱۶٫۷۰۱	18,489	18,442	18,80	18,814	18,490	18,880	18,978	۱۶,۶۰۸
CaO	۱۹٫۳۳۳	۲۰,۹۳۲	۲۰ _/ ۶۷۳	۲۰٫۷۱	۲۰,۹۵۶	۲۰,۷۰۴	۲۱٬۰۹۴	१ ९/९९१	19,947	۲۱٬۱۵۷
Na ₂ O	۰,۴۴۵	•,744	۰,۳۵۵	۴ ۳ _۱ ۰	۵۸۳٬ ۰	•,٣۴١	۰,۳۵۲	•,٣٧٢	•,۴٩٩	۱۳۳۱
K2O	•,••Y	•	•	٠,٠٠٩	•,••A	•,••٢	•,• ١	•	•	•
مجموع	1 • 1/82	1.1/17	۲۲٬۰۰	1.1/61	۰۰۱٬۰۶	1.1,49	1.1,44	1 • 1,78	۱۰۱٬۹	۱ • ۱٫• ۱
TSi	۱٬۹۰۹	۱٬۹۰۳	۱٫۸۹۸	۱٫۸۹۷	۱,۸۸۴	۱٫۸۹۲	1,294	١,٩٢٧	۱٬۹۱۸	۱٫۸۹۶
TAl	۰٬۰۹۱	۰, • ۹۷	۰,۱۰۲	۰,۱۰۳	•,118	۰,۱۰۸	۰,۱۰۶	۰,۰۷۳	۰,·۸۲	۰٬۰۸۴
M1Al	۰٬۰۵۲	•,• ۴۳	۰,۰۵۸	•,•۶	۰,۰۴۸	۰,۰۵۳	۰٬۰۵۲	۰,۰۵۶	•،•۵۱	•،•٣٩
Alt	•,14٣	•,1۴	۰,۱۶	•,18٣	•,184	•,181	۰,۱۵۸	•,179	٠٫١٣٣	•,14٣
M1Ti	۰٬۰۱۶	۰,۰۱۵	•,•١٣	۰,۰۱۷	۰,۰۱۵	•,•1۴	•,•1۴	•,•1٢	۰,۰۱۵	•,•14
M1Cr	۰,۰۲۷	• ، • ۲۹	•,•٣١	•,•٣	•,•٣٣	•,•٣٣	۰٬۰۳	•,• 78	•,• ٢ ٨	۰٬۰۲۸
M1Mg	۰٫٩٠٣	۰,۹۰۲	۰٫۸۹۱	۰ _/ ۸۸۶	۰٫۸۸۶	۰٫۸۹۴	۸۸۸ ر	۰,۹	۰٫٩٠۵	٠٫٨٩٧
M1Ni	•,••١	•,•• ١	•	•,••)	•	•,••٢	•,••1	•	•,••1	•,••)
M2Mg	•	•	•	•	•	•	•	•	•,••۴	•
⁺ M2Fe ²	۰,۲۱۲	۰,۱۵۹	•,184	۰,۱۶۹	۰,۱۵۳	•،۱۷	•,154	۰٫۱۹۳	۰,۱۸۷	۰,۱۴۸
M2Mn	•,••۶	۰,۰۰۵	۰,۰۰۵	•,••۴	•,••۶	۰,۵	۵	۵	۰,۰۰۵	•,••۴
M2Ca	۱۵۷٬۰	۰,۸۱۲	۰ _/ ۸۰۶	٠٫٨٠٢	۰ <i>۱</i> ۸۱۴	۰ _/ ۸۰۱	۰ _/ ۸۱۶	۰,۷۷۶	۰,۷۶۸	• ، ۸۲۲
M2Na	۰٬۰۳۱	•,• ۲۴	۰,۰۲۵	•,•74	•,• TY	•,•74	۰,۰۲۵	•,• 79	۰,۰۳۵	•,• ٢۶
Sum_cat	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
WO	۴۰,۰۸۳	۴۳٬۰۳۵	47,.78	47,9V9	48,4·8	۴۲,۷۳۳	48,4V9	41,804	۴۱٬۰۷۱	fT/fTT
EN	fy'Lee	۴۷٬۷۷۵	۴۷,۶۰۵	47,479	۴۲/۱۱۸	41,412	47/3·1	41/911	۴۸,۶۳۵	47,477
FS	11,877	٩٠١٩	9,759	9,047	9,479	9,004	9,714	1.444	1.794	9.10

جدول ۲ نتایج ریز پردازش الکترونی پیروکسن ها در نمونه های مورد بررسی گابرویی جنوب شرق شاهرود.

فلدسپار ترکیب شیمیایی پلاژیوکلازها نشاندهنده بالا بودن مقدار کلسیم در آنهاست. ترکیب پلاژیوکلازهای سنگهای گابرویی مورد بررسی از نوع لابرادوریت و بایتونیت است (شکل ۸) [۲۷]. بالا بودن درصد آنورتیت پلاژیوکلازها تا بایتونیت بیانگر بالا بودن نسبی فشار جزئی آب در سامانه ماگمایی آنهاست [۲۸].

تعيين جايگاه زمينساختى

چنانکه اشاره شد، کلینوپیروکسنهای مورد بررسی براساس نمودار SiO₂ نسبت به Al₂O₃ [۲۴] در قلمرو نیمهقلیایی – آهکی قلیایی واقع هستند (شکل ۶ ب). ویژگیهای زمین-شیمیایی کلینوپیروکسنهای اولیه برای تعیین ماهیت ماگمایی بیشتر سنگهای بازیک قابل استفاده هستند [۳۱–۲۹]. در نمودار Ti نسبت به Ca+Na که برای کلینوپیروکسنها ارائه شدهاست [۳۰]، نمونههای مورد بررسی در قلمرو بازالتهای شدهاست [۳۰]، نمونههای مورد بررسی در قلمرو بازالتهای بازالتهای قلیایی قرار می گیرند، ولی بیشتر متمایل به بازالت-های کوهزایی هستند (شکل ۹ الف). بر پایه نمودار Ti نسبت به کهرای تولئیتی و آهکی قلیایی قرار می گیرند (شکل ۹ ب). بازالتهای تولئیتی و آهکی قلیایی قرار می گیرند (شکل ۹ ب).

TiO₂ نسبت به SiO₂ [۳۲] در مرز مشترک آمفیبولهای درون صفحهای و فرورانش جایابی می شوند (شکل های ۱۰ الف و ب). براساس نمودار F1-F2 [۳۱]، کلینوپیروکسنهای گابروهای مورد بررسی در گستره مشترک بازالتهای قوس آتشفشانی (VAB) و بازالتهای کف اقیانوسی (OFB) و نزدیک به مرز قلمرو بازالتهای درون صفحهای قرار می گیرند (شکل ۱۰ پ). چنانکه با توجه به نمودارهای مختلف دیده می-شود، گابروهای مورد بررسی بر اساس شیمی کانیهای تشکیل دهنده، در محیط مشترک درون صفحهای و سری آهکی قلیایی مناطق فرورانش قرار دارند. این ویژگیها به احتمال بسیار می-تواند نشاندهنده یک خاستگاه گوشته سنگ کره ای شبیه بازالتهای درون صفحهای اقیانوسی و یا مورب باشد که در محيطهاى كششى پهنههاى فرورانش اواخر نئوپروتروزوئيك تشکیل شده باشند. شکاری [۷] نیز خاستگاه سنگهای بازیک منطقه را یک گوشته سنگ کرهای زیرقارهای تا حدی دگرنهاده میداند که به احتمال بسیار طی بالاآمدگی و جایگیری در معرض آلایش پوستهای قرار گرفته و در اواخر نئوپروتروزوییک و طی رخداد کوهزایی کادومین و جمع شدگی، بسته شدن و برخورد از نوع قاره-قاره و طی یک فرایند فرورانشی ناقص تشكيل شدەاند.

Or



شکل ۸ ترکیب پلاژیوکلازهای سنگهای گابرویی مورد بررسی در نمودار سه تایی فلدسپارها [۲۷] .



شکل ۹ الف- نمودار Ti نسبت به Ca+Na [۳۰] برای تعیین موقعیت زمین ساختی کلینوپیروکسنهای مورد بررسی، ب - نمودار Ti نسبت به Altot [۳۰] برای تفکیک بازالتهای تولئیتی و آهکی قلیایی.



شکل ۱۰ الف و ب - نمودارهای Na₂O و TiO2 نسبت به SiO₂ [۳۲] برای آمفیبولهای سنگهای مورد بررسی که در مرز مشترک قلمرو آمفیبولهای درون صفحهای (I-Amph) و پهنههای فرورانش (S-Amph) قرار دارند، پ- نمودار F1-F2)، پیروکسنهای مورد بررسی در قلمرو بازالتهای قوس آتشفشانی (VAB) و بازالتهای کف اقیانوسی (OFB) قرار می گیرند. (WPT: بازالتهای تولئیتی درون صفحهای).

دما- فشارسنجی سنگهای مورد بررسی دما-فشارسنجی بر اساس ترکیب پیروکسن ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسنها را میتوان به عنوان یک شاخص کیفی برای تعیین فشار تبلور به کار برد [۳۳]. کلینوپیروکسنهای مورد بررسی بر پایه نمودار Al⁶ نسبت به

Al⁴ [۳۳] اغلب در قلمرو بازالتهای منطقه گرانولیت (فشار متوسط) و متمایل به قلمرو آذرین (فشار پایین) واقع هستند. نسبتهای Al⁶/Al⁴ آنها به نسبت کم و بین ۲٫۲ تا ۲٫۷ و اغلب برابر با ۵٫۷ (شکل ۱۱ الف) بوده و نشاندهنده فشارهای متوسط تا ۱۲۰۰ درجه سانتی گراد و فشار حدود ۵ تا ۷ کیلوبار متبلور شدهاند (شکل ۱۲). پارامترهای X_{PT} و Y_{PT} از روابط زیر محاسبه شدهاند [۲۹]:

 $\begin{array}{rrrr} X_{PT} = & 0.446 SiO_2 + & 0.187 TiO_2 - & 0.404 Al_2 O_3 + \\ 0.346 FeO^t & -0.052 MnO + & 0.309 MgO + & 0.431 CaO - \\ 0.446 Na_2 O \end{array}$

 $\begin{array}{rrrr} Y_{PT} = & -0.369 SiO_2 & + & 0.535 TiO_2 & - & 0.317 Al_2O_3 & + \\ 0.323 FeO' & + 0.235 MnO & - & 0.516 MgO & - & 0.167 CaO & - \\ 0.153 Na_2O & & & \end{array}$

حدود ۵ کیلوبار هستند (شکل ۱۱ ب). در نمودار #Mg پیروکسن نسبت به Cr₂O₃ [۲۶]، نمونههای مورد بررسی دور از قلمرو بیگانهسنگهای لرزولیت گوشته [۳۴] و قلمرو کلینوپیروکسنهای فشار بالا [۳۵] قرار می گیرند و مقدار #Mg پایین تر و مقدار Cr₂O₃ بسیار کمتری دارند (شکل ۱۱پ).

به نظر میرسد که همه کلینوپیروکسنهای سنگهای مورد بررسی در نمودار ۲_{PT} نسبت به X_{PT} [۲۹] در دماهای ۱۱۵۰



شکل ۱۱ الف و ب – نمودارهای Al⁴ نسبت به Al⁴ [۳۳] برای تعیین فشار کلینوپیروکسنهای مورد بررسی، پ- نمودار Mg# پیروکسن نسبت به Cr₂O₃ [۲۶]، قلمرو بیگانه سنگهای لرزولیت گوشته برگرفته از مرجع [۳۴] و قلمرو کلینوپیروکسنهای فشار بالا برگرفته از مرجع [۳۵] (برگرفته از شکاری [۷]).



شکل ۱۲ الف و ب- نمودارهای ۲۲۲ نسبت به ۲۹۲ [۲۹] برای دما-فشارسنجی سنگهای گابرویی مورد بررسی برپایه شیمی کلینوپیروکسن.

دما-فشارسنجی بر پایه ترکیب آمفیبول

براساس بررسیهای پژوهشگران بسیاری طی دو دههٔ گذشته، مقدار ألومينيم كل أمفيبول رابطه مستقيمي با عمق تبلور أن دارد و از این رو میتوان از آن برای زمین دما فشارسنجی استفاده نمود. آمفيبولها قابل استفاده ترين كانىها براى دما -فشارسنجی در سنگهای آذریـن آهکـی قلیـایی هسـتند، زیـرا تقریباً در همه سنگهای آهکی قلیایی، صرفنظر از ترکیبهای بازیک، حد واسط یا اسیدی وجود دارند و در گستره وسیع از دما-فشار ۲۳ kbar و ۱۱۵۰-۴۰۰ درجه سانتی گراد پایدار هستند [۳۶،۱۸]. روابط بسیاری بر این اساس ارائه شده است. شرایط جایگیری سنگهای گابرویی با تغییر مقدار Al^{total} از ۲ تا ۲٫۵ محاسبه شده و فشار آنها بر اساس رابط مرجع [۳۷] بین ۶٬۵۲ تا ۸٬۹ کیلوبار (معادل با عمق ۲۳ تا ۳۲ کیلومتر)، برآورد شدہ است. دمای تبلور سنگھای مورد بررسے نیز بر اساس رابطه، P + ۶۵۴/۹ + T [۳۸] و بر اساس فشار محاسبه شده اشمیت [۳۷]، ۸۲۰ تا ۸۸۰ درجه سانتی گراد برآورد شد. دماسنجی بر پایه مقدار کاتیونهای مختلف آمفیبول [۳۹]: $T^{\circ C} = 1781 - 132.74[Si^{Amph}] + 116.6[Ti^{Amph}] -)$ (69.41[Fet^{Amph}]+101.62[Na^{Amph}]

دماهای C^o ۹۹۱–۹۳۷ را به دست میدهد. بررسی تجربی بر

الف

یایداری آمفیبولهای غنی از Ti نشان میدهد که حد بالای یایداری Ti- یارگازیت، کرسوتیت در فشار ۱GPa و دماهای کمتر از ۱۱۰۰ درجه سانتی گراد است [۴۰]. مقدار Ti، کلسیم آمفيبول ها با افزايش دما انطباق مثبتي دارد و افزايش مييابد، اما تقريباً مستقل از فشار است [۴۰] و بر اساس نتايج ارنست و لیو [۴۰]، مقدار Ti در دماهای بالای ۵۰۰ درجه سانتی گراد یک دماسنج به نسبت کمّی است. در زمین دما-فشارسنج نیمه کمی ارائه شده بر اساس تغییر مقدار اکسیدهای TiO₂ و Al₂O₃ کلسیم آمفیبولهای سنگهای متابازالتی [۴۰]، نمونه-های مورد بررسی، دمای ۸۵۰ تا ۹۳۰ درجه سانتی گراد و فشار ۱-۰/۵ GPa را نشان میدهند (شکل ۱۳ و جدول ۲). نمودار Fe/(Fe+Mg) نسبت به Fe/(Fe+Mg) آمفیبول، فشار احتمالی تبلور آمفیبولهای گابروهای مورد بررسی را بین ۵ تا ۹ کیلوبار برآورد مینماید. همچنین شواهد متعددی نشان میدهد که سنگهای پارگازیت - هورنبلند گابرویی مورد بررسی از یک مایع به نسبت آبدار متبلور شدهاند و بر اساس بالا بودن مقدار آنورتيت پلاژيوكلاز (تا بايتونيت)، كلينوپيروكسن كلسيمي و وجود هورنبلند ماگمایی، مشخص می شود که مایعهای مخزن ماگمایی مورد بررسی ۱٫۵ تا ۳ درصد آب داشتهاند [۴۰].

Pressure (GPa) Fe# 0.6 0.5 0.5 0.4 1kbai 3kba 0.3 1000 1100 700 500 0.2 0.5 1.0 1.5 3.0 Temperature (°c) AL (T)

2.0

شکل ۱۳ همنماهای Al₂O₃ و TiO2 کلسیم آمفیبولها براساس درصد وزنی به عنوان تابعی برای تعیین فشار و دما [۴۰] و موقعیت نمونههای مورد بررسی بر روی آن .ب- نمودار (Fe/(Fe+Mg نسبت به Al^{total} [۲۱] برای تعیین فشار تبلور آمفیبولهای گابروهای مورد بررسی شترکوه.

0.9

0.8

0.7

(*NE Iran*): An evidence for back-arc magmatism along the northern active margin of Gondwana", Chemie der Erde 75, (2015) 207–218.

[3] Balaghi Z., Sadeghian M., Ghasemi H., Zhai M.G., Mohajjel M., "Zircon U–Pbages, Hf isotopes and geochemistry of the schists, gneisses and granites inDelbar Metamorphic-Igneous Complex, SE of Shahrood (Iran): implicationsfor Neoproterozoic geodynamic evolutions of central Iran", J. Asian Earth Sci., (2014).06.011. 10.1016/j.jseaes.

[4] Aghanabati S.A., "*Geology of Iran*", Geological Survey of Iran Press, p 586.

[5] Shekari S., Sadeghian M., Ghasemi H., Zaki M.G., "*Mineral chemistry, Petrogenesis of metapelitic rocks of metamorphic-hgneous Shotor-Kuh complex (SE Shahrood)*", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 26 (1), (2018), 179-194. doi: 1029252/ijcm.26.1179.

[6] Shekari S., Sadeghian M., Zhai M., Ghasemi H., Zou Y., "*Mineral chemistry and petrogenesis of metabasites of Shotor-Kuh metamorphic - igneous complex (SE Shahrood) as an indicator for evolution of intracontinental extensional basins of late Neoproterozoic*", Scientific Quarterly Journal, GEOSCIENCES, Vol. 27, No.105, (2017), 167-182.

[7] Shekari S., "Petrology and geochemistry of Shotor-Kuh metamorphic complex (SE Shahrood)", Ph.D. thesis, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran (2018), (in Persian).

[8] ShafaiiMoghadam H., Li Q.L., Griffin W.L., Stern R.J., Ishizuka O., Henry H., Lucci F., O'Reilly S.Y., Ghorbani G., 2020, "*Repeated magmatic buildup and deep "hot zones" in continental evolution: The Cadomian crust of Iran*", Earth and Planetary Science Letters Volume 531, 1 February 2020, 115989

[9] Shafaii Moghadam H., Li H. X., Stern R. J., Ghorbani G., Bakhshizad F., "Zircon U–Pb ages and Hf–O isotopic composition of migmatites from the Zanjan – Takab complex, NW Iran: Constraints on partial melting of metasediments", Lithos (240 –243) (2016), 34–48.

[10] Sadeghian M., Hosseini S. H., Hemmati A., Shekari S., "Petrology, geochemistry and geochronology of SW Mayamey granitoids", Scientific Quarterly journal, Geosciences, 26, 103, (2017) 61-72.

[11] Sadeghian M., "Typical geological characteristics of Late Neoprterozoic- early Cambrian Iranian Gondwanan terranes as indicators for better and faster their برداشت

تودههای گابرویی مورد بررسی در حد استوک و به طور پراکنده در مقیاس کوچک در مجموعه دگرگونی -آذرین شترکوه رخنمون دارند. این گابروها از کانیهای شاخص آمفیبول، پلاژیوکلاز، پیروکسن، اولیوین و کدر تشکیل شدهاند. ماهیت ماگمای آنها بر اساس ترکیب کلینوپیروکسن، نیمهقلیایی است و مقدار پایین نسبت Ti/Al کلینوییروکسن وترکیب آمفیبول در آنها نشان میدهد که در شرایط اکسایشی تشکیل شدهاند. براساس نتايج برآمده از ريز گمانه الكتروني، آمفيبولهاي موجود در این سنگها از نوع پارگازیت و هورنبلندپارگازیت هستند. این آمفیبول ها از نوع ماگمایی و دمای بالا هستند. حضور هورنبلند ماگمایی در آنها نشان میدهد که ماگمای آنها باید آب فراوانی داشته باشد. شواهد متعدد نشان می دهد که سنگهای پارگازیت - هورنبلند گابرویی مورد بررسی از یک مایع به نسبت آبدار متبلور شدهاند و بر اساس بالا بودن مقدار آنورتیت پلاژیوکلاز ، کلینوپیروکسن کلسیمی و وجود هورنبلند ماگمایی، برآورد می شود که مایع های مخزن ماگمایی مورد بررسی ۱٫۵ تا ۳ درصد آب داشته اند. دما-فشارسنجیهای انجام شده بر یایه کانیهای کلینوییروکسن دماهای ۹۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتی گراد و فشارهای حدود ۵ تا ۷ کیلوبار را نشان میدهند براساس ترکیب آمفیبولها تعیین شده به روشهای مختلف، آنها در دماهای بالا، بین ۸۲۰ تا ۹۹۰ درجه سانتی گراد و فشار ۵ تا ۹ کیلوبار متبلور شدهاند.

قدردانی

بدین وسیله از داوران محترم برای پیشنهادات و ذکر نکات ارزشمند جهت بهبود مقاله سپاسگزاریم. همچنین از دانشگاه دامغان که ما را در انجام این تحقیق یاری کردند صمیمانه تشکر میکنیم .

مراجع

[1] Hassanzadeh J., Stockli D., Horton B., Axen G., Stockli L., Grove, M., Shmitt A., Walker D., *U-Pb zircon geochronology of late Neoprotrozoic* –*Early Cambrian granitoids in Iran: Implications for paleogeographym magmatism, and exhumation history of Iranian basement*⁹ Tectonophysics, (2008) 451: 71- 96.

[2] Hosseini S. H., Sadeghian M., Zhai M., Ghasemi H., "Petrology, geochemistry and zircon U–Pb dating of Band-e-Hezarchah metabasites metamorphic Geol., 23, 2005, 795–812. doi:10.1111/j.1525-1314.2005.00610.x.

[24] Le Bas N.J., "The role of aluminous in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage", Am.J.Sci. 260, 1962, 267-288.

[25] Schweitzer E. L., Papike, J. J., Bence A. E., "Clinopyroxenes from deep sea basalts: A statistical analysis", Geophysical Research Letters, 5(7), 1978, 573-576. doi.org/10.1029/ GL005i007p00573

[26] Aydin F., Karsli O., Sadiklar M.B., "Compositional Variations, Zoning Types and Petrogenetic Implications of Low-pressure Clinopyroxenes in the Neogene Alkaline Volcanic Rocks of Northeastern Turkey", Turkish Journal of Earth Sciences (Turkish J. Earth Sci.), Vol. 18, 2009, pp. 163–186. doi:10.3906/yer-0802-2

[27] Deer W.A., Howie R.A., Sussman J., "An *introduction to the rock forming minerals*", Longman Ltd (1992) 528p.

[28] Johannes W., "Melting of plagioclase in the system Ab-An-H₂O at P $_{H2O} = 5Kbar$ an equilibrium problem", Contrib. Mineral. Petrol. 66, 1978, 295-303.

[29] Soesoo A., "A multivariate statistical analysis of clinopyroxene composition: empirical coordinates for the crystallisation PTestimations", GFF, Vol. 119 1997, (Pt. 1, March), pp. 55–60. Stockholm. ISSN 1103–5897

[30] Leterrier J., Maury R.C., Thonon P., Girard D., Marchal M., "*Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleo-volcanic series*", Earth and Planetary Science Letters 59, 1982, 139–154.

[31] Nisbet F.G., Pearce J.A., "*Clinopyroxene composition in mafic lavas from different tectonic settings*", Contributions to Mineralogy and Petrology 63, 1977, 149–160.

[32] Coltori M., Bonadiman C., Faccini B., Gregoire M., O, Reilly S.Y., Powell W., "Amphiboles from suprasubduction and intraplate lithospheric mantle", Lithos, 99, 2007, 68-84.

[33] Aoki K., Shiba, I., "Pyroxenes from lherzolite inclusions of Itinomegata", Japan. Lithos 6, 1973, 41–51.

[34] Dawson J.B., "Metasomatized harzburgites in kimberlite and alkaline magmas: enriched restites and 'flushed' lherzolites. In: MENZIES, M.A. & HAWKESWORTH, C.J. (eds), Mantle Metasomatism. Academic Press, London, 1987, 125–144.

[35] Simonetti A., Shore M., Bell K., "Diopside phenocrysts from nephelinite lavas, Napak

uderstanding", 24th Symposium of Crystallography and Mineralogy of Iran (2016).

[13] ShafaiiMoghadam H., Li X.H., Santos J.F., Stern R.J., Griffin W.L., Ghorbani Gh, Sarebani N., "*Neoproterozoic magmatic flare-up along the N. margin of Gondwana: The Taknar complex, NE Iran*", Earth and Planetary Science letters, 474, 2017, 83-96.

[14] Bakhshizad F., Ghorbani Gh., "Geochemistry, Geochronology and tectonic setting of metamorphic rocks from Zanjan-Takab region", Scientific Quarterly Journal, Geosiences, vol 25, N 97, 2015, p361-374.

[15] Mardani F., "Geothermobarometry and petrology of gabbroic bodies from Shotor-Kuh (SE Shahrood)", N Iran. M.Sc. Thesis In Geology (Petrology), 2021, Damghan University, Damghan, Iran. In Persian.

[16] Hawthorne F.C., Oberti R., Harlow G., Maresch W.V., Martin R.F., Schumacher J.C., Welch M.D., "*Nomenclature of amphibole supergroup*", American Mineralogist v.97, 2012, 2031-2048. doi.org/10.2138/am.2012.4276

[17] Leake B., et al., "Nomenclature of amphiboles: Additions and revisions to the International Mineralogical Association's amphibole nomenclature", American Mineralogist v.89, 2004, 883-887. doi.org/10.1127/0935-1221/2004/0016-0191

[18] Leake B.E., et al., "Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association", American Mineralogist 83, 1997. 1019-1037. doi.org/10.1016/j.cageo.2004.05.007

[19] Leake B.E., et al., "On aluminous and edenitic hornblendes", Mineralogical magazine, v. 38, N. 296, 1971, p.389-407.

[20] Ernst W. G., "Paragenesis and thermobarometry of Ca-amphiboles in the Barcroft granodioritic pluton, central White Mountains", eastern California. Am.Mineral. 87, 2002, 478-490. doi: 10.2138/am-2002-0411

[21] Anderson J. L., Smith D. R., 'The effect of temperature and fo_2 on the Al-in-hornblende barometer', American Mineralogist. 80, (1995) 549-559.

[22] Morimoto N., "Nomenclature of pyroxenes", Bull. Mineral., 111, 1988, 535-550.

[23] Berger J., Femenlas O., J. C. C. Mercier J.C.C., Demaiffe D., "Ocean-floor hydrothermal metamorphism in the Limousin ophiolites (western French Massif Central): evidence of a rare preserved Variscan oceanic marker", J.

granitoids Implications for aluminum hornblende thermobarometry and magmatic epidote stability", Am.Mineral. 1991, 76, 176.

[39] Putirka K., "Amphibole thermometers and barometers for igneous systems and some implications for eruption mechanisms of felsic magmas at arc volcanoes", American Mineralogist, Volume 101, 2016, pages 841–858.

[40] Ernst W. G., Liu J., "Experimental phaseequilibrium study of Al- and Ti-contents of calcic amphibole in MORB- A semiquantitative thermobarometer", Am. Mineral. 83, 1998, 952-969. Volcano", Eastern Uganda: Evidence for magma mixing. Canadian Mineralogist 34, 1996, 411–421. [36] Stein E., Dietl C., "Hornblende thermobarometry of granitoids from the Central Odenwald (Germany) and their implications for the geotectonic development of Odenwald", Mineralogy and Petrology, 72, 1-3, 2001, pp 185-207. doi: 10.1007/s007100170033

[37] Schmidt M .W., "Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al – in hornblende barometer". Contrib. Mineral. Petrol. 110, 1992, 304 – 310. doi.org/10.1007/BF00310745.

[38] Vyhnal C.R., M_cSween H.Y., Jr., "Hornblende chemistry in southern Appalachian