Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy

مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران سال سی و سوم، شمارهٔ اول، بهار ۱۴۰۴، از صفحهٔ ۱۰۹ تا ۱۲۰

بررسی شیمی کانی کلینوپیروکسن در آمفیبولیتهای مجموعه برافزایشی مکران (جنوب شرق ایران)

مریم سوری^۱، احمد احمدی خلجی^{*۱}، جیامین وانگ^۲، رسول اسمعیلی ^{۲ و ۳}، محمد ابراهیمی^۳

۱ - گروه زمینشناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران ۲- موسسه زمینشناسی و زمینفیزیک، انجمن علوم چین ۳- گروه زمینشناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

چکیده: آمفیبولیتهای مورد بررسی در نزدیکی دهستان هشتبندی از توابع شهرستان میناب قرار دارند. این آمفیبولیتها بخشی از سنگهای دگرگونی کمربند افیولیتی مکران شمالی را تشکیل میدهند که به دو صورت جهتیافته و تودهای یافت میشوند. بر اساس کانیهای شاخص، این سنگها شامل آمفیبولیت، اپیدوت-گارنت- پیروکسن آمفیبولیت و گارنت-پیروکسن آمفیبولیت هستند. کانیهای اصلی تشکیلدهنده آنها آمفیبول، گارنت، پلاژیوکلاز، پیروکسن، اپیدوت، کوارتز و اسفن هستند. بر اساس شیمی کانی کلینوپیروکسن در اپیدوت-گارنت- پیروکسن آمفیبولیتها و گارنت-پیروکسن آمفیبولیتها از نوع کلسیمی است و بیشتر در گستر دیوپسید قرار می گیرد. این پیروکسنها ماهیت ماگمایی و دگرگونی دارند و از Si غنی هستند و در زمینه سنگهای نیمه قلیایی (تولئیتی و آهکی قلیایی) قرار دارند. کلینوپیروکسنهای مورد بررسی محیطهای در ارتباط با کمان آتشفشانی را نشان میدهند و بر اساس دما خشارسنجی، در گسترهی دمایی ۱۰۷۰ تا ۱۱۳۰درجه سانتیگراد و فشار ۵ تا ۱۰ کیلوبار تشکیل شدهاند که گویای تشکیل این کانیها در دمای بالا و فشار متوسط –بالاست. همچنین مقدار آهن سه ظرفیتی در کلینوپیروکسنها نشان دهنده گریزندگی پایین اکسیژن در محل تشکیل آنهاست.

مناطق دگرگونی یافت می شوند. این سنگها دربردارنده

کانی های حساس به دما و فشار چون آمفیبول، پیروکسن و

گارنت هستند که برای بررسی تغییرات دما- فشار دگرگونی

طی زمان (P-T-t) استفاده می شوند [۱-۴]. بررسی

آمفيبوليتها به ويژه ارتوآمفيبوليتها از ديرباز مورد توجه

پژوهشگران بوده است [۵-۷]. پیرامون آمفیبولیتهای مکران، یژوهشهای بسیار محدودی صورت گرفته [۸-۱۰] و بیشتر

بررسیهای انجام شده در این منطقه بر افیولیتهای مکران

واژههای کلیدی: کلینوپیروکسن؛ زمین دما- فشارسنجی؛ شیمی کانی؛ آمفیبولیت؛ مکران.

مقدمه

پهنه مکران با گسترش بسیار (با طول حدود ۸۰۰ و عرض حدود ۴۰۰ کیلومتر)، در جنوب فرورفتگی جازموریان قرار دارد (شکل ۱). در این پهنه، افزون بر رخنمون گسترده سنگهای دگرگون نشده افیولیتی و غیرافیولیتی، انواع سنگهای دگرگونی با درجههای مختلف دگرگونی دیده میشوند. رخنمون عمده این سنگها در پهنه مکران شمالی است. آمفیبولیتها از جمله سنگهای دگرگونی هستند که در بیشتر

*نويسنده مسئول، تلفن: ۰۶۶۳۳۱۲۰۶۱۹، پست الکترونيکی: <u>ahmadikhalaj.a@lu.ac.ir</u>

Copyright © 2025 The author(s). This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (<u>https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/</u>) Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited

بوده است. دادههای زیرکنهای آواری نشان میدهد که مجموعه برافزایشی مکران از تریاس تا ائوسن تکامل یافته است [۸] و سنگهای مادر آمفیبولیتها در یک محیط کششی ایجاد شدهاند [۹].

بررسیهای زمینشیمیایی آمفیبولیتهای منطقه نشان میدهد که این سنگها دارای خاستگاه آذرین با ترکیب بازالتی از نوع اقیانوسی هستند که از یک گوشتهی غنی شده شکل گرفتهاند و دارای ویژگیهای زمینشیمیایی شبیه بازالتهای مورب و مناطق آتشقشانی درون صفحهی اقیانوسی هستند [۸-۰۸] از آنجا که این نوع سنگها بیشتر در کمربندهای کوهزایی و در نوارهای دگرگونی یافت میشوند، تعیین دما و فشار دگرگونی آنها، نقش مهمی در درک دگرگونیهای زمین-ساختی گرمایی و زمینساختیدگرگونی پوسته قارهای و ساختی گرمایی و زمینساختیدگرگونی پوسته قارهای و ایا از سوی دیگر، کانی پیروکسن به علت مقاومت بالا نسبت به محلولهای دگرسانی نسبت به سایر کانیها، حضور تعداد زیادی از عناصر در فرمول ساختاری آن و حضور در تفسیرهای سنگشناسی محسوب میشود. به باور لیتورد و

همکاران [۱۲]، از آنجا که پیروکسنها اغلب در تعادل شیمیایی با میزبان خود هستند، تغییر و دگرگونیها را در خود ثبت می کنند. از این رو، پیروکسن از جمله کانی های مهم و شاخص است که تغییر ترکیب شیمیایی آن اطلاعات ارزشمندی پیرامون سنگزایی را در اختیار پژوهشگران قرار میدهد [۱۳–۱۶]. همچنین پژوهشگران بسیاری [۱۷–۱۹] بر وابسته بودن تركيب شيميايي پيروكسنها به تركيب شيميايي ميزبان آنها تأكيد كردهاند كه اين ويژگى باعث اهميت کلینوپیروکسنها در تعیین سری ماگمایی سنگ میزبان و تعیین جایگاه زمینساختی-ماگمایی آنها شده است. از سویی، ترکیب شیمیایی پیروکسنها به شرایط فیزیکی و شیمیایی میزبان مانند دما، فشار و گریزندگی اکسیژن وابسته بوده لذا برای سنجش شرایط فیزیکوشیمیایی بسیار مفید هستند. از این رو، در این پژوهش شرایط دما و فشار برای تشکیل کانی پیروکسن در آمفیبولیتهای مکران بر پایه تجزیه شیمیایی نقطهای (با ریزپردازنده الکترونی) بررسی شدهاست که میتواند گام موثری در روشن ساختن رخدادهای زمینشناسی در منطقه باشد (شكل ۱).



شکل ۱ نقشه ساده شدهای از واحدهای سنگی و ساختاری منشور برافزایشی مکران، جنوب ایران [۲۰].

زمینشناسی عمومی

آمفیبولیتهای مورد بررسی در پهنه ساختاری مکران در نزدیکی دهستان هشتبندی در ۶۰ کیلومتری شرق شهر میناب و در منطقه مکران شمالی (جنوب شرق ایران) واقع هستند (شکل ۱). در گسترهی پهنه مکران، گسلها و راندگیهایی با روند شرقی- غربی وجود دارند که گسل بشاگرد از مهمترین آنهاست. در شمال گسل بشاگرد، مجموعههای افیولیتی مختلف شامل گنج، رمشک- مختارآباد، بندزیارت، افیولیتی مختلف شامل گنج، رمشک- مختارآباد، بندزیارت، تیدار، باجگان-دورکان و مسکوتان دیده می شود که گاهی توالی بیشتر در مجموعه باجگان- دورکان دیده می شوند. سامانه فرورانشی/ برافزایشی مکران در ایران از شمال به جنوب شامل بخشهای مختلفی است که عبارتند از ۱) کمان آتشفشانی بزمان- تفتان و گودال پیش کمان جازموریان، ۲) گوه راندگی

فعال امروزی است [۲۱]. همچنین بخش خشکی مکران ایران به چهار قسمت اصلی تقسیم شده است که از شمال به جنوب شامل مکران شمالی، مکران درونی، مکران بیرونی و مکران ساحلی هستند [۲۱] (شکل ۱). آمفیبولیتهای مورد بررسی از نظر تقسیمهای ساختاری در پهنه مکران و از نظر جایگاه جغرافیایی در مکران شمالی قرار دارند [۲۰] (شکل ۱). بیشتر قطعههای پوسته اقیانوسی در ارتباط با نئوتتیس رخنمون یافته در مکران شامل گدازههای بالشی کرتاسه ی پیشین، توفهای آندزیتی کرتاسه پسین، آندزیتها، شیشه آواریها، ریوداسیتها، توفها، شیستهای آبی، آمفیبولیتها، سرپانتینیتها، رادیولاریتهای کرتاسه ی پیشین- پسین، سنگ آهکهای گودابه ای تا آبسنگی و ماسه سنگهای توربیدایتی هستند (شکل ۲). آمفیبولیتها به صورت عدسیهایی به طور ناپیوسته در مرزهای راندگی با دیگر بخشهای افیولیتی رخنمون دارند (شکل ۲) [۸، ۹].



شکل ۲ نقشه زمینشناسی ساده شدهای از منطقه مورد بررسی براساس نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ میناب [۲۲].

روش بررسی

بازدیدهای صحرایی در چند مرحله با نمونهبرداری ۱۶۰ نمونه دستی از انواع سنگهای آمفیبولیتی انجام شد. کارهای آزمایشگاهی شامل تهیه و بررسی ۶۰ مقطع نازک میکروسکپی از انواع سنگهای آمفیبولیتی بود. برای بررسی شیمی کانی پیروکسن در آمفیبولیتها، ۲ مقطع نازک – صیقلی (نمونه S45، از گارنت – پیروکسن آمفیبولیتها و نمونه S17B، از اپیدوت –گارنت – پیروکسن آمفیبولیتها) تهیه شد و ۲۵ نقطه از این کانی (۲۰ نقطه از نمونه های گارنت – پیروکسن آمفیبولیتها و ۵ نقطه از اپیدوت – گارنت – پیروکسن آمفیبولیتها) با ریزپردازنده الکترونی Joel Jxa-8100 در موسسه زمینشناسی و زمینفیزیک، انجمن علوم چین-IGG (CAS) با ولتاژ Vst

که نتایج آنها در جدول ۱ آمده است.

سنگنگاری

سنگهای آمفیبولیتی مکران از نظر ساختاری و ظاهری،به دو صورت جهتیافته و تودهای یافت میشوند و براساس کانیهای شاخص دگرگونی، شامل انواع آمفیبولیتهای معمولی (جهتیافته و تودهای، شکل ۳ الف)، اپیدوت-گارنت-پیروکسن آمفیبولیت (شکل ۳ ب) و گارنت- پیروکسن آمفیبولیت (شکل ۳ پ) هستند. هورنبلند و پلاژیوکلاز مهمترین اجزای تشکیل دهندهی این آمفیبولیتها هستند. کانیهای گارنت و کلینوپیروکسن در گارنت- پیروکسن آمفیبولیتها و کانیهای اپیدوت، گارنت و کلینوپیروکسن در نمونههای اپیدوت-گارنت-پیروکسن آمفیبولیت یافت میشوند.

اكسىژن	اختاری بر بابه ۶ اتم	ر و محاسبه فرمول س	آمفيتوليتهاي مكران	ن کلینوییروکسن در	حدول (نتابج تجزیه ریزیردازشی کان
، عسيري				ی میر پیر د مسی در	

نمونه	S-45-1-Amp1	S-45-1-Amp2	S-45-1-Amp3	S-45-1-Amp4	S-45-3-Amp1	S-45-3-Amp2	S-45-3-Amp3	S-45-4-Ampl	S-45-4-Amp2
SiO ₂	۵۱٫۷۸	۵۲٬۲۷	۵۲٬۱۰	۵۲/۴۱	۵۰٫۵۶	۵۲٬۶۳	۵۱٬۲۴	۵۲٬۰۹	۵۲٬۲۶
TiO ₂	•,•۶	۰ ₁ ۰۶	• ,• Y	۰,۰۷	٠٫١٨	۰,۰۵	• ، ۱ ۱	•,11	•,\•
Al_2O_3	١,٢١	۸۳٫۷	۱,۵۲	۱٬۹۸	۲,۶۵	۰,۹۸	۳۲٫۲۳	۱٫۵۳	۱,۳۶
FeO	۱۱ <i>۱۶۶</i>	15/15	۲۱٬۴۸	11,74	۱۱٫۸۹	١٣/١٨	۱۳٫۴	۱۰/۹۷	۱۰٫۳۹
Cr_2O_3	• ، • ۱	۰,۰۳	۰,۰۱	•	•	۰,۰۳	•	۰٬۰۳	۰,۰۱
MnO	۲۶,۰	٠٫١٩	• ۲۲	•,۱۷	•,77	•,77	۰٫۱۹	٠٫١٧	۵۲٬۰
MgO	۱۰٫۰۱	٩,٩٣	١٠٫١٧	١٠,١٩	٩٫٧٨	۹٫۷۱	٩٫٣٣	۶۶/۱۰	۱۰,۴۱
CaO	۲۳٬۵۹	۲۳٬۸۶	۲۳٫۸۸	۲۳٬۷۷	۲۳,۶۶	۲۴٫۲۸	۲۳٬۴۹	۲۳,۶۴	24/1
Na ₂ O	۶۵٫	+۵۴	۰٫۴۵	•,8٣	۱۵٫۰	۰٫۲۵	۶۵، •	•,۴۶	•,*1
K ₂ O	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۳	۰,۰۲	• ,• • A	•,•• ۵	• ٫• ١	• /•)	•
P_2O_5	•,••٣	•,••۴	•	۰,۰۱	۰,۰۱	•,••Y	۰,۰۱	•	۰,۰۱
مجموع	۹۹ _/ ۶۶	۲۹/ ۰۰	۹۹ _/ ۹۸	۴۹/۲۰۰	۹۹ _/ ۴۶	1.1/26	۱۰۰,Δ٧	<i>९९_/</i> ۶۷	۹۹ _/ ۳
Si	١,٩٧	۱٬۹۸	١/٩٨	١/٩٧	۱,۹۴	١/٩٩	۱/۹۵	١,٩٨	١,٩٩
Ti	•,••	•,••	• /• •	• /• •	۰,۰۱	•,••	• /• •	•/••	•,••
Al	۰,۰۳	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۳	۰ ₁ ۰۶	۰,۰۱	۰,۰۵	۰,۰۲	۰,۰۱
Cr	•,••	•,••	• /• •	• /• •	•,••	•,••	• /• •	•,••	•,••
Fe(iii)	۰,۰۲	۰,۰۲	• ، • ١	۰,۰۱	۰,۰۵	•,••	۰,۰۴	۰, • ۱	•,••
Fe(ii)	۰٫۳۵	•,٣۶	۵۳٬ ۰	• ,٣۴	• ,٣٣	•,*1	• ،٣٧	• ,٣۴	•,٣٣
Mn	۰,۰۱	•،• ١	• ، • ١	۰,۰۱	۰,۰۱	•،• ۱	•،• ١	۰,۰۱	۰,۰۱
Mg	۰,۵۷	۰,۵۶	<i>۰</i> ,۵۸	۰,ΔV	۰,۵۶	۰,۵۵	۰,۵۳	• ,8 •	۰ _/ ۵۹
Ca	۰,۹۶	٠٫٩٧	۰,۹۷	۰,۹۶	۰,۹۷	۰,۹۸	۰,۹۶	۰,۹۶	۰,۹۸
Na	•,•۴	•,•۴	۰,۰۳	۰,۰۵	•,•۴	۰,۰۲	•,• ۴	۳ ۰٫	٠٬٠٣
Wo	۴۹,۳۱	49,44	۴۹ _/ ۷۳	۴٩٫۵٠	49,8V	49,84	49,10	49,77	۵۰٬۵۶
En	۲٩,1۴	۲۸,۶۴	۲۹٬۴۸	۲٩,۵۵	۲۸٬۵۸	۲۷٫۷۳	۲۷,۱۶	۳۰,۹۰	٣٠,۴١
Fs	۱٩٫۴٣	۱۹ _/ ۸۹	۱٩,١٠	۱۸٫۵۴	۱۹٫۷۸	۲۱٬۴۷	۲۱٬۵۵	١٨,١٢	14,48

1	جدوا	ادامه

نمونه	S-45-4-Amp3	S-45-5-Amp1	S-45-5-Amp2	S-45-5-Amp3	S-45-5-Amp4	S-45-6-Amp1	S-45-6-Amp2	S-45-6-Amp3
SiO ₂ (/.)	۵۱٫۳۳	۵۱٫۲۱	۵۲٬۰۹	۵۱,۹۱	۵۲٬۰۶	۵۰٫۶۷	۵۰٬۹۵	۴٩٫٣٧
TiO ₂	٠٫١٣	٠,١٢	•,•۶	۰,۰۴	•,•۶	• / ۱ ۱	•,14	۰٫۲۸
Al ₂ O ₃	۲٫۶۵	۲,۱۶	۲۲,۱	٣٣ر	١/٣٢	۲,۱۶	1,44	٣,٢٠
FeO	۱۰٬۹۱	۱۲/۹۶	۱۲٫۷۳	17,81	17,87	14,18	۱۲,۶۹	١٣٫٨٩
Cr ₂ O ₃	٠,٠٣	۰٬۰۲	•	•	•	•,•۶	۰٬۰۲	•
MnO	٠,١٢	۰,۱۸	۰٫۲۱	• ۲۷	٠,١٨	• , • A	• ۲۲۷	•,18
MgO	۱۰,۱۶	٩٫۴٧	٩٫۵٧	٩٫٢٣	٩٫٧٩	λ , ۶ λ	٩,٠٢	٨,۴٩
CaO	۲۳٫۴۹	۲۳٬۷۰	۲۳٬۹۰	۲۳٬۷۹	۲۳٬۸۲	۲۳٬۲۲	۲۳٬۳۲	۲۲٫۷۹
Na ₂ O	۰٬۶۸	۰٫۵۳	۶ ۴۶	<i>۳۳</i> ړ.	۰٬۴۵	۰٫۵۹	٠٬۵۲	٠,٧٨
K ₂ O	*	•	• ، • ۱	۰٬۰۲	• /• 1	•	۰٬۰۲	• /• 1
P_2O_5	• ، • ۱	•,••۴	• ,• • Y	• ، • ،	۰,۰۳	•	۰,۰۱	•,••۶
مجموع	۹۹,۵۱	۵۳٫۰۰۱	۲۵,۰۰۱	۹۹٬۵۴	1/16	٩٩٫٧	٩٨٫۴۵	٩٨,٩٧
Si	۱,۹۵	۱,۹۵	۱٬۹۸	١,٩٩	۱,۹۸	۱,۹۵	۱٬۹۸	١/٩٢
Ti	•,••	• / • •	• / • •	• / • •	• / • •	• / • •	• / • •	• /• 1
Al	۰,۰۵	۰,۰۵	۰٬۰۲	۰٬۰۱	•,•٢	۰,۰۵	۰٬۰۲	۰,· ۸
Cr	•,••	•,••	•,••	•,••	•,••	•,••	•,••	•,••
Fe(iii)	٠,٠٣	۰,۰۵	۰,۰۲	• / • •	•,• ١	۰,۰۵	۰,۰۲	٠,٠٩
Fe(ii)	٠,٣٢	۶۳٫۰	٠٫٣٩	• ۲٫۴۰	۸۳٫۰	• , ۴ •	٠٫٣٩	۶۳٫
Mn	•,••	۰,۰۱	۰٬۰۱	۰٬۰۱	• /• 1	• / • •	۰٬۰۱	• /• 1
Mg	۸۵٫ •	۴۵۴ و	٠٫۵۴	۰٬۵۳	۶ ۵۶ •	• ۵٫	• ،۵۲	٠,۴٩
Ca	۰,۹۶	٠٫٩٧	٠٫٩٧	۰٫۹۸	• ٬۹۷	۰ ٫۹۶	٠٫٩٧	۰٬۹۵
Na	۰٬۰۵	۰,۰۴	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۴	•,• ۴	•,•۶
Wo	F9,F9	49,79	49,84	۵۰,۱۰	49,04	۴۸٬۹۵	۴٩,۶٠	۴۸٬۵۸
En	۲۹٫۸۰	۲۷٫۴۳	۲۷٬۶۵	۲۷٬۰۵	۲۸٬۳۳	۲۵٬۴۶	۲۶,۷۱	۲۵,۲۰
Fs	١٨,١٢	۲۱٬۲۵	۲٠,۹۵	۲۱,۲۰	44,47	۲۳٬۳۰	51,49	۲۳/۲۱

ادامه جدول ۱

نمونه	S-45-7-Amp1	S-45-7-Amp2	S-45-7-Amp3	S-17B-5-Amp1	S-17B-5-Amp2	S-17B-5-Amp3	S-17B-5-Amp4	S-17B-5-Amp5
SiO ₂ (/.)	۵۲/۱۱	۵۲٬۱۸	۵۱٫۳۱	۵۲/۲۱	۵۲٬۵۱	۵۱٬۱۶	۵۲٬۳۵	۵۲٬۵۱
TiO ₂	• /• ١	• /• ١	• /• Y	• ,• ٢	• , • A	• ,• Y	• ,• A	•,•۴
Al_2O_3	٠٫٨۴	٠ _/ ٧٩	۱٬۵۳	۱,۵۰	۱,۶۵	۲,۱۱	۱,۹۵	١,١٨
FeO	17,97	١٢/٩١	۱۳٬۰۵	٩,٩۶	۲۰٬۰۴	۱۱,۵۵	٣٧,٠١	11/42
Cr_2O_3	•	•	•,•۴	•	•,•۶	•,·• ۵	•	•
MnO	٠,۲٨	۲۲٫۰	٠,١٨	۰,۴۵	۰ _\ ۵ ۰	٠,٣٩	• ۳۷	• ۳۰
MgO	٩,۵۶	۹٫۰۸	٩٫٣٧	۶۳ ، ۱۰	۱۰٫۵۲	۱۰٬۰۲	۶۳/۲	۲۷,۱۰
CaO	۲۳٬۸۸	۲۳/۴۰	۲۳٬۳۳	۲۳٬۴۳	۲۳٬۱۰	77,78	۲۳/۰۷	57,V7
Na ₂ O	• 181	۰ ۵۱	• ،۵۲	۰٬۸۳	• ,	۴.	٠,٩١	٠ _/ ٩٩
K ₂ O	• •• ٢	•,•۶	•	•,••۶	•,• ١	•,•)	• ,• ٣	• ,• • A
P_2O_5	•,•۴	• /• 1	٠٬٠٣	•	• • ١	۰,۰۲	•,••1	•
مجموع	۲۲,۰۰۱	٩٩,١٧	٩٩,۴٣	٩٩٫٠٣	۹۹,۶۲	۹۹,۱۱	ঀঀ৻٧۶	<i>۹۹٫۴۳</i>
Si	١/٩٩	۲,۰۱	١/٩٧	١/٩٩	١,٩٩	۱,٩۶	۱,۹۸	۲,۰۰
Ti	•,••	• /• •	•,••	•,••	•,••	•,••	•,••	•,••
Al	• /• ١	-•/•)	• ,• ٣	• ١	•,• ١	۰,۰۴	۰,۰۲	• / • •
Cr	•,••	• /• •	• / • •	•,••	•,••	•,••	•,••	•,••
Fe(iii)	۰,۰۵	• /• •	٠٬٠٣	۰٬۰۳	•,••	• , • A	۰,۰۳	۰,۰۳
Fe(ii)	۰٫۳۶	۲ ۹ ر ۰	٠٫٣٩	٠,٢٩	۲۳٫۰	٠,٢٩	٠,٣٠	۳۳,٠
Mn	• ,• 1	• ,• 1	• /• 1	• .• 1	۰,۰۲	• ,• 1	• .• 1	• /• 1
Mg	۰٬۵۴	۰٬۵۲	+ ۵۴	• ۶ •	•	۰,۵Y	• % •	۰,۵۸
Ca	۰ ٬۹۸	•,98	•,98	•,98	•,9۴	۰٬۹۳	٠,٩٣	۰٬۹۳
Na	۰,۰۵	• ,• ۴	•,•۴	• • • 9	•,•۴	• ,• A	• ,• Y	• / • Y
Wo	۴٩,١٨	49,07	۴۸,۹۸	۴۸٬۹۶	49,+9	۴۷٬۵۴	۴۸,۱۶	۴۷,۳۸
En	۲۷٫۳۹	58,V8	۲۷٫۳۹	۳۰٬۹۱	۳۱٬۰۸	59,18	٣٠,٩٠	۲۹٫۸۲
Fs	51,15	T1,VF	T1,84	18,98	۱٧,۵۵	19,88	17,49	۱۹٬۰۵



شکل ۳ الف) رخنمون صحرایی آمفیبولیتها در منطقه مکران، ب) نمونه دستی اپیدوت - گارنت - پیروکسن آمفیبولیت، پ) نمونه دستی گارنت -پیروکسن آمفیبولیت، ت) تصویر میکروسکپی از آمفیبولیت معمولی تودهای، ث) تصویر میکروسکپی از آمفیبولیت معمولی جهتیافته، ج) تصویر میکروسکپی از اپیدوت - گارنت - پیروکسن آمفیبولیت (در نور قطبیده متقاطع، XPL، چ، ح) تصاویر میکروسکپی از نمونههای گارنت - پیروکسن آمفیبولیت (در نور قطبیده متقاطع، XPL). خ) تصویر میکروسکپی اسفن در نمونه های گارنت - پیروکسن آمفیبولیت (XPL). نشانههای اختصاری شامل Cpx: کلینوپیروکسن، Am: آمفیبول، Grt: گارنت، Spn: اسفن، PI: پلاژیوکلاز و Epi: اپیدوت هستند [77].

آمفیبولیتهای معمولی با گسترش بسیار به رنگ سبز تیره تا بسیار تیره با بافت دانهریز تا دانهدرشت در منطقه یافت میشوند (شکل ۳ ت). این سنگها گاهی دارای برگوارگی با تناوبی از لایههای غنی از پلاژیوکلاز و لایههای غنی از هورنبلند هستند (شکل ۳ ث). اپیدوت-گارنت – پیروکسن آمفیبولیتها به صورت تودهای، به رنگ سبز روشن بوده که این رنگ به دلیل فراوانی اپیدوت (۳۰ درصد حجمی) است (شکل-های ۳ ب و ج). کانیهای تشکیل دهنده یاین سنگها شامل آمفیبول، پلاژیوکلاز، اپیدوت، گارنت، پیروکسن، کوارتز و به مقدار کم کانیهای مات هستند. پیروکسنها از نوع کلینوپیروکسن کمتر از ۵ درصد حجمی اپیدوت-گارنت – پیروکسن آمفیبولیتها را تشکیل میدهند. گارنت – پیروکسن آمفیبولیتها در نمونههای صحرایی و دستی به رنگ سبز روشن تا سبز تیره و دارای بافت دانه ریز تا دانه درشت هستند (شکل ۳ پ). اندازه کانی گارنت گاهی به چند میلیمتر میرسد

(شکلهای ۳ چ، ح). بافت اصلی سنگ دانه شکفتی و پورفیری دانه شکفتی است و در برخی نمونهها، کانی گارنت به صورت شکفته بلور دیده میشود. کانیهای تشکیل دهنده این سنگها شامل گارنت، پیروکسن، آمفیبول، پلاژیوکلاز، کوارتز و اسفن هستند (شکل ۳ خ). در برخی نمونهها، کانی گارنت به صورت شکفته بلور و دارای میانبارهایی از آمفیبول و پلاژیوکلاز است. بر پایه شواهد سنگنگاری، ظهور گارنت به صورت زیر پیشنهاد می شود:

- (۱) آمفيبول= گارنت+كوارتز+آب
- (٢) پلاژيو کلاز + آمفيبول = گارنت + کوار تز + آب

گارنتهای موجود در این سنگها (۳۰ درصد حجمی) شکل هندسی چندان منظمی ندارند و همراه با کلینوپیروکسن و آمفیبول در زمینه دانه شکفتی هستند (شکلهای ۳ چ، ح). پلاژیوکلازها (۱۵ درصد)، به صورت نیمه شکل دار هستند و بیشتر به کانیهای رسی و کلسیت دگرسان شدهاند.

پیروکسنها از نوع کلینوپیروکسن (حدود ۱۰ درصد) و به صورت بیشکل تا نیمهشکلدار هستند (شکلهای ۳ چ، ح). آمفیبولها به صورت سبزرنگ، ۴۰ درصد حجمی سنگ را شامل میشوند (شکل ۳ چ). اسفن به صورت نیمهشکلدار تا شکلدار به وفور (حدود ۵ درصد) یافت میشود (شکل ۳ خ).

شيمىكانى پيروكسن

بررسی های بسیاری برای شناسایی رابطهی بین ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسنها با ماهیت سنگهای میزبان آنها انجام شده است [۱۷، ۲۴، ۲۵] که نشان میدهند مقدار Ti و AI کلینوپیروکسنها از یک سو به فعالیت سیلیس که از آن

متبلور شدهاند، وابسته است و از سوی دیگر به نسبت این عناصر که به ترتیب در انواع ماگمای تولئیتی، قلیایی و پرقلیایی افزایش مییابد، بستگی دارد. در ردهبندی گستردهای، پیروکسنها به چهار گروه ۱) پیروکسنهای Ca-Mg-Feدار (Quad)، ۲) پیروکسنهای دیگر تقسیم میشوند [۲۶]. براساس Naدار و ۴) پیروکسنهای دیگر تقسیم میشوند [۲۶]. براساس نتایج ریزکاوش الکترونی از کلینوپیروکسنهای آمفیبولیتهای مکران، نمونههای مورد نظر در نمودار J-Q در گستره پیروکسنهای کلسیم-آهن-منیزیمدار قرار می گیرند (شکل ۴



شکل ۴ الف) کلینوپیروکسنهای مورد بررسی در نمودار Q-J در گستره کلینوپیروکسنهای کلسیم-منیزیم- آهندار قرار میگیرند Q=Ca+Mg+Fe²⁺) و (En-Wo-Fs و (En-Wo-Fs) (I=2 Na±R(R: Al, Fe³⁺, Cr³⁺, Sc³⁺) و (En-Wo-Fs کلینوپیروکسنهای مورد بررسی در گستره دیوپسید قرار دارند [۲۶]، پ) براساس نمودار Ti + Na + Cr نسبت به Al، نمونههای مورد بررسی ماهیت آذرین و دگرگونی را نشان میدهند [۲۷]، ت) نمودار SiO₂ نسبت به SiO₂ اا [۱۷]، ث) نمودار TiO₂ نسبت به Al از [۱۷] که نشان دهنده سری آهکی قلیایی برای نمونههاست.

برای جدا نمودن پیروکسنهای گروه Ca-Mg-Fe نمونهها از شکل ۴ ب استفاده شد که بر این اساس، پیروکسنهای مورد بررسی از نوع کلسیمی هستند و در گستره دیوپسید قرار می گیرند [۲۶] (شکل ۴ ب). براساس نمودار تغییرات Ti + Na Cr + نسبت به Al [۲۷]، پیروکسن های مورد بررسی ماهیت آذرین و دگرگونی را نشان میدهند (شکل ۴ پ). بررسی شیمی سنگ کل آمفیبولیتهای مکران نیز نشان میدهد که این سنگها دارای خاستگاه آذرین (ارتوآمفیبولیت) با سنگ مادر بازالتی هستند [۱۰]. به باور لوباس [۱۷]، مقدار Al و Ti درون شبکه ساختاری پیروکسن به درجه قلیایی بستگی دارد و بر پایه مقدار SiO₂ و Al₂O₃ در ترکیب شیمیایی پیروکسنها، دستههای ماگمایی پرقلیایی، قلیایی و نیمه قلیایی را از هم تفکیک کرده است. به این ترتیب، ترکیب شیمیایی پیروکسنهای مورد بررسی از Si غنی است و در زمینه سنگهای نیمه قلیایی (تولئیتی و آهکی قلیایی) قرار می گیرند (شکل ۴ ت) و براساس نمودار TiO₂ نسبت به Al₂O₃ ، گستره آهکی قلیایی را نشان میدهند [۱۷] (شکل ۴ ث).

زمیندما- فشارسنجی

در دهههای گذشته، بررسی و بررسیهای زمیندماسنجی و زمینفشارسنجی برای شناسایی شرایط دما و فشار تشکیل کانیها، مورد توجه قرار گرفته است. در این مورد، محاسبهها براساس حساسیت توزیع عناصر در ساختار کانی ها و یا طی تبادل های شیمیایی، نسبت به دما و یا فشار طراحی شدهاند از نمودار Al^{VI} نسبت به Al^{IV} [۲۹] از نمودار مودار معیین فشار کلینوپیروکسنهای مورد بررسی استفاده شد. نمونههای مورد بررسی براساس این نمودار (شکل ۵ الف)، بیشتر در گستره فشار متوسط-بالا قرار می گیرند. از جایگاه های مختلف Al در بلور كلينوپيروكسن براى تعيين عمق استفاده شده است. در واقع، هرچه فشار پایین تر باشد، کلینوپیروکسن ها از Al غنی تر هستند. توزيع آلومينيم در جايگاه چاروجهی (Al^{IV}) و هشتوجهی (Al^{VI}) کلینوپیروکسن، اساس روشی مناسب برای برآورد درصد تقریبی آب ماگماست [۳۰]، با توجه به این نمودار، نمونههای مورد بررسی در محیطی با مقدار آب ۱۰ درصد و بیشتر و فشار ۵ تا ۱۰ کیلوبار تشکیل شدهاند که گویای تبلور این کانیها در فشار متوسط-بالاست (شکل ۵ ب).



شکل ۵ برآورد فشار و مقدار آب موجود در محیط تبلور پیروکسنهای مورد بررسی با استفاده از الف) نمودار Al^{IV} نسبت به Al^{IV} [۲۹] و ب) نمودار Al^{IV} نسبت به Al^{VI} [۳۰]، پ. دماسنجی کلینوپیروکسنها با استفاده از نمودار YPT نسبت به XPT [۳۱]. نشانه ها مانند شکل ۴ هستند. XPT و YPT براساس روابط زیر محاسبه می شوند:

 $XPT = 0.446 SiO_2 + 0.187 TiO_2 - 0.404 Al_2O_3 + 0.346 FeO - 0.052 MnO + 0.309 MgO + 0.431 CaO - 0.446 Na_2O YPT = -0.369 SiO_2 + 0.535 TiO_2 - 0.317 Al_2O_3 + 0.323 FeO + 0.235 MnO - 0.516 MgO - 0.167 CaO - 0.153 Na_2O YPT = -0.369 SiO_2 + 0.535 TiO_2 - 0.317 Al_2O_3 + 0.323 FeO + 0.235 MnO - 0.516 MgO - 0.167 CaO - 0.153 Na_2O YPT = -0.369 SiO_2 + 0.535 TiO_2 - 0.317 Al_2O_3 + 0.323 FeO + 0.235 MnO - 0.516 MgO - 0.167 CaO - 0.153 Na_2O YPT = -0.369 SiO_2 + 0.535 TiO_2 - 0.317 Al_2O_3 + 0.323 FeO + 0.235 MnO - 0.516 MgO - 0.167 CaO - 0.153 Na_2O YPT = -0.369 SiO_2 + 0.535 TiO_2 - 0.317 Al_2O_3 + 0.323 FeO + 0.235 MnO - 0.516 MgO - 0.167 CaO - 0.153 Na_2O YPT = -0.369 SiO_2 + 0.535 TiO_2 - 0.517 Al_2O_3 + 0.535 TiO_2 - 0.516 MgO - 0.167 CaO - 0.153 Na_2O YPT = -0.505 MnO - 0.516 MgO - 0.167 CaO - 0.153 Na_2O YPT = -0.505 MnO - 0.516 MgO - 0.516 MgO - 0.515 Na_2O YPT = -0.505 MnO - 0.516 MgO - 0.516 MgO - 0.515 Na_2O YPT = -0.505 MnO - 0.516 MgO - 0.516 MgO - 0.515 Na_2O YPT = -0.505 MnO - 0.516 MgO - 0.516 MgO - 0.515 Na_2O YPT = -0.505 MgO - 0.505 MgO -$

همچنین براساس نمودار YPT نسبت به XPT [۳۱]، می توان دمای تشکیل کلینوپیروکسنها در سنگها را تعیین نمود که بر این اساس، پیروکسنهای مورد بررسی گسترهی دمایی ۱۰۷۰ تا ۱۱۳۰درجه سانتیگراد را نشان میدهند (شکل ۵ پ). براساس بررسیهای زمین دما – فشارسنجی آمفیبول موجود در این سنگها، فشار کمتر از kbar (۴ تا ۶ کیلوبار) و گستره دمایی ۸۰۰–۷۵۰ درجه سانتیگراد برای تبلور این کانی برآورد شده است [۳۲].

جایگاه زمینساختی

براساس نمودار ^{IV} Al^{IV} نسبت به TiO₂ [۳۳]، سنگهای در ارتباط با فرورانش (جزایر قوسی) را از سنگهای مربوط به کشش جدا میکنند. بر این اساس، نمونههای مورد بررسی را نشان میدهند (شکل ۶ الف). نمودار F1 نسبت به F2 [۲۴]، به خوبی کلینوپیروکسنهای بازالتهای قلیایی درون صفحهای (wpt) را از انواع دیگر ماگماها جدا میکند؛ جدایش ماگمای WPT از ماگمای بازالتهای کمان آتشفشانی (VAB) نیز به خوبی صورت میگیرد ولی همپوشی قابل توجهی بین -WPT OFB و VAB-OFB دیده میشود. (BFD: بازالت های کف اقیانوسی) نتایج جایابی نمونهها در این نمودار نشان میدهد که



گریزندگی اکسیژن (fO₂)



شکل ۴ تعیین جایگاه زمینساختی نمونههای مورد بررسی بر پایه ترکیب شیمیایی پیروکسن با استفاده از الف) نمودار 100* Al^{IV} نسبت به TiO₂ [۳۳]، ب) نمودار F1 نسبت به F2 [۲۴]. نشانه ها مانند شکل ۴ هستند. پارامترهای F1 و F2 عبارتند از:

 $\begin{array}{l} F_1 = - \; (0.012*SiO_2 \;) \; - \; (0.0807*TiO_2 \;) \; + \; (0.0026*Al_2O_3 \;) \; - \; (0.0012 \; *FeO_T \;) \; - \; (0.0026 \; MnO) \; + \; (0.0087*MgO) \; - \; (0.0128*CaO) \; - \; (0.0419*Na_2O) \\ F_2 = - \; (0.0469*SiO_2 \;) \; - \; (0.0818*TiO_2 \;) \; - \; (0.0212*Al_2O_3 \;) \; - \; (0.0041* \; FeO_T \;) \; - \; (0.1435*MnO) \; - \; (0.0029*MgO) \; + \; (0.0085*CaO) \; + \; (0.016*Na_2O) \\ \end{array}$



شکل ۷ الف) نمودار Ti نسبت به Al^{IV} (۳۶]، ب) نمودارتوزیع Al و Si کلینوپیروکسنهای مورد بررسی (۳۷]، پ) نمودار Na + Al^{IV} نسبت به Al^{VI} +2Ti+Cr که قرارگیری نمونهها در پایین خط =0 Fe³⁺ گویای پایین بودن گریزندگی اکسیژن است (۳۷]. نشانهها مانند شکل ۴ هستند.

برداشت

آمفیبولیتهای مورد بررسی بخشی از سنگهای دگرگونی کمربند افیولیتی مکران شمالی را تشکیل میدهند که به دو صورت تودهای و جهتیافته دیده میشوند. کانیهای اصلی تشکیلدهنده آنها شامل آمفیبول، گارنت، پلاژیوکلاز، پیروکسن، کوارتز و اسفن هستند. براساس نتایج تجزیه

ریزکاوالکترونی، پیروکسن در سنگهای اپیدوت – گارنت-پیروکسن آمفیبولیتها و گارنت-پیروکسن آمفیبولیتها با ماهیت آذرین و دگرگونی در گسترهی کلینوپیروکسنهای کلسیم-منیزیم-آهندار قرار می گیرند و از نوع دیوپسیدی هستند. براساس بررسیهای زمیندما – فشارسنجی، این پیروکسنها در گسترهی دمایی ۱۰۷۰ تا ۱۱۳۰درجه سانتی گراد و فشار ۵ تا ۱۰ کیلوبار تشکیل شدهاند. از این رو، این کانیها در فشار متوسط تا بالا تشکیل شدهاند.

قدردانی

نویسندگان ازموسسه زمین شناسی و زمین فیزیک انجمن علوم چین به خاطر انجام آنالیزهای نقطه ای کانی پیروکسن وهمچنین حمایت مالی معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه لرستان نهایت سپاس و تشکر را دارند.

مراجع

[1] Triboulet C., Audren C., "Controls on P-T-t deformation path from amphibole zonations during progressive metamorphism of basic rocks (estuary of the River Vilaine, South Brittany, France)", [10] Souri M., Ahmadi-Khalaji A., Ebrahimi M., Esmaeili R., "Petrology and geochemistry of the amphibolites from Makran accretionary complex, Southeast of Iran", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy (IJCM), 31 (1), (2023) 45-58. (in Persian).
DOI: 10.52547/ijcm.31.1.45
[11] Andreev A. A., Rytsk E. Yu., Velikoslavinskii

S. D., Tolmacheva E. V., Bogomolov E. S., Lebedeva Y.M., Fedoseenko A. M., "Age, and Tectonic Setting Composition, of the of Late Neoproterozoic *Formation* (Late Baikalian) Complexes in the Kichera Zone, Baikal-Vitim Belt, Northern Baikal Area Geological, Geochronological, and Nd Isotope Data", Petrology. 30 (4).(2022)337-368. https://doi.org/10.1134/S0869591122040026 [12] Liotard J. M., Briot D., Boivin P.,

"Petrological and geochemical relationships between pyroxene megacrysts and associated alkali-basalts from Massif Central (France)", Contributions to Mineralogy and Petrology, 98 (1988) 81-90. https://doi.org/10.1007/BF00371912 [13] Princivalle F., Tirone M., Comin-Chiaramonti P., "Clinopyroxenes from metasomatized spinelperidotite mantle xenoliths from Nemby (Paraguay): crystal chemistry and petrological implications", Mineralogy and Petrology, 70(1), (2000) 25–35. DOI: 10.1007/s007100070011

[14] Zhu Y.F., Ogsasawara Y., "Clinopyroxene phenocrysts (with green salite cores) in trachybasalts: implications for two magma chambers under the Kokche NAPV UHP massif, North Kazakhstan", Journal of Asian Earth Sciences, 22(5), (2004) 517–527. https://doi.org/10.1016/S1367-9120(03)00091-9 [15] Ealabaty S. Noghrayan M. Sharifi M. Torabi

[15] Falahaty S., Noghreyan M., Sharifi M., Torabi G., Safaei H., Mackizadeh M.A., "Clinopyroxene application in petrogenesis identification of volcanic rocks associated with salt domes from Shurab (Southeast Qom)", Journal of Economic Geology, 8(1), (2016) 21–38. (in Persian with English abstract).

DOI: 10.22067/ECONG.V8I1.29480

[16] Mehvari R., Noghreyan M., Sharifi M., Mackizadeh M.A., Tabatabaei S.H., Torabi G., *"Mineral chemistry of clinopyroxene: guidance on*"

geo-thermobarometry and tectonomagmatic setting of Nabar volcanic rocks, South of Kashan", Journal

Journal of Metamorphic Geology, 6, (1988) 117-133. DOI: 10.1111/j.1525-1314.1988.tb00412.x

[2] Triboulet C., "*The* (*Na-Ca*) amphibolealbitechlorite-epidote-quartz geothermobarometer in the system S-A-F-M-C-N-H₂O 1. An empirical calibration", Journal of Metamorphic Geology, 10, (1992) 545-556. DOI: 10.1111/j.1525-1314.1992.tb00105.x

[3] Zenk M., Schulz B., "Zoned Ca-amphiboles and related P–T evolution in metabasites from the classical Barrovian metamorphic zones in Scotland", Mineralogical Magazine, 68, (2004) 769. DOI: 10.1180/0026461046850218

[4] Schulz B., Triboulet C., Audren C., "Microstructures and mineral chemistry in amphibolites from the western Tauern Window (Eastern Alps) and P-T-deformation paths of the Alpine greenschist-amphibolite facies metamorphism", Mineralogical Magazine, 59, (1995) 641- 659. DOI: https://doi.org/10.1180/minmag.1995.059.39 7.08

[5] Evans B.W., Leake B.E., "*The composition and origin of the striped amphibolites of Connemara, Irland*", Petrology, 1, (1960) 337-363. https://doi.org/10.1093/petrology/1.3.337

[6] Bucher K., Frey M., "Petrogenesis of Metamorphic Rocks" (6th edn), Springer Verlag: Berlin, (1994) 318p.

[7] Winter C., "An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology", Prentice Hall, (2001) 697p.

[8] Esmaeili R., Xiao W., Griffin W. L., Moghadam H. S., Zhang Z., Ebrahimi M., Bhandari S., *"Reconstructing the source and* growth of the Makran accretionary complex: Constraints from detrital zircon U-Pb geochronology", Tectonics, 39(2), (2020) e2019TC005963. https://doi.org/10.1029/2019TC0 05963

[9] Esmaeili R., Ao S. Shafaii Moghadam H., Zhang Z., Griffin W. L., Ebrahimi M., Bhandari S., "Amphibolites from Makran accretionary complex record Permian-Triassic Neo-Tethyan evolution", International Geology Review, 64(11), (2022) 1594-1610.

https://doi.org/10.1080/00206814.2021.1946663

687-701. DOI: 10.1127/0935-1221/2005/0017-0687

[28] Shirdashtzadeh N., Samadi R., "An introduction to methods of geothermometry and geobarometery", Zaminazmoon, (2010) 99p.

[29] Aoki, K.I., Shiba, I., "Pyroxenes from *lherzolite inclusions of Itinome-gata, Japan*", Lithos, 6(1), (1973) 41-51.

https://doi.org/10.1016/0024-4937(73)90078-9

[30] Helz R., "Phase reactions of basalts in their melting range at $PH_2O = 5kb$, Part 11, Melt composition", Journal of Petrology, 17, (1973) 139- 193.

https://doi.org/10.1093/petrology/17.2.139

[31] Soesoo A., "A multivariate statistical analysis of clinopyroxene composition: Empirical coordinates for the crystallisation PT estimations", GFF, 119 (1), (1997) 55-60. https://doi.org/10.1080/11035899709546454

[32] Souri M., Ahmadi-Khalaji A., Wang J., Esmaeili R., Ebrahimi M., *"Amphibole mineral chemistry of amphibolites from the Makran accretionary complex (southeast of Iran)"*, Kharazmi Journal of Earth Sciences, 8 (2), (2023) 236-258. (in Persian). DOI: 10.22034/KIES 2023 8.2.105432

10.22034/KJES.2023.8.2.105432

[33] Ao S.J., Xiao W.J., Han C.M., Mao Q.G., Zhang J.E., "Geochronology and geochemistry of Early Permian mafic–ultramafic complexes in the Beishan area, Xinjiang, NW China: implications for late Paleozoic tectonic evolution of the southern Altaids", Gondwana Research, 18(2-3), (2010) 466-478.

https://doi.org/10.1016/j.gr.2010.01.004

[34] France L., Ildefonse B., Koepke J., Bech F., "A new method to estimate the oxidation state of basaltic series from microprobe analyses", Journal of Volcanology and Geothermal Research, 189 (3-4), (2010) 340-346.

https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2009.11.023

[35] Moretti R., "Polymerization, basicity, oxidation state and their role in ionic modelling of silicate melts", Geophysics, 48 (4-5), (2005) 583-608. DOI: 10.4401/ag-3221

[36] Gamble R.P., Taylor L.A., "*Crystal/liquid* partitioning in augite: effects of cooling rate", Earth and planetary science letters, 47(1), (1980) 21-33. https://doi.org/10.1016/0012-821X(80)90100-4

[37] Schweitzer E.L., Papike J.J., Bence A.E., "Statistical analysis of clinopyroxenes from deepsea basalts", American Mineralogist, 64(5-6), (1979) 501-513. of Economic Geology, 8(2), (2016) 493–506. (in Persian with English abstract). DOI: 10.22067/ECONG.V8I2.46817

[17] Le Bas M. J., "*The role of aluminum in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage*", American Journal of Science, 260 (4), (1962) 267-288.

https://doi.org/10.2475/ajs.260.4.267

[18] Leterrier J., Maurry R. C., Thonon P., Girard D., Marchal M., "*Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinites of paleo-volcanic series*", Earth and Planetary Science Letters, 59, (1982) 139-154. https://doi.org/10.1016/0012-821X(82)90122-4

[19] Beccaluva L., Macciotta G., Piccardo G. B., Zeda O., "*Clinopyroxene composition of ophiolite basalts as petrogenetic indicator*", Chemical Geology, 77(3), (1989) 165-182. https://doi.org/10.1016/0009-2541(89)90073-9

[20] McCall G.J.H., "A summary of the geology of

the Iranian Makran^{*}, The Tectonic and Climatic Evolution of the Arabian Sea Region, 195, (2002) 147–204.

https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2002.195.01.10

[21] Dolati A., "Stratigraphy, structural geology and low-temperature termochronology across the Makran accretionary wedge in Iran", ETH Zurich, , Zurich, (2010) 309p. https://doi.org/10.3929/ethza-006226348

[22] Samimi Namin M., "Geological Map of Minab, 1:250000 Scale", Geological Survey of Iran, (1983).

[23] Kretz R., *"Symbols for rock-forming minerals"*, American Mineralogist, 68, (1983) 277-279.

[24] Nisbet E.G., Pearce J.A., "*Clinopyroxene* composition of mafic lavas from different tectonic settings", Contributions to Mineralogy and Petrology 63 (1977) 161-173. https://doi.org/10.1007/PE00308776

https://doi.org/10.1007/BF00398776

[25] Kushiro I., "*Si-Al relation in clinopyroxenes from igneous rocks*", American journal of science, 258 (8), (1960) 548-554. https://doi.org/10.2475/ajs.258.8.548

[26] Morimoto N., "*Die nomenklatur von Pyroxenen*", Mineralogy and Petrology, 39, (1988) 55-76.

[27] Berger J., Féménias O., Coussaert N., Demaiffe D., "Magmatic garnet-bearing mafic xenoliths (Puy Beaunit, French Massif Central): PT path from crystallisation to exhumation", European Journal of Mineralogy, 17 (5), (2005)