# Archive of SID



سال هجدهم، شمارهی ۱، بهار ۸۹، از صفحهی ۲۳ تا ۴۰



# شیمی کانیهای متابازیتهای پالئوزوئیک، شاهدی بر تغییرات دگرگونی این سنگها (جنوب چاه پلنگ، شمال شرق استان اصفهان)

فرشته بیات\*، قدرت ترابی

*گروه زمین شناسی، دانشگاه اصفهان* (دریافت مقاله: ۸۷/۱۰/۵ ، نسخه نهایی: ۸۸/۵/۱۲ )

چکیده: متابازیتهای پالئوزوئیک زیرین جنوب چاه پلنگ در شمال بلوک یزد از زون ایران مرکزی، با گسترش محدود در همراهی با دگرگونههای دوشاخ وجود دارند. متابازیتها به دو بخش متاولکانیک و تودههای متاگابرو، آمفیبولیت و متادیاباز تقسیم میشوند. متاولکانیکها با ترکیب بازالتی بهصورت روانههای دارای بریدگی و حفرههای پرشده با کلسیتاند. آمفیبول، پلاژیوکلاز و بیوتیت از سازندگان اصلی این سنگها هستند. اکتینولیت، کلریت، اپیدوت، کلسیت و آلبیت بهعنوان کانیهای شاخص رخسارهی شیست سبز در زمینهی ملانوکرات متابازیتها یافت میشوند. بر اساس فشار سنجیهای انجام شده برای آمفیبولها در فشار ۸ کیلوبار، دمای تشکیل منیزیوهورنبلند موجود در آمفیبولیتها ک<sup>°</sup>۶۲۲ و فروهورنبلندها و فروچرماک هورنبلندهای متادیابازها ۲<sup>°</sup>۶۲ – ۶۹۹ است. دماسنجی بیوتیتها دمای ۲<sup>°</sup>۶۴۸ – ۶۴۸ را برای تشکیل بیوتیتهای متاولکانیک و ۲<sup>°</sup>۶۵ – ۵۸۵ برای بیوتیتهای موجود در دایکهای متادیابازی نشان میدهد. سنگشناختی و شیمی کانیها، حاکی از ماهیت قلیایی ماگماتیسم و رخدادهای دگرگونی متعدد است. متابازیتهای مورد برسی نخست در رخساره موشیولیت و شیمی کانیها، حاکی از ماهیت قلیایی ماگماتیسم و رخدادهای دگرگونی معدد

واژههای کلیدی: شیمی کانی، متابازیت، پالئوزوئیک، ایران مرکزی، چاه پلنگ، اصفهان.

#### مقدمه و زمینشناسی عمومی

پالئوزوئیک، یکی از طولانی ترین دوران های زمین شناسی بوده که در مقیاس جهانی، همراه با دو رخداد مهم زمین ساختی کالدونین و هرسینین است. با این حال، سنگ های ماگمایی پالئوزوئیک محدودتر از دوران های دیگر زمین شناسی بوده و پالئوزوئیک، ماگماتیسم دارای شدت و ضعف فراوان بوده است، پالئوزوئیک، ماگماتیسم دارای شدت و ضعف فراوان بوده است، ماگمایی در دوره های کامبرین – اردویسین و کربونیفر رخ داده است، در حالی که به طور نسبی در سیلورین – دونین (در ارتباط با حرکت های زمین ساختی کالدونین) و نیز در دوره ی پرمین (وابسته به جنبش های زمین ساختی هر سینین)، تکاپوهای ماگمایی چشمگیر تر بوده است [1].

متابازیتهای نسبت داده شده به پالئوزوئیک زیرین [۲]، در جنوب چاه پلنگ برونزد یافتهاند که از لحاظ رده بندی ساختاری ایران، جزئی از خرده قارهی ایران مرکزی در شمال بلوک یزد محسوب میشوند (شکل ۱) دسترسی به منطقهی چاه پلنگ با مختصات جغرافیایی، عرض "56.1 °05 N و طول "39.6 '21 °54 E از راه آسفالته چوپانان به اردکان و سپس راههای خاکی منتهی به این منطقه، امکانپذیر است (شکل ۲) [۳].

از ناحیه یانارک تا حوالی ساغند و پشت بادام، یک مجموعه ی شیستی تیره رنگ برونزد دارد که همراهانی از فیلیتهای گرافیتی، کوارتزیت، سنگ آهکهای متبلور، کلریت اپیدوت شیست، میکاشیست و گنیس دارد. این مجموعه را [۴]

\* نویسنده مستُول، تلفن: ؟؟؟؟؟؟؟ (؟؟؟؟) ۹۸+، نمابر: ؟؟؟؟؟؟؟؟؟ (؟؟؟؟) ۹۸+، پست الکترونیکی: F.bayat@geol.ui.ac.ir

گربه، پتیار، کبودان، دوشاخ و پشت بادام سازندگان دگرگونه-های انارک معرفی شدهاند.



**شکل ۱** موقعیت منطقه چاه پلنگ، شمال بلوک یزد در زون ایران مرکزی. [۸].



متابازیتهای چاه پلنگ شامل واحدهای سنگی آمفیبولیت، بازالت، تراکی بازالت، متادیاباز و متاگابرو همراه با دگرگونههای دوشاخ دیده میشوند. بخش گستردهای از منطقه را سازندهای ماسه سنگی و اسلیتی شمشک، سنگ آهک شاه کوه و نقره به سن کرتاسه و تهنشستهای تبخیری و تخریبی سازند سرخ فوقانی به سن میوسن پوشانده است[۳]. چنانکه در نقشهی زمینشناسی (شکل ۳) و تصاویر صحرایی (شکل ۴) دیده می-شود، متابازیتها از گسترهی اندکی برخوردار بوده و بهصورت پراکنده، تپههای کم ارتفاعی را تشکیل دادهاند. [۱۰]، چینه نگاری همبافت دگرگونی دوشاخ، با سن اوایل پالئوزوئیک را به-صورت زیر معرفی میکند:

«در بخش پایینی بیشتر مرمر و متادولومیت، کوارتزیت و شیست حاوی سنگهای متاولکانیک در بخش میانی و متاکربنات و ماسه سنگ دگرگون در بخش فوقانی وجود دارند» [۸ در ۶].

دو نمونه از متاگابروهای نسبت داده شده به پالئوزوئیک زیرین با روش K - Ar سال سنجی شدند که یک نمونه، سنی معادل اردویسین (۴۰۰ میلیون سال قبل) و دیگری سنی معادل اواخر تریاس (۲۰۵ میلیون سال قبل) را نشان دادهاند [۷]. نویسندگان این مرجع معتقدند که سن جوانتر نمونهی دوم احتمالاً به جابهجاییهای کیمرین اولیه یا وابسته است. سن متاگابروها در حال حاضر مسئله برانگیز است. این تودهها

همراه با سنگهای پالئوزوئیک زیرین – پروتروزوئیک فوقانی هستند و همهی آنها در رخسارهی شیست سبز دگرگون شده-اند. [۱۱] سه لبه برافزاینده در مناطق انارک – جندق شناسایی کرده است که جوانترین آنها، لبهی برافزایندهی دوشاخ است.

با توجه به سن نسبت داده شده به متابازیتهای چاه پلنگ و تنوع واحدهای سنگی و درجات دگرگونی در این ناحیه، بررسیهای دقیق شیمی کانیها، دما- فشارسنجی و تعیین شرایط دگرگونی ضرورت مییابد.

# روش بررسی

با بررسیهای صحرایی و جمع آوری نمونههای لازم، مقاطع نازک – صیقلی از آنها تهیه شدند و بررسیهای سنگ شناختی با استفاده از میکروسکوپ مدل BH2 - OLYMPUS صورت گرفت. تعدادی از کانیها برای تعیین ترکیب و محاسبهی فرمول ساختاری آنها، در دانشگاه لیبنیز هانوور آلمان، با ریز پردازندهی الکترونی 100 – Cameca SX با ولتاژ شتاب دهنده کالکرونی 100 – SA محاسبه شده با نرم افزار دهنده کانیها و فرمول ساختاری محاسبه شده با نرم افزار آنالیز کانیها و فرمول ساختاری محاسبه شده با نرم افزار اسلی و نادر خاکی تعدادی از آمفیبولها توسط [۱۱] با دستگاه اصلی و نادر خاکی تعدادی از آمفیبولها توسط [۱۱] با دستگاه آنها در جدول ۳ آورده شدهاند. مقادیر HREE این آمفیبولها آنها در جدول ۳ آورده شدهاند. مقادیر HREE این آمفیبولها



**شکل ۳** نقشهی زمینشناسی ساده شدهی منطقه چاه پلنگ **[**۳].



بیات، ترابی

**شکل ۴** تصاویر صحرایی مربوط به متابازیتهای منطقهی چاه پلنگ. (A): دایکهای آمفیبولیتی، دیابازی و متاگابرویی در بین متاولکانیکهای فولیاسیوندار (B): متاولکانیکها بهصورت مزوکرات و دارای برگوارگی هستند.

									-			
نمونه	کانی	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	$Al_2O_3$	FeO*	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Total
Ch 801/1	آمفيبول	٥٢٫٫٧٠	•,11	٣٫٩۴	۲۸٫۱۱	• ,84	۰,۱۵	۱۵,۴۶	۱۲٫۸۶	۰٫۳۶	•,•Y	٩٧,۴٧
Ch 801/2	آمفيبول	۵۳٫۲۰	۰,۱۷	۴,۱۲	11,82	•,77	•, ١•	۱۵,۷۷	17,81	۰,۴۸	•,11	٩٧,٩٨
Ch 801/3	آمفيبول	44,98	• ۲٫۰	17,80	۱۴٬۵۷	•,• ٢	•,٢٣	۶۳/۶۳	۱۲٬۰۹	۱٬۳۵	•,7٣	۹ <i>۶</i> /۸۶
Ch 795/4	آمفيبول	47,7X	۵۲٬۰	۱۳,۶۵	۱۹٬۵۸	۰,۱۳	•,74	٧,٧٠	11,88	۱,۳۶	•,٢٩	<i>٩۶,</i> ٩٧
Ch 795/5	آمفيبول	47,19	۵۲٬۰	۱۳٬۰۸	۱۹٫۳۵	۰,۱۵	•,14	٨,•۶	11,49	۱,۳۰	•,٣٧	٩٧٫١٣
Ch 795/6	آمفيبول	۴۲,VX	•,۲٩	۱۲٫۸۴	۱۸٫۸۶	•,17	۰,۱۶	٨,٢۴	۱۱٬۵۱	١,٣١	۵۲٬۰	95,74
Ch 795/7	آمفيبول	FT/VS	۳۶,	۱۳٬۵۲	۱۷٫۳۹	•،۱۸	۰,۱۵	$A_{j}A$ )	11,88	1,74	•,74	٩٧٫٠٩
Ch 795/13	بيوتيت	۳۵٫۷۱	۱٫۵۴	18,40	۱۸٬۲۶	•,18	•,•٣	١٢,٨٨	۳.,۲	• , ۲ •	٨,٢٠	٩٣,۴١
Ch 795/14	بيوتيت	۳۵,۴۷	۱٬۵۵	۱۷٫۵۹	۱۷٫۲۶	•,٣۴	•,•Y	۱۱٫۸۱	۰٬۰۳	۰,۲۶	٩,١۴	۹۳٬۵۳
Ch 795/15	بيوتيت	36,40	۶۶/	18,78	۱۸٬۱۰	•,77	•,•٣	17,19	۳.,۲	۵۲٫۰	۹٫۱۱	٩۴,٧٧
Ch 795/16	بيوتيت	۳۵,۲۲	۱,۶۰	۱۷٫۵۹	14/18	• ،۳۰	۰,۰۱	11,81	•,•۴	• ۲۷	٩٫٢٨	٩٣،٠۵
Ch 795/17	بيوتيت	۳۵٬۴۸	۸۵٫۱	۱۷٫۴۹	۱۷٫۶۶	• , ۲ ۱	۰,۰۵	۱۱٬۹۸	•,•۶	۰,۲۸	٨٫٨٩	٩٣,۶٨
Ch 800/18	بيوتيت	۳۵٫۷۹	۲,۳۴	۱۸٬۰۵	۱۸٫۶۹	•,•۴	۰,۰۲	۶۹/۱۰	۰,۰۲	•,11	٩, <i>٩۶</i>	٩۵٫٧١
Ch 800/19	بيوتيت	۳۵٬۹۸	۲٫۳۹	۱۷٬۵۳	۱۷٫۹۲	•,11	•,17	۳۷٫۰۱	۰,۰۱	٠, <b>١</b> ٠	٩,٩٨	٩۴٫۸۷
Ch 800/20	بيوتيت	۳۵,۲۲	۲,۴۳	۱۷٫۴۸	۱۹٫۳۷	•,•٣	۰,۰۶	۱۰٬۵۱	۰٬۰۹	۰,۰۹	٩٫٣٨	94,88
Ch 800/21	بيوتيت	۳۵٬۹۲	۲,۴۹	14,40	۱۸٬۴۱	•,1•	•,1۲	1.,84	۰,۰۲	•,•۶	٩٫٨۴	٩۵٫۰۵
Ch 800/22	بيوتيت	۳۵,۹۷	۲٬۳۵	۱۷٬۸۵	۱۸٬۴۸	•,\•	• , • <b>A</b>	ν٠,٧٧	۰٬۰۳	• , • A	٩٫٩٧	٩۵٫۶٨
Ch 801/23	فلدسپات	۶۷٬۴۵	•,••	۲۰,۴۷	۰,۱۰	•,••	•,••	•,••	١,١٢	11,17	۰٬۰۵	1,47
Ch 801/24	فلدسپات	۶۷٬۴۵	•,••	۲۰,۷۴	•,\•	•,••	•,••	•,••	١,١٧	11/17	۰٬۰۵	۶۹ ا
Ch 795/25	فلدسپات	۵٩٫۱۴	•,••	۲۵,۶۶	•,1٣	•,••	•,••	•,••	٧,٣٩	۷٬۵۴	•,•۶	<b>۹۹</b> ,۹۲
Ch 795/26	فلدسپات	۵۶٬۹۸	•,••	۲۶,٩٠	•,•Y	•,••	•,••	•,••	٩٫٢۴	۶٫۳۴	•,•٣	۹۹ <sub>/</sub> ۵۶
Ch 800/37	اپيدوت	۳۶٬۸۹	•,••	74,84	۲۴,۰۲	•,••	•,••	•,••	۲۳٫۲۹	•,••	•,••	90,74
Ch 800/39	مگنتیت	•,• ۴	۰٬۰۹	۰,۰۱	٩٠٫٨٣	•,•۶	•,•۴	•,••	•,•۶	•,••	•,••	٩١,١٧
Ch 801/40	ايلمنيت	• ,• Y	۵۲٬۲۳	•,••	48,08	•,•۶	۱,۵۹	۰,۰۲	٠٫١١	•,••	•,••	۱۰۰٬۰۹

جدول ۱ نتایج حاصل از آنالیز نقطهای کانیهای منطقه چاه پلنگ (wtw).

نمونه	کانی	Si	Ti	Al <sup>IV</sup>	Al <sup>VI</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Cr	Mn	Mg	Ca	Na	K	Sum_cat	Oxygen
Ch 801/1	اكتينوليت	۷٫۵۳	•,• ١	•,41	٠٫١٩	•,1٣	۱٬۲۸	•,•Y	۰,۰۲	۳٫۲۹	۱٬۹۷	٠,١٠	۰,·۱	۱۵٬۰۸	۲۳
Ch 801/2	اكتينوليت	۷٬۵۶	•,• ٢	۰,۴۵	•,74	•,14	۱ ۲ ۱	•,•٣	•,• ١	۳,۳۴	۱,۹۲	۰٫۱۳	۰,۰۲	۱۵٬۰۷	۲۳
Ch 801/3	منيزيوهورنبلند	۶,۶۳	•,•٢	١,٣٧	۰٫۸۲	•,78	۳۵٫۱	•,••	•,•٣	۲/۳۴	۱/۹۱	۰٫۳۹	•,•۴	10,84	۲۳
Ch 795/4	فروچرماک هورنبلند	۶,۳۴	•,•٣	1,88	۰٫۷۵	•,99	۱٬۸۰	۰,۰۲	•,•٣	١,٧٢	١,٨٧	•,*•	۰,·۶	۱۵,۳۲	۲۳
Ch 795/5	چرماک هورنبلند	8,44	•,•٣	۱٬۵۶	۰٫۷۳	•,99	۱,۲۵	۰,۰۲	•,•٢	١,٧٩	۱,۸۴	۸۳٫	۰٬۰۵	۱۵,۲۶	۲۳
Ch 795/6	چرماک هورنبلند	8,44	•,•٣	۱/۵۶	۰٫۷۱	•,88	۱,۷۴	•,• ١	•,• ٢	۱٫۸۵	۱٫۸۶	۸۳٫	۰٬۰۵	۱۵/۲۹	۲۳
Ch 795/7	چرماک هورنبلند	۶,۴۷	•,•۴	۱٫۵۳	۰٫۸۳	۰,۵۲	۱,۶۳	•,•٢	•,•۲	1,94	۱,۸۴	۰٫۳۶	۰٬۰۵	10,74	۲۳
Ch795/13	بيوتيت	$\Delta_{/}\Delta$ .	•،۱۸	۲٬۵۰	•,49	•,••	۲٫۳۵	•,•٢	•,••	۲,٩۶	۰,۰۱	۰,۰۶	۱,۶۱	۱۵٫۶۵	77
Ch795/14	بيوتيت	۵,۴۶	•،۱۸	۲/۵۴	•,84	•,••	۲٫۲۲	•,•۴	•,• ١	۲٫۷۱	•,• ١	• , • <b>A</b>	۱٫۷۹	۱۵٫۶۹	77
Ch795/15	بيوتيت	۵٫۵۴	٠,١٩	۲/۴۶	• ۵۴	•,••	۲٫۳۰	۰,۰۳	•,••	۲,۷۶	•,••	•,•Y	$1_{I}\mathbf{Y}\mathbf{Y}$	۱۵,۶۶	77
Ch795/16	بيوتيت	۵,۴۵	٠,١٩	۲٬۵۵	• 88	•,••	۲٫۲۲	•,•۴	•,••	۲,۶۸	۰,۰۱	• , • <b>A</b>	۱٫۸۳	۱۵٫۷۰	77
Ch795/17	بيوتيت	۵,۴۵	•،۱۸	۲٬۵۵	•,87	•,••	۲٫۲۷	•,•٢	•,• ١	۲,۷۴	•,• ١	• , • <b>A</b>	۱,۷۴	۱۵,۶۷	77
Ch800/18	بيوتيت	۵,۴۳	•,77	۲,۵۷	٥٩٫٠	•,••	۲٫۳۷	•,• ١	•,••	۲/۴۲	•,••	۰٬۰۳	۱٬۹۳	۱۵/۶۸	77
Ch800/19	بيوتيت	۵,۴۹	•,۲٨	۲٫۵۱	•,84	•,••	۲,۲۹	•,• ١	•,•۲	7,44	•,••	۰٬۰۳	1,94	10,84	77
Ch800/20	بيوتيت	۵,۴۱	۰,۲۸	۲,۵۹	۰,۵۸	•,••	۲,۴۹	•,••	•,• )	۲,۴۱	۰,۰۱	۰٬۰۳	۱٫۸۴	۱۵٫۶۵	77
Ch800/21	بيوتيت	۵,۴۸	•,۲٩	۲٫۵۲	<i>۱</i> ۶۱	•,••	۲٫۳۵	۰,۰۱	•,• ٢	۲/۴۲	•,••	۰,۰۲	۱/۹۱	۱۵,۶۶	۲۲
Ch800/22	بيوتيت	۵,۴۰	•,77	۲,۵۵	•,84	•,••	۲,۳۴	•,• ١	•,• ١	۲/۴۳	۰,۰۱	۰,۰۲	۱٬۹۳	۱۵٫۶۱	۲۲
Ch801/23	آلبيت	۲٫۹۴	•,••	۱٬۰۵	•,••	•,••	•,••	•,••	•,••	•,••	•,•۶	۰٫۹۵	•,••	۵,۰۰	٨
Ch801/24	آلبيت	۲/۹۴	•/••	۶/۱	•,••	•,••	•,••	•,••	•,••	• / • •	•,•۶	•,٩۴	•,••	$\Delta_{I} \cdot 1$	٨
Ch795/25	آندزين	7,84	•,••	۱/۳۵	•,••	•,••	• ، • ۱	•,••	•,••	•,••	۰,۳۵	۵۶ <sub>۱</sub> ،	•,••	$\Delta_{I} \cdot 1$	٨
Ch795/26	آندزين	۲٬۵۲	•,••	1,47	•,••	•,••	•,••	•,••	•,••	•,••	۰,۴۵	۵۵٬ •	•,••	۵,۰۰	٨
Ch800/37	اپيدوت	۲٫۹۷	•,••	•,•۴	۲,۲۹	•, <b>v</b> •	•,••	•,••	•,••	•,••	•,••	•,••	۲,••	٨,•١	۱۲٫۵
Ch800/39	مگنتیت	•,• 1	•,•٢	•,••	•,••	۱۵,۹۱	λ,••	•,• ١	•,• ١	•,••	•,• ٢	•,••	•,••	۲۴٬۰۰	٣٢
Ch801/40	ايلمنيت	•,••	٠,٩٩	•,••	•,••	•,•٢	۰٫۹۵	•,••	•,•٣	•,••	•,••	•,••	•,••	۲,۰۰	٣

**جدول ۲** تعیین فرمول ساختمانی کانیهای تشکیل دهندهی متابازیتهای چاه پلنگ.

تفکیک +Fe<sup>2</sup> و +Fe<sup>3</sup> با استفاده از روش [۱۲] صورت گرفته است.

جدول ۱-۳ نتایج آنالیز نقطهای آمفیبولها ((wtw) [۱۱].

نمونه	کانی	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	$Al_2O_3$	FeO*	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Total
Ch5a1	آمفيبول	۴۴ <sub>/</sub> ۸۳	۲٬۵۳	۲,۷۱	٧,١۵	•,74	۰,۱۱	۱۲/۷۸	51,94	•,٣۶	•,••	۹۷٫۶۶
Ch5a2	آمفيبول	44'AY	۲٫۸۸	٨,٠١	٧,۴۵	• ۲٫۰	•, <b>\ •</b>	17/17	۲۱٫۶۳	•,4٣	•,• <b>\</b>	۹۷٫۶۵
Ch5a3	آمفيبول	۴۵٬۸۰	۲٫۸۱	۶,۴۷	٩٫١٢	•,٣٣	۰,۱۷	۲۷٫۱۱	۲۰٫۵۰	• , <b>A</b> •	۰,۰۳	۹۷٫۶۴
Ch5b1	آمفيبول	44,21	٣,١۴	٩,٠۴	۷٫۳۹	۰,۱۸	• , • A	۳۷٫۱۱	۲۱٫۸۱	•,٣۶	۰,۰۲	٩٨,۵٧
Ch5b2	آمفيبول	44,NT	۳,۳۷	٨,••	٩,٩١	• , • A	۰,۱۲	١٠٫٨٧	۲۱,۰۷	•,41	•,• <b>\</b>	٩٨٫٧۴
Ch5c1	آمفيبول	۴۴ <sub>/</sub> ۸۰	۲٫٩۰	٨,٧٣	٧,۴٧	•,1٣	•,17	۱۱٫۸۶	۲۱,۹۶	•,٣٩	•,• ١	۹۸٫۳۷
Ch5c2	آمفيبول	40,82	۲٫۵۲	۲٫۴۲	٨,۴١	۰,۰۹	• ۲۱	١٢,•٨	۲۱٫۵۹	•,47	•,••	٩٨,٣۶

۱۲  صورت گرفته است.	·Fe <sup>3</sup> با استفاده از روش [	تفكيك $+Fe^{2+}$ و	ن و ۲۶ اکسیژن[۱۱]	ها براساس ۱۳ کاتيون	، ساختاری آمفیبول،	<b>جدول ۲ – ۳</b> فرمول
---------------------	--------------------------------------	--------------------	-------------------	---------------------	--------------------	-------------------------

نمونه	کانی	Si	Ti	Al	$Al^{VI}$	Fe <sup>3+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Mn	Mg	Ca	Na	K	Sum_cat
Ch5a1	منيزيوهورنبلند	۷٬۲۰	۰٫۳۵	۰ <sub>/</sub> ۸۰	• ,88	•,••	۰,۹۶	•,• ١	۳,۰۶	٣,٧٧	•/11	•,••	۱۶٬۸۸
Ch5a2	منيزيوهورنبلند	۷٫۲۰	۰,۳۵	۰,۸۰	• ،٧٢	•,••	۱,۰۰	۰,۰۱	۲٫۹۲	٣,٧٢	۰٬۱۳	•,••	۱۶٫۸۶
Ch5a3	منيزيوهورنبلند	٧,٣٧	•,٣۴	•,9٣	۰ <sub>/</sub> ۵۹	•,••	۲۲٫۱	۰,۰۲	۲٫۸۱	۳,۵۳	۵۲٫۰	•,••	۱۶٫۷۹
Ch5b1	منيزيوهورنبلند	٧/١۴	۳۳,	۰٬۸۶	٠٫٨۴	•,••	۰٬۹۸	•,• ١	۲٬۷۸	٣,٧٢	•/11	•,••	۱۶٫۸۴
Ch5b2	اكتينوليت-هورنبلند	۷,۱۶	•,*•	۰,۸۴	•,88	•,••	۲۳۲/	۰,۰۲	۲٫۵۹	۳,۶۰	۰,۱۵	•,••	۱۶٫۷۵
Ch5c1	منيزيوهورنبلند	۷,۱۶	۰,۳۵	۰,۸۴	۰ <sub>/</sub> ۸ ۰	•,••	٠٫٩٩	۰,۰۲	۲٫۸۲	۳,٧۶	•,1٢	•,••	۱۶٬۸۸
Ch5c2	اكتينوليت-هورنبلند	٧, ٢٨	• , • •	• ،٧٢	٠٫۵٧	•,••	1,17	•,•٣	۲٬۸۷	٣,٧٠	•,1٣	•,••	۱۶٫۸۲

نمونه REE	Ch5a1	Ch5a2	Ch5a3	Ch5b1	Ch5b2	Ch5c1	Ch5c2
La	۲۰,۱۶	۲۳/۳۱	۲۷٬۰۹	۲ ۱/۳۷	۱۸٬۵۸	۲۲/۰۵	۱۹٬۵۳
Ce	59,44	۶۳٬۶۰	ΥΥ/۹۱	۵۸٬۸۳	۵۰٬۸۸	۵٩,۶۲	۵۴٬۸۵
Pr	۹ <sub>/</sub> ۶۶	11/29	15/17	٩٫٧٨	٨,۵٣	1.141	٩٫٢٨
Nd	۴۸,۴۰	۵۸٬۶۸	۶۶/۵۵	۵۰٬۸۲	۴۳/۵۶	۵۳/۲۴	۴۵٬۹۸
Sm	10/18	۱۸٫۷۵	22/26	۱۶/۵۵	۱۳/۹۶	14/10	14,78
Eu	۴/۹۵	۶/۴۵	۷٫۲۰	۵/۵۰	۴٫۸۰	۵,۷۰	۴٫۸۰
Gd	14,98	۱۹٫۱۸	۲۱٬۵۸	۱۵,۷۲	14,41	18,08	14,89
Tb	۲٫۴۳	۳٫۱۱	۳/۴۰	۲٬۵۳	۲/۴۱	۲٬۷۲	۲٫۴۳
Dy	١۴٫۸٧	۱۸,۱۷	۱۸٬۳۷	۱۵,۲۰	۱۴٬۵۴	۱۵,۲۰	14,74
Ho	۳٬۱۰	۳/۴۰	٣٫٨۴	۳٬۱۸	٣,٠٣	۳٬۱۸	٣,•٣
Er	۷٫۲۵	۸٬۶۴	٩٫٢٨	۷٬۵۶	۶,۶۹	Ϋ/ΫΫ	٧,١٢
Tm	۱,۰۰	۱/۱۸	١/٢٨	۶، ۱	۰٫۸۷	1/11	۱,۰۰
Yb	۵/۳۰	۶/۱۸	Y, • Y	۵/۵۲	4,84	۵٫۷۴	۵/۳۰
Lu	• ,٧٢	٠٫٨٩	٠,٩٩	٠٫٧٩	۰٬۵۹	۰٫۸۳	• , <b>Y</b> •

جدول ٣ - ٣ عناصر نادر خاکي آمفيبولها [11].

بیات، ترابی

#### سنگ شناختی

واحدهای دگرگونه ناحیه ی چاه پلنگ متشکل از متاولکانیک، متادیاباز، متاگابرو و آمفیبولیت است که به صورت پراکنده و با گستره ی کم که طول آنها حدود ۲ کیلومتر و با عرض صدها متر که به ندرت به یک کیلومتر می سد همراه با دگرگونههای دوشاخ مشاهده می شوند. ار تباط آن ها با سنگهای پیرامون در بخشهایی به صورت گسله است. متابازیت ها در اثر فعالیت های شدید زمین ساختی در منطقه، دستخوش خردشدگی، سمت-گیری و دگرگونی با در جات مختلف شدهاند. بنابر شواهد صحرایی متاگابرو و متادیابازها در بالا و درون متاولکانیک ها نفوذ کردهاند بنابراین به نظر می رسد که پس از تبلور متاولکانیک ها تشکیل شدهاند (شکل ۴).

# آمفيبوليت

در نمونههای دستی، درشت بلورهای آمفیبول به صورت منشوری و با رنگ سبز تیره مشاهده می شوند. آمفیبول و پلاژیوکلاز از سازندگان اصلی آمفیبولیتها به شمار می روند، ایلمنیت و روتیل از کانههای مهم و اسفن و بیوتیت از تشکیل دهندههای جزئی هستند (شکل C و ۵۸). بافت مهم این سنگها، گرانوبلاستیک، پوئی کیلوبلاستیک و لپیدوبلاستیک است (شکل ۵۵). آمفیبولها به دو صورت منشوری و سوزنی وجود دارند. در پیرامون آمفیبولهای منشوری حاشیه ای از آمفیبولهای سوزنی با بیرفرنژانس متفاوتی و بدون هیچ گونه حاشیه و اکنشی مشاهده می شوند. در صورتی که در درون آمفیبولهای منشوری نیز ادخالهایی از اسفن، آمفیبولهای

سوزنی، کدر و بقایای کلینوپیروکسن وجود دارند (شکل Δ۵). پلاژیوکلازها بدون شکل خاصی بین آمفیبولهای منشوری قرار گرفته و دارای ادخالهای فراوانی از آمفیبولهای سوزنی هستند.

# متادیاباز و متاگابرو

متادیابازها و متاگابروهای درشت تا متوسط بلور بهصورت مزو تا ملانوکرات بیشتر از هورنبلند، پلاژیوکلاز و اکسیدهای آهن تشکیل یافتهاند. از کانیهای فرعی و ثانویه آنها میتوان به بیوتیت، لوکوکسن، کلریت و اپیدوت اشاره کرد. در برخی نمونهها شواهد بافتی سنگ آذرین اولیه بهصورت بافتهای دیابازی و بیشتر بافت میان دانهای حفظ شده است (شکل B و ۵۸). بقایای کلینوپیروکسن بهندرت در این سنگها یافت می-شود که در پیرامون آنها آمفیبول و اپیدوت مشاهده میشوند. پلاژیوکلازها در برخی بخشها در اثر دگرگونی با درجهی خیلی پایین به مجموعه کانیهای اپیدوت، کلسیت، آلبیت، پرهنیت، کلریت و کوارتز تبدیل شدهاند.

#### متاولكانيكها

متاولکانیکها بیشتر ترکیب بازالت و تراکی بازالت دارند که به-صورت ملانوکرات بوده و با ساختهای جریانی و بادامی، تپه-های کم ارتفاع و کم شیب منطقه را تشکیل میدهند. فشارهای جهتدار برگوارگی واضحی روی متاولکانیکها اعمال کردهاند، به گونهای که در برخی متاتراکی بازالتها درشت بلورهای فلدسپات شکسته و جهت یافتهاند. حفرههای پر شده با کلسیت ۲٨

نیز در راستای عمود بر تنشها کشیده شدهاند. علاوه بر این دارای تنوع کانیشناسی و بافتی هستند (شکل ۶).

### - متابازالت

در برخی نمونهها که بسیار ریز بلورند، حفرههای پر شده با کلسیت و کوارتز و جهت یافتگی کانیها مشاهده می شود. بافت مهم این سنگها، عبارتند از پورفیروبلاستیک، تراکیتی و بادامکی (شکل 7D). زمینهی ریز بلور آنها از کانیهای ورقهای بیوتیت و سلادونیت، فلدسپات، اپیدوت، آمفیبول و کدر تشکیل شده است. بلورهای بیوتیت و سلادونیت روی حفرههای کلسیتی و متعادل قرار گرفتهاند که احتمالاً بیانگر تشکیل اقیانوسی به صورت اسپیلیتی شدن بازالتها در برخی نمونهها به صورت کلریتی شدن کانیهای فرومنیزین و سوسوریتی شدن پلاژیوکلازها به چشم می خورد. پیرامون برخی از فلدسپاتها، پلاژیوکلازها به چشم می خورد. پیرامون برخی از فلدسپاتها، سریع پلاژیوکلازها و یا تأثیرهای ثانویه دگرگونی است. بخش-هایی از درشت بلورهای فلدسپات در اثر دگرگونی کف

اقیانوسی به آلبیت، پرهنیت، کلریت و کلسیت تبدیل شده است (شکل ۴٤).

# - متاتراکی بازالت

علاوه بر ساختهای جریانی سنگ اولیه، در اثر دگرگونی ناحیهای و اعمال فشارهای جهتدار، در نمونههای دستی برگوارگی کاملاً واضح و در مقطع نازک خردشدگی فنوکریست-ها و جهت یافتگی کلی کانیها (شکل PC) را میتوان مشاهده کرد. از بافتهای اصلی متاتراکی بازالتها میتوان، پورفیروبلاستیک و جریانی را نام برد (شکل PB).

درشت بلورهای پلاژیوکلاز به صورت شکلدار تا نیمه شکلدار در زمینهی ریز تا میان بلوری از کانیهای بیوتیت، فلدسپات، آمفیبول، کدر و کلریت قرار گرفتهاند. بیوتیتهای ریز بلور در متن سنگ (شکل ۶۲) و بین شکستگیهای پلاژیوکلازها (شکل ۶C) تمرکز یافتهاند. برجستگی، درجهی بیرفرنژانس و فراوانی کانی بیوتیت در متاولکانیکها بیش از آمفیبولیتها، متادیابازها و متاگابروهاست. در برخی از بخش-های این سنگها کانیهای بیوتیت به صورت انبوهههای خاص (شکل ۴A) سمت گیری کردهاند.



شکل ۵ تصاویر میکروسکوپی از متابازیتهای ناحیهی چاه پلنگ: A: متادیاباز با بافت بین دانهای اولیه (نمونه Ch795) B: متاگابرو. C: پلاژیوکلاز و آمفیبولیت از تشکیل دهندههای اصلی آمفیبولیتها به شمار میروند. C: آمفیبولهای منشوری و سوزنی در آمفیبولیت با بافت پوئی کیلوبلاستیک (نمونه Ch801).

Act: actinolite	Hbl: hornblende	Ep: epidote	Alb: albite	Chl: chlorite
Fld: feldspar	Bt: biotite	Sph: sphene	Lux: leucoxene	Opq: opaque



شکل ۶ تصاویر میکروسکوپی متاولکانیکهای چاه پلنگ A: متاتراکی بازالت دارای بیوتیت بهصورت انبوه. B: متاتراکی بازالت با بافت جریانی. C: قرار گیری بیوتیتها بین شکستگی پلاژیوکلازهای متاتراکی بازالت. D: بافت بادامکی در متاولکانیک.E: به قرار گرفتن بیوتیتها روی حفرههای پر شده با کلسیت توجه کنند (نمونهی Ch800).F: بازالت اسپیلیتی شده با بافت پورفیروبلاستیک، زمینهی کلریتی و دارای بیوتیتهای کلریتی شده ریز در زمینه. مخفف نام کانیها از [۱۳] گرفته شده است:

Name of mineral	Abbreviation of mineral
Biotite	Bt
Feldspar	Fld
Muscovite	Ms
Amphibole	Amp
Chlorite	Chl
Calcite	Cal
Albite	Alb

Name of mineral	Abbreviation of mineral
Actinolite	Act
Hornblende	Hbl
Epidote	Ep
Prehnite	Prh
Sphene	Sph
Plagioclase	Pl
Leucoxene	Lux

# شیمی کانیها آمفیبول

آمفیبول از کانیهای مهم تشکیل دهندهی این سنگها محسوب میشود. اهمیت این کانی در تنوع ترکیب آن با

محسوب میشود. اهمیت این کانی در تنوع ترکیب آن با شرایط مختلف دگرگونی نمود مییابد. ترکیب این کانی از نوع آمفیبولهای کلسیک است (شکل ۷).

در متادیابازها، آمفیبولها ترکیب فروچرماکیت هورنبلند و چرماکیت هورنبلند دارند. درصورتی که ترکیب آمفیبولهای منشوری حاصل از دگرگونی پسرونده پیروکسنهای موجود در آمفیبولیتها، اکتینولیت است و آمفیبولهای سوزنی موجود در فلدسپارها و درون و پیرامون اکتینولیتها از نوع منیزیوهورنبلند است (شکل ۸). آمفیبولها یکی از مهمترین متمرکز کنندهی REE در سنگهای دگرگونی و آذرینند

[۱۴]. تاکنون توزیع REE در آمفیبولهای کلسیک دگرگونی بررسی نشده است. آمفیبولهای کلسیک با مقدار زیاد REE متمایز میشوند. به علاوه تعدادی از شاخصها نشان میدهند که REE و عناصر تاثیری قادر به قرارگرفتن در مکانهای متفاوت در آمفیبولها هستند. مقدار کل عناصر نادر خاکی در آمفیبولهای آنالیز شده بهطور مشخص وابسته به درجهی دگرگونی هستند. مقدار عناصر نادر خاکی در آمفیبولها بیشتر با کاهش دما، کاهش مییابد [۱۵]. فشار تأثیری روی فراوانی REE و توزیع آنها در آمفیبولها ندارد [۱۶]. آمفیبولهای با نسبت به آمفیبولهای با ترکیب اکتینولیت – هورنبلند در ساختار خود جای دادهاند. آمفیبولها از عناصر نادر سبک و متوسط غنی شدهاند (شکل ۹).









بيات، ترابى

**شکل ۹** نمودار عناصر نادر خاکی در آمفیبولها که نسبت به گوشتهی اولیه بهنجار شده است؛ مقادیر بهنجار شده از [۱۹] است. مقادیر مربوط به آنالیز آمفیبولها برگرفته از [۱۱] است.

#### فلدسپار

این کانی با ترکیب آلبیت بین آمفیبولهای آمفیبولیتها قرار دارد. درون آلبیتها ادخالهای فراوانی از سوزنیهای منیزیوهورنبلند مشاهده میشوند. آندزین، ترکیب پلاژیوکلازهای سالم شکدار تا نیمه شکلدار متادیابازها هستند (شکل ۱۰). درشت بلورهای سانیدین با فراوانی کم و با ماکل سرنیزهای در تراکی بازالتها یافت میشوند. برخی پلاژیوکلازها با تحمل شرایط دگرگونی کف دریا و نیز دگرگونی پسرونده، در برخی نمونهها ماکل مشخصی نشان نمیدهند. آثاری از پدیده-ی دگرگونی با درجهی بسیار پایین را با تشکیل کانیهایی نظیر اپیدوت، کلسیت، کلریت، آلبیت، پرهنیت و کوارتز درون فلدسپارها میتوان دید.

#### بيوتيت

این کانی بیشتر در متاولکانیکها یافت می شود و در واحدهای بازی تر و دایکهای متادیابازی، متاگابرویی و آمفیبولیتی از فراوانی آن کاسته می شود. بیوتیتها با چند رنگی قهوهای و به صورت ریز تا میان بلور در راستای شکستگیهای فلدسپاتها و در زمینهی سنگ حضور دارند. ترکیب بیوتیتهای موجود در متاولکانیکها دایکهای متادیابازی با بیوتیتهای موجود در متاولکانیکها متفاوت است. این بیوتیتها بنابر ردهبندی [۲۰]، به دستههای بیوتیتهای منیزیمدار و آهندار تعلق دارند (شکل ۱۱). عناصر آهن و تیتانیم در ساختار بیوتیت متاولکانیکها نسبتبه متادیابازها سهم بیشتری دارند. در صورتی که منیزیم موجوددر ساختار بیوتیتهای متادیابازها فراوانتر است. ترکیب بیوتیتها، در گسترهی عضو پایانی بیوتیت قرار می گیرد (شکل ۱۲).



**شکل ۱۰** تعیین ترکیب فلدسپارهای ناحیهی چاه پلنگ [۲۱].



شکل ۱۲ تعیین ترکیب بیوتیتهای چاه پلنگ [۲۱].

**بحث شرایط دگرگونی** بر اساس شواهد کانیشناسی تغییرات دگرگونی پیشرونده در رخسارهی آمفیبولیت، و سپس دگرگونی پسرونده از رخسارهی

آمفیبولیت به رخساره شیست سبز را میتوان مشاهده کرد. در بازالتهای اسپیلیتی شده وجود مجموعه کانیهای پلاژیوکلاز، آمفیبول و بیوتیت کلریتی شده، اپیدوت و کلسیت نشانگر شرایط رخسارهی شیست سبز است

آمفيبولها بيشتر بهقطب متمايلند. بنابر نظر [٢۶] ميزان در آمفيبوليتها، كلينوپيروكسنهاى آذرين اوليه به هورنبلندهای قلیایی میتواند به ترکیب سنگ میزبان و شرایط آمفيبول تبديل شدهاند. در قالب كلينوپيروكسنها مىتوان P-T که تبلور رخ می دهد، وابسته باشد. در نتیجه بیشینه مقدار احتمالی یونهای قلیایی در هورنبلند، در یک درجهی دگرگونی خاص با افزایش درجهی دگرگونی زیاد میشود. بیشترین تغییر ترکیبی آمفیبولهای کلسیک در سنگهای دگرگونی میان درجه (علاوه بر تغییر Fe – Mg) در طول تبادلی رخ می دهد که جدا کنندهی تبادل پارگازیت و تبادل چرماکهاست.  $3CaO + 2SiO_2$ آمفیبول های کلسیک با درجهی پایین (رخسارهی شیست سبز)

اکتینولیتهای با مقدار جزئی Na, Al بهصورت: (Ca<sub>2</sub>Mg<sub>5</sub>Si<sub>8</sub>O<sub>22</sub>(OH)<sub>2</sub>) هستند. افزایش درجهی دگرگونی، اکتینولیت را به هورنبلند که حاوی

Al و Na قابل توجهی است، تبدیل می کند. یک هورنبلند شاخص رخسارهی آمفیبولیت میتواند بهصورت فرمول زیر عمل کند [۲۷]:

Na<sub>0.3</sub>Ca<sub>1.8</sub>Na<sub>0.2</sub>(Fe, Mg)<sub>3.4</sub>Al<sub>1.6</sub>Si<sub>6.3</sub>Al<sub>1.7</sub>O<sub>22</sub>(OH)<sub>2</sub> واکنشهای متعددی پیشنهاد شدهاند که افزایش در ترکیبات ادنیت و چرماکیت در آمفیبول با افزایش درجهی دگرگونی را به شرح زیر توضیح میدهند:

Tremolite + albite = edenite + quartzTremolite + chlorite + zoisite + quartz = tschermakite +  $H_2O$ 

منیزیوهورنبلند بهصورت کشیده و بیرفرنژانس بالا و اکتینولیت با بیرفرنژانس ضعیف مشاهده کرد. ادخالهای ریز دانه و بی-شكل اسفن نيز درون اكتينوليتها وجود دارند. [٢٢] واكنش زیر (واکنش ۱) را برای تشکیل آمفیبول از دیویسید در شرایط دگرگونی پسرونده پیشنهاد میکنند:  $5CaMgSi_2O_6 + H_2O \rightarrow Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2 +$ واكنش ١: Diopside + Water  $\rightarrow$  Amphibole + CaO + Silica وجود ادخالهای اسفن درون اکتینولیتها را می توان حاصل واکنش دیویسید و فازهای تیتاندار دانست (واکنش ۲) زیرا نمونههای مورد بررسی غنی از ترکیبات تیتان نظیر لوکوکسن، ایلمنیت، اسفن و روتیل هستند و درون ساختار آمفیبولهای دگرگونی کمتر از 0.05ppm تیتانیوم جای گرفته است (شکل .[77] (17

واكنش ٢ [٢۴]:

 $5CaMgSi_2O_6 + 3TiO_2 + SiO_2 + H_2O \rightarrow 3CaTiSiO_5$  $+ Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$ 

Diopside + Rutile + Silica + Water  $\rightarrow$  Sphene + Tremolite

چنانکه در شکل ۱۴ دیده می شود، بر اساس ردهبندی [۲۵]





شکل ۱۴ ترکیب آمفیبولهای متابازیت بین دو قطب کلسیک آمفیبول و مافیک آمفیبول قرار می گیرد [۲۵].

همهی این واکنش ها منجر به تولید آمفیبول های غنی از Na و AI می شوند. به طور دقیق این واکنش ها غالباً به دما، فشار و ترکیب حجمی سنگ وابسته اند [۲۷]. در شکل ۱۵، ارتباط بین تغییرات قلیایی و درجهی دگرگونی بیان شده است. با افزایش درجهی دگرگونی میزان آمفیبول های قلیایی افزایش می یابد [۸۸]. اکتینولیت ها که در اثر دگرگونی پسرونده هورنبلندها در آمفیبولیت ها ایجاد شده اند، Na و Ti کمتری در ساختار خود جای داده اند. مقدار Ti هورنبلند، در حضور یک فاز غنی از Ti، نظیر روتیل، ایلمنیت یا تیتانیت با افزایش درجهی دگرگونی، افزایش می یابد [۲۰، ۳۰].

از ویژگیهای مهم هورنبلند میتوان به جایگزینی Si با Al اشاره کرد که همراه با افزایش درجهی دگرگونی است. بنابراین، این جایگزینی فاکتور مهمی در تعیین درجهی دگرگونی سنگ میزبان است (شکل ۱۶). حضور اولیهی اکتینولیت در یک متابازیت وابسته به تعدادی فاکتور، علاوه بر فشار و دماست. مقادیر بالای فشار CO<sub>2</sub> به پایداری کلریت + کربنات نسبت به اکتینولیت + زوئزیت کمک میکند. همچنین Fe/Mg سنگ، احتمالاً موجب وجود یا نبودن اکتینولیت در یک دما و فشار خاص میشود. اکتینولیت در دماهای پایینتر در ترکیبات حجمی غنی از Fe و در دماهای بالاتر در ترکیبات حجمی غنی از Mg تشکیل میشود [۲۷]. اکتینولیت، آمفیبول پایدار در

رخسارهی شیست سبز است و بهسمت رخسارهی آمفیبولیت به چرماکیت و ادنیت تغییر ترکیب میدهد [۳۱، ۳۲].

[۲۹] نشان داد که AI<sup>VI</sup> در آمفیبول کلسیک میتواند به-عنوان جدا کنندهی محیطهای با فشار کم از محیطهای با فشار متوسط بهکار آید. در شکل ۱۶ نمونههای 801/3 و Ch 795/7 در بالای خط 5kb [۲۹] قرار میگیرند که ترکیب منیزیوهورنبلند و فروهورنبلند دارند که بیانگر تشکیل آنها در فشارهای بیش از 5kb است. نمونههای با ترکیب اکتینولیت دارای مقادیر کمتر از 0.24 pfu هستند، و در یکی از این نمودارها قابلیت تصویر گیری ندارند که بیانگر تشکیل این کانی در فشارهای کم است.

[۳۳] بر اساس مؤلفههای <sup>۱۷</sup> و Al<sup>IV</sup> و Ceee در ساختار آمفیبولها، آنها را در رخسارههای دگرگونی ردهبندی کرده است (شکل ۱۷). اکتینولیتها شرایط رخسارهی انتقالی آمفیبولیت به شیست سبز را نشان میدهند و دایکهای متادیابازی دارای فروهورنبلند و فروچرماک هورنبلند شرایط رخسارهی آمفیبولیت را نشان میدهند. ترکیب منیزیوهورنبلند نیز در میدان آمفیبولیت قرار گرفته است.

واکنشهایی که شامل سیلیکاتهای Fe هستند به فوگاسیتهی اکسیژن محیط وابستهاند زیرا تشکیل دهندههای Fe<sup>3+</sup> تا دمای بالا در فوگاسیتهی O<sub>2</sub> بالا پایدارند و تشکیل

اپیدوت حاوی <sup>+F</sup>e<sup>3</sup> و کلریت و آمفیبولها حاوی <sup>+F</sup>e<sup>2</sup> نیز مقدار کمتر <sup>+F</sup>e<sup>3</sup> هستند. بنابراین رخسارهی انتقال شیست سبز به آمفیبولیت به فوگاسیتهی O<sub>2</sub> نیز حساس است [۳۴]. چنانکه در نمونههای متابازالت چاه پلنگ میتوان مگنتیت و اپیدوت یافت که حاکی از بالا رفتن فوگاسیتهی اکسیژن در



[۳۵] بر اساس مقدار AI کل موجود در ساختار هورنبلند، نتایج فشارسنجی (شکل ۱۸) را ارائه کردهاند که هورنبلند منیزیمدار با دمای ۶۲۲ و فروچرماک و فروهورنبلندهای با دمای ۶۹۴ – ۶۵۹ درجه سانتی گراد در فشار ۸ کیلوبار را نشان میدهند.



بیات، ترابی

شکل ۱۵ ارتباط بین تغییرات قلیاییها و درجهی دگرگونی [۲۸].



شکل ۱۶ ارتباط بین Al<sup>VI</sup> و Si برای هورنبلند در تمایز محیط کم فشار از محیط با فشار متوسط با استفاده از خط 5kb [۲۹].



شکل ۱۷ میدانهای ترکیب آمفیبولها در رخسارههای دگرگونی خط جداکنندهی گسترهی فشار بالا از فشار پایین از [۲۹] گرفته شده است [۳۳].



شکل ۱۸ بارومتری هورنبلندها بر اساس Al کل موجود در ساختارشان [۳۵].

دماسنج هورنبلند – پلاژیوکلاز نیز که توسط [۳۶] ارائه شده است یک دماسنج تعادلی بوده که در مورد سنگهای دگرگونی درجات بالاتر از شیست سبز فوقانی مقادیر قابل قبولی را ارائه نشان میدهد، این دماسنج برمبنای وجود کوارتز در سنگ، دو واکنش زیر را پیشنهاد میکند. از آنجا که در متابازیتها کوارتز آزاد یافت نمیشود، میتوان از دماسنج براساس واکنش دوم استفاده کرد. 1) edenite + 4 guartz = tremolite + albite

P(+/- 0.6 kbar) = -3.01 + 4.76 Al(total) کانی بیوتیت از میزبانهای مهم Ti در متاولکانیکها محسوب میشود. جایگیری این عنصر در ساختار بیوتیت ارتباط مستقیم با دما دارد. بر این اساس [۳۸] دماسنج بیوتیت بر مبنای Ti و Mg# موجود در ساختار این کانی را در فشار ۴ کیلوبار ارائه کرده است. بیوتیتهای موجود در متاولکانیکها دمای 2°۵۸ – ۵۸۵ – ۸۹۶ و بیوتیتهای موجود در متادیاباز دمای ۹۹۶ – ۵۸۵ درجه سانتی گراد را نشان میدهند (شکل ۱۹). دماسنجی بیوتیتها، دماسنجی هورنبلند – پلاژیوکلاز و فشارسنجی آمفیبولها بیانگر شرایط رخسارهی آمفیبولیت برای متاباریت-هاست. کاهش درصد آنورتیت پلاژیوکلازها و حضور اکتینولیت، درجهی دگرگونی آمفیبولیتها را به سمت رخسارهی شیست سبز انتقال میدهد [۳۹] (شکل ۲۰).

	ريو ګرر .	امقيبول پلا	جی تانی های	دما-فسارسنغ	ايج حاصل ار	جدول آند	
نمونه	Ch801/1	Ch801/2	Ch801/3	Ch795/4	Ch795/5	Ch795/6	Ch795/7
<b>P1</b> (kb)	۰,۱۶	• ۲۸	۷٫۴۰	٨,۴٩	۷٫۹۶	۷٫۸۵	۸,۲۴
$T(^{\bullet}C)$	۵۷۶,۱	۵۹۸٬۲	۶۱۵٫۶	۶۲۰٫۸	۶۵۸٫۷	897 <sub>1</sub> 8	۶۶۵٫۵
P2 (kb)	٨, • •	٨,	٨, • •	٨,	٨, • •	٨, • •	٨,••
$T(^{\bullet}C)$	8.7,4	۶۳۰,۱	۶۲۲٫۵	۶۶۵٫۵	۶۵۹٫۱	894,7	۶۶۲٬۵

جدول ۴ نتايج حاصل از دما- فشارسنجي كاني هاي أمفيبول – پلاژيوكلاز .

بیات، ترابی

Sample	Ti	X(Mg)	T(°C)
Ch795/13	۰,۱۸	۰,۵۶	۵۸۹
Ch795/14	۰,۱۸	۵۵, •	۵۸۵
Ch795/15	٠٫١٩	۵۵, •	۵۹۶
Ch795/16	٠,١٩	۵۵, •	۵۹۶
Ch795/17	۰٬۱۸	۵۵, •	۵۸۵
Ch800/18	•,۲۷	۰ <sub>/</sub> ۵۰	۶۴۸
Ch800/19	۰,۲۸	۰٬۵۲	۶۵۹
Ch800/20	۸۲٫۰	•,۴٩	802
Ch800/21	•,٢٩	۰,۵۲	880
Ch800/22	• ٫۲۷	ι ۵.	۶۵۰

$$\begin{split} X(Mg) &= Mg/Mg + Fe \\ T &= \{[ln(Ti) - a \cdot c(X_{Mg})^3]/b\}^{0.333} \end{split}$$

ضريب	مقدار
а	-۲,۳۵۹۴
b	9e - 4,8417
с	-1/VTAT

P = 4 kbar0.6 800 °C 0.5 700°C 0.4 Ti apfu 0.3 600°C 0.2 500°C 0.10.0 0.3 0.6 0.7 0.8 1.00.4 0.5 0.9 Mg / (Mg + Fe)

شکل ۱۹ دماسنجی بیوتیتهای چاه پلنگ [۳۸].



۳۸

[3] Technoexport, "Geological map of Khur",

Geological survey of Iran, (1984) 1:250000, No. H7.

[4] Stahl A. F., "Handbuk der regional geologie – Persian" V. Band 8, Hidelberg, (1911).

[5] Davoudzadeh M., Seyed Emami K., Amidi M., "Preliminary note on a newly discovered Triassic section North – East of Anarak (Central Iran) with some remarks on the age of the metamorphism in Anarak region", Geol. Surv. of Iran, (1969) No. 57, 23 p.

۶- آقانباتی ع.، "زمین شناسی / یران"، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۸۵) ۵۸۶ص.

[7] Technoexport, "Geology of the Khur area (Central Iran)", report TE / No. H7., (1984) 132 p.

[8] Ghasemi A., Talbot C. J., "A new tectonic scenario for the Sanandaj – Sirjan zone (Iran)", Journal of Asian Earth Sciences 26 (2006) 683 – 693.

[٩] مؤسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی، اطلس راه های ایران (۱/۱۰۰۰۰۰)، (۱۳۸۴) ۲۷۱ ص.

[10] Sharkovski M., Susov M., Krivyakin B., (Eds.), "Geology of the Anarak area (Central Iran), Explanatory text of the Anarak quadrangle map, 1:250,000, V/O Technoexport Report TE/No. 19". Geological Survey of Iran, Tehran (1984) 143 p.

[11] Bagheri S., "The exotic Paleo-tethys terrane in Central Iran: new geological data from Anarak, Jandaq and Posht-e-Badam areas", Ph.D. thesis: Faculty of Geosciences and Environment, University of Leusanne, Switzerland, (2007) 208 p. [12] Droop G. T. R., "A general equation for estimating  $Fe^{3+}$  Concentration in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analysis, using stoichiometric criteria" Mineralogical Magazine 51 (1987) 431-435.

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

[14] Lesnov F. P., "Regularities of REE distribution in amphiboles" Zapaski VMO, 131 (2002) 75-98.

[15] Skublov S. G., Drugova G. M., "Peculiarities of distribution of REE in amphiboles and their application to reconstruction of metamorphic برداشت

در جنوب چاه پلنگ، متابازیتهای ملانوکرات به صورت تیههای كم ارتفاع متشكل از آمفيبوليت، متاگابرو، متادياباز و متابازالت در همراهی با دگرگونههای پالئوزوئیک دوشاخ برونزد یافتهاند. شواهد صحرایی و کانی شناسی حاکی از نفوذ متا گابروها، آمفيبوليتها و متاديابازها به درون متابازالتها بوده است. حضور گسلهای فراوان در منطقه منجر به ایجاد برگ وارگی و سمتیابی کانیهای برگهای در سنگها شدهاند. دگرگونی چند مرحلهی نیز در متابازیتها یافت می شود. متابازیتها علاوه بر دگرگونی کف اقیانوسی، دگرگونی در رخسارهی آمفیبولیت و شیست سبز را نیز تحمل کردهاند. آمفیبولهای موجود در رخسارهی آمفیبولیت از عناصر قلیایی، تیتانیم و آلومینیم و بیوتیتهای پایدار در این رخساره از آهن و تیتانیم بیشتری نسبت به کانیهای مشابه در رخسارهی شیست سبز برخوردارند. حضور کانیهای شاخص رخسارهی شیست سبز نظير اكتينوليت، اييدوت و آلبيت، نتايج دما- فشارسنجي كاني-های آمفیبول و آمفیبول – پلاژیوکلاز و تغییر در شیمی کانی آمفیبول بیانگر دگرگونی یسرونده از رخسارهی آمفیبولیت به شیست سبز است. فراوانی کانیهای دارای عناصر قلیایی نظیر بيوتيت، آلبيت، فلدسپار قليايي، هورنبلند و اسفن در متن سنگ بيانگر ماهيت قليايي اين سنگها همانند ماهيت غالب ماگماتیسم قلیایی پالئوزوئیک در ایران است.

تشكر و قدرداني

نویسندگان این مقاله از دانشگاه اصفهان به خاطر حمایتهای مالی و از جناب آقای دکتر ساسان باقری به دلیل در اختیار قرار دادن آنالیزهای آمفیبولها سپاسگزاری میکنند.

#### مراجع

امامی م. ه.، "ماگماتیسم در ایران"، سازمان زمین شناسی و
اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۷۹) ص۶۲۱.

[2] Technoexport, *Geological map of Kabudan*", Geological survey of Iran, (1984)1:100000 series, sheet 68. [26] Shido F., Miyashiro A., "Hornblendes of basic metamorphic rocks", Journ. Fac. Sci. Univ. Tokyo, sect. II, v. 12 (1959) 85 p.

[27] Spear F. S., "Metamorphic Phase Equilibria and Pressure – Temperature – Time Paths", Mineralogical Society of America, (1993) 799 p.

[28] Bégin N. J., "P – T conditions of metamorphism inferred from metabasites for the Cape Smith Thrust Belt, Northern Québec", Geosci. Can. 16 (1989a) 151 – 154.

[29] Raase P., "Al and Ti contents of hornblende, indicators of pressure and temperature of regional metamorphism": Contributions to Mineralogy and Petrology 45 (1974) 231 – 236.

[30] Spear F. S., "An experimental study of hornblende stability and compositional variability in amphibole": American Journal of Science 281 (1981) 697 – 734.

[31] Laird J., Albee A. L., "*High – pressure metamorphism in mafic schist from northern Vermont*", American Journal of Science 281 (1981a) 97 – 126.

[32] Laird J., Albee A. L., "Pressure, temperature, and time indicators in mafic schist: their application to reconstructing the polymetamorphic history of Vermont", American Journal of Science 281 (1981b) 127 – 175.

[33] Zakrutkin V. V., "*The evolution of amphiboles during metamorphism*", Zap. Vses. Mineral. Obsestva 96 (1968) 13 – 23.

[34] Anderson J. L., Smith D. R., "The effect of temperature and oxygene fugacity on Al – in hornblende barometry", American Mineralogist 80 (1995) 549-559.

[35] Holland T., Blundy J., "Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry", Contrib. Mineral. and Petrol. 116 (1994) 433-47.

[36] Schmidt M. W., "Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer", Contrib. Mineral. and Petrol. 110 (1992) 304-10.

[37] Henry D. J., Guidiotti C. V., Thomson J. A., "The Ti-saturation surface for low to medium pressure metapelitic biotite: Implications for Geothermometry and Ti-substitution Mechanisms", American Mineralogist 90 (2005) 316-328.

[38] Yardley B. W. D., "Introduction to Metamorphic Petrology", John Wiley & Sons, New York, (1989) 248p.

*parameters"*, Institute of Precambrian Geology and Geochronology RAS. (2001?).

[16] Skublov S. G., Drugova G. M., "Patterns of trace – element distribution calcic amphiboles as a function of metamorphic grade" The Canadian Minelarogist, 41: (2003) 383-392.

[17] Leake b., Wooley A., Arps C., Birch W., Gilbert M., Grice J., Hawthorne F., Kato A., Kisch H., Krivovichev V., et al., "Nomenclature of amphiboles: Report of Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names", Canadian Mineralogist 35 (1997) 219 – 237.

[18] Hawthorne F. C., Oberti R., Della Ventura G., Mottana A., "Amphiboles: crystal chemistry, occurrence, and health issues", Mineralogical Society of America, (2007) 545 p.

[19] Sun S. S., "Chemical composition and origin of the Earth's primitive mantle", Geochim. Cosmochim. Acta. 46 (1982) 179-192.

[20] Foster M.D., "Interpretation of the composition of trioctahedral micas", U.S. Geol. Surv. Prof. Pap., 354B (1960) 11 - 49.

[21] Deer W. A., Howie R. A., Zussman J., "An Introduction to the Rock Forming Minerals", Longman, London, (1992) 528 p.

[22] Kimball L., Frank S. Spear, "*Metamorphic petrology of the Jackson County iron formation, Wisconsin*", Canadian Mineralogist, v.22, no. 4 (1984) 605 – 619.

[23] Leake B. E, "The relationship between tetrahedral aluminum and the maximum possible octahedral aluminum in natural calciferous and subcalciferous amphiboles", American Mineralogist 50 (1965) 843 – 851.

[24] Ikeda T. H., Yoshida K., Armia T., Nishiyama, "Garnet – clinopyroxene amphibolite from the Takahama metamorphic rocks, Western Kyushu, SW Japan: evidence for high – pressure granulite facies metamorphism", Journal of Mineralogical and Petrological Science 100 (2005) 104–115.

[25] Robinson P., Spear F. S., Schumacher J. C., Laird J., Klein C., Evans B. W., Doolan B. L., "Phase relations of metamorphic amphiboles: natural occurrence and theory. In Amphiboles and other Hydrous Pyriboles – Mineralogy (D.R. Veblen & P.H. Ribbe, eds.)", Rev. Mineral. 9B (1982) 1 – 227.