



عوامل موثر بر حضور یا عدم حضور کانی کلریتوئید در سنگ‌های رسی دگرگون شده‌ی مناطق بلند پرچین و پشتوك

عادل ساکی*

گروه زمین‌شناسی دانشگاه شهید چمران اهواز

(دریافت مقاله: ۸۸/۶/۲۳، نسخه نهایی: ۸۸/۱۲/۱۵)

چکیده: ریزساختها، سیماهای سنگنگاشتی و روابط صحرایی نشان می‌دهد که سنگ‌های رسی دگرگون شده‌ی مناطق بلند پرچین و پشتوك واقع در شمالغرب ایران تحت تاثیر یک دگرگونی چند مرحله‌ای قرار گرفته‌اند. مجموعه کانی‌های دگرگونی در سنگ‌های رسی دگرگون شده این دو منطقه با هم تفاوت دارند. شیسته‌ها در منطقه‌ی بلند پرچین دارای گرافیت‌اند و بهرنگ تیره دیده می‌شوند. کانی‌های با اوج دگرگونی در این سنگ‌ها عبارتند از: گارنت، استارولیت، آلومینوسیلیکات‌ها (آنالوژیت/سیلیمانیت)، بیوتیت، کلریت، مسکویت و کوارتز، در حالی‌که سنگ‌های رسی دگرگون شده در منطقه‌ی پشتوك بدون گرافیت هستند و مجموعه کانی‌ای آن‌ها شامل: گارنت، استارولیت، کلریت، مسکویت و کوارتز است که معمولاً به صورت همزمان با یک فاز دگرگونی مجاورتی رشد کرده‌اند. در سنگ‌های منطقه‌ی پشتوك ایزوگرادها شبیه سری دگرگونی بارووین نیستند ولی اولین ظهرور کانی کلریتوئید در این سنگ‌ها (ترکیبات غنی از آلومینیوم) رخ داده است. در این پژوهش معلوم شد که با وجود ترکیب سنگ مادر اولیه‌ی یکسان و گرادیان زمین گرمایی مشابه در هر دو منطقه، آنچه سبب حضور مجموعه کانی‌ای متفاوت در این دو منطقه (بلند پرچین و پشتوك) شده است وجود و یا عدم وجود گرافیت و در نتیجه فعالیت متفاوت H_2O است، به طوری‌که در منطقه‌ی پشتوك بدلیل عدم وجود گرافیت و بالا بودن فعالیت H_2O (۰/۸ تا ۱) کلریتوئید ظاهر شده است در صورتی‌که در منطقه‌ی بلند پرچین به علت وجود گسترده‌ی گرافیت و به‌دنیال آن پایین بودن فعالیت H_2O (۰/۵) کانی‌های آلومینوسیلیکات مانند آندالوژیت، کیانیت و سیلیمانیت رشد کرده‌اند.

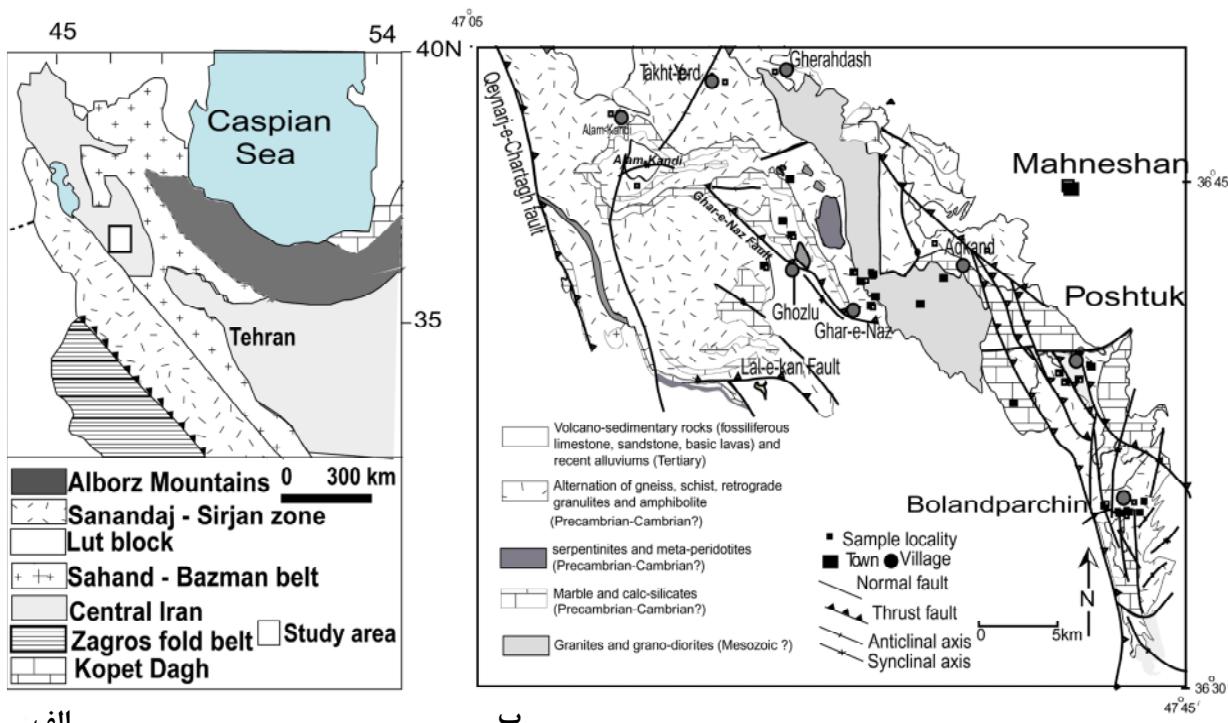
واژه‌های کلیدی: منطقه‌ی پشتوك، کلریتوئید، گرافیت، فعالیت H_2O ، شیب زمین گرمایی.

می‌شود، به طوری‌که شرایط واقعی تشکیل کانی‌های دگرگون بیانگر شرایط حاکم بر دگرگونی است که به عوامل متعددی از جمله دما، فشار، فعالیت آبغون‌ها و پروتولیت اولیه‌ی سنگ مادر دگرگونی بستگی دارد [۳، ۲]. برای مثال وجود بعضی از کانی‌ها مانند کلریتوئید در سنگ علاوه بر ترکیب سنگ مادر اولیه مناسب به فعالیت آبغون‌ها نیز بستگی دارد [۴]. در این پژوهش سعی شده است تا با استفاده از این روابط و شرایط

مقدمه

یکی از هدف‌های مهم سنگ‌شناسی دگرگونی، برآورد دما و فشار تشکیل سنگ به منظور شناسایی ماهیت دگرگونی و شرایط زمین‌ساختی پوسته است. در زمین‌شناسی بیشتر محاسبات دماسنجی و فشارسنجی بر اساس شرایط تعادلی، بنابر روابط ترمودینامیکی انجام می‌گیرد [۱]. دما و فشار دگرگونی بر اساس پاراژنر کانی‌های موجود در سنگ تعیین

وجود دارد. همبافته‌ی ماهنشان به وسیله‌ی نوارهایی از چین‌ها و گسل‌ها، درون سیستم کوه‌زایی آلب‌هیمالیا، در غرب آسیا قرار گرفته است. زون البرز-آذربایجان در شمال، زون دگرگونی سندنج سیرجان و ایران مرکزی در جنوب و شرق همبافته‌ی ماهنشان قرار گرفته‌اند [۷,۶]. بر اساس تقسیم‌بندی‌های ماهنشان قرار گرفته‌اند [۷,۶]. بر اساس تقسیم‌بندی‌های ساختاری ایران، همبافته‌ی تکاب توسط زمین‌شناسان مختلف در زون‌های زمین‌شناسی متفاوت، قرار گرفته است، برای مثال جزء زون ایران مرکزی توسط [۸,۶] زون سلطانیه-میشو توسط [۹] و زون البرز-آذربایجان و سندنج-سیرجان توسط [۱۰]. اگر چه همبافته‌ی تکاب دارای روند عمومی شمال‌غربی-جنوب شرقی است و به طور خاصی به زون سندنج-سیرجان وابسته است، ولی از لحاظ ویژگی‌های زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی به نظر می‌رسد که بیشترین شباهت را با زون ایران مرکزی دارد (شکل ۱ الف). بر اساس نقشه‌ی زمین‌شناسی ایران [۱۱] منطقه‌ی مورد بررسی در زون ایران مرکزی قرار دارد. بر اساس جدیدترین سال سنجی‌های U-Pb که از زیرکن‌های موجود در پروتوولیت سنگ‌های دگرگونی به دست آمداند سن همبافت ماهنشان ۵۶۰ میلیون سال برآورد شده است [۱۲].



شکل ۱ (الف) نقشه‌ی ساده تقسیم‌بندی زون‌های ساختاری ایران و جایگاه زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد بررسی (با تغییراتی از [۱۱]). ب) نقشه زمین‌شناسی و نمونه‌برداری منطقه‌ی مورد بررسی (بلندپرچین و پشتوك) (گرفته شده از نقشه‌ی ۱/۱۰۰۰۰۰ ماهنشان سازمان زمین‌شناسی کشور).

دگرگونی به دست آمده برای سنگ‌های رسی دگرگون شدهی منطقه بلند پرچین و پشتوك، تاثیر عواملی مانند ترکیب آبگون‌ها و ترکیب سنگ مادر اولیه بر پیدایش و یا عدم پیدایش کلریتوئید مشخص شود. کلریتوئید معمولاً در سنگ‌های رسی دگرگون شده غنی از آلومینیوم و آهن فریک به وجود می‌آید [۵].

در این مقاله سنگ‌های رسی دگرگون شدهی منطقه بلند پرچین و پشتوك به‌منظور بررسی حضور و یا عدم حضور کانی کلریتوئید مورد بررسی قرار گرفته‌اند که برای نیل به این هدف ترکیب شیمیایی کانی‌های تشکیل دهندهی سنگ، شرایط P-T، فعالیت آبگون و ترکیب شیمیایی سنگ مادر مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

جایگاه زمین‌شناسی

منطقه‌ی مورد بررسی (شکل ۱ الف و ب) بین طول‌های جغرافیایی ۳۰° تا ۴۰°، عرض ۳۶° تا ۴۷° شرقی و عرض ۳۶° تا ۴۷° شمالی قرار دارد. در شمال‌غرب ایران یک نوار با ویژگی چند دگرگونی (همبافته ماهنشان و تکاب) با روند NW-SE با طول تقریبی ۴۰۰ کیلومتر از شمال غربی به جنوب شرقی

۵ مقطع با بالاترین تعداد فاز در حال تعادل از این سنگ-های رسی دگرگون شده، در موسسه‌ی تحقیقاتی GFZ در پتسدام آلمان با استفاده از دستگاه CAMECA, SX100 مورد تجزیه‌ی ریز پردازشی قرار گرفتند (جدول ۲ و ۳). این دستگاه در حالت wavelength dispersive کار می‌کند. ولتاژ شتاب باریکه الکترونی استفاده شده برابر 15 kV و زمان تجزیه برای هر نقطه ۴۰ ثانیه بوده است. برای تجزیه‌ی نمونه، از جریانی به شدت 3 nA استفاده شد. خطای دستگاه در حدود ۱٪ به صورت اکسید عنصر است.

روش بررسی

پس از بررسی‌های صحرایی، تعداد ۸۰ مقطع نازک میکروسکوپی به منظور بررسی‌های سنگ نگاشتی و روابط بافتی مورد بررسی [۱۲] قرار گرفتند. نمونه‌های معرف از شیوه‌های گرافیتی بلند پرچین و غیر گرافیتی پشتوك برای بررسی‌های بعدی انتخاب شدند. این نمونه‌ها به منظور بررسی عناصر اصلی، عناصر کمیاب و عناصر نادر خاکی در آزمایشگاه دانشگاه OA-GRA، ME-ICP، ME-MS مورد آنالیز شیمیایی سنگ کل قرار گرفتند که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده‌اند.

جدول ۱ درصد وزنی عناصر اصلی شیوه‌های دگرگونی در منطقه‌ی بلند پرچین و پشتوك (آنالیز سنگ کل) شیوه‌های پشتوك P، شیوه‌های بلند پرچین: B.

Sample	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	H ₂ O %	CO ₂ %	Sum %
P1	58,10	0,991	18,9	7,45	0,022	2,83	0,47	1,19	5,99	0,145	2,85	0,56	99,5
P2	63,9	1,458	17,5	11,88	0,154	0,59	0,48	0,40	0,76	0,064	2,48	0,10	99,8
P3	56,5	1,179	23,0	8,75	0,045	1,08	1,4	0,58	3,86	0,121	0,19	3,23	99,6
P4	54,60	1,569	20,5	10,65	0,109	1,90	1,92	1,09	3,02	0,139	3,90	0,26	99,7
B1	63,1	0,708	16,4	6,46	0,099	2,20	1,29	1,50	3,22	0,175	2,92	1,56	99,6
B2	61,10	0,962	19,6	6,95	0,124	2,04	0,50	0,94	3,85	0,17	2,74	1,72	99,6
B3	63,00	0,858	17,4	5,74	0,117	1,63	0,86	1,59	3,22	0,124	2,17	0,05	99,6
B4	63,60	0,900	17,0	6,65	0,146	2,00	0,71	1,48	2,49	0,149	2,85	1,75	99,6
B5	60,00	0,875	18,3	8,22	0,278	2,26	1,29	1,56	3,51	0,180	2,23	0,99	99,7
B6	65,80	0,81	16,90	6,41	0,13	1,84	0,61	1,55	2,47	0,13	0,19	0,15	99,8

جدول ۲ آنالیزهای معرف مسکویت، کلریت، استارولیت و گارنت در شیوه‌های پشتوك.

Sample	49g	49g	49g	49g	49g	49g	49g	49g	49g	49g	49g	49g	49g
Mineral	St	St	St	Grt	Grt	Grt	Ctd	Ctd	Chl	Chl	Ms		
SiO ₂	27,45	28,20	28,15	26,78	26,38	26,37	23,60	23,44	22,99	23,13	44,42		
TiO ₂	0,52	0,70	0,66	0,10	0,06	0,14	0,00	0,02	0,08	0,22	0,16		
Al ₂ O ₃	57,14	56,74	56,51	50,84	20,68	20,36	41,35	41,26	22,00	22,32	37,63		
Cr ₂ O ₃	0,04	0,08	0,06	0,03	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	0,05		
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	1,47	2,34	1,51	1,31	2,10	1,31	0,81	1,45		
FeO	14,24	14,40	14,72	28,25	29,13	28,76	26,37	26,16	26,72	25,45	0,33		
MnO	0,07	0,15	0,15	1,35	0,44	1,37	0,03	0,00	0,09	0,07	0,00		
MgO	0,32	0,30	0,31	1,37	1,50	0,57	1,65	1,70	7,13	8,19	0,25		
CaO	0,00	0,01	0,00	1,07	1,02	1,91	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00		
Na ₂ O	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,04	0,01	1,77		
K ₂ O	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	8,85		
Totals	99,00	100,00	100,58	101,76	101,58	101,03	96,41	94,76	91,43	91,28	94,91		
Structurll Formulae on a basis of 28 oxygens													
Si	7,46	7,60	7,60	2,96	2,94	2,96	0,994	0,986	2,48	2,47	2,98		
Ti	0,106	0,14	0,13	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01			
Al	18,31	18,04	18,00	1,97	1,97	1,96	1,97	1,96	2,92	2,94	2,90		
Cr	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Fe(3+)	0,00	0,00	0,00	0,09	0,14	0,09	0,04	0,08	0,10	0,06	0,07		
Fe(2+)	3,22	3,25	3,22	2,57	2,64	2,64	0,89	0,88	3,31	3,174	0,12		
Mn	0,016	0,03	0,03	0,09	0,03	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Mg	0,13	0,12	0,12	0,16	0,18	0,07	0,10	0,10	0,14	1,30	0,02		
Ca	0,00	0,00	0,00	0,03	0,09	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Na	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12		
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	
Totals	29,27	29,22	29,25	8,00	8,00	8,00	4,00	4,00	10,00	10,00	6,90		

جدول ۳ آنالیزهای معرف بیوپتیت، گارنت، کلریت، مسکوویت، استارولیت و پلاژیوکلاز در شیستهای بلند پرچین. فرمول ساختاری به ازای تعداد اتمهای اکسیژن در کانی‌ها محاسبه شده است.

Sampel Mineral	43c Bt	44c Post	13b Bt	44c Grt	43b1 Rim	43c Core	13f Chl	43c Ms	44c Ms	43c St	13b Core	44c Pl	13f Pl
SiO ₂	۳۴,۹۵	۳۴,۴۰	۳۴,۳۴	۳۶,۸	۲۸,۱۱	۳۶,۷۱	۲۲,۶۲	۴۶,۶۳	۴۶,۳۴	۲۶,۰۴	۲۷,۲۸	۶۰,۶۱	۶۳,۴۲
TiO ₂	۱,۹۶	۲,۴۵	۱,۳۶	۰,۰۴	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۷	۰,۴۴	۰,۷۰	۰,۴۵	۰,۳۱	۰,۰۰	۰,۰۱
Al ₂ O ₃	۲۰,۱۵	۲۰,۲۳	۱۹,۶۶	۲۱,۰۷	۲۰,۶۷	۲۱,۱۷	۲۲,۷۶	۴۶,۳۰	۴۶,۷۰	۵۷,۳۴	۵۳,۶۰	۴۶,۲۲	۲۲,۹۲
Cr ₂ O ₃	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۳	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۵	۰,۰۳	۰,۰۷	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Fe ₂ O ₃	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۱,۹۳	۱,۸۰	۲,۰۵	۰,۰۰	۰,۹۲	۰,۸۶	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۲,۴۰
FeO	۲۲,۹۳	۲۱,۸۵	۲۱,۸۴	۲۸,۴۴	۳۰,۰۰	۳۱,۸۰	۲۸,۷۷	۰,۲۱	۰,۱۹	۱۱,۹۰	۱۴,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱
MnO	۰,۱۷	۰,۲۴	۰,۲۰	۸,۲۵	۸,۱۸	۵,۹۴	۰,۳۸	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۲۸	۰,۶۰	۰,۰۰	۰,۱۵
MgO	۸,۴۳	۸,۵۸	۷,۸۲	۱,۸۰	۱,۴۱	۲,۰۲	۱۱,۶۸	۰,۵۸	۰,۶۰	۰,۰۱	۱,۲۲	۰,۰۰	۰,۰۴
CaO	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۱۲	۳,۱۸	۲,۵۵	۱,۹۵	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۶,۷۷	۲,۴۰
Na ₂ O	۰,۱۹	۰,۱۲	۰,۳۲	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۱,۲۰	۱,۰۰	۰,۰۵	۰,۰۱	۸,۴۶	۷,۹۱
K ₂ O	۸,۹۱	۸,۰۵	۸,۱۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۹,۷۰	۱۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۱۲	۲,۰۴
Totals	۹۷,۰۰	۹۵,۵۰	۹۶,۰۷	۱۰,۱۵	۱۰,۰۲	۱۰,۱۶	۸۷,۳۰	۹۶,۰۰	۹۶,۴۰	۹۷,۰۰	۹۷,۰۰	۱۰,۱۹	۹۸,۹۳
Si	۲,۶۲	۲,۶۱	۲,۶۷	۲,۹۴	۳,۰۲۷	۲,۹۳	۲,۵۵	۳,۰۰	۳,۰۳	۷,۲۰	۷,۶۶	۲,۶۵	۲,۸۲
Ti	۰,۱۱	۰,۱۴	۰,۰۸	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۷	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۹	۰,۰۶	۰,۰۰	۰,۰۰
Al	۱,۷۸	۱,۸۱	۱,۸۰	۲,۰۰	۱,۹۳۵	۲,۰۰	۲,۷۶	۲,۹۰	۲,۸۳	۱۸,۷۰	۱۷,۷۳	۱,۳۵	۱,۲۱
Cr	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Fe ^(۳+)	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۱۱	۰,۱۰۷	۰,۱۲	۰,۰۰	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Fe ^(۲+)	۱,۴۴	۱,۳۹	۱,۴۲	۱,۹۰	۲,۰۹	۲,۱۲	۲,۶۰	۰,۰۱	۰,۰۱	۲,۷۵	۳,۳۰	۰,۰۰	۰,۰۱
Mn	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۵۵	۰,۵۵	۰,۴۰	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۶	۰,۱۴	۰,۰۰	۰,۰۰
Mg	۰,۹۴	۰,۹۷	۰,۹۰	۰,۲۱	۰,۱۶۷	۰,۲۴	۱,۸۸	۰,۰۵	۰,۰۶	۰,۴۱	۰,۵۱	۰,۰۰	۰,۰۰
Ca	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۲۷	۰,۲۱۷	۰,۱۶	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۳۲	۰,۱۱	۰,۰۰
Na	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۵	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۱۵	۰,۱۲	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۷۲	۰,۶۸
K	۰,۸۵	۰,۷۸	۰,۸۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۸۰	۰,۸۳	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۱۲
Totals	۷,۷۰	۷,۷۴	۷,۷۷	۸,۰۵	۸,۰۵	۸,۰۰	۹,۹۸	۶,۹۸	۶,۹۷	۲۹	۲۹,۴۰	۵,۰۴	۴,۹۶

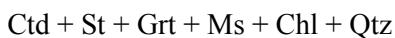
می‌شوند و پرفیروبلاستهایی از آندالوزیت و استارولیت بر سطح آن‌ها دیده می‌شوند. این سنگ‌ها نیز در نمونه‌ی دستی شیستوزیته کاملاً مشخصی دارند (شکل ۲ الف). این سنگ‌ها در نمونه‌ی دستی حاوی کانی آندالوزیت به طول ۲ سانتی‌مترند و بدليل وجود گرافیت به رنگ تیره دیده می‌شوند (شکل ۲ ب). مجموعه کانیایی مشاهده شده در این سنگ‌ها عبارتند از: St + And + Ky + Grt + Bt + Ms + Qtz + Grap بیوپتیت - مسکوویت شیستهای: شیستهای گرافیتی خاکستری رنگ با اندازه‌ی دانه‌های ریز تا متوسط که در شمال غربی روستای آملو بروزند دارند و دو فاز دگرشکلی D₁, D₂ در نمونه‌ها در صحراء قابل تشخیص و اندازه‌گیری‌اند. کرینولیشن کلیواز در این سنگ‌ها به وجود آمده است و بافت آن‌ها در زیر میکروسکوپ لپیدوگرانوبلاستی است. مجموعه کانی‌های موجود در این سنگ‌ها عبارتند از: Bt + Ms + Qtz + Pl + Graph

گارنت شیستهای: از روی تنوع بافتی گارنت در این شیستهای می‌توان اطلاعات با ارزشی در مورد تاریخچه دگرشکلی

سنگ‌های سنگ نگاشتی سنگ‌های رسی و نیمه‌رسی دگرگون شده (شیستهای)، در تمام منطقه ماهنشان به صورت میان لایه با گنیس‌ها، آمفیبولیت‌ها و دیگر سنگ‌ها دیده می‌شوند ولی در چند منطقه با حجم‌های گسترده رخنمون دارند از جمله در روستاهای بلند پرچین، پشتوك، آملو (همبافت ماهنشان) و انگوران (همبافت امیرآباد) که شیستهای هر منطقه کانی‌شناسی و ترکیب مودی خاص خود را دارند (شکل ۱ ب). بیشتر سنگ‌های دگرگون بیش از یک مرحله دگربریختی و یا دگرگونی را نشان می‌دهند. با بررسی دقیق سیماهای کانی‌شناسی و بافتی سنگ می‌توان از پیوند میان فازهای گوناگونی، درک درستی داشت و چگونگی ارتباط آن‌ها را با رویدادهای دگرگونی و دگربریختی دریافت [۱۴, ۱۳]. شیستهای منطقه بر اساس حضور یا عدم حضور گرافیت به دو دسته تقسیم می‌شوند:

شیستهای گرافیتی بلند پرچین در شمال روستای بلند پرچین در کنار جاده‌ی بروزند دارند و به رنگ تیره دیده

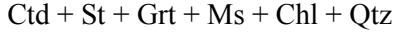
شیستها حضور دارد (شکل ۲ ت) [۱۴]. گارنت در این شیستها درشت دانه (شکل ۲ ت و ث) بوده و بافت هلیسیتی از ویژگی‌های آن است. این سنگ‌ها در نمونه‌ی دستی به رنگ زرد تا قهوه‌ای و خاکستری دیده می‌شوند. اندازه‌ی گارنت در این سنگ‌ها در نمونه‌ی دستی تا ۱/۵ سانتی‌متر نیز می‌رسد. شیستوزیته در این سنگ‌ها به خوبی قابل مشاهده است. در مقاطع نازک گارنت‌ها به صورت حلزونی و شکل‌دار دیده می‌شوند. استارولیت در نور طبیعی به رنگ زرد و تقریباً شکل‌دار است و بیش از ۴۰ درصد سنگ از این کانی تشکیل شده است. مسکویت نیز در این سنگ به صورت نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار قابل دیدن است. در مقاطع نازک بلورهای منشوری ریزدانه با رنگ آبی (نور طبیعی) با سمت‌گیری موازی با شیستوزیته غالب سنگ دیده می‌شوند که کلریتوئیدند (شکل ۲ ج).



استارولیت-گارنت شیستها: این سنگ‌ها در نمونه‌ی دستی به رنگ زرد تا قهوه‌ای و خاکستری دیده می‌شوند. اندازه‌ی گارنت در این سنگ‌ها در نمونه‌ی دستی تا ۱/۵ سانتی‌متر نیز می‌رسد. شیستوزیته در این سنگ‌ها به خوبی قابل مشاهده است. در مقاطع نازک گارنت‌ها به صورت حلزونی و شکل‌دار دیده می‌شوند (شکل ۲ ث). ادخال‌های درون گارنت معمولاً کوارتزند. استارولیت در نور طبیعی به رنگ زرد و تقریباً شکل‌دار دیده می‌شود و بیش از ۴۰ درصد سنگ از این کانی تشکیل شده است. مسکویت نیز در این سنگ به صورت نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار دیده می‌شود. در بعضی از نمونه‌ها گارنت شبه ریخت که با استارولیت جایگزین شده است مشاهده شد. نمونه شماره ۴۷b دارای پاراژن اصلی زیر است.



کلریتوئید-استارولیت-گارنت شیستها: این سنگ‌ها نیز مانند شیستهای بالا پیرامون روستای پشتوك رخنمون دارند. در نمونه‌ی دستی شیستوزیته به خوبی دیده می‌شود و پورفیروblastهای گارنت به اندازه ۱ تا ۱/۵ سانتی‌متر در سنگ دیده می‌شوند. در مقاطع نازک (نمونه‌ی شماره ۴۹g) بلورهای منشوری ریز دانه با رنگ آبی (نور طبیعی) و با سمت‌گیری موازی با شیستوزیته غالب سنگ دیده می‌شوند که کلریتوئیدند (شکل ۲ ج). گارنت با بافت حلزونی در این شیستها شکل گرفته است که معمولاً بلورهای استارولیت در مجاورت آن و موازی شیستوزیته هستند. پاراژن اصلی این سنگ‌ها عبارتند از



منطقه به دست آورد. گارنت در شیستهای بلندپرچین تا ۱ میلیمتر قطر دارد و معمولاً بدون ادخال (انکلوزیون) است. استارولیت شیستهای همزمان با ظهور استارولیت، سنگ‌های رسی دگرگون شده به بیشتر دارای برگوارگی و درشت دانه‌اند و این شیستهای رسی و نیمه‌رسی محتوى گرافیت و سولفید هستند. مجموعه کانیایی اصلی وابسته به این شیستهای گرافیتی عبارتند از:

$\text{Bt} + \text{Grt} + \text{St} + \text{Qtz} + \text{Pl} + \text{Ms} + \text{Ore} + \text{Grap}$

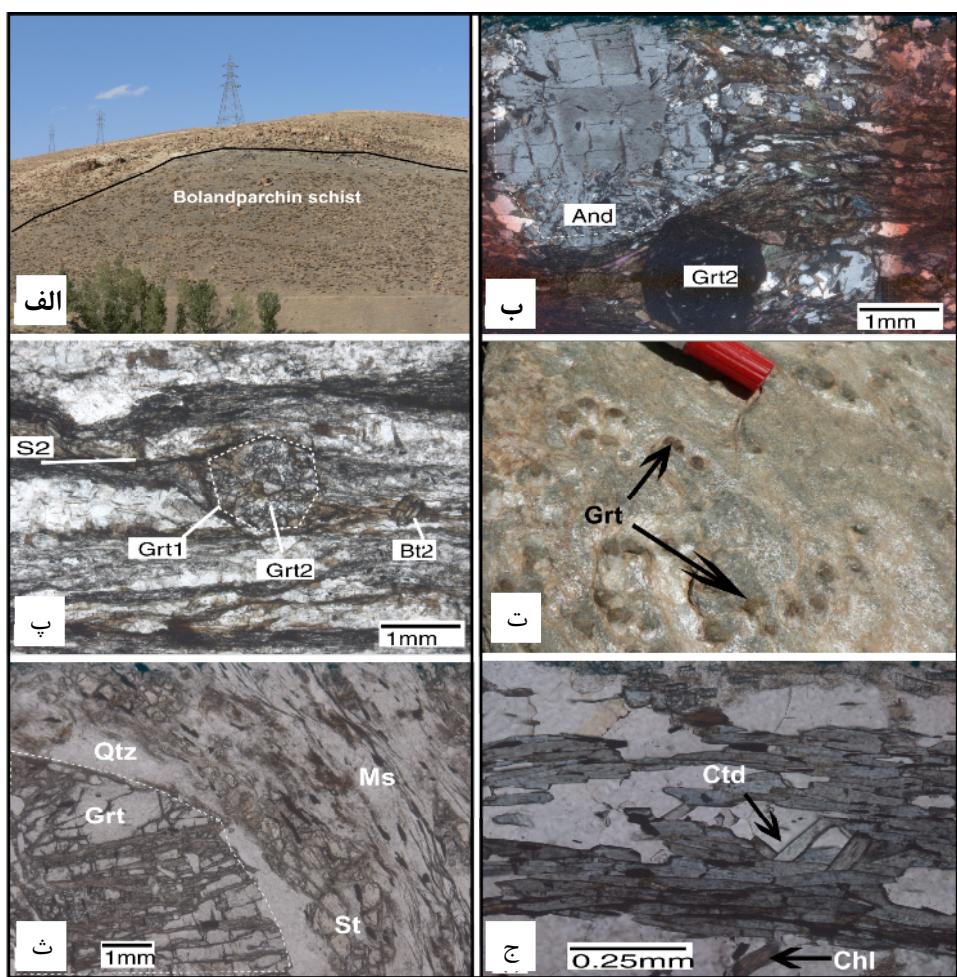
آنالوژیت و کیانیت شیستها: کانی آندالوژیت به صورت دو نسل متفاوت دیده می‌شوند. یکی پیش از زمین‌ساختی (نسبت به فاز D₂) که شیستوزیته S₂ کاملاً آن را دور می‌زند (شکل ۲ ب). این نسل معمولاً دارای منطقه‌بندی است و بخش مرکزی آندالوژیت در نور طبیعی دارای رنگ صورتی است. نسل دوم آن که پسا زمین‌ساختی (نسبت به فاز D₂) است و روی لایه‌های غنی از فیلوسیلیکات رشد کرده و لایه‌های غنی از کوارتز به صورت ادخال در درون آن قرار دارند. نسل دوم آندالوژیت احتمالاً بر اثر دگرگونی همبrij و همزمان با دیگر کانی‌ها به وجود آمده است. آندالوژیت‌های نسل دوم دارای منطقه‌بندی نیستند. کیانیت به صورت همزمان با فاز دگرشکلی D₂ متبلور شده است. مجموعه کانیایی عبارتند از

$\text{And} + \text{Ky} + \text{Grt} + \text{Bt} + \text{Ms} + \text{Pl} + \text{Qtz} + \text{Ore}$ and
 $\text{And} + \text{St} + \text{Grt} + \text{Bt} + \text{Ms} + \text{Pl} + \text{Qtz}$

با توجه به روابط بافتی مشخص است که نسل اول آندالوژیت طی دگرگونی ناحیه‌ای و نسل دوم آن در طی دگرگونی مجاورتی تشکیل شده است.

سیلیمانیت شیستها: این کانی فقط در شیستهای گرافیتی مشاهده شده است. سیلیمانیت به دو صورت متفاوت در این شیستها دیده می‌شود. بلورهای ریز سیلیمانیت به صورت منشوری در سنگ متبلور شده‌اند، همچنین در بیشتر نمونه‌ها به صورت سوزن‌های فیبرولیت با اگرگات دسته جارویی متبلور شده‌اند و معمولاً در مجاورت میکاها قرار دارند که احتمال می‌رود این فیبرولیتها بر اثر دگرنهادی میکاها ایجاد شده باشند.

مجموعه‌ی کانیایی شیستهای سیلیمانیت دار عبارتند از $\text{Sil}(\text{Fib}) + \text{Grt} + \text{Bt} + \text{Ms} + \text{Pl} + \text{Qtz} + \text{Ore}$ شیستهای بدون گرافیت پشتوك که در مجاورت آمفیبولیتها و گرانیت‌ها در غرب و جنوب روستای پشتوك رخنمون دارند. این شیستها از نظر رنگ و بافت و کانی‌شناسی با شیستهای گرافیتی بلند پرچین اختلاف دارند به طوری که گرافیت در این شیستها وجود ندارد و کانی کلریتوئید به فراوانی در این

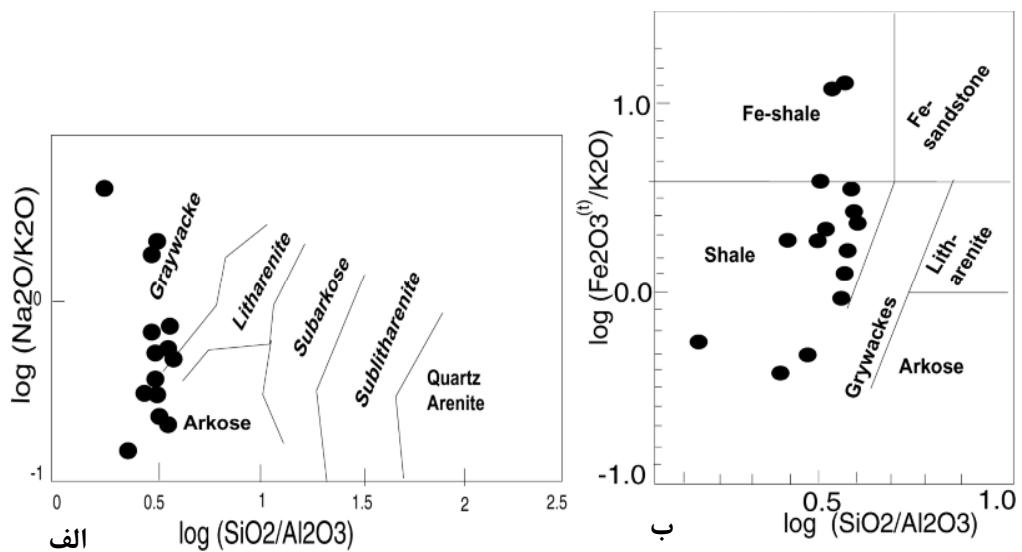


شکل ۲ (الف) رخنمون سنگ‌های رسی دگرگون شده گرافیتی بلندپرچین. (ب) مقطع میکروسکوپی از شیسته‌های بلندپرچین که پروفیروblast-های درشت آندالوزیت در سمت چپ مقطع دیده می‌شوند، و بلور درشت گارنت و بیوتیت نیز در آن دیده می‌شود نور xpl. (پ) در این مقطع رنگ تیره‌ی گرافیت در شیسته‌های بلند پرچین دیده می‌شود و کانی‌های گارنت و بیوتیت نیز به خوبی قابل رویتند نور ppl. (ت) شکل از نمونه‌ی دستی شیسته‌های پشتوك که به رنگ خاکستری روشن تا زرد دیده می‌شوند و پورفیروblast‌های گارنت تا اندازه‌ی ۱ سانتیمتر دیده می‌شود. (ث) مقطع میکروسکوپی از شیسته‌های پشتوك که دارای پورفیروblast‌های گارنت، کوارتز، استارولیت و مسکویت است نور ppl. (ج) کلریتوئید و کلریت در شیسته‌های پشتوك نور ppl.

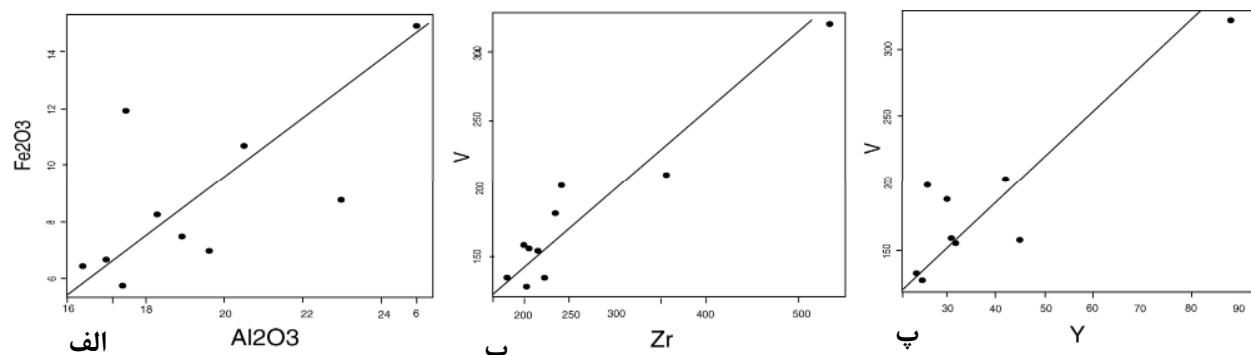
کاربرد بیشتری بین دانشمندان دارد [۱۷، ۱۸]. با استفاده از عناصر مقاوم در برابر دگرسانی و هوازدگی از قبیل Zr, Hf, REE, Sc, Nb, Th, Ti, Al, Fe بودن و یا هم خاستگاه نبودن رسوبها پی‌برد. برای رسیدن به این هدف عناصر مقاوم و پایدار را در نمودارهای دوتایی- Fe_2O_3 - Al_2O_3 , V-Zr, V-Y مانند (شکل ۴ الف، ب و پ) را در مقابل هم قرار داده‌ایم، به طوری که ملاحظه می‌شود همخوانی نسبتاً خوبی بین این عناصر با یکدیگر دیده می‌شود که دلالت بر خاستگاه همسان این رسوب‌ها دارد، به عبارت دیگر سنگ مادر این رسوب‌ها احتمالاً خاستگاه همسانی دارند.

ترکیب سنگ رسوبی اولیه

به منظور مشخص کردن سنگ رسوبی قدیمی که اکنون دگرگون شده است، استفاده از عناصر اصلی موجود در سنگ دگرگون موثر است، به طوری که از نمودارهای [۱۵] که مرز انواع سنگ‌ها در آن‌ها توسط [۱۶] تغییر یافته است، در این کار مورد استفاده قرار گرفته است. در این نمودارهای متمایز‌کننده که بر مبنای تغییرات لگاریتمی $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ و $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ نسبت به $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ طراحی شده‌اند، انواع گریوک و شیل برای سنگ رسوبی که اکنون دگرگون شده، مشخص شده است (شکل ۳ الف و ب). نمودار $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ نسبت به سیلیس



شکل ۳ (الف) رده‌بندی پتی‌جان و همکاران [۱۵] مرزاها توسط هرون [۱۶] اصلاح شده است. طبق این نمودار اکثر متابولیت‌های ماهنشان در گستره‌ی گریوک هستند. (ب) رده‌بندی هرون [۱۶] که بر اساس آن متابولیت‌ها در قلمرو شیل واقع شده‌اند.



شکل ۴ عناصر مقاوم و پایدار را در نمودارهای دوتایی $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$, V-Zr , V-Y در مقابل هم قرار داده‌ایم، به‌طوری‌که ملاحظه می‌شود برازش نسبتاً خوبی بین این عناصر با یکدیگر دیده می‌شود.

دگرگونی استفاده شده‌اند. بافرض انتشار سریع کاتیونی و حصول تعادل بین حاشیه کانی-زمینه، از آنالیزهای صورت گرفته از بخش‌های حاشیه‌ای گارنت برای دما-فشارسنجی استفاده شد. دمای تقریبی محاسبه شده برای اوج دگرگونی شیستهای گرافیتی ۶۰۰ تا ۶۲۰ درجه سانتیگراد.

به‌منظور محاسبه دما در شیستهای کلریتوئید دار منطقه پشتوك از روش‌های زیر استفاده شده است، دما‌سنج تبادل کاتیونی Mg-Fe بین گارنت و کلریت، با سنجه‌ی تبادل کاتیونی Mg-Fe بین گارنت و کلریت، با سنجه‌ی دما‌سنج تبادل کاتیونی Mg-Fe بین کلریتوئید و کلریت (این دما‌سنج به فشار وابستگی ندارد و برای دگرگونی‌های رخساره‌ی شیست سبز به کار می‌رود) با سنجه‌ی [۲۴] برای براورد شرایط تشکیل شیستهای کلریتوئیدار

محاسبه‌ی فعالیت سیالات در منطقه‌ی بلند پرچین و پشتوك با استفاده از دما و فشارهای به دست آمده از روش‌هایی که فعالیت آب در آن‌ها تاثیر ندارد (مانند گارنت‌بیوتیت و GASP) و با استفاده از واکنش آب‌زدایی زبر که با فعالیت‌های متغیر آب با برنامه‌ی THRMOCALC به‌دست آمده است می‌توان فعالیت دقیق آب در سنگ‌های رسی دگرگون شده را حساب کرد.

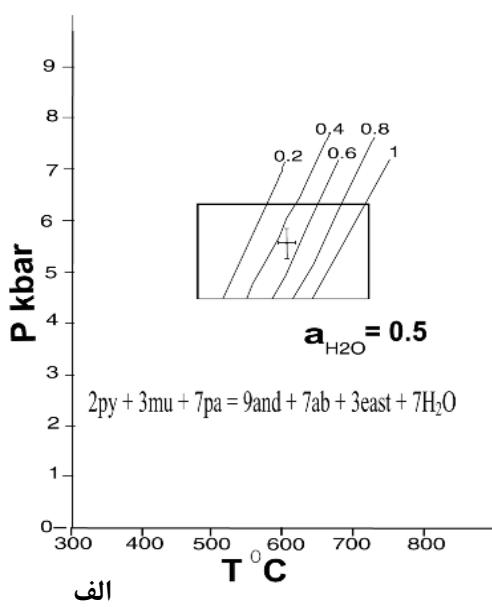
دما‌سنج تبادل کاتیونی Fe-Mg بین گارنت و بیوتیت با استفاده از سنجه‌ی [۱۹] برای شیستهای گرافیتی منطقه‌ی بلند پرچین به کار گرفته شده است. مدل‌های انحلال [۲۱، ۲۰] برای گارنت بکار گرفته شده‌اند. گارنت با بالاترین محتوای Mg و بیوتیت با بالاترین محتوای Ti ، برای پیدا کردن شرایط اوج

های متفاوت آب $sdT = 25^{\circ}\text{C}$ و $sdP = 0.5 \text{ kbar}$ بوده است. این نمودار در مورد نمونه ۴۹ به عنوان نماینده آورده شده است (شکل ۵ ب).

پس از تعیین فعالیت تقریبی آب دخیل در واکنش‌های آب زدایی در شیسته‌های بلند پرچین و پشتوك این مقدار همراه با فعالیت انتخابی کانی‌های دیگر در محاسبات برنامه‌ی ترمومکالک نسخه ۲/۲ [۲۶] به کار گرفته شد و نتایج آن در شکل ۶ آورده شده‌اند.

براساس این محاسبات دمای دگرگونی در شیسته‌های بلندپرچین و پشتوك به ترتیب 620 و 560 درجه سانتی‌گراد و فشار معادل 6 و 3 کیلو بار برآورد شد که با روش‌های دیگر همخوانی کامل دارد.

شیب گرمایی و نوع دگرگونی در منطقه‌ی مورد بررسی
شیب زمین‌گرمایی در مناطق بلندپرچین و پشتوك به ترتیب در حدود 50 تا 55 درجه سانتی‌گراد بر کیلومتر است که بیانگر دگرگونی دمای بالاست و بر اساس شکل ۷ مناطق مورد بررسی در گستره‌ی دگرگونی مجاورتی و یا قوس مأگمایی قرار می‌گیرند.



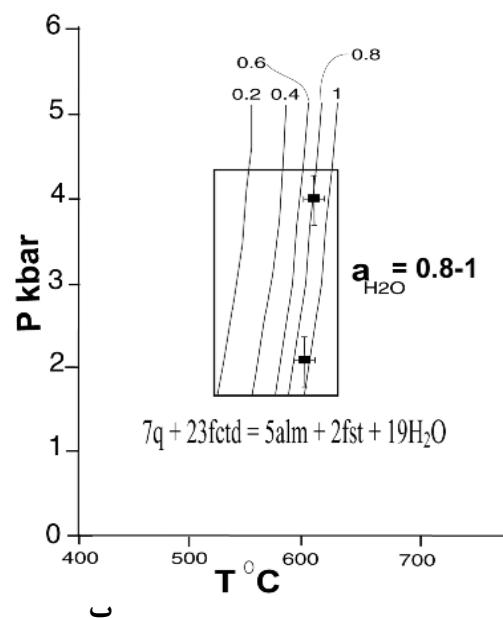
پشتوك استفاده شد. دمای تقریبی به دست آمده با سنجه‌ی [۲۵] برای شیسته‌های پشتوك عبارت است از 600 تا 635 درجه سانتی‌گراد و با استفاده از سنجه‌ی [۲۴] 533 تا 607 درجه سانتی‌گراد است.

پس از محاسبه‌ی دما با استفاده از واکنش‌های مستقل از فعالیت آبگون‌ها، از واکنش زیر برای تعیین فعالیت آب در شیسته‌های گرافیتی بلند پرچین استفاده شد، مقدار این فعالیت در حدود 5 . برای شیسته‌های گرافیتی بلند پرچین به دست آمده است (شکل ۵ الف).

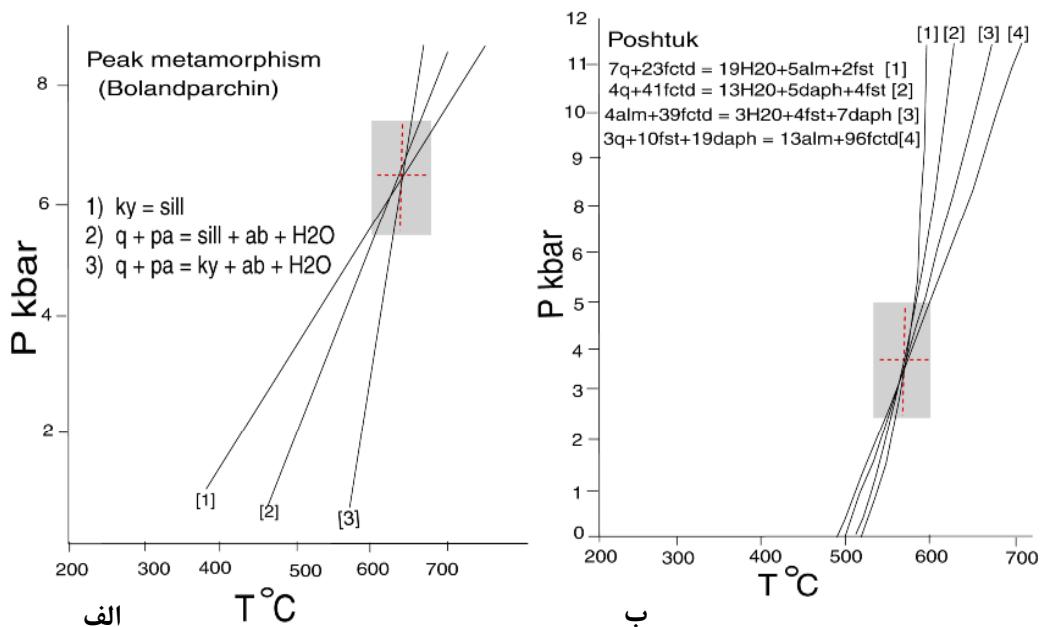
$2py + 3mu + 7pa = 9and + 7ab + 3east + 7H_2O$
انحراف معیار این واکنش در تمام واکنش‌های با فعالیت های متفاوت آب $sdT = 33^{\circ}\text{C}$ و $sdP = 0.8 \text{ kbar}$ بوده است. این نمودار در مورد نمونه ۱ به عنوان نماینده به کار گرفته شده است (شکل ۵ الف).

مقدار این فعالیت برای شیسته‌های کلریتوئیدار پشتوك حدود 1 تا 8 است (شکل ۵ ب). از واکنش زیر برای تعیین فعالیت آب استفاده شده است:

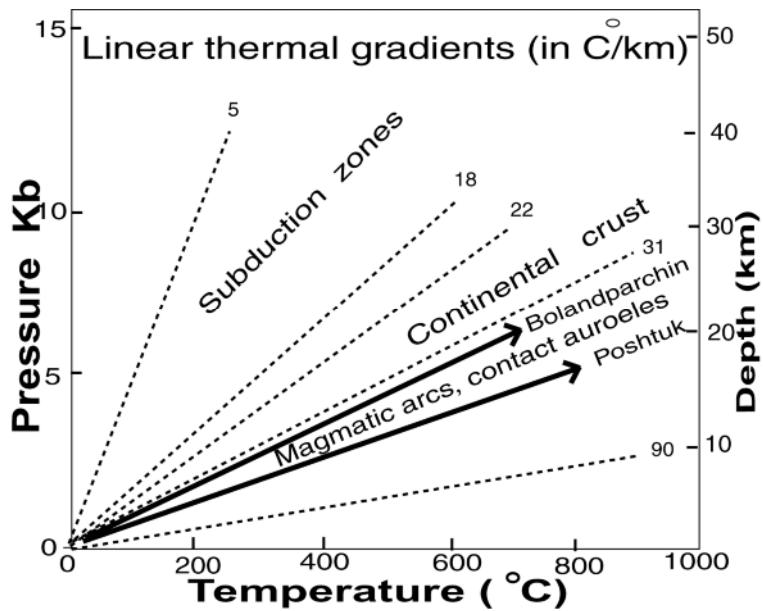
$7q + 23fctd = 5alm + 2fst + 19H_2O$
انحراف معیار برای این واکنش در تمام واکنش‌های با فعالیت-



شکل ۵ (الف) محاسبه‌ی فعالیت آب در سنگ‌های رسی دگرگون شده غیرگرافیتی پشتوك. علائم اختصاری کانی‌ها عبارتند از کوارتز= q ، پاراگونیت= mu ، مسکویت= pa ، آلبیت= ab ، استونیت= $east$ ، کلریتوئید = ctd ، آلماندین= alm ، استارولیت آهن دار= fst .



شکل ۶ (الف) نتایج زمین دما- فشارسنجی با استفاده از ترمومالک برای اوج دگرگونی در شیسته‌های بلندپرچین. (ب) نتایج زمین دما- فشارسنجی با استفاده از ترمومالک برای اوج دگرگونی در شیسته‌های پشتوك. علائم اختصاری کانی‌ها عبارتند از کوارتز = q، مسکویت = mu، سیلیمانیت = sill، آلبیت = ab، استونیت = fst، آلماندین = ctd، کلریتوئید = east، استارولیت آهن دار = ky، سیلیمانیت = pa.



شکل ۷ رابطه‌ی خطی بین دما-عمق که بیانگر گرادیان زمین گرمایی است. مناطق بلندپرچین و پشتوك با پیکان نشان داده شده‌اند.

به وجود می‌آید [۴،۲]. اگر چنین است چه عاملی سبب شده

است که در سنگ‌های رسی دگرگون شده بلندپرچین که Al بالایی دارند حضور استارولیت در سنگ نشان می‌دهد که

بحث و بررسی

بسیاری از زمین‌شناسان و کانی‌شناسان معتقدند که کلریتوئید در سنگ‌های رسی دگرگون شده‌ای که داری Al بالایی باشند

بررسی سنگ‌های بلندپرچین دارای گرافیت‌اند، در حالی که سنگ‌های منطقه‌ی پشتوك بدون گرافیت هستند و چنانکه محاسبات نشان داد فعالیت H_2O در منطقه‌ی بلند پرچین به دلیل وجود گرافیت کمتر از منطقه‌ی پشتوك است به عبارت دیگر در منطقه‌ی بلند پرچین فعالیت CO_2 نیز به همان اندازه‌ی فعالیت H_2O موثر است، بنابراین اگر فعالیت سیالات را برآبربا ۱ در نظر بگیریم، در منطقه‌ی بلندپرچین فعالیت CO_2 برابر با ۰ خواهد بود در حالی که در منطقه‌ی پشتوك فعالیت H_2O برابر با ۰,۵ است. بنابراین فعالیت بالای آب در منطقه‌ی پشتوك، از عوامل دیگر دگرگونی (مانند پرتوولیت، دما و فشار) نقش موثرتری در پیدایش کانی‌ها از جمله کلریتوئید، ایفا کرده است

برداشت

سنگ‌های رسی دگرگون شده منطقه‌ی بلندپرچین و پشتوك بخشی از همبافت دگرگونی ماهنشان در شمال‌غرب ایران‌اند. شیسته‌های گرافیتی منطقه‌ی بلند پرچین دارای کانی‌های دگرگونی گارتنت، استارولیت، آندالوزیت/سیلیمانیت، بیوتیت، مسکوکیت، کلریت و کوارتزند در حالی که شیسته‌های بدون گرافیت پشتوك دارای کانی‌های گارتنت، استارولیت، کلریتوئید، مسکوکیت، کلریت و کوارتز هستند. با بررسی عوامل دگرگونی مختلف مانند دما، فشار، ترکیب سنگ مادر و فعالیت سیالات در سنگ‌های دگرگون دو منطقه (بلندپرچین و پشتوك) مشخص شد که علت شکل‌گیری مجموعه کانی‌ای متغیر است در دو منطقه مشابه وجود کلریتوئید و عدم وجود بیوتیت در شیسته‌های پشتوك به فعالیت بالای H_2O وابسته است و دیگر عوامل دگرگونی نقش کمتری در پیدایش این کانی‌ها دارند، به عبارتی در منطقه‌ی پشتوك به دلیل عدم وجود گرافیت و بالا بودن فعالیت H_2O (۰,۸ تا ۱) کلریتوئید ظاهر شده است در صورتی که در منطقه‌ی بلندپرچین به علت حضور گسترده‌ی گرافیت و به دنبال آن پایین بودن فعالیت H_2O (۰,۵) کانی‌های آلومینوسیلیکات مانند آندالوزیت، کیانیت و سیلیمانیت رشد کرده‌اند.

ترکیب آن برای پیدایش کلریتوئید مناسب است، [۲] کلریتوئید شکل نگیرد در حالیکه در سنگ‌های پشتوك که تقریباً همان ترکیب شیمیایی را دارند این کانی به وجود آمده است؟

ترکیب شیمیایی سنگ کل شیسته‌های منطقه‌ی بلند پرچین و پشتوك تقریباً مشابه‌اند (جدول ۱) به طوری که می‌توان نتیجه گرفت که در هر دو منطقه عناصر اصلی از جمله Al_2O_3 و $FeOt$ که از عناصر اصلی برای پیدایش کانی کلریتوئیدند با هم تفاوت چندانی ندارند. علاوه بر این، بهطور کلی عدم وجود بیوتیت در سنگ‌های رسی دگرگون شده عموماً نشانه‌ی آهن کم و آلومینیم زیاد در پرتوولیت سنگ‌ها و یا فشار زیاد است [۲۷]، در منطقه‌ی مورد بررسی بیوتیت در شیسته‌های پشتوك وجود ندارد، در حالی که در شیسته‌های بلند پرچین حضور دارد. با نگاهی به ترکیب شیمیایی شیسته‌های دو منطقه می‌بینیم که برخلاف برداشت بیان شده، مقدار آهن در شیسته‌های پشتوك که بیوتیت ندارند بالاتر از شیسته‌های بلندپرچین است که این نیز نقش ترکیب شیمیایی پرتوولیت را برای پیدایش کانی‌هایی مانند کلریتوئید و یا بیوتیت کمرنگ‌تر از دیگر عوامل دگرگونی می‌داند. بنابراین نقش ترکیب شیمیایی سنگ خاستگاه در دو منطقه یکسان است.

دما و فشار محاسبه شده در دو منطقه‌ی بلند پرچین و پشتوك نشان می‌دهد که شب زمین گرمایی در دو منطقه تقریباً نزدیک به هم است، بهطوری که بر اساس شکل ۷ شب هر دو منطقه با قوس‌های ماقمایی و دگرگونی‌های مجاورتی وابسته است. کلریتوئید و کلریت در درجات پایین دگرگونی پایدارند به طوری که این دو کانی با توجه به پرتوولیت مناسب آلومینین دار در منطقه‌ی پشتوك در پایین‌ترین رخساره‌ی دگرگونی (معادل زون کلریت و بیوتیت سری بارووین در منطقه بلندپرچین) شکل گرفته‌اند.

از دیگر عوامل دگرگونی موثر که بر شکل‌گیری کانی‌های دگرگون تاثیر بسزایی دارد، فعالیت سیالات می‌باشد [۳,۲]. وجود و یا عدم وجود گرافیت از عوامل مهمی است که بر فعالیت سیالات تاثیر می‌گذارد به طوری که در منطقه‌ی مورد

مراجع

- histories of chloritoid-free and chloritoid-bearing metapelites from the Mahneshan area, NW Iran”, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 16 (2008a) 622-640.*
- [14] Saki A., Moazzen M., Modjtahedi M., Oberhansli R., “*Determination of P-T conditions of metamorphism of Mahneshan Complex, NW Iran*”, Iranian Journal of Geosciences, 68 (2008b) 80-94.
- [15] Pettijohn F.S., Potter P.E., Siever R., “*Sand and Sandstones*”, Springer (1972), Verlag, New York.
- [16] Herron M.M., “*Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data*”, Journal Sedimentary Petrology, 58 (1988) 820-829.
- [17] Moyen J.F., Watt G.R., “*Pre-Nagssugtoqidian crustal evolution in West Greenland: geology, geochemistry and deformation of supracrustal and granitic rocks north-east of Kangaatsiaq*”, Geol Surv Denmark Greenland Bull, 11(2006) 33-52.
- [18] Osae S., Asiedu D.K., Banoeng-Yakubo B., Koeberl C., Dampare S.B., “*Provenance and tectonic setting of Late Proterozoic Buem sandstone of southeastern Ghana: Evidence from geochemistry and detrital modes*”, J Afri Earth Sci, 44: (2006) 85-96.
- [19] Bhattacharya A., Mohanty L., Maji A., Sen SK., Raith M., “*Non-ideal mixing in the phlogopite-annite binary: constraints from experimental data on Mg-Fe partitioning and a reformulation of the biotite-garnet thermometer*”, Contributions to Mineralogy and Petrology 111 (1992) 87-93.
- [20] Helffrich G., Wood B., “*Subregular model for multicomponent solutions*”, American Mineralogist 74 (1989) 1016-1022.
- [21] Ganguly J., Saxena S., “*Mixing properties of aluminosilicate garnets: constraints from natural and experimental data and applications to geothermobarometry*”, American Mineralogist 69: 1984, 88-97.
- [22] Dickenson M.P. III, Hewitt D.A., “*A garnet-chlorite geothermometer (abstract)*”, Geological
- [1] Will T.M., “*Phase Equilibria in Metamorphic Rocks*”, Thermodynamic Backgrounds and Petrological Applications (1995) 350p.
- [2] Bucher K., Frey M., “*Petrogenesis of metamorphic Rocks*”, sixth ed., Complete Revision of Winklers Textbooks (1994).
- [3] Miyashiro A., “*Metamorphic Petrology*”, UCL Press, London (1994).
- [4] Ganguly J., “*Chloritoid stability and related parageneses: theory experiments and applications*”, American Journal of Science 267 (1996) 910-944.
- [5] Deer H.Z., “*An introduction to the rock forming minerals*”, Longman Scientific & Technical, (1991) 528pp.
- [6] Berberian M., King G.C.P., “*Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran*”, Canadian Journal of Earth Sciences 18 (1981) 210-265.
- [7] Alavi M., “*Tectonic map of the Middle East*”, Geology Survey of Iran, Scale 1/5000000 (1991).
- [8] Nabavi M.H., “*An Introduction to the Geology of Iran*”, Geological Survey of Iran (1976) 109 pp, (in Persian).
- [9] Eftekhar Nejad J., “*Tectonic classification of Iran in relation to depositional basins*”, Journal of Iranian Petroleum Society, 82 (1980) 19-28 (in Persian).
- [10] Babakhani A.R., Ghamghash J., “*Geological map of Iran, scale 1:100,000 series sheet Takht-e-Soleiman*”, Geological Survey of Iran, Tehran (1990).
- [11] Stocklin J., Setudinia A., “*Lexique Stratigraphique International Volume III ASIE. Centre National de la Recherche Scientifique*”, 15, quai Anatole-France (1972) 75p (Paris-VII).
- [12] Stockli D.F., Hassanzadeh J., Stockli L.D., Axen G., Walker J.D., Dewane T.J., “*Structural and geochronological evidence for Oligo-Miocene intra-arc low-angle detachment faulting in the Takab-Zanjan area, NW Iran*”, Abstract, Programs Geological Society of America, 36 (2004) 319.
- [13] Saki A., Moazzen M., Modjtahedi M., Oberhansli R., “*Phase relations and reaction*

- [25] Grambling J.A., “*Internally-consistent geothermometry and H₂O barometry in metamorphic rocks: the example garnet-chlorite-quartz*”, Contribution to Mineralogy and Petrology, 105 (1990) 617-628.
- [26] Holland T.J.B., Powell R., “*An internally consistent thermobarometric data set for phases of petrological interest*”, Journal of Metamorphic Geology, 16 (1990) 309-343.
- [27] Yardley B.W.D., “*An interdiction to metamorphic petrology*”, Longman Scientific & Technical (1989) 248 pp.
- Society of America, Abstracts with Programs (1986) 18, 584.
- [23] Moazzen M., “*Chlorite-chloritoid-garnet equilibria and geothermometry in the Sanandaj-Sirjan Metamorphic Belt, Southern Iran*”, International journal of science, Iranian, Shiraz University (2004).
- [24] Vidal O., Goffe B., Bousquet R., Parra T., “*Calibration and testing of an empirical chloritoid-chlorite Mg-Fe exchange thermometer and thermodynamic data for daphnite*”, Journal of metamorphic geology, 17 (1999) 25-39.