

سنگ شناسی، زمین شیمی و خاستگاه توده‌ی گرانیت‌وئیدی حصاروئیه، غرب زاهدان، جنوب شرق ایران

مینا ستوان، حبیب بیابانگرد*

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

(دریافت مقاله: ۹۹/۴/۲۴، نسخه نهایی: ۹۹/۶/۱۶)

چکیده: توده گرانیت‌وئیدی حصاروئیه، واقع در فاصله ۸۵ کیلومتری غرب شهر زاهدان، در پهنه زمین درز سیستان بروند دارد. این توده به صورت استوک‌های کم وسعت در آمیزه افیولیتی (کرتاسه) و مجموعه‌های فلیشی (ائوسن) رخنمون دارد. ترکیب سنگ‌شناسی آن گرانیت، گرانودیوریت و دیوریت است. گرانیت و گرانودیوریتها بیشتر از کانی‌های کوارتز، پلازیوکلаз، ارتوکلاز، بیوتیت و هورنبلنده و دیوریتها بیشتر از پلازیوکلاز و هورنبلنده تشکیل شده‌اند. این سنگ‌ها بیشتر دارای بافت دانه‌ای هستند. این توده در بردارنده برونبوم‌های مافیک بوده و با دایک‌های دیوریتی قطع شده است. این برونبوم‌ها و دایک‌ها دارای کانی‌شناسی مشابه با توده اصلی هستند، اما اغلب بافت‌های دانه‌ای و دانه‌ای پورفیری دارند. بررسی‌های زمین شیمیایی نشان می‌دهد که گرانیت‌وئید حصاروئیه دارای ماهیت آهکی قلیایی، متالومین، با خاستگاه I بوده و در عناصر خاکی نادر سبک (LREE) نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) و از عناصر سنگ دوست بزرگ یون (LILE) نسبت به عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) غنی شده‌تر هستند. بر پایه نمودارهای زمین‌ساختی ماقمایی، سنگ‌های گرانیت‌وئیدی حصاروئیه وابسته به محیط‌های کرانه فعال قاره‌ای هستند. به نظر می‌رسد که تشکیل گرانیت‌وئید حصاروئیه ناشی از بالا آمدن مذاب‌های باقی مانده از ذوب بخشی پوسته اقیانوسی نفوذتیس طی برخورد قطعه لوت به قطعه سیستان (به ویژه پوسته اقیانوسی فرورفته سیستان و گوه گوشه قاره‌ای (ته نشست‌های فلیشی و ماسه سنگ‌های تیره دگرگون شده) در آلایش ماقمای آن اثر گذار بوده‌اند.

واژه‌های کلیدی: گرانیت‌وئید حصاروئیه، پهنه جوش خورده‌ی سیستان؛ فروراش؛ زاهدان.

مقدمه I
می‌گیرند [۸,۷]. گرانیت نوع S به فراوانی گرانیت‌های نوع I نیستند، ولی در بسیاری از نقاط جهان گزارش شده‌اند [۱۰,۹]. سنگ‌های گرانیتی نوع S اغلب پرآلومین و گرانیت‌های نوع I بیشتر متالومین هستند [۱۱,۴].

سنگ‌های گرانیت‌وئیدی در استان سیستان و بلوچستان بیشتر در پهنه زمین درز سیستان بروند دارند. از مهمترین نوارهای ماقمایی گرانیت‌وئیدی در این استان نوار ماقمایی گراغه – سراوان است [۱۲] که توده‌ی گرانیتی زاهدان بخش اصلی و مرکزی این نوار را تشکیل می‌دهد. پیرامون توده گرانیت‌وئید

سنگ‌های گرانیتی بخش عمده‌ای از سنگ‌های پوسته قاره‌ای را در بر دارند [۱] و اغلب به صورت ژرف سنگ و استوک یافت می‌شوند. این سنگ‌ها اغلب کانی‌شناسی ساده‌ای دارند و بیشتر از کانی‌های پلازیوکلاز، فلدسپار پتاسیم و کوارتز تشکیل شده است [۲]. از دیدگاه جایگاه زمین‌ساختی [۴,۳]، شیمی عناصر اصلی [۵]، ماهیت برونبوم‌ها، وجود کانی‌های فرعی و رده‌بندی زایشی [۶]، گرانیت‌های مورد بررسی قرار گرفته‌اند. گرانیت‌ها براساس محیط زمین‌ساختی در دو گروه I و S قرار

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۵۴۳۰۸۵۲۶، پست الکترونیکی: h.biabangard@science.usb.ac.ir

به مجموعه‌های افیولیتی کرتاسه پسین هستند (شکل ۲ الف). گسترده‌ترین واحد منطقه نهشته‌های فلیشی ائوسن بوده که شامل شیل، ماسه سنگ و سنگ‌های آهکی هستند (شکل ۲ ب). واحد گرانیتوئیدی حصاروئیه شامل دو بخش، کوه کله‌گر و کوه پهراه است که به طور پراکنده و با حجم کم در منطقه وجود دارند (شکل ۲ پ). واحدهای کواترنری بیشتر شامل ماسه‌های بادی و رسوب‌های رودخانه‌ای و آبرفت‌های عهد حاضر هستند. در واحدهای مختلف گرانیت حصاروئیه می‌توان برونبوم‌های مافیک با خاستگاه آذربین را مشاهده کرد. این برونبوم‌ها اغلب دارای شکل‌های گوناگون و لبه‌های مشخص هستند (شکل ۲ ت).

سنگ نگاری

بر اساس بررسی‌های سنگنگاری ترکیب سنگ‌شناسی گرانیتوئید حصاروئیه شامل گرانیت، گرانودیوریت و دیوریت است. این سنگ‌ها اغلب دارای کانی‌های پلازیوکلاز، کوارتز، ارتوکلаз، بیوتیت و هورنبلند هستند.

گرانیت‌ها در نمونه دستی به رنگ سفید تا کرم رنگ هستند و بافت غالب دانه‌ای دارند. آن‌ها دارای کانی‌های پلازیوکلاز (۳۰ تا ۳۵ درصد حجمی) با منطقه‌بندی و به صورت بلورهای بی‌شکل و نیمه شکل دار با ماکل چند ریخت هستند که در بعضی نقاط به سریسیت تجزیه شده‌اند و با اندازهٔ تا ۱ میلیمتر دیده می‌شوند (شکل ۳ الف). کوارتز نیز (۲۵ تا ۳۰ درصد حجمی)، به صورت بلورهای بی‌شکل، بدون برگوارگی، دوشکستی خاکستری تا سفید سری اول و با اندازهٔ ۰/۵ تا ۱ میلیمتر حضور دارد (شکل ۳ الف). در گرانیت‌ها، فلدسپات پتاسیم (۳۵ تا ۴۰ درصد حجمی)، بی‌شکل تا نیمه شکل دار، با سطح کدر و از نوع ارتوز با اندازهٔ تا ۱ میلیمتر نیز دیده می‌شود (شکل ۳ الف). بیوتیت نیز (۵ تا ۱۰ درصد حجمی) به صورت بلورهای بی‌شکل و در نور قطبیده طبیعی به رنگ قهوه‌ای و خاموشی مستقیم همراه با یک دسته رخ نیمه کامل در این سنگ‌ها دیده می‌شوند (شکل ۳ ب). اسفن به صورت بلورهای شکل دار و کاملاً لوزی شکل (گوهای)، با رنگ قهوه‌ای روشن، بر جستگی بالا و خاموشی متقارن در ابعاد ریز و با اندازه‌هایی حدود ۰/۵ میلیمتر نیز وجود دارند (شکل ۳ ب).

Zahedan, پژوهش‌های گستره‌های بیشتر در مورد سنگ‌شناسی، دایک‌های موجود در توده، ترکیب شیمیایی کانی‌ها، دما و فشارسنگی، تعیین سن، دگرگشکلی و بررسی‌های مغناطیسی انجام شده است [۲۴-۲۵].

توده‌ی گرانیتوئیدی حصاروئیه (کوه‌های کله‌گر و پهراه) در بخش غربی نوار ماقمایی گراغه - سراوان واقع است. پیرامون گرانیت‌های منطقه حصاروئیه تاکنون بررسی دقیق زمین‌شناسی انجام نشده است؛ تنها در نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ زاهدان [۲۵] به آن‌ها اشاره شده است. این پژوهش از نخستین بررسی‌های سنگ‌شناسی بر توده گرانیتی حصاروئیه است که در آن ویژگی‌های سنتگ‌شناسی، زمین‌شیمی و خاستگاه این توده تعیین شد.

روش پژوهش

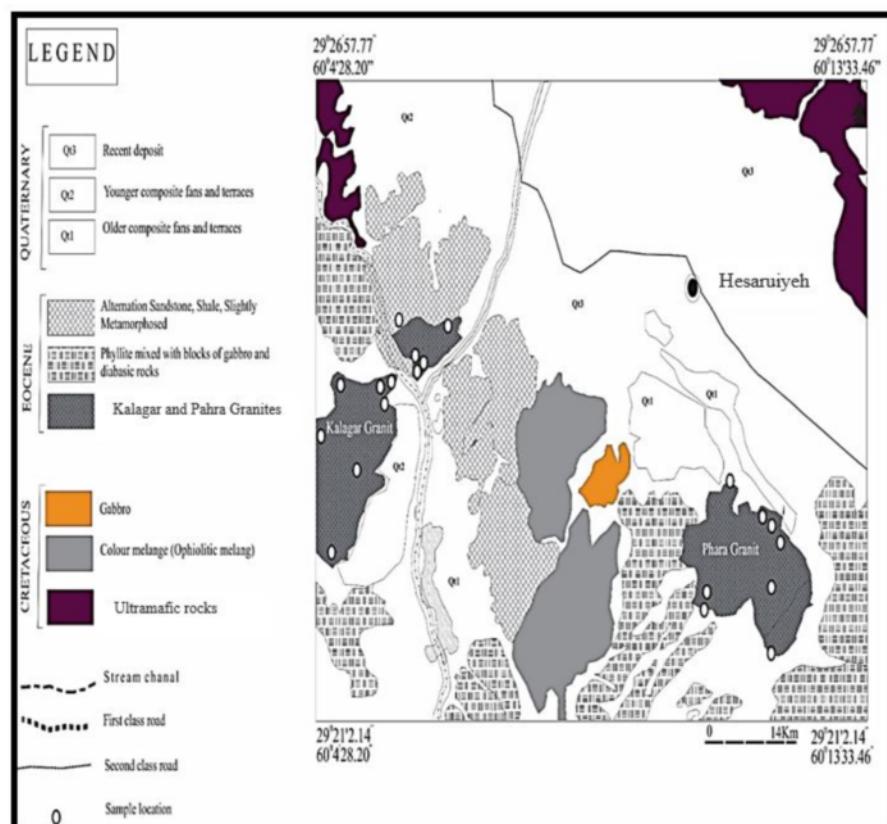
در این پژوهش، با چند دوره بررسی صحرایی، از توده‌ها و سنگ‌های میزبان، تعداد ۶۰ مقطع نازک تهیه شد و با میکروسکوپ قطبشی المپوس مدل BX51P در دانشگاه سیستان و بلوچستان بررسی گردیدند سپس، تعداد ۱۴ نمونه‌ی سالم و بدون دگرگشانی برای تعیین عناصر اصلی (بر حسب درصد وزنی) با روش طیفسنجی فلئورسانس پرتوی X (XRF) و در آزمایشگاه مرکزی اصفهان و برای تعیین عناصر فرعی و خاکی نادر (بر حسب ppm) با طیفسنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) در آزمایشگاه شرکت تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایمیدرو تجزیه شدند. در رسم نمودارها از نرم افزارهای GCDkit CorelDraw و ArcGIS 10.7.1 نقشه زمین‌شناسی منطقه نیز با نرم افزار GIS تهیه شد (جدول ۱).

زمین‌شناسی

گرانیتوئید حصاروئیه در پهنه جوش خورده‌ی سیستان [۱۳] واقع است. در این پهنه، مجموعه‌های از سنگ‌های افیولیتی کرتاسه، مجموعه‌های فلیشی (ائوسن)، سنگ‌های گرانیتوئیدی (ائوسن - الیگوسن) و رسوب‌های کواترنری دیده می‌شوند. بر اساس بررسی‌های صحرایی، تصاویر ماهواره‌ای و نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ زاهدان [۲۵]، نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ در محیط نرم‌افزار GIS تهیه شد (شکل ۱). قدیمی‌ترین سنگ‌ها در منطقه حصاروئیه مربوط

جدول ۱ داده‌های تجزیه شیمیایی، عناصر اصلی (به روش XRF و بر حسب درصد وزنی) و عناصر فرعی و کمیاب (به روش ICP-MS و بر حسب ppm) در نمونه‌های سنگی توده گرانیتی حصارویه

نمونه	سینوگانیت	گرانیت‌پورفیز	گرانیت	گرانیت‌پورفیز	کوارتز	موزوگرانیت	گرانیت	کوارتز	گرانیت‌پورفیز	گرانیت	کوارتز	گرانیت	کوارتز	گرانیت
	M3-N4	HG11	HA4	D2	HML3	H4	HG5	HG6	HG9	H5	HK2	DMD1	DMD2	D4
SiO₂	59,62	60,26	69,59	60,43	49,91	70,38	62,43	62,60	57,41	70,59	70,79	49,41	50,83	68,21
TiO₂	0,46	1,00	0,16	0,94	1,43	0,05	1,11	1,11	1,33	0,06	0,07	1,21	1,28	0,08
Al₂O₃	13,67	14,64	13,01	14,37	13,88	15,52	14,64	14,67	13,56	15,10	15,33	16,00	15,18	15,68
Fe₂O₃	2,81	5,97	0,41	5,72	12,55	1,00	4,96	4,98	7,73	1,04	1,06	13,46	10,01	1,49
MnO	0,05	0,10	0	0,08	0,20	0,06	0,06	0,06	0,10	0,05	0,06	0,21	0,17	0,06
MgO	4,12	3,20	0,08	3,06	4,41	0,14	1,75	1,76	4,36	0,17	0,18	1,51	5,46	0,16
CaO	5,90	5,66	3,56	5,68	11,81	2,31	4,50	4,51	6,25	2,20	2,68	14,27	9,27	2,43
Na₂O	6,90	3,17	2,96	3,44	2,79	4,59	3,42	3,43	2,95	4,48	4,25	1,85	3,72	4,44
K₂O	0,8	5,74	6,78	5,47	2,05	5,68	6,13	6,15	5,06	5,48	5,54	4,3	2,99	6,37
P₂O₅	0,08	0,37	0,02	0,36	0,48	0	0,43	0,43	0,55	0,03	0,05	0,22	0,28	0,04
BaO	0	0,09	0,06	0,09	0,06	0,05	1,10	0,10	0,08	0,04	0,06	0	0,09	0,08
MnO	0,05	0,10	0	0,08	0,20	0,06	0,06	0,06	0,10	0,05	0,06	0,21	0,17	0,06
مواد فرار	0,171	0,58	0,70	1,04	1,29	0,63	0,79	0,92	0,37	0,52	0,77	0,41	0,533	0,35
مجموع	99,63	99,54	99,88	99,12	99,78	99,88	99,13	99,69	99,91	99,89	99,78	99,85	99,83	
Rb	1,73	257,12	268,26	279,49	94,34	255,19	251,28	18,25	266,6	280,86	285,54	10,97	10,452	292,3
Ba	28,64	834,81	346,31	151,91	959,35	127,91	166,51	472,7	90,97	595,52	719,02	285	645,38	602,8
Co	6,05	20,4	2,1	21,04	41,15	2,05	26,82	46,39	16,27	1,21	1,39	54,37	33,53	1,62
Cr	83,69	20,872	47,99	20,24	165	95,72	95,72	20,9	118,29	112,01	100,67	383,8	156,57	11,17
Cs	1	7,09	2,88	4,96	1,84	6,48	6,48	8,96	2,09	4,74	5,11	1	2,64	6,49
Cu	0,14	22,43	9,85	125,32	269	1,44	71,95	9,14	27,43	18,58	8,4	28,11	50,65	7,46
V	12,78	58,01	7,02	71,44	155,4	4,25	92,92	182,5	53,48	2,88	3,37	196,65	97,24	3,87
Ta	0,13	0,21	0,32	0,28	0,1	0,28	0,26	0,13	0,25	0,3	0,29	0,1	0,15	0,33
Th	11,3	19,44	32,19	20,06	5,77	3,96	17,23	4,61	15,69	4,33	5,42	0,99	3,62	6,05
Nb	7,65	12,78	9,85	14,22	8,79	14,4	15,31	8,74	15,27	13,81	14,77	4,06	10,56	14,63
Y	45,89	17,08	1,72	16,76	24,62	5,59	21,94	20,83	15,06	6,03	5,23	13,61	12,83	5,96
Sm	9,21	4,88	2,99	5,87	5,23	1,43	6,26	5,31	4,45	1,22	1,36	4,11	5,05	2,04
Sc	7,08	8,98	1,84	11,09	20,5	1,3	12,44	28,77	6,33	1,84	2,06	37,37	20,55	2,22
Tm	0,7	0,19	0,18	0,23	0,32	0,1	0,3	0,34	0,17	0,08	0,09	0,24	0,16	0,11
U	1,18	2,29	6,6	4,49	1,01	2,67	4,3	1	4,85	2,49	2,83	0,78	1,33	4,62
La	11,77	19,01	15,08	20,96	12,59	9,48	19,93	14,16	15,93	2,41	3,04	5,3	13,91	4,06
Ce	85,86	101,01	47,67	10,921	67,62	21,09	111,03	70,48	88,64	13,02	15,29	37,88	79,08	25,37
Pr	15,97	15,41	10,17	16,44	10,54	3,98	16,05	11,24	12,58	2,22	2,62	6,57	12,53	1,4
Nd	61,79	59,01	40,51	66	44,09	17,04	61,69	45,84	51,19	1,5	10,16	30,27	50,2	16,63
Sn	1	1,21	1	1,99	1	1,36	1,88	1	2,09	1,85	1,34	1	1	1,27
Eu	0,06	1,46	1,26	1,69	2,02	0,49	1,98	2,21	1,34	0,42	0,38	1,66	1,36	0,6
Tb	1,31	0,5	0,3	0,54	0,56	0,22	0,61	0,62	0,54	0,17	0,16	0,5	0,46	0,25
Dy	7,99	2,48	1,82	2,77	3,1	1,11	3,28	3,74	2,33	0,89	0,9	2,62	2,44	1,17
Er	0,96	0,79	0,33	1,14	1,2	0,31	1,04	1,51	0,72	0,37	0,33	2,44	1,19	0,55
Yb	6,98	3,47	1,9	3,66	6,05	1	4,49	5,93	3,02	1,03	1	5,19	3,68	0,74
Zn	19,77	41,6	15,2	43,34	61,23	53,8	50,04	72,66	37,69	86,04	38,14	74,73	65,55	41,51
Lu	0,56	0,12	0,18	0,19	0,26	0,1	0,25	0,28	0,15	0,1	0,1	0,19	0,13	0,1



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از توده‌های مورد بررسی (برگرفته از نقشه ۱:۲۵۰۰۰ [۲۵] با تغییرات).



شکل ۲ (الف) واحد افیولیتی خرد شده در کنار واحد گرانیتی، (ب) واحدهای فلیشی (اٹوسن) با ترکیب غالب شیل و ماسه سنگ (دید عکس به سمت شمال غرب)، (پ) واحد گرانیتوئیدی (بخش سفید رنگ) در کنار واحدهای آهکی و ت) نمایی از برونبوم‌های موجود در گرانیتوئید حصاروئیه.



شکل ۳ (الف) کانی‌های موجود در گرانیت‌های حصاروئیه: درشت بلورهای شکل دار پلازیوکلاز (Pl) همراه با ماکل چندریخت بلورهای بیشکل کوارتز (Qz)، درشت بلورهای فلدسپات قلیایی (ارتوز، Kfs)، ب) بیوتیت (Bt) و اسفن (spn) در گرانیت‌ها، پ) کانی‌های موجود در گرانودیوریت‌ها: پلازیوکلاز (Pl) شکل دار و دارای ماکل، بلورهای بی شکل کوارتز (Qz)، بیوتیت‌های (Bt) نیمه شکل دار و داری رخ واضح، ت) کانی‌های موجود در دیوریت‌های حصاروئیه، پلازیوکلاز (Pl) با ماکل چندریخت و کانی‌های هورنبلند (Hbl) (تصاویر الف، پ و ت در نور قطبیده متقطع و تصویر ب در نور قطبیده طبیعی با بزرگنمایی X40 تهیه شده‌اند).

خاموشی مستقیم، بی‌رنگ با یک راستای رخ و در اندازه‌های ۰/۱ تا ۰/۵ میلیمتر در مقاطع میکروسکوپی دیده می‌شود. دیوریت‌ها در نمونه دستی به رنگ خاکستری، با بافت دانه‌ای و در مقاطع میکروسکوپی بیشتر دارای کانی‌های پلازیوکلاز و هورنبلند هستند. پلازیوکلاز (۴۵ تا ۵۰ میلیمتر درصد حجمی) به صورت بلورهای بی‌شکل تا نیمه شکل دار و دارای ماکل چندریخت به همراه منطقه‌بندی و در اندازه‌های ۰/۵ تا ۰/۱ میلیمتر دیده می‌شود (شکل ۳ ت). هورنبلند: (۴۰ تا ۴۵ میلیمتر دیده می‌شود (شکل ۳ ت). کوارتز: (۲۰ تا ۲۵ میلیمتر درصد حجمی) به صورت بلورهای نیمه شکل دار در اندازه‌های ۱ تا ۲ میلیمتر در بین سایر کانی‌های گرانودیوریت‌ها است. بیوتیت (۱۰ تا ۱۵ میلیمتر درصد حجمی)، به صورت صفحه‌ای تا بی‌شکل در اندازه ۰/۵ تا ۱ میلیمتر و با چند رنگی قهوه‌ای با یک دسته رخ در راستای طولی دیده می‌شود (شکل ۳ پ). مسکوویت که یک کانی ثانویه است با شکل‌های کشیده،

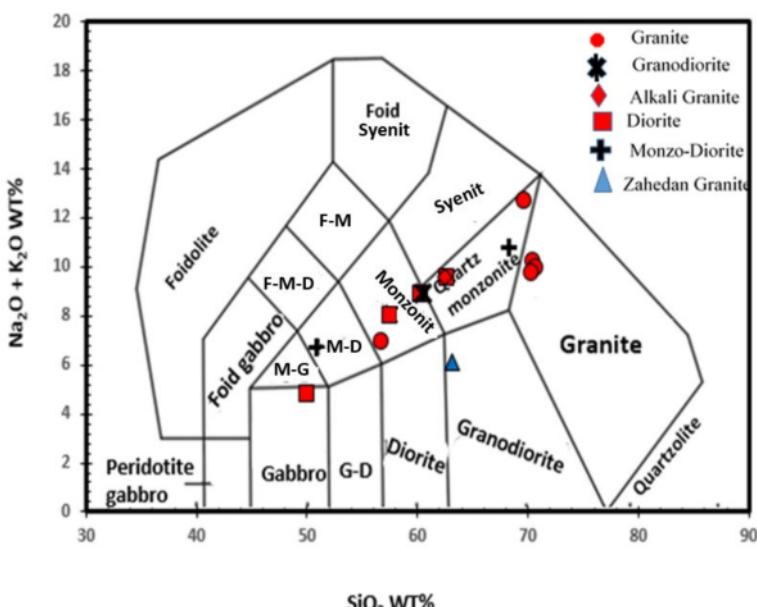
گرانودیوریت‌ها در نمونه دستی به رنگ خاکستری روشن، دانه متوسط و در مقاطع میکروسکوپی دارای کانی‌های کوارتز، پلازیوکلاز، فلدسپات قلیایی، هورنبلند، بیوتیت و مسکوویت (کانی ثانویه) هستند. پلازیوکلاز (۴۰ تا ۴۵ درصد حجمی) به صورت بلورهای شکل دار تا نیمه شکل دار، غیر شفاف و دارای ماکل چندریخت هستند. در برخی نمونه‌ها، درشت بلورهای پلازیوکلاز به سریسیت تجزیه شده‌اند و با اندازه ۰/۵ میلیمتر در بیشتر نمونه‌ها دیده می‌شوند (شکل ۳ پ). کوارتز (۲۰ تا ۲۵ درصد حجمی) به صورت بلورهای نیمه شکل دار در اندازه‌های ۱ تا ۲ میلیمتر در بین سایر کانی‌های گرانودیوریت‌ها است. بیوتیت (۱۰ تا ۱۵ درصد حجمی)، به صورت صفحه‌ای تا بی‌شکل در اندازه ۰/۵ تا ۱ میلیمتر و با چند رنگی قهوه‌ای با یک دسته رخ در راستای طولی دیده می‌شود (شکل ۳ پ). مسکوویت که یک کانی ثانویه است با شکل‌های کشیده،

زمین شیمی

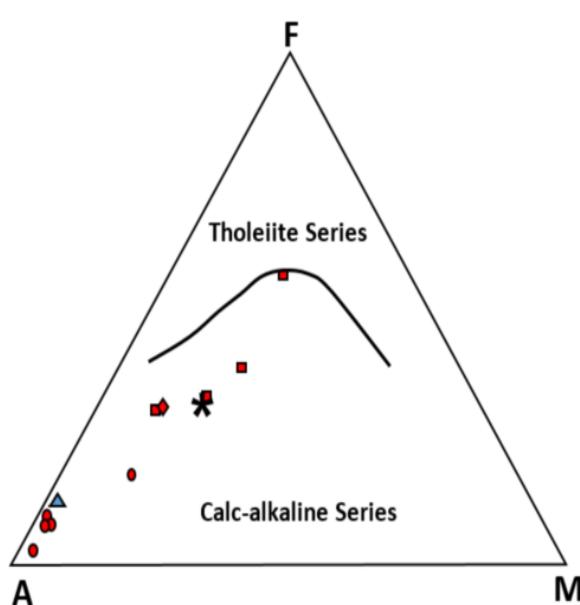
در نمودار رده‌بندی شیمیایی سنگ‌های آذرین [۲۶]، سنگ‌های سازنده کوه گرانیتوبئیدی حصاروئیه بیشتر در گستره‌های

پیوسته و نزدیک به هم را نشان می‌دهند که به دلیل گستره کم تغییرات ترکیب شیمیایی سنگ‌های مورد بررسی است. روند پیوسته تغییرات اکسیدهای اصلی را می‌توان شاهدی بر دگرگونی‌های شیمیایی ماقما در نظر گرفت. در واقع، میانگین این تغییرات روند دگرگونی بخش‌های مختلف ماقما را نشان می‌دهد [۲۷].

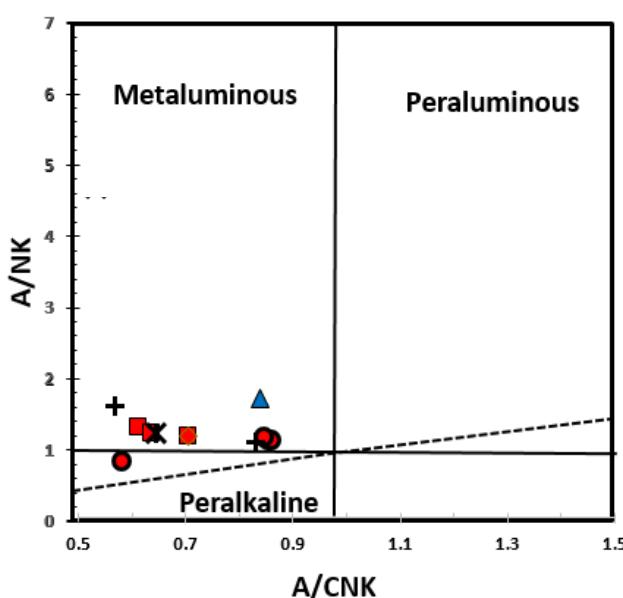
گرانیت و مونزونیت (شکل ۴) قرار دارند. این سنگ‌ها در نمودار (AFM) در سری آهکی-قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۵). براساس نمودار شاخص آلومینیم [۱۱]، نمونه‌های مورد بررسی متاآلومین هستند (شکل ۶). در همه نمودارهای هارکرعناصر اصلی (شکل ۷ الف) و عناصر فرعی (شکل ۷ ب) به علت پیوسته بودن ترکیب شیمیایی سنگ‌ها، عناصر اصلی روند



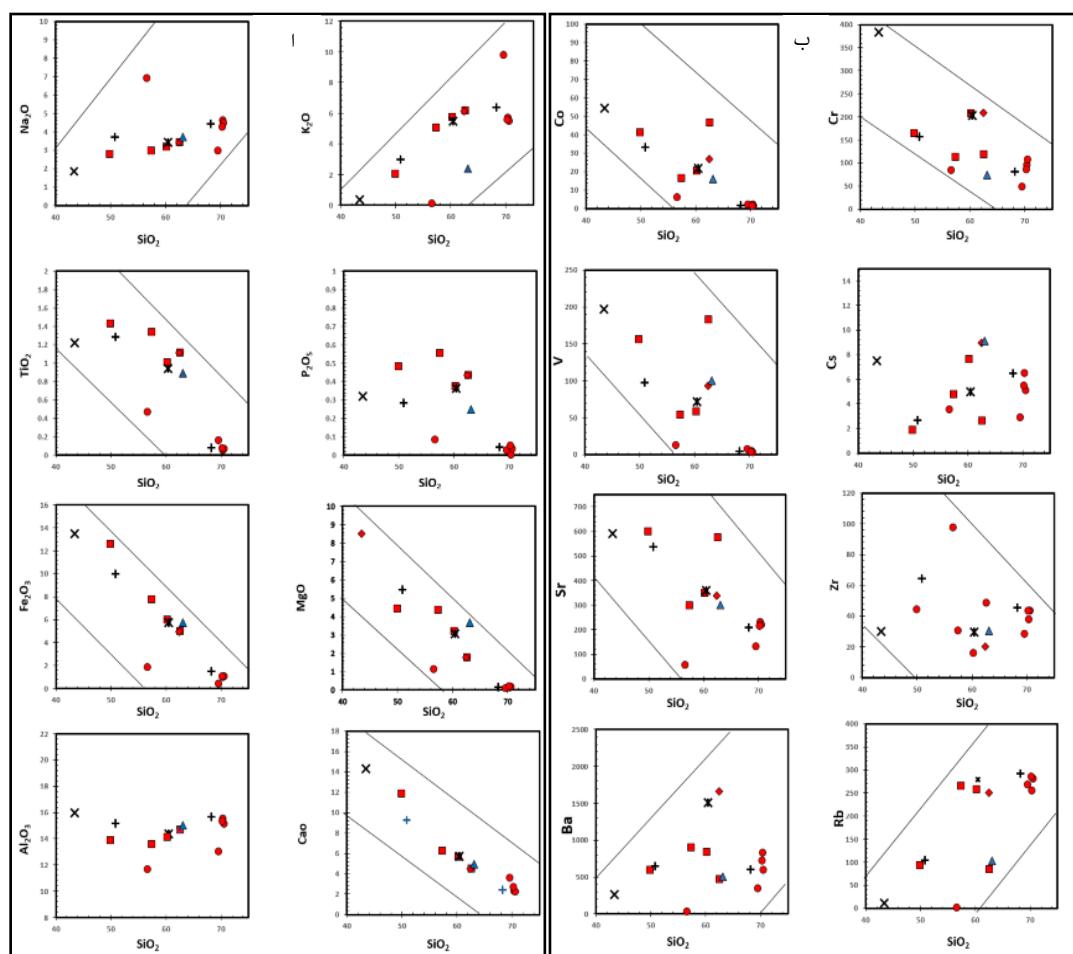
شکل ۴ نمودار مرجع [۲۶] که براساس آن موقعیت سنگ‌های مورد به طور کلی در گستره‌های گرانیت تا دیوریت واقع هستند (G: گابرو، D: دیوریت، M: مونزو، چین). میانگین ترکیب باтолیت زاهدان از داده‌های مرجع [۷] است.



شکل ۵ نمودار AFM که براساس آن نمونه‌های حصاروئیه و گرانیت زاهدان در سری ماقمایی آهکی قلیایی قرار دارند. نشانه‌ها مشابه شکل ۴ هستند.



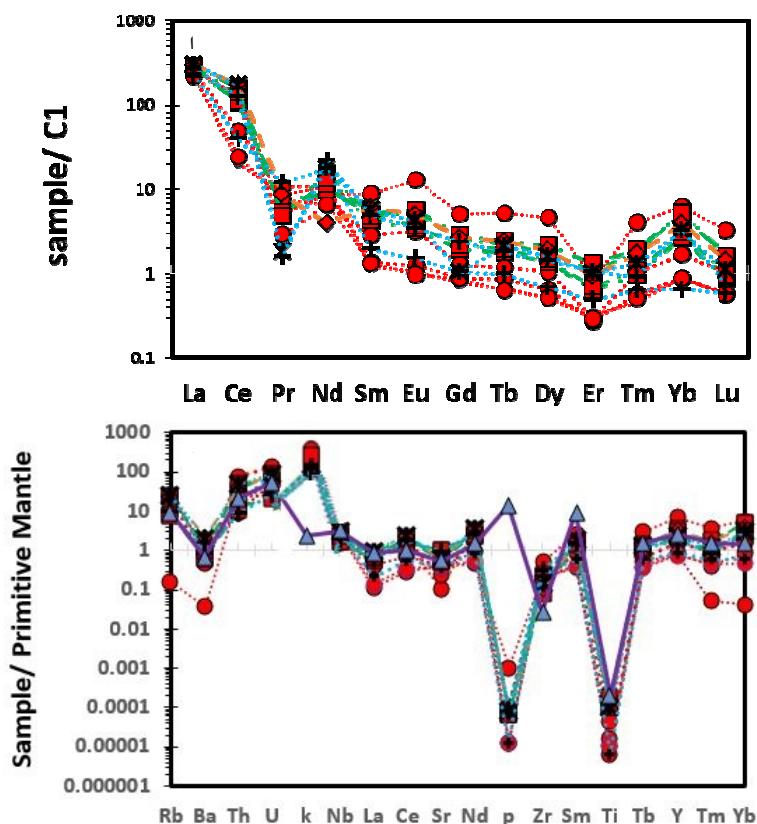
شکل ۶ موقعیت نمونه‌های سنگی حصاروئیه بر روی نمودار ساختار ساخته آلومنیوم [۱۱]، نمونه‌ها در محدوده متا‌آلومین قرار می‌گیرند (A/CNK: $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$, A/NK: $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$)، نشانه‌ها مشابه شکل ۴ می‌باشد.



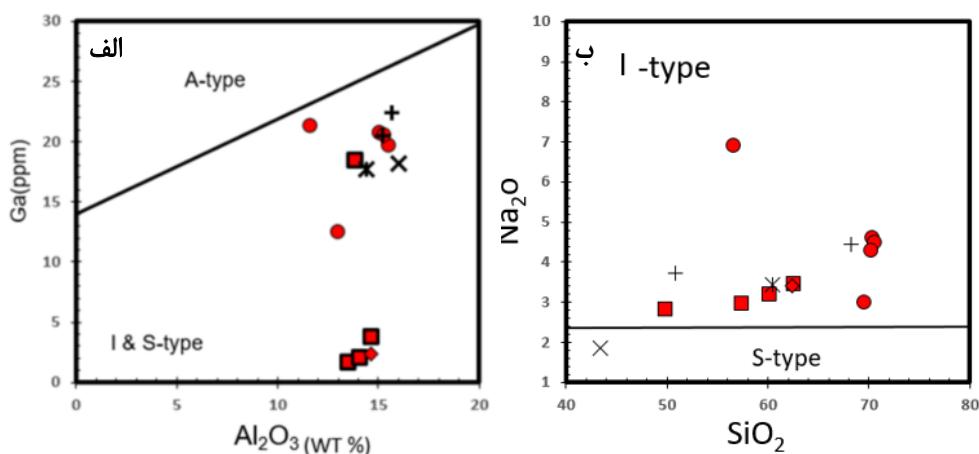
شکل ۷ نمودارهای هارکر (الف) اکسیدهای عناصر اصلی و (ب) اکسیدهای عناصر فرعی برای سنگ‌های گرانیت‌وئیدی منطقه حصاروئیه، نشانه‌ها مشابه شکل ۴ هستند.

آمفیبول پاراگازیتی تیتاندار، اسفن و آپاتیت) در پوسته اقیانوسی فرورانده شده و یا گوه گوشتهای ذوب نشده است [۳۸، ۳۷]. در نمودار SiO_2 نسبت به Ga [۳۸] برای تفکیک گرانیتوئیدها، نمونه‌های منطقه مورد بررسی در گستره I و S قرار دارند (شکل ۹ الف). بر اساس نمودار Na_2O نسبت به SiO_2 [۳۹]، (شکل ۹ ب) نمونه‌ها در گستره I قرار می‌گیرند. برای بررسی روابط خویشاوندی نمونه‌های منطقه از نمودارهای Hf نسبت به Zr و U در مقابل Th استفاده شد (شکل ۱۰). تغییرات این عناصر در نمونه‌ها دارای روند خطی صعودی عبوری از مبدأ مختصات هستند که نشان دهنده فرایند تبلور جدایشی است [۴۰]. از این رو، به نظر فرآیند تبلور جدایشی در دگرگونی ماقمایی منطقه نقش داشته است. در نمودارهای تفکیک محیط زمین ساختی سنگ‌های گرانیتوئیدی براساس عناصر کمیاب (Y ، Nb و Rb) [۴۱]. سنگ‌های منطقه در گستره کمربند آتشفسانی پهنه فرورانش (VAG) و همزمان با برخورد (SYN-COLO) قرار دارند (شکل ۱۱).

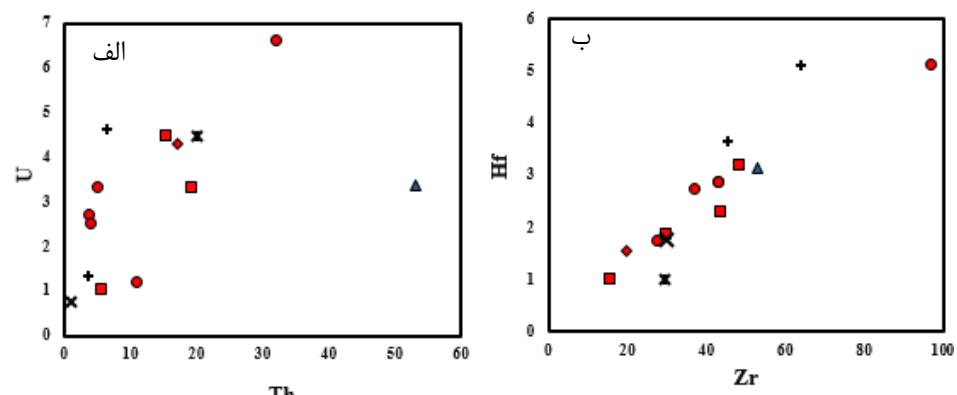
الگوی عناصر خاکی نادر نمونه‌ها بهنجار شده نسبت به کندریت [۲۸] (شکل ۸ الف) نشان از غنی شدگی نسبی عناصر خاکی نادر سبک (LREE) نسبت به عناصر خاکی نادر سنگین (HREE) دارد. این‌ها از ویژگی‌های بارز ماقماهای آهکی قلیایی است [۲۹]. ناهنجاری Eu به گریزندگی اکسیژن و جدایش پلازیوکلاز بستگی دارد [۳۰]. عنصر Eu در برخی نمونه‌ها دارای ناهنجاری مثبت ضعیفی بوده که به احتمال بسیار ناشی از خروج یا افزایش این عنصر به وسیله پلازیوکلاز در فازهای پیشین تبلور است. در نمودار عناصر فرعی نمونه‌های گرانیتوئید حصاروئیه بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه [۲۸] (شکل ۸ ب)، ناهنجاری منفی در عناصر Ti و P دیده می‌شود. تهی شدگی این عناصر از ویژگی‌های بارز قوس‌های وابسته به فرورانش کرانه قاره است [۳۱]. البته، برخی این تهی شدگی‌ها را به فرآیندهای تهی شدگی پیشین در سنگ‌های گوشته نیز نسبت داده‌اند [۳۶-۳۴]. مقدار پایین Ti بیانگر باقی ماندن این عنصر در خاستگاه، طی ذوب و همچنین حضور فازهای دیگر در بردارنده این عنصر (مانند روتیل، ایلیمنیت،



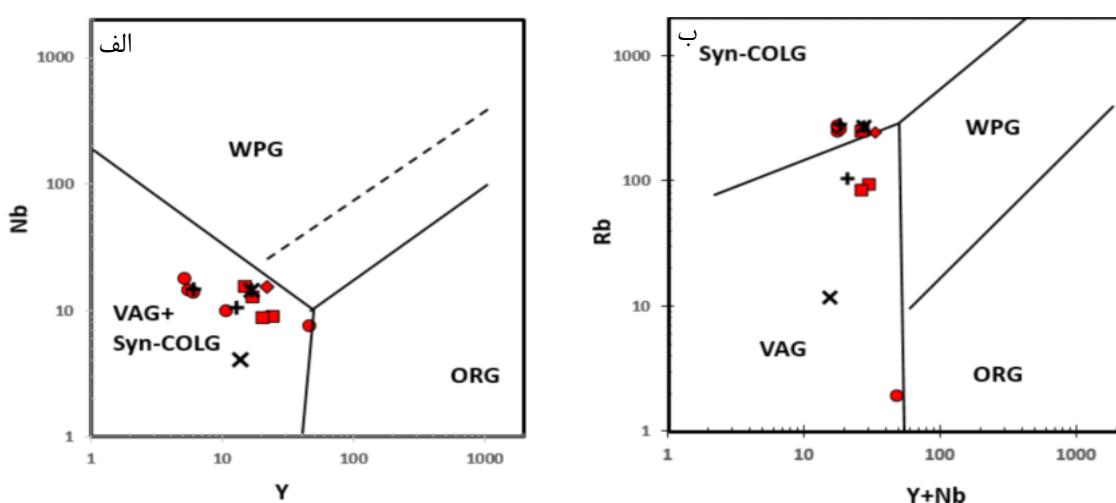
شکل ۸ نمودارهای عنکبوتی (الف) عناصر خاکی نادر بهنجار شده نسبت به کندریت [۲۸] و (ب) عناصر فرعی بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه [۲۸] برای نمونه‌های گرانیتوئید حصاروئیه نشانه‌ها مشابه شکل ۴ هستند.



شکل ۹ موقعیت نمونه‌های گرانیت حصاروئیه در (الف) نمودار مرجع [۳۸]. همه نمونه‌ها در گستره نوع I و S قرار دارند و (ب) نمودار مرجع [۳۹] که نمونه‌ها در گستره نوع I و تنها یک نمونه در گستره S قرار دارند. نشانه‌ها مشابه شکل ۴ هستند.



شکل ۱۰ (الف) نمودار عناصر Hf نسبت به Zr و (ب) نمودار U نسبت به Th. روند خطی و مثبت تغییرات این عناصر نشان دهنده نقش فرآیند تبلور جدایشی در سنگ‌های منطقه است. نشانه‌ها مشابه شکل ۴ هستند.

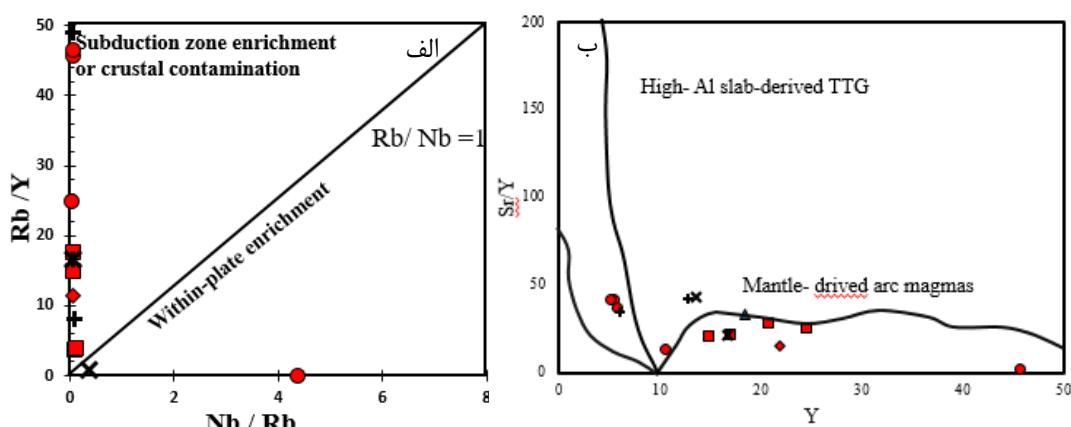


شکل ۱۱ (الف) نمودار Y-Nb و (ب) نمودار Rb - (Y+Nb) [۴۱] که براساس آنها، سنگ‌های مورد بررسی در کمربندهای آتشفشاری پهنه فروزانش و همزمان با برخورد قاره‌ای قرار دارند. (ORG: گرانیت‌های پهنه گسترش اقیانوسی، SYN-COLO: گرانیت‌های همزمان با برخورد، WPG: گرانیت‌های کمربندهای درون صفحه‌ای، VAG: گرانیت‌توئیدهای کمربندهای آتشفشاری پهنه فروزانش) نشانه‌ها مشابه شکل ۴ هستند.

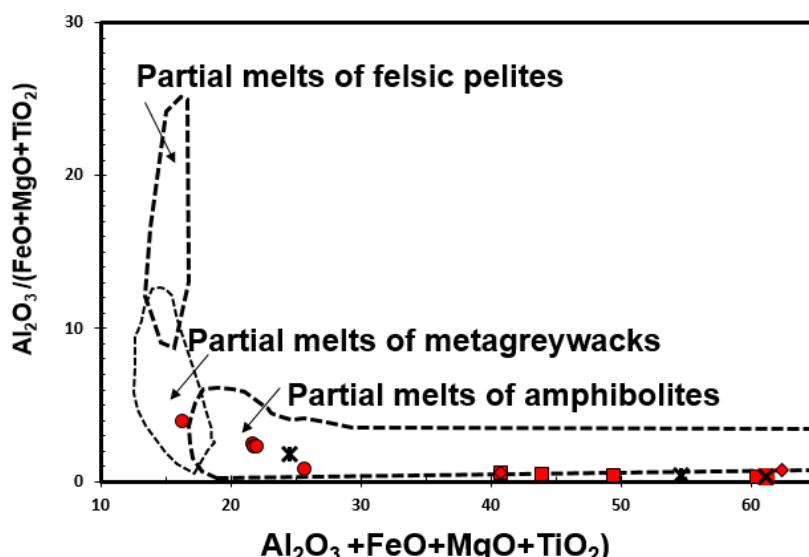
بحث

AFC معروف است [۴۶]. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهند که ماغماهای متالومین از ذوب‌بخشی منابع غنی از آمفیبولیت ایجاد می‌شوند [۴۷]. برای تعیین با خاستگاه سنگ‌های گرانیتوئیدی منطقه بر پایه اکسیدهای اصلی از نمودار $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{FeOt}+\text{MgO}+\text{TiO}_2$ نسبت به $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{FeOt}+\text{MgO}+\text{TiO}_2$ نمودار که نشان دهنده مذاب‌های لوکوگرانیت پرآلومین، رسی، ماسه سنگ تیره و مذاب‌های برآمده از ذوب آمفیبولیت است، این ماسه سنگی با خاستگاه آمفیبولیتی ترکیبی شبیه به ماغماهای برآمده از ذوب پوسته اقیانوسی در حال فروراش و یا ناشی از ذوب سنگ‌های بازی دارد. ماغماهای با خاستگاه لوکوگرانیت پرآلومین و ماسه سنگ تیره ترکیبی شبیه به ماغماهای برآمده از ذوب رسوب‌های آواری و رس‌ها و یا شبیه به ماغماهای ناشی از ذوب پوسته قاره‌ای (پوسته زیرین) را از خود نشان می‌دهند. بر اساس این نمودار، (شکل ۱۳) سنگ‌های منطقه دارای خاستگاه آمفیبولیتی هستند. ویژگی‌های زمین‌شیمی سنگ‌های گرانیتوئیدی حصاروئیه نشان از وابستگی آن‌ها به پهنه‌های فروراش دارد که به نظر در اثر بالا آمدن مذاب‌های باقی مانده از ذوب بخشی پوسته اقیانوسی نئوتیس طی برخورد قطعه لوت به قطعه سیستان و نظامهای زمین‌ساختی پس از آن به وجود آمده‌اند سرانجام ماغماهای سازنده این سنگ‌ها با خاستگاه آمفیبولیت ناشی از ذوب و تبلور جدایشی ماغماهای برآمده از پوسته اقیانوسی نئوتیس ایجاد شده است.

طبق شواهد صحرایی، سنگنگاری و زمین‌شیمیایی، سنگ‌های گرانیتی کوه حصاروئیه از نوع I وابسته به محیط‌های فرورانشی هستند. گرانیت‌ها بیشتر دارای خاستگاه پوسته‌ای و یا گوشه‌ای هستند. برای تفکیک خاستگاه گوشه‌ای و پوسته‌ای می‌توان از نسبت عناصر خاکی نادر استفاده کرد که برای Nb/La و Nb/Ce به ترتیب در گوشه ۰/۳۹ و ۱/۰۱ [۴۲] و در پوسته ۰/۲۳ و ۰/۴۶ [۴۳] است. میانگین نسبت‌های Nb/La و Nb/Ce برای نمونه‌های گرانیتوئیدی حصاروئیه به ترتیب ۰/۳۷ و ۰/۹۸ است که به مقادیر گوشه‌ای نزدیکتر هستند. براساس نمودار Nb/Rb نسبت به Y که برای تشخیص غنی شدگی به وسیله سیال‌ها در پهنه فروراش و آلایش پوسته‌ای استفاده می‌شود [۴۴] (شکل ۱۲ الف)، نمونه‌های گرانیتوئیدی حصاروئیه در پهنه‌های فرورانشی و یا با اثر آلایش پوسته‌ای ایجاد شده‌اند. از داده‌های زمین‌شیمیایی عناصر کمیاب Sr و Y می‌توان برای تعیین خاستگاه سنگ‌های آذرین استفاده کرد. نمونه‌های سنگی منطقه مورد بررسی بر پایه نمودار تغییرات Sr/Y نسبت به Y [۴۵]، در گستره ماغماهایی با خاستگاه گوشه‌ای و به مقدار کم پوسته‌ای قرار دارند، (شکل ۱۲ ب). در نظامهای قوسی قاره‌ای، ماغماهای گوشه‌ای و یا ماغماهای برآمده از مذاب ورقه اقیانوسی در حال فروراش اگر توسط سیال‌ها غنی‌سازی شود و یا در اثر آلایش پوسته‌ای ترکیب آن تغییر کند، می‌تواند سنگ‌هایی با ترکیب دیبوریت، گرانودیبوریت و گرانیت ایجاد کند که به مدل



شکل ۱۲ موقعیت نمونه‌های سنگی حصاروئیه در (الف) نمودار Rb/Nb نسبت به Y [۴۴] و (ب) نمودار Sr/Y نسبت به Y [۴۵]. نشانه‌ها مشابه شکل ۴ هستند.



شکل ۱۳ گستره‌های ترکیبی مذاب‌های ناشی از ذوب‌بخشی ورقه‌های فلسی، ماسه سنگ‌های تیره دگرگونه و آمفیبولیت‌ها [۴۸] که نمونه‌های گرانیتوئید حصاروئیه در گستره آمفیبولیت قرار دارند، نشانه‌ها مشابه شکل ۴ هستند.

فرونشینی پوسته‌ی اقیانوسی نئوتیس و برخورد قطعه‌های لوت

و سیستان است.

قدرتانی

نگارندگان مقاله از معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان به خاطر حمایت‌های مالی و معنوی و داوران گرامی که برای بررسی این نوشتار، کمال تشکر را دارند.

مراجع

برداشت

توده گرانیتوئیدی حصاروئیه از نظر سنگ‌شناسی، ترکیبی از گرانیت، گرانودیوریت و دیوریت دارد. از نظر کانی‌شناسی، گرانیت و گرانودیوریت‌ها بیشتر از کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز، ارتوکلاز، بیوتیت و هورنبلند و دیوریت‌ها بیشتر از پلاژیوکلاز و هورنبلند تشکیل شده‌اند. این سنگ‌ها بیشتر دارای بافت دانه‌ای هستند. این توده درون فلیش‌های اوسن برونزد یافته و توسط مجموعه‌ای از دایک‌های با ترکیب دیوریتی قطع شده است. سنگ‌های گرانیتوئیدی حصاروئیه از نوع I و وابسته به مناطق فرورانشی کرانه‌ی قاره‌ای هستند. آن‌ها از نظر درجه اشباع از آلومینیم در گروه متاآلومین قرار دارند. بر اساس بررسی‌های سنگ‌شناسی و زمین شیمی عناصر اصلی و کمیاب، می‌توان گفت که سنگ‌های گرانیتوئیدی حصاروئیه از سری ماگمای آهکی قلیایی هستند و به احتمال بسیار جدایش ماگمای سازوکار اصلی تشکیل سنگ‌های منطقه بوده است. میانگین نسبت‌های Nb/Ce و Nb/La به ترتیب با مقدار 0.37 ± 0.98 نشانگ نقش گوشه در تکامل سنگ‌های گرانیتی حصاروئیه است. بررسی‌های زمین شیمیایی و زمین ساختی ماگمای نشان می‌دهد که تشکیل آن‌ها به احتمال بسیار وابسته به

[1] Lameyre J., Bowden P., "Plutonic rock type series: discrimination of various granitoid series and related rocks", Journal of volcanology and geothermal research, 14(1982), 169.

[2] Barbarin B., "A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments", Lithos, 46(1999), 605–626.

[3] Martin H., "The mechanisms of petrogenesis of the Archaean comparison with modern processes", Lithos, 30(1993)373-388.

[4] Pitcher W.S., "The nature and origin of granite", Chapman and Hall. (1983), 377pp.

[5] Debon F., Lefort P., "A chemical mineralogical classification of common plutonic rock and

- [17] Boomeri M., Lashkaripour G., Gargich M., “*F and Cl in biotites from Zahedan granitic rocks*”, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 13(2005), 80-94(in Persian).
- [18] Rezaei Kahakhaee M., “*Investigation of Petrogenesis and Tectonics Setting of Lakhshak Granitoid*”, MSc thesis, University of Tehran, Tehran, Iran, (2006), (in Persian).
- [19] Kananian A., Rezaei Kahakhaee M., Ismaili M. “*Geology and Tectonic setting of Lakhshak, granodiorite, northwest of Zahedan, Iran*”, Journal of Earth Sciences, 65(2006),126 - 143. (in Persian).
- [20] Sadeghian M., Valizadeh M., “*Mechanism of replacement Northern part of Zahedan Granitoid*”, Earth Sciences Quarterly. 66(2007),134 - 159 (in Persian).
- [21] Kashtagar SH., Nazari M., “*Investigating deformation fabric and replacement mechanism of granites at the Northwest Zahedan (Kuh-e-Zargoli)*”, Journal of Applied Geology. (2007),129. (in Persian).
- [22] Ghasemi H., Sadeghian M., Kord M., Khanalizadeh A., “*Investigating mechanism and formation Zahedan granitoids in southeastern Iran*”, Earth Sciences Quarterly. 551(2008), 570-578. (in Persian).
- [23] Saravani F., Rezaii M., “*Investigation of mineral chemistry in Zargoli granitoid. MSc thesis, University of Tehran*”, Tehran, Iran, (2011) , (in Persian).
- [24] Mohammadi A.M., Burg J. P., Bouilhol P., Ruh J., “*U-Pb geochronology and geochemistry of Zahedan and Shah Kuh plutons, Southeast Iran: Implication for closure of the South Sistan suture zone*”, Lithos. 248 (2016), 293–308.
- [25] Behrouzi A., “*Geological map of Zahedan quadrangle (1:100000)*”, Geological Survey of Iran, (1993).
- [26] Middlemost E. A. K., “*Naming materials in the magma igneous rock system*”, Earth Science Reviews 37(1994), 215–224.
- association”, R. Soc. Edinb., Trans.,* 73(1983),135-149.
- [6] Frost B.R., Barnes C.G., Collins W.J., Arculus R.J., Ellis D.J., Frost C. D., “*A Geochemical classification for granite rocks*”, Journal of Petrology, (2001),2033-204.
- [7] Chappell B. W., White A. J. R., “*Two contrasting granite type*”, Pacific Geology, 8 (1974), 173-174.
- [8] Clarke D. B., “*Granitoid rocks*”, London, Chapman and Hall Publication, (1992), 289pp.
- [9] Schermaier A., Hauns Chmind B., Finger F., “*Distribution of Variscan I and S-type granites in the eastern Alps: possible clue to unravel pre-Alpian basement structure*”, Tectonophysics, 272(1997),315-333.
- [10] Healy B., Collins W.J., Richards S.W., “*A hybrid origin for Lachlan S-type granites: The Murrambridge Batholith example*”, Lithos, 78(2004),197-216.
- [11] Shand S.J., “*The Eruptive Rocks*”, 2nd edn. New York: John Wiley, (1943), 444pp.
- [12] Rezaei Kahakhaee M., Ali Musa M., Ghasemi M., “*Determination of Physical Conditions of Crystallization in Lakhshak Granodiorite and Its Dykes*”, Iranian journal of crystallography and mineralogy. 2 (2017) 311-328.
- [13] Tirrul R., Bell I. R., Griffis R. J., Camp V. E., “*The Sistan Suture Zone of eastern Iran*”. Geological Society of America Bulletin 94(1983), 134-150.
- [14] Hosseini M. R., “*Petrology and geochemistry of granitoids in southwest of Zahedan, MSc thesis, University of Tehran*”, Tehran, Iran, (2002) , (in Persian).
- [15] Sadeghian M., “*Magmatism, metallurgy and replacement mechanism of Zahedan granitoid, Ph.D. thesis, University of Tehran*”, Tehran, Iran, (2004) (in Persian).
- [16] Kashtagar SH., “*Petrology, geochemistry and structural analysis of Zargoli granites. MSc thesis, University of Tehran*”, Tehran, Iran, (2004), (in Persian).

- Volcanology and Geothermal Research, 29(1986), 293-310.
- [38] Collins W. Y., Beams S. D., White A. J. R., Chappel B. W., "Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia", Contributions to Mineralogy and Petrology, (1982), 189-200.
- [39] Chappell B. W., White A. J. R., "I- and S-type granites in the Lachlan Fold belt", Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences 83 (1992) 1-26.
- [40] Rogers G., Hawkesworth C. J., "A geochemical traverse across the north Chilean Andes: evidence for crust generation from mantle wedge", Earth and Planetary Science Letters, 91(1984), 271-285.
- [41] Pearce J. A., Kempton P. D., Nowell G. M., Noble S. R., "Hf-Nd elements and isotope perspective on the nature and provenance of mantle and subduction components in western Pacific arc basin systems", Journal of Petrology, 40(1999)1579-1611.
- [42] Sun S. S., McDonough W. F., "Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes, magmatism in ocean basins", Geological Society of London, special publication, 42(1989) 313-345.
- [43] Weaver B. L., Tarney J., "Empirical approach to estimating the composition of the continental crust", Nature, 310(1984)575-577.
- [44] Temel A., Gondogdu M.N., "Petrological and Geochemical characteristics of Cenozoic High-K calc-alkaline volcanism in Konga, Central Anatolia, Turkey", Journal of Volcanology and Geothermal Research, 85(1998) 357-377.
- [45] Martin H., "Adakitic magmas: modern analogues of Archaean granitoids", Lithos, 46(1999) 411-429.
- [46] De Paolo D., "JTrace element and isotopic effects of combined wall-rock assimilation and fractional crystallization", Earth Planetary Science Letters, 53 (1981)189-202.
- [47] Whitney J., "A Origin and evolution of silicic magmas", Reviews in Economic Geology, 4(1989)183-203.
- [27] Rollinson H., "Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation". Longman, London, (1993), 352.
- [28] Thompson R. N., "Magmatism of the British Tertiary volcanic province", Scottish Journal of Geology 18(1982), 49-107.
- [29] Gill J. B., "Orogenic andesites and plate tectonics", Berlin, Springer, (1981), 412pp.
- [30] Wilson M., "Igneous petrogenesis", Unwin and Hyman, London. (1989), 466pp.
- [31] Castillo P. R., Rigby S. J., Solidum R. U., "Origin of high field strength element enrichment in volcanic arcs: geochemical evidence from the Sulu Arc, Southern Philippines", Lithos, 9(2006): 271-288.
- [32] Khan M. A., Jan Q. M., Weaver B. L., "Evolution of the lower arc crust in Kohistan, N. Pakistan: temporal arc magmatism through early, mature and intra arc rift stages. In: Treloar, P.J., Searle, M.P. (Eds.), Himalayan Tectonics", Geological Society London, 74(1993) 123–128.
- [33] Hawkesworth C. J., Herget J. M., Ellam R. M., Mc Dermott F., "Element fluxes associated with subduction related magmatism", Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 335(1991)393-405.
- [34] Woodhead J., Egging S., Gamble J., "High field strength and transition element systematic in island arc and back-arc basin basalts: evidence for multi-phase melt extraction and a depleted mantle wedge", Earth and Planetary Science Letters 114, (1993) 491-504.
- [35] Gust D. A., Arculus R. A., Kersting A. B., "Aspects of magma sources and processes in the Honshu arc", The Canadian Mineralogist 35 (1977) 347-365.
- [36] Keppler H., "Constraints from partitioning experiments on the composition of subduction zone fluids. Nature", 380(1996)237-240
- [37] Tatsumi Y., Hamilton D. L., Nesbitt R. W., "Chemical characteristics of fluid phase released from a subducted lithosphere and origin of arc magmas: evidence from high-pressure experiments and natural rocks", Journal of

isotopes and possible link to Subduction-related origin of some A-type granites”, Chemical Geology, 274(2010) 94-107.

[48] Magna T., Janousek V., Kohot M., Oberli F., Wiechert U., “Fingerprinting sources of orogenic plutonic rocks from Variscan belt with lithium