

## پتروژنر سنگ‌های آداسیتی پس از تصادم پلیو کواترنری در شمالغرب مرند

غلامرضا احمدزاده<sup>۱\*</sup>، احمد جهانگیری<sup>۲</sup>، منصور مجتبه‌ی<sup>۳</sup>، دیوید لنتز<sup>۳</sup>

۱- گروه آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۳- دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه نیو برانزویک، کانادا

(دریافت مقاله: ۸۸/۱۲/۹ ، نسخه نهایی: ۸۹/۴/۱۳)

چکیده: در شمالغرب مرند در بخش شمالی نوار آتشفسانی ارومیه-دختر مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفسانی با ترکیب آندزیت، داسیت، بازالت‌های سدیک، پتاسیک و اولتراتپاسیک قلیایی بروند دارند که در گستره‌ی زمانی میوسن بالائی تا کواترنری به سطح زمین راه یافته‌اند. این مقاله به بخش ترکیب‌های آندزیتی و داسیتی این سنگ‌ها می‌پردازد که به‌طور پراکنده از داخل مجموعه آذرآواری پیرون ریخته‌اند. این سنگ‌های آتشفسانی دارای بافت پرفیری هستند که شامل فنوکریست‌های پلازیوکلاز، هورنبلند، پیروکسن و به مقدار کم بیوتیت هستند. از لحاظ ژئوشیمیایی این سنگ‌ها دارای مقادیر  $\text{SiO}_2$  در گستره‌ی ۵۷.۵ - ۶۷.۸ درصد وزنی،  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ۱۴.۵ - ۱۶.۳٪،  $\text{Sr}$  ۵۷.۷ - ۱۱۸.۵٪،  $\text{La/Y}$  ۱۳.۲٪ - ۳۰.۷٪،  $\text{Sr/Y}$  ۴۶.۳٪ - ۶۱.۳٪ و مقادیر پایین  $\text{Y}$  (۱۱.۲٪ - ۲۰.۲٪) هستند که نشان‌دهنده ویژگی‌های آداسیتی این ماغماها هستند. ویژگی‌های ژئوشیمیایی نمونه‌های منطقه‌ی پر آداسیت‌های پرسیلیس بررسی همانند آداسیت‌های پرسیلیس از ذوب صفحه‌ی بازالتی فرورونده به وجود آمداند. همچنین این سنگ‌ها از عناصر LILEs (Sr < 1100 ppm,  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} < 11\% \text{wt}$ ,  $\text{MgO} = 0.85\text{-}3.5$ ) همچواني دارد که نشان می‌دهد آداسیت‌های منطقه‌ی مورد پسمانده‌ی جامد ماغمای این سنگ‌ها باشد. همچنین مقادیر بالای استرانسیم و بیهنجاری منفی تانتالیم، نیوبیوم و تیتانیم می‌تواند نشان‌گر عدم حضور پلازیوکلاز و حضور اکسیدهای آهن و تیتان در تفاله‌ی باقیمانده‌ی ذوب باشد. ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های منطقه‌ی نشان می‌دهند که شکسته شدن صفحه‌ی اقیانوسی فرورونده و ذوب باقیمانده‌ی این صفحه موجب تولید ماغماتیسم آداسیتی منطقه‌ی شمال‌غرب مرند شده‌اند. همچنین بالا بودن مقادیر باریم، توریم و روپیدیم می‌تواند در اثر آغشتگی ماغما با مواد پوسته‌ای در طول صعود ماغمات است.

واژه‌های کلیدی: آداسیت، نئوتیسیس، فرورانش، نوار ماغماتی ارومیه-دختر و شمالغرب ایران

مقدمه  
کششی تشکیل می‌شوند [۱-۳]. این سنگ‌ها همچنین به آندزیت‌های با منیزیم بالا اطلاق می‌شوند که بر خلاف یونینیت‌ها دارای غنی‌شدگی شدید LREEs (مقادیر  $\text{La/Yb} > 40$ )، مقادیر بالای استرانسیم ( $\text{Sr} > 400$ )، مقادیر بالای نسبت

آداسیت‌های سنگ‌های غنی از سیلیسیم بوده که دارای مقادیر بالای  $\text{La/Y}$  و  $\text{Sr/Y}$  هستند و در محیط‌های زمین‌ساختی مثل زون‌های فرورانشی، برخوردگاه‌های قاره‌ای و محیط‌های

\*نويسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۴۴۱۹۲۲۳۱، نمبر: ۰۴۵۱ (۵۵۱۲۲۰۴) پست الکترونیکی: gholamrezaahmadzadeh@yahoo.com

های آداسیکتی از نوار ارومیه - دختر [۹،۸] و محیط زئودینامیکی تشکیل آنها، بررسی سنگ‌های آداسیکتی سنجوزوئیک ایران می‌تواند در روشن شدن مباحثه وابسته به فرورانش صفحه‌ی نئوتیس به زیر ایران مرکزی، سرنوشت صفحه‌ی فرورونده و زمان فرورانش کمک فراوانی کند. از این‌رو در این مقاله به بررسی ژئوشیمی، کانی شناسی و خاستگاه سنگ‌های آداسیکتی که در همراهی با سنگ‌های سدیک، پتاسیک و اولتراتاسیک قلیایی هستند، پرداخته شده است.

### روش کار

پس از بررسی‌های صحرائی و مشخص شدن روابط سنی و صحرائی انواع سنگ‌های منطقه، بررسی‌های آزمایشگاهی و بررسی بیش از ۶۰ مقطع نمونه تهیه شده از سنگ‌های سری حدواسط-اسیدی منطقه انجام شد که در کنار سنگ‌های سدیک و پتاسیک قلیایی واقع شده‌اند. پودر تعداد ۱۳ نمونه از سنگ‌های سالم منطقه با استفاده از آسیاب تحقیقی تهیه شد که تعداد ۵ نمونه در دانشگاه تبریز بروش XRF مورد بررسی قرار گرفت و تعداد ۸ نمونه برای تجزیه عناصر اصلی و فرعی به آزمایشگاه ALS-Chemex به کانادا ارسال شدند که برای عین مقادیر اکسیدهای عناصر اصلی از دستگاه XRF و برای تعیین میزان عناصر کمیاب از دستگاه ICP-MS استفاده شد (جدول ۱).

**زمین‌شناسی ناحیه‌ای و سنگ‌نگاری سنگ‌های منطقه** منطقه‌ی مورد بررسی در شمال‌غرب مرند و در بخش شمالی زون ماقمایی وابسته به فرورانش ارومیه-دختر واقع شده است. گدازه‌های با ترکیب حدواسط و اسیدی به صورت پراکنده از داخل مجموعه‌ی سنگی پیروکلاستیک با همان ترکیب بیرون ریخته است. بررسی‌های صحرائی نشان می‌دهد که سن نسبی این مجموعه‌های سنگی با توجه به اینکه مارن‌های ژیپس دار میوسن را قطع کرده‌اند میوسن بالایی تا پلیوسن است که در قسمت‌های حاشیه‌ای گدازه‌های با ترکیب سدیک و پتاسیک قلیایی پس از مجموعه حدواسط اسیدی بیرون ریخته است (شکل ۱). منطقه‌ی مورد بررسی به گسل تبریز و دره دیز محدود می‌شود.

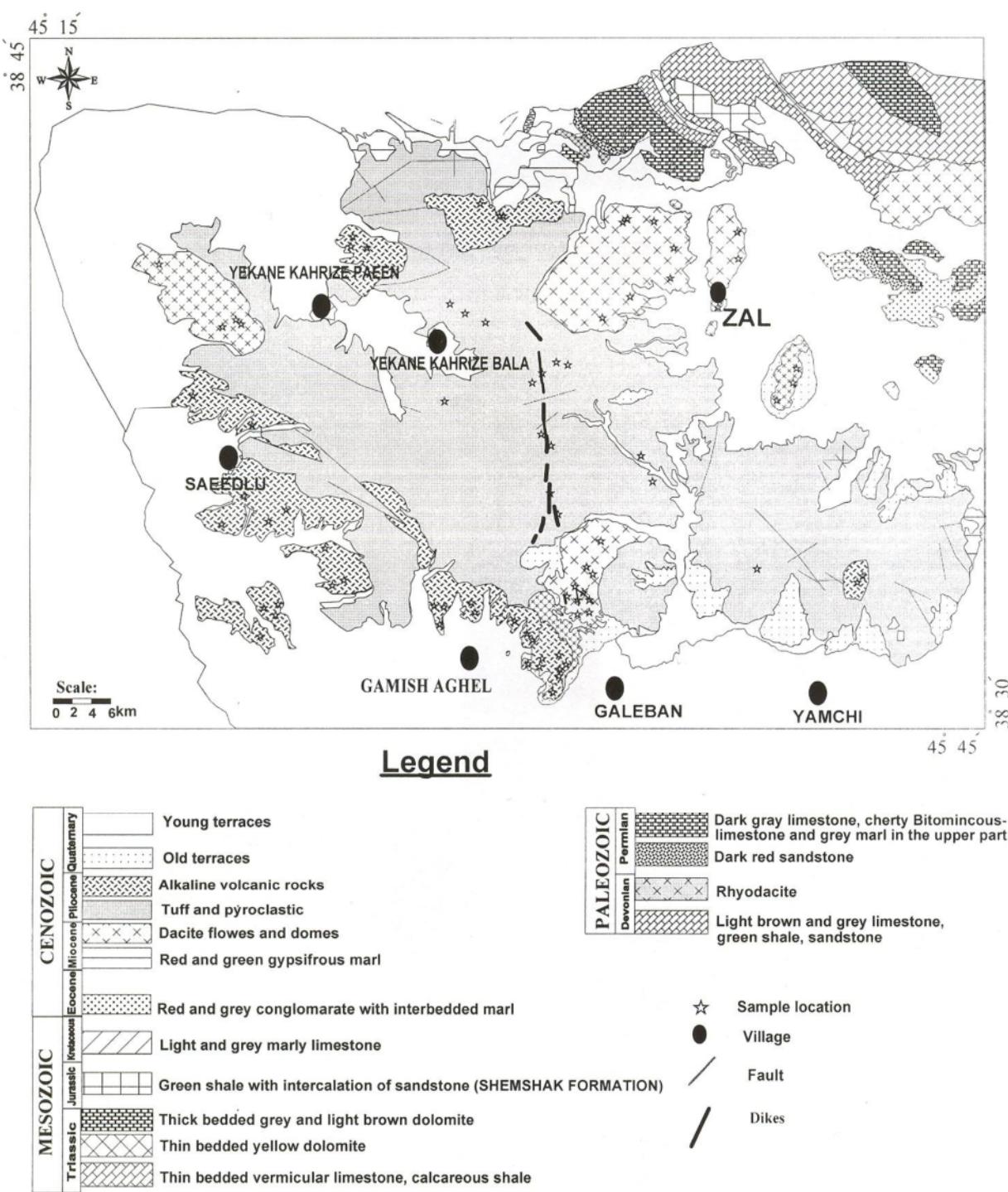
Y/Sr<sup>87</sup>/Sr<sup>86</sup> نسبتهای پایین نسبت‌های سرب رادیوزنیک و غیر رادیوزنیک‌اند [۴،۱] همچنین از لحاظ سنگ‌شناسی آداسیکت‌ها سری سنگ‌های حدواسط تا اسیدی هستند که دامنه‌ی تغییرات آنها از هورنبلند آندزیت تا داسیت و ریولیت را در بر می‌گیرند. بازالت در این مجموعه غایب است. از لحاظ کانی‌شناسی مجموعه‌ی آداسیکتی دارای فنوکریست‌های پلازیوکلاز منطقه‌بندی شده، هورنبلند و بیوتیت‌اند و ارتوپیروکسن و کلینو پیروکسن فقط در آندزیت‌های مافیک مشاهده می‌شوند. کانی‌های فرعی این سنگ‌ها شامل آپاتیت، زیرکن، اسفن و تیتانومگنتیت هستند [۱۶،۱].

بررسی‌های اولیه نشان‌گر تشکیل ماقمایی‌های آداسیکتی از ذوب بخشی صفحه‌ی اقیانوسی گرم و جوان فرورونده بوده [۵] ولی امروزه تشکیل سنگ‌های آداسیکتی علاوه بر جزایر قوسی جوان از مناطق قوس‌های قاره‌ای، کمان‌های آتش‌شانی بالغ و مناطق پس از برخورد نیز گزارش شده است [۱].

پهنه‌ی ایران از لحاظ زمین ساختی فعال بوده و در کمریند کوهزائی آلپ هیمالیا واقع شده است و از لحاظ ساختاری به قطعات متفاوتی تقسیم می‌شود. فرورانش نئوتیس به زیر ایران مرکزی در طول کرتاسه فوقانی و پالئوژن و برخورد دو ورقه ایران و عربی در ترشییری باعث ایجاد چهار زون ساختاری در ایران شده است. که عبارتند از، زاگرس مرتفع، زاگرس چین خورده، زون دگرگونی سندنج-سیرجان و نوار ماقمایی ارومیه-دخترند [۶]. فعالیت ماقمایی در پهنه‌ی ایران در تمام زمان‌ها رخ داده ولی اوج آن در ائوسن بوده است. در منطقه‌ی مورد بررسی که در بخش شمالی گسل تبریز و در ۲۰ کیلومتری شمال‌غرب مرند واقع شده و سنگ‌های با ترکیب حدواسط - اسیدی در گستره‌ی گستره‌های بیرون ریخته‌اند که ماهیت آداسیکتی دارند. بررسی‌های ژئوشیمیائی نشان می‌دهد که ترکیب این سنگ‌ها از حدواسط - اسیدی به سمت سدیک، پتاسیک و فوق پتاسیک قلیایی تغییر می‌کند [۷]. ماقماتیسم آداسیکتی در زون ارومیه دختر توسط [۸] در ناحیه‌ی بافت، انار و قم و توسط [۹] در شمال‌غرب ایران از منطقه تبریز، مرند و جلفا گزارش شده است. در شمال ایران ماقماتیسم پلیوکواترنری فوق پتاسی می‌شود. در شمال ایران ماقماتیسم آداسیکتی با ترکیب داسیتی بیرون ریخته است [۹]. با توجه به گزارش چندین مورد بروزد سنگ-

جدول ۱ نتایج آنالیز شیمیائی عناصر اصلی، فرعی و نادر خاکی از نمونههای انتخاب شده سنگهای منطقه‌ی مورد بررسی.

Rock type samples	Intermediate-Acidic series												
	BA2	DA14	L-1	L-2	BA1	DA3	DA5	DA11	GKH-1	GKH-2	F45	F47	
SiO <sub>2</sub>	57/5	62/4	65/1	65/2	57/6	64/2	62/5	63/2	66/5	66/8	67/8	64/9	58/5
TiO <sub>2</sub>	0/99	0/55	0/46	0/48	0/96	0/59	0/52	0/42	0/68	0/35	0/67	0/52	0/89
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15/6	15/9	16/3	16/3	16/2	15/5	15/3	15/8	14/5	15/2	14/5	16/2	15/9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5/66	2/96	2/86	2/45	6/17	5/7	2/89	3/18	2/92	2/7	2/81	2/84	6/13
CaO	5/5	5/4	3/16	2/29	5/27	6/5	4/66	4/37	4/54	4/18	4/37	4/57	7/24
MgO	2/5	2/21	0/98	1/4	2/45	1/23	2/04	2/1	1/38	1/16	1/2	0/85	1/63
Na <sub>2</sub> O	5/27	5/31	4/3	2/29	5/19	3/65	5/28	5/22	4	3/95	4/08	4/52	4/37
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0/1	0/2	0/1	0/1	0/1	0/2	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1
MnO	0/9	0/6	0/8	0/1	0/1	0/6	0/6	0/7	0/6	0/6	0/6	0/4	0/6
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0/65	0/26	0/21	0/2	0/81	0/28	0/27	0/15	0/34	0/33	0/19	0/24	0/24
LOI	0/9	1/28	0/82	1	0/78	1/42	1/27	1/66	0/54	0/13	0/37	1/11	1/29
Total	98/7	100	100	101	99/8	100	98/7	99	99/7	99/9	99/9	99/9	100
Ba	1200	1405	1070	885	1295	663	1405	1290	795	742	764	741	718
Rb	56/2	69	143	124	66/5	24/1	72/5	69/5	94	94	92	58	55
Th	17/4	21/6	19/2	16/1	20/6	0/39	21/3	18/4	21	26	22	6	7
Sr	130	1045	972	718	1185	577	1105	946	737	719	737	690	761
Nb	19/8	20/4	17/4	14/9	21/4	8/7	18/9	15/6	15	18	19	90	92
Co	22/1	16/4	8/7	7/1	19/5	10	12/1	11/3	13	9	6	8	11
Cr	90	150	80	100	80	90	150	120	38	39	42	49	132
Cs	3/11	2/29	5/51	5/62	4/4	1/54	2/84	4/92					
Cu	69	57	22	17	48	17	39	30	25	16	19	15	21
Ga	20/1	20	19/6	18	21	18/9	19/5	19/3	12	17	22	13	19
Hf	5	4/8	4/9	3/9	5/1	2/9	4/3	4				39	40
Mo	2	2	3	4	5	2	2	5				4	6
Ni	28	49	8	17	39	25	51	48	46	26	42	39	56
Pb	27	24	40	22	27	12	21	20	12	21	21	20	18
Sn	2	2	1	2	3	1	2	2					
Ta	1/1	1/2	1/2	0/9	1/1	0/5	1	0/9				3	1
U	4/59	6/17	6/19	4/28	4/97	1/25	6/2	5/38	5	4	9	55	41
V	180	82	81	55	185	66	48	59	68	57	62	62	100
W	6	7	18	9	5	2	5	5					
Y	16/8	12/7	18	18/4	20/2	18/8	13/6	11/2	16	17	18	13	15
Zn	96	72	7F	7F	9F	73	59	63	55	50	52	56	72
Zr	196	193	203	183	222	134	194	182	217	203	214	190	189
Ag	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1		
La	55/9	61/4	42/6	42/9	73/9	22	53/2	49	18	45	51/34	55	41
Ce	123	105	75/3	75/7	137	48	105	79/7	58	123	9/69	22	63
Pr	14	11	7/9	7/72	15/4	5/37	10/8	8/25				1/42	
Nd	51/9	28/6	27/4	26/3	54/6	20/4	26/3	28				7/69	
Sm	9/02	6/2	4/78	4/64	9/99	3/94	5/187	4/52				1/08	
Eu	2/1	1/48	1/26	1/24	2/21	1/25	1/54	1/27				4/43	
Gd	7/77	5/58	4/76	4/64	7/64	3/75	5/23	4/39				1/03	
Tb	0/91	0/65	0/63	0/66	1/02	0/59	0/64	0/54				0/2	
Dy	3/89	2/84	3/28	3/15	4/05	3/27	2/77	2/16					
Ho	0/68	0/51	0/64	0/63	0/75	0/7	0/51	0/42					
Er	1/96	1/44	1/9	1/96	2/02	2/02	1/33	1/16					
Tm	0/23	0/18	0/27	0/29	0/25	0/32	0/17	0/16					
Yb	1/51	1/1	1/88	1/91	1/47	1/96	1/03	0/89					
Lu	0/2	0/17	0/31	0/3	0/22	0/33	0/17	0/14					



شکل ۱ نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد بررسی (کامل شده از نقشه‌های ۱/۱۰۰۰۰۰ چهارگوش مرند و قره ضیاء‌الدین تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی).

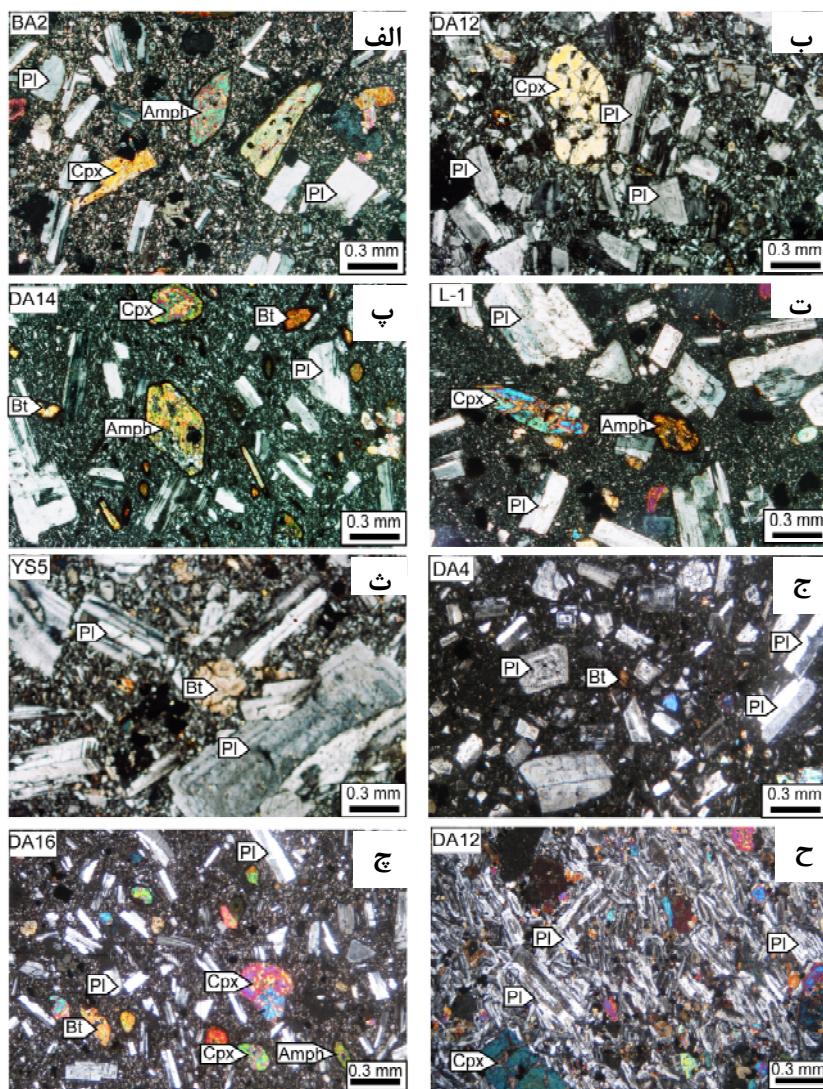
ریزبلوری پورفیری دارد که بیشتر، پلاژیوکلаз به همراه با کلینوپیروکسن، هورنبلند و بمقدار کمتر بیوتیت، فوکوکریست‌های این سنگها را تشکیل می‌دهند و در زمینه‌ای از ریز

بررسی‌های کانی‌شناسی و میکروسکوپی نمونه‌های منطقه شامل تراکی آندزیت، تراکی داسیت و داسیت با ترکیب دواسط و اسیدی، به رنگ خاکستری تا خاکستری روشن بوده و بافت

ریزبلور در سنگهای منطقه مشاهده می شود و مقدار آن در نمونههای مختلف متغیر است (شکل ۲ الف، ب، پ، ت، ث). نتایج آنالیز ریزپردازش الکترونی تعدادی از کلینوپیروکسنها که در آزمایشگاه دانشگاه نیوبرانزویک کانادا انجام شده (جدول نتایج آورده نشده است) نشان می دهد که ترکیب بلورهای کلینوپیروکسن در گستره‌ی دیوپسید قرار می‌گیرند و دارای عدد منزیم  $(Mg/(Mg+Fe^{2+}))$  بالا (۹۶/۸-۸۳/۷)، مقدار  $Al_2O_3$  (۰/۵۴ تا ۰/۰۶)، مقدار  $Na_2O$  کمتر از ۱/۲۳ و در گستره‌ی  $TiO_2$  (۰/۱۶ تا ۱/۲۳)، مقدار  $Al^6/Al^4$  (صفراً تا ۰/۴۴) هستند.

بلورهای پلازیوکلاز، آمفیبول، بیوتیت، کلینوپیروکسن و به مقدار کمتر کوارتز قرار دارند (شکل ۲). پلازیوکلاز اصلی‌ترین کانی تشکیل دهنده‌ی این سنگ‌ها محسوب می شود و اندازه‌ی آن‌ها در نمونه‌های مختلف از ۰/۲ تا ۱/۸ میلی‌متر متغیر است که در یک زمینه‌ی ریزدانه و شیشه‌ای قرار گرفته‌اند و بافت پورفیری دارند (شکل ۲). بلورهای پلازیوکلاز عموماً نیمه شکل دارند و انواع ماکلهای تکراری، آلبیتی، کارلسbad و منطقه‌بندی نوسانی در آن‌ها دیده می‌شود (شکل ۲).

کلینوپیروکسن: کلینوپیروکسن نیز به صورت درشت بلور و



شکل ۲ تصاویر میکروسکوپی از نمونه‌های سنگ‌های آدکیتی منطقه. الف) درشت بلورهای کلینوپیروکسن، پلازیوکلاز و آمفیبول ب) درشت بلورهای کلینوپیروکسن، پلازیوکلاز پ) درشت بلورهای کلینوپیروکسن، پلازیوکلاز و آمفیبول و اکسی بیوتیت ت) درشت بلورهای پلازیوکلاز و اکسی هورنبلند ث) درشت بلورهای پلازیوکلاز دارای منطقه‌بندی و بیوتیت. ج) پلازیوکلازهای دارای منطقه‌بندی و ماکلهای کارلسbad. چ) بلورهای کلینوپیروکسن، پلازیوکلاز و آمفیبول در زمینه ریزبلور و شیشه‌ای ح) بلورهای سوزنی و کشیده پلازیوکلاز در یک زمینه‌ی ریز بلور.

حدواسط-اسیدی در گستره‌ی بیوتیت‌های منیزیم دار قرار می‌گیرند [۱۰].

از کانی‌های کمیاب موجود در این سنگ‌ها می‌توان به آپاتیت و اکسیدهای آهن و تیتانیم اشاره کرد که به صورت ریزبیلور در زمینه و در مواردی در پلاژیوکلازها و بیوتیتها و پیروکسن‌ها یافت می‌شوند.

#### بحث و بررسی

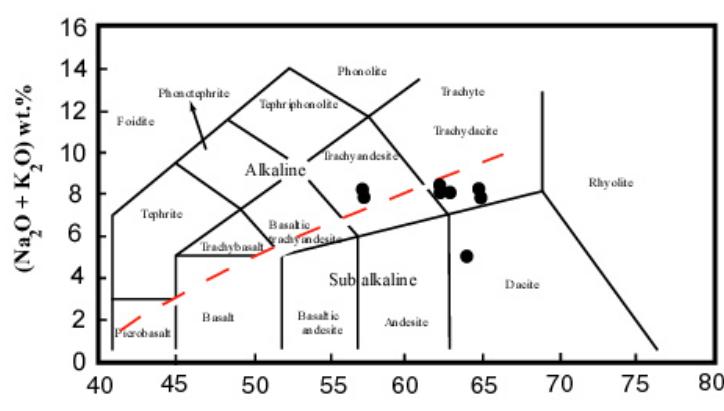
##### ژئوشیمی

دامنه‌ی مقادیر  $\text{SiO}_2$  نمونه‌های منطقه از ۵۷/۵ تا ۶۵/۲ تغییر می‌کند. برای نامگذاری سنگ‌های منطقه از نمودار مجموع عناصر قلیایی نسبت به سلیس [۱۱] استفاده شده است (شکل ۳). در این نمودار نمونه‌ها در گستره‌ی تراکی آندزیت، تراکی داسیت و داسیت قرار می‌گیرند. استفاده از نمودار  $\text{K}_2\text{O}$  نسبت به سلیس نشان می‌دهد که سنگ‌های منطقه در گستره‌ی سلیس با پاتاسیم بالا و یک نمونه در گستره‌ی با پاتاسیم متوسط واقع می‌شوند (شکل ۴). تمام این نمونه‌ها دارای مقادیر  $\text{Al}_2\text{O}_3$  بالای ۱۵ درصد وزنی و مقادیر بالای  $\text{Na}_2\text{O}$  هستند. نسبت  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  در این سنگ‌ها بیش از ۱ بوده و در حدود ۱/۲-۲/۸ است. استفاده از نمودار  $\text{Zr}$  نسبت به  $\text{Y}$  [۱۲] نشان می‌دهد که نمونه‌های منطقه ماهیت آهکی-قلیایی دارند (شکل ۵). همچنین این سنگ‌ها دارای تمرکز پایین عناصر نادر خاکی سنگین و  $\text{Y}$  (۱۱/۲-۲۰/۲) هستند. با در نظر گرفتن این ویژگی‌های به همراه با مقادیر بالای  $\text{Sr}$  و نسبت بالای  $\text{Y/Sr}$ ، این سنگ‌ها را می‌توان در نمودار  $\text{Y}$  نسبت به عنوان  $\text{Sr/Y}$  به عنوان آداکیت رده‌بندی کرد (شکل ۶).

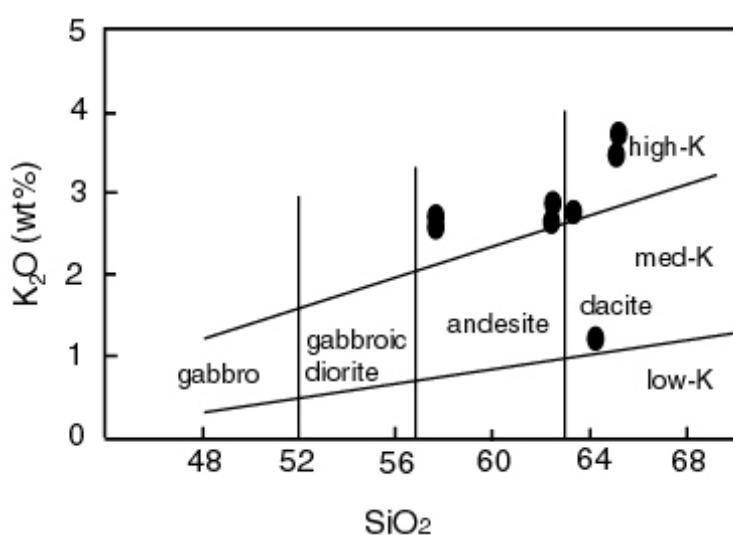
مقادیر پایین سدیم در کلینوپیروکسن‌های سنگ‌های منطقه نشانده‌ندی فقر آن‌ها از آكمیت است. نمود M1 عموماً با  $\text{Mg}^{+2}$  (۰/۹۰۶ تا ۰/۹۰۰)، مقادیر کمی  $\text{Fe}^{+2}$  (۰/۰۳۰ تا ۰/۰۳۶) و  $\text{Ti}^{+4}$  ( $\text{Cr}^{+3}\text{Fe}^{+3}\text{Al}^{+6}$ ) R3 (۰/۰۲۳ تا ۰/۰۰۵) به میزان (۰/۰۴۱ تا ۰/۰۸۵) و نمود M2 بیشتر با  $\text{Ca}$  (۰/۰۹۴۱ تا ۰/۰۸۵۸) و مقادیر سدیم کمتر از ۰/۰۸۸ و منیزیم کمتر (۰/۰۰۹۳ تا ۰/۰۰۱۷) پر شده است. در  $\text{Si}^{+4}$  اکثر کلینوپیروکسن‌ها A1T در نمودهای چهارتایی بجای نشسته است. مقادیر  $\text{Fe}^{+3}$  نیز در این کانی‌ها متفاوت بوده و در هر کانی نیز تغییراتی را نشان می‌دهد که احتمالاً در اثر شرایط اکسایش متفاوت در ماغما یا گریزندگی اکسیژن معکوس در ماغمات است [۱۰].

آمفیبول: آمفیبول‌های موجود در سنگ‌های منطقه از نوع هورنبلند بوده و در بیشتر نمونه‌ها به ویژه انواع حدواسط حضور دارند. مقدار آن در حدود ۵ الی ۱۵ درصد تغییر می‌کند. هورنبلندها در مقاطع عرضی هم به صورت لوزی و هم نیمه شکل دار دیده می‌شوند (شکل ۲ الف، پ). برخی هورنبلندها از حاشیه اکسیده شده و به اکسی هورنبلند تبدیل شده‌اند (شکل ۲ ت).

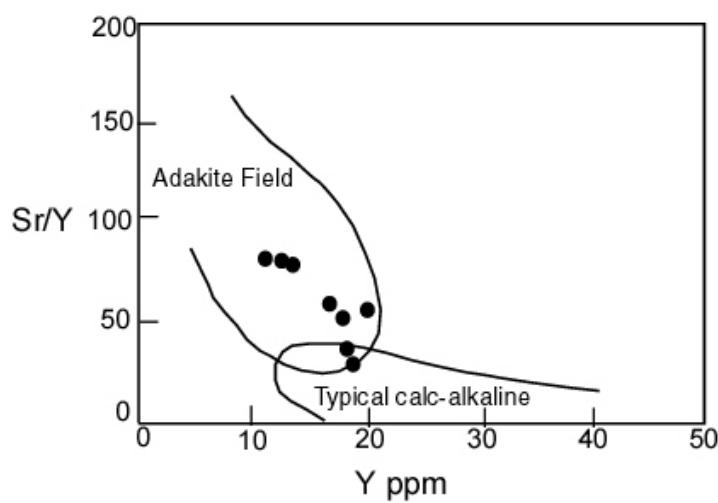
بیوتیت: بیوتیت به عنوان یک کانی آبدار در بیشتر سنگ‌های منطقه حضور دارد و مقدار آن در حدود ۵ درصد یا کمتر است. چند رنگی بیوتیتها از قهوه‌ای کمرنگ تا قهوه‌ای تیره قابل مشاهده است. برخی از بیوتیتها همانند آمفیبول‌ها از حاشیه اکسیده شده و حالت کدر بخود گرفته‌اند (شکل ۲ پ). نتایج آنالیز ریزپردازش الکترونی سه نمونه از میکاهای منطقه نشان می‌دهد هر سه نمونه آنالیز شده از سنگ‌های سری



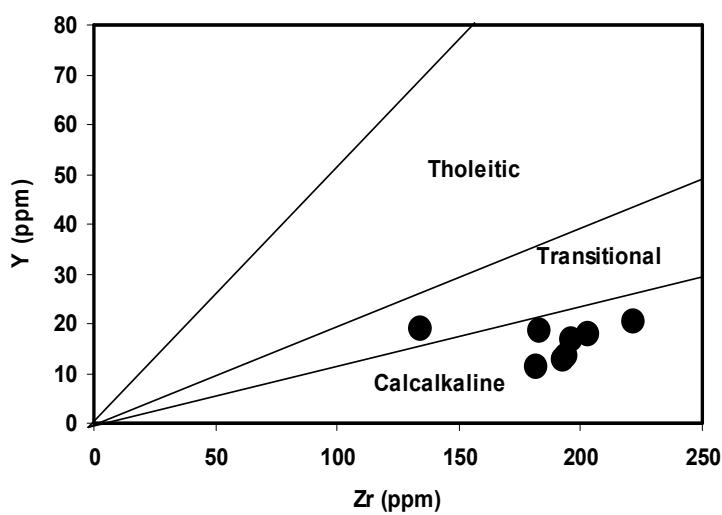
شکل ۳ نمودار مجموع عناصر قلیایی نسبت به سلیس از [۱۱] برای رده بندی سنگ‌های آتشفشاری منطقه.



شکل ۴ نمودار  $K_2O$  نسبت به  $SiO_2$  برای تعیین سری ماغماتی سنگهای بررسی شده.



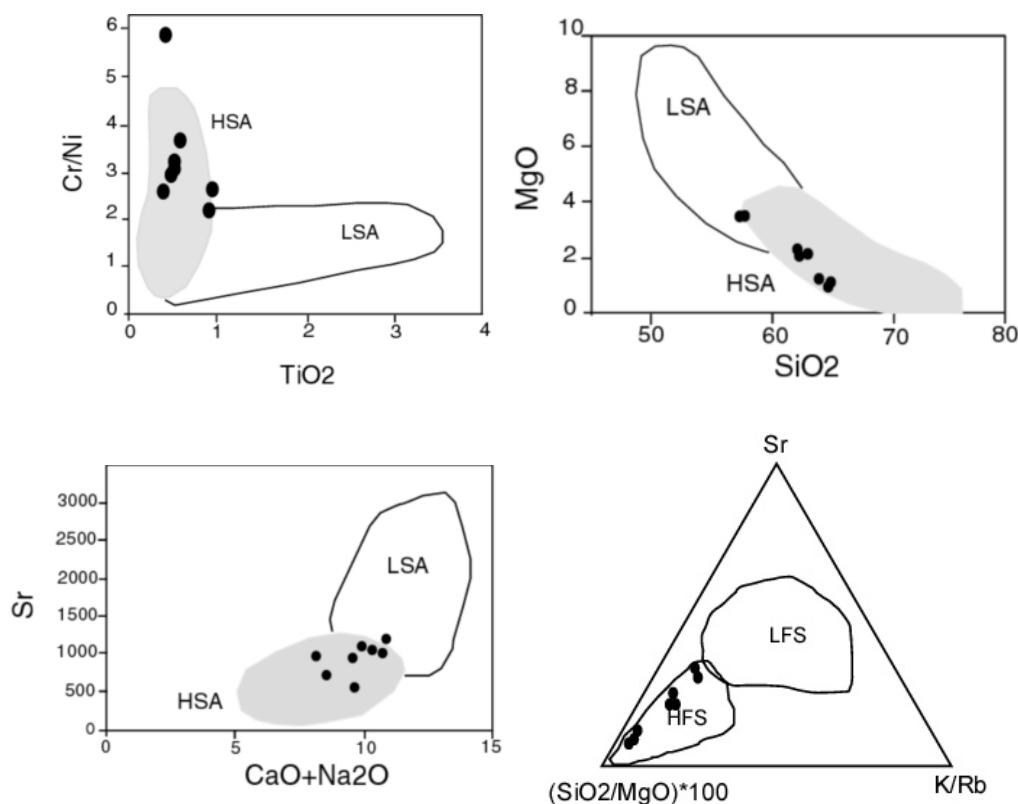
شکل ۵ نمودار  $Y/Sr$  نسبت به  $Y$  برای تعیین ماغماهای آدکیتی از آهکی-قلیابی معمولی.



شکل ۶ نمودار  $Zr$  نسبت به  $Y$  برای تعیین سری ماغماتی.

آداکیت‌های پر سیلیس همچوایی دارد، به طوری که نمودارهای  $\text{Cr}/\text{Ni}$  نسبت به  $\text{TiO}_2$ ،  $\text{Mg} \# (\text{MgO}/(\text{MgO}+\text{FeO}))$  نسبت به  $\text{Cr}/\text{Ni}$  و  $\text{SiO}_2/\text{MgO} \times 100$ ،  $\text{Sr}$  نسبت به  $\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}$  و  $\text{K}/\text{Rb}$  نسبت به  $\text{SiO}_2$  و  $\text{Sr}$  نیز نشانگر این ادعاست (شکل ۷). علاوه بر مباحث بالا برای تعیین محیط زمین‌ساختی نمونه‌های منطقه، از نمودارهای مختلف استفاده شد که نشان می‌دهد تمامی نمونه‌ها در گستره حاشیه‌ی فعال قاره‌ای قرار می‌گیرند (شکل ۸، ب، پ). برای جدا کردن گستره حاشیه‌های  $\text{Zr}^{*3}$ ،  $\text{Nb}^{*50}$  از [۱۶] استفاده شد که نشان می‌دهد نمونه‌های منطقه در یک محیط پس از تصادم از نمودار سه تابی  $\text{Ce}/\text{P}_2\text{O}_5$  نادر خاکی با محیط پس از تصادم از نمودار سه تابی  $\text{Nb}/\text{Ce}$  در طول صعود ماگما واکنش دهد ولی خاستگاه آداکیت‌های کم سیلیس را به ذوب گوهی گوشته‌ی پریدوتیتی که ترکیب آن مورد تاثیر فلزیک آبگون صفحه‌ی فرورونده قرار گرفته است وابسته می‌دانند [۱۳].

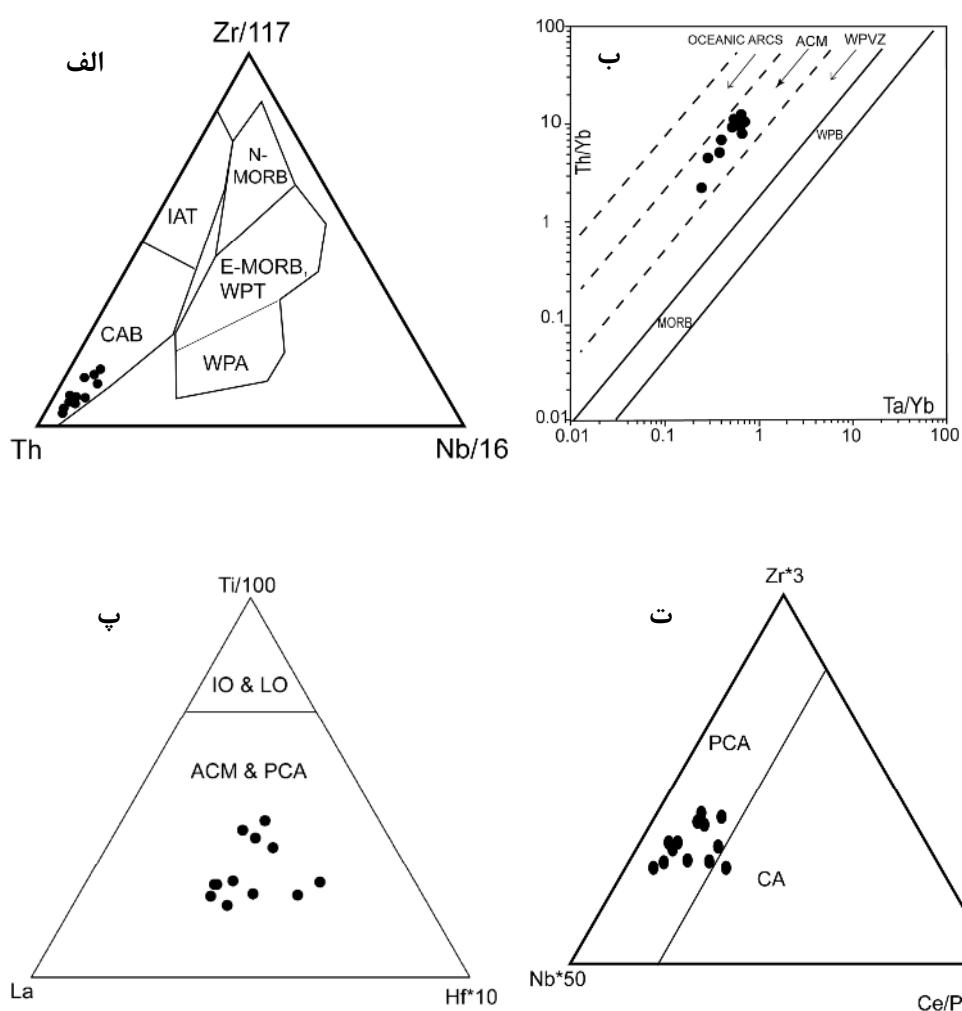
نمودار عنکبوتی استفاده شده برای نمایش الگوی عناصر نادر خاکی برای نمونه‌های منطقه که نسبت به کندریت [۱۴] عادی سازی شده‌اند نشان می‌دهد که عناصر نادر خاکی سبک نسبت به عناصر خاکی سنگین دارای غنی‌شدگی بوده  $(\text{Ce}/\text{Yb})\text{N}=6.33-26.49$  و الگوی جدایشی را نشان می‌دهد (شکل ۹).



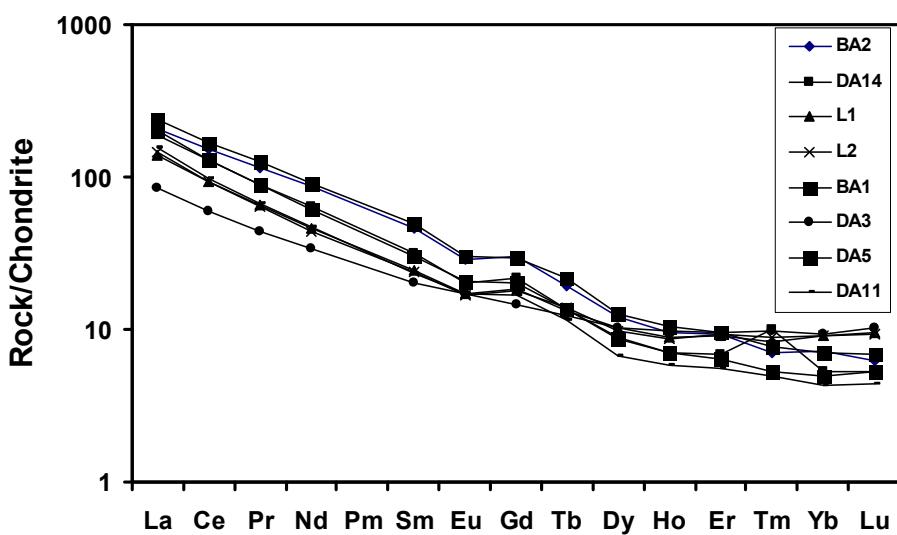
شکل ۷ نمودارهای  $\text{Cr}/\text{Ni}$  نسبت به  $\text{TiO}_2$ ،  $\text{Mg} \# (\text{MgO}/(\text{MgO}+\text{FeO}))$  نسبت به  $\text{Cr}/\text{Ni}$ ،  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{Sr}$  نسبت به  $\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}$  و  $\text{K}/\text{Rb}$  نسبت به  $\text{SiO}_2/\text{MgO} \times 100$  برای جدا کردن گستره آداکیت‌های پر سیلیس و کم سیلیس [۱۳].

آداکیتها را بر اساس ویژگی‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیائی به دو گروه آداکیت‌های پرسیلیس و کم سیلیس تقسیم‌بندی می‌کنند که این دو گروه دارای خاستگاه متفاوتی هستند. آداکیت‌های پرسیلیس دارای مقادیر استرانسیوم کمتر از  $1100 \text{ ppm}$  ( $\text{Sr}<1100 \text{ ppm}$ ) و مقادیر  $\text{MgO}$  بین  $4-5 \text{ wt\%}$  درصد وزنی، مجموع اکسیدهای سدیم و پتاسیم کمتر از  $11 \text{ ppm}$  درصد وزنی ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}<11 \text{ wt\%}$ ) هستند. در صورتی که آداکیت‌های کم سیلیس دارای مقادیر  $\text{MgO}$  بین  $4-9 \text{ wt\%}$  درصد وزنی، استرانسیوم بیشتر از  $1000 \text{ ppm}$  و نیز مجموع اکسیدهای سدیم و پتاسیم بیشتر از  $10 \text{ wt\%}$  درصد وزنی است [۱۳]. خاستگاه آداکیت‌های پرسیلیس را به ذوب صفحه‌ی بازالتی فرورونده نسبت می‌دهند که می‌تواند با گوهی گوشته‌ای در طول صعود ماگما واکنش دهد ولی خاستگاه آداکیت‌های کم سیلیس را به ذوب گوهی گوشته‌ی پریدوتیتی که ترکیب آن مورد تاثیر فلزیک آبگون صفحه‌ی فرورونده قرار گرفته است وابسته می‌دانند [۱۳].

تمام ویژگی‌های ژئوشیمیائی نمونه‌های منطقه  $(\text{Sr}<1100 \text{ ppm}, \text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}<11 \text{ wt\%}, \text{MgO} =$



شکل ۸ نمودارهای مختلف برای تعیین محیط زمین‌ساختی نمونه‌های منطقه که نشان می‌دهد تمامی سری‌های سنگی منطقه که در محیط‌های پیرامونی فعال قاره‌ای و پس از تصادم قرار می‌گیرد [۱۶].

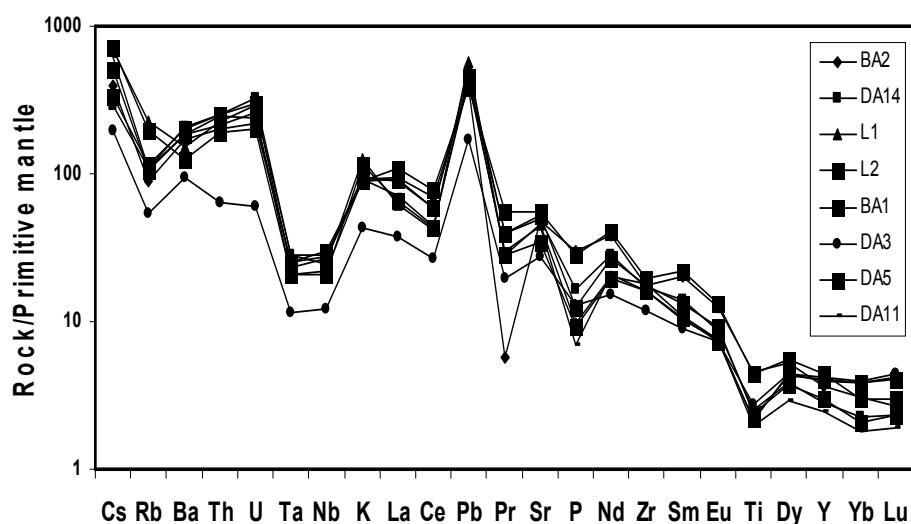


شکل ۹ نمودار عنکبوتی برای عناصر نادر خاکی که داده‌ها نسبت به کندریت عادی سازی شده و برای اینکار از داده‌های [۱۴] استفاده شده است.

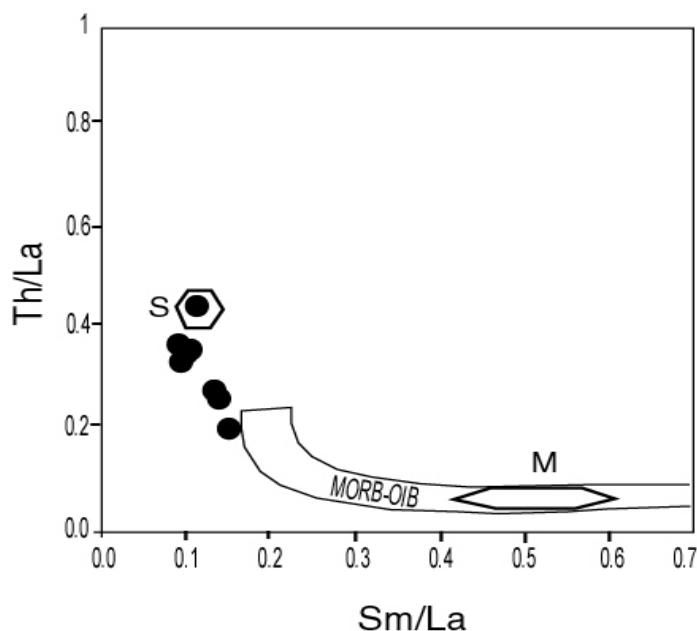
از نمودار Sm/La نسبت به Th/La [۱۷] برای تعیین تاثیر اجزای مختلف در خاستگاه این سنگ‌ها استفاده شده است. موقعیت نمونه‌های منطقه در این نمودار، نشانگر قرارگیری آن‌ها در گستره‌ی بین MORB و رسوپ‌های (S) است که می‌تواند دلیل بر ذوب بخشی ناشی از پوسته اقیانوسی با ویژگی MORB و آمیختگی همراه با مواد پوسته‌ای باشد (شکل ۱۱). استفاده از نمودار Th/Ce نسبت به Th برای تعیین خاستگاه آداکیت‌ها نشان می‌دهد که آداکیت‌های منطقه از نوع آداکیت-های پس از تصادم محسوب می‌شوند و از ذوب صفحه‌ی اقیانوسی فرورونده به وجود آمده‌اند (شکل ۱۲).

خاستگاه ماقمای تشکیل دهنده‌ی آداکیت‌های منطقه بررسی‌ها نشان می‌دهد که ذوب بخشی سنگ‌های آذرین متابالیتی در رخساره‌ی گارنت - آمفیبولیت تا اکلوزیت، در پوسته‌ی ضخیم شده و یا در پوسته‌ی اقیانوسی فرورفته می‌تواند آبگون با ویژگی‌های ژئوشیمیائی آداکیت‌ها تولید کند [۳-۱۹]. تشابه نزدیک آداکیت‌ها با فراورده‌های آبگون مافیک [۲۰، ۲۱] و این حقیقت که آداکیت‌ها در مقیاس جهانی در صفحات جوان (Ma 10-25 < ۲۲)، گرم [۲۲] وابسته به فروزانش مسطح و یا در ارتباط با فروزانش تیغه‌های میان اقیانوسی هستند [۲۳] منجر به این باور شده که این سنگ‌ها حاصل ذوب ورقه اقیانوسی فرورونده هستند که در گستره‌ی فشار و دمای محدودی حاصل شده‌اند [۱۷، ۲۴]. تولید آداکیت‌ها از مواد پوسته‌ای نیازمند شرایط گرمایی غیر عادی است [۲۴] در

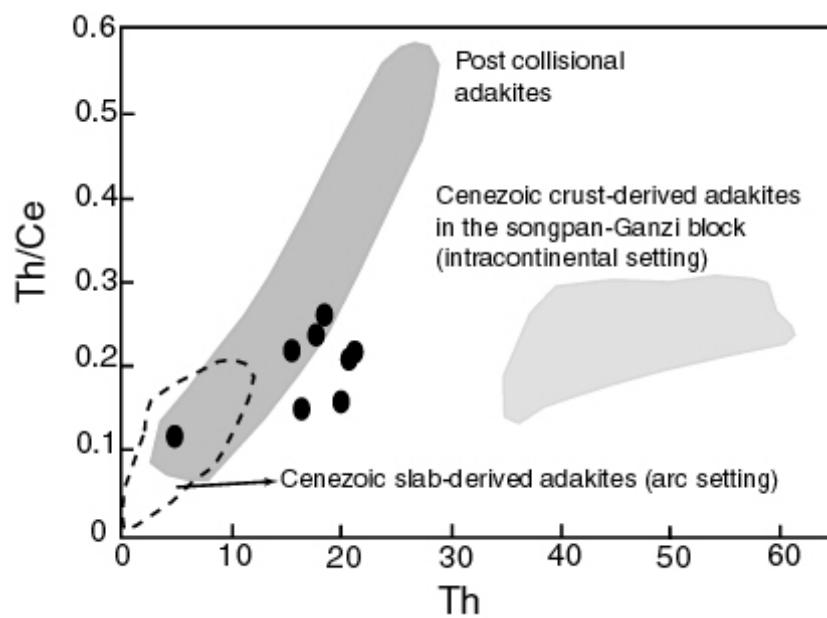
استفاده از نمودار عناصر چند عنصری برای عناصر ناسازگار نمونه‌های وابسته که نسبت به گوشه‌ی اولیه عادی سازی شده است نشان می‌دهد که نمونه‌های یادشده غنی شدگی مشخصی از عناصر لیتوفیل با شعاع یونی بزرگ (LILEs) مانند روبیدیم، باریم، توریم، اورانیم، پتاسیم و عناصر نادر خاکی سبک نسبت به عناصر با میدان پایداری قوی (HFSEs) مانند تانتالیم، نیوبیم، تیتانیم، زیرکن، هافنیم، ایریتیم و عناصر نادر خاکی سنگین دارند (شکل ۱۰). همچنین نمونه‌های بررسی شده بی‌هنجاري منفی از عناصری چون Ta, Nb, Ti نشان می‌دهد. بی‌هنجاري منفی تانتالیم و نیوبیم مشابه سنگ‌های وابسته به مناطق فروزانش حاشیه‌ی فعال قاره‌ای است، جایی که خاستگاه گوشه‌ای با مواد فرو رونده‌ی غنی شده از عناصر لیتوفیل دارای شعاع یونی بزرگ دگرنهاد شده است [۱۵]. همچنین بالا بودن نسبت Ba/Nb نمونه‌های سنگی منطقه (۶۱-۷۱) و بالا بودن نسبت Ba/Ta (۱۰۹۱-۱۲۱۲) نشانگر اجزای فروزانشی مشخص در ماقمای تشکیل دهنده‌ی سنگ‌های منطقه است. الگوی شدید جدایش از REEs و نیز مقادیر پایین HREEs و Y ممکن است به دلیل وجود گارنت و یا آمفیبول در تفاله‌ی باقیمانده باشد. همچنین مقادیر بالای استرانسیم نشانگر عدم حضور پلاژیوکلاز و بهنجاری منفی تانتالیم، نیوبیوم و تیتانیم می‌تواند نشانگر حضور اکسیدهای آهن و تیتان در تفاله باشد [۱۷].



شکل ۱۰ نمودار چند عنصری عادی سازی شده به گوشه‌ی اولیه برای بررسی رفتار عناصر ناسازگار که داده‌های استفاده شده برای تمامی عناصر از [۲۸] است.



شکل ۱۱ دیاگرام  $\text{Th/La}$  در مقابل  $\text{Sm/La}$  جهت تعیین منشا نمونه‌های منطقه [۱۸].



شکل ۱۲ دیاگرام  $\text{Th/Ce}$  در مقابل  $\text{Th}$  جهت تعیین منشا نمونه‌های منطقه [۱۹].

بسا تصادمی [۳۲۵] یافت می‌شوند. [۱۳] عنوان کردند که آدکیت‌های با سیلیس بالا نشان دهنده‌ی ذوب سنگ‌های مافیک صفحه‌ی فرورونده هستند در حالی که آدکیت‌های کم سیلیس در اثر ذوب تیغه‌ی گوشته‌ی پریدوتیتی که ترکیب آن در اثر واکنش با آبغون حاصل از ذوب صفحه‌ی فرورونده تغییر

صورتی که ذوب بخشی پروتولیت مافیک فقط در شرایط رخساره‌ی گارنت-آمفیبول-اکلوژیت و در حداقل فشار ۲۰-۱۵ کیلوبار و دمای ۹۰۰-۷۰۰ درجه رخ می‌دهد [۱۷]. گزارشات اخیر در مورد آدکیت‌ها نشان می‌دهد که آن‌ها محدود به مناطق فرورانشی فعال نیستند و در محیط‌های تصادمی جوان و

پدیده‌ی گسیخته شدن صفحه‌ی اقیانوسی پس از خاتمه فرورانش و ذوب بخشی این صفحه موجب تولید ماگماتیسم آدکیتی منطقه شمال‌غرب مرند شده است. این مدل در سال-های اخیر توسط محققین مختلف در مورد زنگ‌های حین و پس از تصادم ارومیه دختر و شرق ترکیه پذیرفته شده است. با این وجود، با توجه به فاصله‌ی زمانی پایان فرورانش یعنی کرتاسه‌ی فوکانی و سن این سنگ‌ها که به میوسن فوقانی وابسته است، نظرهای ابراز شده از سوی برخی از پژوهشگران در مورد خاتمه فرورانش [۲۷، ۲۸] و تصادم در زمان سنوزئیک می‌تواند مورد توجه قرار گیرد و توجه به جدایش ژئوشیمیائی و سن سنگ‌های آتش‌فشانی سنوزئیک در ارائه مدل‌های فرآگیر در جهت روش‌شندن این فرایندها کمک خواهد کرد. بالا بودن مقادیر باریم (۱۴۵۵-۶۶۳) و پتاسیم (۱/۲۸-۳/۷۷) و روبیدیم (۱۴۴/۵-۳۴/۱) باید در اثر آغشتگی ماگما با مواد پوسته‌ای در طول صعود ماگما باشدند.

#### برداشت

۱- در شمال‌غرب مرند سنگ‌های آتش‌فشانی با ترکیب حدواتط و اسیدی و ماهیت آهکی-قلیایی از داخل سنگ‌های آذرآواری بیرون ریخته که گسترش وسیعی داشته و در کنار مجموعه‌ی جوانتر با ترکیب قلیایی قرار گرفته اند.

۲- داده‌های ژئوشیمیائی نشان می‌دهند که این سنگ‌ها ویژگی‌های سنگ‌های آدکیتی پرسیلیس را دارند که این نوع آدکیت‌ها نشانگر ذوب سنگ‌های مافیک صفحه‌ی فرورونده هستند.

۳- در مورد نحوه‌ی تشکیل این سنگ‌ها می‌توان گفت که گسیخته شدن صفحه‌ی اقیانوسی پس از فرورانش و ذوب این صفحه موجب تولید ماگماتیسم آدکیتی منطقه‌ی شمال‌غرب مرند شده است.

۴- بالا بودن مقادیر باریم، توریوم و روبیدیم در اثر آغشتگی ماگما با مواد پوسته‌ای در طول صعود ماگما نیست.

یافته، حاصل شده است. لذا با در نظر گرفتن ویژگی‌های آدکیت‌های منطقه می‌توان گفت که این آدکیت‌ها همانند آدکیت‌های پرسیلیس از ذوب صفحه‌ی بازالتی فرورونده به وجود آمده‌اند.

آدکیت‌های تولید شده از ذوب پوسته‌ی زیرین از پتاسیم غنی هستند و با مقادیر بسیار بالای عناصر ناسازگاری چون باریم، روبیدیم و توریوم مشخص می‌شوند [۱۹]. با در نظر گرفتن مقادیر بالای Sr در سنگ‌های منطقه و عدم وجود بهنجاری منفی مشخص، می‌توان گفت که پلاژیوکلاز در مواد خاستگاه این سنگ‌ها حضور نداشته و نیز تهی شدگی Nb و Ti در این سنگ‌ها نشان دهنده حضور روتیل و یا آمفیبول در پسمانده‌ی خاستگاه و احتمالاً خاستگاه گارنت-آمفیبولیت و یا آمفیبول-اکلوژیت این سنگ‌ها دارد. وجود این خاستگاه گارنت‌دار نشان می‌دهد که دو راهکار ممکن برای تولید آدکیت‌های شمال‌غرب ایران وجود دارد:

۱- ذوب بخشی پوسته‌ی زیرین ضخیم شده و ۲- ذوب صفحه اقیانوسی فرورونده پس از خاتمه فرورانش [۹].

ضخامت پوسته در منطقه‌ی شمال‌غرب ایران و منطقه‌ی مورد بررسی در حدود ۴۰-۴۵ کیلومتر است [۲۶]. که این عمق برای تبدیل به رخساره‌ی گارنت-آمفیبولیت و آمفیبول-اکلوژیت کافی نیست. با در نظر گرفتن این شرایط می‌توان گفت که ماگما‌ی آدکیتی منطقه‌ی گله بان همانند آدکیت‌های شمال‌غرب ایران [۹] از ذوب صفحه‌ی اقیانوسی فرورونده نئوتیس که می‌توانست شرایط تشکیل رخساره‌ی گارنت-آمفیبولیت و یا آمفیبول-اکلوژیت را فراهم آورد، به وجود آمده است. همچنین با در نظر گرفتن زمان پایان فرورانش که در کرتاسه‌ی پایانی بوده و سن سنگ‌های منطقه‌ی (میوسن بالایی تا پلیوسن) و نیز ماگماتیسم غنی شده بسا تصادم با ماهیت آلکالن سدیک، پتاسیک و اولتراتاسیک در کنار این سنگ‌ها و نیز گزارشات فراوان از ماگماتیسم غنی شده بسا از تصادم مشابه شرق آناتولی به سن پلیو کواترنر، می‌توان گفت

- geodynamic implications". Journal of Asian Earth Sciences* 30, 2007. 433–447.
- [10] Ahmadzadeh G.R., "Petrological Studies of Volcanic Rocks in NW of Marand spatially alkaline rocks. Unpublished P.H.D thesis", University of Tabriz, 2010. 247pp, (in Persian).
- [11] LeBas M.J., Le Maitre R.W., Streckeisen A., Zanettin B., "A chemical classification of volcanic rocks on the total alkali-silica diagram", *J. Petrol.* 27, 745–750.
- [12] MacLean W.H., Barrett T.J., "Lithochemical techniques using immobile elements", *Journal of Geochemical Exploration* 48, 1993. 109–133.
- [13] Martin H., Smithies R.H., Rapp R., Moyen J.-F., Champion D., "An overview of adakite, tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG), and sanukitoid: relationships and some implications for crustal evolution", *Lithos* 79, 2005. 1–24.
- [14] Boynton W.V., "Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson", P. (Ed.), Rare Earth Element Geochemistry. Elsevier, 1984. pp. 63–114.
- [15] Pearce J.A., "Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active 594 continental margins. In: C.J. Hawkesworth & M.J., Norry, eds. Continental 595 Basalts and Mantle Xenoliths. Shiva Press", Nantwich, U.K., 1983. pp 230-249.
- [16] Muller D., Rock N.M.S., Groves D.I., "Geochemical discrimination between shoshonitic and potassic volcanic rocks from different tectonic setting: a pilot study", *Mineralogy and Petrology* 46, 1992. 259-289.
- [17] Martin H., "Adakitic magmas: modern analogues of Archaean granitoids", *Lithos* 46, 1999. 411–429.
- [18] Plank T., "Constraints from Thorium/Lanthanum on sediment recycling at subduction zones and the evolution of the continents", *Journal of Petrology* 46, 2005. 921–944.
- [19] Wang Q., Wyman D.A., Xu J.F., Wan Y.S., Li C.F., Zi F., Jiang Z.Q., Qiu H.N., Chu Z.Y., Zhao Z.H., Dong Y.H., "Triassic Nb-enriched basalts, magnesian andesites, and adakites of the Qiangtang terrane (Central Tibet): evidence for metasomatism by slabderived melts in the mantle

۵ - پدیده‌ی گسیختگی با بالا آمدن گوشه‌ی استنسفری، دگرنهادی گوشه‌ی زیر پوسته قاره‌ای و تولید مagma‌ی سدیک و پتاسیک قلایی همراه بوده است که با تشکیل magma‌ی آدکیتی در منطقه گزارش شده است.

#### مراجع

- [1] Denfant M.J., Drummond M.S., "Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere". *Nature* 347 1990 662–665.
- [2] Wang Q., McDermott F., Xu J.F., Bellon H., Zhu Y.T., "Cenozoic K-rich adakitic volcanic rocks in the Hohxil area, northern Tibet: lower-crustal melting in an intracontinental setting". *Geology* 33, 2005. 465–468.
- [3] Guo Z., Wilson M., Liu J., "Post-collisional adakites in south Tibet: products of partial melting of subduction-modified lower crust.", *Lithos* 96, 2007. 205–224.
- [4] Grove T. L., Baker M.B., Price R.C., Parman S.W., Elkins-Tanton L.T., Chatterjee N., Müntener O., "Magnesian andesite and dacite lavas from Mt. Shasta, northern California: products of fractional crystallization of H<sub>2</sub>O-rich mantle melts", Contributions to Mineralogy and Petrology, v. 148, 2005, p. 542-565.
- [5] Green N.L., Harry D.L., "On the relationship between subducted slab age and arc basalt petrogenesis, Cascadia subduction system", North America: Earth and Planetary Science Letters, v. 171, 1999, p.367-381.
- [6] Alavi M., "Regional stratigraphy of the Zagros folded-thrust belt of Iran and its proforeland evolution.", *Am. J. Sci.* 304, 2004. 1–20.
- [7] Ahmadzadeh G.R., "Petrographical and Petrological Studies of Volcanic Rocks in NW of Marand (north of Galleban)". Unpublished M.Sc. thesis, University of Tabriz, 2002. 114pp, (in Persian).
- [8] Omrani J., et al., "Arc-magmatism and subduction history beneath the Zagros Mountains", Iran: A new report of adakites and geodynamic consequences, *Lithos* (2008), doi:10.1016/j.lithos.2008.09.008
- [9] Jahangiri A., "Post-collisional Miocene adakitic volcanism in NW Iran: geochemical and

- [25] Xu J.F., Shinjio R., Defant M.J., Wang Q., Rapp R.P., "Origin of Mesozoic adakitic intrusive rocks in the Ningzhen area of east China: partial melting of delaminated lower continental crust", *Geology* 12, 2002. 1111–1114.
- [26] Dehghani G.A., Makris J., "The gravity field and crustal structure of Iran, N. *Jb. Geol. Palaeont.*" Abh., 168, 1984. 215–229.
- [27] Nicolas A., "Structures in Ophiolites and Dynamics of Oceanic Lithosphere. Kluwer", Dordrecht. 1989. 367 pp.
- [28] Searle M.P., Cox J., "Tectonic setting, origin and obduction of the Oman ophiolite. Geological Society of America Bulletin", 111, 1999. 104–122.
- [29] Sun S.-s., McDonough W.F., "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes", In: Saunders, A.D., Norry, M.J. (Eds.), *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society, London, pp. 313–345.
- wedge", *Contributions to Mineralogy and Petrology* 155, 2008. 473–490.
- [20] Rapp R.P., Watson E.B., "Dehydration melting of metabasalt at 8–32 kbar: implications for continental growth and crust–mantle recycling", *Journal of Petrology* 36, 1995. 891–931.
- [21] Klemme S., Blundy J.D., Wood B.J., "Experimental constraints on major and trace element partitioning during partial melting of eclogite", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 66, 2002. 3109–3123.
- [22] Sorensen S.S., Barton M.D., "Metasomatism and partial melting in a subduction complex Catalina schist", southern California. *Geology* 15, 1987. 115–118.
- [23] Kay S.M., Gody E., Kurtz A., "Episodic arc migration, crustal thickening, subduction erosion and magmatism in the south-central Andes", *Geological Society of America Bulletin* 117, 2005. 67–88.
- [24] Peacock S.M., Rushmer T., Thompson A.B., "Partial melting of subducting oceanic crust: Earth and Planetary Science Letters", v. 121, 1994, p. 227-244.