

تحولات پتروژنتیک در توالی‌های ماگماتیکی ژوراسیک نواحی حسین‌آباد - حاجی‌آباد در کمربند سنندج - سیرجان (جنوب ایران)

ایمان منصف^{۱*}، محمد رهگشای^۱ و هوبرت وایت چرچ^۲

^۱ دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۲ انستیتو زمین‌شناسی، دانشگاه لویی پاستور، استراسبورگ، فرانسه

چکیده

توالی‌های ماگمایی ژوراسیک در جنوبی‌ترین بخش کمربند سنندج - سیرجان، تحولات پتروژنتیکی منحصر به فردی را در طی تکامل ترکیبی خود نشان می‌دهند. این توالی‌های ماگمایی در منطقه حسین‌آباد به سن ژوراسیک زیرین تا میانی و در منطقه حاجی‌آباد به سن ژوراسیک بالایی تا کرتاسه زیرین رخمون پیدا کرده‌اند. ماگمای مادر توالی اول در منطقه حسین‌آباد، با سرشت تولییت جزایر قوسی (IAT)، از یک منشأ گوشته‌ای اسپینل لرزولیت با ترکیب گوشته اولیه (PM) حاصل شده‌اند. این منشأ گوشته‌ای تحت تأثیر سیالات و رسوبات حاصل از ورقه فرورانش قرار گرفته است. ماگمای مادر توالی دوم در منطقه حاجی‌آباد، با سرشت تولییت جزایر قوسی تا تحولی، از یک منشأ گوشته‌ای گارنت - اسپینل لرزولیت با ترکیب مورب غنی شده (E-MORB) حاصل شده است. این تغییرات ترکیبی می‌تواند با اهمیت تأثیر رسوبات و سیالات، در اعماق بیشتر ورقه فرورانش، به درون گوه گوشته‌ای مرتبط باشد. این توالی‌های ماگمایی می‌توانند در نتیجه فرورانش لیتوسفر اقیانوسی نئوتتیس به زیر پهنه سنندج - سیرجان، از زمان ژوراسیک زیرین تا کرتاسه زیرین، در محیط جزایر کمانی تشکیل یافته باشند.

واژه‌های کلیدی: توالی‌های ماگماتیک، جزایر کمانی، حاجی‌آباد - حسین‌آباد، کمربند سنندج - سیرجان، نئوتتیس

مقدمه

در اواخر دوره پرمین، به دنبال حرکت رو به شمال بلوک ایران مرکزی و برخورد آن با صفحه اوراسیا، اقیانوس پالئوتتیس در شمال شروع به بسته شدن نمود (Berberian and King, 1981). تقریباً در طول همان زمان، در پی بسته شدن اقیانوس پالئوتتیس در شمال،

اقیانوس جدیدی با عنوان نئوتتیس در جنوب، در بین دو بلوک عربی و ایران مرکزی، شروع به باز شدن نمود. رسوبات تریاس بالا- ژوراسیک، که در امتداد حاشیه فعال ایران مرکزی و حاشیه غیر فعال قاره‌ای پلیت عربی یا زاگرس ته‌نشست شده‌اند، اولین شواهد رسوبی یک محیط اقیانوسی حقیقی هستند (Berberian and

(King, 1981). در طی زمان تریاس بالایی - ژوراسیک زیرین فرورانش اقیانوس نئوتتیس به زیر بلوک ایران مرکزی، در امتداد حاشیه فعال آن، شروع شده است (Berberian and King, 1981; Davoudzadeh *et al.*, 1981). وجود سنگ‌های ماگمایی در امتداد پهنه - سنندج - سیرجان جنوبی به سن ژوراسیک زیرین - میانی در منطقه حسین‌آباد و ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین در ناحیه حاجی‌آباد، شواهدی از فرورانش اقیانوس نئوتتیس در این پهنه در دوران مزوزوییک هستند. زمان بسته شدن اقیانوس نئوتتیس مورد بحث‌های زیادی بوده، نظریه‌های متعددی درباره آن ارائه شده است، برخی محققان بسته شدن نهایی آن را در طی کرتاسه پایانی - پالئوسن می‌دانند (Stocklin, 1974, 1977; Berberian and King, 1981). در مقابل، طبق نظر برخی دیگر از زمین‌شناسان، بسته شدن نئوتتیس در زمان ائوسن (Agard *et al.*, 1987; Braud, 2005) و یا حتی میوسن، صورت گرفته است (Dewey *et al.*, 1973; Forster, 1976; Sengor, 1979; Berberian and Berberian, 1981; Jackson *et al.*, 1995; Allen *et al.*, 2004). پهنه سنندج - سیرجان توسط گسل اصلی و معکوس زاگرس از کمر بند چین‌خورده زاگرس جدا می‌شود و فرآیندهای مختلف ماگمایی و دگرگونی را در طی دوران‌های مختلف متحمل شده است (Agard *et al.*, 2005). این پهنه در دوران پالئوزوییک به صورت یک کمر بند متحرک و باریک درون کراتونی عمل نموده، در حالی که در دوران مزوزوییک به صورت یک حاشیه فعال عمل کرده است. وجود سنگ‌های ولکانیکی و توده‌های نفوذی نشان‌دهنده فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس به زیر این پهنه در امتداد حاشیه فعال آن است. وجود ماگماتیسم نوع کمانی در پهنه سنندج - سیرجان (از تریاس بالایی تا کرتاسه) با حضور توف‌ها و جریان‌های گدازه‌ای به سن تریاس بالایی در نواحی‌آباد و اقلید،

حضور توف‌ها و جریان‌های گدازه آتشفشانی به سن ژوراسیک زیرین - کرتاسه زیرین در نواحی سیرجان، حاجی‌آباد، اسفندقه، ارزویه، خبر، باغات، بروجرد و ده‌بید، حضور توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی به سن اواخر تریاس تا ژوراسیک و توف‌ها و جریان‌های گدازه‌ای به سن کرتاسه در مناطق چالقان، هوشک و دشت‌ور مشخص می‌شود (Dimitrijevic, 1973; Berberian and Nogol, 1974; Sabzehi, 1974, 1994; Taraz, 1974; Alric and Virlogeux, 1977). با توجه به اینکه مقایسه تحولات پتروژنتیکی سنگ‌های ماگمایی ژوراسیک زیرین - میانی با سنگ‌های ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین تاکنون در پهنه سنندج - سیرجان جنوبی مورد مطالعه سیستماتیک قرار نگرفته، نتایج این تحقیق می‌تواند در شناخت الگوی ژئودینامیک اقیانوس نئوتتیس در زمان ژوراسیک و اولین نشانه‌های شروع فرورانش آن در زیر پهنه سنندج - سیرجان دارای اهمیت باشد. اهداف این مطالعه شامل بررسی‌های صحرایی و پتروگرافی برای سنگ‌شناسی این توالی‌های ماگمایی، استفاده از ژئوشیمی عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی در تعیین محیط ژنتیکی این سنگ‌ها، به‌کارگیری شیمی کانی‌ها در تعیین نوع کانی‌های اصلی و محیط تشکیل‌دهنده این سنگ‌ها و در نهایت، پی بردن به تحولات پتروژنتیکی این توالی‌های ماگمایی در طی زمان ژوراسیک تا کرتاسه است.

روش انجام پژوهش

برای تعیین میزان اکسید عناصر اصلی و همینطور عناصر کمیاب و نادر خاکی، از نمونه‌های سنگی که کمتر دگرسانی نشان می‌دادند، استفاده شده است. نمونه‌های انتخاب شده توسط سنگ شکن آگات پودر شده و آنالیز ژئوشیمیایی شده‌اند. آنالیز عناصر اصلی و برخی از عناصر فرعی توسط

دستگاه ICP-AES و آنالیزهای عناصر کمیاب و انیستیتو زمین‌شناسی دانشگاه استراسبورگ
نادر خاکی با استفاده از دستگاه ICP-MS در فرانسه صورت پذیرفته است (جدول ۱).

جدول ۱- آنالیز ژئوشیمیایی کل سنگ نمونه‌های ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد (نمونه‌های با پسوند H07) و ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد (نمونه‌های با پسوند HG07)

	Hbl	Qtz	Qtz		Andesitic	Andesitic							Andesit
Rock Name	Gabbro	Diorite	Diorite	Basalt	basalt	basalt	Andesite	Andesite	Andesite	Dacite	Dacite	Dacite ic basalt	
Sample No.	H07-6	H07-7	H07-1	H07-14	HG07-14	HG07-6	HG07-11	HG07-1	HG07-13	HG07-10	HG07-7	HG07-12	HG07-6
(wt%)													
SiO ₂	45.10	50.30	54.20	45.10	50.30	50.30	48.50	50.50	51.00	61.20	61.40	64.30	50.30
Al ₂ O ₃	16.65	18.90	16.80	17.90	13.40	12.20	12.60	14.70	13.40	15.50	15.20	10.90	12.20
FeO ^{total}	11.55	7.96	8.65	10.80	9.00	7.80	12.20	11.90	10.80	6.20	5.80	4.40	7.80
CaO	12.70	10.45	8.41	9.40	11.50	15.7	11.50	6.80	10.80	3.40	3.80	5.70	15.7
MgO	8.58	5.88	5.07	6.96	3.90	1.30	2.80	6.70	3.00	0.80	0.70	3.50	1.30
Na ₂ O	1.14	2.07	2.34	3.04	5.81	6.42	5.60	5.00	6.14	8.62	8.65	3.44	6.42
K ₂ O	0.39	0.68	0.56	0.36	0.39	0.19	0.52	0.24	0.42	0.34	0.24	0.68	0.19
TiO ₂	0.71	0.51	0.55	0.68	1.19	0.79	1.27	1.90	1.27	1.01	0.99	0.53	0.79
MnO	0.21	0.15	0.16	0.17	0.118	0.377	0.12	0.13	0.10	0.06	0.06	0.09	0.377
P ₂ O ₅	0.01	0.02	0.03	0.12	0.30	0.10	0.30	0.40	0.30	0.40	0.30	0.10	0.10
LOI	2.87	2.78	2.99	4.71	4.44	2.83	2.88	2.25	2.27	2.03	2.31	5.45	2.83
Total	100.00	99.70	99.80	99.30	100.35	98.03	98.42	100.56	99.51	99.64	99.60	99.08	98.03
(ppm)													
Ba	78.1	172	160	138	50	40	81	36	58	31	23	77	40
Ce	4	5.8	6.7	10.4	19.5	26.1	20.4	33.3	21.0	25.4	29.4	33.1	26.1
Co	47.3	41.2	36	36.4	27.5	14.0	22.9	32.5	26.3	6.8	4.5	13.8	14.0
Cs	0.12	0.56	0.49	0.93	0.8	-	0.9	-	0.7	-	-	2.1	-
Cu	108	25	58	110	35.5	27.1	41.3	38.9	29.0	20.0	21.6	30.6	27.1
Dy	2.64	2.51	2.76	3.54	3.75	3.28	4.45	6.36	4.11	5.25	5.59	2.89	3.28
Er	1.61	1.65	1.79	2.29	2.13	1.86	2.33	3.67	2.25	3.25	3.32	1.61	1.86
Eu	0.54	0.56	0.56	0.81	0.93	0.96	1.36	1.44	1.09	0.86	1.00	0.76	0.96
Gd	1.77	1.74	2	2.72	2.9	2.8	3.5	4.5	3.2	3.4	3.7	2.7	2.8
Hf	0.4	1	1.1	1.2	2.07	1.92	1.78	4.74	2.21	5.53	5.47	4.10	1.92
Ho	0.56	0.51	0.61	0.82	0.833	0.701	0.921	1.39	0.883	1.19	1.23	0.605	0.701
La	2	2.5	3	4.3	10.2	13.7	10.6	13.7	10.5	11.9	13.9	17.3	13.7
Lu	0.21	0.24	0.28	0.35	0.294	0.287	0.322	0.531	0.310	0.521	0.529	0.259	0.287
Nb	0.3	0.5	0.7	0.7	7	4	7	09	7	10	10	5	4
Nd	3.1	4.2	4.6	7.2	13.2	16.3	15.3	25.7	14.5	15.6	16.9	16.9	16.3
Ni	56	35	51	26	71	51	81	71	71	30	10	119	51
Pb	<5	<5	<5	<5	16	27	16	17	15	26	8	12	27
Pr	0.62	0.87	0.94	1.46	2.87	3.44	3.05	4.75	3.06	3.32	3.83	4.06	3.44
Rb	8	15.8	12.9	8.7	10	3	20	1	11	4	3	23	3
Sm	1.24	1.28	1.52	2.21	3	3	4	5	3	3	4	3	3
Sr	160.5	151.5	142.5	244	327	189	324	218	343	72	70	176	189
Ta	0.1	0.2	0.2	0.1	0.53	0.26	0.45	0.60	0.55	0.76	0.76	0.49	0.26
Tb	0.34	0.33	0.34	0.53	0.527	0.483	0.638	0.849	0.587	0.672	0.740	0.435	0.483
Th	0.27	0.74	0.63	0.94	0.6	1.1	0.7	2.0	0.8	6.4	6.5	6.6	1.1
Tm	0.2	0.22	0.27	0.33	0.345	0.300	0.366	0.616	0.363	0.574	0.589	0.276	0.300
U	0.07	0.21	0.2	0.27	0.18	0.27	0.24	0.50	0.23	1.60	1.57	1.33	0.27
V	381	214	224	342	140	108	245	232	175	61	57	87	108
Y	13	13.2	15.2	19.6	24.0	21.0	25.0	35.9	24.4	31.3	33.1	16.7	21.0
Yb	1.43	1.65	1.88	2.24	2.07	1.88	2.19	3.62	2.12	3.59	3.53	1.71	1.88
Zn	88	64	78	93	87	53	619	70	71	43	41	66	53
Zr	8	29	35	34	90	77	78	208	95	234	232	162	77
Ti	4255	3056	3296	4075	7161	4714	7604	11388	7620	6054	5911	3161	4714
K	3237	5645	4648	2988	3208	1577	4356	1992	3486	2814	1971	5620	1577
P	43.6	87.2	130.9	523.6	1340.8	541.8	1457	1570.9	1287.2	1562.5	1386.5	488.4	541.8

به‌منظور تعیین ترکیب شیمی کانی‌های موجود در سنگ‌های ولکانیکی منطقه، از دستگاه الکترون میکروپروب (JEOL 8200) در مرکز کانی‌شناسی و ژئوشیمی دانشگاه لوزان سوییس استفاده شده است. شرایط آنالیزی شامل ولتاژ ۱۲ kV و جریان اشعه ۲۰ nA برای کانی کلینوپروکسن و آمفیبول

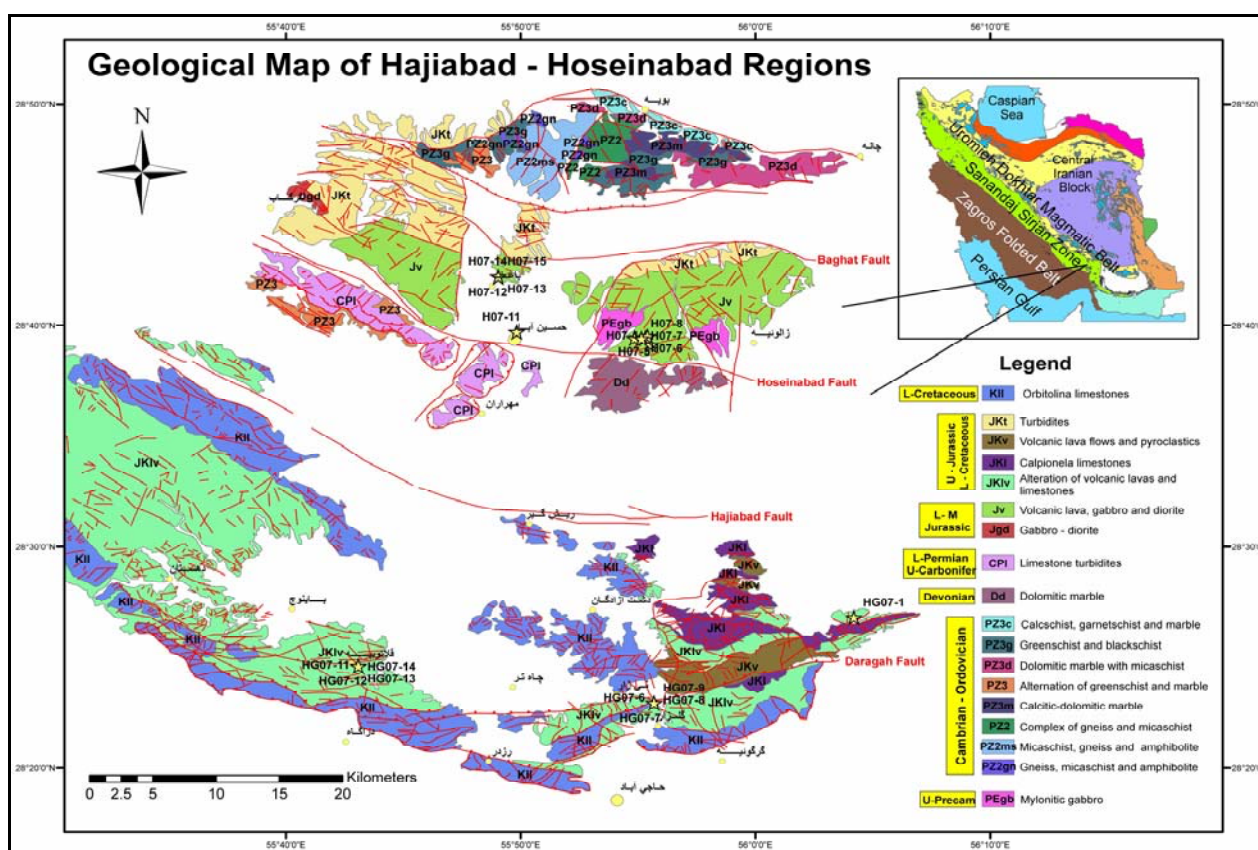
تغییر اساسی روندها توسط عملکرد گسل‌های ده‌سرد و گوشک با راستای شمال شرقی - جنوب غربی در شرق منطقه (به سمت ده‌سرد) و گسل‌های باغات، حسین‌آباد، حاجی‌آباد و درآگاه با راستای شرقی - غربی در درون محدوده حسین‌آباد - حاجی‌آباد کنترل می‌شوند.

در منطقه حسین‌آباد توالی سنگ‌های ماگمایی با سن ژوراسیک زیرین - میانی در بین طول‌های جغرافیایی $55^{\circ} 40'$ تا $56^{\circ} 00'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $28^{\circ} 28'$ تا $28^{\circ} 45'$ شمالی و در منطقه حاجی‌آباد با سن ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین در بین طول‌های جغرافیایی $55^{\circ} 30'$ تا $56^{\circ} 05'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $28^{\circ} 20'$ تا $28^{\circ} 30'$ شمالی رخنمون پیدا کرده‌اند (شکل ۱).

و ۱۰nA برای بلورهای پلاژیوکلاز با زمان‌های شمارش ۳۰ ثانیه در پیک‌هاست (جدول‌های شماره ۲، ۳ و ۴).

زمین‌شناسی منطقه

توالی سنگ‌های مناطق مورد مطالعه، با روند شرقی - غربی، وابسته به حوضه رسوبی - ماگمایی گسترده‌ای است که در پهنه ساختاری سنجندج - سیرجان جنوبی رخنمون پیدا کرده‌اند. روند عمومی شمال غربی - جنوب شرقی پهنه سنجندج - سیرجان در این محدوده به‌علت نزدیکی به زون گسلی شمالی - جنوبی زندان به سمت شرقی - غربی تمایل یافته و به پیروی از آن جهت کلی راندگی‌ها شرقی - غربی شده است. این



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی توالی سنگ‌های ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد (نمونه‌های با پسوند H07) و توالی سنگ‌های ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد (نمونه‌های با پسوند HG07). محل‌های نمونه‌برداری‌ها با علامت ستاره مشخص شده است. با تغییرات از Seiffory pour (۲۰۰۲) و Nazemzadeh و همکاران (۱۹۹۶).

سنگ آهک ماسه ای، آهک‌های اواولیتی میکرواسپاریتی و سنگ‌های ولکانیکی است که در منطقه، گسترش قابل توجهی دارند. در واحد ولکانیکی - رسوبی در بخش‌هایی که بیرون زدگی سنگ‌های ولکانیکی دارای نسبت فراوانی بوده، به صورت زیر واحد ولکانیکی ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین (JKv) و بخش‌هایی که سنگ‌های رسوبی دارای اهمیت بیشتری هستند، به عنوان زیر واحد رسوبی ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین (JKI) نامگذاری شده‌اند. زیر واحد ولکانیکی نمایشگر سنگ‌های ولکانیکی این تناوب با ترکیب بازیک، حدواسط و اسیدی است. سنگ‌های این واحد به علت فوران در محیط دریایی به درجات گوناگونی تحت تأثیر دگرسانی گرمایی قرار گرفته‌اند. زیر واحد رسوبی در برگیرنده سنگ آهک ماسه‌ای دانه‌ریز تا سنگ آهک اواولیتی میکرواسپاریتی، کمی شیل آهکی و سنگ آهک مارنی است. بر اساس شواهد دیرینه شناختی سن واحد ولکانیکی - رسوبی، ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین است (Seiffory pour, 2002). توالی ولکانیکی - رسوبی در بخش‌های بالایی با ضخیم‌تر شدن لایه‌های آهک و ناپدید شدن سنگ‌های ولکانیکی به گونه ناپیوسته به واحد سنگ آهک اربیتولین‌دار کرتاسه زیرین (آپتین-آلبین) (KII) تبدیل می‌شود (Seiffory pour, 2002).

پتروگرافی

با توجه به مطالعات پتروگرافی، سنگ‌های ماگمایی منطقه مورد مطالعه را می‌توان به دو گروه اصلی گابرو - دیوریت - بازالت ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد و بازالت - آندزیت - داسیت ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد تقسیم‌بندی نمود. در اغلب نمونه‌های منطقه حاجی‌آباد، فرآیند دگرسانی زیردریایی حاصل از عملکرد محلول‌های هیدروترمالی بر روی

(۱) زمین‌شناسی منطقه حسین‌آباد: توالی ماگمایی - توربیدیته ژوراسیک زیرین - کرتاسه زیرین منطقه حسین‌آباد توسط دو گسل حسین‌آباد در جنوب و باغات در شمال، که به طور موازی و با روندی نزدیک به شرقی - غربی امتداد دارند، احاطه شده‌اند. این توالی از دو واحد ولکانیکی - پلوتونیک ژوراسیک زیرین - میانی (Jv1) و توربیدیته ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین (JKt) تشکیل یافته است (شکل ۱). واحد پلوتونیک - ولکانیکی با سن ژوراسیک زیرین - میانی از گدازه‌های بازالتی، آندزیت بازالتی، آندزیتی و توف‌های شیشه‌ای وابسته همراه با توده‌های گابرو - دیوریت تشکیل یافته است. در این منطقه، واحد ولکانیکی - پلوتونیک اساساً با سیل‌ها و دایک‌های تغذیه‌کننده‌ای با ترکیب گابرو و دیوریت آغاز و در بالا به تدریج به مخلوطی از جریان‌های گدازه‌ای بازالتی - آندزیتی تبدیل می‌شوند. سیل‌ها و دایک‌های گابرو - دیوریتی منطقه معرف ماگمای تغذیه‌کننده این گدازه‌ها هستند. بر روی واحد ولکانیکی - پلوتونیک ژوراسیک زیرین - میانی به طور عادی واحد توربیدیته ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین نهشته شده است. از آهک‌های این واحد مجموعه فسیلی با سن ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین به دست آمده است (Nazemzadeh et al., 1996).

(۲) زمین‌شناسی منطقه حاجی‌آباد: توالی ماگمایی

- رسوبی ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد توسط دو گسل حاجی‌آباد در شمال و درآگاه در جنوب، که به طور موازی و با روندی نزدیک به شرقی - غربی امتداد دارند، احاطه شده‌اند. این توالی از دو واحد ولکانیکی - رسوبی ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین (JKIv) و سنگ آهک اربیتولین‌دار کرتاسه زیرین (KII) تشکیل یافته‌اند (شکل ۱). واحد ولکانیکی - رسوبی ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین نمایشگر تناوبی از

کانی‌های اصلی سنگ اثر گذاشته و کانی کلینوپیروکسن را به کانی‌های ثانویه ترمولیت - اکتینولیت، اپیدوت، کلریت، کلسیت و لوکوکسن و همین‌طور کانی پلاژیوکلاز را به سوسوریت دگرسان نموده است.

(الف) گروه گابرو - دیوریت - بازالت حسین‌آباد:

گروه گابرو - دیوریت - بازالت از سنگ‌های هورنبلند گابرو، کواتر دیوریت و بازالت تشکیل یافته است. هورنبلند گابروها از کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و هورنبلند تشکیل یافته است. در این سنگ‌ها بافت گرانولار قابل مشاهده است. کانی کلینوپیروکسن در هورنبلند گابرو به علت فرآیند دگرسانی زیر دریایی به کانی‌های ثانویه ترمولیت - اکتینولیت، اپیدوت و کلریت دگرسان شده است. کانی فرعی روتیل به شکل سوزن‌های ریز در متن سنگ پراکنده است.

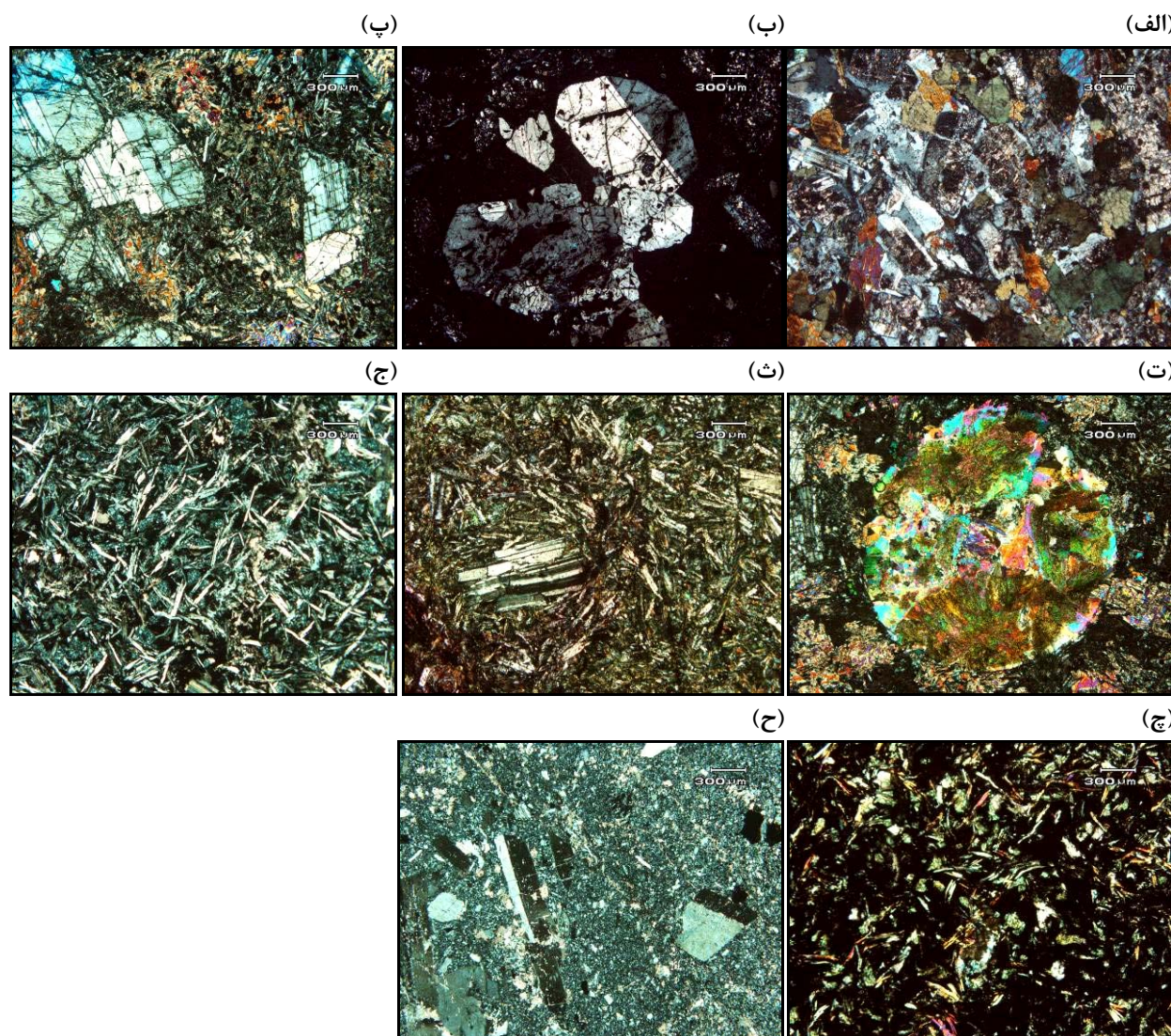
سنگ‌های کوارتز دیوریتی عمدتاً از کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز، کوارتز (کمتر از ۲۰ درصد) و هورنبلند همراه با کانی‌های فرعی اسفن و آپاتیت تشکیل یافته‌اند. بافت این سنگ‌ها گرانولار تا اینترگرانولار بوده و کانی اپیدوت به صورت ثانویه فضای میان پلاژیوکلازها را پر کرده است. پلاژیوکلازها اغلب به سوسوریت دگرسان شده‌اند (شکل ۲- الف).

سنگ‌های بازالتی، بافت پورفیریک با خمیره میکرولیتی - شیشه‌ای را نشان می‌دهند (شکل ۲- ب). فنوکریست‌ها شامل پیروکسن هستند و به صورت منفرد و تجمع‌های گلومروپورفیری مشاهده می‌شوند. خمیره از بلورهای کلینوپیروکسن تجزیه شده به هورنبلند و اکتینولیت و میکرولیت‌های ریز پلاژیوکلاز همراه با شیشه تشکیل یافته است.

(ب) گروه بازالت - آندزیت - داسیت حاجی‌آباد:

گروه بازالت - آندزیت - داسیت عمدتاً از سنگ‌های بازالت آندزیتی، آندزیت، هیالوآندزیت و داسیت تشکیل

یافته است. سنگ‌های بازالت آندزیتی بافت پورفیریک با خمیره سابافیتیک و همچنین، بافت حفره‌ای بادامکی را نشان می‌دهند (شکل ۲- پ و ۲- ت). حفره‌ها توسط کانی‌های ثانویه اپیدوت پر شده‌اند. فنوکریست‌ها شامل پلاژیوکلاز بوده که به صورت منفرد و گاه به صورت تجمعات گلومروپورفیری مشاهده می‌شوند. در برخی از نمونه‌ها پلاژیوکلازها به سوسوریت دگرسان شده‌اند. خمیره از بلورهای کلینوپیروکسن بی‌شکل و پلاژیوکلاز همراه با کانی فرعی تیتانومگنتیت تشکیل یافته است (شکل ۲- پ). در سنگ‌های آندزیتی بافت پورفیریک با خمیره میکرولیتی جریان‌ی مشاهده می‌شود (شکل ۲- ث). کانی اصلی سنگ پلاژیوکلاز بوده که فنوکریست و خمیره سنگ را به خود اختصاص داده است. پلاژیوکلازها گاه به صورت منفرد و گاه به صورت تجمعات گلومروپورفیری بوده، ترک خوردگی، شکستگی و تحلیل رفتگی از ویژگی‌های این کانی است. در بعضی از نمونه‌ها کانی‌های اپیدوت، کلریت، ترمولیت - اکتینولیت، لوکوکسن و اکسیدهای آهن - تیتان به صورت ثانویه فضای میان بلورهای پلاژیوکلاز خمیره را اشغال کرده‌اند. پلاژیوکلازها اغلب به سوسوریت دگرسان شده‌اند (شکل ۲- ث). سنگ‌های هیالوآندزیت بافت میکرولیتیک شیشه‌ای و حفره‌ای بادامکی را نشان می‌دهند. حفره‌ها توسط کانی‌های ثانویه کلسیت و کلریت پر شده است. این سنگ‌ها فاقد فنوکریست بوده، خمیره از بلورهای پلاژیوکلاز و شیشه کدر غنی از اکسید آهن تشکیل یافته است (شکل ۲- ج و ۲- چ). سنگ‌های داسیتی بافت پورفیریک با خمیره میکروگرانولار را نشان می‌دهند. فنوکریست‌ها شامل کانی پلاژیوکلاز بوده که تا حدودی سربستی و آلبیتی شده، دارای حاشیه خرد شده هستند و ماکل پلی‌سنتتیک را نشان می‌دهند. زمینه اولیه سنگ شیشه‌ای بوده که به کانی‌های کوارتز، فلدسپار و کانی‌های کدر تبدیل شده است (شکل ۲- ح).



شکل ۲- الف) کوارتز دیوریت منطقه حسین‌آباد با بافت گرانولار که شامل کانی‌های پلاژیوکلاز، کوارتز و هورنبلند است، ب) بازالت منطقه حسین‌آباد شامل فنوکریست‌های کلینوپیروکسن که به صورت تجمعات گلومروپورفیری مشاهده می‌شوند. خمیره از بلورهای ریز پلاژیوکلاز و شیشه تشکیل یافته است، پ) بازالت آندزیتی منطقه حاجی‌آباد شامل فنوکریست‌های پلاژیوکلاز که به صورت تجمعات گلومروپورفیری مشاهده می‌شوند. خمیره از بلورهای کلینوپیروکسن که بلورهای پلاژیوکلاز را در بر گرفته‌اند، تشکیل یافته است، ت) بافت حفره‌ای بادامکی در بازالت آندزیتی منطقه حاجی‌آباد، حفره‌ها توسط کانی‌های ثانویه اپیدوت پر شده‌اند، ث) آندزیت منطقه حاجی‌آباد با بافت پورفیریک با خمیره میکرولیتی جریان‌ی حاوی فنوکریست و خمیره پلاژیوکلاز، ج) هیالوآندزیت منطقه حاجی‌آباد با بافت میکرولیتیک شیشه‌ای که خمیره از بلورهای پلاژیوکلاز و شیشه تشکیل یافته است، ح) داسیت منطقه حاجی‌آباد با بافت پورفیریک با خمیره میکروگرانولار همراه با فنوکریست پلاژیوکلاز که ماکل پلی سنتتیک را نشان می‌دهد. کلیه تصاویر در نور XPL هستند.

ژئوشیمی کل سنگ

است، نمونه‌های انتخاب شده را می‌توان به دو گروه تقسیم‌بندی نمود. جدول ۱ شامل سنگ‌های ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد با ترکیب هورنبلند گابرو

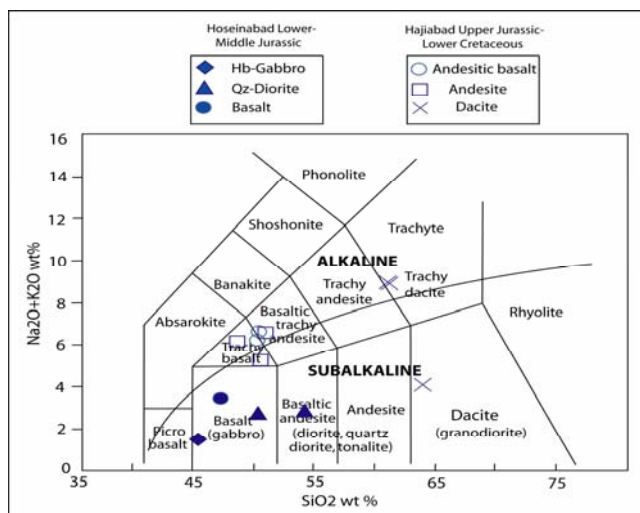
با توجه به اینکه هدف اصلی از این مطالعه شناسایی و مقایسه پتروژنتیکی سنگ‌های ژوراسیک تا کرتاسه

(H07-6)، کوارتز دیوریت (H07-1, H07-7) و بازالت (H07-14) و سنگ‌های ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد با ترکیب بازالت آندزیتی (HG07-6, HG07-14)، آندزیت (HG07-1, HG07-11, HG07-13) و داسیت (HG07-7, HG07-10, HG07-12) است.

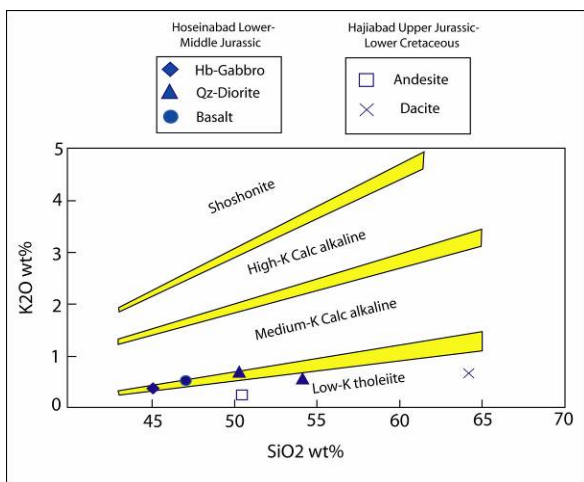
ژئوشیمی عناصر اصلی: از نظر طبقه‌بندی شیمیایی و سرشت ماگمایی، در نمودار مجموع آلکالی‌ها ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ wt%) در مقابل سیلیس (SiO_2 wt%) (LeBas et al., 1986)، نمونه‌های ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد، شامل نمونه‌های هورنبلند گابرو (H07-6) و کوارتز دیوریت (H07-1, H07-7) در محدوده گابرو - دیوریت - کوارتز دیوریت و نمونه بازالت (H07-14) در محدوده بازالت تصویر شده، در قلمرو ساب‌آلکان قرار می‌گیرند (شکل ۳). اکثر نمونه‌های ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد شامل نمونه‌های بازالت آندزیتی (HG07-6, HG07-14)، آندزیت (HG07-11, HG07-13) و داسیت (HG07-7, HG07-10) به دلیل اسپیلیتی شدن و افزایش میزان آلکالی‌ها، به ترتیب به تراکی آندزیت بازالتی، تراکی بازالت و تراکی داسیت تمایل داشته، گرایش آلکان را نشان می‌دهند (شکل ۳). وجود گرایش آلکان در این سنگ‌ها به علت فرآیندهای ثانویه (اسپیلیتی شدن) بوده، نشان‌دهنده ماهیت ماگمای این سنگ‌ها نیست. از طرفی، نمونه داسیتی (HG07-12) در محدوده داسیت و نمونه آندزیتی (HG07-6) در محدوده تراکی بازالت تصویر شده، در قلمرو ساب‌آلکان قرار می‌گیرند (شکل ۳). در نمودار AFM (Kuno, 1968)، نمونه‌های ساب‌آلکان

حسین‌آباد، شامل نمونه‌های هورنبلند گابرو در محدوده تولییتی و کوارتز دیوریت و بازالت در محدوده حدواسط تولییت و کالک‌آلکان (تحولی) قرار می‌گیرند. نمونه‌های ساب‌آلکان حاجی‌آباد نیز شامل نمونه‌های داسیت و آندزیت در محدوده کالک‌آلکان واقع می‌شوند (شکل ۴). در نمودار میزان اکسید پتاسیم در مقابل سیلیس (Rickwood, 1989)، کلیه نمونه‌ها دارای گرایش به سری‌های تولییتی با پتاسیم پایین هستند (شکل ۵).

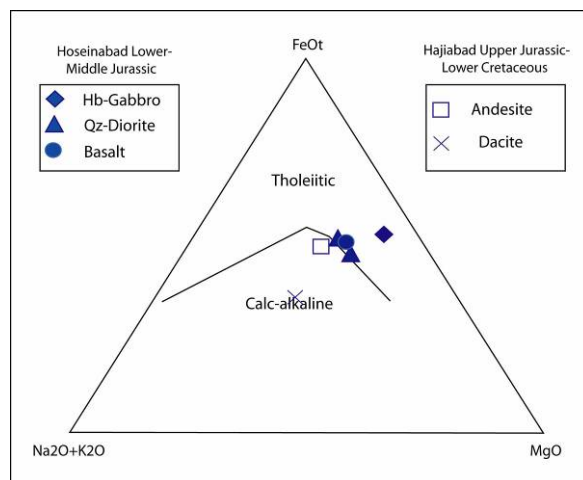
ژئوشیمی عناصر کمیاب و نادر خاکی: با توجه به این که نمونه‌های منطقه به علت فرآیند دگرسانی زیر دریایی حاصل از عملکرد محلول‌های هیدروترمالی تا حدودی اسپیلیتی شده‌اند، به همین دلیل در تحلیل‌های ژئوشیمیایی و تکنونوماگمایی باید علاوه بر ژئوشیمی عناصر اصلی از عناصر کمیاب غیر متحرک نیز استفاده نمود. در نمودار Zr/TiO_2 در مقابل Y/TiO_2 (Piercey et al., 2004)، نمونه‌های هورنبلند گابرو، کواتز دیوریت و بازالت حسین‌آباد خصوصیات سری تولییتی را نشان می‌دهند، در حالی که نمونه‌های بازالت آندزیتی و آندزیت حاجی‌آباد گرایش تولییتی تا تحولی را دارا هستند (شکل ۶).



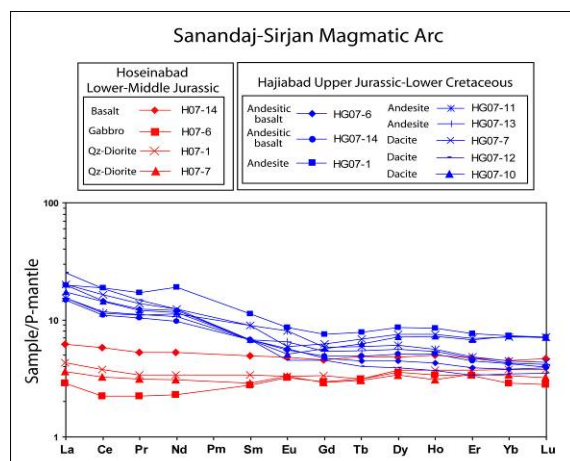
شکل ۳- نمودار مجموع آلکالی‌ها در مقابل سیلیس برای طبقه‌بندی شیمیایی و تعیین سرشت ماگمایی (LeBas *et al.*, 1986) نمونه‌های ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد و ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد. نمونه‌های هورنبلندگابرو و کوارتز دیوریت حسین‌آباد در محدوده گابرو - دیوریت - کوارتز دیوریت و نمونه بازالت حسین‌آباد در محدوده بازالت تصویر شده، در قلمرو ساب‌آلکالن قرار می‌گیرند. نمونه‌های حاجی‌آباد به علت اسپیلیتی شدن و افزایش میزان آلکالی‌ها به تراکی‌آندزیت بازالتی، تراکی‌بازالت و تراکی‌داسیت تمایل داشته، گرایش آلکالن را نشان می‌دهند. نمونه داسیتی حاجی‌آباد (HG07-12) در محدوده داسیت و نمونه آندزیتی حاجی‌آباد (HG07-6) در محدوده تراکی‌بازالت تصویر شده، در قلمرو ساب‌آلکالن قرار می‌گیرند.



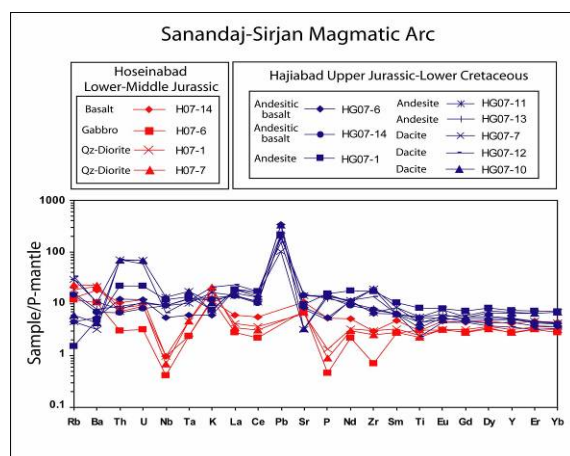
شکل ۵- نمودار K_2O در مقابل SiO_2 (Rickwood, 1989). برای تعیین گرایش ژئوشیمیایی نمونه‌های ساب‌آلکالن ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد و ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد. کلیه نمونه‌های ساب‌آلکالن حسین‌آباد و حاجی‌آباد گرایش به سری‌های تولیتی با پتاسیم پایین را نشان می‌دهند.



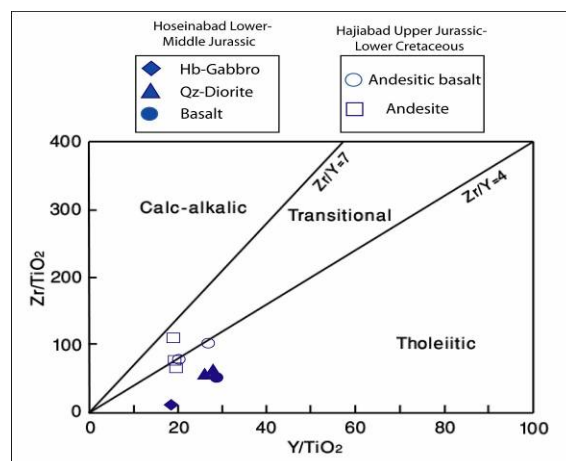
شکل ۴- نمودار AFM (Kuno, 1968)، برای تعیین گرایش ژئوشیمیایی نمونه‌های ساب‌آلکالن ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد و ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد. نمونه‌های ساب‌آلکالن حسین‌آباد در محدوده حد واسط تولیت و کالک‌آلکالن (تحولی) و نمونه‌های ساب‌آلکالن حاجی‌آباد در محدوده کالک‌آلکالن واقع می‌شوند.



شکل ۷- نمودار عناصر نادر خاکی (نرمالیز شده نسبت به گوشته اولیه) (Sun and McDonough, 1989). نمونه‌های ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد الگوی مسطح در LREE را مشابه با سری‌های تولیدی جزایر قوسی نشان می‌دهند، در حالی که، نمونه‌های ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد غنی‌شدگی بیشتری را در کل عناصر نادر خاکی نسبت به نمونه‌های حسین‌آباد نشان داده، یک روند غنی‌شدگی در LREE را مشابه با سری‌های کالک‌آلکانل مناطق فرورانش نشان می‌دهند. به کمک این پدیده و نیز مشاهده جدایش نمونه‌ها در نمودارهای تکتونماگمایی دیگر وجود دو نوع منشأ گوشته متاسوماتیزه متفاوت در تشکیل این سنگ‌ها کاملاً می‌تواند قابل توجیه باشد.



شکل ۸- نمودار عناصر کمیاب (نرمالیز شده به گوشته اولیه) (Sun and McDonough, 1989). نمونه‌های ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد الگوهای غنی‌شدگی در عناصر Rb, Ba, K و Sr و تهی‌شدگی از Nb را نشان می‌دهند. همچنین، نمونه‌های ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد غنی‌شدگی بیشتری را در کل عناصر کمیاب نسبت به نمونه‌های حسین‌آباد نشان داده، روندهای غنی‌شدگی در عناصر Th و U و تهی‌شدگی از Nb, Ta و Ti را نشان می‌دهند. این خصوصیات معرف مناطق زون فرورانش است (Pearce et al., 1995).



شکل ۹- نمودار Zr/TiO_2 در مقابل Y/TiO_2 (Pierce et al., 2004). برای تعیین گرایش ژئوشیمیایی نمونه‌های ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد و ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد، همان‌گونه که در این نمودار نیز مشاهده می‌شود، نمونه‌های حاجی‌آباد نسبت به نمونه‌های حسین‌آباد گرایش ژئوشیمیایی متفاوتی را نشان داده، مقادیر بالاتری را از نسبت Zr/TiO_2 نشان می‌دهند. نمونه‌های حسین‌آباد در این نمودار خصوصیات سری تولیدی و نمونه‌های بازالت‌آندزیتی و آندزیت حاجی‌آباد گرایش تولیدی تا تحولی را نشان می‌دهند.

بر اساس نمودار عناصر نادر خاکی و چند عنصری (نرمالیز شده نسبت به گوشته اولیه)، نمونه‌های هورنبلند گابرو (H07-6)، کواتز دیوریت (H07-1, H07-7) و بازالتی (H07-14) ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد یک الگوی مسطح در LREE ها ($La_{(N)}/Yb_{(N)} = 1-1.3$) را نشان می‌دهند (شکل ۷). میزان فراوانی عناصر نادر خاکی در این نمونه‌ها برابر P-mantle $La \times 2.9-6.2$ و $Yb \times 3.3-4.7$ است. همچنین، نمونه هورنبلند گابرو غنی‌شدگی را در عنصر Eu نشان داده که بیانگر تبلور کانی پلاژیوکلاز در این سنگ‌هاست. در نمودار چند عنصری (نرمالیز شده نسبت به گوشته اولیه) این نمونه‌ها در عناصری همچون Rb, Ba, K و Sr غنی‌شدگی و در عنصر Nb تهی‌شدگی را نشان می‌دهند (شکل ۸).

شیمی کانی‌ها

آنالیز شیمی کانیایی بر روی مقاطع صیقلی متفاوتی از سنگ‌های ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد و سنگ‌های ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد انجام پذیرفته است. آنالیزهای نقطه‌ای کانی کلینوپیروکسن در نمونه‌های بازالتی حسین‌آباد و بازالت آندزیتی حاجی‌آباد (جدول ۲)، آنالیزهای نقطه‌ای کانی پلاژیوکلاز در نمونه‌های هورنبلند گابرو حسین‌آباد و سنگ‌های بازالت آندزیتی حاجی‌آباد (جدول ۳) و آنالیزهای نقطه‌ای کانی آمفیبول در نمونه‌های هورنبلند گابرو و کوارتز دیوریت حسین‌آباد (جدول ۴) انجام شده است.

کلینوپیروکسن: کانی کلینوپیروکسن در نمونه‌های بازالتی ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد با میزان پایین اکسید تیتانیم مشخص می‌شوند (مقادیر ۰/۳۴ تا ۰/۵۴ درصد وزنی). این کلینوپیروکسن‌ها از نظر ترکیبی در نمودار ترکیبی ولاستونیت-فروسلیت-انستاتیت (Moritomo *et al.*, 1988) در حوضه اوزیت‌های غنی از منیزیم واقع می‌شوند (شکل ۹) و دارای فرمول ترکیبی $Wo_{36.7} En_{43.7} Fs_{19.5}$ تا $Wo_{46} En_{43.1} Fs_{10.7}$ هستند. میزان عدد منیزیم کلینوپیروکسن بازالت‌ها در طیف ۷۰/۶۹ تا ۸۷/۰۷ در تغییر است (جدول ۲). کانی‌های کلینوپیروکسن در نمونه‌های بازالت آندزیتی ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد با میزان بیشتر اکسید تیتانیم برابر ۱/۱۷ تا ۱/۵۱ درصد وزنی مشخص می‌شوند. این کلینوپیروکسن‌ها از نظر ترکیبی در طیف دیوپسید بوده (شکل ۹)، با فرمول ترکیبی $Wo_{43.05} En_{40.88} Fs_{16.06}$ تا $Wo_{45.75} En_{41.91} Fs_{12.33}$ مشخص می‌شوند. میزان عدد منیزیم کلینوپیروکسن‌ها در بازالت آندزیتی نیز مقادیر ۷۳/۴۰ تا ۷۹/۸۱ را نشان می‌دهد (جدول ۲).

نسبت $La(Nb)/Nb(N)$ برای نمونه‌های H07-6، H07-7، H07-1 و H07-14 به ترتیب برابر ۶/۹، ۵/۱، ۴/۴ و ۶/۳ هستند که تهی‌شدگی را در Nb نشان می‌دهند. نمونه هورنبلند گابرو، یک تهی‌شدگی را در عنصر زیرکنیم نشان می‌دهد که می‌توان آن را به تفریق زیرکن نسبت داد. همچنین، این نمونه‌ها، تهی‌شدگی را در عنصر فسفر نشان داده که می‌توان آن را به تفریق آپاتیت نسبت داد. با توجه به نمودار عناصر نادر خاکی و چند عنصری، نمونه‌های هورنبلند گابرو، کواتز دیوریت و بازالت، ارتباط ژنتیکی نزدیکی داشته و از منبع گوشته‌ای یکسانی حاصل شده‌اند، ولی نمونه بازالتی در کل عناصر کمیاب افزایشی را نشان داده که بیانگر طبیعت تحول یافته‌تر این نمونه است (شکل ۷).

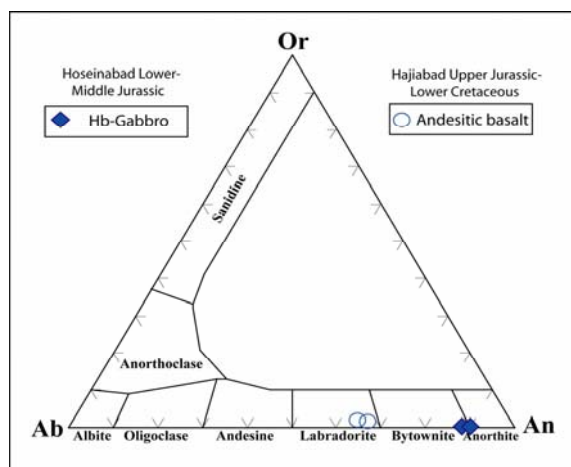
این نمونه‌ها از لحاظ ژئوشیمیایی با سری‌های تولیت جزایر قوسی مشابه هستند. در نمودار عناصر نادر خاکی و چند عنصری (نرمالیز شده نسبت به گوشته اولیه) نمونه‌های بازالت آندزیتی (HG07-6، HG07-14، HG07-1، HG07-11، HG07-12، HG07-10، HG07-7) و داسیت (HG07-13) ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد یک روند غنی شده در LREE ها ($La(Nb)/Yb(N) = 2.3-7.2$) را نشان می‌دهند. میزان فراوانی عناصر نادر خاکی در این نمونه‌ها برابر $P\text{-mantle } 14.8-25.18 \times La$ و $3.4 \times Yb$ و $P\text{-mantle } 7.3$ هستند. در نمودار چند عنصری (نرمالیز شده نسبت به گوشته اولیه) این نمونه‌ها در عناصری همچون Pb، Th و U غنی‌شدگی و در عناصر Nb و Ti فرورفتگی نشان می‌دهند. نسبت $La(Nb)/Nb(N)$ برای این نمونه‌ها برابر ۱/۳ تا ۳/۵ بوده که فرورفتگی را در Nb نشان می‌دهند. بر اساس این مشاهدات، این نمونه‌ها از نظر ژئوشیمیایی با سری‌های تحولی زون فرورانش مشابه هستند (شکل ۸).

جدول ۲- آنالیز الکترون میکروپروپ، کانی کلینوپیروکسن در نمونه‌های بازالتی ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد و نمونه‌های بازالت آندزیتی

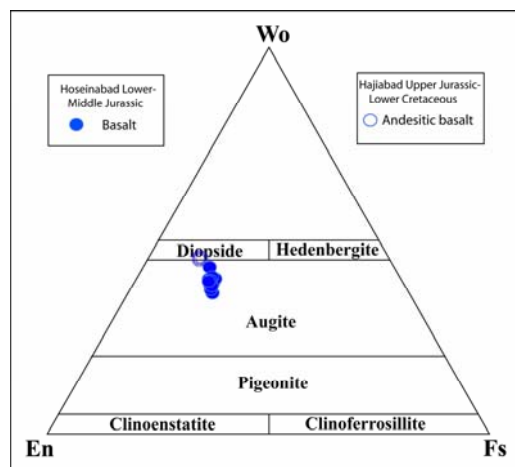
ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد

Sample No.	H07-14	H07-14	H07-14	H07-14	H07-14	H07-14	H07-14	H07-14	H07-14	H07-14
Rock Name	Basalt	Basalt	Basalt	Basalt	Basalt	Basalt	Basalt	Basalt	Basalt	Basalt
SiO ₂	50.494	50.295	50.885	51.071	50.885	50.791	50.008	51.157	50.575	50.894
TiO ₂	0.452	0.539	0.419	0.455	0.424	0.465	0.399	0.379	0.547	0.440
Al ₂ O ₃	1.861	3.057	1.918	1.774	1.954	2.061	2.192	1.527	2.553	1.844
FeO _t	11.793	9.014	10.348	10.770	10.162	10.117	10.916	11.123	10.823	10.720
Cr ₂ O ₃	0.006	0.118	0.029	0.004	0.000	0.006	0.000	0.000	0.028	0.028
MnO	0.311	0.302	0.387	0.394	0.305	0.292	0.342	0.315	0.328	0.253
NiO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.023	0.013	0.000	0.037	0.000
MgO	15.156	13.840	14.540	14.777	14.145	14.621	14.160	14.966	14.206	14.880
CaO	17.712	20.232	19.005	18.476	19.271	19.303	19.232	17.960	18.437	19.109
Na ₂ O	0.233	0.212	0.191	0.197	0.217	0.245	0.253	0.182	0.256	0.247
K ₂ O	0.001	0.011	0.000	0.000	0.030	0.004	0.011	0.000	0.000	0.000
Total	98.020	97.620	97.720	97.920	97.410	97.930	97.530	97.610	97.79	98.410
TSi	1.920	1.917	1.941	1.945	1.948	1.930	1.913	1.954	1.930	1.925
TAl	0.080	0.083	0.059	0.055	0.052	0.070	0.087	0.046	0.070	0.075
M1Al	0.004	0.055	0.027	0.024	0.037	0.022	0.012	0.023	0.045	0.008
M1Ti	0.013	0.015	0.012	0.013	0.012	0.013	0.011	0.011	0.016	0.013
M1Fe ⁺³	0.067	0.009	0.021	0.019	0.008	0.039	0.070	0.015	0.011	0.059
M1Fe ⁺²	0.057	0.131	0.112	0.105	0.135	0.096	0.098	0.099	0.118	0.081
M1Cr	0.000	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
M1Mg	0.859	0.787	0.827	0.839	0.807	0.828	0.808	0.852	0.808	0.839
M2Fe ⁺²	0.251	0.148	0.197	0.219	0.182	0.186	0.181	0.241	0.217	0.199
M2Mn	0.010	0.010	0.013	0.013	0.010	0.009	0.011	0.010	0.011	0.008
M2Ca	0.722	0.826	0.777	0.754	0.791	0.786	0.788	0.735	0.754	0.775
M2Na	0.017	0.016	0.014	0.015	0.016	0.018	0.019	0.013	0.019	0.018
Sum_cat	4.000	3.999	4.000	4.000	3.999	4.000	3.999	4.000	4.000	4.000
Wo	36.708	43.265	39.911	38.690	40.893	40.405	40.298	37.640	39.303	39.497
En	43.705	41.179	42.485	43.055	41.764	42.583	41.283	43.642	42.136	42.794
Fs	19.587	15.556	17.604	18.256	17.343	17.013	18.420	18.718	18.561	17.709
Mg#	73.6	73.8	72.8	72.1	71.8	74.6	74.3	71.4	70.7	74.9

Sample No.	HG07-6	HG07-6	HG07-6	HG07-6	HG07-6	HG07-6	HG07-6	HG07-14	HG07-14	HG07-14	HG07-14
Rock Name	Andesitic	Andesitic	Andesitic	Andesitic	Andesitic	Andesitic	Andesitic	Andesitic	Andesitic	Andesitic	Andesitic
SiO ₂	50.284	50.359	49.661	50.310	50.553	50.506	50.100	51.191	50.367	49.869	50.004
TiO ₂	1.171	1.428	1.468	1.199	1.358	1.339	1.433	1.511	1.428	1.486	1.379
Al ₂ O ₃	3.917	4.161	4.346	3.951	3.682	3.614	4.451	1.818	3.866	4.468	4.183
FeO _t	7.739	7.239	7.175	7.462	7.229	7.462	7.202	9.604	7.508	7.231	7.422
Cr ₂ O ₃	0.376	0.431	0.700	0.323	0.246	0.212	0.406	0.067	0.332	0.284	0.421
MnO	0.178	0.114	0.213	0.161	0.128	0.141	0.099	0.192	0.145	0.169	0.137
NiO	0.037	0.029	0.001	0.047	0.023	0.020	0.027	0.013	0.000	0.000	0.051
MgO	14.133	14.236	14.200	14.074	14.206	14.409	14.152	13.991	14.206	14.107	14.123
CaO	21.374	20.951	20.760	21.267	21.216	21.291	21.032	20.504	20.978	21.426	21.09
Na ₂ O	0.407	0.372	0.438	0.421	0.350	0.419	0.495	0.445	0.398	0.394	0.367
K ₂ O	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.019	0.016	0.011	0.013
Total	99.620	99.320	98.960	99.220	98.99	99.410	99.400	99.350	99.240	99.44	99.190
TSi	1.871	1.878	1.859	1.879	1.892	1.881	1.865	1.924	1.881	1.857	1.869
TAl	0.129	0.122	0.141	0.121	0.108	0.119	0.135	0.076	0.119	0.143	0.131
M1Al	0.043	0.061	0.050	0.052	0.054	0.039	0.060	0.004	0.051	0.053	0.053
M1Ti	0.033	0.040	0.041	0.034	0.038	0.038	0.040	0.043	0.040	0.042	0.039
M1Fe ⁺³	0.038	0.000	0.019	0.022	0.000	0.029	0.018	0.018	0.007	0.027	0.015
M1Fe ⁺²	0.090	0.094	0.076	0.098	0.107	0.088	0.084	0.149	0.101	0.087	0.092
M1Cr	0.011	0.013	0.021	0.010	0.007	0.006	0.012	0.002	0.01	0.008	0.012
M1Mg	0.784	0.792	0.792	0.783	0.793	0.800	0.785	0.784	0.791	0.783	0.787
M2Fe ⁺²	0.113	0.132	0.129	0.114	0.120	0.116	0.122	0.135	0.126	0.111	0.124
M2Mn	0.006	0.004	0.007	0.005	0.004	0.004	0.003	0.006	0.005	0.005	0.004
M2Ca	0.852	0.837	0.832	0.851	0.851	0.849	0.839	0.826	0.839	0.855	0.844
M2Na	0.029	0.027	0.032	0.030	0.025	0.030	0.036	0.032	0.029	0.028	0.027
Sum_cat	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	3.999	3.999	3.999	3.999
Wo	45.265	45.057	44.851	45.441	45.405	45.036	45.305	43.058	44.902	45.751	45.217
En	41.645	42.598	42.686	41.842	42.302	42.408	42.417	40.881	42.308	41.912	42.131
Fs	13.091	12.345	12.463	12.717	12.292	12.556	12.278	16.061	12.789	12.337	12.653
Mg#	79.4	77.8	79.4	78.7	77.7	79.6	79.2	73.4	77.7	79.8	78.4



شکل ۱۰- نمودار آل بیت-آنورتیت-اورتوز (Deer et al., 1991)، برای تعیین ترکیب شیمیایی پلاژیوکلازها در نمونه‌های هورنبلند گابرو ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد و نمونه‌های بازالت آندزیتی ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد. پلاژیوکلازها در نمونه‌های هورنبلند گابرو حسین‌آباد دارای ترکیب شیمیایی آنورتیت تا بیتونیت و در نمونه‌های بازالت آندزیتی حاجی‌آباد دارای ترکیب لابرادوریت هستند.



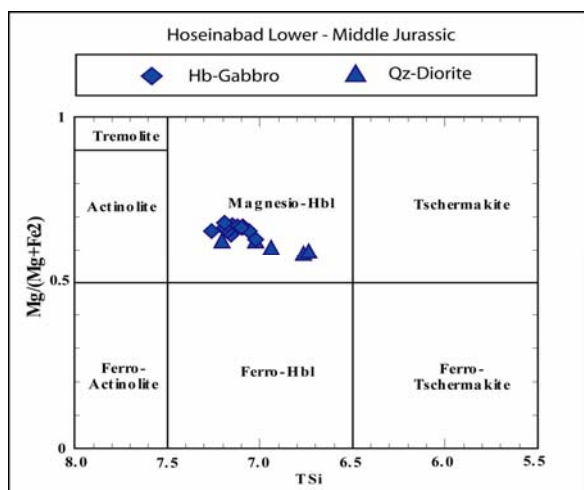
شکل ۹- نمودار ولاستونیت-فروسیلیت-انستاتیت (Moritomo et al., 1988)، برای تعیین ترکیب شیمیایی کانی کلینوپیروکسن در نمونه‌های بازالتی ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد و نمونه‌های بازالت آندزیتی ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد. کلینوپیروکسن‌های نمونه بازالتی حسین‌آباد در حوضه اوژیت‌های غنی از منیزیم و نمونه‌های بازالت آندزیتی حاجی‌آباد در طیف دیوپسید واقع می‌شوند.

جدول ۳- آنالیز الکترون میکروپروب کانی پلاژیوکلاز در نمونه‌های هورنبلند گابرو ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد و نمونه‌های بازالت آندزیتی ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد

Sample No.	H07-6	H07-6	HG07-6	HG07-6
Rock Name	Hbl	Hbl	Andesitic basalt	Andesitic basalt
SiO ₂	42.630	42.565	52.027	51.088
TiO ₂	0.000	0.000	0.097	0.087
Al ₂ O ₃	33.969	33.257	30.469	30.399
Fe ₂ O ₃	0.445	0.333	0.969	1.005
MnO	0.041	0.099	0.035	0.017
MgO	0.000	0.000	0.056	0.040
CaO	20.344	21.868	13.149	13.674
Na ₂ O	1.519	1.343	3.835	3.646
K ₂ O	0.014	0.025	0.202	0.181
Total	98.920	99.460	100.740	100.040
Si	8.073	8.059	9.414	9.332
Al	7.576	7.415	6.493	6.539
Ti	0.000	0.000	0.013	0.012
Fe ⁺³	0.005	0.004	0.010	0.010
Mn	0.007	0.016	0.005	0.003
Mg	0.000	0.000	0.015	0.011
Ca	4.128	4.436	2.549	2.676
Na	0.558	0.493	1.345	1.291
K	0.003	0.006	0.047	0.042
Cations	20.408	20.473	20.013	20.044
X	15.649	15.474	15.920	15.883
Z	4.759	4.999	4.093	4.161
Ab	11.900	10.000	34.100	32.200
An	88.000	89.900	64.700	66.700
Or	0.100	0.100	1.200	1.000

پلاژیوکلاز: پلاژیوکلاز در نمودار آل بیت-

آنورتیت-اورتوز (An-Or-Ab) (Deer et al., 1991)، در نمونه‌های هورنبلند گابرو حسین‌آباد دارای ترکیب شیمیایی آنورتیت تا بیتونیت (شکل ۱۰)، یعنی با درصد آنورتیت (An%) ۸۸ تا ۸۹/۹ درصد در تغییر است. میزان درصد مولی اورتوز (Or%) پلاژیوکلازها در هورنبلند گابروها ۰/۱ درصد است (جدول ۳). میزان مول درصد اورتوز (Or%) این پلاژیوکلازها ۱/۲ تا ۱ درصد است. همچنین، میزان مول درصد آل بیت (Ab%) در این پلاژیوکلازها ۳۲/۲ تا ۳۴/۱ درصد در نوسان است (جدول ۳). پلاژیوکلازها در نمونه‌های بازالت آندزیتی حاجی‌آباد دارای ترکیب لابرادوریت (شکل ۱۰) با میزان درصد مولی آنورتیت (An%) ۶۴/۷ تا ۶۶/۷ است.



شکل ۱۱- نمودار $Mg/(Mg+Fe^{+2})$ در مقابل سیلیس تتراهدردی (Leake *et al.*, 1997). آمفیبول‌ها در نمونه‌های هورنبلند گابرو و کوارتز دیوریت ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد دارای ترکیب منیزیهورنبلند هستند.

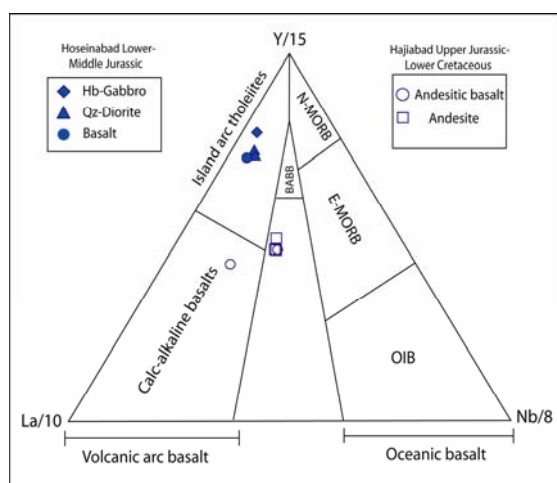
آمفیبول: آمفیبول‌های سبز تیره یکی از مهم‌ترین کانی‌های سنگ‌های هورنبلند گابرو و کوارتز دیوریت حسین‌آباد هستند. محاسبه کاتیون کلسیم این آمفیبول‌ها (تنها در سایت B) میزان $1/58$ تا $1/86$ را نشان می‌دهد. علاوه بر این، میزان کاتیون‌های تیتان و سدیم این آمفیبول‌ها نیز تغییراتی بین $0/21$ تا $0/4$ و $0/20$ تا $0/52$ را نشان می‌دهند (جدول ۴). ترکیب این آمفیبول‌ها در نمودار نسبت $Mg/(Mg+Fe^{+2})$ در مقابل سیلیس تتراهدردی (Leake *et al.*, 1997)، دارای ترکیب منیزیهورنبلند است (شکل ۱۱).

جدول ۴- آنالیز الکترون میکروپروپ، کانی آمفیبول در نمونه‌های هورنبلند گابرو و کوارتز دیوریت ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد

Sample No.	H07-1	H07-1	H07-1	H07-7	H07-7	H07-7	H07-6	H07-6	H07-6
Rock Name	Qz-Diorite	Qz-Diorite	Qz-Diorite	Qz-Diorite	Qz-Diorite	Qz-Diorite	Hb-Gabbro	Hb-Gabbro	Hb-Gabbro
SiO ₂	47.510	48.950	48.030	43.840	45.710	45.520	47.584	47.235	49.225
TiO ₂	1.203	0.402	0.809	1.369	1.930	1.860	0.842	0.851	0.796
Al ₂ O ₃	8.220	6.890	7.980	9.170	9.250	9.440	6.088	6.479	6.018
FeO	15.850	14.700	15.470	12.860	15.600	15.580	13.592	13.720	13.406
Cr ₂ O ₃	0.039	0.002	0.032	0.000	0.038	0.012	0.000	0.000	0.042
MnO	0.457	0.340	0.520	0.277	0.419	0.343	0.327	0.337	0.274
MgO	12.960	13.470	13.630	12.460	12.260	12.380	14.041	13.810	14.221
CaO	10.840	11.060	10.150	9.730	10.830	10.800	11.109	11.282	11.328
Na ₂ O	1.056	0.741	0.899	1.720	1.198	1.238	0.760	0.856	0.756
K ₂ O	0.198	0.178	0.147	0.297	0.221	0.216	0.131	0.173	0.134
F	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cl	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032	0.026
Total	98.290	96.730	97.630	91.720	97.420	97.380	94.470	94.770	96.180
TSi	6.939	7.207	7.020	6.874	6.764	6.734	7.147	7.090	7.259
TAl	1.061	0.793	0.980	1.126	1.236	1.266	0.853	0.910	0.741
Sum_T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
CAI	0.353	0.402	0.393	0.568	0.376	0.379	0.224	0.235	0.304
CCr	0.004	0.000	0.004	0.000	0.004	0.001	0.000	0.000	0.005
CFe ⁺³	0.104	0.057	0.124	0.000	0.040	0.076	0.192	0.201	0.015
CTi	0.132	0.044	0.089	0.161	0.215	0.207	0.095	0.096	0.088
CMg	2.822	2.957	2.970	2.913	2.705	2.730	3.144	3.090	3.126
CFe ⁺²	1.585	1.540	1.421	1.358	1.660	1.607	1.345	1.378	1.462
Sum_C	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
BFe ⁺²	0.247	0.213	0.346	0.328	0.230	0.245	0.171	0.143	0.176
BMn	0.057	0.042	0.064	0.037	0.053	0.043	0.042	0.043	0.034
BCa	1.696	1.745	1.589	1.635	1.717	1.712	1.788	1.814	1.790
Sum_B	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
ANa	0.299	0.212	0.255	0.523	0.344	0.355	0.221	0.249	0.216
AK	0.037	0.033	0.027	0.059	0.042	0.041	0.025	0.033	0.025
Sum_A	0.336	0.245	0.282	0.582	0.386	0.396	0.246	0.282	0.241
Sum_cat	15.336	15.245	15.282	15.582	15.386	15.396	15.246	15.282	15.241

Sample	H07-6	H07-6	H07-6	H07-6	H07-6	H07-6	H07-6	H07-6	H07-6
Name	Hb-Gabbro	Hb-Gabbro	Hb-Gabbro	Hb-Gabbro	Hb-Gabbro	Hb-Gabbro	Hb-Gabbro	Hb-Gabbro	Hb-Gabbro
SiO ₂	48.269	47.640	47.886	47.441	46.778	47.492	47.689	48.273	48.110
TiO ₂	1.016	0.891	0.817	0.931	0.919	1.049	0.954	0.872	0.776
Al ₂ O ₃	6.700	6.331	6.228	6.564	7.830	7.121	6.794	6.513	6.122
FeO	13.689	13.626	13.567	13.641	14.066	13.697	13.292	12.813	12.820
Cr ₂ O ₃	0.025	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000
MnO	0.421	0.320	0.391	0.371	0.383	0.387	0.300	0.284	0.324
MgO	13.558	13.939	13.498	13.833	13.124	13.611	13.823	14.109	14.206
CaO	11.444	11.367	11.602	11.291	10.792	11.347	11.570	11.263	11.477
Na ₂ O	0.717	0.894	0.743	0.904	0.931	0.884	0.786	0.754	0.720
K ₂ O	0.193	0.142	0.159	0.142	0.239	0.179	0.211	0.163	0.153
F	0.000	0.000	0.018	0.000	0.000	0.000	0.035	0.176	0.000
Cl	0.038	0.049	0.076	0.042	0.085	0.035	0.040	0.041	0.025
Total	96.050	95.200	94.990	95.160	95.150	95.800	95.490	95.260	94.730
TSi	7.153	7.118	7.178	7.094	7.023	7.060	7.098	7.193	7.190
TAl	0.847	0.882	0.822	0.906	0.977	0.940	0.902	0.807	0.810
Sum_T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
CAI	0.322	0.232	0.278	0.250	0.408	0.307	0.289	0.336	0.267
CCr	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
CFe ⁺³	0.053	0.163	0.114	0.158	0.045	0.109	0.133	0.025	0.131
CTi	0.113	0.100	0.092	0.105	0.104	0.117	0.107	0.098	0.087
CMg	2.995	3.105	3.016	3.084	2.937	3.017	3.067	3.134	3.165
CFe ⁺²	1.514	1.400	1.500	1.404	1.506	1.450	1.405	1.406	1.350
Sum_C	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
BFe ⁺²	0.130	0.140	0.087	0.144	0.215	0.144	0.117	0.166	0.121
BMn	0.053	0.040	0.050	0.047	0.049	0.049	0.038	0.036	0.041
BCa	1.817	1.820	1.863	1.809	1.736	1.807	1.845	1.798	1.838
Sum_B	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
ANa	0.206	0.259	0.216	0.262	0.271	0.255	0.227	0.218	0.209
AK	0.036	0.027	0.030	0.027	0.046	0.034	0.040	0.031	0.029
Sum_A	0.243	0.286	0.246	0.289	0.317	0.289	0.267	0.249	0.238
Sum_cat	15.243	15.286	15.246	15.289	15.317	15.289	15.267	15.249	15.238

گوشته‌ای زیرکمانی و وجود یک منشأ غنی شده
(Elliott et al., 1996) برای این نمونه‌هاست.



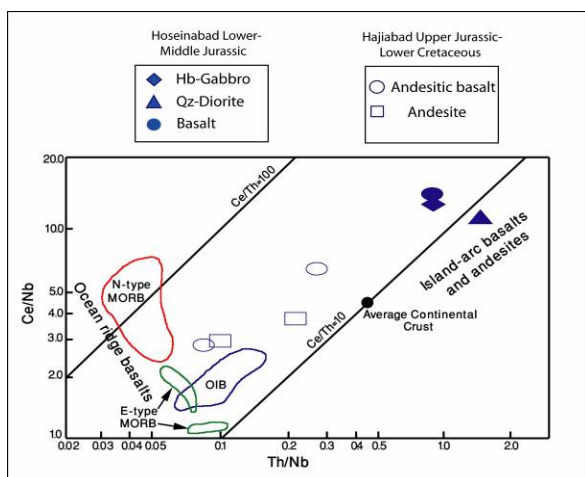
شکل ۱۲- نمودار La-Y-Nb (Cabanis and Lecolle, 1989) برای تقسیم‌بندی محیط تکتونیکی نمونه‌های ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد و ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد. نمونه‌های حسین‌آباد مشخصاً در محدوده تولییت‌های جزایر قوسی (IAT) و نمونه‌های بازالت آندزیتی و آندزیت حاجی‌آباد در محدوده‌های بازالت قاره‌ای و یک نمونه در محدوده بازالت کالک‌آلکان تصویر می‌شوند.

محیط تکتونیکی و پتروژنز

(۱) تعیین محیط تکتونیکی بر اساس عناصر

کمیاب: با استفاده از عناصر کمیاب نسبتاً غیرمتحرک، طبیعت ژئوشیمیایی و جایگاه تکتونیکی سنگ‌های ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد و سنگ‌های ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد بر روی نمودارهای تفکیک مشخص شده‌اند. در نمودار La-Y-Nb (Cabanis and Lecolle, 1989) هورنبلند گابرو، کواتز دیوریت و بازالت حسین‌آباد در محدوده تولییت‌های جزایر قوسی (IAT) و نمونه‌های بازالت آندزیتی و آندزیت حاجی‌آباد در محدوده بازالت کالک‌آلکان تصویر می‌شوند (شکل ۱۲).

افزایش میزان عناصر پایستار نیوبیم و کم تحرک لانتانیم در این نمونه‌های حاجی‌آباد، بیانگر تأثیر بیشتر سیالات و مذاب‌های حاصل از ورقه فروورانش در گوه

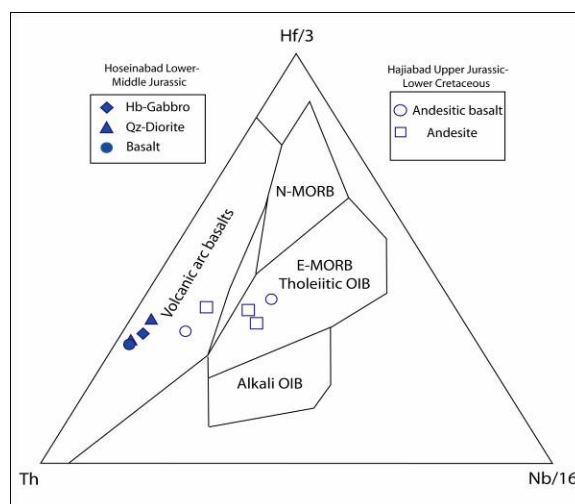


شکل ۱۴- نمودار نسبت Ce/Nb در مقابل نسبت Th/Nb (Saunders and Tarney, 1991) برای تقسیم‌بندی محیط تکتونیکی نمونه‌های ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد و ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد. این نمودار اطلاعات کامل‌تری درباره منشأ و خاستگاه ژئوشیمیایی محیط‌های تکتونیکی مختلف ارائه می‌کند. در این نمودار نمونه‌های حسین‌آباد در محدوده بازالت‌های جزایر قوسی (IAT) و نمونه‌های حاجی‌آباد در محدوده‌های بین بازالت‌های جزایر قوسی (IAT) و مورب غنی شده (E-MORB) تصویر می‌شوند.

(۲) تعیین محیط تکتونیکی با استفاده از شیمی

کلینوپیروکسن: به‌طور کلی، شیمی کلینوپیروکسن‌ها در سنگ‌های ماگمایی به شدت تحت تأثیر ترکیب ماگمای مادری است که از آن متبلور شده‌اند. بنابراین، ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌ها می‌تواند به‌عنوان راهنمایی برای تعیین گرایش ماگماتیک سنگ‌های ولکانیکی از محیط‌های تکتونو ماگمایی مختلف در نظر گرفته شود (Leterrier *et al.*, 1982; Beccaluva *et al.*, 1989; Huot *et al.*, 2002). بر اساس نمودار $TiO_2 - Na_2O - SiO_2/100$ (Beccaluva *et al.*, 1989) کلینوپیروکسن‌های بازالت حسین‌آباد در محدوده هم‌پوشانی حوضه‌های تولیدی جزایر قوسی (IAT)، بونینیت‌ها (BON) و مورب‌های نرمال (N-MORB) تصویر می‌شوند، در حالی که کلینوپیروکسن‌های بازالت آندزیتی حاجی‌آباد تمایل به مورب‌ها (MORB) را نشان می‌دهند (شکل ۱۵).

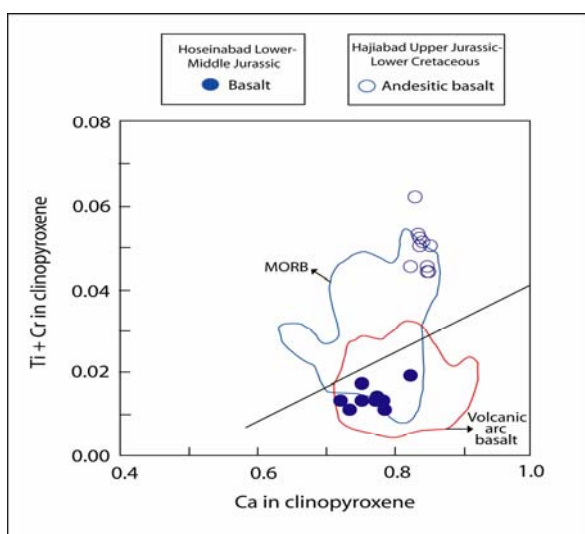
در نمودار Th-Hf-Nb (Wood, 1980) نمونه‌های هورنبلند گابرو، کواتزدیوریت و بازالت حسین‌آباد در محدوده بازالت‌های مرتبط با قوس‌های آتشفشانی (VAB) و نمونه‌های بازالت‌آندزیتی و آندزیت حاجی‌آباد در محدوده‌های بین بازالت‌های قوس‌های آتشفشانی و مورب غنی شده تصویر می‌شوند (شکل ۱۳). نسبت‌های عنصری می‌توانند اطلاعات کامل‌تری درباره منشأ و خاستگاه ژئوشیمیایی سری‌های مافیک ارائه نمایند. نمودار Ce/Nb در مقابل Th/Nb (Saunders and Tarney, 1991) نمونه‌های هورنبلند گابرو، کواتزدیوریت و بازالت حسین‌آباد در محدوده بازالت‌های جزایر قوسی (IAT) و نمونه‌های بازالت‌آندزیتی و آندزیت حاجی‌آباد در محدوده‌های بین بازالت‌های جزایر قوسی (IAT) و مورب غنی شده (E-MORB) تصویر می‌شوند (شکل ۱۴).



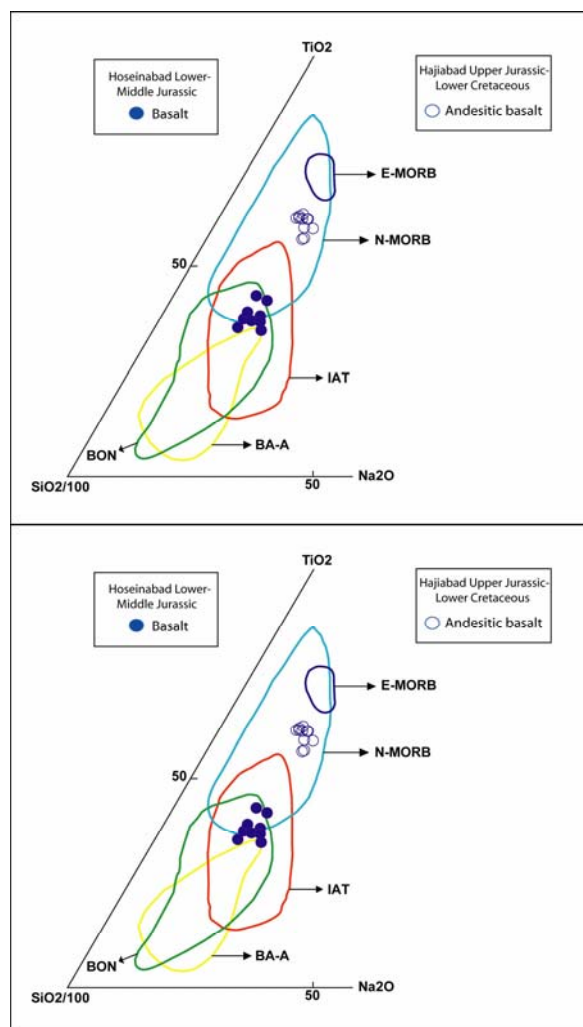
شکل ۱۳- نمودار Th-Hf-Nb (Wood, 1980) برای تقسیم‌بندی محیط تکتونیکی نمونه‌های ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد و ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد. نمونه‌های حسین‌آباد به‌صورت کاملاً مجزا در محدوده بازالت‌های مرتبط با قوس‌های آتشفشانی (VAB) و نمونه‌های حاجی‌آباد در محدوده‌های بین بازالت‌های قوس‌های آتشفشانی و مورب غنی شده تصویر می‌شوند.

(1982)، کِلینوپیروکسن‌های بازالت حسین‌آباد در محدوده هم پوشانی بازالت‌های مرتبط با قوس‌های آتشفشانی (VAB) و مَورب‌ها (MORB) تصویر می‌شوند. در این نمودار، کِلینوپیروکسن موجود در بازالت آندزیتی حاجی‌آباد در محدوده بازالت‌های مرتبط با مَورب‌ها قرار می‌گیرند (شکل ۱۶).

همچنین، در نمودار اکسید آلومینیم در مقابل مجموع اکسید تیتانیم و کروم (Hout *et al.*, 2002)، کِلینوپیروکسن بازالت حسین‌آباد در محدوده تولیدی‌های جزایر قوسی واقع شده است، علاوه براین، کِلینوپیروکسن موجود در بازالت حاجی‌آباد دارای میزان بالاتری از اکسید تیتانیم و کروم بوده، در محدوده N-MORB ها تصویر شده‌اند (شکل ۱۷).



شکل ۱۶- نمودار مجموع کاتیون‌های Ti و Cr در مقابل کاتیون Ca (Leterrier *et al.*, 1982) کِلینوپیروکسن‌ها برای تعیین محیط تکتونیکی نمونه‌های بازالت ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد و بازالت آندزیتی ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد. کِلینوپیروکسن‌های بازالت حسین‌آباد در محدوده همپوشانی بین بازالت‌های مرتبط با قوس‌های آتشفشانی و مَورب‌ها و کِلینوپیروکسن بازالت آندزیتی حاجی‌آباد در محدوده بازالت‌های مرتبط با مَورب‌ها قرار می‌گیرند.



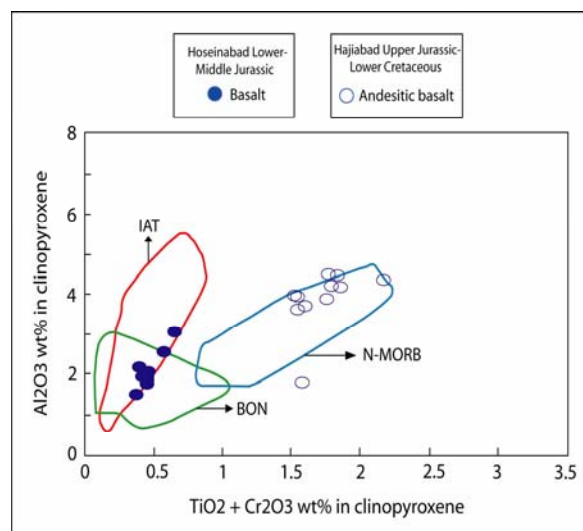
شکل ۱۵- نمودار مثلثی $TiO_2-SiO_2-Na_2O$ (Beccaluva *et al.*, 1989) کِلینوپیروکسن‌ها برای تعیین محیط تکتونیکی نمونه‌های بازالت ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد و بازالت آندزیتی ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد. ترکیب کِلینوپیروکسن در بونینیت‌ها از Van der Laan و همکاران (۱۹۹۲) در تولیدی‌های جزایر قوسی و بازالت‌های مرتبط با حوضه‌های پشت قوس از Hawkins و Allan (۱۹۹۴) و در MORB از Franklin و Stakes (۱۹۹۴) است. کِلینوپیروکسن‌های بازالت حسین‌آباد در محدوده همپوشانی حوضه‌های تولیدی‌های جزایر قوسی (IAT)، بونینیت‌ها (BON) و مَورب‌های نرمال (N-MORB) تصویر می‌شوند و کِلینوپیروکسن‌های بازالت آندزیتی حاجی‌آباد تمایل به مَورب‌ها (MORB) را نشان می‌دهند.

در نمودار مجموع کاتیون‌های تیتانیم و کروم در مقابل کاتیون کلسیم (Leterrier *et al.*,

همان‌گونه که از نمودارهای نسبت Sm/Yb در مقابل Sm و نسبت Sm/Yb در برابر نسبت La/Sm (Aldanmaz *et al.*, 2000) مشخص است، ترکیب سنگ‌های ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد و سنگ‌های ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد از ذوب بخشی منشأهای گوشته‌ای متفاوت، همراه با ترکیبات مختلف حاصل شده است. سنگ‌های ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد از ذوب بخشی ۱۰ تا ۳۰ درصد یک منشأ گوشته‌ای اسپینل لرزولیت با ترکیب گوشته اولیه (PM) و سنگ‌های ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد از ذوب بخشی ۱۰ تا ۳۰ درصد یک منشأ گوشته‌ای اسپینل-گارنت (E-MORB) لرزولیت با ترکیب مورب غنی‌شده (E-MORB) حاصل شده‌اند (شکل ۱۸)

بحث و نتیجه‌گیری

۱- سنگ‌های ماگمایی مزوزوییک در بخش جنوبی کمر بند سهند - سیرجان وابسته به حوضه رسوبی - ماگمایی گسترده‌ای است که به سن ژوراسیک زیرین تا میانی در ناحیه حسین‌آباد و به سن ژوراسیک بالایی تا کرتاسه زیرین در منطقه حاجی‌آباد رخنمون پیدا کرده‌اند. توالی سنگ‌های پلوتونیکی - ولکانیکی منطقه حسین‌آباد نمایانگر گدازه‌های ولکانیکی همراه با سیل‌ها و دایک‌های با ترکیب گابرو - دیوریت بوده که توسط واحد توربیدیتی ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین پوشیده شده‌اند. توالی سنگ‌های ولکانیکی - رسوبی منطقه حاجی‌آباد نمایانگر تناوبی از سنگ آهک ماسه‌ای، آهک‌های اوولیتی میکرواسپاریتی و سنگ‌های ولکانیکی است که با واحد سنگ آهک اربیتولین‌دار کرتاسه زیرین پوشیده شده است.



شکل ۱۷- نمودار Al_2O_3 در مقابل مجموع TiO_2 و Cr_2O_3 کلینوپیروکسن‌ها برای تعیین محیط تکتونیکی نمونه‌های بازالت ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد و بازالت آندزیتی ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد. ترکیب کلینوپیروکسن در بونینیت از Van der Laan و همکاران (۱۹۹۲)، در تولیت جزایر قوسی از Allan و Hawkins (۱۹۹۴) و در MORB از Stakes و Franklin (۱۹۹۴) است. کلینوپیروکسن بازالت حسین‌آباد در محدوده تولیت‌های جزایر قوسی و کلینوپیروکسن بازالت حاجی‌آباد با میزان بالاتری از اکسید Ti و Cr، در محدوده N-MORB قرار دارند.

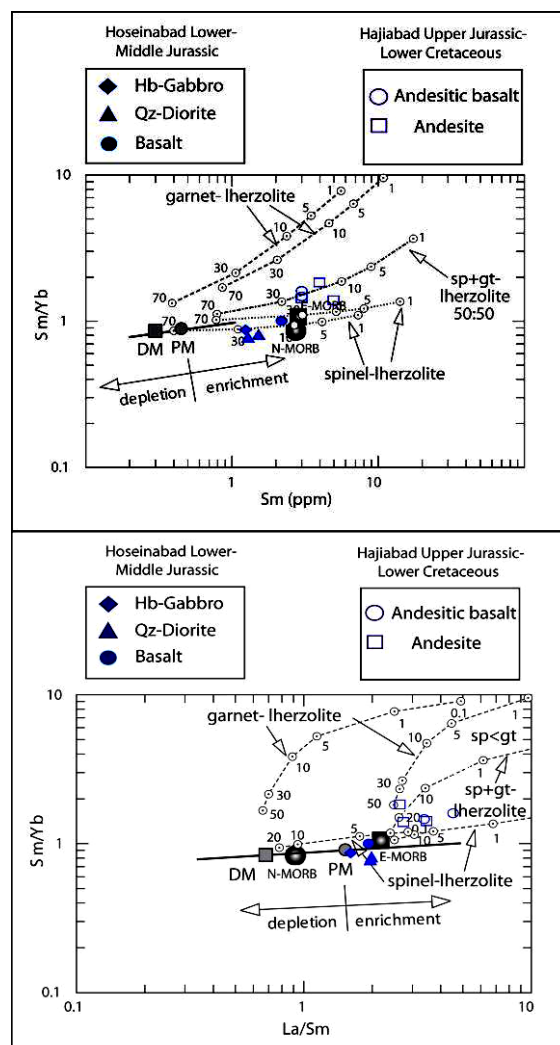
پتروژنز

به‌طور کلی، تغییرات کانی‌های باقی‌مانده و درجه ذوب بخشی در گوشته مرتبط با زون‌های فرورانش را می‌توان توسط فراوانی عناصر نادر خاکی و از همه مهم‌تر بر اساس نسبت‌های این عناصر مدل‌سازی نمود. از طرفی، نسبت Sm/Yb توالی‌های مافیک به ترکیب کانی‌شناسی ناحیه منشأ این سری‌ها وابسته بوده، زیرا Yb به‌شدت در گارنت نسبت به کلینوپیروکسن و / یا اسپینل سازگار است. بنابراین، می‌توان از نمودارهای نسبت Sm/Yb در مقابل Sm و یا نسبت Sm/Yb در برابر نسبت La/Sm برای پی بردن به تغییرات در رژیم و درجه ذوب بخشی ناحیه منشأ سری‌های مافیک استفاده نمود (Aldanmaz *et al.*, 2000).

۲- با توجه به مطالعات پتروگرافی، نمونه‌های ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد از هورنبلند گابرو، کواتز دیوریت و بازالت و نمونه‌های ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد عمدتاً از بازالت‌اندزیتی، آندزیت، هیالوآندزیت و داسیت تشکیل یافته‌اند. این توالی‌های ماگمایی به‌علت فوران در محیط دریایی تحت‌تأثیر محلول‌های هیدروترمالی کم و بیش اسپیلیتی شده‌اند.

۳- با توجه به مطالعات ژئوشیمیایی کل سنگ، از لحاظ سرشت ماگمایی نمونه‌های ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد گرایش تولیدی و نمونه‌های ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد گرایش به سمت سری‌های تولیدی تا کالک‌آلکان (تحولی) را نشان می‌دهند. بر اساس نمودارهای عناصر کمیاب و نادر خاکی (نرمالیز شده نسبت به گوشته اولیه) نمونه‌های ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد الگوی سطح در LREEها همراه با غنی‌شدگی در K, Ba, Rb و Sr، و تهی‌شدگی در Nb را نشان می‌دهند. از لحاظ ژئوشیمیایی این نمونه‌ها با سری‌های تولیدی جزایر قوسی مرتبط با پهنه‌های فرورانش مشابهند، در حالی‌که، نمونه‌های ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد غنی‌شدگی بیشتری را در کل عناصر کمیاب و نادر خاکی نسبت به نمونه‌های حسین‌آباد نشان داده، روند غنی‌شدگی در LREEها به‌همراه عناصری، همچون Pb, Th و U و تهی‌شدگی را در عناصر Nb, Ta و Ti نشان می‌دهند. از لحاظ ژئوشیمیایی این نمونه‌ها با سری‌های تحولی مناطق فرورانش مشابه هستند.

۴- از لحاظ ژئوشیمی کانیایی، کانی کلینوپیروکسن در نمونه‌های بازالتی ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد دارای ترکیب اورتیت‌های غنی از منیزیم و در نمونه‌های بازالت‌اندزیتی ژوراسیک بالایی - کرتاسه



شکل ۱۸- نمودارهای نسبت Sm/Yb در مقابل Sm و نسبت Sm/Yb در برابر نسبت La/Sm برای تعیین درجات ذوب‌بخشی منشأهای گوشته‌ای متفاوت (Aldanmaz et al., 2000) در نمونه‌های ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد و ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد. روند گوشته‌ای (خط ضخیم) توسط ترکیب گوشته تهی شده (DM) (McKenzie and O'Nions, 1991) و گوشته اولیه (PM) (McDonough and Sun, 1995) مشخص می‌شود. منحنی‌های ذوب بخشی برای منشأ گوشته‌ای اسپینل لرزولیت و گارنت لرزولیت با ترکیبات گوشته تهی شده و گوشته اولیه از Aldanmaz و همکاران (۲۰۰۰). ترکیب E-MORB و N-MORB از McDonough و Sun (۱۹۸۹) است. سنگ‌های ژوراسیک زیرین - میانی حسین‌آباد از ذوب بخشی ۱۰ تا ۳۰ درصد یک منشأ گوشته‌ای اسپینل لرزولیت با ترکیب گوشته اولیه (PM) و سنگ‌های ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی‌آباد از ذوب بخشی ۱۰ تا ۳۰ درصد یک منشأ گوشته‌ای اسپینل-گارنت لرزولیت با ترکیب مورب غنی شده (E-MORB) حاصل شده‌اند.

زیرین حاجی آباد در طیف دیوپسید قرار می گیرد. پلاژیوکلازها در نمونه های هورنبلند گابرو و کوارتز دیوریت حسین آباد دارای ترکیب شیمیایی آنورتیت تا بیتونیت و در نمونه های بازالت آندزیتی حاجی آباد دارای ترکیب لابرادوریت هستند. در نمودارهای تکتونوماگمایی کلینوپیروکسن در سنگ های بازالتی ژوراسیک زیرین - میانی حسین آباد و سنگ های بازالت آندزیتی ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی آباد، شیمی کلینوپیروکسن ها از دو الگوی متفاوت تبعیت نموده اند که این امر می تواند نشان دهنده منشأهای گوناگون ماگمای مادر تشکیل دهنده این سنگ ها باشد. با توجه به ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن ها و با استفاده از نمودارهای مربوطه آنچه که می توان برداشت نمود، این است که ماگمای مادر کلینوپیروکسن های سنگ های بازالتی حسین آباد دارای ترکیب تولییت های جزایر قوسی است. کلینوپیروکسن های این سنگ ها از تیتانیم تهی شده بوده، این تهی شدگی می تواند با خاصیت ماگمای مادر آنها (ماگمای نوع جزایر قوسی) مرتبط باشد. کلینوپیروکسن های موجود در سنگ های بازالت آندزیتی حاجی آباد در نمودارهای تکتونوماگمایی به کلینوپیروکسن های موجود در نواحی مرتبط با مورب ها گرایش نشان می دهند. این کلینوپیروکسن ها با میزان بالاتری از تیتانیم مشخص می شوند و این غنی شدگی می تواند با منشأ متاسوماتیزه گوه گوشته ای این سنگ ها در ارتباط باشد.

۵- با استفاده از نمودارهای تکتونوماگمایی و پتروژنتیکی، ماگمای مادر سنگ های ژوراسیک زیرین - میانی حسین آباد و سنگ های ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی آباد از ذوب بخشی منشأهای گوشته ای متفاوت حاصل شده است. ماگمای مادر توالی ژوراسیک زیرین - میانی حسین آباد با ترکیب تولییت جزایر قوسی (IAT) از ذوب بخشی ۱۰ تا ۳۰ درصد یک

منشأ گوشته ای اسپینل لرزولیت با ترکیب گوشته اولیه (PM) حاصل شده است. این گوشته کم و بیش متاسوماتیزه، به میزان کمی تحت تأثیر رسوبات و سیالات ناشی از مراحل اولیه فرورانش ورقه اقیانوسی قرار گرفته است. ماگمای مادر توالی ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین حاجی آباد با ترکیب تولییت جزایر قوسی (IAT) تا مورب غنی شده (E-MORB) از ذوب بخشی ۱۰ تا ۳۰ درصد یک منشأ گوشته ای گارنت - اسپینل لرزولیت با ترکیب مورب غنی شده حاصل شده است. در این سنگ ها، گوشته متاسوماتیزه به میزان بیشتری تحت تأثیر رسوبات و سیالات حاصل از اعماق بیشتر ورقه فرورانشی قرار گرفته است.

۶- این توالی های سنگی در نتیجه فرورانش مایل اقیانوس نئوتتیس به زیر پهنه سنندج - سیرجان، از زمان ژوراسیک زیرین تا کرتاسه زیرین، در محیط جزایر کمائی تشکیل یافته اند. ماگماهای مادر این توالی های سنگی در آشیانه های ماگمایی پوسته اقیانوسی شواهد تفریق را نشان می دهند (حضور سنگ های حدواسط). این توالی های ماگمایی در محیط زیردریایی کمان اقیانوسی فوران کرده و تحت تأثیر محلول های هیدروترمالی کم و بیش اسپیلیتی شده اند. Omrani و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که سنگ های ولکانیکی مزوزوییک در پهنه سنندج - سیرجان شمالی دارای گرایش کالک آلکالین بوده، با ماگماتیسیم کمائی در مناطق فرورانش هستند. به عقیده آنها کمان ماگمایی مزوزوییک پهنه سنندج - سیرجان در نتیجه فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس به زیر حاشیه فعال قاره ای ایران مرکزی (پهنه سنندج - سیرجان) تشکیل یافته است.

منابع

- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L. and Mouthereau, F. (2005) Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation. *International Journal of Earth Science* 94: 401-419.
- Aldanmaz, E., Pearce, J. A., Thirlwall, M. F. and Mitchell, J. G. (2000) Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanological Geothermal Research* 102: 67-95.
- Allen, M. B., Jackson, J. and Walker, R. (2004) Late Cenozoic reorganization of the Arabia-Eurasia collision and the comparison of short-term and long-term deformation rates. *Tectonics* 23: 1-16.
- Alric, G. and Virlogeux, D. (1977) *Pétrographie et géochimie des roches métamorphiques et magmatiques de la région de Deh Bid-Bavanat, Chaîne de Sanandaj-Sirjan, Iran*. Thèse 3ème cycle, université scientifique et médicale de Grenoble, France.
- Beccaluva, L., Macciotta, G., Piccardo, G. B. and Zeda, O. (1989) Clinopyroxene compositions of ophiolite basalts as petrogenetic indicator. *Chemical Geology* 77: 165-182.
- Berberian, F. and Berberian, M. (1981) Tectono-plutonic episodes in Iran, In: Gupta, H.K. and Delany, F.M. (Eds.): *Zagros, Hindukosh, Himalaya geodynamic evolution*. American Geophysical Union Washington 5-32.
- Berberian, M. and King, G. C. P. (1981) Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences* 18: 210-265.
- Berberian, M. and Nogol, M. (1974) Preliminary explanation text of the geology of Deh Sard and Khabr maps with some remarks on the metamorphic complexes and the tectonics of the area (two geological maps, 1/100000 from the Hajiabad quadrangle map). Geological Survey of Iran, internal report.
- Braud, J. (1978) Geological map of Kermanshah 1/250000 scale. Geological Survey of Iran.
- Braud, J. (1987) *La suture du Zagros au niveau de Kermanshah (Kurdistan Iranien): reconstitution paleogeographique, evolution geodynamique, magmatique et structurale*. Ph. D. theses, Universite Paris-Sud.
- Cabanis, B. and Lecolle, M. (1989) Le diagramme La/10-Y/15-Nb/8: un outil pour la discrimination des series volcaniques et la mise en evidence des processus de melange et/ou de contamination crustale. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* 309: 2023-2029.
- Davoudzadeh, M., Soffel, H. and Schmidt, K. (1981) On the rotation of the Central-East Iran microplate. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie* 3: 180-192.
- Deer, W. A., Howie, R. A. and Zussman, J. (1991) *An introduction to the rock-forming minerals*. Longman Scientific Technical, New York.
- Dewey, J. F., Pitman, W. C., Ryan, W. B. F. and Bonnin, J. (1973) Plate tectonics and the evolution of the Alpine system. *Geological Society of America Bulletin* 84: 3137-3180.
- Dimitrijevic, M. D. (1973) *Geology of Kerman*. Geological Survey of Iran, No. 72.
- Elliott, T., Plank, T., Zindler, A., White, W. & Bourdon, B. (1997) Element transport from slab to volcanic front at the Mariana arc. *Journal of Geophysical Research* 102: 14991-15019.
- Forster, H. (1976) Continental drift in Iran in relation to the Afar structures. In: A., Pilger and A., Rosler (Eds.): *Afar between continental and oceanic rifting (VII)*. Schweizerbatsche Varlagsbuchhandlung, Stuttgart 182-190.
- Hawkins, J. W. and Allan, J.F. (1994) Petrologic evolution of Lau Basin sites 834 through 839. In: J. W., Hawkins, L. M. Parson and J. F., Allan (Eds.): *Proceedings of the Ocean Drilling Program*. Scientific Results, College Station, Texas.

- Hout, F., Hebert, R., Varfalvy, V., Beaudoin, G., Wang, C. S., Liu, Z. F., Cotten, J. and Dostal, J. (2002) The Beimarang melange (southern Tibet) brings additional constraints in assessing the origin, metamorphic evolution and obduction processes of the Yarlung Zangbo ophiolite. *Journal of Asian Earth Sciences* 21: 307-322.
- Jackson, J., Hains, J. and Holt, W. (1995) The accommodation of Arabia-Eurasia plate. *Journal of Geophysical Research* 100(15): 205-219.
- Kuno (1968) Differentiation of basaltic magma. In: H. H., Hess and A., Poldervaart (Eds.): *Basalts*. 2: 623-688.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A. and Zanettin, B. (1986) A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology* 27: 745-750.
- Leake, B. E., Wooley, A. R. and Arps, C. E. S. (1997) Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on new minerals and mineral names. *Mineralogical Magazine* 61: 295-321.
- Leterrier, J., Maury, R. C., Thonon, P., Girard, D. and Marchal, M. (1982) Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleo-volcanic series. *Earth Planetary Science Letter* 59: 139-154.
- McDonough, W. F. and Sun, S. S. (1995) The composition of the Earth. *Chemical Geology* 120: 223-253.
- McKenzie, D. and O'Nions, R. K. (1991) Partial melt distribution from inversion of rare earth element concentrations. *Journal of Petrology* 32: 1021-1091.
- Moritomo, N., Fabries, J., Ferguson, A. K., Ginzburg, I. V., Ross, M., Seifert, F. A., Zussman, J., Akoi, K. and Gottardi, G. (1988) Nomenclature of pyroxenes. *Mineralogical Magazine* 52: 535-550.
- Nazemzadeh, M., Roshanravan, J. and Azizan, H. (1996) Geological map of the Baghat, Scale 1/100,000. Geological Survey of Iran, Sheet No. 7147.
- Omran, J., Agard, P., Whitechurch, H., Benoit, M., Prouteau, G. and Jolivet, L. (2008) Arc-magmatism and subduction history beneath Zagros: New report of adakites and geodynamic consequences. *Lithos* 106: 380-398.
- Pearce, J. A., Baker, P. E., Harvey, P. K. and Luff, I. A. (1995) Geochemical evidence for subduction fluxes, mantle melting and fractional crystallization beneath the South Sandwich Island Arc. *Journal of Petrology* 36: 1073-1109.
- Piercey, S. J., Murphy, D. C., Mortensen, J. K. and Creaser, R. A. (2004) Mid-Paleozoic initiation of the northern Cordilleran marginal backarc basin: Geologic, geochemical, and neodymium isotope evidence from the oldest mafic magmatic rocks in the Yukon-Tanana terrane, Finlayson Lake district, southeast Yukon, Canada.. *Geological Society of America Bulletin* 116(9/10): 1087-1106.
- Sabzehei, M. (1974, Les mélanges ophiolitiques de la région d'Sfandagheh (Iran méridional), Etude pétrologique et Structurale, Interprétation dans le cadre Iranien. Ph. D. thesis, Université de Grenoble, France.
- Saunders, A. and Tarney, J. (1991) Back-arc basins, In: P. A., Floyd (Ed.): *Oceanic basalts*. Blackie & Son Ltd. 219-263.
- Seiffory pour, S. (2002) Geological map of the Hadjiabad, Scale 1/100,000. Geological Survey of Iran, Sheet No. 7146.
- Sengor, A. M. C. (1979) Mid - Mesozoic closure of Permo - Triassic Tethys and its implications. *Nature* 279: 590-593.
- Stakes, D. S. and Franklin, J. M. (1994) Petrology of igneous rocks at Middle Valley, Juan de Fuca Ridge, In: M. J., Mottl, E. E., Davis and A. T., Fisher (Eds.): *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, College Station Texas.

- Stocklin, J. (1968) Structural history and tectonics of Iran: a review. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 52(7): 1229-1258.
- Stocklin, J. (1974) Possible ancient continental margins in Iran. In: C. A., Burk and C. L., Drake (Eds.): *The geology of continental margins*. Springer, Berlin.
- Stocklin, J. (1977) Structural correlation of the Alpine range between Iran and Central Asia. *Memoire Hors-Serve No.8 dela Societe Geologique de France* 8: 333-353.
- Sun, S. S. and McDonough, W. F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: A. D., Saunders and M. J., Norry (Eds.): *Magmatism in Ocean Basins*. Geological Society Special Publication London 313-345.
- Taraz, H. (1974) Geology of the Surmaq-Deh Bid area, Abadeh region, Central Iran. Geological Survey of Iran.
- Van der Laan, S. R., Arculus, R. J., Pearce, J. A. and Murton, B. J. (1992) Petrography, mineral chemistry, and phase relations of the basement boninite series of site 786, Izu-Bonin forearc. In: P., Fryer, J. A. Pearce and L. B., Stokking (Eds.): *Proceedings of the Ocean Drilling Program. Scientific Results*, College Station, Texas.
- Wood, D. A. (1980) The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary Volcanic Province. *Earth and Planetary Science Letters* 50: 11-30.

Petrogenetic variations of the Jurassic magmatic sequences of Hoseinabad-Hajiabad regions in Sanandaj-Sirjan Zone (south of Iran)

Iman Monsef *¹, Mohammad Rahgoshay ¹ and Hubert Whitechurch²

¹ Department of Geology, Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

² Institute of Geology, University of Louis Pasteur, Strasbourg, France

Abstract

The Jurassic magmatic sequences in the southern part of Sanandaj-Sirjan Zone show significant geochemical variations during their compositional evolution. These magmatic sequences have exposed in the Hoseinabad region with Early to Middle Jurassic age and in Hajiabad region with Late Jurassic to Early Cretaceous age. The parent magma of the first sequence in Hoseinabad region, with island arc tholeiite (IAT) affinity have been originated from the spinel lherzolite mantle source with primitive mantle (PM) composition. This mantle source is affected by liquids and sediments resulted from the subducting slab. The parent magma of the second sequence in Hajiabad region with island arc tholeiite to transitional affinity have been resulted from the garnet - spinel lherzolite mantle source with E-MORB composition. These compositional changes may be related to high sediment and hydrothermal fluxes which resulted from the deep subducted slab into the mantle wedge. These magmatic sequences are originated during the subduction of the Neo-Tethyan oceanic lithosphere under the Sanandaj-Sirjan Zone, during the Early Jurassic to Early Cretaceous time, in the island arc tectonic environment.

Key words: Magmatic sequence, Island arc, Hajiabad-Hoseinabad, Sanandaj-Sirjan zone, Neo-Tethys

* iman_monsef@yahoo.com