

ژئوشیمی و پتروژنز سنگ‌های آتشفشانی و نیمه نفوذی گیوشاد (جنوب‌باختر بیرجند، خاور ایران)

محمدحسین زرین‌کوب*، سید سعید محمدی و فضیلت یوسفی
گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

چکیده

منطقه مورد بررسی، در فاصله ۴۱ کیلومتری جنوب‌باختری بیرجند، در بخش شمالی ایالت جوش خورده سیستان قرار دارد. یک مجموعه آتشفشانی شامل آندزیت و آندزیت بازالتی به همراه یک توده نیمه نفوذی دیوریتی منسوب به ائوسن به درون شیل و ماسه سنگ پالئوژن نفوذ کرده‌اند. بافت‌های غالب مشاهده شده در این مجموعه سنگی شامل پورفیری با زمینه میکروگرانولار، پورفیری و گلومروپورفیری هستند. پلاژیوکلاز (الیگوکلاز - آندزین) و آمفیبول (هورنبلند سبز) فراوان‌ترین فنوکریست‌ها هستند. بیوتیت، کلینوپیروکسن و به‌ندرت الیوین، دیگر کانی‌های مشاهده شده هستند. بی‌هنجاری منفی در عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) مانند Nb و Ti که از ویژگی‌های ژئوشیمیایی کمان‌های ماگمایی است، در این سنگ‌ها مشاهده می‌شود. بالا بودن نسبت‌های LREE/HREE، Sr/Y، (میانگین ۴۴/۳۳)، La/Yb (میانگین ۱۲/۴۸) و مقدار SiO₂ همراه با فقدان آنومالی منفی Eu نشان می‌دهند که این سنگ‌ها به آداکیت‌ها شباهت دارند. این ماگماتیسم می‌تواند یک فرآیند پس از برخوردی مرتبط به فرورانش و از یک خاستگاه اکلوژیتی سرچشمه گرفته باشد.

واژه‌های کلیدی: آداکیت، بیرجند، ژئوشیمی، گیوشاد

مقدمه

حلقوی شکل به‌همراه سنگ‌های آتشفشانی با سن ائوسن به درون واحدهای شیل و ماسه سنگی (نهشته‌های تیپ فلیش) پالئوژن (Eftekhar-Nezhad *et al.*, 1978) تزریق شده‌اند. تا کنون هیچ‌گونه مطالعه پتروژئیک بر روی این منطقه انجام نشده است. تنها آنالیز یک نمونه از سنگ‌های منطقه گیوشاد گزارش شده است (Jung *et al.*, 1983). هدف از این پژوهش،

منطقه مورد مطالعه در ۴۱ کیلومتری جنوب‌باختری بیرجند (شکل ۱) و محدوده "۳۴'۲۱" ۳۲° تا "۳۹'۴۹" ۳۲° عرض شمالی و "۵۹'۰۰" تا "۵۹'۱۰" ۵۹° طول خاوری، در بخش شمالی زون جوش خورده سیستان (Tirrul *et al.*, 1983) قرار گرفته است. در این منطقه توده‌های نیمه نفوذی با مورفولوژی گنبدی و در مواردی

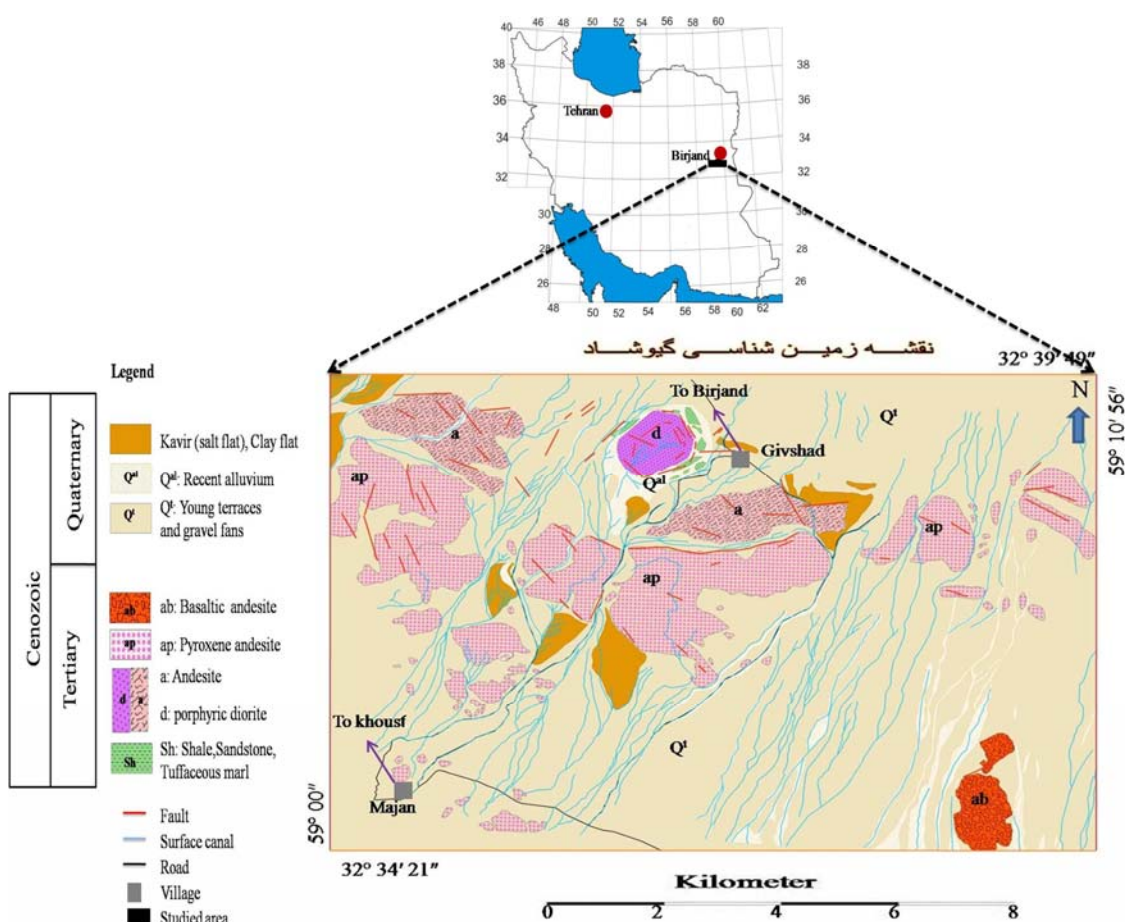
به طور گسترده مشاهده می‌شود. قدیمی‌ترین واحدهای سنگی موجود در منطقه گیوشاد شامل مجموعه‌ای از ماسه سنگ و شیل‌های پالئوسن هستند که توسط ماگماتیسیم بعد از پالئوسن با ترکیب آندزیت، پیروکسن آندزیت، آندزیت بازالتی و دیوریت پورفیری مورد هجوم قرار گرفته‌اند (شکل ۱).

آثار پختگی ناشی از نفوذ دیوریت پورفیری به درون شیل و ماسه سنگ در مرز توده مشاهده می‌شود. توده‌های نیمه نفوذی دیوریت پورفیری با خصلت آداکیتی در شمال باختری این منطقه، در محدوده رچ رخنمون دارند که سن‌سنجی به روش زیرکن - اورانیم - سرب شده، سن ائوسن را به دست داده‌اند (زرین کوب و همکاران، ۱۳۸۹).

مطالعات صحرایی، پتروگرافی، ژئوشیمی و پتروژنز سنگ‌های آتشفشانی و نیمه نفوذی محدوده روستای گیوشاد است.

زمین‌شناسی عمومی

ایالت ساختاری سیستان، زمین‌درز ناشی از برخورد پهنه لوت با بلوک افغان است، که روند کلی آن شمالی-جنوبی است (Tirrul et al., 1983). به دنبال فاز فشاری کرتاسه پایانی که با دگرگونی، چین خوردگی، بالآمدگی و فرارانش افیولیت‌ها همراه بوده است، فاز کششی مهمی در سرتاسر ایران (به جز زاگرس و کپه‌داغ) حکم‌فرما شد که نتیجه آن ولکانیسم شدید ائوسن است (امامی، ۱۳۷۹)، که این ولکانیسم در شرق ایران نیز



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (با تغییرات از Eftekhar-Nezhad و همکاران، ۱۹۷۸).

روش انجام پژوهش

در این مطالعه، با استفاده از عکس‌های هوایی ۲۰۰۰: ۱ منطقه، پیمایش‌های صحرایی و مطالعات سنگ نگاری، نقشه زمین‌شناسی، تهیه شد. از بین نمونه‌های سنگی برداشت شده، ۱۰۰ عدد مقطع نازک تهیه و ۱۰ نمونه برای تجزیه شیمیایی به روش ICP-MS به شرکت SGS کانادا ارسال شد. برای تعبیر و تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی از نرم‌افزارهای GCDkit و Minpet استفاده شده است.

پتروگرافی

سنگ‌های آتشفشانی و نیمه نفوذی منطقه گیوشاد، عمدتاً شامل آندزیت، پیروکسن‌آندزیت و

دیوریت پورفیری هستند. حضور آنکلاوهای آمفیبولیتی و متاپلیتی از ویژگی‌های بارز این سنگ‌هاست. رخنمون‌های منفردی از آندزیت بازالتی، در جنوب‌خاوری منطقه مشاهده می‌شوند (شکل ۱). بافت غالب سنگ‌های آندزیتی و دیوریت، پورفیری با زمینه میکروگرانولار، پورفیری و گلومروپورفیری است (شکل‌های ۲- A، ۲- B، ۲- C). فراوان‌ترین فنوکریست در این سنگ‌ها درشت بلورهای پلاژیوکلاز (الیگوکلاز- آندزین) هستند که معمولاً منطقه‌بندی داشته، بافت غربالی نشان می‌دهند. برخی درشت بلورهای پلاژیوکلاز به کانی‌های رسی (شکل ۲- D) و کربنات (شکل ۲- E) دگرسان شده‌اند.



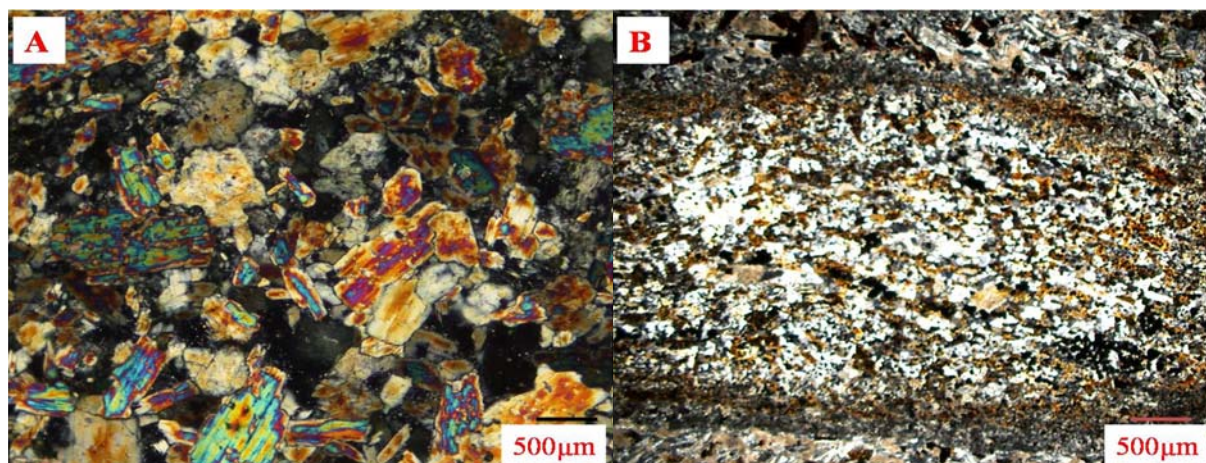
شکل ۲- تصاویر میکروسکوپی XPL از: A) پلاژیوکلاز (Plg) و هورنبلند (Hb) در آندزیت، B) فنوکریست‌های درشت پلاژیوکلاز در دیوریت پورفیری، C) بافت گلومروپورفیری در آندزیت، D) دگرسانی پلاژیوکلاز به کانی‌های رسی، E) کربناتی شدن پلاژیوکلاز، F) کانی‌های پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن (Cpx) در پیروکسن آندزیت، G) بلور الیوین (Ol) ایدنگزیتی شده و میکرولیت‌های پلاژیوکلاز در آندزیت‌بازالتی (علایم اختصاری کانی‌ها از کتاب Pichler، ۱۹۹۷).

آنکلاوهای متاپلیتی حاوی ذرات ریز کانی‌های کوارتز، فلدسپار و بیوتیت هستند. به نظر می‌رسد این آنکلاوها قطعات کنده شده از رسوبات فلیش دگرگون شده هستند که در مسیر صعود ماگما قرار گرفته‌اند (شکل ۳- B).

ژئوشیمی

ده نمونه از بین سالم‌ترین نمونه‌ها برای آنالیز شیمیایی انتخاب شده‌اند (جدول ۱). بر اساس نتایج آنالیزهای شیمیایی، سنگ‌های مورد مطالعه در محدوده تراکی‌آندزیت، آندزیت و آندزیت‌بازالتی و در قلمرو ماگماهای ساب‌آلکان (Le Bas *et al.*, 1986) قرار می‌گیرند (شکل ۴). بر اساس نمودار AFM، برگرفته از Baragar و Irvin (۱۹۷۱) نمونه‌ها در محدوده کالک‌آلکان جای می‌گیرند (شکل ۵). نمودار عناصر کمیاب به‌هنجار شده با کندریت Thompson (۱۹۸۲)، حاکی از آنومالی مثبت عناصر K و Th، و آنومالی منفی Ti و Nb است (شکل ۶). نمودار عناصر خاکی کمیاب به‌هنجار شده با کندریت Nakamora (۱۹۷۴)، حاکی از غنی‌شدگی LREEها و تهی‌شدگی از عناصر HREE و نبود آنومالی منفی Eu است (شکل ۷).

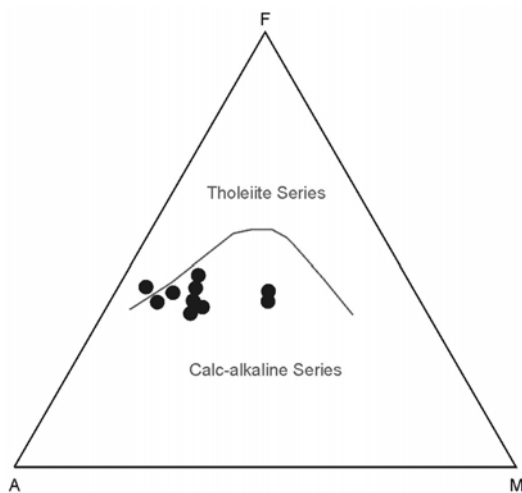
درشت بلورهای هورنبلند از نظر فراوانی در درجه دوم قرار دارند. بیوتیت، کلینوپیروکسن و به‌ندرت الیوین نیز به‌صورت فنوکریست مشاهده می‌شوند. در حاشیه خارجی برخی از فنوکریست‌های هورنبلند و بیوتیت، لایه‌ای از اکسیدهای آهن جایگزین شده است. این مسأله به نبود تعادل این کانی‌ها در شرایط نزدیک سطح زمین (فوگاسیته بالای اکسیژن) و افزایش درجه حرارت نسبت داده شده است (Ringwood, 1974; Middlemost, 1986; Rutherford *et al.*, 2003). برخی نمونه‌ها با افزایش فنوکریست‌های کلینوپیروکسن به سمت پیروکسن آندزیت متمایل می‌شوند (شکل ۲- F). در جنوب‌خاوری منطقه مورد مطالعه، واحد آندزیت‌بازالتی رخنمون دارد (شکل ۲- G). این سنگ‌ها دارای بافت پورفیری میکروولیتی بوده، پلاژیوکلاز همراه مقادیر کمی پیروکسن و الیوین ایدینگزیتی شده، فنوکریست‌های متداول آن‌ها هستند. حضور آنکلاوهای آمفیبولیتی و متاپلیتی از ویژگی‌های بارز مجموعه آندزیت، پیروکسن آندزیت و دیوریت پورفیری در منطقه است. آنکلاوهای آمفیبولیتی می‌توانند قطعاتی جدا شده از بخش‌های زیرین پوسته باشند که در ماگمای در حال صعود به دام افتاده‌اند. هورنبلند سبز و پلاژیوکلاز دو سازنده اصلی این آنکلاوها هستند (شکل ۳- A).



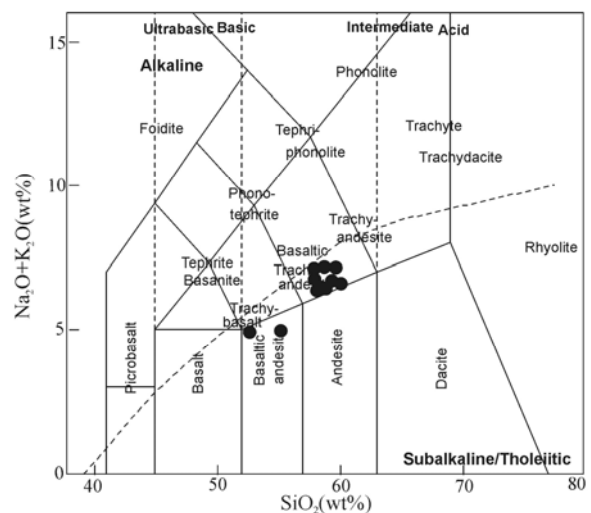
شکل ۳- A) بافت میکروگرانولار در آنکلاو آمفیبولیتی (XPL)، B) آنکلاو متاپلیتی درون دیوریت پورفیری (XPL)

جدول ۱- نتایج آنالیز شیمیایی عناصر اصلی و عناصر کمیاب واحدهای مختلف توده آتشفشانی و نیمه نفوذی گیوشاد

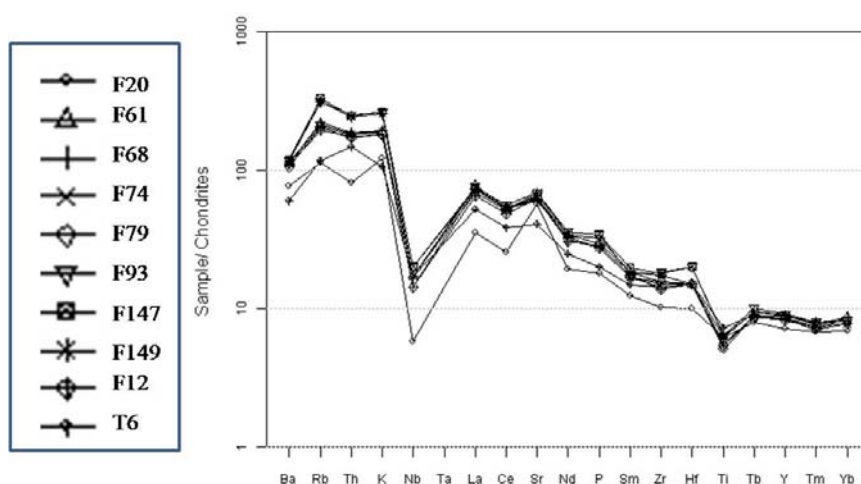
Sample No.	F12	F20	F61	F68	F74	F79	F93	F147	F149	T6
(wt%)										
SiO ₂	57.60	53.20	58.00	59.00	58.60	58.00	58.80	56.90	57.80	55.30
Al ₂ O ₃	16.20	16.90	17.20	16.80	16.80	16.90	16.30	16.50	16.10	16.60
Fe ₂ O _{3t}	6.31	7.60	7.73	6.88	6.17	6.07	6.17	6.56	6.75	7.25
CaO	6.20	8.93	5.92	6.03	6.30	6.20	7.10	7.11	6.82	7.33
Na ₂ O	3.90	3.60	3.90	3.50	3.60	3.80	3.70	3.50	3.60	3.50
K ₂ O	2.61	1.75	2.74	2.80	2.72	2.76	3.77	3.85	3.72	1.55
MgO	2.33	5.64	2.40	2.31	2.30	2.23	1.32	0.62	1.70	5.14
TiO ₂	0.55	0.64	0.58	0.55	0.56	0.55	0.66	0.65	0.64	0.76
MnO	0.14	0.13	0.16	0.15	0.15	0.14	0.11	0.12	0.17	0.13
P ₂ O ₅	0.30	0.19	0.31	0.29	0.29	0.31	0.36	0.36	0.34	0.27
L.O.I	4.40	2.96	2.42	2.53	2.59	2.58	2.41	4.09	3.32	1.36
Total	100.5	101.6	101.4	100.8	100.1	99.6	100.7	100.3	100.9	99.3
Mg#	49.40	64.65	43.80	45.97	50.00	49.59	37.08	20.08	39.62	64.97
(ppm)										
Rb	68	39.8	75.8	77.4	72.2	71.4	110	116	109	41.2
Sr	730	670	750	710	760	730	810	770	810	480
Y	16.9	14.2	17.5	16.8	16.9	16.3	18.2	17.9	17.5	0.5<
Zr	110	70	120	110	110	110	140	140	130	110
Nb	5	2	6	6	6	5	7	7	6	6
Cs	3.9	0.7	2.3	3.7	1.7	1.7	11.9	14.7	13.1	2.1
Ba	760	530	780	770	770	730	820	820	800	410
La	21.5	11.5	25.4	24.2	24.9	24.1	25	23.8	22.8	17.1
Ce	41.8	22.2	46.4	45.7	44.9	44.7	48.4	45.8	44.5	33.1
Pr	4.73	2.75	5.18	5.15	5	4.95	5.45	5.30	5.20	3.77
Nd	19.2	12.2	21.2	20.6	20.0	19.9	22.6	22.4	21.5	15.6
Sm	3.5	2.5	3.7	3.4	3.4	3.4	3.6	4.0	3.7	3.0
Eu	0.95	0.80	1.05	1.01	0.99	0.99	1.08	1.04	1.01	0.97
Tb	0.45	0.41	0.46	0.47	0.45	0.45	0.52	0.49	0.49	0.47
Dy	2.76	2.62	3.12	2.86	2.92	2.91	3.17	3.02	3.06	2.94
Ho	0.59	0.52	0.58	0.61	0.59	0.55	0.61	0.58	0.66	0.54
Er	1.69	1.55	1.84	1.76	1.75	1.72	1.93	1.83	1.84	1.69
Tm	0.24	0.23	0.26	0.24	0.25	0.25	0.27	0.26	0.27	0.25
Yb	1.7	1.5	1.9	1.9	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8	1.7
Lu	0.25	0.19	0.27	0.24	0.25	0.23	0.26	0.23	0.26	0.22
Th	7.4	3.4	7.7	7.8	7.6	7.2	10.5	10.4	10.2	6.2
U	1.55	1.07	1.70	1.62	1.65	1.65	2.64	2.10	2.59	2.38



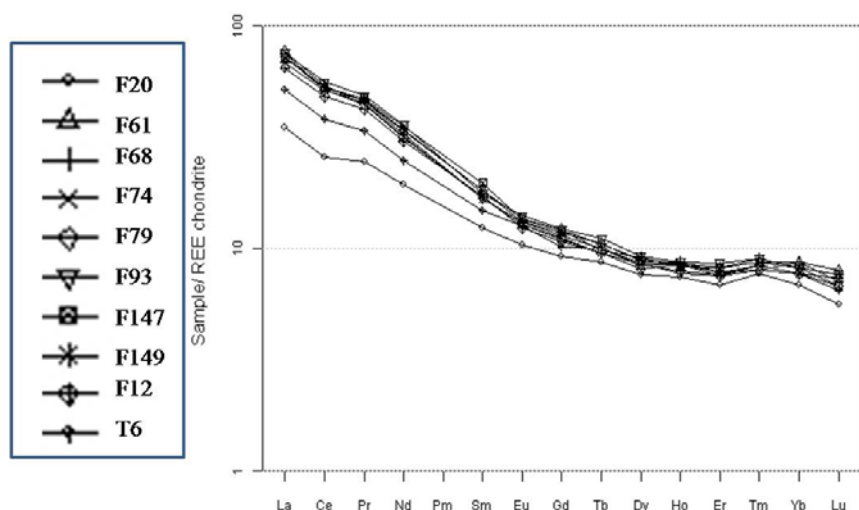
شکل ۵- نمونه‌های مورد مطالعه بر روی نمودار AFM (Irvin and Baragar, 1971) در محدوده کالک‌آلکان قرار می‌گیرند.



شکل ۴- سنگ‌های مورد مطالعه منطقه گیوشاد در محدوده تراکی آندزیت، آندزیت و آندزیت بازالتی (Le Bas et al., 1986) قرار گرفته‌اند.



شکل ۶- الگوی به‌هنجار شده عناصر جزئی نسبت به کندریت Thompson (۱۹۸۲) در سنگ‌های منطقه گیوشاد

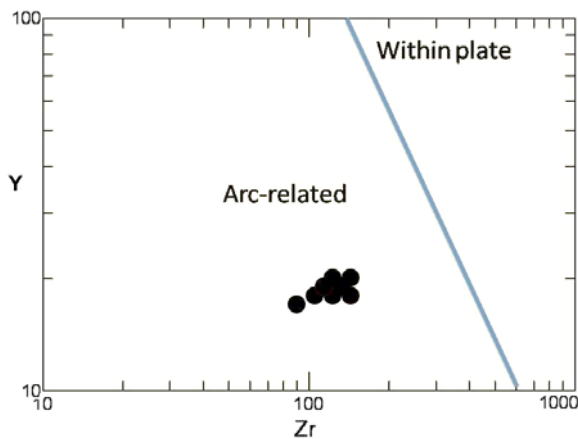


شکل ۷- الگوی به‌هنجار شده عناصر نادر خاکی نسبت به کندریت Nakamora (۱۹۷۴) در سنگ‌های منطقه گیوشاد

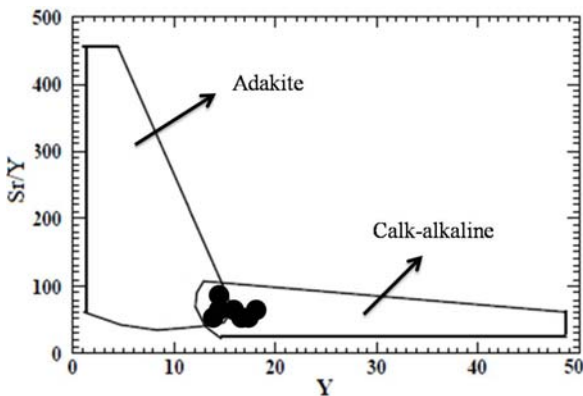
بحث

تفاوت فراوانی عناصر ناسازگار در نمونه‌های آندزی‌بازالتی (نمونه‌های F20 و F6 در جدول ۱) و محل قرارگیری آن‌ها بر روی نمودار AFM حاکی از روند تکاملی این سنگ‌ها از یک ماگماست. با توجه به وجود زینولیت‌های متاپلیتی در سنگ‌های منطقه، همراه با مقادیر بالای La/Nb (Reichew *et al.*, 2004)، در حدود ۲-۶ و افزایش میزان Ba، K و Rb احتمالاً این سنگ‌ها تحت تأثیر پدیده آرایش پوسته‌ای قراد گرفته‌اند (Keskin *et al.*, 1998).

همه نمونه‌های مورد مطالعه در منطقه گیوشاد در محدوده سنگ‌های حد واسط کالک‌آلکان قرار گرفته‌اند. مجزا شدن دو نمونه از سایر نمونه‌ها در شکل‌های ۴ و ۵ این ذهنیت را ممکن است ایجاد نماید که با دو دسته سنگ متفاوت روبرو هستیم اما الگوی پراکندگی فراوانی عناصر نادر خاکی همه نمونه‌های سنگی آتشفشانی و نیمه نفوذی منطقه با هم موازی است (شکل ۷) که می‌تواند بیانگر از هم منشأ بودن این سنگ‌ها باشد.



شکل ۹- نمونه‌های مورد مطالعه نمودار فراوانی Y در برابر Zr (Muller and Grove, 1992) در میدان مرتبط با کمان قرار می‌گیرند.



شکل ۱۰- نمونه‌های مورد مطالعه در نمودار Sr/Y در مقابل Y (Defant and Drummond, 1990) در مرز جدا کننده سنگ‌های کالک‌آلکال معمولی از آداکیت قرار گرفته‌اند.

سنگ‌های منطقه مورد مطالعه نیز دارای عدد منیزیم بالایی نیستند (جدول ۱). این ویژگی در سنگ‌های نیمه نفوذی منطقه رچ در شمال‌باختر منطقه مورد مطالعه نیز گزارش شده است (زرین‌کوب و همکاران، ۱۳۸۹). ماگماتیسم آداکیتی مرتبط با ذوب‌بخشی سنگ‌کره اقیانوسی فرورونده در زون‌های فرورانش دانسته شده است (Richard and Kerrich, 2007) اما برای رخداد ذوب‌بخشی سنگ‌کره اقیانوسی فرورونده و ایجاد ماگمای آداکیتی شرایط مختلفی

با استفاده از نمودار فراوانی Y در برابر Zr (Muller and Grove, 1992) نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در محدوده قوس آتشفشانی قرار می‌گیرند (شکل ۹). میانگین نسبت Zr/Nb در این سنگ‌ها (حدود ۱۲)، نسبت بالای Ba/Nb (<28) و آنومالی منفی عناصر با قدرت میدان بالا (HFSE) از جمله Nb و Ti نیز نشان‌دهنده ماگماتیسم مرتبط با فرورانش (Gill, 1981; Sommer *et al.*, 2006; Gill, 2010) است. غنی‌شدگی از LREEها، تهی‌شدگی از HREE یکی دیگر از ویژگی‌های بارز سنگ‌های مناطق فرورانش است (Gill, 2010; Hughes, 1982; Pearce, 1983; Winter, 2001; Wilson, 2007) که در نمونه‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود (شکل ۷). با توجه به بالا بودن مقدار SiO₂ (میانگین ۵۷/۳۲ درصد)، Al₂O₃ (میانگین ۱۶/۵۶ درصد) و Sr (میانگین ۷۲۲ ppm)، همراه با پایین بودن مقدار Yb (میانگین ۱/۷۵ ppm) و Y (میانگین ۱۵/۲ ppm) و نبود آنومالی منفی Eu، گرایش این مجموعه به سمت ماگماهای آداکیتی (Kay, 1978; Defant and Drummond, 1990; Kay and Kay, 1993; Wolf *et al.*, 1994; Kelemen, 1995; Shen *et al.*, 2003; Martin *et al.*, 2005; Richard and Kerrich, 2007; Ghadami *et al.*, 2008) را آشکار می‌کند (شکل ۱۰). علی‌رغم آن که بیش از سه دهه از زمان مطرح شدن آندزیت‌های غنی از منیزیم غیر عادی جزیره آداک (Kay, 1978) و معرفی آداکیت‌ها می‌گذرد اما هنوز توافق جمعی بر روی ویژگی‌های ژئوشیمیایی این سنگ‌ها وجود ندارد. یکی از این موارد اختلاف نظر مقدار MgO و عدد منیزیم است که در باورهای اولیه از آداکیت‌ها مقدار بالای MgO و عدد منیزیم مطرح شد (Kay, 1978)، در حالی که بعداً مقدار $MgO < 3$ و $Mg\# \approx 0.5$ (Martin *et al.*, 2005; Richard and Kerrich, 2007) مورد توافق قرار گرفته است.

توجه ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های مورد مطالعه و جوان بودن آن‌ها (زرین‌کوب و همکاران، ۱۳۸۹)، بنابراین، ماگماتیسم مورد نظر می‌تواند یک فرآیند پس برخوردی مرتبط با فرآیند فرورانش (Haschke et al., 2005)، ناشی از دگرگونی پوسته زیرین و جدایش این بخش از پوسته و فرورفتن در استنوسفر باشد.

نتیجه‌گیری

سنگ‌های آتشفشانی و نیمه نفوذی منطقه گیوشاد شامل تراکی آندزیت، آندزیت، آندزیت بازالتی و دیوریت پورفیری با ویژگی کالک‌آلکالن هستند. بالا بودن نسبت‌های LREE/HREE، مقدار SiO_2 ، Al_2O_3 و Sr، همراه با پایین بودن مقدار Yb و Y و نبود آنومالی منفی Eu، گرایش این مجموعه را به سمت ماگماهای آداکتیتی نشان می‌دهند. این ماگما می‌تواند از یک خاستگاه غنی از گارنت حاصل از دگرگونی پوسته تحتانی و جدایش این بخش از پوسته و فرورفتن در استنوسفر در خاور ایران منشأ گرفته باشد. پدیده آرایش پوسته‌ای این سنگ‌ها با وجود زینولیت‌های متاپلیتی، مقادیر بالای La/Nb و غنی‌شدگی K، Rb و Ba محتمل است.

مطرح شده است که عبارتند از: فرورانش لیتوسفر داغ و جوان (Defant and Drummond, 1990; Martin, 1999; Qu et al., 2004, Jahangiri, 2007)، افزایش غیرعادی گرمای قطعه فرورونده، به هنگام فرورانش کم‌عمق (Shallow depths) یا توقف فرورانش (Stalled subduction) (Gutscher et al., 2000; Peacock et al., 1994)، جدایش قطعه (Slab detachment) به‌دنبال برخورد (Gao et al., 2007; König et al., 2007)، فرورانش پشته (Kay et al., 1993; Guivel et al., 2003)، فرورانش شدیداً مایل (Yogodzinski et al., 1995)، بروز پنجره‌هایی در قطعه فرورونده (Slab windows) (Yogodzinski et al., 2001; Thorkelson and Breitsprecher, 2005)، ذوب‌بخشی متابازالت‌ها، ترکیب‌های حد واسط تا فلسیک خواهد داشت و اگر این ذوب‌بخشی در اعماق زیر مرز شیبست آبی-اکلوژیت، جایی که گارنت پایدار است، رخ دهد دارای ویژگی‌هایی از جمله تهی‌شدگی از HREE و Y و غنی‌شدگی از Sr خواهد بود (Richard and Kerrich, 2007).

با توافق درباره وجود یک حوضه اقیانوسی در خاور ایران (Tirrul et al., 1983; Zarrinkoub et al., 2010) و بسته شدن آن در ۸۶ میلیون سال پیش (زرین‌کوب و همکاران، ۱۳۹۰)، و نیز با

منابع

- امامی، م. ه. (۱۳۷۹) ماگماتیسم در ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات کشور، تهران.
- زرین‌کوب، م. ح.، چانگ، س. ل.، خطیب، م. م. و محمدی، س. س. (۱۳۸۹) سن سنجی زیرکن اورانیوم-سرب، سنگ نگاشتی و زمین‌شیمی توده‌های نفوذی کم عمق در جنوب‌باختری بیرجند (منطقه رچ). مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران (۳): ۴۷۱-۴۸۲.
- زرین‌کوب، م. ح.، چانگ، س. ل.، محمدی، س. س. و خطیب، م. م. (۱۳۹۰) زمین‌شیمی، پتروولوژی و سن‌سنجی زیرکن - اورانیوم - سرب توده گرانیتوئیدی بی‌بی‌مریم، شمال‌خاور نهبندان، خاور ایران. مجله زمین‌شناسی اقتصادی ایران (۳): ۱۵-۲۷.
- Defant, J. and Drummond, S. (1990) Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. *Nature* 374: 662-665.

- Eftekhari Nezhad, J., Ohanian, T. and Tatevosian, S. (1978) Birjand geological map, scale: 1:100000, Sheet Birjand, Geological Survey of Iran.
- Eftekhari-Nezhad, J., Stocklin, J., Movahed-e-Avval, H. and Emami, M. H. (1978) Mokhtaran Geological Map, scale: 1:100000, Sheet 7854, Geological Survey of Iran.
- Gao, Y., Hou, Z., Kamber, B. S., Wei, R., Meng, X. and Zhao, R. (2007) Adakite-like porphyries from the southern Tibetan continental collision zones: Evidence for slab melt metasomatism: Contributions to Mineralogy and Petrology 153: 105-120.
- Ghadami, G. R., Moradian, A. and Mortazavi, M. (2008) Post-collisional Plio-pleistocene Adakitic volcanism in Central Iranian Volcanic Belt. Geochemical and geodynamic implications. Journal of Research of Iran 13: 223-236.
- Gill, J. B. (1981) Orogenic andesites and plate tectonics. Springer-Verlag, Berlin.
- Gill, R. (2010) Igneous rocks and processes. Wiley-Black Well.
- Guivel, C., Lagabrielle, Y., Bourgois, J., Martin, H., Arnaud, N., Fourcade, S., Cotten, J. and Maury, R. C. (2003) Very shallow melting of oceanic crust during spreading ridge subduction: Origin of near-trench Quaternary volcanism at the Chile Triple Junction: Journal of Geophysical Research 108(B7): 2345.
- Guo, Z., Wilson, M. and Liu, J. (2007) Post collisional adakites in south Tibet: Produce of partial melting of subduction- modified lower crust. Lithos 96: 205-224.
- Gutscher, M. A., Maury, R., Eissen, J. P. and Bourdon, E. (2000) Can slab melting be caused by flat subduction? Geology 28: 535-538.
- Haschke, M. R. and Ben- Avraham, Z. (2005) Adakites from collision- modified lithosphere. Geophysical Research Letters 32: 1-4.
- Hughes, C. J. (1982) Igneous petrology. Amsterdam, Elsevier scientific.
- Irvin, J. N. and Baragar, W. K., (1971) A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences 8: 523-548.
- Jahangiri, A. (2007) Post- collisional Miocene adakitic volcanism in NW Iran, geochemical and geodynamic implications. Journal of Asian Earth Sciences 30: 433-447.
- Jung, D., Keller, J., Khorasani, R., Marcks, C., Baumann, A. and Horn, P. (1983) Petrology of the tertiary magmatic activity in the northern Lut area, east of Iran. Geological Survey of Iran. Report No. 51: 239-245.
- Kay, R. W. (1978) Aleutian magnesian andesites: Melts from subducted Pacific Ocean crust: Journal of Volcanology and Geothermal Research 4:117-132.
- Kay, R. W. and Kay, S. M. (1993) Delamination and delamination magmatism. Tectonophysics 219: 177-189.
- Kelemen, P. B. (1995) Genesis of high Mg# andesites and the continental crust. Contributions to Mineralogy and Petrology 120: 1-19.
- Keskin, M., Pearce, A. and Mitchell, J. G. (1998) Volcanostratigraphy and geochemistry of collision-related volcanism on the Erzurum-Kars plateau, north eastern Turkey. Journal of Volcanology and Geothermal Research 85: 355-404.
- König, S., Schuth, S., Münker, C., and Qopoto, C. (2007) The role of slab melting in the petrogenesis of high Mg andesites: Evidence from Simbovolcano, Solomon Islands. Contributions to Mineralogy and Petrology 153: 85-103.
- 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.

- Martin, H. (1999) The adakitic magmas modern analogues of Archaean granitoids. *Lithos* 46: 411-429.
- Martin, H., Smithies, R. H., Rapp, R., Moyen, J. F. and Champion, D. (2005) An overview of adakitic, tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG), and sanukitoid: relationships and some implications for crustal evolution. *Lithos* 79: 1-24.
- Middlemost, E. A. K. (1985) *Magmas and magmatic rocks, an introduction to igneous petrology*. Longman, London.
- Muller, D., Rock, N. M. S. and Groves, D. I. (1992) Geochemical discrimination between shoshonitic and potassic volcanic rocks from different tectonic setting, a pilot study. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 46: 256-289.
- Nakamura, N. (1974) Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 38: 757-775.
- Peacocks, S. M., Rushmer, T. and Thompson, A. B. (1994) Partial melting of subducting oceanic crust. *Earth and Planetary Science Letters* 121: 224-227.
- Pearce, J. A. (1983) Role of sub- continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: Hawkesworth, C. J. and Nurry, M. L. (Eds.): *Continental basalts and mantle xenoliths*. Shiva, Nantwich, 230-249.
- Peccerillo, R. and Taylor, S. R. (1976) Geochemistry of Eocene calcalkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 58: 63-81.
- Pichler, H. and Schmitt- Riegraf, C. (1997) *Rock- forming minerals in thin section*. Chapman and Hall, London.
- Qu, X., Hou, Z. and Li, Y. (2004) Melt components derived from a subducted slab in late orogenic ore-bearing porphyries in the Gangdese copper belt, southern Tibetan Plateau. *Lithos* 74: 131-148.
- Reichew, M. K., Saundres, A. D., White, R. V. and Ukhamedov, A. I. (2004) Geochemistry and Petrogenesis of Basalts from the west Siberian Basin, an extension of the Permo-Triassic Siberian Traps, Russia. *Lithos* 79: 425-452.
- Richard, J. P. and Kerrich, R. (2007) Adakite-like rocks: Their diverse origins and questionable role in metallogenesis. *Economic Geology* 102: 537-576.
- Ringwood, A. E. (1974) The petrological evolution of island arc systems. *Journal of the Geological Society, London* 130: 183-204.
- Rutherford, M. J. and Devine, A. D. (2003) Magmatic conditions and magma ascent as indicated by Hornblende phase equilibria and reaction in the 1995-2002, Soufriere Hills Magma. *Journal of Petrology* 44: 1433-1484.
- Shen, L., Ruizhong, H., Caixia, F., Xiaoguo, C., Cai, L., Rihong, Y., Tianwu W., and Wei, J. (2003) Cenozoic adakite-type volcanic rocks in Qiangtang, Tibet and its significance. *Acta Geologica Sinica* 77(2): 187-193.
- Sommer, C. A., Lima, E. F., Nardi, L. V. S., Liz, J. D. and Waichel, B. L. (2006) The evolution of Neoproterozoic magmatism in Southernmost Brazil: shoshonitic, high- K tholeiitic and silica-saturated, sodic alkaline volcanism in post collisional basins. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias* 78: 573-589.
- Thompson, R. N. (1982) Magmatism of the British Tertiary Volcanic Province. *Scotland Geological Journal* 18: 49-107.
- Thorkelson, D. J. and Breitsprecher, K. (2005) Partial melting of slab window margins: Genesis of adakitic and non-adakitic magmas. *Lithos* 79: 25-41.
- Tirrul, R., Bell, I. R., Griffis, R. J. and Camp, V. E. (1983) The Sistan suture zone of eastern Iran.

- Geological Society of America Bulletin 94: 134-150.
- Wilson, M. (2007) *Igneous petrogenesis: A global tectonic approach*. Springer.
- Winter, J. D. (2001) *An Introduction to Igneous and metamorphic petrology*. Prentice Hall, , Upper Saddle River, New Jersey.
- Wolf, M. B. and Wyllie, D. J. (1994) Dehydration- melting of amphibolite at 10 kbar- the effects of temperature and time. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 115: 369-383.
- Yogodzinski, G. M., Kay, R. W., Volynets, O. N., Koloskov, A. V., and Kay, S. M. (1995) Magnesian andesite in the western Aleutian Komandorsky region: Implications for slab melting and processes in the mantle wedge. *Geological Society of America Bulletin* 107: 505-519.
- Yogodzinski, G. M., Lees, J. M., Churikova, T. G., Dorendorf, F., Wöerner, G. and Volynets, O. N. (2001) Geochemical evidence for the melting of subducting oceanic lithosphere at plate edges. *Nature* 409: 500-504.
- Zarrinkoub, M. H., Chung, Sun-Lin., Chiu, H. Y., Mohammadi, S. S., Khatib, M. M. and Lin, I. J. (2010) Zircon U-Pb age and geochemical constraints from the northern Sistan Suture Zone on the Neotethyan magmatic and tectonic evolution in eastern Iran, Ankara, Turkey..

Geochemistry and petrogenesis of Givshad volcanic and subvolcanic rocks (southwest of Birjand, east of Iran)

Mohammad Hossein Zarrinkoub *, Seyed Saeid Mohammadi and Fazilat Yousefi

Department of Geology, University of Birjand, Birjand, South Khorasan, Iran

Abstract

The study area is located 41 Km Southwest of Birjand, in the northern part of Sistan suture zone. An Eocene dioritic subvolcanic body together with andesites and basaltic andesites have intruded into the paleogene shales and sandstones. The main textures in these rocks are porphyric with microgranular groundmass, porphyric and glomeroporphyritic. Plagioclase (oligoclase-andesine) and amphibole (green hornblende) are the main phenocrysts. Biotite, clinopyroxene and rare olivine are the remaining minerals of these rocks. The negative anomaly in high field strength elements (HFSE) such as Nb and Ti in these rocks point to the geochemical characteristic of magmatic arcs. High ratio of LREE/HREE, Sr/Y (Ave. 44.33), La/Yb (Ave. 12.48), the amount of SiO₂ and the absence of Eu negative anomaly show that these rocks are similar to adakites. On the base of obtained data, the magmatism can be the result of a post collision process in a subduction regime originated from an eclogite source.

Key words: Geochemistry, Birjand, Givshad, Adakite

* zarrinkoub@birjand.ac.ir