پتروژنز توده‌های نفوذی غرب بانه(کردستان)

صدرالدین امینی، سیدعلی مظهری: دانشگاه تربیت معلم تهران
جلیل قلمقاش: سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

چکیده

مجموعه توده‌های نفوذی بانه در شمال غربی استان کردستان وزون سنندج ـ سیرجان واقع شده است. این مجموعه در سنگ‌های دگرگونی درجه پایین کرتاسه تزریق شده و سن احتمالی آن کرتاسه پسین ـ پالئوسن است. این توده ، از سه فاز نفوذی مجزا تشکیل گردیده است. دیوریت، بیوتیت گرانیت و گرانیت گارنت دار این سه فاز ماگمایی را شکل می‌دهند. دیوریت‌ها نخستین واحد تشکیل شده‌اند که در برخی مناطق توسط بیوتیت گرانیت قطع شده‌اند و در مناطق دیگر بر هم کنش بین این دو توده مشخص است. بنا بر این بیوتیت گرانیت همزمان یا کمی پس از دیوریت‌ها نفوذ کرده است. گرانیت گارنت دار جوان‌ترین واحد مجموعه است که معمولاً به صورت دایک در بیوتیت گرانیت نفوذ کرده است. در دیوریت‌ها کانی‌های هورنبلند، تیتانیت و مگنتیت وجود دارد، ASI<1 است، در نرم دیوپسید وجود دارد و میزان Na2O،CaO و *Sr* بالاست. این ویژگی‌ها پیشنهاد می‌کند که دیوریت‌ها در رده گرانیتوئیدهای نوع I قرار می‌گیرند. در بیوتیت گرانیت‌ها، وجود مسکوویت و بیوتیت فراوان و نیز ادخال‌های سرشار از میکا، و حضور گارنت در گرانیت‌های گارنت‌دار آن را جزء سری S قرار می‌دهد. همچنین ASI>1 ، کرندوم نورماتیو و میزان زیاد K2O و *Rb* در این دو توده، مؤید این مطلب است. گرانیتوئیدهای بانه از نظر تکتونیکی در رده VAG(گرانیتوئیدهای قوس آتشفشانی) قرار می‌گیرند و دیوریت‌ها نیز متعلق به حاشیه فعال قاره‌ای هستند. با استفاده ازداده‌های ژئوشیمیایی با قاطعیت نمی‌توان گفت که دیوریت‌ها از گوشته غنی شده بالای مناطق فرورانش یا از ذوب پوسته اقیانوسی فرورانده شده منشأ گرفته‌اند. بیوتیت گرانیت‌ها و گرانیت‌های گارنت دار از ذوب سنگ‌های رسوبی دگرگون شده حاصل شده‌اند. برخی بیوتیت گرانیت‌ها منشأ پلیتی دارند و بعضی دیگر، سنگ منشأ گری وکی؛ و گرانیت‌های گارنت‌دار حاصل ذوب‌بخشی پلیت‌ها هستند.

مقدمه

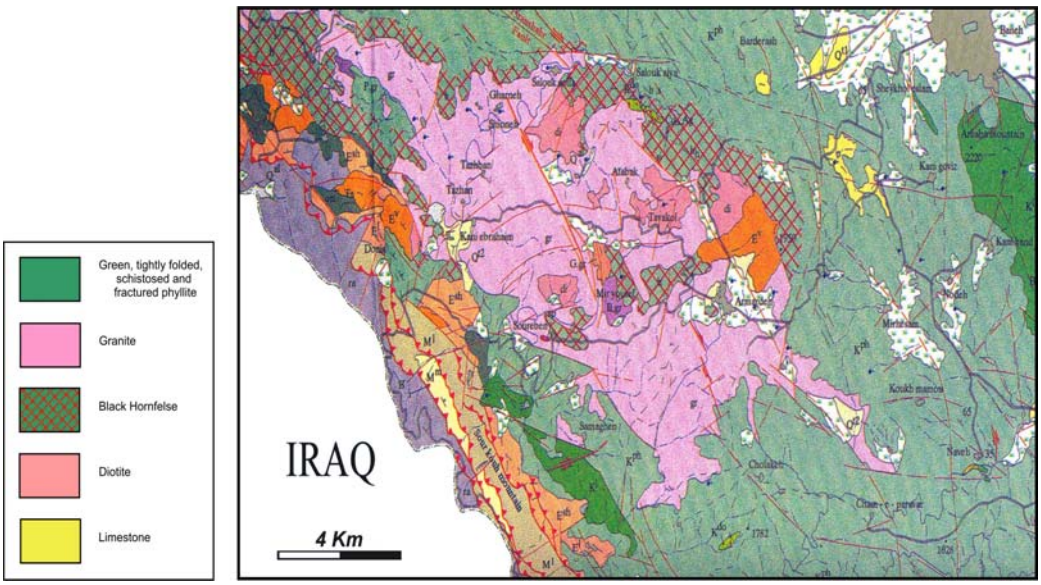
زون سنندج ـ سیرجان در عین حال که یکی از جالب‌ترین و پیچیده‌ترین مناطق زمین‌شناسی ایران محسوب می‌گردد، هنوز مسائل مبهم فراوانی در مورد آن وجود دارد. این زون به صورت نوار طویل و دگرگون شده‌ای به موازات تراست زاگرس واقع شده که مرز جنوب و جنوب غربی آن را تراست زاگرس و حد شمال یا شمال شرقی این زون را حوضه ارومیه ـ دختر می‌سازد[۱]. منطقه مورد بررسی ما نیز در منتهی‌الیه شمال غربی این

[Downloaded from jsci.khu.ac.ir on 2025-05-21]

زون واقع شده است و به علت شباهت بین توده‌های نفوذی این منطقه با سایر توده‌های زون سنندج ـ سیرجان، بررسی دقیق نفوذی‌های بانه می‌تواند در حل برخی مسائل زون سنندج ـ سیرجان مؤثر باشد. به علت مشکلات جغرافیایی، سیاسی و امنیتی که در این ناحیه وجود داشته است متأسفانه تاکنون فعالیت علمی مؤثری در این منطقه صورت نگرفته و آن‌چه در این‌جا ارائه می‌گردد، نخستین تلاش در این زمینه است که بدون شک خالی از اشکال نیست و به بررسی و پژوهش‌های دقیق و پی‌گیر بعدی نیازمند است.

موقعیت زمین‌شناسی و جغرافیایی

توده نفوذی بانه در ۱۰ کیلومتری غرب شهر بانه و نزدیک به مرز کشور عراق واقع شده است. این مجموعه در سنگ‌های دگرگونی درجه پایین کرتاسه با ضخامت حدود ۱۵۰۰-۲۰۰۰ متر تزریق شده است. و بنا بر این سن احتمالی آن کرتاسه پسین ـ پالئوسن است[۲]. موقعیت توده در میان سنگ‌های دربرگیرنده درشکل۱ مشخص شده است. مساحت این توده حدود۳۰ کیلومترمربع است و دسترسی به آن از دو طریق امکان‌پذیر است: مسیر اول از طریق جاده جنوب غربی بانه و راه دیگر جاده بانه ـ سردشت در شمال غربی شهر بانه است.



شکل ۱ـ نقشه زمین‌شناسی منطقه بررسی شده، اقتباس از نقشه ۱۰۰۰۰۰ : ۱ بانه[۲]

زمین‌شناسی صحرایی

مشاهدات صحرایی نشان می‌دهد که توده بانه حداقل طی۳ مرحله جداگانه تشکیل یافته است. فازهای دیوریت، بیوتیت گرانیت و گرانیت گارنت‌دار بخش‌های مختلف این توده را شامل می‌شوند. قدیمی‌ترین واحد توده، دیوریت‌ها هستند که نفوذ بیوتیت گرانیت در انتهای تبلور دیوریت آغاز شده و پس از آن نیز ادامه یافته

[Downloaded from jsci.khu.ac.ir on 2025-05-21]

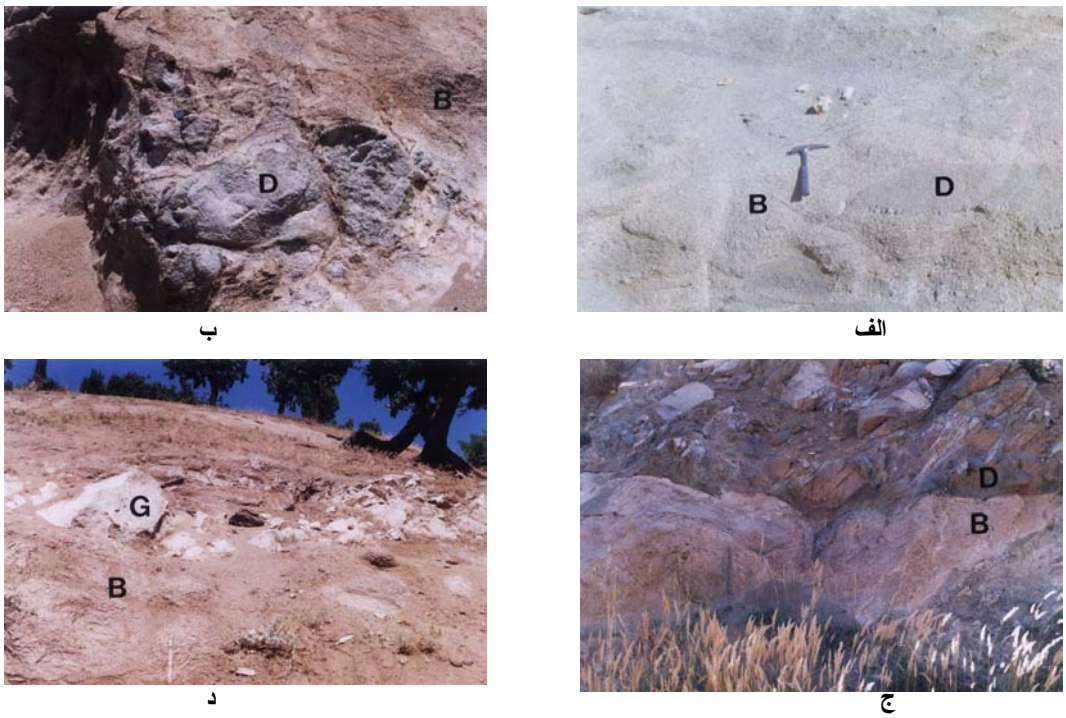
است. برخی شواهد صحرایی تأیید کننده این موضوع عبارتند از:

- در برخی مناطق ساخت‌هایی دیده می‌شود که از تأثیر این دو فاز بر یکدیگر حکایت می‌کند؛ مثل احاطه شدن دیوریت توسط بیوتیت گرانیت و تغییرات بافتی و کانی‌شناسی حاصل شده در این دو فاز(در بخش پتروگرافی به آن اشاره خواهد شد). این شواهد نشان می‌دهد که بیوتیت گرانیت قبل از انجماد کامل دیوریت جایگیری کرده است (شکل ۲ الف).

- در بسیاری از مناطق نیز مرزی کاملاً مشخص بین دیوریت و بیوتیت گرانیت دیده می‌شود به طوری که گرانیت، دیوریت را قطع کرده است (شکل ۲ ج). علاوه بر این، به طور محلی قطعات دیوریتی در داخل بیوتیت گرانیت دیده می‌شود (شکل۲ ب)، اما هرگز قطعات گرانیتی در درون دیوریت دیده نمی‌شود که این شواهد نشانگر جوان‌تر بودن توده بیوتیت گرانیتی نسبت به دیوریت است.

بیوتیت گرانیت‌ها بیش‌ترین حجم مجموعه نفوذی بانه را تشکیل می‌دهند. این توده موجب دگرگونی مجاورتی در سنگ میزبان شده است. انکلاوهای سرشار از میکا نیز در سرتاسر توده به وفور مشاهده می‌شود.

سومین مرحله تشکیل توده بانه، نفوذ گرانیت‌های گارنت‌دار است که غالباً توده‌های بیوتیت گرانیتی را به صورت دایک قطع کرده است (شکل ۲ ـ د).



شکل ۲ ـ الف) نمونه‌ای از برهم کنش بین توده‌های دیوریت و بیوتیت گرانیت ب) قطعات تیره رنگ دیوریت که درون بیوتیت گرانیت دیده می‌شود ج) مرز مشخص بین دیوریت و بیوتیت گرانیت د) نفوذ گرانیت گارنت‌دار که بیوتیت گرانیت‌ها را قطع کرده است B= بیوتیت گرانیت D= دیوریت G= گرانیت گارنت دار

[Downloaded from jsci.khu.ac.ir on 2025-05-21]

توده‌های نفوذی مشابه منطقه بانه را می‌توان در بسیاری از بخش‌های نیمه غربی زون سنندج- سیرجان مشاهده نمود که برای مثال می‌شود به دیوریت‌ها و بیوتیت گرانیت‌های منطقه اشنویه اشاره کرد. تعیین سن به روش رادیومتری K-Ar نشان می‌دهد که سن دیوریت‌های اشنویه بین ۹۲ تا ۱۰۰ میلیون سال است و گرانیت‌های بیوتیت‌دار در حدود ۸۰ میلیون سال پیش تزریق شده اند که سن بین کرتاسه پیشین و کرتاسه پسین را مشخص می‌سازد[۳].

پتروگرافی

در طی بررسی‌های صحرایی از تمامی توده مورد نظر نمونه‌برداری منظم صورت گرفت و به منظور بررسی پتروگرافی از آن‌ها مقطع نازک تهیه شد. از میان این نمونه‌ها، ۲۱ مقطع شامل ۱۰ نمونه از سنگ‌های دیوریتی، ۷ نمونه از سنگ‌های گرانیتی بیوتیت دار و ۴ نمونه از سنگ‌های گرانیتی گارنت‌دار شمارش مدال شدند(جدول۱). همان‌طور که در شکل۳ دیده می‌شود، در نمودار Q-A-P[۱۱] نمونه‌های دیوریتی در محدوده دیوریت، کوارتزدیوریت، مونزو دیوریت و کوارتزمونزو دیوریت قرار می‌گیرند؛ سنگ‌های گرانیتی بیوتیت دار در حوزه سیینوگرانیت، مونزوگرانیت، کوارتزسیینیت و کوارتز مونزوینت جای می‌گیرند و سنگ‌های گرانیتی گارنت‌دار جزء سیینوگرانیت و مونزو گرانیت هستند.

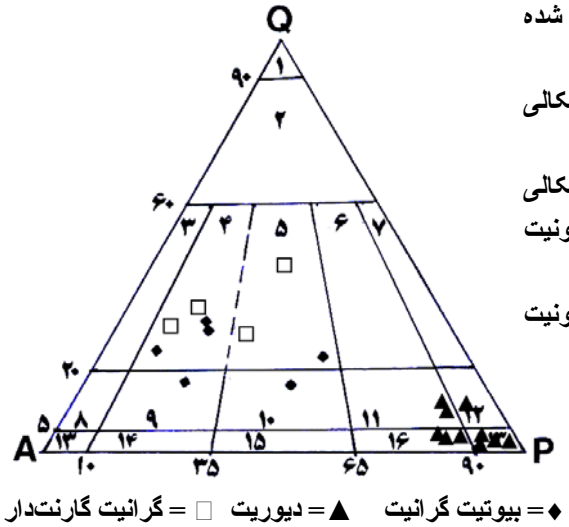
جدول ۱- ترکیب مدال توده‌های نفوذی بانه A- سنگ‌های دیوریتی که شامل دیوریت ، کوارتزدیوریت، مونزودیوریت و کوارتزمونزودیوریت می‌شوند B- سنگ‌های گرانیتی بیوتیت دار(نمونه PB11 کوارتز سیینیت و نمونه PB9 کوارتزمونزونیت و سایر نمونه‌ها گرانیت هستند) C- سنگ‌های گرانیتی گارنت دار

					A						
Modal ٪	PB12a	PB12b	PB13	PB14	PB15	PB21	PB22	PB27	PB28	PB29	PB30
Q	2.6	4.7	3	1.5	1.1	1.9	1.8	1.3	1.4	1	1.3
Kf	10.4	11.7	3.3	6.6	1.7	5	1.5	6.2	4.8	5.3	6.1
Plg	51.9	41.9	30.4	42.8	27.3	59.7	20.5	36.9	41.3	41.9	36.1
Bio	3.2	15	7.8	1.4	3.2	2.5	0.8	8.6	5.8	0.8	trace
Amph	28	26.5	48.9	47.1	60.3	30.35	66.9	47	46	51	55.3
Tit	0.6	0.2	3.1	0.6	3.2	5.1	trace	trace	trace	trace	1.2
Zir		trace	trace	trace	trace	trace	trace		trace	trace	trace
Ap	0.8	trace	trace	0.5	trace	trace	trace	trace	trace		trace
Opac	2.5	-	3.2	trace	-	trace	0.7	-	-	trace	-
Px	-	-	-	-	-	trace	-	trace	0.7	-	-
-	-	-	-	-	B	-	-	-	-	-	-
-	-	Modal٪	PB4	PB5	PB9	PB11	PB23	PB24	PB31	-	-
-	--	Q	12.8	22.1	10.8	14.5	29	20.7	31.3	-	-
-	-	Kf	46.5	29.4	26.2	20.4	47.7	55.1	49	-	-
-	-	Plg	15.8	23	26.8	30.8	17	10.3	17.7	-	-
-	-	Bio	23.2	25.6	16	17.5	5.7	13.3	2	-	-
-	-	Amph	-		19	15	-	-	-	-	-
-	-	Mu	-	0.8	-	-	0.5	0.6	-	-	-

[Downloaded from jsci.khu.ac.ir on 2025-05-21]

(ادامه جدول ۱)

Tit	1.7	-	0.7	0.3	-	-	-
Zir	trace	trace	trace	trace	trace	trace	trace
Ap	trace	trace	0.5	0.4	0.3	trace	trace
Opac	-	-	-	1.1	-	-	-
	-	-	C	-	-		
	Modal٪	PB8	PB18	PB18	PB25		
	Q	27.5	43.7	27.4	30.9		
	Kf	54.8	27.1	42.7	48.5		
	Plg	9.2	26.2	23.5	14.3		
	Bio	2	1.5	4.5	3.1		
	Gt	5.2	1.2	1.5	3.2		
	Mu	1.3	0.3	0.4	-		
	Zir	trace	trace	trace	trace		
	Ap	trace	trace	trace	trace		
	Opac	trace	-	-	-		



شکل ۳- موقعیت سنگ‌های نفوذی منطقه بررسی شده در نمودار QAP[۵]
۱- کوارتزولیت ۲- گرانیتوئید غنی از کوارتز ۳- آلکالی فلدسپار گرانیت ۴- سینوگرانیت ۵- مونزوگرانیت ۶- گرانودیوریت ۷- تونالیت ۸- کوارتز آلکالی فلدسپارسیینیت ۹- کوارتزسیینیت ۱۰- کوارتزمونزونیت ۱۱- کوارتزومونزودیوریت ۱۲- کوارتزدیوریت ۱۳- آلکالی فلدسپارسینیت ۱۴- سیینیت ۱۵- مونزونیت ۱۶- مونزودیوریت ۱۷- دیوریت

پتروگرافی دیوریت‌ها

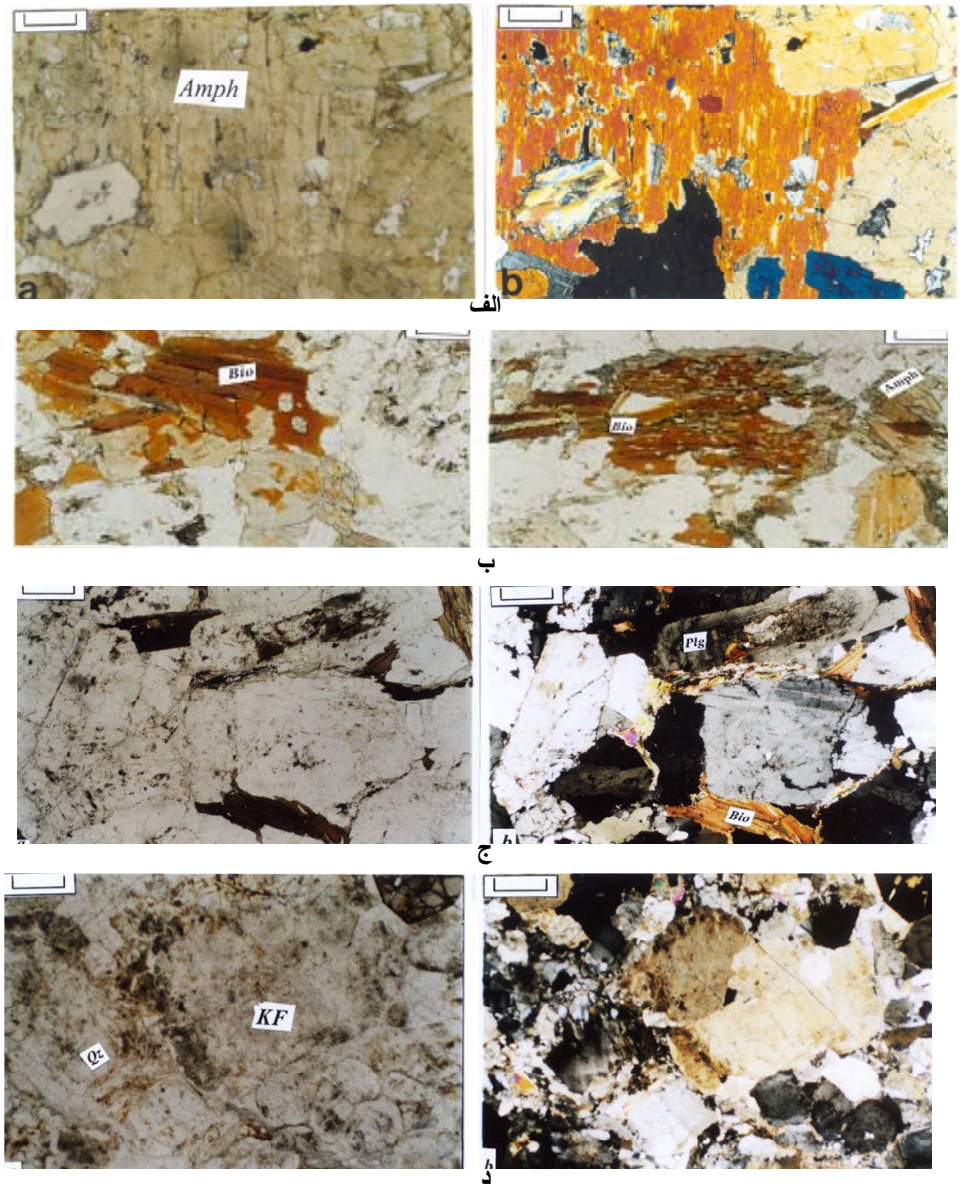
دیوریت‌ها را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد: گروه اول دیوریت‌هایی هستند که تحت تأثیر نفوذ توده بیوتیت گرانیتی قرارنگرفته‌اند و گروه دوم متأثر از توده بیوتیت گرانیتی از نظر کانی‌شناسی تغییراتی حاصل کرده‌اند و شواهدی مبنی بر آمیزش ماگمایی[۱] در منطقه را نشان می‌دهند.

دیوریت‌های بدون آمیزش ماگمایی متوسط دانه تا درشت دانه (۲-۵میلی‌متر) هستند که به ندرت ساخت ریزدانه (۲میلی‌متر >) نیز در آن‌ها دیده می‌شود. کانی‌های اصلی آن‌ها شامل آمفیبول و فلدسپار است که بیش از ۸۰ درصد حجم سنگ‌ها را تشکیل داده است و کانی‌های فرعی عبارتند از بیوتیت، کلینوپیروکسن، آپاتیت، تیتانیت، کوارتز، زیرکن، اکسیدهای Fe-Ti، همچنین مسکوویت، کانی‌های رسی و کلسیت به صورت ثانویه (شکل ٤ الف).

۱- Magma mingling

[Downloaded from jsci.khu.ac.ir on 2025-05-21]

دیوریت‌های متأثر از آمیزش ماگمایی از نظر بافت و ساخت شبیه به گروه اول هستند؛ با این تفاوت که تحت تأثیر نفوذ گرانیت‌ها، تغییراتی از نظر کانی‌شناسی در آن‌ها حاصل شده است، به طوری که میزان کوارتز و بیوتیت آن‌ها افزایش یافته است و محدوده ترکیب مدال آن‌ها گسترده‌تر شده است. شمارش مدال این سنگ‌ها در محدوده دیوریت، کوارتز دیوریت، کوارتز مونزودیوریت و مونزودیوریت قرار می‌گیرند. تبدیل آمفیبول به بیوتیت تحت تأثیر توده گرانیتوئیدی در این سنگ‌ها کاملاً واضح است (شکل ٤ ب).



شکل ٤ ـ الف) نمونه‌ای از بافت دیوریت‌های بدور از تأثیر بیوتیت گرانیت مقیاس ۰/۵۶ mm ب) نمونه‌ای از تبدیل آمفیبول به بیوتیت در دیوریت‌های متأثر از توده بیوتیت گرانیت مقیاس ۰/۲۸ mm ج) نمونه‌ای از بافت بیوتیت گرانیت در توده بانه مقیاس ۰/۵۶ mm د) نمونه‌ای از بافت گرانیت گارنت‌دار مقیاس ۰/۵۶ mm
Amph= آمفیبول Bio= بیوتیت Plg = پلاژیوکلاز KF = فلدسپار پتاسیم a= نور PPL b= نور XPL

[Downloaded from jsci.khu.ac.ir on 2025-05-21]

پتروگرافی بیوتیت گرانیت

وسیع‌ترین قسمت توده نفوذی بانه را واحد گرانیتوئیدی تشکیل داده است که خود شامل بخش‌های گوناگونی است از قبیل بیوتیت گرانیت، گرانیت مسکوویت دار، گرانیت مسکوویت و تورمالین‌دار و گرانیت آمفیبول‌دار که بیوتیت گرانیت نسبت به دیگران حجم زیادتری دارد؛ از این‌رو، از این واحد به نام بیوتیت گرانیت یاد می‌شود. کانی‌های اصلی این بخش شامل فلدسپار، کوارتز است که پس از شمارش مدال این سنگ‌ها در محدوده سیینوگرانیت قرار گرفتند. بخش کوچکی از این توده که در مجاورت دیوریت قرار دارد، شامل گرانیت‌هایی می‌شود که آمفیبول حدود ۲۰ درصد حجم سنگ را تشکیل می‌دهد. این سنگ‌ها در نمودار Q-A-P در محدوده کوارتزمونزونیت جای می‌گیرند. کانی‌های فرعی و جزئی این مجموعه شامل بیوتیت، مسکوویت، آپاتیت، زیرکن، تیتانیت و کانی‌های اپک است که کلریت، کانی‌های رسی و اکسیدهای آهن نیز در اثر دگرسانی حاصل شده‌اند.

پتروگرافی گرانیت‌های گارنت‌دار

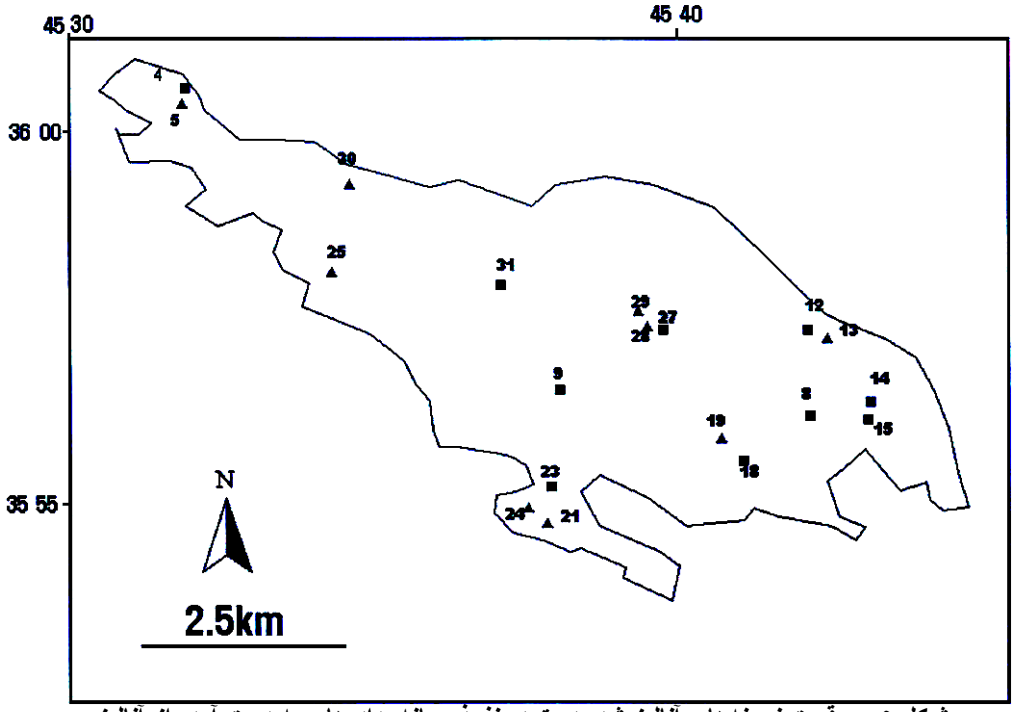
گرانیت‌های گارنت‌دار جدیدترین واحد توده‌اند که ظاهری کاملاً روشن دارند. دانه‌بندی آن‌ها متوسط دانه (۱-۳میلی‌متر) است که دانه‌های گارنت قرمز تا سیاه‌رنگ در آن به خوبی مشخص است. کانی‌های اصلی تشکیل دهنده این گروه کوارتز و فلدسپار است که فلدسپات آلکالن فراوان‌تر از پلاژیوکلاز است. کانی مافیک عمده گارنت است که ۱-۵ درصد حجم مدال سنگ‌ها را تشکیل داده است. کانی‌های فرعی دیگر عبارتند از: بیوتیت، مسکوویت، آپاتیت، زیرکن و کلریت و کانی‌های رسی حاصل دگرسانی هستند.

ژئوشیمی

به منظور بررسی‌های ژئوشیمیایی بر روی توده نفوذی بانه، ۱۹ نمونه از سنگ‌های واحدهای گوناگون این توده (شامل ۹ دیوریت، ۶ بیوتیت گرانیت و ۴ گرانیت گارنت‌دار) انتخاب شد و تجزیه XRF از آن‌ها صورت پذیرفت. این کار در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام گرفت. از میان این نمونه‌ها، ۱۰ نمونه نیز برای تعیین کمی عناصر کم‌یاب خاکی به روش INAA در مرکز تحقیقات و تولید سوخت هسته‌ای اصفهان مورد تجزیه قرار گرفت (موقعیت نمونه‌های آنالیز شده در توده بر روی شکل ۵ مشخص شده است). برای تمایز بین میزان Fe_2O_3 و FeO از نمودار میدل موست[۱]، ۱۹۸۷،[۱۲] استفاده شد و مقدار هر یک از اکسیدهای آهن محاسبه گردید. نتایج این آنالیزها در جداول ٤-۲ قابل مشاهده است.

۱- Middlemost

[Downloaded from jsci.khu.ac.ir on 2025-05-21]



شکل ۵- موقعیت نمونه‌های آنالیز شده در توده نفوذی بانه. داده‌های به دست آمده از آنالیز در جدول‌های ۲ تا ٤ با پسوند GB آورده شده‌اند

همان‌طور که در شکل۶ مشاهده می‌شود سنگ‌های نفوذی بانه جزء مجموعه ساب آلکالن و سری کالکوآلکالن واقع می‌شوند. نمودار توزیع عناصر REE و نمودارهای عنکبوتی واحدهای مختلف توده بانه در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است. شکل ۷ نشان می‌دهد که بیوتیت گرانیت نسبت به دو واحد دیگر $(La/Yb)_N$ بالاتری دارد و محدوده آن نیز گسترده‌تر است(۵/۲-۷/۲). این نسبت در دیوریت‌ها ۵/۶۸-۵/۷ و در گرانیت‌های گارنت‌دار ۲/۵۶-۳/۵۵ است. نسبت بالای $(La/Yb)_N$ می‌تواند نشان دهنده تفکیک بیش‌تر باشد [١٤]، اما ذوب رسوبات دگرگونه به خصوص متاگری وک‌ها نیز می‌تواند باعث نسبت بالای LREE/HREE شود[١٦].

نسبت La/Sm در دیوریت، بیوتیت گرانیت و گرانیت گارنت‌دار به ترتیب ۱/۲۸-۲/۷۷، ۲/۳۹-۶/۸۴ و ۳/۰۸-۳/۱۳ است. نسبت بالای MREE به LREE و HREE در دیوریت‌ها به واسطه وجود هورنبلند است. عناصر REE به خصوص MREE (از Sm تا Ho) در هورنبلندهای مذاب‌های فلسیک و حد واسط سازگار هستند[١٤]. در نتیجه وجود هورنبلند فراوان در دیوریت می‌تواند باعث افزایش میزان MREE شود. در بیوتیت گرانیت‌ها نیز نمونه GB۹ که یک گرانیت آمفیبول دار است نیز میزان MREE زیاد دارد که دلیل گفته شده در این مورد نیز صدق می‌کند.

نمودارهای عنکبوتی(شکل ۸) نشان می‌دهد که P و Zr در هر سه واحد توده بانه انومالی مثبت نشان می‌دهند. نسبت به MORB ، عناصر LIL (K, Rb, Sr) غنی‌شدگی نشان می‌دهند؛ در حالی که عناصر HFS

[Downloaded from jsci.khu.ac.ir on 2025-05-21]

(Nb, Ti, Ta) تهی شده‌اند که این ویژگی یکی از مشخصات ماگماهای قوس آتشفشانی مناطق فرورانش است[۱۵]؛ هر چند آغشتگی پوسته‌ای نیز می‌تواند باعث این امر گردد[۱٤]. وجود ایلمنیت و مگنتیت باعث کاهش آنومالی منفی Ti می‌شود[۱٤]،[۱۷]، که این امر در دیوریت‌ها دیده می‌شود. به طور کلی، روند تغییر عناصر در نمودار عنکبوتی بین سه واحد توده بانه مشابه هم هستند و تفاوت موجود ناشی از اختلاف میزان این عناصر در سنگ‌هاست که در جداول ٤-۲ مشخص است. تنها تفاوت بارز غنی‌شدگی بیش‌تر عناصر ناسازگار LIL بیوتیت گرانیت و گرانیت گارنت‌دار نسبت به دیوریت‌ها است که می‌تواند نشان‌دهنده نقش پوسته در تشکیل این ماگماها باشد.

جایگاه تکتونیکی

با تصویر کردن داده‌های حاصل از آنالیز شیمیایی نمونه‌های توده بانه بر روی نمودارهای مختلف سعی شد تا حد امکان جایگاه تکتونیکی فازهای مختلف توده بانه مشخص گردد. با استفاده از نمودارهای پیرس[۱۳]. گرانیتوئیدها جزو قوس آتشفشانی حاشیه فعال قاره‌ای (VAG) قرار می‌گیرند(شکل۱۰). از آنجا که این نمودارها برای سنگ‌های نفوذی با بیش از ۵% مدال کوارتز به کار می‌رود و بیش‌تر دیوریت‌های بانه کم‌تر از این مقدار کوارتز دارند ، از نمودار $MgO- FeO- Al_2O_3$ [۱٤] برای آن‌ها استفاده گردید(شکل۹). این نمودار نیز محیط تکتونیکی دیوریت‌ها را حاشیه فعال قاره ای نشان می‌دهد.

پتروژنز توده بانه

پتروژنزدیوریت‌ها

دیوریت‌های توده بانه دارای کانی‌های هورنبلند، تیتانیت و مگنتیت،ASI<1، دیوپسیدنورماتیو و میزان بالای Na2O،CaO و *Sr* هستند که این خصوصیات در رده‌بندی کلی گرانیتوئیدها(چپل و وایت[۱]، ۱۹۹۲، ۲۰۰۱) آن‌ها را در رده گرانیتوئیدهای نوع I قرار می‌دهد؛ یعنی نشان می‌دهد این دیوریت‌ها دارای منشأ ماگمایی است. از نظر جایگاه تکتونیکی این دیوریت‌ها متعلق به قوس آتشفشانی مناطق فرورانش هستند. برای تشکیل این دیوریت‌ها دو منشأ قابل ذکر است[۱۵]:

۱- ذوب‌بخشی آبزدایی[۲]پوسته اقیانوسی فرورانده شده ۲- ذوب گووه گوشته‌ای متاسوماتیز[۳] بالای صفحه فرورانش.

برای تشخیص دقیق منشأ دیوریت‌ها پژوهش‌های ایزوتوپی لازم است؛اما با توجه به برخی شواهد نیز می‌توان منشأ احتمالی دیوریت‌ها را حدس زد. آزمایش‌های تجربی(وولف و ویلی[٤]، ۱۹۹۴؛ رپ[٥] ۱۹۹۵؛ به نقل از آلتر[٦] و

۱-Chappel and White ۲ - Dehydration partial melting ۳ -Metasomatised mantle wedge melting ٤- Wolf and Wyllie ٥ - Rapp ٦ - Alther

[Downloaded from jsci.khu.ac.ir on 2025-05-21]

دیگران[۵]) نشان می‌دهد که برای تولید مذاب متاآلومین با سیلیس پایین(کمتر از ۵۸% وزنی) از طریق ذوب آبزدایی ترکیبات متابازالتی به دماهایی حدود ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد نیاز است. همچنین این مذاب‌ها معمولاً ۴۴ <[مولار FeO_t ۰/۹+MgO/MgO×۱۰۰]=#Mg و Na2O بالا(>۴/۳wt%) دارند[۵]. دیوریت‌های منطقه بررسی شده دارای #Mg بالا و Na2O پایین هستند(جدول۲). همچنین دمای تشکیل دیوریت‌های بانه بر اساس ژئوترموبارومتری Al هورنبلند، ۷۴۸- ۶۹۷ درجه سانتی‌گراد برآورد شده است[٤]، که این دما بسیار پایین‌تر از دمای لازم برای تشکیل ترکیبات حاصل از ذوب متابازالت‌های پوسته اقیانوسی است.

دیاگرام‌های عنکبوتی(شکل‌های ۸ و۱۱) نشان می‌دهد که میزان عناصر ناسازگار Ba، K و Rb در دیوریت‌های بانه بالا است. اما از سوی دیگر عناصر یادشده می‌توانند در پوسته اقیانوسی فرورو نیز غنی شدگی حاصل کنند. از این رو به طور حتم نمی‌توان گفت که دیوریت‌های بانه از گوشته غنی شده بالای صفحه فرورانش منشأ گرفته‌اند. همچنین تلفیقی از هر دو فرایند(ذوب‌بخشی گوه گوشته‌ای و ذوب‌بخشی آب‌زدایی پوسته اقیانوسی) می‌تواند موجب تشکیل دیوریت‌های کالک آلکالن گردد که برای مثال می‌توان از دیوریت‌های شرق نیجریه نام برد[۸]، بنا بر این برای تشخیص دقیق منشأ، پژوهش‌های ایزوتوپی مورد نیاز است.

پتروژنزبیوتیت گرانیت و گرانیت گارنت‌دار

در بیوتیت گرانیت‌ها وجود مسکوویت و بیوتیت فراوان و نیز ادخال‌های سرشار از میکا و حضور گارنت در گرانیت‌های گارنت‌دار آن‌ها را جز سری S رده‌بندی سنگ‌های گرانیتوئیدی (چپل و وایت، ۱۹۹۲، ۲۰۰۱، [٦] و [۷]) قرار می‌دهد. همچنین ASI>1 ، کرندوم نورماتیو و میزان بالایK2O و Rb در این دو واحد، مؤید این مطلب است.

گرانیتوئیدهای نوع S حاصل ذوب‌بخشی رسوبات پوسته‌ای‌اند. برای تعیین سنگ منشأ مذاب‌های حاصل از ذوب‌بخشی آلتر و دیگران(۲۰۰۰)[۵] نموداری ارائه کرده‌اند. داده‌های ژئوشیمیایی نمونه‌های واحدهای بیوتیت گرانیتی و گرانیت گارنت‌دار منطقه بررسی شده در این نمودار پلات گردید (شکل ۱۲). همان‌گونه که در شکل مشخص است، سنگ‌ها در محدوده مذاب‌های حاصل از سنگ‌های متاگری وکی و متاپلیتی قرار می‌گیرند. گرانیت‌های گارنت‌دار(به جز نمونه GB ۱۸) در محدوده متاپلیت‌ها واقع می‌شوند و در بیوتیت گرانیت‌ها نمونه GB ۲۳ و GB ۳۱ در محدوده متاپلیت و نمونه‌های GB ۴، GB ۵ و GB ۲۴ در محدوده متاگری وک قرار می‌گیرد و تنها نمونه استثنا GB ۹ است.

[Downloaded from jsci.khu.ac.ir on 2025-05-21]

جدول۲- نتایج آنالیز XRF و INAA از دیوریت‌های توده بانه
(آنالیز INAA از نمونه‌هایی که با * مشخص شده صورت گرفته است)

oxides(%)	GB12*	GB13	GB14*	GB15*	GB21	GB27*	GB28	GB29	GB30
SiO2	58.92	60.48	58.34	58.12	57.58	57.43	57.14	57.89	57.98
TiO2	0.96	0.98	0.98	0.91	0.98	0.87	0.97	0.69	0.81
Al2O3	16.98	15.67	16.63	16.12	16.31	16.17	16.6	16.39	16.09
Fe2O3	2.82	2.77	2.79	3.29	3.05	3.26	3.16	2.98	3.1
FeO	3.29	3.13	3.27	3.57	3.43	3.52	3.56	3.23	3.48
MnO	0.12	0.11	0.19	0.08	0.09	0.16	0.12	0.11	0.67
MgO	3.12	2.17	4.07	3.29	3.98	4.63	4.65	4.04	4.9
CaO	5.45	4.58	6.38	6.39	6.54	5.94	5.57	6.15	5.88
Na2O	3.76	3.34	3.5	3.43	3.89	3.54	3.67	3.87	3.71
K2O	1.98	1.89	1.93	1.95	2.01	2.39	2.78	2.5	2.43
P2O5	0.41	0.43	0.56	0.79	0.46	0.28	0.29	0.25	0.18
L.O.I	0.81	1.36	1.25	1.46	1.73	1.33	1.19	0.89	0.81
total	98.62	96.91	99.89	99.4	100.05	99.52	99.7	98.99	100.04
traces(ppm)_									
Ba	345	356	320	348	430	312	336	306	344
Rb	65	73	54	47	49	56	57	45	54
Sr	345	333	379	426	433	397	401	394	395
Y	32	30	26	28	25	27	21	26	31
Zr	165	156	166	149	145	119	107	103	116
Nb	7.6	8.7	6.3	8.5	7.5	8.2	8.4	6.4	6.2
Hf	<156	6.7	4.61	2.68	5.4	3.78	3.7	3.2	4.5
Cs	0.56	0.54	0.9	0.79	0.98	0.78	0.81	0.48	0.78
Sc	21	25	19	34	24	28	23	32	25
Ta	1.1	1.2	0.4	0.854	0.65	0.464	0.74	0.79	0.89
Ga									
La	1.83	23	14.93	13.01	32	16.25	27	26	24
Ce	<5.54	43	36.5	31.7	46	46.01	46	39	40
Pr	<9.4		<13	6.8		<13			
Nd	31	30	42	23.9	36	25.6	31	36	33
Sm	0.89	6.9	3.41	2.96	5.7	4.52	5.4	6.6	5.8
Eu	0.64	3.3	0.973	1.04	2.6	0.648	2.8	2.6	2.9
Gd	<5.7		<9.2	<6.2		<6.7			
Tb	<0.43	0.56	<0.491	<0.39	0.61	0.631	0.58	0.71	0.6
Ho	0.194		0.579	<0.251		<0.28			
Tm	1.48		1.47	1.34		1.1			
Yb	2.4	2.1	1.75	1.83	1.4	2.59	1.5	1.3	1.7
Lu	<0.189		0.282	0.258		0.32			
A/CNK	0.93	0.99	0.86	0.83	0.8	0.84	0.87	0.8	0.83
A/NK	2.04	2.08	2.12	2.08	1.9	1.92	1.84	1.75	1.84
Mg#	50.3	42.1	57	48.7	54.9	57.5	57.8	56.3	59.6
c.I.p.w norm									
Q	13.65	21.92	12.29	14.2	9.46	9.18	7.12	8.22	7.75
C		0.74							
Or	11.97	11.7	11.57	11.78	12.09	14.4	16.69	15.07	14.48
Ab	32.49	29.54	29.99	29.6	33.44	30.57	31.49	33.34	31.6
An	24.09	21.15	24.25	23.27	21.43	21.52	20.88	20.31	20.19
Di	0.88		3.6	3.5	7.02	5.43	4.34	7.42	6.53
Hy	9.95	7.82	11.07	9.15	9.15	11.89	12.32	9.35	12.99

[Downloaded from jsci.khu.ac.ir on 2025-05-21]

جدول ۳- نتایج آنالیز XRF و INAA از بیوتیت گرانیت‌های توده بانه
(آنالیز INAA از نمونه‌هایی که با * مشخص شده صورت گرفته است)

oxides(%)	GB4*	GB5	GB9*	GB23*	GB24	GB31*
SiO2	61.57	64.21	65.78	72.99	69.81	71.97
TiO2	0.63	0.9	0.84	0.23	0.42	0.45
Al2O3	19.98	19.9	16.91	13.03	14.78	12.76
Fe2O3	2.56	1.46	1.81	2.17	2.08	2.03
FeO	2.45	1.52	2.39	1.71	1.85	1.61
MnO	0.13	0.08	0.12	0.09	0.15	0.14
MgO	0.93	1.25	2.14	0.47	0.79	0.98
CaO	4.34	4.07	4.66	0.44	2.22	0.69
Na2O	4.97	4.84	2.77	3.19	3.59	3.14
K2O	1.87	1.85	1.05	5.15	3.73	5.72
P2O5	0.37	0.2	0.23	0.18	0.16	0.13
L.O.I	0.44	0.45	1.34	0.14	0.38	0.33
total	100.24	100.73	100.04	99.79	99.96	99.95
traces(ppm)_						
Ba	483	415	401	508	489	423
Rb	193	133	186	117	155	165
Sr	283	233	271	227	298	321
Y	34	35	31	38	37	31
Zr	200	234	220	247	203	201
Nb	10	20	14	18	14	11
Hf	8.6	7.8	3.37	1.45	5.9	2.35
Cs						
Sc						
Ta	0.599	0.97	0.99	0.544	0.78	0.501
Ga	22	25	33	23	18	24
La	53.76	28	10.27	4.72	35	20.52
Ce	92.8	43	18.6	11.72	41	41.4
Pr	<30		<21	<19		<20
Nd	28.2		14.2	6.9		12.5
Sm	4.94	6.5	2.31	1.24	6	2.44
Eu	1.24		1.25	0.102		0.406
Gd	8.12		<6.3	<4.3		1.78
Tb	0.363		0.498	0.265		0.289
Ho	<0.582		0.448	0.21		<0.434
Tm	0.75		1.16	0.789		0.573
Yb	0.503		1.22	1.19		0.82
Lu	0.145		0.266	0.212		0.114
A/CNK	1.1	1.15	1.17	1.12	1.06	1.01
A/NK	1.96	2	2.92	1.2	1.48	1.16
c.l.p.w norm						
Q	15.1	18.77	32.7	33.15	28.69	28.96
C	2.67	2.94	3.26	1.79	1.13	0.41
Or	11.08	10.91	6.29	30.57	22.16	33.96
Ab	42.09	40.79	23.72	27.06	30.47	26.64
An	19.41	18.98	22.07	1.13	10.12	2.67
Di						
Hy	3.92	3.37	7.17	2.32	3.25	3.26
Mt	3.72	2.11	2.66	3.16	3.03	2.95
Ilm	1.2	1.71	1.62	0.44	0.8	0.86
Ap	0.81	0.44	0.51	0.39	0.35	0.28

[Downloaded from jsci.khu.ac.ir on 2025-05-21]

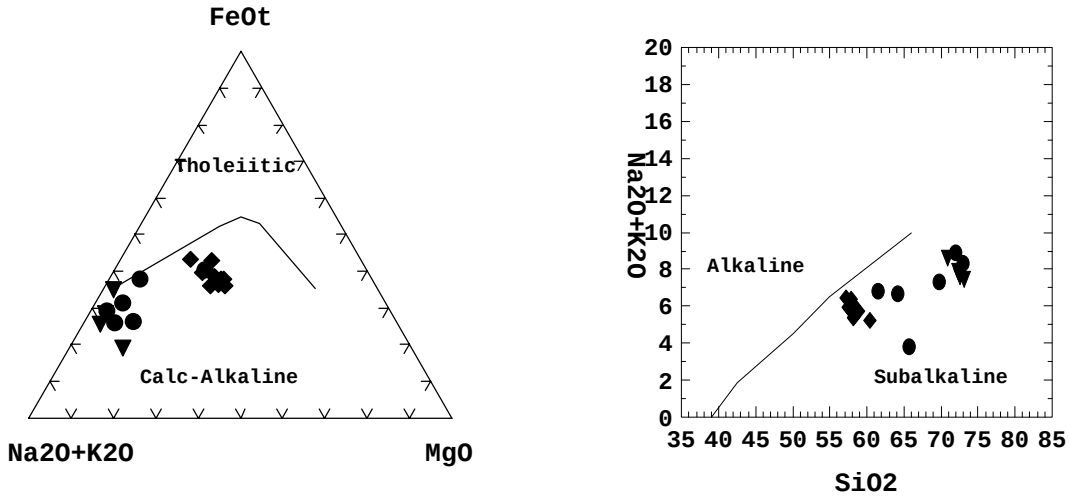
جدول ٤- نتایج آنالیز XRF و INAA از گرانیت‌های گارنت‌دار توده بانه
(آنالیز INAA از نمونه‌هایی که * مشخص شده صورت گرفته است)

oxides(%)	GB8*	GB18*	GB19	GB25
SiO2	70.85	73.12	72.52	72.24
TiO2	0.67	0.33	0.3	0.34
Al2O3	14.9	13.37	13.06	14.01
Fe2O3	1.87	1.17	2.49	1.92
FeO	1.48	1.04	2.03	1.63
MnO	0.12	0.07	0.09	0.13
MgO	0.52	1.37	0.3	0.47
CaO	0.48	1.67	0.86	0.88
Na2O	2.64	3.52	3.44	3.17
K2O	5.98	3.91	4.19	4.75
P2O5	0.16	0.16	0.19	0.15
L.O.I	0.19	0.28	0.29	0.16
total	99.86	100.01	99.76	99.85
traces(ppm)_				
Ba	501	428	441	484
Rb	168	188	189	135
Sr	229	250	224	259
Y	35	43	40	42
Zr	242	213	238	262
Nb	11	18	12	19
Hf	1.85	2.01	7.8	8.9
Cs				
Sc				
Ta	0.65	0.744	0.69	0.83
Ga	31	21	20	24
La	6.9	4.53	32	25
Ce	14.6	8.88	48	46
Pr	<17	<21		
Nd	<21	<22		
Sm	1.39	0.92	9	9.3
Eu	<0.44	<0.421		
Gd	<4.4	<4.2		
Tb	0.351	0.614		
Ho	0.175	0.146		
Tm	0.754	0.75		
Yb	1.31	1.19		
Lu	0.172	0.167		
A/CNK	1.27	1.02	1.11	1.17
A/NK	1.38	1.5	1.28	1.35
c.I.p.w norm				
Q	31.19	32.06	34.26	33.04
C	3.55	2.25	1.71	2.37
Or	35.49	22.75	24.92	28.18

سیلوستر(۱۹۹۸)[۱٦]، نشان داد که مذاب‌های گرانیتی مشتق شده از سنگ‌های پلیتی که غنی از رس و فقیر از پلاژیوکلاز(۵% >) هستند نسبت به مذاب‌های مشتق شده از سنگ‌های پسامیتی(ماسه سنگ‌های فلدسپاتیک غنی از رس یا گری وک‌ها) که فقیر از رس و غنی از پلاژیوکلاز(۲۵% <) هستند، نسبت CaO/Na2O

[Downloaded from jsci.khu.ac.ir on 2025-05-21]

متفاوت دارند. این نسبت‌ها در مذاب‌های مشتق شده از پلیت(۰/۳>) و در مذاب‌های مشتق شده از پسامیت گری وکی(۰/۳>) است. میزان این نسبت در گرانیت‌های بانه در جدول ۵ آورده شده است. همان‌طور که مشخص است نمونه‌هایی که در شکل ۱۲ در منطقه متاپلیتی قرار می‌گیرند دارای CaO/Na2O<0.3 و آن‌هایی که در ناحیه متاگری وک واقع شوند نسبت CaO/Na2O>0.3 دارند، در مورد نمونه ۹ GB نسبت بالای غیرعادی CaO/Na2O دیده می‌شود که میزان بالای CaO را می‌توان به تأثیر فاز دیوریتی بر این سنگ مربوط دانست، چون این نمونه تحت تأثیر دیوریت‌ها دارای هورنبلند چشم‌گیری است.

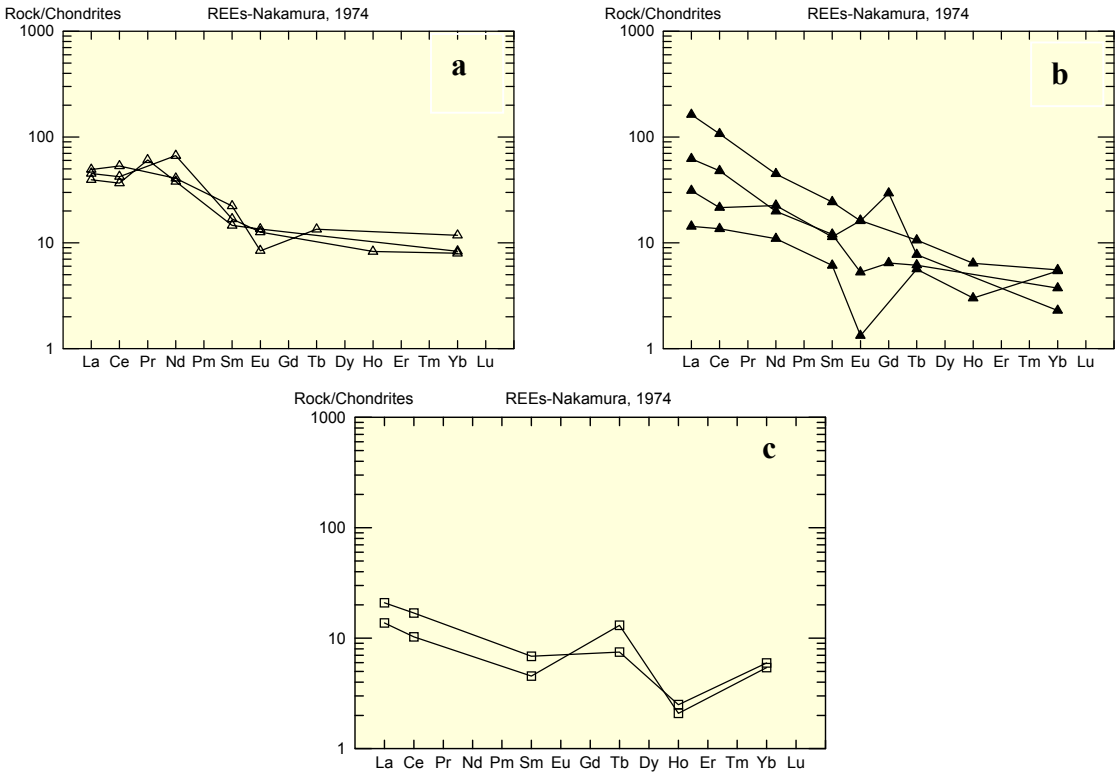


شکل ۶- تعیین سری ماگمایی سنگ‌های نفوذی بانه با استفاده از دیاگرام‌های سیلیس - آلکالی و AFM (ایروین و باراگار، ۱۹۷۱)
♦= دیوریت ●= بیوتیت گرانیت ▼= گرانیت گارنت‌دار

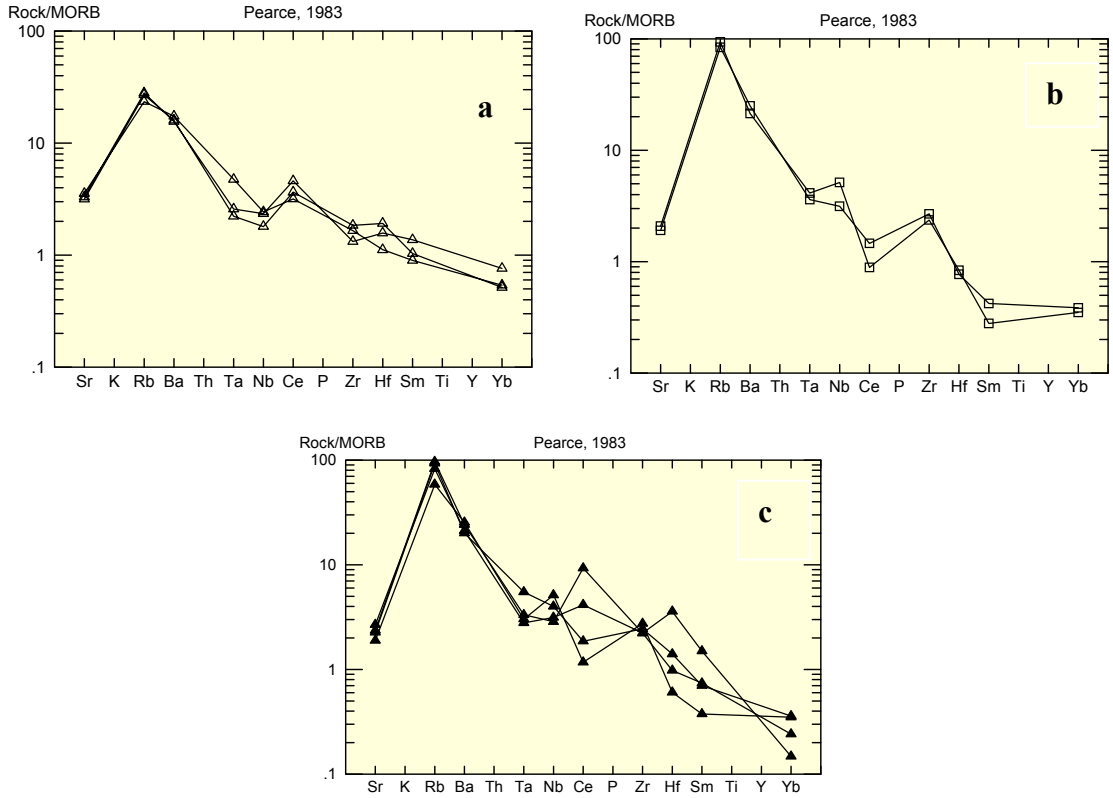
هریس و اینگر[۱] (۱۹۹۲)[۹]،نشان دادند که نمونه‌های حاصل از ذوب‌بخشی متاگری وک‌ها نسبت به آن‌هایی که از ذوب‌بخشی متاپلیت حاصل شده‌اند دارای $(La/Yb)_N$ بالاتری‌اند. با مقایسه نمودارهای توزیع عناصر REE در شکل ۷ می‌توان فهمید که بیوتیت گرانیت‌هایی که حاصل ذوب‌بخشی متاگری وک هستند $(La/Yb)_N$ بالاتری نسبت به بیوتیت گرانیت‌ها و گرانیت‌های گارنت‌دار حاصل از ذوب‌بخشی متاپلیت هستند. همچنین این نمودار نشان می‌دهد که نمونه GB۱۸ که در شکل ۱۲ در محدوده متاگری وک واقع شده دارای $(La/Yb)_N$ پایین است که بیش‌تر نشان دهنده منشأ متاپلیتی است تا متاگری وکی. سیلوستر (۱۹۹۸) نشان داد که اگر در منشأ متاپلیتی مواد درون لایه‌ای آذرین مافیک وجود داشته باشد، میزان CaO به طور مشخصی افزایش می‌یابد و می‌توان احتمال داد که سنگ منشأ نمونه GB ۱۸ پلیت‌های اختلاط یافته با سنگ‌های مافیک باشد.

۱- Harris and Inger

[Downloaded from jsci.khu.ac.ir on 2025-05-21]

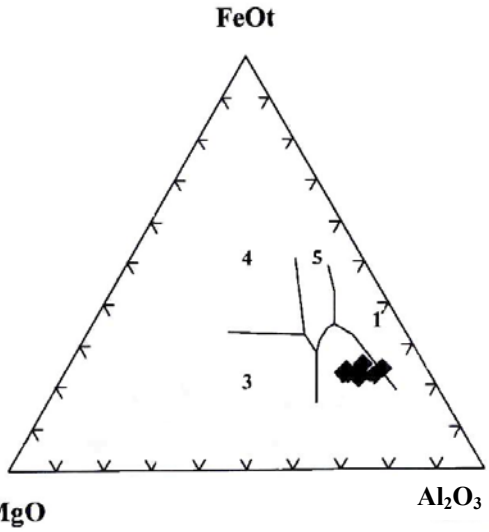


شکل ۷- توزیع عناصر REE در توده بانه a) دیوریت b) بیوتیت گرانیت c) گرانیت گارنت‌دار

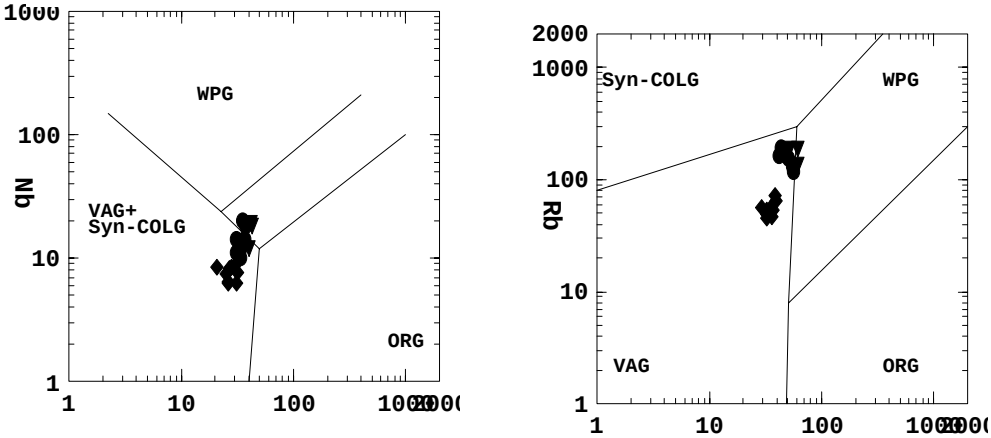


شکل ۸- نمودار عنکبوتی واحدهای مختلف توده بانه a) دیوریت b) بیوتیت گرانیت c) گرانیت گارنت‌دار

[Downloaded from jsci.khu.ac.ir on 2025-05-21]

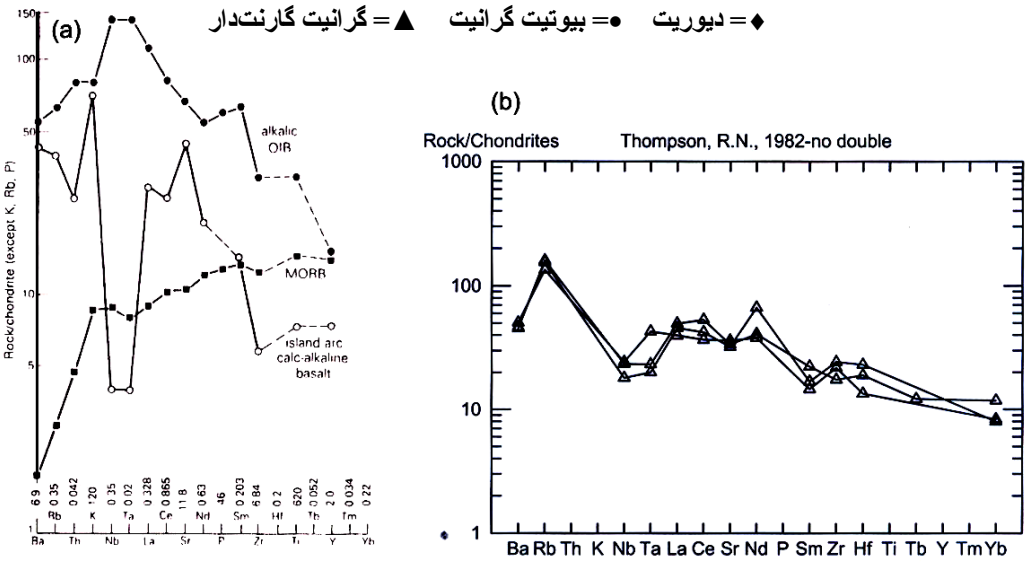


شکل۹- نمودار $MgO- Feo- Al_2O_3$ متمایز محیط تکتونیکی سنگ‌های بازالتی ساب آلکا آندزیت‌های بازالتی[14]: ۱- جزیره مرکز گستر - جزایر قوسی و حاشیه فعال قاره ای ۳- ORB - جزایر اقیانوسی ۵- محیط قاره‌ای



شکل ۱۰- داده‌های توده بانه بر روی دیاگرام Rb-Y+Nb [۱۳]

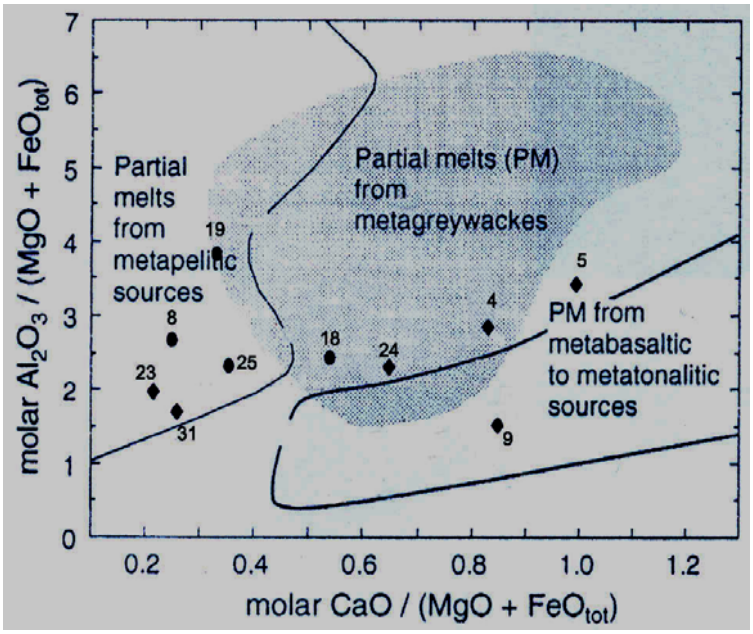
♦= دیوریت ●= بیوتیت گرانیت ▲= گرانیت گارنت‌دار



شکل ۱۱ - a) نمودار عنکبوتی برای MORB، OIB و جزایر قوسی (IAB) نرمالیزه شده براساس تامپسون و همکاران (۱۹۸۲) [اقتباس از ویلسون، ۱۹۸۹)

b) نمودار عنکبوتی دیوریت‌های بانه نرمالیزه شده براساس تامپسون و همکاران (۱۹۸۲)

[Downloaded from jsci.khu.ac.ir on 2025-05-21]



شکل۱۲- نمودار تشخیص سنگ منشأ سنگ‌های حاصل از ذوب بخشی[۵]، نمونه‌های گرانیتوئیدی بانه بر روی این دیاگرام ترسیم شده‌اند(شماره نمونه‌های جدول۳ و ٤ بدون پیشوند GB آورده شده‌اند)

♦= بیوتیت گرانیت ●= گرانیت گارنت‌دار

جدول ۵- تفاوت نسبت CaO/Na_2O در نمونه‌های گرانیتوئیدی توده بانه و مقایسه سنگ منشأ آن‌ها

G= سنگ منشأ گری وکی P= سنگ منشأ پلیتی

	GB4	GB5	GB9	GB23	GB24	GB31	GB8	GB18	GB19	GB25
CaO/Na2O	0.965	0.905	1.859	0.151	0.683	0.243	0.202	0.525	0.276	0.307
Source	G	G		P	G	P	P	G	P	P

نتیجه‌گیری

واحدهای دیوریت، بیوتیت گرانیت و گرانیت گارنت‌دار سه فاز اصلی تشکیل دهنده توده نفوذی بانه‌اند. دیوریت قدیمی‌ترین واحد و سرشار از آمفیبول و فلدسپار است وگوشته غنی‌شده بالای منطقه فرورانش یا پوسته اقیانوسی فرورانده شده منشأ احتمالی تشکیل این دیوریت‌ها است. بیوتیت گرانیت که حجم اصلی توده را تشکیل می‌دهد، عامل اصلی ایجاد دگرگونی مجاورتی در سنگ‌های اطراف است که با توجه به داده‌های ژئوشیمیایی و پتروگرافی می‌توان دریافت سنگ منشأ تشکیل دهنده بخش‌های گوناگون این واحد متفاوت است به طوری که بخشی از توده حاصل ذوب‌بخشی متاپلیت‌ها و سایر بخش‌ها حاصل ذوب‌بخشی متاگری وک‌ها است. گرانیت‌های گارنت‌دار جوان‌ترین واحد سازنده‌اند که از ذوب‌بخشی متاپلیت‌ها حاصل شده‌اند.

منابع

۱- درویش زاده، علی، زمین‌شناسی ایران، انتشارات نشر دانش امروز(۱۳۷۰).

۲- فنودی، محمد و صادقی، اصغر، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بانه ،سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۱).

[Downloaded from jsci.khu.ac.ir on 2025-05-21]

۳- قلمقاش، جلیل، پترولوژی سنگ‌های نفوذی منطقه ارومیه - اشنویه و بررسی سازوکار جایگیری آن‌ها، رساله دکتری، دانشگاه شهید بهشتی تهران(۱۳۸۱).

٤- مظهری، سید علی، مطالعه پترولوژی و ژئوشیمی توده‌های آذرین غرب بانه (کردستان)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران(۱۳۸۲).

5. R. Altherr, A. Holl, E. Hegner, C. Langer, H. Kauzer, High Potassium, Calc-Alkaline I type Plutonism in the Europian Varficidef…, Lithos, 50(2000) 51-73.

6. B.W. Chapplell, A.J.R. White, I-and S- type Granites in the Lachelan Fold Belt, Transactions of the Royal Society of Edinburgh Earth Sciences, 83(1992) 1-26.

7. B.W. Chappell, A.J.R. White, Two Constrasting Granite types: 25 years later, Australian Journal of Earth Science, 48 (2001) 489-499.

8. E.C. Ferre, R. Caby, J.J. Peucat, R. Capdevila, P. Monie, Pan-African, Post-Collisional Ferro-Potassic Granite and Quartz-Monzonite Plutons of Eastern Nigeria, Lithos, 45 (1998) 255-279 .

9. N.B.W. Harris, S. Inger, Trace Element Modelling of Pellite-Derived Granites, Contrib. Mineral. Petrol, 110(1992) 46-56.

10. T.N. Irvin, W.R.A. Baragar, A guid to Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks, Can. J. Earth sci. (1971) 523-548.

11. M.J. Le Bas, A.I. Sterckeisen, The IUGS Systematic of Igneous Rocks, Journal of Geological Society, London, 148 (1991) 825-833.

12. E.A.K. Middlemost, Magmas and Magmatic rocks, An Introduction to Iigneous Petrology, Longman Ed (1987).

13. J. Pearce, Sources and Settings of Granitic Rocks, Episodes, 19 (1996)120-125.

14. Rollinson, Hugh, using Geochemical data: Evolution, Presentation, Interpretation, Longman (1993).

15. B. Scaillet, G. Prouteau, Oceanic Slabl Melting and Mantle Metasomatism, Science Progress, 84 (2001) 335-354.

16. P.J. Sylvester, Post-Collisional Strongly Peraluminous Granites, Lithos, 45 (1998) 29-44.

17. M.J. Wilson, Igneous Petrogenesis A Global Tectonic Approach, London (1989).

[Downloaded from jsci.khu.ac.ir on 2025-05-21]