

ژئوشیمی و سنگ شناسی توده‌ی گرانو دیوریتی مزرعه، شمال اهر آذربایجان شرقی و مقایسه‌ی آن با توده‌های دیگر گرانو دیوریتی ایران و جهان

حبیب ملائی

گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد.

(دریافت مقاله: ۸۸/۱۲/۱۲، نسخه نهایی: ۸۹/۴/۲۰)

چکیده: توده‌ی گرانودیوریتی مزرعه، بخشی از توده‌ی پلوتونیک شیورداغ است که در ۲۰ کیلومتری شمال غربی شهرستان اهر و ۵ کیلومتری شمال روستای مزرعه، واقع شده است. این توده بخشی از نوار آذرین درونی مزوزوئیک-ترشیری در پهنه‌ی سنندج-سیرجان به شمار می‌رود. سنگ‌های منطقه بیشتر بافت دانه‌ای متوسط تا درشت دارند. کانی‌های تشکیل دهنده‌ی این سنگ‌ها از پلاژیوکلاز، فلدسپار قلیایی، کوارتز، آمفیبول و به میزان کمتر بیوتیت، آپاتیت، اسفن و مگنتیت تشکیل شده‌اند. از دیدگاه شیمیایی، سنگ‌های گرانودیوریت منطقه، ماهیت آهکی-قلیایی دارند. توده نفوذی منطقه از نظر شاخص اشباع آلومینیم، ماهیت متآلومین داشته و ویژگی‌های گونه‌ی I از خود نشان داده و از نظر ویژگی‌های محیط ژئودینامیکی از نوع VAG است. وجود رندهای پیوسته در نمودارهای هارکر، برای عناصر سازگار و ناسازگار اصلی، نشان می‌دهد که جدایش ماگمایی از راه تبلور بخشی، اصلی‌ترین فرایند، در شکل‌گیری سنگ‌های نفوذی منطقه‌ی مورد بررسی است. وجود کانی‌های آبدار مانند آمفیبول نشان می‌دهد که ماگمای اولیه دارای مقادیر چشم‌گیری H_2O ($>3\%$) بوده است. همچنین غنی‌شدگی از عناصر Fe, Ca, Mg, Co, Ni و تهی‌شدگی از عناصر K, Na, Th در نمونه‌های کم سیلیسی (اولیه‌تر) نشانگر تبلور آمفیبول، در مراحل اولیه‌ی تبلور بخشی و آلبیت، فلدسپار قلیایی و بیوتیت، در مراحل نهایی تبلور ماگمایی بوده است. مقایسه‌ی توده‌ی گرانودیوریت مزرعه با گرانودیوریت‌های دیگر نشان می‌دهد که این گرانودیوریت، نسبت به گرانودیوریت‌های دیگر مانند گرانودیوریت Qulong چین، کمر بند Rio Narcea اسپانیا، منطقه‌ی Celebi ترکیه، توده‌ی سونگون و تیکمه داش ایران دارای مقادیر بالاتر Na_2O و مقادیر پائین‌تر FeO , Al_2O_3 هستند. همچنین بررسی میانگین الگوی فراوانی عناصر فرعی گرانودیوریت مزرعه نسبت به مناطق یاد شده، نشان می‌دهد که نمونه‌های این منطقه دارای بیشترین غنی‌شدگی از عناصر Th, Nb, La, P, Pb نسبت به نمونه‌های دیگرند. اختلاف ترکیب شیمیایی گرانیتوئیدهای مورد مقایسه، احتمالاً ناشی از تفاوت سهم گوشته‌ی غنی شده و پوسته در تشکیل این توده‌هاست.

واژه‌های کلیدی: ژئوشیمی؛ سنگ‌شناسی؛ توده‌ی پلوتونیک؛ گرانودیوریت؛ اسکارن؛ مزرعه؛ اهر.

مقدمه

طارم) دارای روند شمال غربی- جنوب شرقی است. فعالیت ناحیه‌ای پلوتونیک به سن اولیگومیوسن در ایران در طول کمر بند کوه کرکس و کوه بلوچ در ایران مرکزی گسترش یافت، فعالیت ماگمایی در چهارگوشه‌ی اهر مخصوصاً فعالیت‌های

در اواخر ائوسن- اولیگوسن، واحدهای البرز و ایران مرکزی با چندین توده‌ی نفوذی بریده شده‌اند. فعالیت پلوتونیک اواخر ائوسن- اولیگوسن شمال ایران (کمر بند پلوتونیک قره داغ -

Inductively Coupled Plasma و X ray fluorescence Spectroscopy در آزمایشگاه دانشگاه رورکی هندوستان مورد بررسی قرار گرفتند. در انتخاب نمونه‌ها سعی شد که از نمونه‌هایی با کمترین میزان دگرنهادی استفاده شود. نتایج داده‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی و فرعی وابسته به سنگ‌های گرانودیوریتی مزرعه در جدول ۱ آورده شده‌اند. نمونه‌ها پس از بررسی‌های سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی در مرکز تحقیقاتی دانشگاه رورکی با استفاده از ICPS. Model-8440-Labtam. با دقت عمل ۲ در میلیون آنالیز شدند. برای عناصری مانند سرب و کادمیم از دستگاه جذب اتمی مدل (IL751) استفاده شد و برای عناصر قلیایی مانند سدیم و پتاسیم، از مد گسیگی استفاده شد. به منظور اطمینان از این آنالیزهای کلیه عناصر دوباره در مرکز انستیتوی هیمالیا شناسی وادیای شهردره ادون هند با XRF آنالیز شدند.

زمین‌شناسی عمومی

توده‌ی نفوذی مزرعه، در گستره‌ی طول‌های جغرافیایی ۵۲' ۴۶° تا ۱۵' ۴۷° شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۸' ۳۸° تا ۴۲' ۳۸° شمالی، در ۲۰ کیلومتری شمال اهر، در استان آذربایجان شرقی قرار دارند. این توده یکی از منحصر بفردترین فعالیت‌های ماگمایی در شمال شهرستان اهر به‌شمار می‌رود. این منطقه بخشی از نوار آذرین درونی مزوزوئیک - تشریری پهنه‌ی سنج - سیرجان محسوب می‌شود [۱۷-۱۹]. به-عقیده‌ی لسکویه و ریوی [۳] فعالیت‌های ماگمایی اهر در اوایل الیگوسن رخ داده، در حالی‌که هزارخانی سن ۲۰ میلیون سال (اوایل میوسن) را برای ماگماتیسم این منطقه در نظر گرفته است [۲۰]. سنگ‌های قدیمی منطقه شامل رسوب‌های و سنگ‌های شبه آتشفشانی کرتاسه بود که با سنگ‌های لاتریتی و ایگنمبریتی ائوسن پوشیده شده‌اند [۲۱-۲۲]. توده‌های نفوذی عبارتند از الیگوسن - میوسن منطقه شامل گرانودیوریت، دیوریت، گابرو و سینیت قلیایی. سنگ‌های آتشفشانی کواترنری، جوانترین سنگ‌های منطقه محسوب می‌شوند. این توده‌ی نفوذی در راستای شرقی - غربی کشیده شده و طول آن در حدود ۳۰ کیلومتر و پهنای آن بین ۳ تا ۱۰ کیلومتر است (شکل ۱). توده‌ی گرانیتوئید، به درون سنگ‌های رسوبی و شبه آتشفشانی کرتاسه نفوذ کرده و موجب گسترش نهشته‌های اسکارنی، رگه‌های سیلیسی، تبلور مجدد سنگ آهک و ایجاد شیبست لکه‌دار و هورنفلس شده است. اغلب ساختارهای زمین-

آذرین درونی و تشکیل با تولیت که از مهم‌ترین فعالیت‌های ماگمایی در این منطقه است در گذشته به رشته کوه شیوار داغ ارتباط داده می‌شد، و یکی از مناطق چند فلزی در غرب ایران محسوب می‌شود [۱-۳]. برای اولین بار نقشه‌ی ۱:۵۰۰۰۰ از باتولیت یاد شده و سنگ‌های اطراف آن تهیه و نام باتولیت اهر برای آن برگزیده شد [۴] باتولیت یاد شده در شمال شهر اهر قرار گرفته و شامل بخش بزرگی از رشته کوه قره داغ است. رسوب‌های کرتاسه و سنگ‌های شبه آتشفشانی، لاتیت و ایگنمبریت به سن ائوسن، به‌ترتیب قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه را تشکیل می‌دهند. سنگ‌های نفوذی بیشتر شامل گرانودیوریت، دیوریت، گابرو، سینیت قلیایی به سن الیگوسن هستند. جوانترین سنگ‌های منطقه‌ی سنگ‌های آتشفشانی به سن کواترنری، زنجیره‌ی رسوبی - آتشفشانی تریاس تا اواخر کرتاسه ادامه دارد و به دنبال آن طی حرکت‌های کوهزایی اواخر کرتاسه - اوایل تشریری چین خورده است. گزارشی از فعالیت پلوتونیک به سن اواخر ائوسن - اولیگوسن (بیشتر اولیگوسن) از منطقه‌ی قفقاز تا شمال آذربایجان ارائه شد [۵-۷]. این توده یکی از جالب‌ترین فعالیت‌های ماگمایی در منطقه اهر است. نفوذ به درون سنگ‌های کربناتی کرتاسه، باعث تشکیل کمر بند ناپیوسته اسکارنی در اطراف خود شده است. با توجه به اینکه پلوتونیسیم ائوسن - الیگوسن در ایران از فازهای باردار از نظر فلزایی محسوب می‌شود و معادن مختلفی چه به-صورت اسکارنی و پورفیری در ارتباط با آن‌ها کشف و مورد بهره‌برداری قرار گرفتند، لذا بررسی هر چه بیشتر پلوتونیسیم یاد شده و گردآوری و بررسی یافته‌های قبلی وابسته به آن‌ها به نوبه خود می‌تواند در پی‌جویی شاخص‌های معدنی جدید و سمت دهی به بررسی‌های بعدی موثر واقع شود، و به همین دلیل همواره مورد توجه زمین‌شناسان و پژوهشگران زیادی بوده است [۸-۱۶] بررسی‌های اخیر [۱۰] همراه با شواهد زمین‌شناسی و آنالیزهای ژئوشیمیایی، حکایت از یک کانسار مس پورفیری در شیب شمالی این توده را دارد. هدف از این پژوهش بررسی ویژگی‌های ژئوشیمی و سنگ‌شناسی سنگ-های پلوتونیک مزرعه، تعیین جایگاه زمین‌ساختی این سنگ‌ها و مقایسه‌ی آن‌ها با توده‌های دیگر ایران و جهان می‌باشد.

روش مطالعه

به‌منظور بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی توده‌های، عناصر اصلی و کمیاب، تعدادی از نمونه‌ها با استفاده از پرتو

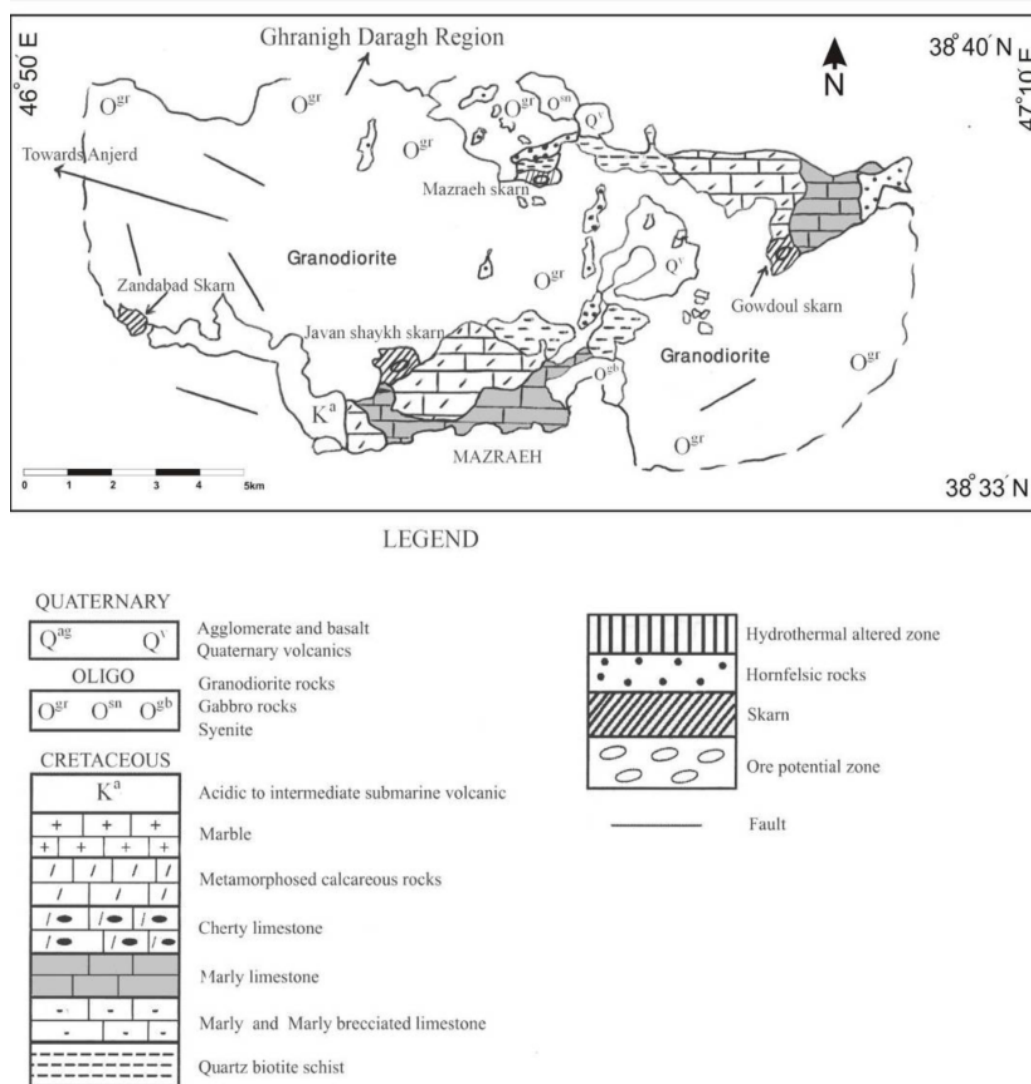
است. دو سیستم گسله در ناحیه دیده می‌شوند. یکی سیستم گسله شمال باختری- جنوب خاوری که در باختر دیگری سیستم گسله شمال خاوری- جنوب باختری است که پس از سیستم نخست نمایان شده است. در یال جنوبی تاقدیس به- دلیل نفوذ توده‌ی آذرین دنباله‌ی لیتو لوژیکی بهم خورده است و کل ساختار به صورت یک زنولیت در درون توده نفوذی قرار دارد. (شکل ۳).

ساختی در توده‌ی نفوذی مورد بررسی شامل درز و شکاف‌هایی هستند که در راستای NNE-SSW و NNW-SSE کشیده شده‌اند (شکل ۲). گستره‌ی معدن مزرعه ساختاری چین خورده دارد که در برگیرنده‌ی تاقدیسی است با رونداصلی خاوری- باختری، هسته‌ی این تاقدیس کوارتزیت شیست است و در کرانه‌های آن سازنده‌های آهکی مرمری و کوارتزیت تیره رنگ قرار دارند. محور تاقدیس راستایی نزدیک به خاوری- باختری

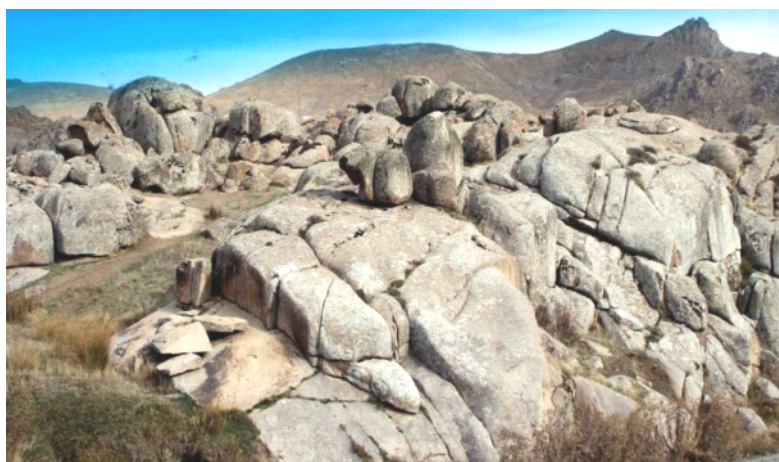
جدول ۱. نتایج آنالیز ژئوشیمیایی عناصر اصلی و نادر سنگهای منطقه به روش XRF.

Sample	A11	A17	A18	Z28a	Z28b	Z28e	MZ52	MZ54	MZ78	MZ77	MZ310	MZ81
SiO ₂	۶۳٫۲۳	۶۰٫۶۳	۶۶٫۲۷	۶۷٫۷۳	۶۶٫۲	۶۷٫۰۵	۶۷٫۲۰	۶۸٫۹۲	۶۷٫۸۱	۶۴٫۵۴	۶۴٫۶۹	۶۶٫۳۹
Al ₂ O ₃	۱۵٫۰۲	۱۵٫۵۶	۱۳٫۷۷	۱۴٫۷۳	۱۵٫۹۱	۱۵٫۱۶	۱۴٫۷۰	۱۴٫۹۱	۱۴٫۹۵	۱۵٫۹۰	۱۵٫۰۰	۱۵٫۷۸
TiO ₂	۰٫۳۰	۱٫۰۳	۱٫۲۵	۰٫۷۴	۰٫۸۷	۰٫۶۲	۰٫۴۹	۰٫۳۸	۰٫۵۸	۰٫۶۹	۰٫۸۷	۰٫۶۷
FeO	۳٫۱۹	۳٫۰۷	۳٫۰۰	۲٫۸۵	۳٫۳۱	۳٫۰۱	۲٫۰۰	۲٫۰۶	۳٫۰۰	۲٫۳۶	۲٫۳۹	۳٫۴۲
Fe ₂ O ₃	۱٫۶۶	۲٫۲۷	۲٫۱۸	۰٫۷۴	۰٫۹۷	۰٫۵۳	۰٫۶۸	۰٫۳۳	۰٫۴۴	۱٫۶۳	۲٫۱۴	۱٫۴۷
MgO	۲٫۳۵	۳٫۰۸	۱٫۱۸	۱٫۲۳	۲٫۶۱	۱٫۹۰	۱٫۷۲	۱٫۳۰	۱٫۷۷	۲٫۲۰	۲٫۶۱	۲٫۱۳
CaO	۴٫۶۴	۷٫۶۱	۳٫۸۷	۳٫۸۶	۴٫۳۸	۴٫۴۶	۴٫۶۴	۲٫۷۸	۳٫۴۰	۴٫۰۹	۴٫۶۱	۳٫۷۱
MnO	۰٫۱۰	۰٫۰۹	۰٫۱۱	۰٫۰۷	۰٫۶۳	۰٫۱۰	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۷	۰٫۰۷	۰٫۰۶
K ₂ O	۲٫۸۹	۰٫۶۸	۲٫۹۸	۲٫۷۵	۲٫۸۵	۱٫۸۰	۲٫۸۹	۲٫۹۱	۲٫۹۰	۲٫۸۳	۲٫۹۹	۲٫۹۸
Na ₂ O	۳٫۴۷	۴٫۴۱	۲٫۸۳	۴٫۲۳	۴٫۰۳	۳٫۹۰	۴٫۴۶	۳٫۹۵	۴٫۰۰	۴٫۲۶	۳٫۳۴	۳٫۷۹
P ₂ O ₅	۰٫۴۵	۰٫۶۲	۰٫۱۲	۰٫۲۶	۰٫۴۷	۰٫۴۲	۰٫۳۲	۰٫۳۰	۰٫۴۰	۰٫۴۷	۰٫۵۳	۰٫۴۴
LOI	۱٫۳۸	۱٫۰۳	۰٫۷۰	۰٫۷۴	۰٫۳	۰٫۸۶	۰٫۶۵	۰٫۵۸	۰٫۵۳	۰٫۱۵	۰٫۷۹	۰٫۹۹
Total	۹۷٫۳	۹۹٫۰۵	۹۷٫۵۶	۹۹٫۱۹	۱۰۲٫۰۵	۹۸٫۹۵	۹۹٫۱۴	۹۷٫۸۷	۹۹٫۲۹	۹۹٫۰۴	۹۹٫۲۴	۱۰۰٫۸۴

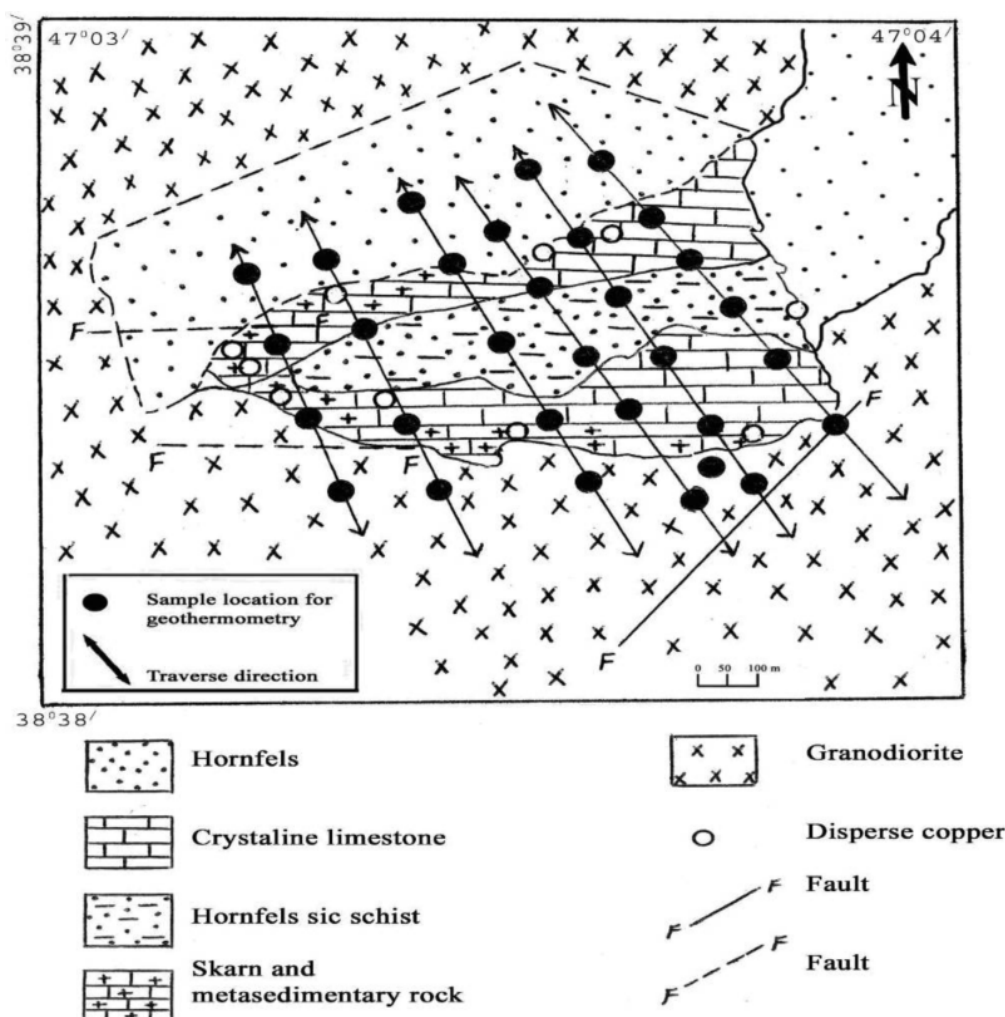
Sample	A11	A17	A18	Z28a	Z28b	Z28e	MZ52	MZ54	MZ78	MZ77	MZ310	MZ81
Cr	۰	۶۳	۲۱	۹۳	۶۸	۵۵	۱۲۶	۵۹	۷۵	۱۰۱	۸۳	۸۰
Co	۳۲	۴۱	۲۹	۲۹	۳۶	۱۴	۲۶	۱۹	۲۷	۲۷	۴۴	۲۴
Ni	۳۱	۱۰۳	۵۹	۵۸	۷۱	۳۵	۱۵۶	۹۹	۹۵	۹۴	۱۲۶	۹۴
Cu	۳۸۰	۱۹۵	۱۶۰	۵۱۷۱	۱۱۶	۱۵۲	۴۴۶	۸۶	۱۶۱	۱۴۳	۱۹۰	۲۰۱
Zn	۸۷	۱۲۰	۱۰۳	۸۱	۸۵	۵۱	۶۵	۶۰	۶۷	۱۰۵	۷۰	۸۶
La	۶۴	۹۲	۱۰۰	۴۷	۷۱	۶۶	۶۱	۶۲	۷۳	۵۷	۹۹	۶۶
Pb	۵۵	۱۱۴	۷۴	۸۲	۵۴	۸۲	۵۲	۵۸	۵۸	۷۲	۴۴	۵۸
Cd	۱۰	۱	۷	۵	۴	۱۰	۱۱	۴	۲	۴	۵	۸
Ba	۸۹۳	۳۳۷	۴۷۶	۲۶۶	۷۲۰	۶۷۵	۴۴۶	۵۶۳	۵۷۶	۶۰۲	۸۵۹	۸۲۸
Mo	۴۸	۴۶	۳۳	۴۳	۴۵	۴۲	۳۳	۳۵	۳۵	۳۸	۱۶	۴۰
W	۱۳۹	۱۴۰	۱۰۸	۱۳۳	۱۳۹	۱۳۷	۱۰۶	۱۲۸	۱۱۱	۱۱۸	۱۲۱	۱۱۶
Li	۲	۳۰	۸	۴۳	۱۴	۱۰	۸	۳۰۳	۲۸	۲۲	۲۱	۲۱
Rb	۱۳۹	۹۱	۱۵۱	۹۲	۱۲۰	۱۳۹	۱۶۱	۱۴۹	۱۴۴	۱۲۲	۱۵۵	۱۴۹
Sr	۵۵۷	۸۲۴	۴۳۸	۶۱۸	۷۵۳	۶۵۸	۶۲۷	۶۷۲	۶۶۷	۷۷۹	۶۹۲	۷۳۳
Zr	۲۲۴	۱۵۳	۱۵	۱۲۶	۲۰۰	۱۶۸	۱۵۱	۱۴۴	۱۹۴	۲۰۸	۱۹۲	۲۱۲
Nb	۱۹	۱۵	۱۱۰	۶۲	۲۶	۲۵	۲۲	۲۳	۲۷	۲۳	۲۹	۲۷
Th	۱۵	۷	۴۳	۱۹	۲۳	۲۹	۲۹	۳۳	۴۳	۱۸	۲۸	۲۲
Y							۱۴					۶



شکل ۱ نقشه‌ی زمین‌شناسی گستره‌ی مورد بررسی، گرانیتوئید مزرعه، ملانی [۴]



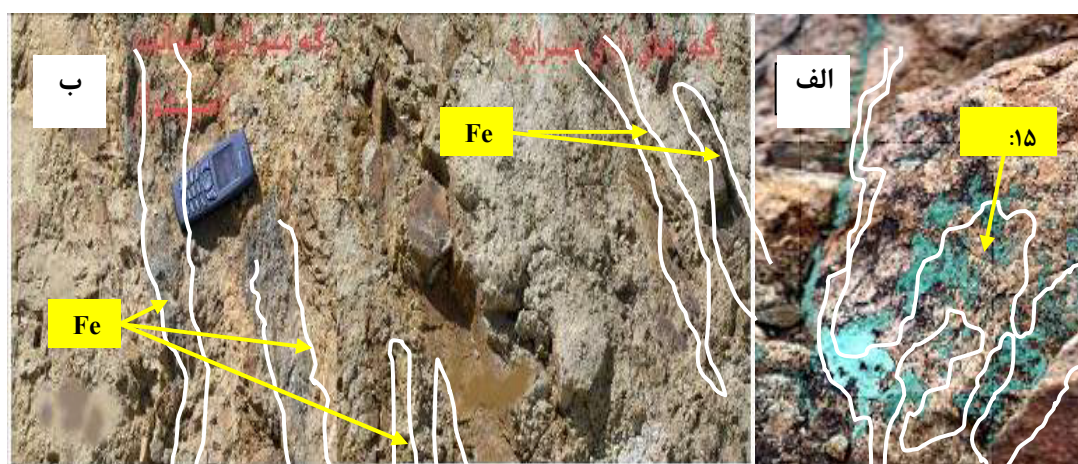
شکل ۲ نمایی از ساختارهای زمین‌ساختی (شامل درز و شکاف) در توده نفوذی مزرعه (دید رو به شمال).



شکل ۳ ساختار و واحدهای سنگ شناسی منطقه ی معدن مزرعه که به صورت یک زنولیت بیضی ناقص با سمت طولی شرقی- غربی در گرانودیوریت قرار گرفته است [۲۹].

وجود زنولیت‌های میکرودیوریتی به رنگ خاکستری تیره است. به اعتقاد [۷] این زنولیت‌ها باقیمانده‌ی توده‌ی میکرودیوریتی است که قدیم‌تر از این توده است. توده‌ی اصلی گرانودیوریت منطقه شامل یک گرانودیوریت پورفیری با فلدسپار صورتی (متوسط تا درشت) که گاهی بیش از یک سانتیمتر است. در بعضی بخش‌ها، مانند جنوب غربی منطقه، سطح توده کاملاً هوازده و میلونیتی است. این توده، در شمال روستای حاج علی بیگ کنده، دستخوش دگرسانی شدید همراه با کانه‌زائی شده است. شدت دگرسانی به سمت بخش شمالی منطقه قرائینق درق افزایش یافته و رگه‌های فراوان ملاکیت، اکسید آهن را می‌توان مشاهده کرد (شکل ۴- ب).

وجود در رگه‌های کانه ساز کوارتز در منطقه‌ی مزرعه، به- خوبی قابل مشاهده است. رگه‌هایی از آپلیت، پگماتیت و نیز درز و شکاف‌های پر شده از کوارتز و گاهی همراه با ملاکیت در این توده دیده می‌شود (شکل ۴- الف). این درز و شکاف‌ها حاصل فشارهای گرمابیهاست [۲۳، ۲۴]. اضافه بر این رگه‌ها چندین توده‌ی آتشفشانی کواترنری با راستای تقریباً شمالی جنوبی در منطقه دیده می‌شوند. که حکایت از فعالیت ماگمای جدید پس از فعالیت فاز اصلی ماگمای منطقه است و فعال بودن منطقه را پس از یک توقف طولانی اثبات می‌کند. خروج این توده‌های آتشفشانی به دلیل نبروهای کششی منطقه و تشکیل ماگمای جدید همراه با باز شدن مسیر برای خروج آنهاست، یکی دیگر از ویژگی‌های این توده‌ی آذرین درونی



شکل ۴ تصویر الف) رگه های مالاکیت (mlc) در توده نفوذی و تصویر ب) از منطقه قراینق درق رگه های کانی آهن (Fe) همراه با دگرسانی را نشان می دهند.

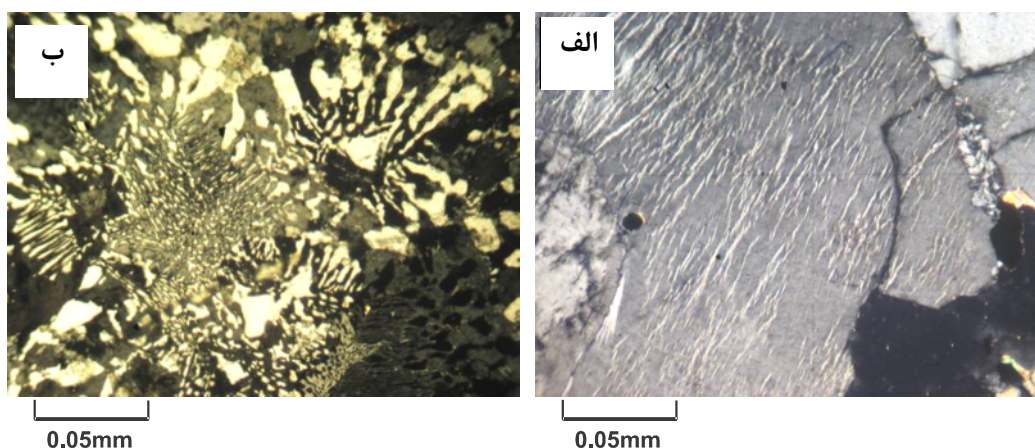
کانی شناسی توده‌ی نفوذی

بر اساس بررسی‌های کانی‌شناسی، بخش عمده‌ی توده‌های نفوذی مزرعه، از سنگ‌های گرانودیوریتی است و از سنگ‌شناسی و آنالیز مدی آن‌ها معلوم شد که کانی‌های اصلی تشکیل دهنده‌ی این سنگ‌ها اغلب شامل پلاژیوکلاز بین (۲۵ تا ۵۰٪)، فلدسپار قلیایی (۱۰ تا ۳۰٪)، کوارتز (۲۰ تا ۲۵٪) و هورنبلند از (۰ تا ۱۰٪) به ترتیب با میانگین ۳۶.۹٪، ۳۷.۸۶٪، ۱۱.۲۲٪ و ۳.۰۵٪ و نیز دارای ۲.۹۳٪ بیوتیت، ۱.۵۵٪ کانی کدر و ۱.۴۸٪ اسفت همراه با ۲.۸۳٪ از کانی‌های فرعی تشکیل شده است [۴]. بافت معمول این سنگ‌ها دانه‌ای، ریزدانه‌ای و پورفیری است. پلاژیوکلازهای موجود در این سنگ‌ها از نوع آلبیت تا الیگوکلاز بوده و به دو صورت قابل مشاهده‌اند؛ یکی به صورت پلاژیوکلازهای کشیده، شکلدار و بدون منطقه‌بندی و دیگری به صورت پلاژیوکلازهای درشت، نیمه شکلدار با منطقه‌بندی. فنوکریست‌های پلاژیوکلاز در مواردی بافت پوئی کلیتیک داشته و با کانی‌هایی همچون اسفن و کوارتز یا کانی‌های دیگر مانند بیوتیت، روتیل و کانی‌های فلزی همراه‌اند. در مواردی، کلریتی شدن و اپیدوتی شدن نیز در راستای شکستگی‌های این بلورها رخ داده است، و در بعضی نمونه‌های پلاژیوکلاز کاملاً کائولینی شده و فقط یک شبه ریخت از آن باقیمانده است (شکل ۷). فلدسپار قلیایی از دیگر فلدسپات مهم موجود در سنگ‌های گرانودیوریتی مورد بررسی است. این کانی‌ها اغلب از نوع ارتوکلاز بوده، ولی در مواردی بسیار کم میکروکلین هم قابل مشاهده است. در مواردی هم‌رشدی بین آلبیت و فلدسپات‌های پتاسیم‌دار باعث ایجاد

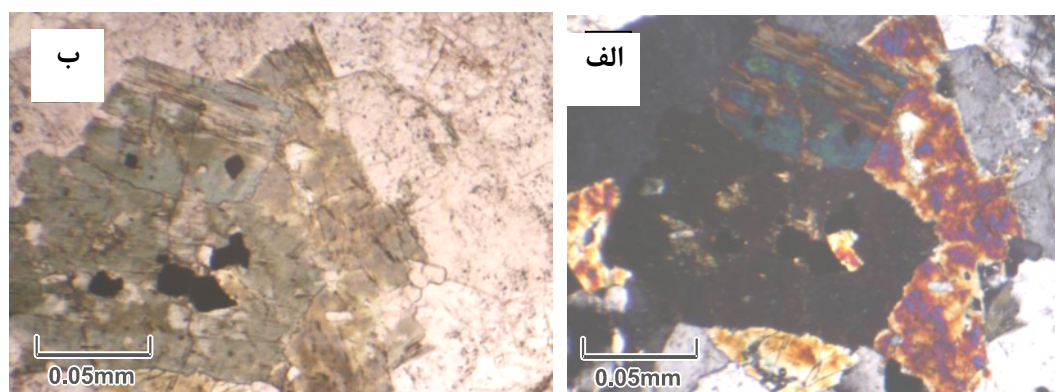
بافت‌هایی مثل بافت پرتیتی شده است (شکل ۵-الف). تبلور آلبیت به دو صورت (یکی به صورت فاز جداگانه و دیگری به صورت هم‌رشدی با فلدسپات‌های پتاسی) نشان می‌دهد که این کانی در مرحله‌ی اول، به صورت فاز جداگانه تبلور شده و سپس، با کاهش دما به زیر منحنی انجماد، تبلور هم‌زمان فازهای سدی و پتاسی آغاز شده است. برخی دانشمندان، این نوع سنگ‌ها را جزء گرانودیوریت‌های شبه انجماد رده بندی می‌کنند [۲۵]. همچنین در برخی نمونه‌ها، هم‌رشدی کوارتز و فلدسپات‌های پتاسی به صورت بافت گرافیکی قابل مشاهده است (شکل ۵-ب). آمفیبول‌های موجود در توده‌ی پلوتونیک، اغلب از نوع هورنبلندند (شکل ۶). بررسی‌های میکروسکوپی نشان می‌دهد که، این کانی‌ها دارای پلوکروئیسیم شدید بوده و در راستای محور X سبز روشن، در راستای محور Y، قهوه‌ای روشن و در راستای Z، سبز تا سبز مایل به قهوه‌ای دیده می‌شوند. حضور فنوکریست‌های هورنبلند در سنگ‌های عمیق و تازه (Fresh) این توده، نشان می‌دهد که ماگمای گرانودیوریتی حاوی مقادیر چشم‌گیری (بیش از ۳wt% آب بوده است [۲۶-۲۸]. توجه به دنباله‌ی تبلور در کانی‌های موجود، نشان می‌دهد که اشباع شدن ماگما از آب در مراحل اولیه‌ی تبلور صورت گرفته است. وجود مقادیر آب کافی باعث شد تا توده‌ی گرانودیوریتی بتواند در برخورد با سنگ‌های کربناتی کرتاسه آن‌ها را دگرسان کرده و تشکیل اسکارن دهد. کانی‌های بیوتیت، اسفن، آپاتیت، تیتانیت و منیتیت به‌عنوان کانی‌های فرعی (کمتر از ۵ درصد حجمی) و کانی‌های روتیل، پیریت، کالکوپیریت به‌عنوان کانی‌های جزئی (کمتر از یک

منظم تانیمه منظم‌اند. دیگری، به‌صورت کانه‌های کدر ثانوی یا نسل دوم، که محصول دگرسانی کانی‌های مافیک مانند آمفیبول و بیوتیت هستند، و بالاخره کانه‌های کدر نسل سوم، که به‌صورت رگه‌ای ظاهر شده و رگه‌های کانی ساز را تشکیل داده‌اند و کانی‌های قبل از خود را قطع می‌کند [۲۹]. سریسیتی شدن، سیلیسی شدن، کلریتی شدن، اپیدوتی شدن، کائولینیتی شدن و کربناتی شدن از مهم‌ترین دگرنهادی موجود در منطقه به‌شمار می‌روند. از ویژگی‌های دیگر این گرانودیوریت وجود برونوبوم‌های میکرو دیوریتی با بافت ریزدانه‌ای تا ریز دانه‌ای پورفیری است. ترکیب این برونوبوم‌ها دیوریت بوده و بر اساس رده‌بندی دیدیر و باربارین [۳۰] این برونوبوم‌ها از نوع برونوبوم-های ریز دانه‌ای مافیک‌اند.

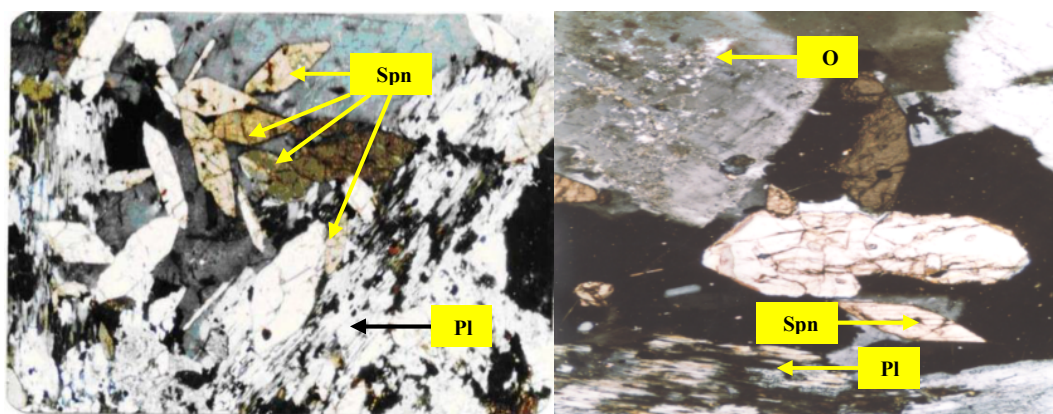
درصد حجمی در این سنگ‌ها دیده می‌شوند. کلسیت به‌صورت رگچه‌های درون کانی فلدسپار قلیایی و در مواردی همراه با گارنت دیده می‌شوند. تشکیل این گونه گارنت‌ها که مقدار آن‌ها بسیار کم است نتیجه‌ی واکنش گرمایی غنی از کلسیت با حاشیه کانی فلدسپار است [۴]. اسفن در بعضی نمونه با مخصوصاً نمونه‌های نزدیک به همبری با اسکارن از فراوانی خاصی برخوردار بوده و به شکل‌های کاملاً لوزی شکل درشت تانیمه شکل‌دار دیده می‌شوند (شکل ۷). بررسی کانی‌های کدر موجود در نمونه‌ها، نشان می‌دهد که حداقل سه نسل از این کانی‌ها در سنگ‌های منطقه گسترش یافته است (شکل ۸). یکی به‌صورت کانی‌های کدر اولیه، که در زمان تبلور سنگ اصلی تشکیل شده‌اند. این کانی‌ها معمولاً دارای شکل هندسی



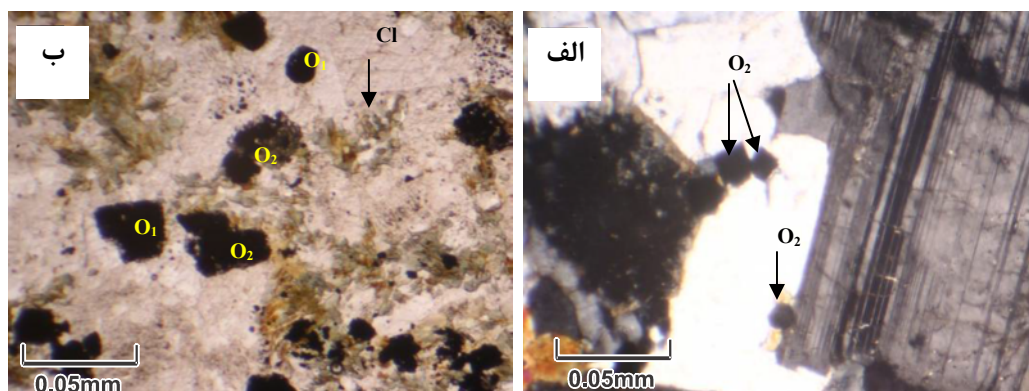
شکل ۵ تصویر الف) هم‌رشدی بین آلبیت و فلدسپات‌های پتاسیم دار و ایجاد بافت میکرو پرتیتی. تصویر ب) هم‌رشدی کوارتز و فلدسپات‌های پتاسیک به‌صورت بافت گرافیکی.



شکل ۶ تصویری از هورنبلندهای (Hbl) همراه با کانی‌های ارتوکلاز (Or) موجود در گرانودیوریت‌های منطقه‌ی مورد بررسی همراه با کانی‌های کدر. تصویر الف) در نور XPL و تصویر ب) در نور PPL.



شکل ۷ تصویر میکروسکوپی انواع اسفن‌های (Spn) کاملاً رشد یافته به شکل لوزی با رنگ‌ها و اندازه‌های مختلف همراه با کانی‌های اورتوکلاز و پلاژیوکلاز (Pl) شدید دگرسان شده (کائولینیتیزاسیون) از ویژگی‌های این اسفن‌ها برجستگی زیاد؛ شکستگی و رنگ قهوه‌ای تا کرم کمرنگ-اند. بلورهای اسفن به صورت فنو کریست در کانی‌های ارتوز مشاهده می‌شوند.



شکل ۸ تصویر الف) کانی‌های کدر نسل اول (O1) در کنار کانی‌های اورتوکلاز و کوارتز (تصویر در نور XPL). تصویر ب) کانی‌های اپک یوهدرال نسل اول (O1) در کنار کانی‌های کدر نسل دوم (O2) که حاصل دگرسانی هستند و همراه با کانی کلریت (Cl) دیده می‌شوند (تصویر در نور PPL).

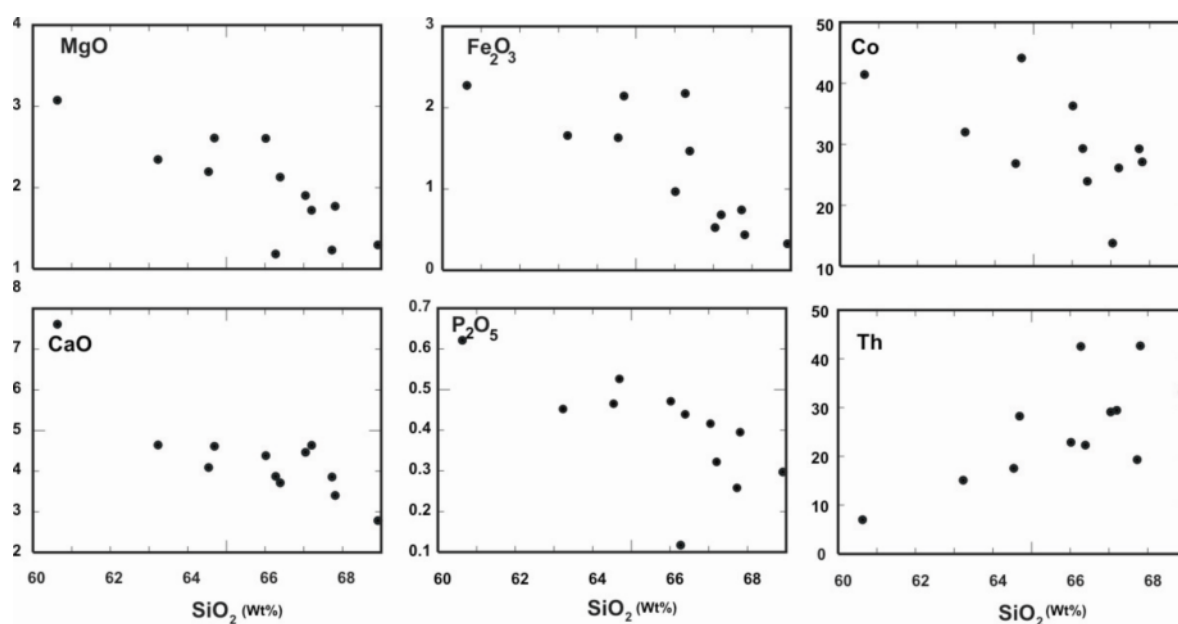
ژئوشیمی

بررسی داده‌های ژئوشیمیایی (جدول ۱) نشان می‌دهد که میانگین سنگ‌های گرانودیوریتی منطقه، شامل مقادیر زیرند $\text{MgO} = 2.01\%$, $\text{CaO} = 4.34\%$, $\text{SiO}_2 = 65.87\%$, $\text{Na}_2\text{O} = 3.89\%$ و $\text{K}_2\text{O} = 2.62\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 15.11\%$. بررسی این داده‌ها بر روی نمودارهای هارکر، نشان می‌دهد که سنگ‌های مورد بررسی دارای روندهای پیوسته‌ای اند (شکل ۹). این روندهای پیوسته با کاهش برخی اکسیدهای عناصر اصلی مانند MgO , $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{total})$, CaO و برخی عناصر نادر مانند Co و Ni با افزایش SiO_2 مشخص می‌شود. روندهای پیوسته بیشتر حکایت از مسیر شکل‌گیری رفتار شیمیایی ماگما داشته و نشانگر خط توارث ماگمایی اند [۳۱]. روندهای کاهشی برخی عناصر به همراه افزایش سیلیس و سدیم و

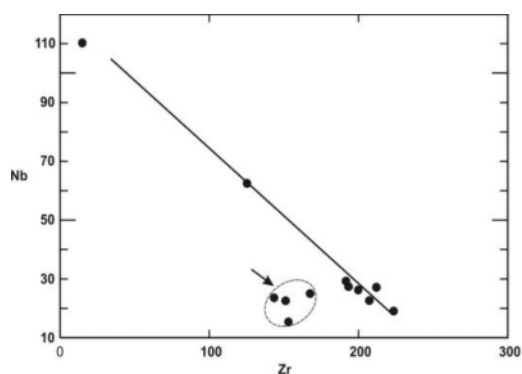
پتاسیم در ماگما، با تبلور کانی‌های بازی مانند آمفیبول در مراحل اولیه تبلور بخشی و تبلور کانی‌های پلاژیوکلاز و فلدسپارهای قلیایی در مراحل نهایی تبلور هماهنگ است. یکی دیگر از آزمون‌های مفید برای آشنایی با خاستگاه ماگمایی که با فرایند جدایشی کنترل می‌شوند ثابت ماندن نسبت بعضی از عناصر کمیاب ناسازگار (مانند Hf , Zr , Nb) است [۳۱]. فقط تبلور جدایشی است که می‌تواند نسبت غلظت دو عنصر ناسازگار را بی تغییر نگه دارد. هر فرایند دیگر مانند آلیش پوسته‌ای، این نسبت‌ها را بهم خواهد زد. به عبارت دیگر در صورت نبود آگاهی‌های ایزوتوپی رادیوژنیک، که خط سیر نزولی مایع را مشخص می‌کند، ثابت بودن نسبت عناصر ناسازگار دلیل چشم‌گیری بر مهم بودن فرایند تبلور جدایشی در شکل-گیری ترکیب‌های خاص است. چنانکه در شکل ۱۰ مشاهده

در گستره‌ی آهکی-قلیایی تا کلسیک قرار می‌گیرند (شکل ۱۳). براساس نمودارهای چند عنصری عنکبوتی بهنجار شده، به گوشته‌ی اولیه سان و مکدوناف [۴۰] گرانودیوریت‌های منطقه، به‌خاطر عناصر HFS، دارای بالاترین الگوی فراوانی و به‌خاطر عناصر LIL، دارای پایین‌ترین الگوی فراوانی هستند (شکل ۱۵). در این سنگ‌ها مقادیر عناصر Rb, Pb, Th و K غنی‌شدگی و عناصر Nb و Ti تهی‌شدگی نشان می‌دهند. غنی‌شدگی از عناصر ناسازگار با پتانسیل یونی پایین (LFSE) مانند Rb, K و Sr در کنار بی‌هنجاری منفی عناصر ناسازگار با پتانسیل یونی بالا (HFSE) مانند Nb و Ti، دلیلی بر ماگماتیسم وابسته به زون فرورانس است [۴۱، ۴۲]. چنانکه در جدول ۲ نیز مشاهده می‌شود، سنگ‌های گرانودیوریتی مورد بررسی به دلیل داشتن ویژگی‌هایی خاص مانند مقادیر SiO_2 60.63%wt (با میانگین در حدود 3.89%wt)، مقایر CaO (بالاتر از 3.7%wt)، نسبت A/CNK کمتر از ۱/۱، ویژگی شبه آلومین، حضور برونوم‌های ریزدانه تیره رنگ حاوی هورنبلند، دارا بودن هورنبلند و، حضور دیوپسید بهنجار و عدم حضور کانی‌های آلومینوسیلیکاتی (موسکوویت) و ایلمنیت از گونه‌ی گرانودیوریت‌های نوع I هستند. به علاوه نمودارهای سنگ‌زایی نیز گویای ویژگی نوع I این توده‌هاست.

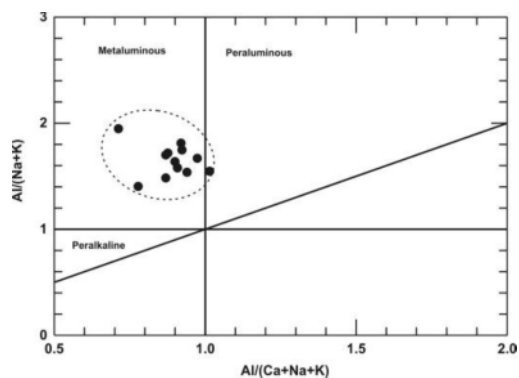
می‌شود نسبت‌های عناصر ناسازگار Zr, Nb در بیشتر نمونه‌ها تا حد قابل قبولی ثابت مانده است. به هر حال برخی از نمونه‌ها نیز در نتیجه فرایندهای دگرنهادی اندکی از این روند فاصله گرفته‌اند. نحوه‌ی تغییرات متقابل اکسیدهای متشکله سنگ‌ها، دلالت بر آن دارد که جدایش ماگمایی از راه تبلور بخشی (Fractional Crystallization)، اصلی‌ترین فرایند در شکل‌گیری سنگ‌های نفوذی منطقه مورد بررسی است و فرایندهای دیگر در درجه‌ی دوم اهمیت قرار دارند. این روندهای پیوسته را در برخی از توده‌های آذرین دارنده‌ی کانسارهای مس پورفیری دیگر نیز می‌توان مشاهده کرد [۳۲-۳۶]. تمام سنگ‌های نفوذی منطقه در نمودار $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ نسبت به SiO_2 [۳۷] در گستره‌ی شبه قلیایی واقع شده‌اند (شکل ۱۴ - ث). در نمودار AFM [۳۷] سنگ‌ها در گستره آهکی-قلیایی قرار گرفته‌اند (شکل ۱۴ - ج) همچنین بر اساس نمودار مانیار و پیکولی [۳۸] سنگ‌های پلوتونیک منطقه در گستره‌ی شبه آلومین قرار می‌گیرند (شکل ۱۱). بنابر تقسیم‌بندی ژئوشیمیایی، سنگ‌های گرانیتیوئیدی فروست [۳۹] از لحاظ شاخص یا عدد آهن (Fe-Number) در نمودار $\text{FeO}^*/(\text{FeO}^*+\text{MgO})$ نسبت به SiO_2 ، توده‌های نفوذی در گستره‌ی منیزیم‌دار تصویر می‌شوند (شکل ۱۲). همچنین این نمونه‌ها از نظر ضریب قلیایی به آهک اصلاح شده (MALI) در نمودار $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}$ نسبت به SiO_2 ،



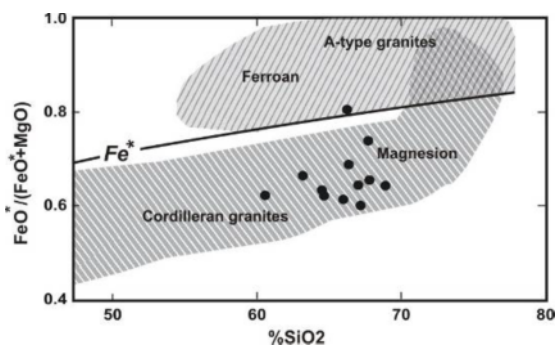
شکل ۹ نمودارهای تغییرات عناصر اصلی و کمیاب نسبت به سیلیس در نمونه‌های منطقه.



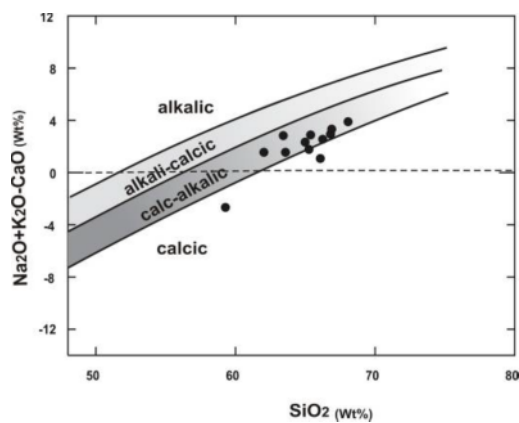
شکل ۱۰ نمودارهای تغییرات عناصر فرعی ناسازگار Nb نسبت به Zr ویلسون [۳۱]



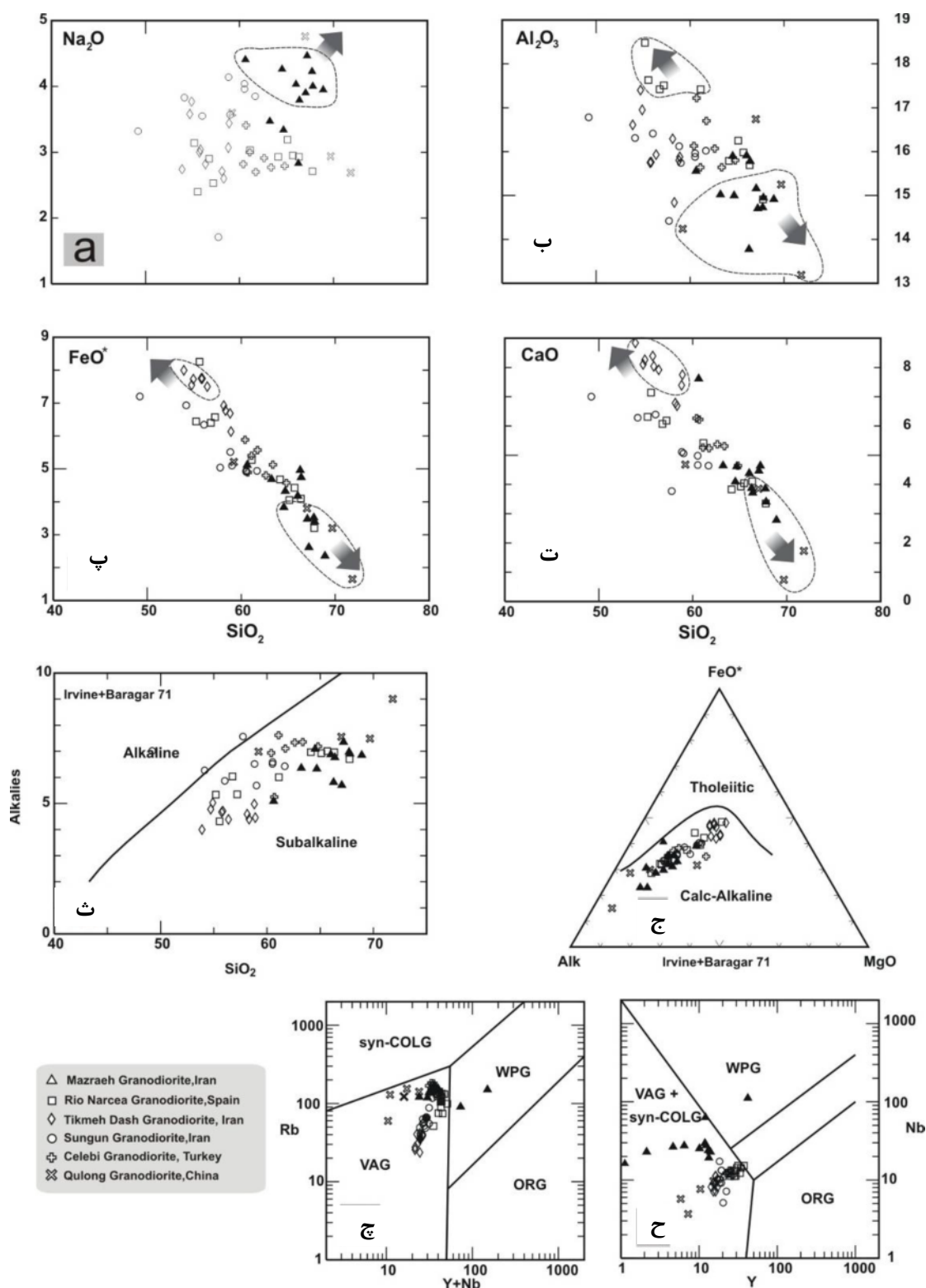
شکل ۱۱ نمودار تعیین میزان اشباع از آلومین (مانیار و پیکولی) [۳۸]



شکل ۱۲ نمودار $\text{FeO}^*/(\text{FeO}^*+\text{MgO})$ نسبت به SiO_2 بر گرفته از فروست و همکاران [۳۹]



شکل ۱۳ نمودار $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}$ نسبت به SiO_2 بر گرفته از فروست و همکاران [۳۹]



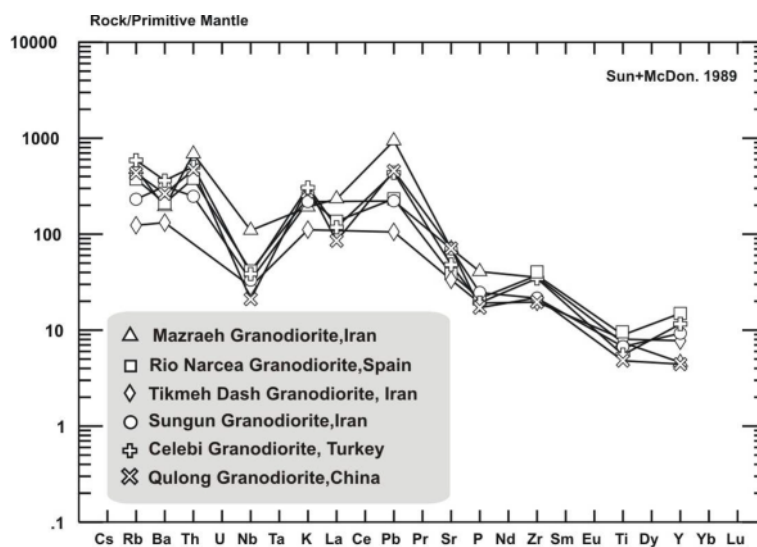
شکل ۱۴ الف، ب، پ، ت) بررسی میزان فراوانی عناصر اصلی (Na_2O , Al_2O_3 , FeO^* , CaO) نمونه‌های گرانودیوریت‌های مزرعه در مقایسه با گرانو دیوریت مناطق بر اساس نمودارهای هارکر (ت) تفکیک نمونه‌های مختلف گرانودیوریت‌های مزرعه و نیز گرانیتوئیدها مناطق مختلف بر اساس نمودار ایروین و باراگار [۳۷] (ج) جدایش نمونه‌های مختلف گرانودیوریت‌های مزرعه و نیز گرانودیوریت‌های مناطق مختلف با نمودار AFM به-منظور جدایی سری‌های توله ایتی و آهکی-قلیایی (چ) نمودار تعیین محیط زمین‌ساختی گرانودیوریت‌های مزرعه و نیز سنگ‌های مختلف گرانودیوریت‌های دیگر بر گرفته از پیرس و همکاران [۴۳].

جدول ۲ مقایسه‌ی ترکیب گرانودیوریت‌های شمال غرب اهر با ویژگی‌های ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی گرانودیوریت‌های نوع I, S (بر اساس تقسیم‌بندی چپل و وایت [۴۴] و هیندمن [۴۵]).

ویژگی		نوع S	گرانو دیوریت مزرعه	
الف : شیمی				
1	Na ₂ O	>normally >2.2 % in mafic rock to 3.2 , felsic rock	< 2.2 in rock with 2 % k ₂ O to <3.2 in rock with 5% k ₂ O	>3.2 with average value of 3.290 %
2	Mol. Al ₂ O ₃ / (Na ₂ O+K ₂ O+CaO)	<1.1	>1.1	<1.1 with average of 0.864 %
3	C.I.P.W normative	<1% "corundum" or Dipside present	>1% corundum	Corundum absent or <1% except for three samples
4	SiO ₂	53 – 76%	65 – 76%	60.63% to 68.917% with average value 65.87
5	CaO	CaO> 3.7%	CaO<3.7%	>3.7% with average value of 4.34%
6	Mineral deposits	Contact metasomatic and also porphyry type	Sn greisen type and contact metasomatic also	Contact metaformatic Cu
7	- Xenolith in granite	Igneous appearinace and normally Hornblande bearing	Metasedimentry may be common.	Igneous appearinace with Hornblande bearing

ب: کانی شناسی

1	Felsic mineral	Quartz less abundant feldspar may be pink	Quartz more abundant feldspar commonly white	Quartz less abundant (6.38%) pink feldspar common
2	common mafic mineral	Biotite high in Mg/Fe muscovite rare	Biotite low in Mg/Fe muscovite common	Biotite not analysed, muscovite not observed
3	Distinctive mineral (minore)	Pyroxene, epidote and allanite	Garnet, sillimanite, cordierite	+pyroxene, average epidote is (1.91%)
4	Opaque mineral	Magnetite, ilmenite and pyrite	Ilmenite (0.1%) pyrrhotite, graphite and monazite	Magnetite and pyrite
5	Accessory minerals	Sphene common	Sphene as secondary only	Sphene as common accessory mineral



شکل ۱۵ مقایسه الگوی فراوانی میانگین عناصر نادر، گرانودیوریت‌های اسکارن مس مزرعه و گرانیتوئیدی اسکارن مس-طلا کمر بند Rio Narcea اسپانیا، اسکارن آهن و منگنز تیکمه داش بستان آباد، اسکارن مس سونگون اهر، اسکارن مس-آهن-تنگستن Celebi ترکیه و اسکارن مس-مولبدن Qulong چین. (داده‌ها از منابع جدول ۳) تمامی داده‌ها به سان و مکدوناف [۴۰] نرمالیزه شده‌اند.

مقایسه‌ی ترکیب شیمیایی گرانودیوریت مزرعه با مناطق دیگر

به‌منظور بررسی بیشتر ویژگی‌های ژئوشیمیایی و سنگ‌شناسی گرانودیوریت اسکارن ساز مزرعه، این سنگ‌ها با گرانودیوریت‌های دیگر در ایران، ترکیه، اسپانیا و چین مقایسه شدند. بدین منظور تعداد ۳۹ نمونه از مناطق مختلف ایران و جهان انتخاب شدند و مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفتند که مهمترین آنها در جدول ۳ آورده شده است.

بررسی ترکیب شیمیایی عناصر اصلی نشان می‌دهد که گرانودیوریت مورد مقایسه مانند گرانودیوریت‌های مزرعه سرشت شبه قلیایی داشته (شکل ۱۴ - ث) و در نمودار AFM نیز در گستره‌ی آهکی - قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۱۴ ج). همچنین بر اساس رده بندی پیرس و همکاران [۴۳] گرانیتیوریت‌های منطقه‌ی مورد بررسی و نمونه‌های دیگر مقایسه‌ای، در گستره‌ی گرانیتهای کمان آتشفشانی و همزمان با برخورد (VAG, Syn-COLG) قرار می‌گیرند (شکل ۱۴ چ، ج). بررسی الگوی فراوانی عناصر فرعی در نمودارهای عنکبوتی نیز نشان می‌دهد که میانگین آنالیز ژئوشیمیایی این نمونه‌ها، شباهت قابل قبولی با همدیگر دارند (شکل ۱۴). به‌طوری‌که این نمونه‌ها از عناصر LIL بیش از ۱۰۰ برابر نسبت به گوشته‌ی اولیه سان و مکدوناف [۴۰]، غنی و از عناصر HFS تهی شده‌اند. این نمودار نشان می‌دهد که نمونه‌های مورد مقایسه، دارای بهنجاری منفی در عناصر Nb, P, Ti, La و بهنجاری مثبت در عناصر Th, K, Pb, Zr هستند. علی‌رغم رفتار همسان‌همی الگوهای ژئوشیمیایی این سنگ‌ها (اعم از سرشت، جایگاه زمین‌ساختی و الگوی فراوانی یکسان عناصر اصلی و فرعی)، توجه به جزئیات این الگوها، حاوی نکات قابل توجهی است.

توجه به میزان فراوانی عناصر اصلی در این نمونه‌ها نشان می‌دهد که نمونه‌های گرانودیوریتی مزرعه نسبت به گرانیتهای مورد بررسی دیگر [۴۴-۴۸] حاوی مقادیر Na_2O بالاتری هستند (شکل ۱۴ - الف) نین این نمونه‌ها همراه با نمونه‌های گرانودیوریتی، Qulong چین دارای کمترین میزان FeO , Al_2O_3 , CaO هستند (شکل ۱۴ - ب، پ، ت). این در حالیست که نمونه‌های گرانودیوریتی، تیکمه داش دارای بالاترین میزان FeO , CaO و نمونه‌های گرانودیوریتی، کمر بند Rio Narcea اسپانیا دارای بالاترین میزان Al_2O_3 نسبت به مناطق دیگرند. بررسی میانگین ترکیب شیمیایی عناصر فرعی گرانودیوریتی در نمودارهای عنکبوتی نشان می‌دهد که گرانودیوریت‌های مزرعه دارای بیشترین غنی‌شدگی از عناصر Th, Nb, La, P, Pb نسبت به نمونه‌های دیگر هستند. نمونه‌های گرانودیوریتی منطقه Celebi ترکیه دارای بالاترین میزان غنی‌شدگی از عناصر LIL (Ba, Rb, K) و نمونه‌های گرانودیوریتی، تیکمه داش کمترین میزان غنی‌شدگی از عناصر LIL (Ba, Rb, K, Pb, Sr) را نسبت به نمونه‌های دیگر دارند. همچنین بالاترین میزان غنی‌شدگی از عناصر HFS (Sr, Zr, Ti, Y) در نمونه‌های کمر بند Rio Narcea اسپانیا و کمترین میزان غنی‌شدگی از عناصر HFS (Nb, La, P, Zr, Ti, Y) در نمونه‌های گرانودیوریتی، Qulong چین مشاهده می‌شود. نمونه‌های گرانودیوریتی سونگون اهر، نسبت به نمونه‌های دیگر، دارای الگوی فراوانی متوسطی است. احتمالاً تأثیر خاستگاه گوشته‌ی غنی شده (از طریق فروران‌ش یا فرایندهای درون صفحه‌ای) همراه با واکنش‌های پوسته‌ای، باعث تفاوت در ترکیب شیمیایی این توده‌های گرانیتهای شده است.

جدول ۳ مشخصات نمونه‌های گرانیتهای مختلف از ایران و نقاط دیگر جهان که با گرانودیوریت‌های مزرعه مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. (در این جدول نماد مورد استفاده برای هر یک از نمونه‌ها در نمودارهای مختلف، اسامی نمونه‌های مورد استفاده، محل، تیپ، اسکارن و نیز منبع استفاده از داده‌ها ذکر شده است).

علامت	تعداد نمونه	محل	نوع اسکارن	منابع
○	58-140, 58-146, 58-71, 30-149, 30-38, 70-141, 34-282, 70-175	Sungun, Iran	Cu	[46] A. Hezarkhani / Journal of Asian Earth Sciences 27 (2006) 326–340
◇	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10	Tikmeh Dash- Bostan Abad- Iran	Fe-Mn	[47] A. Karimzadeh Somarin, M. Moayyed / Ore Geology Reviews 20 (2002) 127–138
□	Carle's1, Carle's2, Goda'n, M Ortosa1, M Ortosa2, L Ortosa1, L Ortosa2, Villaverde–Pontigo1, Villaverde–Pontigo2, Brueva–Pando	Carle's, Ortosa–Goda'n, Villaverde–Pontigo and Brueva–Pando areas (Spain)	Cu-Au	[48] A. Martin-Izard et al. / Journal of Geochemical Exploration 71(2000) 103–117
⊕	C105, C31, C28, C29, C102, C103, C100	Celebi, Turkey	Cu-Fe-W	[49] I. Kuscu et al. / Journal of Geochemical Exploration 76 (2002) 175–194
⊗	2,7,8,17	Qulong., China	Cu-Mo	[50] Z. Yang et al. / Ore Geology Reviews 36 (2009) 133–159

برداشت

توده‌های نفوذی مزرعه، اغلب ترکیب گرانودیوریتی دارند. غنی-شدگی از عناصر Fe, Ca, Mg, Co, Ni و تهی‌شدگی از عناصر K, Na, Th در نمونه‌های کم سیلیس‌تر (اولیه‌تر) نشانگر تبلور آمفیبول در مراحل اولیه‌ی تبلور بخشی و آلبیت، فلدسپار قلیایی و بیوتیت در مراحل نهایی تبلور ماگمایی بوده است. وجود کانی‌های آبدار همچون آمفیبول، نشان می‌دهد که ماگمای اولیه دارای مقادیر متنابهی H_2O ($>3 \text{ wt\%}$) بوده است. اشباع بودن ماگما از آب، باعث شده تا توده‌ی گرانودیوریتی بتواند در برخورد با سنگ‌های کربناتی کرتاسه، آن‌ها را دگرسان کرده و تشکیل اسکارن دهد. وجود روند‌های پیوسته، در نمودارهای هارکر، برای عناصر سازگار و ناسازگار اصلی، نشان می‌دهد که، جدایش ماگمایی از راه تبلور بخشی، اصلی‌ترین فرایند در شکل‌گیری سنگ‌های نفوذی منطقه مورد بررسی است و فرایندهای دیگر در درجه‌ی دوم اهمیت قرار دارند. بر اساس بررسی‌های ژئوشیمیایی، توده‌های مورد بررسی، شبه قلیایی بوده و در گستره‌ی آهکی-قلیایی قرار می‌گیرند. این توده‌ها، شبه آلومین و از نوع نوع I و مگنیزین هستند و از نظر جایگاه زمین‌ساختی در رده‌ی گرانیتهای کمان آتشفشانی (VAG) قرار گیرند. گرانودیوریت‌های مزرعه نسبت به نمونه‌های گرانودیوریتی، Qulong چین، کمربند Rio Narcea اسپانیا، منطقه‌ی Celebi ترکیه، گرانودیوریت سونگون و، تیکمه داش دارای مقادیر بالاتر Na_2O و مقادیر پائین‌تر FeO ، Al_2O_3 هستند. همچنین بررسی میانگین الگوی فراوانی عناصر فرعی گرانودیوریت‌های مزرعه نسبت به مناطق یاد شده، نشان می‌دهد که نمونه‌های این منطقه، دارای بیشترین غنی‌شدگی از عناصر Th, Nb, La, P, Pb نسبت به نمونه‌های دیگرند می-باشند. تفاوت سهم گوشته‌ی غنی شده و پوسته در توده‌های یاد شده، احتمالاً بانی این اختلافات، در مقادیر عناصر بوده است.

قدردانی

در اینجا لازم می‌دانم از زحمات و همکاری ارزشمند همکار عزیزم جناب آقای مهندس رحیم دبیری که در تنظیم این مقاله مخصوصاً شکل‌های آن کمک کرده‌اند تشکر کنیم. از اعضای خانواده‌ام که در کارهای صحرایی تمام وقت همراه من بوده‌اند؛ همچنین زمینه‌های مختلف دیگر این کار با من همکاری داشته‌اند تشکر و قدردانی کنم. بی‌شک همکاری

همکاران ارجمندم جناب آقای دکتر ترشیزیان و آقای مهندس شریفیان هرگز قابل فراموش شدن نیست که نهایت تشکر را از این بزرگواران دارم. در پایان از داوران ارجمند مقاله که با پیشنهادهای ارزشمند خود و وقتی که برای اصلاح این مقاله صرف کرده‌اند، و موجبات افزایش کیفی آن را فراهم کردند و نیز از دست اندرکاران مجله‌ی بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران که امکان چاپ این مقاله را فراهم کرده‌اند تشکر ویژه‌ای دارم.

مراجع

- [1] Khadem N., "Types of copper ore deposit in Iran", Geological Survey of Iran, Internal Report lip (1965).
- [2] Bazin D., Hubner H., "Copper Deposits in Iran", Geological Survey of Iran, Report No. 13, (1969).
- [3] Lescuyer J.I., Riou R., "Géologie de la région de Mianeh (Azarbayjan). Contribution de la volcanisme tertiaire de l' Iran", Thèse 3 cycle, Grenoble, (1976) 234 pp.
- [4] Mollai H., "Petrochemistry and Genesis of the Granodiorite and Associated Iron-Copper Skarn Deposit of Mazraeh, Ahar, East-Azarbayjan, Iran", Ph D. Thesis, University of Roorkee. (1993) 278 pp.
- [5] Eftekharneshad J., "Brief description of tectonic history and structural development of Azarbayjan. Internal report to the Ministry of Mines.", Geological Survey of Iran, (1975) p10.
- [6] Stockline J., Eftekharneshad J., "Explanatory text of the Zanzan quadrangle Map, 1/250,000.", Geological Survey of Iran (1969).
- [7] Pourhosseini F., "Petrogenesis of Iranian plutons: a study of the Natanz and Bazman Intrusive complex.", Geological Survey of Iran, (1981) Report no. 53 p 150.
- [۸] ملائی ح.، و.ک.اس دوه، درویش زاده ع.، یعقوبپور ع.، "توضیح و نقش سیالات درگیر در معدن اسکارنی آهن-مس شمال اهر شمال غرب ایران"، مجموعه مقالات دومین سمپوزیوم انجمن زمین شناسی ایران دانشگاه فردوسی مشهد. (۱۹۹۸) ص ۶۲-۶۰
- [9] Mollai H., Dave V.K.S., Sharma R., "Copper mineralization at Mazraeh North West of Iran: Evidences for fluid evolution and Skarn deposit", Abstract volume of 32nd International Geological Congress. Florence, August 20-28 (2004) p223.
- [۱۰] ملائی ح.، ملائی م.، شریفیان ر.، "بررسی پتانسیل کانی زائی منطقه قرانیق درق واقع درشیب شمالی شورداغ دومین

mineralization, northwestern Iran", International Geology Review 48 (2006) 892-909.

[21] Babakhany A.R., "Explanatory text of the Ahar quadrangle map 1/250,000", Geological Survey of Iran (1977).

[22] Etminan H., "Le porphyre cuprifère de Sar Cheshmeh (Iran); role des phases fluides dans les mecanismes d'alteration et de la mineralization", Thèse de Doctorat d'Etat, Science de la Terre, Université de Nancy, (1977) 249 pp.

[۲۳] هاشم اطمینان، "اکتشاف مس و مولیبدن پورفیری نزدیکی روستای سونگون شمال غرب ایران"، گزارش برای سازمان زمین شناسی ایران (۱۹۷۸)، ۲۴ صفحه

[24] Tuttle O.F., Bowen V.L., "Origin of Granite in the light of experimental studies in the system $NaAlSi_3O_8 - KAlSi_3O_8 - SiO_2 - H_2O$ ", **Geological Society of America**, Memoir. 74 - (1958) 129.

[25] Whitney J.A., "Vapour generation in a quartz monzonite magma: a synthetic model with application to porphyry copper deposits", Economic Geology 70 (1975) 346-358.

[26] Whitney J.A., Stormer J.C., "Mineralogy, petrology, and magmatic conditions from the Fish Canyon Tuff, central San Juan volcanic field, Colorado", Journal of Petrology 26 (1985) 726-762.

[27] Burnham C.W., "Magmas and hydrothermal fluids. In: Barnes, H.L. (Ed.)", Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits. Wiley, New York, (1979) 71-136.

[28] Didier J., Barbarin B., "Granites and their enclaves", Elsevier, Amsterdam, (1973) 393 P.

[29] H. Mollai, A.M. Yaghubpur, R. Sharifiyan Attar, "Geology and geochemistry of skarn deposits in the northern part of Ahar batholith, East Azarbaijan", NW Iran. Iranian Journal of Earth Sciences (2009) pp15-34

[30] Wilson M., "Igneous Petrogenesis. A global Tectonic Approach", Unwin Hyman, (1989) 466p.

[31] Eastoe C.G., "A fluid inclusion study of the Panguna porphyry copper deposit, Bougainville, Papua New Guinea", Economic Geology 73 (1978) 721-748.

[32] Eastoe C.G., Eadington P.J., "High-temperature fluid inclusions and the role of the biotite granodiorite in mineralization at the Punguna porphyry copper deposit, Bougainville, Papua New Guinea", Economic Geology 81 (1986) 478-483.

[33] Mason D.R., "Compositional variations in ferromagnesian minerals from porphyry copper-

کانسار پورفیری آذربایجان شرقی" دوازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران ۳۰ بهمن تا ۲ اسفند ۱۳۸۷.

[11] Mollai H., "Magmatic activities and magmatic effect on the Cretaceous sedimentary rocks in the Ahar region, North West of Iran", Abstracts volume of the International Symposium on the Cretaceous, University of Neuchatel, Switzerland, (2005) 146-147.

[12] Mollai H., "Petrology and Geochemistry of Skarn Deposit in the North of Ahar, North West of Iran", Scientific program and abstracts volume of 6th International Conference on the Geology of the Middle East, Al-Ain, U.A.E. (2006) p190.

[13] Mollai H., Sharma R., Pe-Piper G., "Copper mineralization around the Ahar Batholith, north of Ahar (NW Iran): evidence for fluid evolution and the origin of the skarn ore deposit", Ore Geology Reviews, 35 (2009) 401-414.

[۱۴] آقازاده مهرج، "پترولوژی و ژئوشیمی گرانیتوئیدهای انزان، خان‌کندی و شیور داغ، شمال و شرق اهر، آذربایجان خاوری، با نگرشی بر کانی‌زایی وابسته"، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۸۸)، ۴۴۶ صفحه.

[۱۵] ملائی ح، دوه و.ک.اس، یعقوب‌پور ع، "مطالعه پترولوژی و کانی‌شناسی به‌منظور اندازه‌گیری شرایط فیزیکی شیمیایی توده باتولیت اهر شمال غرب ایران"، مجموعه مقالات سومین سمپوزیوم انجمن زمین‌شناسی ایران ۳۱ اگوست تا ۲ سپتامبر دانشگاه شیراز (۱۹۹۹) ص ۶۳۲-۶۳۷

[16] Mollai H., Dave V.K.S., "Geochemistry and genesis of the Mazraeh granodiorite NW of Iran", Abstract volume, National Seminar and 8th Indian Geological Congress. Ujin, India, (1991) pp 52-53.

[17] Berberian F., Berberian M., "Tectono-plutonic episodes in Iran. In: Gupta, H.K., Delany, F.M. (Eds.), Zagros Hindukosh, Himalaya Geodynamic Evolution", American Geophysical Union, Washington, DC, (1981) 5-32.

[۱۸] معین‌وزیری ح، "دیباچه‌ای بر ماگماتیسزم در ایران"، دانشگاه تربیت معلم، (۱۳۷۵)

[۱۹] مجل م، سهندی م.ر، "تکامل تکتونیکی پهنه سنج-سیرجان در نیمه شمال باختری و معرفی زیر پهنه های جدید در آن"، فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره ۳۱-۳۲ (۱۳۷۸) ص ۲۸-۴۹.

[20] Hezarkhani A., "Geochemistry of the Anjerd Skarn and its association with copper

- evidence for Devonian-Carboniferous subduction in the Hercynian belt of the French Massif Central", *Chemical Geology* 107 (1993) 1-18.
- [41] Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle, A.G., "Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks", *Journal of Petrology*. 25 (1984) 956-983
- [42] Chappell B.W., White A.J.R., "I- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt", *Trans R Soc Edinburgh Earth Sciences*. 83 (1992a) 1-26.
- [43] Hyndman D.W., "Igneous and metamorphic petrology", McGraw-Hill. (1985).
- [44] A. Hezarkhani., "Petrology of the intrusive rocks within the Sungun Porphyry Copper Deposit, Azerbaijan, Iran ", *Journal of Asian Earth Sciences* 27 (2006) 326-340.
- [45] Karimzadeh Somarin A., Moayyed M., "Granite- and gabbrodiorite-associated skarn deposits of NW Iran". *Ore Geology Reviews*, 20 (2002) 127-138.
- [46] Martin-Izard A., Fuertes-Fuente M., Cepedal A., Moreiras D., Nieto J. G., Maldonado C., Pevida. L. R., " The Rio Narcea gold belt intrusions: geology, petrology, geochemistry and timing", *Journal of Geochemical Exploration*, (2000) 103-117 .
- [47] Kuscu I., Kuscu G.G., Meinert L.D., Floyd P.A., "Tectonic setting and petrogenesis of the Celebi granitoid, (Kırkkale-Turkey) and comparison with world skarn granitoids", *Journal of Asian Earth Sciences* 27 (2006) 326-340.
- [48] Zhiming Yang, Zengqian Hou, Noel C. White, Zhaoshan Chang, Zhenqing Li, Yucai Song., "Geology of the post-collisional porphyry copper-molybdenum deposit at Qulong, Tibet", *Ore Geology Reviews*, 36, (2009) 133-159.
- generating and barren intrusions of the Western Highlands, Papua New Guinea", *Economic Geology* 73 (1978) 878-890.
- [34] Mason D.R., McDonald J.A., "Intrusive rocks and porphyry copper occurrences of the Papua New Guinea-Solomon Islands region", *Economic Geology* 73 (1978) 857-877.
- [35] Dilles J.H., "Petrology of the Yerington Batholith, Nevada: evidence for evolution of porphyry copper ore fluids", *Economic Geology* 82 (1987) 1750-1789.
- [35] Irvine T. N., Barragar W. R. A., "A guide to the classification of the common volcanic rocks", *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8 (1971) 528-548.
- [36] Maniar p.D., Piccoli P.M., "Tectonic discrimination of granitoids", *Geological Society of America Bulletin*, 101 (1989) 635-643.
- [37] Frost B. Ronald, Calvin G. Barnes, William J. Collins, Richard J. Arculus, David J. Allis, Carol D. Frost., "A Geochemical Classification for Granitic Rocks", *Journal Of Petrology* 42 (2001) 2033-2048.
- [38] Sun S.S., McDonough W.F., "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders A.D. and Norry M.J. (eds.), *Magmatism in ocean basins*", Geological Society of London, Special Publication. 42 (1989) 313-345.
- [39] Parada M.A., Nystrom J.o., Levi B., "Multiple sources for the Coastal Batholith of central Chile (31-34S): geochemical and Sr-Nd isotopic evidence and tectonic implication", *Lithos* 46 (1999) 505- 521.
- [40] Shaw A., Downes H., Thirwall M.F., "The quartz-diorites of Limousin: elemental and isotopic