

## ژئوشیمی و سنگ‌شناسی 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 گرانو دیوریتی مزرعه، بخشی از توده‌ی پلوتونیکی شیورdag 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 مزو佐ئیک-ترشیری در پهنه‌ی سندج-سیرجان به شمار می‌رود. سنگ‌های منطقه بیشتر بافت دانه‌ای متوسط تا درشت دارند. کانی‌های تشکیل دهنده‌ی این سنگ‌ها از پلازیوکلاز، فلدسپار قلیایی، کوارتز، آمفیبول و بهمیزان کمتر بیوتیت، آپاتیت، اسفن و مگنتیت تشکیل شده‌اند. از دیدگاه شیمیایی، سنگ‌های گرانو دیوریت منطقه، ماهیت آهکی-قلیایی دارند. توده نفوذی منطقه از نظر شاخص اشباع از آلومینیم، ماهیت متابولین داشته و ویژگی‌های گونه‌ی I از خود نشان داده و از نظر ویژگی‌های محیط ژئوپیوئیمیکی از نوع VAG است. وجود روندهای پیوسته در نمودارهای هارکر، برای عناصر سازگار و ناسازگار اصلی، نشان می‌دهد که جدایش ماقمایی از راه تبلور بخشی، اصلی‌ترین فرایند، در شکل‌گیری سنگ‌های نفوذی منطقه مورد بررسی است. وجود کانی‌های آبدار مانند آمفیبول نشان می‌دهد که ماقمای اولیه داری 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 آلیت، فلدسپار قلیایی و بیوتیت، در مراحل نهایی تبلور ماقمایی بوده است. مقایسه‌ی توده‌ی گرانو دیوریت مزرعه با گرانو دیوریت‌های دیگر نشان می‌دهد که این گرانو دیوریت، نسبت به گرانو دیوریت‌های دیگر مانند گرانو دیوریت Qulong چین، کمربند Rio Narcea اسپانیا، منطقه‌ی Celebi ترکیه، توده‌ی سونگون و تیکمه داش ایران دارای مقادیر بالاتر  $Na_2O$  و مقادیر پائین‌تر  $Al_2O_3$ ,  $FeO$ ,  $Al_2O_3$  هستند. همچنین بررسی میانگین الگوی فراوانی عناصر فرعی گرانو دیوریت 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 گوشه‌ی غنی شده و پوسته در تشکیل این توده‌هاست.

**واژه‌های کلیدی:** ژئوشیمی؛ سنگ‌شناسی؛ توده‌ی پلوتونیکی؛ گرانو دیوریت؛ اسکارن؛ مزرعه؛ اهر.

طرام) دارای روند شمال غربی-جنوب شرقی است. فعالیت ناحیه‌ای پلوتونیکی به سن اولیگومیوسن در ایران در طول کمربند کوه کرکس و کوه بلوج در ایران مرکزی گسترش یافت، فعالیت ماقمایی در چهارگوشه‌ی اهر مخصوصاً فعالیت‌های

مقدمه در اواخر ائوسن- اولیگوسن، واحدهای البرز و ایران مرکزی با چندین توده‌ی نفوذی بریده شده‌اند. فعالیت پلوتونیکی اواخر ائوسن- اولیگوسن شمال ایران (کمربند پلوتونیکی قره داغ -

Inductively Coupled Plasma X ray fluorescence Spectroscopy در آزمایشگاه دانشگاه رورکی هندوستان مورد بررسی قرار گرفتند. در انتخاب نمونه‌ها سعی شد که از نمونه‌های 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 ICPS. Model-8440-Labtam. دانشگاه رورکی با استفاده از 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 کلیه‌ی عناصر دوباره در مرکز انتیتوی هیمالیا شناسی وادی‌ای شهردره ادون هند با XRF آنالیز شدند.

#### زمین‌شناسی عمومی

توده‌ی نفوذی مزرعه، در گستره‌ی طول‌های جغرافیایی ۵۲°، ۴۶°، ۴۰° تا ۱۵°، ۴۷°، ۳۸° تا ۳۸°، ۴۲° شمالی، در ۲۰ کیلومتری شمال اهر، در استان آذربایجان شرقی قرار دارند. این توده یکی از منحصر بفردترین فعالیت‌های مانع‌گرای از این ابرکوه است. این منطقه بخشی از نوار آذربایجانی در ایران از فازهای پهنه‌ی سندنج - سیرجان محسوب می‌شود [۱۷-۱۹]. به عقیده‌ی لسکویه و ریوی [۲۳] فعالیت‌های مانع‌گرای اهر در اوایل ایگوسن رخ داده، در حالی که هزارخانی سن ۲۰ میلیون سال (اویل میوسن) را برای مانع‌گرایی این منطقه در نظر گرفته است [۲۰]. سنگ‌های قدیمی منطقه شامل رسوب‌های و سنگ‌های شبه آتشفشاری کرتاسه بود که با سنگ‌های لاتریتی و ایگنمریتی ایوسن پوشیده شده‌اند [۲۱-۲۲]. توده‌های نفوذی عبارتند از ایگوسن - میوسن منطقه شامل گرانودیوریت، دیوریت، گابرو و سینیت قلیایی. سنگ‌های آتشفشاری 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 آتشفشاری کرتاسه نفوذ کرده و موجب گسترش نهشته‌های اسکارنی، رگه‌های سیلیسی، تبلور مجدد سنگ آهک و ایجاد شیست لکه‌دار و هورنفلس شده است. اغلب ساختارهای زمین-

آذربایجانی و تشکیل با تولیت که از مهم‌ترین فعالیت‌های مانع‌گرای در این منطقه است در گذشته به رشتہ کوه شیوار داغ ارتباط داده می‌شد، و یکی از مناطق چند فلزی در غرب ایران محسوب می‌شود [۳-۱۱]. برای اولین بار نقشه‌ی ۱:۵۰۰۰۰ با تولیت یاد شده و سنگ‌های اطراف آن تهیه و نام با تولیت اهر برای آن برگزیده شد [۴] با تولیت یاد شده در شمال شهر اهر فرار گرفته و شامل بخش بزرگی از رشتہ کوه قره داغ است. رسوب‌های کرتاسه و سنگ‌های شبه آتشفشاری، لاتریت و ایگنمریت به سن ایوسن، به ترتیب قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه را تشکیل می‌دهند. سنگ‌های نفوذی بیشتر شامل گرانودیوریت، دیوریت، گابرو، سینیت قلیایی به سن ایگوسن هستند. جوانترین سنگ‌های منطقه‌ی سنگ‌های آتشفشاری به سن کواترنرند. زنجیره‌ی رسوبی - آتشفشاری تریاس تا اواخر کرتاسه ادامه دارد و به دنبال آن طی حرکت‌های کوهزایی اواخر کرتاسه - اوایل تریاسی چین خورده است. گزارشی از فعالیت پلوتونیکی به سن اواخر ایوسن - اولیگوسن (بیشتر اولیگوسن) از منطقه‌ی قفقاز تا شمال آذربایجان ارائه شد [۵-۷]. این توده یکی از جالب‌ترین فعالیت‌های مانع‌گرای در منطقه اهر است. نفوذ به درون سنگ‌های کربناتی کرتاسه، باعث تشکیل کمربند ناپیوسته اسکارنی در اطراف خود شده است. با توجه به اینکه پلوتونیسم ایوسن - ایگوسن در ایران از فازهای باردار از نظر فلززایی محسوب می‌شود و معادن مختلفی چه به صورت اسکارنی و پورفیری در ارتباط با آن‌ها کشف و مورد بهره‌برداری قرار گرفته، لذا بررسی هر چه بیشتر پلوتونیسم یاد شده و گردآوری و بررسی یافته‌های قبلی وابسته به آن‌ها به نوبه خود می‌تواند در پی جویی 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 پژوهش بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی، حکایت از یک کانسار زمین‌شناسی و آنالیزهای ژئوشیمیایی، تعیین جایگاه زمین‌ساختی این سنگ - های پلوتونیکی مزرعه، تعیین جایگاه زمین‌ساختی این سنگ - های پژوهش بررسی ویژگی‌های ژئوشیمی و سنگ‌شناسی سنگ - های مقایسه‌ی آن‌ها با توده‌های دیگر ایران و جهان می‌باشد.

#### روش مطالعه

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

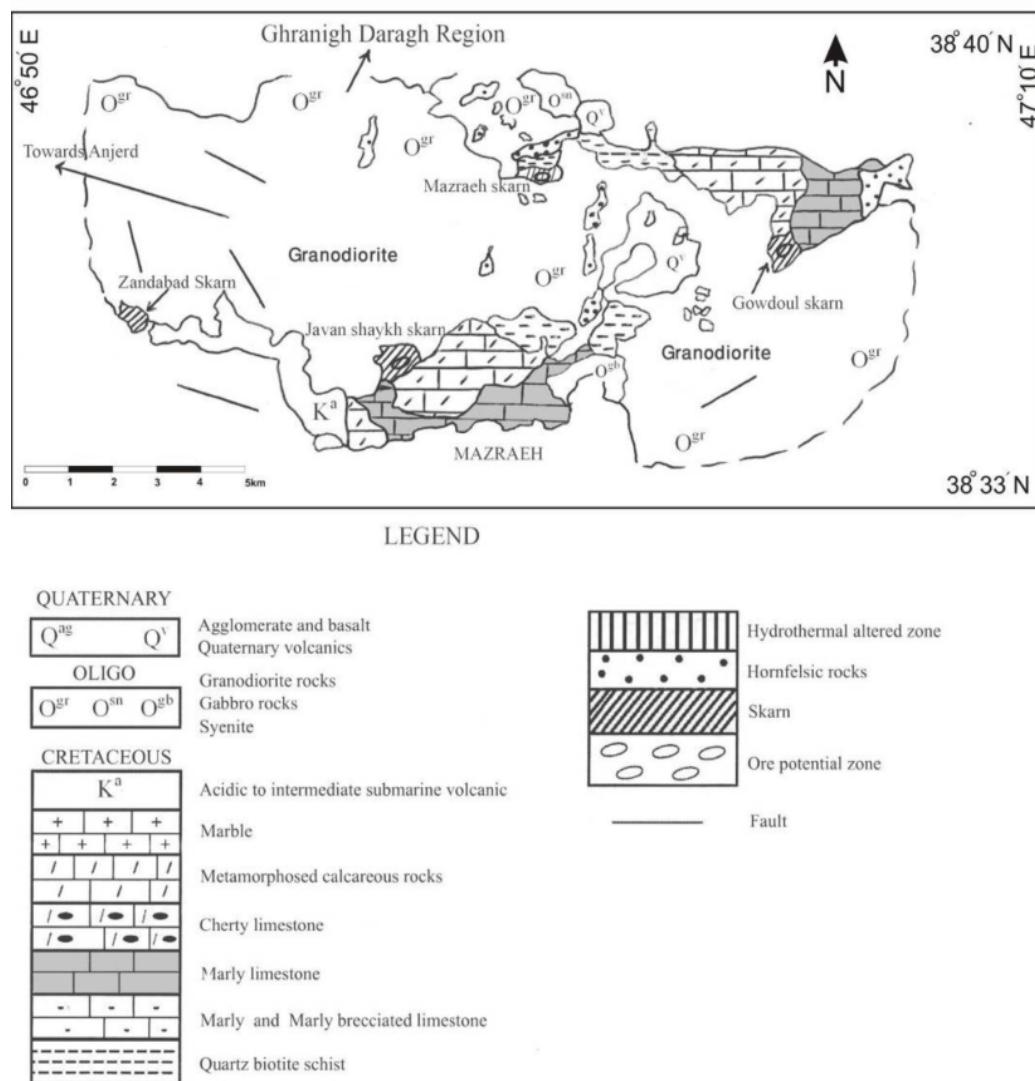
است. دو سیستم گسله در ناحیه دیده می‌شوند. یکی سیستم گسله شمال باختری-جنوب خاوری که در باختر دیگری سیستم گسله شمال خاوری-جنوب باختری است که پس از سیستم نخست نمایان شده است. در یال جنوبی تاقدیس به-دلیل نفوذ توده‌ی آذرین دنباله‌ی لیتو لوژیکی بهم خورده است و کل ساختار به صورت یک زنولیت در درون توده نفوذی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

ساختمی در توده‌ی نفوذی مورد بررسی شامل درز و شکاف‌های هستند که در راستای NNW-SSE و NNE-SSW کشیده شده‌اند (شکل ۲). گستره‌ی معدن مزرعه ساختاری چین خورده دارد که در برگیرنده‌ی تاقدیسی است با روند اصلی 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

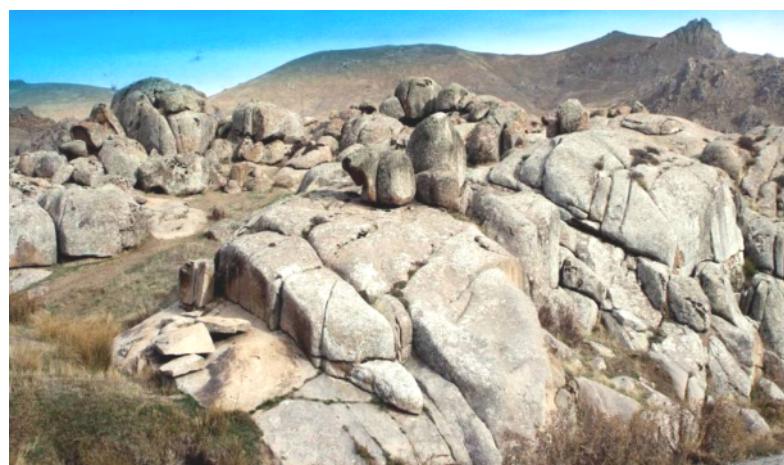
جدول ۱ نتایج آنالیز ژئوشیمیایی عناصر اصلی و نادر سنگهای منطقه به روش XRF

Sample	A11	A17	A18	Z28a	Z28b	Z28e	MZ52	MZ54	MZ78	MZ77	MZ310	MZ81
SiO <sub>2</sub>	۶۳,۲۳	۶۰,۶۳	۶۶,۲۷	۶۷,۷۳	۶۶,۲	۶۷,۰۵	۶۷,۲۰	۶۸,۹۲	۶۷,۸۱	۶۴,۵۴	۶۶,۶۹	۶۶,۳۹
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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 <sub>2</sub>	-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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-۰,۴۵	-۰,۶۲	-۰,۱۲	-۰,۲۶	-۰,۴۷	-۰,۵۲	-۰,۳۲	-۰,۳۰	-۰,۴۰	-۰,۴۷	-۰,۵۳	-۰,۴۴
LOI	۱,۰۳۸	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

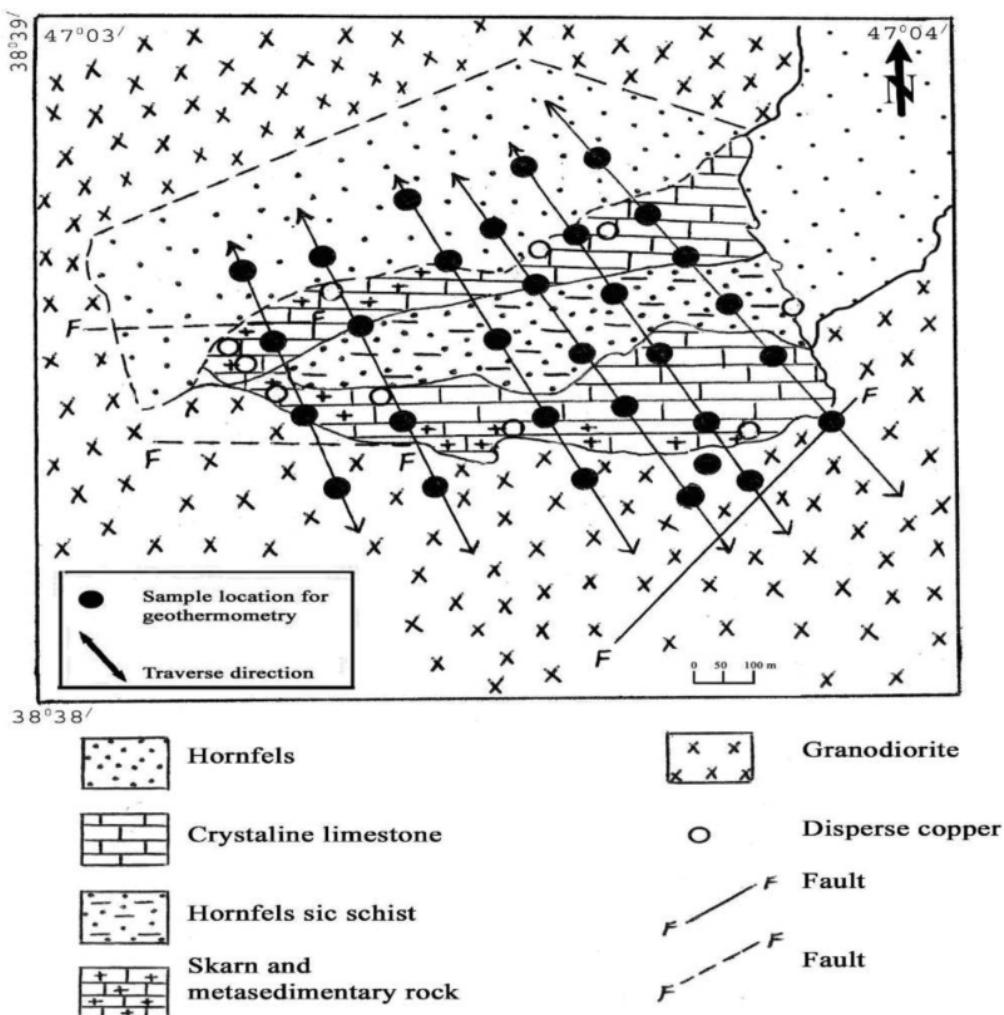
Sample	A11	A17	A18	Z28a	Z28b	Z28e	MZ52	MZ54	MZ78	MZ77	MZ310	MZ81
Cr	-	۶۳	۲۱	۹۳	۶۸	۵۵	۱۲۶	۵۹	۷۵	۱۰۱	۸۳	۸۰
Co	۲۲	۴۱	۲۹	۲۹	۳۶	۱۴	۲۶	۱۹	۲۷	۲۷	۴۴	۲۴
Ni	۳۱	۱۰۳	۵۹	۵۸	۷۱	۳۵	۱۵۶	۹۹	۹۵	۹۴	۱۲۶	۹۴
Cu	۳۸۰	۱۹۵	۱۶۰	۵۱۷۱	۱۱۶	۱۵۲	۴۴۶	۸۶	۱۶۱	۱۴۳	۱۹۰	۲۰۱
Zn	۸۷	۱۲۰	۱۰۳	۸۱	۸۵	۵۱	۶۵	۶۰	۶۷	۱۰۵	۷۰	۸۶
La	۶۴	۹۲	۱۰۰	۴۷	۷۱	۶۶	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	۷۵۲	۶۵۸	۶۲۷	۶۷۲	۶۶۷	۷۷۹	۶۹۲	۷۲۳
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، ملائی [۴]



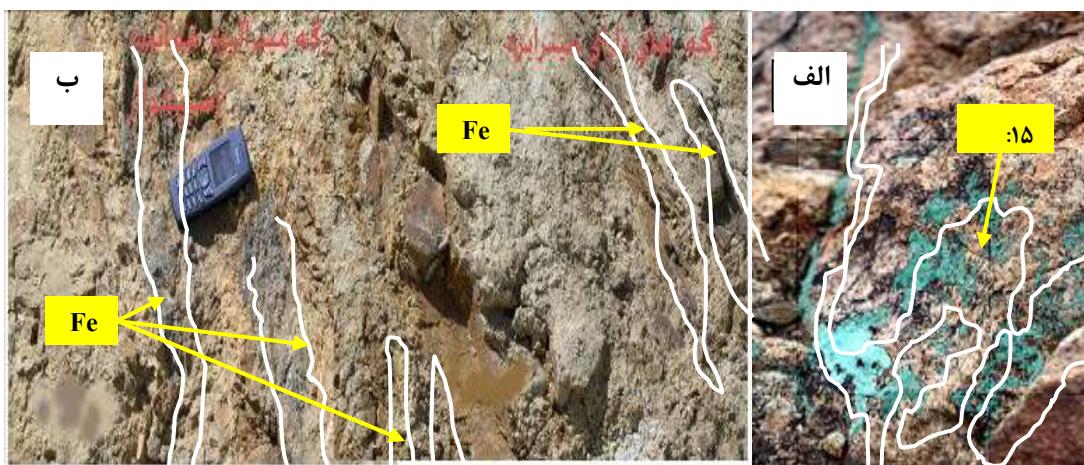
شکل ۲ نمایی از ساختارهای زمین‌ساختی (شامل درز و شکاف) در توده نفوذی مزرعه (دید رو به شمال).



شکل ۳ ساختار و واحدهای سنگ‌شناسی منطقه‌ی معدن مزرعه که به صورت یک زنولیت بیضی ناقص با سمت طولی شرقی-غربی در گرانو دیوریت قرار گرفته است [۲۹].

وجود زنولیت‌های میکرو دیوریتی به رنگ خاکستری تیره است. به اعتقاد [۷] این زنولیت‌ها با قیماندهی توده‌ی میکرو دیوریتی است که قدیم‌تر از این توده است. توده‌ی اصلی گرانو دیوریت منطقه شامل یک گرانو دیوریت 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 میلوانی است. این توده، در شمال روستای حاج علی بیک کنده، دستخوش دگرسانی شدید همراه با کانه‌زنی شده است. شدت دگرسانی به سمت بخش شمالی منطقه قرانیق درق افزایش یافته و رگه‌های فراوان مالاکیت، 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 مالاکیت در این توده دیده می‌شود (شکل ۴-الف). این درز و شکاف‌ها حاصل فشارهای گرمابیه‌است [۲۳، ۲۴]. اضافه برای رگه‌ها چندین توده‌ی آتشفسانی کواترنری با راستای تقریباً شمالی جنوبی در منطقه دیده می‌شوند. که حکایت از فعالیت مagmaی جدید پس از فعالیت فاز اصلی magmaی منطقه است و فعال بودن منطقه را پس از یک توقف طولانی اثبات می‌کند. خروج این توده‌های آتشفسانی به دلیل نبروهای کششی منطقه و تشکیل magmaی 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 قرانی درق رگه های کانی آهن (Fe) همراه با دگرسانی را نشان می دهد.

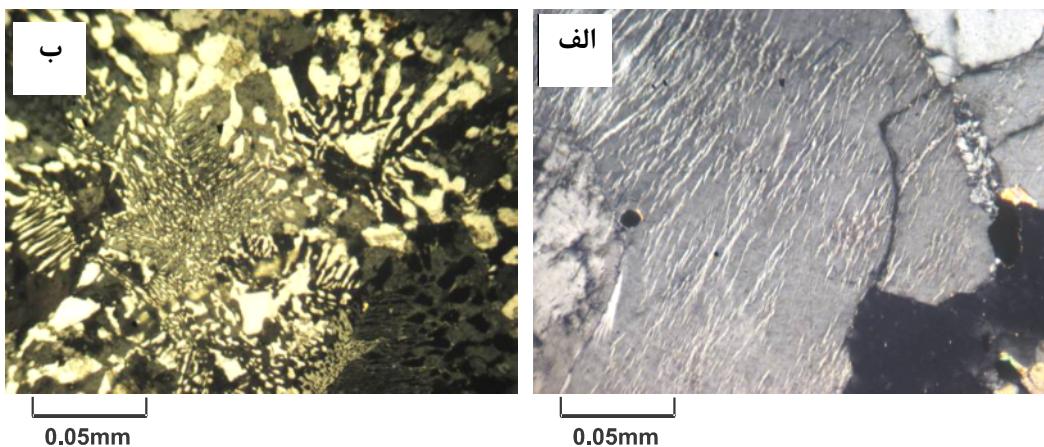
بافت هایی مثل بافت پرتیتی شده است (شکل ۵-الف). تبلور آلبیت به دو صورت (یکی به صورت فاز جداگانه و دیگری به صورت همرشدی با فلدسپات های پتسی) نشان می دهد که این کانی در مرحله ای اول، به صورت فاز جداگانه متبلور شده و سپس، با کاهش دما به زیر منحنی انجماد، تبلور همزمان فاز های سدی و پتسی آغاز شده است. برخی دانشمندان، این نوع سنگها را جزء گرانودیوریت های شبه انجماد رده بندی می کنند [۲۵]. همچنین در برخی نمونه ها، همرشدی کوارتز و فلدسپات های پتسی به صورت بافت گرافیکی قابل مشاهده است (شکل ۵ - ب). آمفیبول های موجود در توده های پلوتونیکی، اغلب از نوع هورنبلنند (شکل ۶). بررسی های میکروسکوپی نشان می دهد که، این کانی ها دارای پلوکروئیسم شدید بوده و در راستای محور X سبز روشن، در راستای محور Y، قهوه ای روشن و در راستای Z سبز تا سبز مایل به قهوه ای دیده می شوند. حضور فنوکریست های هورنبلنند در سنگ های عمیق و تازه (Fresh) این توده، نشان می دهد که ماغمای گرانودیوریتی حاوی مقادیر چشم گیری (بیش از ۳% Wt آب بوده است [۲۶-۲۸]). توجه به دنباله ای تبلور در کانی های موجود، نشان می دهد که اشباع شدن ماغما از آب در مراحل اولیه ای تبلور صورت گرفته است. وجود مقادیر آب کافی باعث شد تا توده های گرانودیوریتی بتواند در برخورد با سنگ های کربناتی کرتاسه آن ها را دگرسان کرده و تشکیل اسکارن دهد. کانی های بیوتیت، اسفن، آپاتیت، تیتانیت و منیتیت به عنوان کانی های فرعی (کمتر از ۵ درصد حجمی) و کانی های روتیل، پیریت، کالکوپیریت به عنوان کانی های جزئی (کمتر از یک

#### کانی شناسی توده های نفوذی

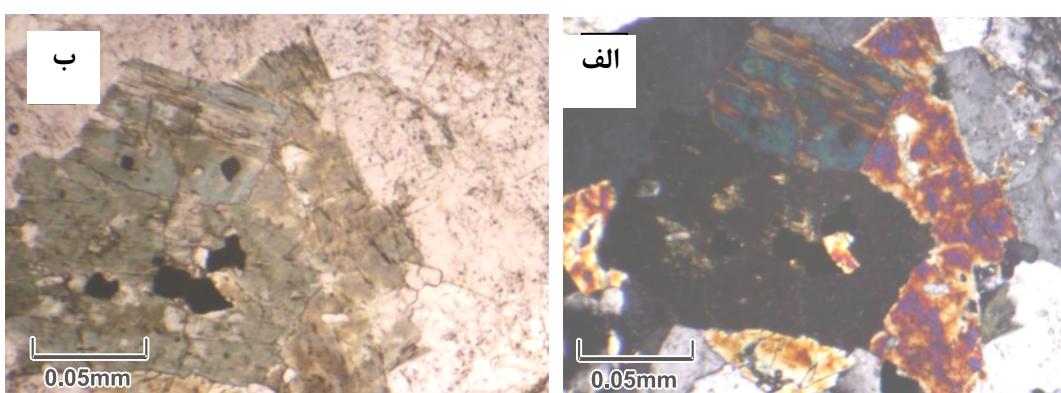
بر اساس بررسی های کانی شناسی، بخش عمده توده های نفوذی مزرعه، از سنگ های گرانودیوریتی است و از سنگ شناسی و آنالیز مدي آن ها معلوم شد که کانی های اصلی تشکیل دهنده این سنگ ها اغلب شامل پلازیوکلاز بین ۲۵ تا ۵۰٪، فلدسپار قلیایی (۱۰ تا ۳۰٪)، کوارتز (۲۰ تا ۲۵٪) و هورنبلنند از ۰ تا ۱۰٪ به ترتیب با میانگین ۳۶.۹٪، ۳۷.۸۶٪، ۱۱.۲۲٪ و ۳۰.۵٪ نیز دارای ۲۹.۳٪ بیوتیت، ۱.۵۵٪ کانی کدر و ۱.۴۸٪ اسفت همراه با ۲۸.۳٪ از کانی های فرعی تشکیل شده است [۴]. بافت معمول این سنگ ها دانه ای، ریزدانه ای و پورفیری است. پلازیوکلاز های موجود در این سنگ ها از نوع آلبیت تا الیگوکلاز بوده و به دو صورت قابل مشاهده اند؛ یکی به صورت پلازیوکلاز های کشیده، شکلدار و بدون منطبقه بندی و دیگری به صورت پلازیوکلاز های درشت، نیمه شکلدار با منطبقه بندی. فنوکریست های پلازیوکلاز در مواردی بافت پوئی کلیتیک داشته و با کانی هایی همچون اسفن و کوارتز یا کانی های دیگر مانند بیوتیت، روتیل و کانی های فلزی همراه هند. در مواردی، کلریتی شدن و اپیدوتی شدن نیز در راستای شکستگی های این بلورها رخ داده است، و در بعضی نمونه های پلازیوکلاز کاملاً کاٹولینی شده و فقط یک شبه ریخت از آن باقی مانده است (شکل ۷). فلدسپار قلیایی از دیگر فلدسپات های مهم موجود در سنگ های گرانودیوریتی مورد بررسی است. این کانی ها اغلب از نوع ارتوکلاز بوده، ولی در مواردی بسیار کم میکروکلین هم قابل مشاهده است. در مواردی همرشدی بین آلبیت و فلدسپات های پتسیم دار باعث ایجاد

منظم تانیمه منظم‌اند. دیگری، به صورت کانه‌های کدر ثانوی یا نسل دوم، که محصول دگرسانی کانی‌های مافیک مانند آمفیبول و بیوتیت هستند، و بالاخره کانه‌های کدر نسل سوم، که به صورت رگه‌ای ظاهرشده و رگه‌های کانی ساز را تشکیل داده‌اند و کانی‌های قبل از خود راقطع می‌کند [۲۹]. سریسیتی شدن، سیلیسی شدن، کلریتی شدن، اپیدوتی شدن، کائولینیتی شدن و کربناتی شدن از مهم‌ترین دگرنهادی موجود در منطقه به شمار می‌روند. از ویژگی‌های دیگر این گرانو دیوریت وجود بروونیوم‌های میکرو دیوریتی با بافت ریزدانه‌ای تا ریزدانه‌ای پورفیری است. ترکیب این بروونیوم‌ها دیوریت بوده و بر اساس رده‌بندی دیدیر و باریارین [۳۰] این بروونیوم‌ها از نوع برونبوم‌های ریزدانه‌ای مافیک‌اند.

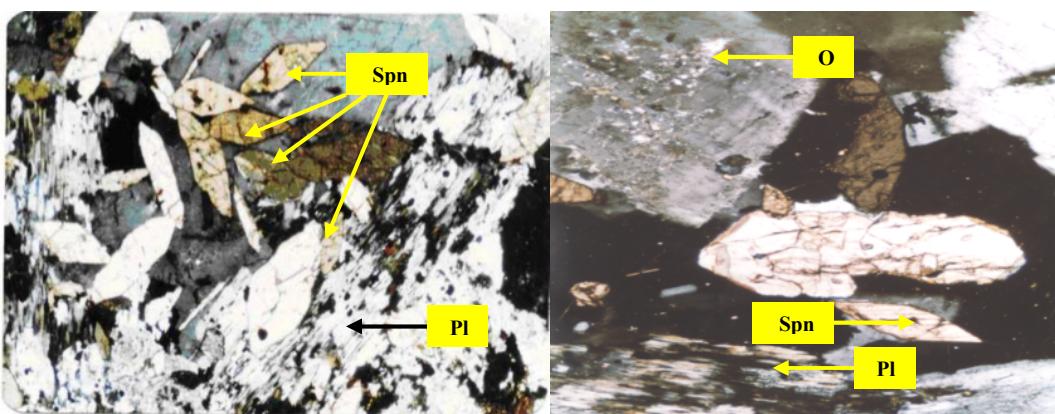
در صد حجمی) در این سنگ‌ها دیده می‌شوند. کلسیت به صورت رگچه‌های درون کانی فلدسپار قلیایی و در مواردی همراه با گارنت دیده می‌شوند. تشکیل این گونه گارنت‌ها که مقدار آن‌ها بسیار کم است نتیجه‌ی واکنش گرمایی غنی از کلسیت با حاشیه کانی فلدسپار است [۴]. اسفن در بعضی نمونه‌ها مخصوصاً نمونه‌های نزدیک به همبری 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 به صورت کانی‌های کدر اولیه، که در زمان تبلور سنگ اصلی تشکیل شده‌اند. این کانی‌ها معمولاً دارای شکل هندسی پتاسیک به صورت بافت گرافیکی.



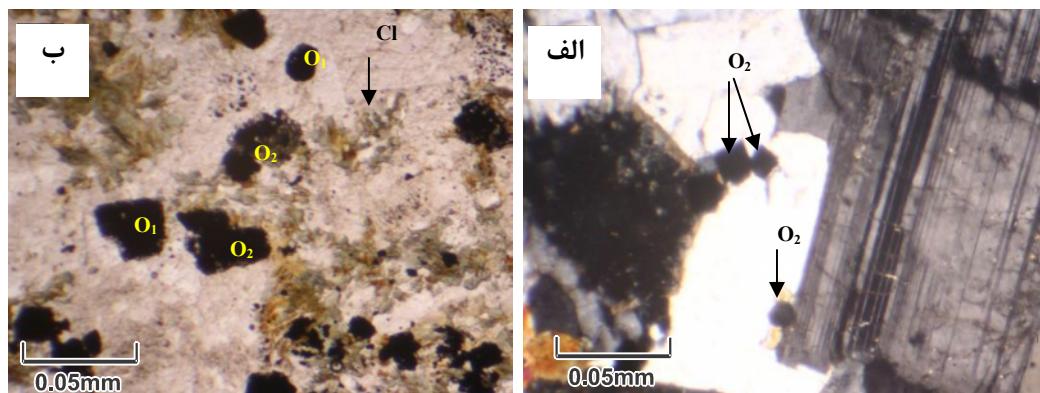
شکل ۵ تصویر (الف) همرشدی بین آلبیت و فلدسپات‌های پتاسیم دار و ایجاد بافت میکرو پرتیتی. تصویر (ب) همرشدی کوارتز و فلدسپات‌های پتاسیک به صورت بافت گرافیکی.



شکل ۶ تصویری از هورنبلندهای (Hbl) همراه با کانی‌های ارتوکلاز (Or) موجود در گرانو دیوریت‌های 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 اورتوكلاز و پلاژیوکلاز (Pl) شدید دگرسان شده (کائولینیتیزاسیون) از ویژگی‌های این اسفن‌ها برجستگی زیاد؛ شکستگی ورنگ قهوه‌ای تا کرم کمرنگ-اندبلورهای اسفن به صورت فتوکریست در کانی‌های ارتوز مشاهده می‌شوند.



شکل ۸ تصویر (الف) کانی‌های کدر نسل اول (O1) در کنار کانی‌های ارتوكلاز 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).

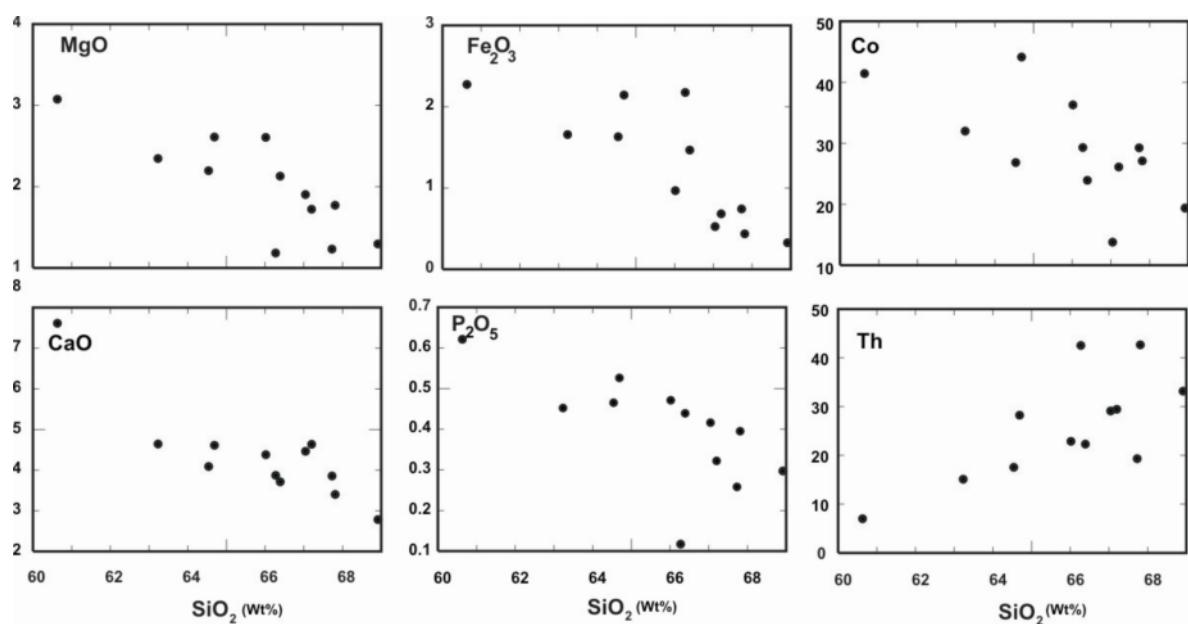
پتاسیم در ماغما، با تبلور کانی‌های بازی مانند آمفیبول در مراحل اولیه‌ی تبلور بخشی و تبلور کانی‌های پلاژیوکلاز و فلدسپارهای قلیابی در مراحل نهایی تبلور هماهنگ است. یکی دیگر از آزمون‌های مفید برای آشنازی با خاستگاه ماقماهایی که با فرایند جدایشی کنترل می‌شوند ثابت ماندن نسبت بعضی از عناصر کمیاب ناسازگار (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 آلایش پوسته‌ای، این نسبتها را بهم خواهد زد. به عبارت دیگر در صورت نبود آگاهی‌های ایزوتوبی 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

### ژئوشیمی

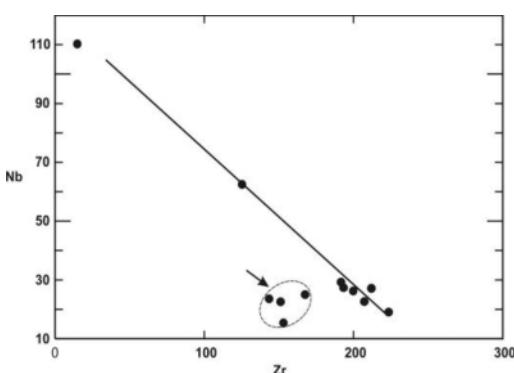
بررسی داده‌های ژئوشیمیایی (جدول ۱) نشان می‌دهد که میانگین سنگ‌های گرانودیوریتی منطقه، شامل مقادیر زیرنده  $MgO = 2.01\%$ ,  $CaO = 4.34\%$ ,  $SiO_2 = 65.87\%$ ,  $Na_2O = 3.89\%$ ,  $K_2O = 2.62\%$ ,  $Al_2O_3 = 15.11\%$  برسی این داده‌ها بر روی نمودارهای هارکر، نشان می‌دهد که سنگ‌های مورد بررسی دارای روندهای پیوسته‌ای اند (شکل ۹). این روندهای پیوسته با کاهش برخی اکسیدهای عناصر اصلی مانند  $MgO, Fe_2O_3(\text{total}), CaO$  و برخی عناصر نادر مانند  $CoO$  و  $Ni$  با افزایش  $SiO_2$  مشخص می‌شود. روندهای پیوسته بیشتر حکایت از مسیر شکل‌گیری رفتار شیمیایی ماغما داشته و نشانگر خط توارث ماغمایی اند [۳۱]. روندهای کاهشی برخی عناصر به همراه افزایش سیلیس و سدیم و

در گستره‌ی آهکی-قلیایی تا کلسیک قرار می‌گیرند (شکل ۱۳). براساس نمودارهای چند عنصری عنکبوتی بهنجار شده، به گوشه‌ی اولیه سان و مکدوناف [۴۰] گرانودیوریت‌های منطقه، به خاطر عناصر HFS، دارای بالاترین الگوی فراوانی و به خاطر 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 Sr و Rb، K و Rb در کنار بی‌هنجری منفی عناصر ناسازگار با پتانسیل یونی بالا (HFSE) مانند Nb و Ti، دلیلی بر مارگماتیسم وابسته به زون فروزانش است [۴۱، ۴۲]. چنانکه در جدول ۲ نیز مشاهده می‌شود، سنگ‌های گرانودیوریتی مورد بررسی به دلیل داشتن ویژگی‌هایی خاص مانند مقادیر  $\text{Na}_2\text{O}$  (با میانگین در حدود ۳.۸۹%wt)، مقایر  $\text{SiO}_2$  ۶۰.۶۳%wt تا ۶۸.۹۲%wt، مقایر CaO (بالاتر از ۳.۷%wt)، نسبت A/CNK کمتر از ۱/۱، ویژگی شبه آلومین، حضور برونبوم‌های ریزدانه تیره رنگ حاوی هورنبلندها، دارا بودن هورنبلندها، حضور دیوبسید 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 تودهاست.

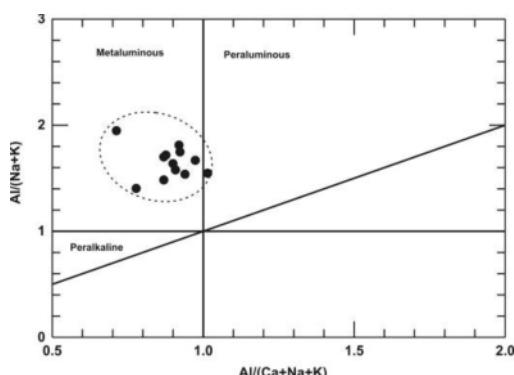
می شود نسبت های عناصر ناسازگار Zr, Nb در بیشتر نمونه ها تا حد قابل قبولی ثابت مانده است. به هر حال برخی از نمونه ها نیز در نتیجه فرایندهای دگر نهادی اندکی از این روند فاصله گرفته اند. نحوه تغییرات متقابل اکسیدهای متخلکه سنگ ها، دلالت بر آن دارد که جدایش مأگامی از راه تبلور بخشی گیری سنگ های نفوذی منطقه مورد بررسی است و فرایندهای دیگر در درجه دوم اهمیت قرار دارند. این روندهای پیوسته را در برخی از توده های آذرین دارنده کانسالرهای مس پورفیری در دیگر نیز می توان مشاهده کرد [۳۶-۳۲]. تمام سنگ های گستره شبه قلیابی واقع شده اند (شکل ۱۴ - ث). در نمودار نفوذی منطقه در نمودار  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  نسبت به  $\text{SiO}_2$  [۳۷] در شکل ۱۴ - ج) همچنین بر اساس نمودار مانیار و پیکولی [۳۸] سنگ های پلوتونیک منطقه در گستره شبه آلومین قرار می گیرند (شکل ۱). بنابر تقسیم بندی ژئوشیمیابی، سنگ های گرانیتی بدی فروست [۳۹] از لحاظ شاخص یا عدد آهن Fe-Number در نمودار  $(\text{FeO}^*/(\text{FeO}^*+\text{MgO})$  نسبت به  $\text{SiO}_2$  توده های نفوذی در گستره مینیزیم دار تصویر می شوند (شکل ۱۲). همچنین این نمونه ها از نظر ضریب قلیابی به آهک اصلاح شده (MALI) در نمودار  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}$   $\text{SiO}_2$  نسبت به



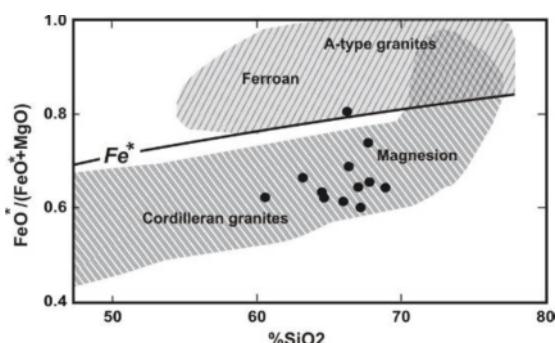
شکل ۹ نمودارهای تغییرات عناصر اصلی و کمیاب نسبت به سیلیس در نمونه‌های منطقه.



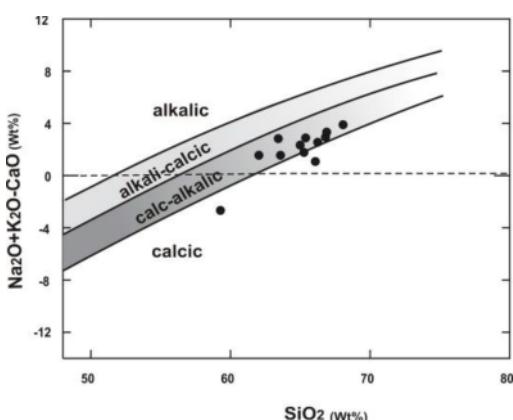
شکل ۱۰ نمودارهای تغییرات عناصر فرعی ناسازگار Nb نسبت به Zr ویلسون [۳۱]



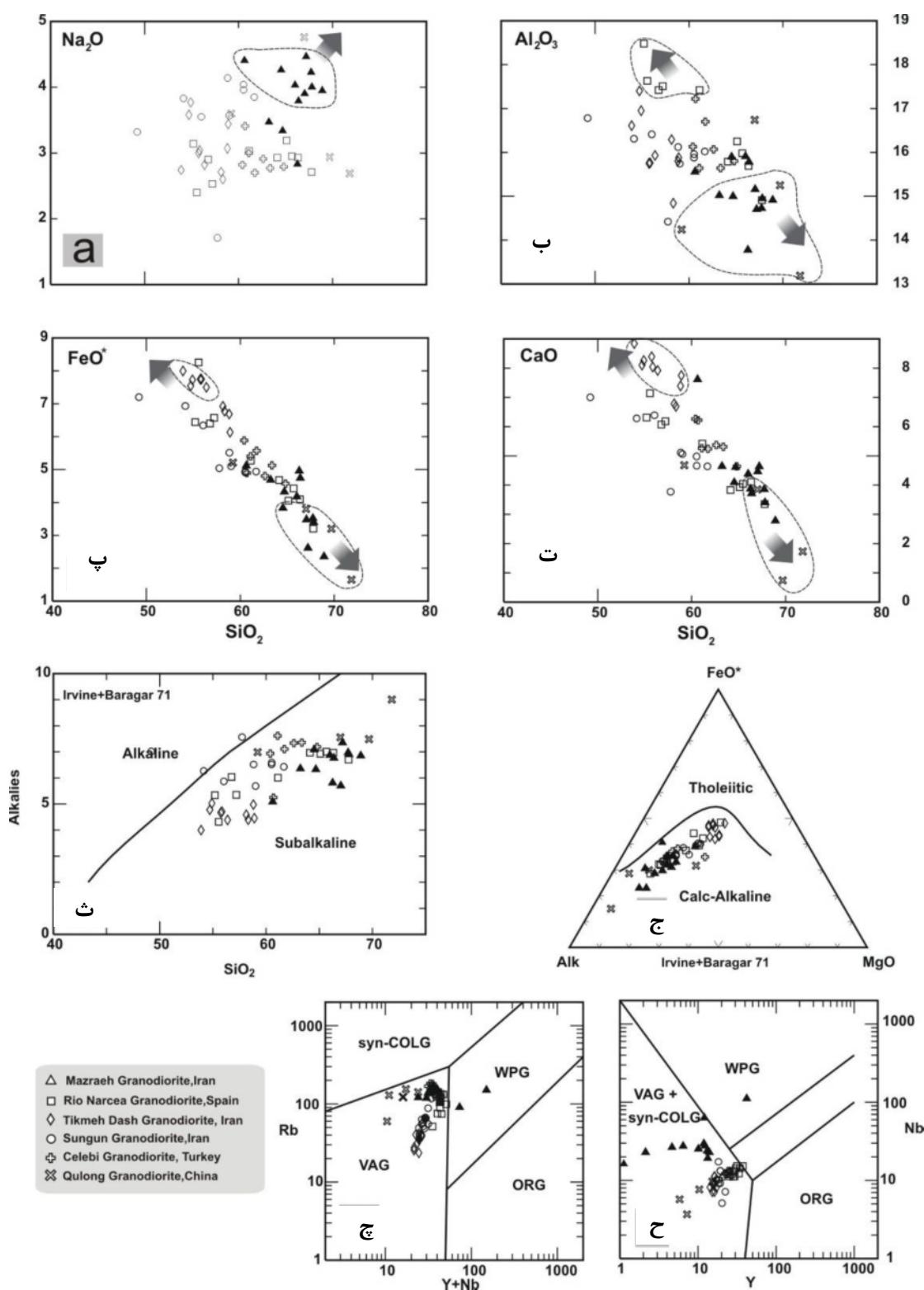
شکل ۱۱ نمودار تعیین میزان اشباع از آلومین (مانیار و پیکولی) [۳۸]



شکل ۱۲ نمودار  $\text{FeO}^*/(\text{FeO}^*+\text{MgO})$  نسبت به  $\text{SiO}_2$  بر گرفته از فروست و همکاران [۳۹]



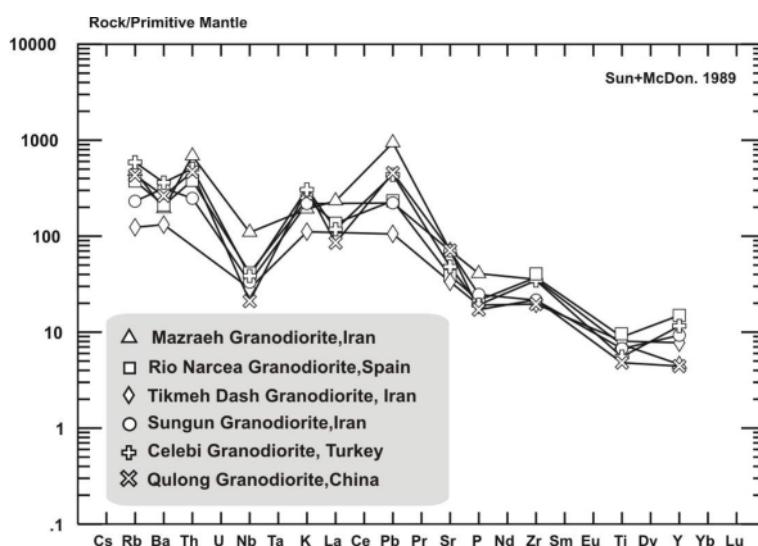
شکل ۱۳ نمودار  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}$  نسبت به  $\text{SiO}_2$  بر گرفته از فروست و همکاران [۳۹]



شکل ۱۴ (الف، ب، پ، ت) بررسی میزان فراوانی عناصر اصلی ( $\text{Na}_2\text{O}, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{FeO}^*, \text{CaO}$ ) نمونه‌های گرانو دیوریت‌های مزرعه در مقایسه با گرانو دیوریت مناطق بر اساس نمودارهای هارکر (ث) تفکیک نمونه‌های مختلف گرانو دیوریت‌های مزرعه و نیز گرانیتوئیدها مناطق مختلف بر اساس نمودار ایروین و باراگار [۳۷] (ج) جدایش نمونه‌های مختلف گرانو دیوریت‌های مزرعه و نیز گرانو دیوریت‌های مناطق مختلف مخاطب با نمودار AFM به-منظور جدایی سری‌های توله ایتی و آهکی-قلیابی (ج، ح) نمودار تعیین محیط زمین‌ساختی گرانو دیوریت‌های مزرعه و نیز سنگ‌های مختلف گرانو دیوریت‌های دیگر بر گرفته از پیرس و همکاران [۴۳].

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

	ویژگی	نوع [ ]	نوع S	گرانو دیوریت مزرعه
الف : ژئوشیمی				
1	Na <sub>2</sub> O	>normally >2.2 % in mafic rock to 3.2 , felsic rock	< 2.2 in rock with 2 % k <sub>2</sub> O to <3.2 in rock with 5% k <sub>2</sub> O	>3.2 with average value of 3.290 %
2	Mol. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / (Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub>	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 metamorphic Cu
7	- Xenolith in granite	Igneous appearinace and normally Hornblende bearing	Metasedimentry may be common.	Igneous appearinace with Hornblende 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%) pyrohotite,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 کمریند Rio Narcea اسپانیا ، اسکارن آهن و منگنز تیکمه داش بستان آباد، اسکارن مس سونگون اهر، اسکارن مس-آهن-تنگستن Celebi ترکیه و اسکارن مس-مولیبیدن Qulong چین . (داده ها از منابع جدول ۳) تمامی داده ها به سان و مکدوناف [۴۰] نرمالیزه شده‌اند.

توجه به میزان فراوانی عناصر اصلی در این نمونه‌ها نشان می‌دهد که نمونه‌های گرانو دیوریتی مزرعه نسبت به گرانیتوئیدهای موربد بررسی دیگر [۴۸-۴۴] حاوی مقادیر Na<sub>2</sub>O بالاتری هستند (شکل ۱۴ - الف) نین این نمونه‌ها همراه با نمونه‌های گرانو دیوریتی، Qulong چین دارای کمترین میزان FeO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO هستند (شکل ۱۴ - ب، پ، ت). این در حالیست که نمونه‌های گرانو دیوریتی، تیکمه داش، دارای بالاترین میزان FeO, CaO و نمونه‌های گرانو دیوریتی، Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> اسپانیا دارای بالاترین میزان ۳ Narcea Rio نسبت به مناطق دیگرند. بررسی میانگین ترکیب شیمیایی عناصر فرعی گرانو دیوریتی در نمودارهای عنکبوتی نشان می-دهد که گرانو دیوریت‌های مزرعه دارای بیشترین غنی‌شدگی از عناصر Th, Nb, La, P, Pb نسبت به نمونه‌های دیگر هستند. نمونه‌های گرانو دیوریتی منطقه Celebi ترکیه دارای بالاترین میزان غنی‌شدگی از عناصر LIL (Ba, Rb, K) و نمونه‌های گرانو دیوریتی، تیکمه داش کمترین میزان غنی‌شدگی از عناصر Sr, Zr, HFS (Ti, Y) در نمونه‌های کمرندها Rio Narcea اسپانیا و کمترین (Nb, La, P, Zr, Ti, Y) HFS میزان غنی‌شدگی از عناصر در نمونه‌های گرانو دیوریتی، Qulong چین مشاهده می‌شود. نمونه‌های گرانو دیوریتی سونگون اهر، نسبت به نمونه‌های دیگر، دارای الگوی فراوانی متوسطی است. احتمالاً تأثیر خاستگاه گوشه‌های غنی شده (از طریق فرورانش یا فرایندهای درون صفحه‌ای) همراه با واکنش‌های پوسته‌ای، باعث تفاوت در ترکیب شیمیایی این توده‌های گرانیتوئیدی شده است.

مقایسه‌ی ترکیب شیمیایی گرانو دیوریت مزرعه با مناطق دیگر به منظور بررسی بیشتر ویژگی‌های ژئوشیمیایی و سنگ‌شناسی گرانو دیوریت اسکارن ساز مزرعه، این سنگ‌ها با گرانو دیوریت-های 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 گرانو دیوریت مورد مقایسه مانند گرانو دیوریت‌های مزرعه AFM سرشت شبه قلیایی داشته (شکل ۱۴ - ث) و در نمودار نیز در گستره‌ی آهکی-قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۱۴ - ج). همچنین بر اساس رده بندی پیرس و همکاران [۴۳] گرانیتوئیدهای منطقه مورد بررسی و نمونه‌های دیگر مقایسه‌ای، در گستره‌ی گرانیت‌های کمان آتش‌نشانی و همزمان با برخورد (VAG, Syn-COLG) قرار می‌گیرند (شکل ۱۴ - 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 - ج). به طوری که این نمونه‌ها از عناصر LIL بیش از ۱۰۰ برابر نسبت به گوشه‌های 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 همسان همه‌ی الگوهای ژئوشیمیایی این سنگ‌ها (اعم از سرشت، جایگاه زمین‌ساختی و الگوی فراوانی یکسان عناصر اصلی و فرعی)، توجه به جزئیات این الگوهای حاوی نکات قابل توجهی است.

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

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

همکاران ارجمند 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 کرداند، و موجبات افزایش کیفی آن را فراهم کردند و نیز از دست اندکارن مجله‌ی بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران که امکان چاپ این مقاله را فراهم کردند 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 Deposites 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] Eftekharnezhad 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., Eftekharnezhad J., "Explanatory text of the Zanjan 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.
- [8] ملائی ح. و.ک.اس دوه، درویش زاده ع، یعقوبپور ع، "توضیع 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، ۶۰-۶۲ ص (۱۹۹۸)
- [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.
- [10] ملائی ح، ملائی م، شریفیان ر، "بررسی پتانسیل کانی زائی منطقه قرانیق درق واقع در شریب شمالی سورداغ دومین

#### برداشت

توده‌های نفوذی مزروعه، اغلب ترکیب گرانودیوریتی دارند. غنی - شدگی از عناصر Fe, Ca, Mg, Co, Ni و تهی شدگی از عناصر K, Na, Th نشانگ تبلور آمفیبول در مراحل اولیه‌ی تبلور بخشی و آلبیت، فلدسپار قلیایی و بیوتیت در مراحل نهایی تبلور ماقمایی بوده است. وجود کانی‌های آبدار همچون آمفیبول، نشان می‌دهد که ماقمای اولیه داری مقادیر متناهی  $\text{H}_2\text{O}$  ( $> 3 \text{ wt\%}$ ) بوده است. اشباع بودن ماقمای 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 ماقمایی 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 مگنزین هستند و از نظر جایگاه زمین‌ساختی در رده‌ی گرانیت‌های کمان آتششانی (VAG) قرار گیرند. گرانودیوریت‌های مزروعه نسبت به نمونه- Rio Narcea، Qulong چین، کمرنگندیه اسپانیا، منطقه‌ی Celebi ترکیه، گرانودیوریت سونگون و، تیکمه داش دارای مقادیر بالاتر  $\text{Na}_2\text{O}$  و مقادیر پائین تر  $\text{Al}_2\text{O}_3$  هستند. همچنین بررسی میانگین الگوی فراوانی عناصر فرعی گرانودیوریت‌های مزروعه 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 می‌باشند. تفاوت سهم گوشه‌های غنی شده و پوسته در توده‌های یاد شده، احتمالاً بانی این اختلافات، در مقادیر عناصر بوده است.

#### قدرتانی

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 صحرائی تمام وقت همراه من بوده‌اند؛ همچنین زمینه‌های مختلف دیگر این کار با من همکاری داشته‌اند تشکر و قدردانی کنم. بی‌شک همکاری

- 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); rôle des phases fluides dans les mécanismes d'alteration et de la mineralization", Thèse de Doctorat d'Etat, Science de la Terre, Université de Nancy, (1977) 249 pp.
- [۲۳] هاشم اطمینان، "کتشاف مس و مولیبدن پورفیری نزدیکی رستای سونگون شمال غرب ایران، گزارش برای سازمان زمین‌شناسی ایران (۱۹۷۸) صفحه ۲۴
- [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. Yaghoubpur, 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 Panguna 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 پور فیری آذربایجان‌شرقی" 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 6<sup>th</sup> 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 مهراج، "پترولوزی و ژئوشیمی گرانیتوئیدهای انزان، خان کندی و شیور داغ، شمال و شرق اهر، آذربایجان خاوری، با تکریشی بر کانی‌زایی وابسته"، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۸۸)، ۴۴۶ صفحه.
- [۱۵] ملائی ح.، دوه و.ک.اس، یعقوب پور ع.، "مطالعه پترولوزی و کانی‌شناسی به منظور اندازه‌گیری شرایط فیزیکو شیمیائی توده باتولیت اهر شمال غرب ایران، مجموعه مقالات سومین سمپوزیوم انجمن زمین‌شناسی ایران ۳۱ آگوست تا ۲ سپتامبر ۶۳۷-۶۳۲ (۱۹۹۹) ص ص ۶۳۷-۶۳۲
- [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. Ujjin, 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] معین وزیری ح.، "دیباچه‌ای بر ماقم‌اتیسم در ایران"، دانشگاه تربیت معلم، (۱۳۷۵)
- [۱۹] مجلل م.، سهندی م.ر.، "تکامل تکتونیکی پهنه سندج- سیرجان در نیمه شمال باختری و معرفی زیر پهنه‌های جدید در آن"، فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره ۳۱ ۳۲-۳۱ (۱۳۷۸) ۴۹-۲۸
- [20] Hezarkhani A., "Geochemistry of the Anjerd Skarn and its association with copper

- evidence for Devono-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, (Kirikkale-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., "Agiude 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