

صلى الله عليه وسلم



دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین‌شیمی

ویژگی های ژئوشیمیایی و پترولوژیکی نفوذی های بارور و عقیم در زون طرود-چاه شیرین ، جنوب دامغان

نگارنده: محمدرضا حسینی

اساتید راهنما:

دکتر مسعود علی پور اصل

دکتر حبیب‌الله قاسمی

تیر ۱۳۹۷

شماره:

تاریخ:

باسمه تعالی



دانشگاه صنعتی شاهرود

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد محمدرضا حسینی با شماره دانشجویی ۹۴۰۶۰۴۴ رشته زمین شناسی گرایش زمین شیمی تحت عنوان ویژگی های ژئوشیمیایی و پترولوژیکی نفوذی های بارور و عقیم در زون طرود-چاه شیرین، جنوب دامغان که در تاریخ ۹۷/۰۶/۱۸ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

☐ مردود		☒ قبول (با درجه: <u>خیلی خوب</u>)	
☒ عملی		☐ نظری	
نوع تحقیق:			
عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر مسعود علی پور اصل	استادیار	
۲- استاد راهنمای دوم	دکتر حبیب الله قاسمی	استاد	
۳- استاد مشاور			
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر مهدی رضایی کهنخانی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر محمود صادقیان	دانشیار	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر فرج الله فردوست	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر پرویز امیدی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر در مدت مجاز تحصیل می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود)



اگر ما آموختیم که از افقی بالاتر از فراز کوهها به پایین بنگریم ؛ اگر آموختیم که در لایه به لایه سنگها باید به دنبال گمشدهای گشت، شاید راه ورسم زندگی را نیز در همان افقهای لاجوردی آموخته باشیم.

سنگ آرایش کوهستان نیست
همچنانی که فلز زیوری نیست به اندام گلنگ.
در کف دست زمین کوه را پیدایی است
که رسولان همه از تابش آن خیره شدند.
پی کوه را باشید
نقطه راه به چراگاه رسالت سپرد.

سهراب سپهری

سپاسگزاری

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت‌های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. و سلام و درود بر محمد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم‌آنان که وجودمان وام‌دار وجودشان است؛ و نفرین پیوسته بر دشمنان ایشان تا روز رستاخیز...

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی‌شائبه‌ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگارم. اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تامین می‌کند و سلامت امانت‌هایی را که به دستش سپرده‌اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب "من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عزّ و جلّ"

از پدر و مادر عزیزم این دو معلم بزرگوارم که همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت‌هایم گذشته‌اند و در تمام عرصه‌های زندگی یار و یاور بی‌چشم داشت برای من بوده‌اند؛ از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر مسعود علی‌پور اصل و آقای دکتر حبیب‌الله قاسمی که در کمال سعه‌ی صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را برعهده گرفتند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم. هم‌چنین از اساتید محترم گروه زمین‌شناسی صمیمانه سپاس گزارم. باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

تعهدنامه

اینجانب **محمدرضا حسینی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین‌شیمی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی

شاهرود نویسنده پایان نامه با موضوع **ویژگی های ژئوشیمیایی و پترولوژیکی نفوذی های بارور و عقیم در زون**

طرود-چاه شیرین ، جنوب دامغان تحت راهنمایی دکتر مسعود علی‌پور اصل متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام **دانشگاه صنعتی شاهرود** و یا **Shahrood University of Technology** به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ :

امضاء دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات، مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

رشته کوه طرود- چاه شیرین میزبان تعداد زیادی کانه‌زایی فلزات پایه و گرانبها است که نشانگر پتانسیل بالای کانی سازی و اهمیت اقتصادی این رشته کوه است. این کمربند با روند تقریبی خاوری- باختری، به صورت یک فرازمین میان دو گسل طرود و انجیلو در حاشیه شمالی کویر مرکزی ایران قرار گرفته است. کهن ترین سنگ ها، با ترکیب آمفیبولیت، شیست، گنیس، کوارتزیت، مرمر دولومیتی و فیلیت به سن پرکامبرین پسین، در شمال خاور و خاور رشته کوه طرود-چاه شیرین، سنگهای دگرگون- شده پالئوزوئیک در پایانه باختری، سنگ‌های کربناتی-آواری مزوزوئیک در اطراف رشم رخنمون دارند. سنوزوئیک در این رشته کوه، بیشتر شامل تناوبی از سنگ‌های آذرآواری و آتشفشانی است. سنگ‌های آذرآواری، طیفی از انواع توف، برش و آگلومرا با میان لایه هایی از ماسه سنگ و سیلتستون را شامل می شود. سنگ‌های آتشفشانی گستره ای از آندزیت، آندزیت بازالتی، تراکی آندزیت، داسیت و ریولیت را شامل می شود که توسط توده های نفوذی نیمه ژرف تا ژرف شامل گابرو دیوریت، مونزونیت، گرانودیوریت و گرانیت توالی های آتشفشانی را قطع کرده است. کانی شناسی توده های نفوذی غالباً شامل پلاژیوکلاز، آلکالی فلدسپار، کوارتز، هورنبلند، بیوتیت، پیروکسن و کانی های حاصل از دگرسانی می باشد. تورمالینی شدن، وجود بیوتیت های ثانویه، منیتیت های ثانویه، آلکالی فلدسپار ثانویه، کلریتی شدن و سریسیتی شدن از اختصاصات کانی شناسی توده های نفوذی بارور کمربند طرود-چاه شیرین می باشد.

سنگ های آذرین رشته کوه طرود- چاه شیرین، کالک آلکالن با پتاسیم بالا تا شوشونیتی هستند و در نمودار بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه با غنی شدگی عناصر LILE مانند Ba, Cs, Rb, Th و K و تهی شدگی عناصر HFSE مانند Zr, Ti, Ta و Nb و نسبت بالای LILE / HFSE و LREE / HREE مشخص می شوند.

بر اساس نسبت های La/Sm, Sm/Yb, Sr/Y و La/Yb، توده های نفوذی و نیمه نفوذی شامل سنگ های گرانیتی چاه موسی، توده گرانودیوریتی چالو، سوسن وار و حافظ، و نیز نمونه های مونزونیتی

وگرانیتهی کوه‌زر در زمره توده‌های نابارور و سنگ‌های گرانیتی و مونزونیتی چاه‌موسی، توده‌های مونزونیتی چالو، سوسن‌وار و معدن حافظ، توده گرانیتی و گرانودیوریتی کوه‌زر در زمره توده‌های بارور قرار می‌گیرند.

کلید واژه‌ها : نفوذی‌های بارور، نفوذی‌های نابارور، ژئوشیمی، طرود-چاه‌شیرین.

فهرست مطالب

ن	فهرست اشکال
ر	فهرست جداول
۱	۱- فصل اول: کلیات:
۲	۱-۱- مقدمه
۲	۲-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی منطقه
۴	۳-۱- آب و هوا
۵	۴-۱- زمین ریخت شناسی
۶	۵-۱- پژوهش‌های پیشین
۷	۵-۱-۱- مطالعات انجام شده بر روی نوار طرود- چاهشیرین
۱۱	۵-۱-۲- مطالعات صورت گرفته مرتبط با موضوع این تحقیق در ایران
۱۲	۵-۱-۳- مطالعات صورت گرفته مرتبط با موضوع این تحقیق در جهان
۱۳	۶-۱- اهداف و طرح مسئله
۱۴	۷-۱- روش مطالعه
۱۴	۷-۱-۱- جمع آوری اطلاعات زمین‌شناسی و معدنی موجود
۱۴	۷-۱-۲- عملیات صحرایی
۱۵	۷-۱-۳- مطالعات آزمایشگاهی
۱۷	۲- فصل دوم: زمین‌شناسی ناحیه‌ای:
۱۸	۲-۱- مقدمه

۲-۲- واحد‌های سنگ-چینه‌های کمر بند طرود-چاه شیرین.....	۲۰
۲-۲-۱- پرمین.....	۲۰
۲-۲-۲- کرتاسه.....	۲۱
۲-۲-۳- ائوسن.....	۲۱
۲-۲-۴- میوسن.....	۲۲
۲-۲-۵- پلیوسن.....	۲۲
۲-۲-۶- هولوسن (عهد حاضر).....	۲۲
۲-۲-۷- توده‌های نفوذی عمیق و نیمه عمیق.....	۲۲
۲-۳- زمین شناسی ساختمانی کمر بند طرود-چاه شیرین.....	۲۳
۲-۴- زمین شناسی اقتصادی ناحیه طرود - چاه شیرین.....	۲۵
۲-۴-۱- کانه سازی‌های فلزی.....	۲۵
۲-۴-۲- کانه زائی‌های غیر فلزی.....	۳۱
۳- فصل سوم: پتروگرافی واحد‌های سنگی کمر بند طرود-چاه شیرین : پتروگرافی واحد‌های مر بند طرود-چاه شیرین.....	۳۳
۳-۱- مقدمه.....	۳۴
۳-۲- پتروگرافی سنگ‌های منطقه کوه زر.....	۳۴
۳-۲-۱- سنگ‌های گرانودیوریتی.....	۳۶
۳-۲-۲- سنگ‌های گرانیتی.....	۳۷

- ۳۸ ۳-۲-۳- سنگ‌های نیمه‌خروجی با ترکیب تراکی آندزیت
- ۳۹ ۳-۳- پتروگرافی واحدهای سنگی منطقه‌ی گندی
- ۳۹ ۳-۳-۱- سنگ‌های تراکی آندزیتی
- ۴۰ ۳-۳-۲- سنگ‌های دیوریتی
- ۴۱ ۳-۳-۳- سنگ‌های گرانودیوریتی
- ۴۲ ۳-۴- پتروگرافی سنگ‌های منطقه چاه‌موسی
- ۴۳ ۳-۴-۱- سنگ‌های تراکی آندزیتی
- ۴۴ ۳-۴-۲- سنگ‌های داسیتی
- ۴۵ ۳-۴-۳- سنگ‌های گابرویدیوریتی
- ۴۶ ۳-۵- پتروگرافی سنگ‌های منطقه چالو
- ۴۷ ۳-۵-۱- سنگ‌های دیوریتی
- ۴۸ ۳-۵-۲- سنگ‌های مونزونیتی
- ۵۱ ۴- فصل چهارم : ژئوشیمی:
- ۵۲ ۴-۱- مقدمه
- ۵۳ ۴-۲- نمونه برداری و تجزیه نمونه های سنگ
- ۵۴ ۴-۳- ژئوشیمی
- ۵۹ ۴-۳-۱- نامگذاری شیمیایی سنگ‌های آذرین نفوذی و نیمه‌نفوذی
- ۶۲ ۴-۳-۲- تعیین سری ماگمایی سنگ‌های نفوذی و نیمه‌نفوذی

۴-۳-۳ - شاخص اشباع از آلومین (ASI) سنگ‌های گرانیتوئیدی کمر بند طرود -	۶۴
چاه شیرین	۶۴
۴-۳-۴ - نمودارهای تغییرات $V-TiO_2$ و TiO_2-SiO_2 (Mclimor, 1999)	۶۶
۴-۳-۵ - ژئوشیمی عناصر کمیاب و خاکی کمیاب	۶۶
۴-۳-۶ - تعیین جایگاه زمین‌ساختی سنگ های نفوذی و نیمه نفوذی منطقه	۷۰
۵- فصل پنجم : تفکیک توده‌های نفوذی بارور از نابارور	۷۵
۵-۱- مقدمه	۷۶
۵-۲- تفکیک توده‌های نفوذی بارور از عقیم براساس ویژگیهای عناصر اصلی و کمیاب	۷۷
۵-۳- تفکیک توده‌های نفوذی بارور از عقیم براساس ویژگیهای نسبتهای عنصری	۸۱
۵-۳-۱- تفکیک توده‌های نفوذی بارور از عقیم بر اساس نمودار نسبت La/Sm در	
مقابل La	۸۱
۵-۳-۲- تفکیک توده‌های نفوذی بارور از عقیم بر اساس نمودار نسبت La/Sm در	
مقابل نسبت Sm/Yb	۸۲
۵-۳-۳- تفکیک توده‌های نفوذی بارور از عقیم بر اساس نمودارهای نسبت Sr/Y در مقابل Y	
(دیفانت و دروموند ۱۹۹۳) ، و La/Yb در برابر SiO_2 (ریچاردز و همکاران ۲۰۱۲)	۸۴
۵-۴- تفکیک توده‌های نفوذی بارور از انواع نابارور کمر بند طرود-چاه شیرین براساس رفتار	
عناصر کمیاب و نادر خاکی	۸۵
۶- فصل ششم : بحث و نتیجه‌گیری:	۸۹
۶-۱- مقدمه	۹۰

- ۶-۲- زمین‌شناسی، پتروگرافی و پترولوژی توده‌های نفوذی کمر بند طرود-چاهشیرین ۹۰
- ۶-۳- توده‌های نفوذی نابارور کمر بند طرود-چاهشیرین ۹۴
- ۶-۴- توده‌های نفوذی بارور کمر بند طرود-چاهشیرین ۹۷
- ۶-۵- نتیجه گیری ۱۰۰
- ۶-۶- پیشنهادات ۱۰۱
- ۷- منابع ۱۰۳

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی کمر بند طرود چاه شیرین (برگرفته از اطلس راه‌های کشور) ۳
- شکل ۱-۲ تصویر هوایی از ناحیه طرود - چاه شیرین که نقش عامل‌های زمین‌ساختی و سنگ‌شناسی را در ایجاد زمین‌ریخت کنونی منطقه نشان می‌دهد (برگرفته از گوگل ارث)..... ۶
- شکل ۱-۲- موقعیت منطقه مورد مطالعه در نقشه پهنه‌های زمین‌ساختی ایران (اشتوکلین، ۱۹۶۸) ۱۹
- شکل ۲-۲- نقشه زمین‌شناسی ناحیه طرود-چاه شیرین (قربانی، ۱۳۸۴، بازسازی شده از نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ طرود)..... ۲۰
- شکل ۳-۲- نقشه توزیع گسل‌های ناحیه طرود - چاه شیرین (یاراحمدی، ۱۳۹۴)..... ۲۵
- شکل ۴-۲- نقشه زمین‌شناسی ساده شده ناحیه طرود-چاه شیرین و نمایش موقعیت قرارگیری تعدادی از کانسارهای فلزی بر روی آن تهیه شده براساس نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ طرود (علوی و همکاران، ۱۳۵۵)، ۱/۱۰۰۰۰۰ کللاته رشم (جعفریان، ۱۳۷۳) و ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان (اشراقی، ۱۳۸۵)..... ۳۲
- شکل ۱-۳- نقشه زمین‌شناسی منطقه کوه‌زبر گرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵)..... ۳۵
- شکل ۲-۳- شکل ۲-۳ الف) نمایی از توده گرانودیوریتی در منطقه کوه‌زبر (دید به سمت شمال غرب)، ب) تصویر نمونه دستی از گرانودیوریتی، ج) بافت پورفیری در گرانودیوریت‌های منطقه (XPL)، د) بلور پلاژیوکلاز که دارای ادخال‌های اپیدوت بوده و در گوشه پائین سمت چپ آپاتیت نیز در سنگ‌های گرانودیوریتی دیده می‌شود (XPL). (علائم اختصاری : پلاژیوکلاز: plg، اپیدوت : Epi، آپاتیت: Apa)..... ۳۶
- شکل ۳-۳- الف) نمایی کلی از توده‌های گرانیتی منطقه کوه‌زبر، ب) حضور تورمالین شعاعی در گرانیت‌های کوه زبر (XPL)، ج) گرانیت غنی از بیوتیت منطقه کوه‌زبر (XPL)، و د) حالت منطقه‌بندی

در پلاژیوکلازهای موجود در گرانیت‌های کوهزر (XPL). (علائم اختصاری : پلاژیوکلاز: plg ، بیوتیت :

Bio، تورمالین: Tur) ۳۷

شکل ۳-۴- الف) فنوکریست‌ها و میکرولیت‌های پلاژیوکلاز (XPL)، ب) درشت‌بلور آمفیبول اوپاسیتی شده (XPL)، ج) درشت‌بلورهای بیوتیت (PPL)، د)، نمایی از توده نفوذی نیمه عمیق با ترکیب آندزیت-داسیت در منطقه کوهزر (دید به سمت غرب)، و ه) تصویری از نمونه دستی سنگ تراکی آندزیتی منطقه کوهزر. (علائم اختصاری : پلاژیوکلاز: plg ، بیوتیت : Bio، آمفیبول: Amph) ... ۳۸

شکل ۳-۵- نقشه زمین‌شناسی منطقه گندی برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان (اشراقی و جلالی ۱۳۸۵). ۳۹

شکل ۳-۶- الف) نمایی از سنگ‌های تراکی آندزیتی منطقه گندی، ب) نمای نزدیک نمونه دستی سنگ‌های تراکی آندزیتی منطقه گندی، ج و د) بیوتیت‌های کلریتی و پلاژیوکلازهای سریسیتی‌شده موجود در نیمه‌نفوذی‌های تراکی آندزیتی منطقه گندی (PPL) و (XPL)، و ه) بافت هیالومیکرولیتی پورفیری و رگه کوارتز در نمونه سنگ تراکی آندزیتی منطقه گندی (XPL). (علائم اختصاری : پلاژیوکلاز: plg ، بیوتیت : Bio، کوارتز: Qtz) ۴۰

شکل ۳-۷- الف) دورنمایی از توده دیوریتی منطقه گندی (دید به سمت شمال غرب)، ب) نمونه دستی دیوریت منطقه گندی، ج) درشت‌بلورهای سریسیتی شده پلاژیوکلاز در دیوریت منطقه گندی (XPL)، و د) بیوتیت‌های کلریتی شده در دیوریت‌های منطقه (XPL). (علائم اختصاری : پلاژیوکلاز: plg ، بیوتیت : Bio) ۴۱

شکل ۳-۸- الف) نمایی از سنگ‌های گرانودیوریتی منطقه گندی (دید به سمت جنوب شرق)، ب) تصویر نمونه دستی گرانودیوریت، ج) بافت دانه‌های (گرانولار) موجود در گرانودیوریت (XPL)، و د) بلورهای درشت بیوتیت کلریتی شده و پلاژیوکلازهای سریسیتی شده در گرانودیوریت منطقه گندی (XPL). ۴۲

شکل ۳-۹- نقشه زمین‌شناسی منطقه چاه‌موسی برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰

معلمان (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵). ۴۳

شکل ۳-۱۰- الف) دورنمایی از توده تراکی آندزیتی منطقه چاهموسی (دید به سمت شرق)، ب) کانه‌زایی مس در میزبان آندزیتی، ج) نمای نزدیک از سنگ‌های تراکی آندزیتی، د) درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز در زمینه میکروولیتی در سنگ‌های تراکی آندزیتی (XPL)، و ه) کوارتزهای ثانویه حاصل از دگرسانی با بافت گلومروپورفیری در زمینه‌ی سریسیتی (XPL). (علائم اختصاری: پلاژیوکلاز: plg، کوارتز: Qtz) ۴۴

شکل ۳-۱۱- الف) دورنمایی از سنگ داسیتی، ب) تصویر نمونه دستی داسیت، ج) درشت‌بلورهای کوارتز، هورنبلند و پلاژیوکلاز در زمینه میکروولیتی موجود در سنگ داسیتی (XPL)، و د) بافت خلیج‌خوردگی در کوارتزهای درشت موجود در داسیت منطقه چاهموسی (XPL). (علائم اختصاری: پلاژیوکلاز: plg، هورنبلند: hbl، کوارتز: Qtz) ۴۵

شکل ۳-۱۲- الف) تصویری از دایک گابرویدیوریتی که سنگ‌های مونزونیتی را قطع کرده است (معدن مس چاهموسی)، ب) بافت دانه‌های به همراه بلورهای اوژیت، پلاژیوکلاز و الیوین در گابروهای منطقه (XPL)، و ج) بافت افستیک متشکل از پلاژیوکلاز و پیروکسن در دایک‌های گابرویی منطقه چاهموسی (XPL). (علائم اختصاری: پلاژیوکلاز: plg، پیروکسن: pyx) ۴۶

شکل ۳-۱۳- نقشه زمین‌شناسی منطقه چالو برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵). ۴۷

شکل ۳-۱۴- الف) دورنمایی از توده دیوریتی منطقه چالو، ب) تصویری از نمونه دستی سنگ دیوریتی، ج) حضور پیروکسن درشت بلور در زمینه میکروولیتی نمونه دیوریتی (XPL)، و د) بافت پورفیری-میکروولیتی و حضور بلورهای پیروکسن و پلاژیوکلاز در توده دیوریتی چالو (XPL). (علائم اختصاری: آمفیبول: Amph، پیروکسن: pyx) ۴۸

شکل ۳-۱۵- الف) نمایی از محدوده معدنی منطقه چالو و موقعیت توده نفوذی مونزونیتی، ب) تصویر نمونه دستی توده مونزونیتی چالو، ج) حضور آپاتیت در پلاژیوکلازهای سنگ‌های

مونزونیتی (XPL)، د) ساخت منطقه‌بندی در پلاژیوکلازهای موجود در مونزونیت‌های منطقه که نشان از عدم تعادل شیمیایی دارد (XPL)، ه) حضور هورنبلند در مرکز و پلاژیوکلازها در اطراف در سنگ‌های مونزونیتی که در حال تجزیه هستند (XPL)، و و)، در سنگ‌های مونزونیتی آلکالی فلدسپار، پلاژیوکلازها را دربر گرفته، که نشان از یک فاز تاخیری است (XPL). (علائم اختصاری : پلاژیوکلاز: plg، هورنبلند : hbl، کوارتز: Qtz، آپاتیت: Apa) ۴۹

شکل ۴-۱- نمودار $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ در مقابل SiO_2 (Cox et al., 1979)، که سنگ‌های آذرین کمرند طرود- چاه شیرین طیفی از گرانیت تا گابرو هستند. ۶۰

شکل ۴-۲- نمودار $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ در مقابل SiO_2 (Middlemost, 1985, 1994)، که نشان میدهد سنگ‌های آذرین منطقه طرود- چاه شیرین طیفی از گرانیت تا گابرو هستند. ۶۰

شکل ۴-۳- نمودار Zr/Ti در مقابل Nb/Y ، که سنگ‌های منطقه در محدوده سنگ‌های فلسیک تا مافیک قرار می‌گیرند. ۶۱

شکل ۴-۴- نمودار AFM از (Irvin & Bargar, 1971) که سنگ‌های منطقه سری کالکوالکالن نشان می‌دهند. ۶۳

شکل ۴-۵- نمودار $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ (Peccerillo & Taylor, 1976) جهت تعیین سری ماگمایی نمونه‌های مورد مطالعه. ۶۴

شکل ۴-۶- دیاگرام شاند (۱۹۴۳) جهت تعیین درجه اشباع از آلومین برای سنگ‌های آذرین منطقه طرود-چاه شیرین ۶۵

شکل ۴-۷- نمودارهای تغییرات $\text{V}-\text{TiO}_2$ و $\text{TiO}_2-\text{SiO}_2$ (Mclimor, 1999) برای نمونه‌های مورد مطالعه، که تبلور تفریقی فرایند غالب در تحولات ماگمایی منطقه است ۶۶

شکل ۴-۸- الگوی REE بهنجار شده به ترکیب کندریت (Nakamura, 1974) نمونه‌های نفوذی ائوسن منطقه طرود-چاه شیرین، که غنی شدگی LREE نسبت به HREE نمایان است. ۶۸

شکل ۴-۹- نمودار عنکبوتی بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (Sun & McDonough, 1989)

- برای نمونه‌سنگ‌های نفوذی نوار ماگمایی طرود-چاه‌شیرین. ۷۰
- شکل ۴-۱۰- نمودارهای تمایز محیط‌های تکتونیکی (Maniar and Picoli, 1989) و قرارگیری نمونه‌های نوار ماگمایی طرود-چاه‌شیرین. در محیط‌های کوهزایی. ۷۱
- شکل ۴-۱۱- نمودارهای Nb-Y ، Rb-(Y+Nb) ، Rb-(Ta+Yb) و Ta-Yb (پیرس و همکاران، ۱۹۸۴) برای تعیین جایگاه تکتونیکی سنگ‌ها، و قرارگیری نمونه‌های نوار ماگمایی طرود-چاه‌شیرین. در محدوده گرانیتوئیدهای قوس آتشفشانی (VAG). ۷۳
- شکل ۵-۱- نمودار Zn در مقابل SiO_2 برای توده‌های نفوذی کمر بند طرود-چاه‌شیرین (وولف ۱۹۷۵) ۷۹
- شکل ۵-۲- نمودار Y vs. MnO (بالدوین و پیرس ۲۰۰۶) برای تفکیک توده‌های بارور از عقیم ۸۰
- شکل ۵-۳- نمودار نسبت La/Sm در مقابل La برای توده‌های نفوذی کمر بند طرود-چاه‌شیرین (نشانه‌ها مشابه شکل ۵-۲) ۸۲
- شکل ۵-۴- نمودار نسبت La/Sm در مقابل نسبت Sm/Yb ، و موقعیت قرارگیری توده‌های نفوذی کمر بند طرود-چاه‌شیرین (نشانه‌ها مشابه نمودار ۵-۲) ۸۳
- شکل ۵-۵- الف : نمودار نسبت Sr/Y در مقابل Y (دیفانت و دروموند ۱۹۹۳). ب : نمودار نسبت La/Yb در برابر SiO_2 ، مورد استفاده جهت تفکیک توده‌های نفوذی بارور از نابارور کمر بند طرود-چاه شیرین ۸۵
- شکل ۵-۶- الگوی REE بهنجار شده نسبت به ترکیب کندریت (Nakamura, 1974) نمونه‌های سنگی کمر بند طرود-چاه‌شیرین ۸۶
- شکل ۵-۷- نمودار عنکبوتی بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (Sun & McDonough, 1989) برای توده‌های نفوذی کمر بند طرود-چاه‌شیرین ۸۷
- شکل ۶-۱- نمای کلی و تصویر میکروسکوپی توده‌های نفوذی و نیمه‌نفوذی کمر بند طرود-چاه شیرین ۹۱

شکل ۶-۲- الف: وجود بیوتیت‌های ثانویه در توده مونزونیتی بارور چالو (XPL)، ب: تورمالینی شدن و حضور کوارتزهای ثانویه، در توده بارور گرانودیوریتی کوه زر (XPL)، ج: فرایند سریسیتی شدن در توده نفوذی بارور گرانودیوریتی منطقه کوه زر (XPL)، د: فرایند رایج کلریتی شدن در توده‌های نفوذی و نیمه‌نفوذی بارور کمر بند طرود-چاه شیرین (PPL). علائم اختصاری: بیوتیت: Bio، تورمالین: Tou، کوارتز: Qtz، پلاژیوکلاز: Plg، کلریت: Chl. ۹۲

شکل ۶-۳- نمودارهای حاصله از داده‌های آنالیزی توده‌های نفوذی و نیمه‌نفوذی کمر بند طرود-چاه شیرین ۹۴

فهرست جداول

- جدول ۱-۴- مختصات مکانی، موقعیت جغرافیایی و نوع نمونه های سنگ که برای تجزیه های شیمیایی انتخاب شده اند (خواجه زاده، ۱۳۸۸) ۵۴
- جدول ۲-۴- مقادیر غلظت اکسید عناصر اصلی (درصد وزنی) برای ۲۲ نمونه سنگ آذرین درونی از منطقه طرود- چاه شیرین (خواجه زاده، ۱۳۸۸) ۵۶
- جدول ۳-۴- مقادیر غلظت عناصر کمیاب (گرم در تن) برای ۲۲ نمونه سنگ آذرین درونی از منطقه طرود- چاه شیرین (خواجه زاده، ۱۳۸۸) ۵۷
- جدول ۴-۴- مقادیر غلظت عناصر خاکی کمیاب (گرم در تن) برای ۲۲ نمونه سنگ آذرین درونی از منطقه طرود- چاه شیرین (خواجه زاده، ۱۳۸۸) ۵۸
- جدول ۱-۶- مقایسه نفوذی های عقیم کمر بند طرود-چاه شیرین با توده های نفوذی عقیم سایر نقاط ایران از نظر مقادیر سرب و نیکل ۹۶
- جدول ۲-۶- مقایسه نفوذی های عقیم کمر بند طرود-چاه شیرین با توده های نفوذی عقیم سایر نقاط ایران و جهان از نظر مقادیر ایتريوم و منگنز ۹۷
- جدول ۳-۶- مقایسه نفوذی های بارور کمر بند طرود-چاه شیرین با دو توده نفوذی مولد دیگر از نظر مقادیر سرب و نیکل ۹۹
- جدول ۴-۶- مقایسه نفوذی های بارور کمر بند طرود-چاه شیرین با دو توده نفوذی مولد سایر نقاط ایران و جهان از نظر مقادیر ایتريوم و منگنز ۹۹

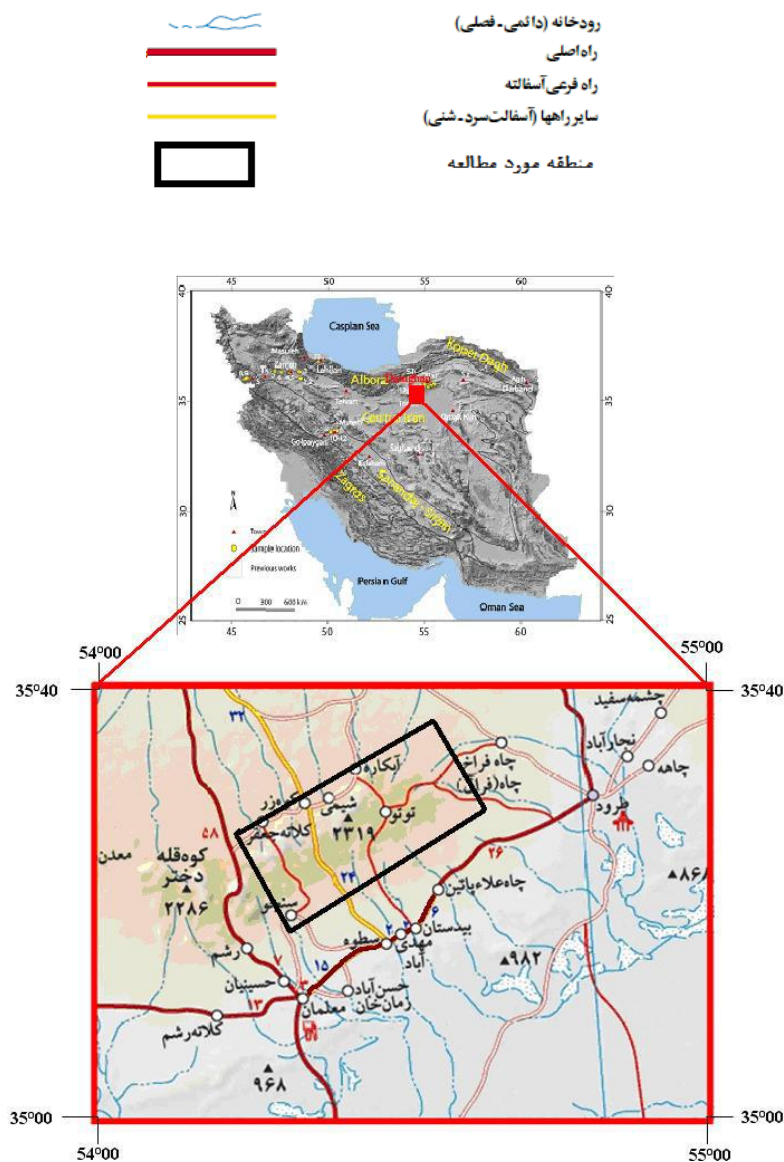
فصل اول: کلیات

نوار طرود-چاه شیرین، به دلیل تنوع سنگ‌شناسی و کانی‌زائی‌های متعدد فلزات پایه و گرانبها از نظر زمین‌شناسی و معدنی در ایران شناخته شده‌است. فعالیت‌های ماگمایی و تزریق توده‌های نفوذی در همراهی با فرایندهای زمین‌شناختی دیگر در تشکیل مواد معدنی در ناحیه طرود-چاه‌شیرین تاثیرگذار بوده‌است. مطالعه ایزوتوپ‌های پایدار و تجزیه شیمیایی میانبارهای سیال بر روی کانه‌های معدنی و کانی‌های همراه، بررسی ویژگی‌های سنگ‌شناسی و ژئوشیمیایی توده‌های نفوذی، می‌تواند پاسخ مسئله را روشن نماید. در تحقیق حاضر، به دلیل محدودیت‌های مالی و زمانی و عدم دسترسی به تکنیک‌های آزمایشگاهی پیشرفته از قبیل ژئوشیمی ایزوتوپ‌های پایدار و ناپایدار، ریزکوالکترونی (EPMA) و طیف‌سجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی - لیزر سایی (LA-ICPMS)، تنها از معیارهای زمین-شناسی، سنگ‌شناسی و بررسی‌های ژئوشیمی عناصر اصلی، کمیاب و خاکی کمیاب برای تفکیک توده‌های نفوذی در محور طرود-چاه‌شیرین استفاده شده است. دستیابی به چنین اطلاعاتی، در انتخاب مناطق مستعد برای پی‌جویی و اکتشافات ناحیه‌ای مواد معدنی و نیز در اکتشاف تفصیلی مواد معدنی (حفریات اکتشافی و ...) بسیار مفید خواهد بود.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی منطقه

منطقه مورد مطالعه در حدود ۱۲۰ کیلومتری جنوب شهرستان دامغان واقع است. این منطقه بین طول‌های جغرافیایی ۳۰' ۵۴° تا ۱۵' ۳۵° شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۰' ۳۵° تا ۳۰' ۳۵° شمالی قرار دارد و دارای وسعت تقریبی ۱۲۰۰ کیلومترمربع می‌باشد. در جنوب این منطقه، کویر بزرگ یا کویر نمک و در شمال آن مناطق کویری کوچکتری به اسامی کویر حاج علی‌قلی و کویر چاه‌جم قرار دارند. راه‌های اصلی دسترسی به منطقه، جاده‌های آسفالت‌ه دامغان - معلمان (۱۲۰ کیلومتر)، سمنان - معلمان (۱۲۴ کیلومتر) و شاهرود - طرود - معلمان (۱۸۰ کیلومتر) می‌باشند. برای دسترسی به توده‌های نفوذی واقع در قسمت غربی منطقه، از معلمان به سمت شمال و روستای کوچک سوسنوار و

معدنکاری‌های شدادی جاده خاکی را ادامه داد. دسترسی به قسمت‌های مرکزی منطقه مورد مطالعه از طریق پیاده‌روی امکان‌پذیر است. جاده خاکی طرود - کوه‌ز امکان دسترسی به بخش‌های شمالی منطقه مورد مطالعه را ممکن می‌سازد. همچنین از طریق جاده‌های خاکی گندی - چالو، مهدی‌آباد، ده میرزا - چاه حافظ دسترسی به بخش میانی منطقه مورد مطالعه امکان‌پذیر است (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱ موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی کمر بند طرود چاه شیرین (برگرفته از اطلس راه‌های کشور) .

مهمترین مرکز مسکونی منطقه مورد مطالعه، روستای رشم است که در بخش غربی منطقه قرار

گرفته و در جنوب آن روستاهای حسینان و معلمان از دیگر مراکز مهم جمعیتی منطقه هستند و آبادی‌های کوچک نظیر سطوه، مهدی‌آباد، سینگ، حسین‌آباد، بیدستان، سوسنوار با تمرکز جمعیتی کمتر، از دیگر مراکز جمعیتی منطقه هستند. درکوهپایه‌های شمالی منطقه روستاهای شیمی، باغو و کوه‌زر قرار گرفته‌اند. دهستان طرود در فاصله ۵۰ کیلومتری شرق معلمان، از دیگر مراکز مهم جمعیتی منطقه به‌شمار می‌آید. شرایط سخت زندگی، آب و هوای گرم کویری، طوفان‌های ماسه‌ای، کمبود بارش، اندک بودن زمین‌های قابل کشت و زرع باعث شده است که این ناحیه از نظر تمرکز جمعیت بسیار پایین باشد.

۱-۳- آب و هوا

بطور کلی منطقه دارای شرایط آب و هوایی گرم و خشک کویری می‌باشد. در بیشتر اوقات سال، جریان‌های هوای گرم و خشک کویری در منطقه سبب افزایش درجه حرارت هوا شده که در گرمترین روزهای سال به بیش از ۴۵ درجه سانتی‌گراد نیز می‌رسد. میزان بارندگی بسیار کم و در حدود (۱۵۰ میلیمتر) در سال است (آمار استان سمنان، ۱۳۸۴).

قرار گرفتن منطقه در حاشیه شمالی کویر بزرگ ایران و نیز وجود کوه‌های نسبتاً مرتفع، موجب تغییرات فشار، جابجایی هوا و وزش باد در منطقه می‌شوند. علاوه بر بادهای محلی، بادهای غربی و کویری نیز بر آب و هوای این منطقه تاثیر می‌گذارند. بادهای غربی مرطوب و باران‌زا هستند و بادهای کویری موجب افزایش دما و خشکی هوا می‌شوند. رودها معمولاً خشک و بی آب هستند و چند چشمه و چاه، تنها منابع تامین کننده آب منطقه می‌باشند. وجود همین چاه‌ها و چشمه‌ها موجب تجمع جمعیت اندک و ایجاد مراکز جمعیتی پراکنده در منطقه شده است. با این حال، در ارتفاعات شرایط آب و هوایی تا حدودی متفاوت است و معمولاً در فصل زمستان با بارش‌هایی از باران و برف مواجه می‌باشند که این وضعیت سبب برودت هوا در فصل زمستان تا چند درجه زیر صفر می‌شود. از طرف دیگر تابستان‌های نسبتاً معتدلی را برای این مناطق باعث می‌شود.

۴-۱- زمین ریخت شناسی

نمایان‌ترین ویژگی مرفولوژی منطقه اختلاف ارتفاع یا نا همواری مشهود آن است، که به بیش از ۱۹۰۰ متر بالغ می‌شود. در جنوب منطقه، کویر نمک با حدود ۴۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا از پست‌ترین نقاط فلات داخلی ایران و منطقه محسوب می‌شود، مرتفع‌ترین نقاط، قله‌های کوه دارستان (۲۳۱۱ متر)، کوه بابا احمد (۲۳۰۷ متر) و کوه پوسیده (۱۹۷۰ متر) نیز در نیمه شمالی منطقه مورد مطالعه دیده می‌شوند. ناحیه طرود - چاه‌شیرین به صورت بالآآمدگی به گسل‌های طرود در جنوب و انجیلو در شمال محدود می‌شود. این گسل‌ها ناحیه طرود - چاه‌شیرین را از دشت‌های کم ارتفاع و پست شمالی و جنوبی جدا می‌سازند (شکل ۱-۲). فعالیت‌های زمین‌ساختی و جنس سنگ‌ها از عامل‌های اصلی کنترل‌کننده‌ی مرفولوژی کنونی منطقه است. با توجه به اینکه سنگ‌های ناحیه طرود - چاه‌شیرین اغلب از انواع سنگ‌های آتشفشانی (توف و گدازه) و نفوذی با ترکیب فلسیک تا حدواسط تشکیل شده است، و مقاومت این سنگ‌ها در برابر هوازدگی و فرسایش متغیر است، این مسئله سبب ایجاد اختلاف ارتفاع در ناحیه شده است. از طرف دیگر، سنگ‌های ناحیه طرود - چاه‌شیرین (سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی) در برابر هوازدگی و فرسایش بسیار مقاوم‌تر از سنگ‌های دشت‌های کم‌ارتفاع و پست شمالی و جنوبی (سازندهای مارنی، ماسه‌سنگی و نمکی میوسن) است، و این مسئله در کنار فعالیت‌های زمین‌ساختی در ایجاد اختلاف ارتفاع فاحش میان رشته‌کوه طرود - چاه‌شیرین با دشت‌های همجوار موثر بوده است. رودخانه یا آبراهه‌های منطقه که عمدتاً شمالی - جنوبی هستند در بخش‌های مرکزی و غربی منطقه یافت می‌شوند و از نوع فصلی هستند. در ناحیه مورد نظر به دلیل تنوع واحدهای سنگی و مقاومت غیریکسان سنگ‌ها در برابر پدیده‌های تکتونیکی و فرسایشی، دره‌هایی به شکل‌های متفاوت اما بیشتر به صورت V شکل ایجاد شده است. امتداد دره‌ها از روند عمومی ساختارهای زمین‌شناسی و به‌ویژه شکستگی‌ها تاثیر می‌پذیرند. در محور طرود-چاه‌شیرین روند عمومی و کلی ساختارهای بزرگ زمین‌شناسی از قبیل گسل‌های طرود و انجیلو، تاقدیس‌ها و ناودیس‌ها شمال‌شرق شرق - جنوب‌غرب غرب است، ولی امتداد حوضه‌های آبریز منطقه عمود بر روند ساختارهای زمین‌شناسی بزرگ توسعه

پیدا کرده است.



شکل ۱-۲- تصویر هوایی از ناحیه طرود - چاه شیرین که نقش عامل‌های زمین‌ساختی و سنگ‌شناسی را در ایجاد زمین‌ریخت‌کنونی منطقه نشان می‌دهد (برگرفته از گوگل ارث).

۱-۵- پژوهش‌های پیشین

در ارتباط نزدیک با موضوع این تحقیق در زیرپهنه طرود-چاه شیرین، کارهای تحقیقاتی گوناگونی در ایران و سایر نقاط جهان انجام شده است. مجموعه ماگمایی - رسوبی طرود - چاه شیرین، به جهت وجود رخدادهای معدنی و معادن متروکه متعدد بویژه رگه‌های فلزات پایه و گرانبها با منشأ گرمایی از جمله کانسارهای گندی (Au-Pb-Zn)، ابوالحسنی (Pb-Zn)، چشمه‌حافظ (Pb-Zn)، چاه‌موسی (Cu)، دارستان (Cu-Au)، کوه‌زر (Cu-Au) و موارد متعدد دیگر و نیز به لحاظ گسترش سنگ‌های آذرین ترسیر از نظر زمین‌شناسی و معدنی مورد توجه ویژه بوده‌است، و تاکنون مطالعات زمین‌شناسی و اکتشافی بی‌شماری در آن صورت گرفته‌است، که در ذیل به پاره‌ای از آنها، که با موضوع تحقیق حاضر هم ارتباط دارند، اشاره می‌گردد.

۱-۵-۱ - مطالعات انجام شده بر روی نوار طرود - چاه شیرین

- هلم‌هاکر (۱۸۹۸) و هن‌مک (۱۸۹۹)، اولین محققانی هستند که با هدف پی جویی طلا زمین شناسی منطقه را مورد مطالعه قرار داده‌اند.

- دیچل (۱۹۴۴)، درباره ذخایر طلا، عیار و خاستگاه آن مطالعاتی انجام داده است. وی به این نتیجه رسید که پیدایش طلا با رگه‌های سیلیسی موجود در منطقه و توده‌های گرانیتی شرق کوه‌زر مرتبط است.

- هوبر و اشتوکلین (۱۹۵۶) و هوبر (۱۹۵۷)، زمین شناسی مقدماتی منطقه طرود - معلمان را انجام داده‌اند که بعداً توسط علوی (۱۹۷۰) مورد تجدید نظر قرار گرفت. هوبر و اشتوکلین (۱۹۵۶) تمام بخش جنوبی رشته کوه‌های طرود - چاه شیرین را با دیدی دقیق مطالعه کرده و نقشه ۱:۲۵۰۰۰ آن را تهیه کرده‌اند

- تقی زاده (۱۹۶۸)، درباره مس و فیروزه در شمال رشته کوه طرود تحقیقاتی به عمل آورده است.
- موحد اول (۱۳۴۷)، درباره معدن فیروزه باغو در منطقه تحقیقاتی انجام داده است. ایشان احتمال وجود مس پورفیری را در این ناحیه یادآور شده است.

- علوی و همکاران (۱۹۷۸)، نقشه زمین‌شناسی چهارگوش ۱/۲۵۰۰۰ طرود را تهیه کرده، و رخنمون فیلیت، متاولکانیک، مرمر و دولومیت کریستالیزه (سیلورین - دونین)، سازند شیلی - ماسه - سنگی که دگرگونی در حد رخساره شیست سبز پیدا کرده‌است (ژوراسیک)، تناوبی از سنگ آهک و شیل (کرتاسه)، جریان‌های گدازه‌ای با ترکیب آندزیت و برش‌های آتشفشانی (Ev1)، برش آتشفشانی با ترکیب داسیتی (Ev2) برش توفی و برش گدازه‌ای (Ev3)، برش توفی و سنگ‌های آواری (Ev4) به سن ائوسن - اولیگوسن و توده‌های نفوذی با ترکیب گرانیت و گرانودیوریت (Gd)، دیوریت (d) و سنگ‌های بازی به سن اولیگوسن - میوسن، و نیز اثرات معدنی مس، سرب و فیروزه را در نوار طرود - چاه شیرین ترسیم نموده‌اند.

- پورحسینی (۱۳۶۲)، فعالیت‌های ماگمایی منطقه را با همگرایی عربستان - ایران مرتبط دانسته و

از نوع پس از برخورد می‌داند. وی توده‌های نفوذی را با فاز ماگمایی ائوسن پسین - الیگوسن مرتبط می‌داند.

- جعفریان و ولی زاده (۱۳۶۸)، سنگ‌های آتشفشانی منطقه را عمدتاً آندزیتی و توده‌های نفوذی را از نوع گرانیت های I معرفی کرده‌اند و جایگاه فعالیت‌های ماگمایی منطقه را کمان آتشفشانی قاره‌ای می‌دانند.

- خادمی (۱۳۶۸)، ویژگی‌های ساختاری و وضعیت زمین‌ساختی منطقه طرود را مورد بررسی قرار داده و و تکوین ژئودینامیک منطقه طرود را یک سیمای ساختاری اصلی، یعنی گسل امتداد لغز طرود با روند شمال شرق - جنوب غرب، عامل اساسی تعیین ویژگی‌های ساختاری این منطقه می‌داند.

- رشید نژاد عمران (۱۳۷۱)، منطقه باغو را از نظر تحولات سنگ‌شناسی و ماگمایی و ارتباط آن با کانی‌سازی طلا مورد بررسی قرار داده است. وی گرانیت‌های کوه‌زر را از نوع I معرفی نموده است.

- سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۹۹۵)، گزارش و نقشه ژئوشیمیایی چهارگوش ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان را تهیه کرده، و در محدوده این ورقه آنومالی‌های ژئوشیمیایی عناصر مس، سرب، روی، طلا، نقره، باریم، مولیبدن، بیسموت، آرسنیک، آنتیموان، آهن، منگنز و ... گزارش کرده‌اند.

- ذوالفقاری (۱۳۷۷)، به بررسی پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در محدوده معلمان - دامغان پرداخته است. بر پایه تحقیق ایشان، سنگ‌های آتشفشانی این منطقه از نوع آکالان و کالکوالکالان بیشتر با گرایش پتاسیک است.

- کهنسال (۱۳۷۷)، توده‌های نفوذی نیمه عمیق در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان را مورد بررسی قرار داده است و سنگ‌های نفوذی این منطقه را به سه گروه: ۱- سنگ‌های اسیدی (میکروگرانیت تا میکروگرانودیوریت)، ۲- سنگ‌های حدواسط (کوارتز مونزودیوریت تا میکروکوارتزیدیوریت) و ۳- سنگ‌های بازیک (دولریت و میکروگابرو) طبقه‌بندی نموده است. این محقق بر پایه نمودارهای ژئوشیمیایی، محیط تکتونیکی تشکیل سنگ‌های نفوذی منطقه را از نوع پس از برخورد دانسته است.

- فودازی (۱۳۷۸)، در رساله کارشناسی ارشد خود پترولوژی سنگ‌های ماگمایی منطقه معبد (شمال

باختر طرود) را بررسی کرده است.

- مر و همکاران (۱۳۷۹)، کانی‌شناسی، زمین‌شناسی و زمین دماسنجی کانسار طلای رگه‌ای باغو را مورد مطالعه قرار داده‌است.

- شاکری (۱۳۷۹)، در رساله کارشناسی ارشد خود به بررسی ژئوشیمی و ژنز کانسار طلای کوه زر دامغان (باغو) پرداخته، و واحدهای سنگی آذرین منطقه را از نظر زایشی مرتبط با یکدیگر، و کانسار طلای باغو را در زمره کانسارهای مزوترمال تا هیپوترمال رده‌بندی می‌نماید.

- شمعیان (۱۳۸۱)، ضمن مطالعه ژنز کانسارهای طلای گندی و ابوالحسنی (شمال معلمان) سنگ‌های نیمه عمیق را به کمان ماگمایی درون‌قاره‌ای نسبت داده، و معتقد است که این کمان هم زمان با فروانش پوسته اقیانوسی تتیس جوان به زیر پوسته قاره‌ای ایران مرکزی پدید آمده است. وی بالا بودن نسبت LILE/HFSE در سنگ‌های آذرین منطقه را به عنوان یک ویژگی بارز سنگ‌های وابسته به محیط‌های فروانش معرفی نموده است.

- قربانی (۱۳۸۴)، ماگماتیسم منطقه را در جنوب طرود، بازیک‌تر و در شمال آن، اسیدی‌تر می‌داند و در ضمن یک منشاء درون قاره‌ای برای آن قائل است. او معتقد است که ماهیت کالکوالکالن سنگ‌های شمال گسل طرود حاصل اختلاط ماگمای آلکالن مشتق شده از گوشته با ماگمای کالکوالکالن ناشی از ذوب سنگ‌های پوسته است. وی با توجه به ویژگی‌های ژئوشیمیایی، توده‌های گرانیتوئیدی منطقه را از نوع I، متاآلومین تا پرآلومین دانسته و ولکانیسم و پلوتونیسم این منطقه را بر اساس یافته‌های ژئوشیمیایی و صحرایی بیشتر در ارتباط با سیستم‌های کششی منطبق می‌داند.

- اشراقی و جلالی (۱۳۸۵)، نقشه زمین‌شناسی چهارگوش ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان را تهیه کرده، و شیست خاکستری تا خاکستری تیره (Pz^s)، دولومیت و سنگ‌آهک دگرگون شده ($Pz^{l,d}$)، تناوبی از شیل و سنگ آهک ($K^{l, sh}$)، سنگ‌های داسیتی و داسیت-آندزیتی دگرسان‌شده، سنگ‌های گدازه‌ای زیردریایی و آتشفشانی‌های تخریبی با ترکیب حدواسط تا بازیک (آندزیت، آندزیت-داسیت، تراکی-

آندزیت و کمی بازالت)، تراکی آندزیت، کمی داسیت-آندزیت همراه با افق‌هایی از ماسه‌سنگ و سنگ‌های آتشفشانی تخریبی، و بازالت، آندزیت-بازالت، بازالت اسپلیتی به سن ائوسن، سنگ‌های نفوذی با ترکیب میکرو آلکالی گرانیات، کوارتز دیوریت، کوارتز مونزونیت، مونزونیت، مونزوسینیت، دایک‌های بازیک (آلکالی گابرو)، دایک‌های داسیتی - ریوداسیتی، و دایک‌های عمدتاً متوسط (تراکی آندزیت، آندزیت، بازالت و کوارتز لاتیت) به سن ائوسن - اولیگوسن را نقشه‌برداری کرده‌اند.

- خواجه زاده (۱۳۸۸)، پترولوژی و ژئوشیمی توده‌های آذرین نفوذی شمال معلمان را مورد مطالعه و بررسی قرار داده و منشا ماگمایی نوع I را برای این توده‌ها پیش‌بینی کرده‌است.

- تقی‌پور، قربانی و درانی (۱۳۹۰)، زمین‌شناسی، پتروگرافی و زمین‌شیمی سنگ‌های آذرین مرتبط با کانسار اسکارن آهن چالو را مورد بررسی قرار داده‌اند.

- مهرابی و قاسمی سیانی (۲۰۱۲)، کانی‌سازی فلزات پایه و گرانبها در منطقه چشمه‌حافظ را مطالعه کرده، و تیپ کانی‌سازی را اپی‌ترمال با درجه سولفیداسیون حدواسط معرفی کرده‌اند.

- تقی‌پور و مکی‌زاده (۲۰۱۴)، منشاء تورمالین و فیروزه را در سنگ‌های دگرسار یافته کوه‌زر بررسی کردند، و پیدایش آنها را سیالات گرمایی مرتبط با توده‌های نفوذی می‌دانند.

ناهیدی‌فر (۱۳۹۳)، در غالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس دیان (جنوب دامغان) را مورد پژوهش قرار داده‌است.

مصدق (۱۳۹۴)، کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و الگوی پیدایش کانسار منگنز هلالان، منطقه معلمان، جنوب دامغان را در غالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود مورد بررسی قرار داده‌است.

- شیپی و مجیدی (۱۳۹۵)، کاربرد روش ناهمسان‌گردی قابلیت پذیرفتاری مغناطیسی جهت ارزیابی درجه و نوع دگرسانی در توده گرانی‌توئیدی چالو را مورد مطالعه قرار داده‌اند.

موارد فوق‌الذکر شماری از تحقیقاتی هستند که بر روی قسمت‌های مختلف نوار طرود-چاه‌شیرین انجام شده و غالباً با نگرش زمین‌شناسی و اکتشافی می‌باشند. لازم به‌نظر آمد تا در ادامه به تحقیقاتی

که در ایران و نیز سایر نقاط جهان باهدف تفکیک توده‌های نفوذی بارور از عقیم صورت گرفته است نیز اشاره‌ای بشود.

۱-۵-۲- مطالعات صورت گرفته مرتبط با موضوع این تحقیق در ایران

- زراسوندی و لیاقت (۱۳۸۴)، تحقیقی در قالب تفکیک توده‌های پورفیری عقیم و کانه دار در جنوب چهارگوش خضرآباد یزد، با استفاده از ژئوشیمی عناصر نادر خاکی (REE) انجام داده‌اند.
- اسدی، مر و زراسوندی (۲۰۱۳)، به تفکیک ذخایر مس پورفیری عقیم و مولد واقع در جنوب‌شرق کمربند آتشفشانی- نفوذی ارومیه - دختر (کرمان)، بر اساس ویژگی‌های ژئوشیمیایی آنها پرداخته‌اند.
- باقریان و همکاران (۲۰۰۸)، در یک کار مطالعاتی به بررسی توان کانی‌سازی توده گرانیتهی ملاطالب واقع در شمال غرب الیگودرز با استفاده از ویژگی‌های ژئوشیمیایی پرداخته‌اند.
- بهاجروی و تاکی (۲۰۱۶)، توان کانه‌زایی توده‌های نفوذی اطراف والیس واقع در شهر تارم را بر مبنای خصوصیات ژئوشیمیایی آنها مورد ارزیابی قرار داده‌اند.
- جمالی (۲۰۱۶)، رفتار عناصر نادر خاکی، زیرکنیوم و هافنیوم را در زون فرورانیش کمربند سنوزوئیک ایران مورد مطالعه قرار داده و کاربرد این عناصر در تشخیص مکان‌های جایگیری ماگماهای مولد را توضیح داده است.
- نیرومند و همکاران (۲۰۱۷)، بر روی کانسار طلای وابسته به توده نفوذی در منطقه باغو مطالعات ایزوتوپی انجام داده‌اند.
- مظهری و همکاران (۲۰۱۸)، به بررسی خصوصیات ژئوشیمیایی و سن‌سنجی توده‌های گرانیتهی مرتبط با کانی‌سازی آهن در مقابل توده‌های غیر مرتبط در منطقه معدنی سنگان، شمال‌شرق ایران پرداخته‌اند.
- روح‌بخش، کریم‌پور و شفارودی (۲۰۱۸)، زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و پترولوژی توده-های نفوذی در کانسار طلا-مس کوه‌زر را مورد بررسی قرار داده‌اند.

۱-۵-۳- مطالعات صورت گرفته مرتبط با موضوع این تحقیق در جهان

در این قسمت به برخی از مطالعاتی که در ارتباط با موضوع پژوهش حاضر در جهان انجام شده است، اشاره می‌شود:

- میسون (۱۹۷۸)، از روی تغییرات موجود در ترکیب شیمیایی کانی‌های فرومنیزین، توده‌های مولد ذخایر مس پورفیری را از توده‌های نابارور تفکیک نموده‌است.

- بالدوین و پیرس (۱۹۸۲)، به تشخیص و تفکیک نفوذی‌های پورفیری عقیم و بارور واقع در رشته-کوه‌های شیلی پرداخته‌اند.

- هنری و همکاران (۱۹۸۵)، یک کار مطالعاتی با عنوان تفاوت ترکیب شیمیایی کانی‌های موجود در توده‌های نفوذی عقیم و مولد ذخایر مس پورفیری آمریکای شمالی انجام داده‌اند.

- هنری و همکاران (۱۹۸۸)، توده‌های نفوذی نابارور و مولد را در منطقه‌ی کلیماکس کلرادو، برپایه‌ی تغییرات شیمیایی کانی‌های آنها مورد مطالعه و ارزیابی قرار داده‌اند.

- کاسکو و همکاران (۲۰۰۲)، ویژگی‌های ژئوشیمیایی گرانیتوئیدهای بارور را در مقابل انواع نابارور، واقع در ترکیه‌ی مرکزی براساس محتوای آهن موجود مورد ارزیابی قرار داده‌اند.

- مکونن و همکاران (۲۰۰۶)، توده‌های نفوذی کمر بند نیکل کتالاتی فنلاند را مورد مطالعه قرار داده و توده‌های بارور را از انواع عقیم براساس خصوصیات ژئوشیمیایی آنها تفکیک نموده‌اند.

- فلیپ و همکاران (۲۰۱۶)، نقش منشا ماگما، شرایط اکسیداسیون و تبلور تفریقی را در تشخیص پتانسیل فلززایی گرانیت‌های شرق استرالیا مورد بررسی قرار داده‌اند.

- بیسیگ و همکاران (۲۰۱۷)، در کمر بند متالوژنی Cu-Au کاوکا، واقع در کشور کلمبیا مطالعاتی را بر روی نسبت Sr/Y در توده‌های گرانودیوریتی و ارتباط این نسبت‌ها با کانی‌سازی پورفیری منطقه انجام داده‌اند.

- ژانگ و همکاران (۲۰۱۷)، دو توده گرانیتوئیدی متفاوت را در منطقه معدنی مولیبدن پورفیری عظیم سویونحه واقع در شمال غرب چین، از نظر ویژگی‌های ژئوشیمیایی مورد ارزیابی قرار داده و میزان

ارتباط ژنتیکی این دو توده با کانی‌سازی موجود در منطقه را تخمین زده‌اند.

- چنگ و همکاران (۲۰۱۸)، در منطقه معدنی کویزلند واقع در استرالیا پژوهشی بر روی میزان بارور بودن فلزی سیستم‌های ماگمایی و ارتباط بین توده‌های نفوذی و آتشفشانی انجام داده‌اند.

۱-۶- اهداف و طرح مسئله

بررسی‌های ژئوشیمیایی توده‌های نفوذی بارور (Productive) و نابارور (Barren) و تشخیص و تفکیک آنها بر مبنای مشخصه‌های ژئوشیمیایی همواره حائز اهمیت بوده است. این امر نیازمند دقت بالا بوده و با استفاده ترکیبی از روش‌های زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی میسر می‌شود. در تفکیک توده‌های نفوذی بارور از انواع نابارور در کنار استفاده‌ی ترکیبی از مطالعات زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی، مطالعات ژئوفیزیکی و آماری نیز مورد نیاز می‌باشد (Meinert, 1990).

با توجه به وجود ذخایر متعدد فلزات پایه و گرانبها در این منطقه، و با این فرض که برخی از این نفوذی‌ها در تشکیل مواد معدنی در نوار طرود - چاه‌شیرین نقش داشته‌اند، لذا تشخیص و تفکیک نفوذی‌های بارور از انواع نابارور حائز اهمیت است. دستیابی به چنین اطلاعاتی، در انتخاب مناطق مستعد برای پی‌جویی و اکتشافات ناحیه‌ای مواد معدنی و نیز در اکتشاف تفصیلی مواد معدنی (حفریات اکتشافی و ...) بسیار مفید خواهد بود. لازم به ذکر است که بیشترین تمرکز و تجمع نفوذی‌های آذرین محور طرود - چاه‌شیرین، در محدوده‌ی ورقه‌ی ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان رخنمون دارند (علوی و همکاران، ۱۹۷۸).

فعالیت‌های ماگمایی و تزریق توده‌های نفوذی در همراهی با فرایندهای زمین‌شناختی دیگر در تشکیل مواد معدنی در ناحیه طرود - چاه‌شیرین تاثیرگذار بوده‌است. مطالعه ایزوتوپ‌های پایدار بر روی کانه‌های معدنی و کانی‌های همراه و نیز تشخیص توده‌های بارور از انواع نابارور بر پایه معیارهای زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی می‌تواند پاسخ مسئله را روشن نماید. در تحقیق حاضر، به‌دلیل محدودیت‌های مالی و زمانی و عدم دسترسی به تکنیک‌های آزمایشگاهی پیشرفته از قبیل ژئوشیمی

ایزوتوپ‌های پایدار و ناپایدار، ریزکوالکترونی (EPMA) و طیف‌سجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی - لیزر سایی (LA-ICPMS)، تنها از معیارهای زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی و بررسی‌های ژئوشیمی عناصر اصلی، کمیاب و خاکی کمیاب استفاده شده است.

۷-۱- روش مطالعه

۱-۷-۱- جمع آوری اطلاعات زمین‌شناسی و معدنی موجود

در این مرحله اطلاعات منتشرشده قبلی موجود اعم از گزارش‌های تحقیقاتی، پایان نامه‌ها، نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای مختلف جمع آوری و مورد بررسی قرار گرفت.

۱-۷-۲- عملیات صحرایی

برداشت‌های زمین‌شناسی و نمونه‌برداری در طی شش مرحله عملیات صحرایی انجام گرفته است، و از سنگ‌های مختلف متناسب با اهداف این تحقیق نمونه برداری صورت گرفته است. در این مرحله، از محل‌هایی که براساس مطالعات دفتری تعیین گردیده‌است، بازدید بعمل آمده، و در هر مکان در صورت وجود توده و دایک‌های آذرین نفوذی و نیمه‌نفوذی، برحسب تغییرات سنگ‌شناسی (از فلسیک تا مافیک) نمونه‌برداری انجام گرفته است. در هر ایستگاه، نمونه‌برداری برای اهداف زیر انجام شده است:

- نمونه‌برداری برای مطالعات سنگ‌نگاری براساس تهیه مقاطع نازک (در صورت نیاز مقاطع نازک- صیقلی). برای مطالعات سنگ‌نگاری تعداد ۱۸ نمونه برداشت و مطالعه شده است.

- نمونه‌برداری برای مطالعات پترولوژی و ژئوشیمیایی سنگ‌های آذرین نفوذی. برای این منظور، در هر مکان از ناحیه طرود - چاه‌شیرین بسته به تغییرات سنگ‌شناسی تعدادی نمونه سنگ برای انجام تجزیه‌های ژئوشیمیایی برداشت شد. در کل تعداد ۱۸ نمونه سنگ در راستای پژوهش حاضر نمونه‌گیری شده است. در هر ایستگاه، هر نمونه سنگ متشکل از ۵۰ قطعه کوچک سنگ به ابعاد تقریبی ۲ در ۳ سانتی‌متر می‌باشد، که این قطعات در محدوده دایره‌ای به شعاع ۲۵ متر و به مرکزیت مختصات جغرافیایی ایستگاه نمونه‌برداری انتخاب شده‌اند. لازم به ذکر است که این قطعات دارای سنگ‌شناسی

یکسان، غیرهوازده، دگرسان نشده و فاقد رگه و رگچه هستند.

بر پایه بررسی و مطالعه گزارشات، مقالات و نقشه‌های زمین‌شناسی و معدنی پیشین در محور طرود – چاه شیرین، محدوده‌های کوه‌زر، چاه موسی، قله‌چیلی، چالو و گندی برای اهداف پژوهش انتخاب شدند. از این مکان‌ها در مجموع تعداد ۱۸ نمونه سنگ برای تهیه‌ی مقاطع نازک، و تعداد ۲۰ نمونه برای تجزیه ژئوشیمیایی برداشت گردیده است.

۱-۷-۳- مطالعات آزمایشگاهی

تهیه و مطالعه مقاطع نازک میکروسکوپی

در این پژوهش تعداد ۱۸ مقطع نازک برای انجام مطالعات سنگ‌نگاری تهیه شده است، که نتایج این مطالعات به تفصیل در فصل سوم آورده شده است.

مطالعات آزمایشگاهی شیمیایی

تعداد ۱۸ نمونه سنگ‌شیمیایی به روش ذوب قلیایی و با استفاده از دستگاه طیف‌سنجی پلاسمای جفت شده القایی-نشر نوری (ICP-OES) برای ۱۰ اکسید عناصر اصلی (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) تجزیه شده‌اند. در ضمن، این نمونه‌ها به روش انحلال در مخلوط چهار اسید و با استفاده از ترکیب دستگاه‌های ICP-OES و طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) برای عناصر کمیاب و خاکی کمیاب تجزیه شده است (آزمایشگاه ژئوشیمی ACME کانادا). لازم به ذکر است، که در این تحقیق از داده‌های ژئوشیمیایی محققین پیشین بر روی توده‌های نفوذی نیز با ذکر مرجع استفاده شده است.

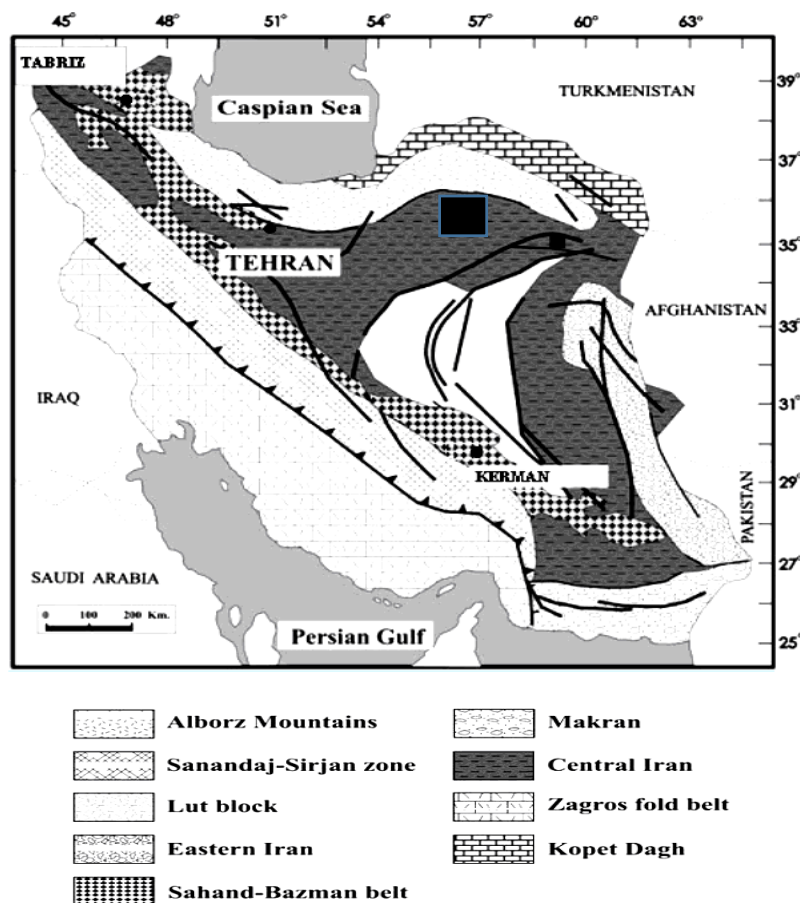
فصل دوم: زمین شناسی ناحیه ای

منطقه طرود-چاه شیرین در بخش شمالی زون ساختاری ایران مرکزی قرار گرفته است (شکل ۲-۱)، و بخشی از ورقه‌های زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ طرود و ۱/۱۰۰۰۰۰۰ معلمان می‌باشد. پهنه ایران مرکزی یکی از بزرگترین و پیچیده‌ترین پهنه‌های زمین‌ساختی ایران است که در آن تمام دوره‌های زمین‌شناسی با فرایندهای مختلف کوهزایی، دگرگونی و ماگماتیسم رخ داده است. بیشتر مولفین معتقد هستند که بزرگترین فعالیت ماگمایی در ایران مرکزی در زمان ائوسن اتفاق افتاده است (اشتوکلین، ۱۹۷۴؛ فرهودی، ۱۹۷۸؛ فورستر، ۱۹۷۸ و شهاب‌پور، ۲۰۰۵). براساس نظر اشتوکلین (۱۹۶۸)، این پهنه همانند مثلی است که از شمال به رشته کوه‌های البرز و از غرب و جنوب غرب به سنندج-سیرجان، و از شرق به بلوک لوت منتهی می‌شود. آقابات (۱۳۸۳)، بر این عقیده است که پهنه‌های ایران مرکزی و سنندج-سیرجان بخشی از حوضه مرکزی ایران هستند.

در ناحیه طرود-چاه شیرین سنگ‌های آذرین بیرونی و درونی و سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی به سن ائوسن میانی تا الیگومیوسن رخنمون دارند و طیف ترکیبی وسیعی را به خود اختصاص می‌دهند. سنگ‌های قدیمی‌تر از ائوسن به سن کرتاسه، ژوراسیک و تریاس بطور محدود در این ناحیه مشاهده می‌شوند. سنگ‌های جوانتر از الیگومیوسن به صورت رسوبات کنگلومرایی پلیوسن و رسوبات آبرفتی عهد حاضر در منطقه رخنمون دارند. سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی این ناحیه هم‌ارز سازند کرج به سن ائوسن هستند. در ناحیه طرود-چاه شیرین سنگ‌های ائوسن میزبان توده‌ها و دایک‌های نفوذی عمیق و نیمه عمیق می‌باشند. سنگ‌های آذرین مورد مطالعه در این تحقیق ماهیت نفوذی و نیمه‌نفوذی داشته است، و ترکیب آنها از گابرو تا گرانیت متغیر است و به شکل‌های توده، استوک، آپوفیز و دایک در سری آتشفشانی_رسوبی ائوسن رخنمون دارند، و نمونه‌هایی از آنها در مناطق کوه‌زر-باغو، گندی-چالو، چشمه‌حافظ-قله‌چیلی، چاه‌موسی و مناطق دیگر مشاهده می‌شود (قربانی ۱۳۸۴).

از نظر زمین‌ساختی، ناحیه طرود-چاه شیرین تحت تاثیر گسل‌های بزرگ با روند عمومی شمال شرق-جنوب غرب تا شرقی غربی قرار گرفته و خرد شده است. عملکرد گسل‌ها، همراه با نفوذ سنگ‌های آذرین

و سیالات گرمایی به ایجاد مناطق دگرسانی پروپیلیتیک، آرژیلیک، سیلیسی، کلریتی و اکسیدآهنی منجر شده است (خادمی ۱۳۸۶). در این ناحیه دگرسانی‌ها با کانه‌زایی فلزات پایه (مس، سرب، و روی) و گرانبها (طلا و نقره)، و سنگ‌های قیمتی و نیمه‌قیمتی (فیروزه، کریزوکولا، تورمالین، و آمیست) همراه است. کانسارهای مس چاه‌موسی، طلا-مس کوه‌زر، مس-سرب-روی و طلای چشمه‌حافظ، سرب-روی-طلا-مس گندی و ابوالحسنی، سرب سوسن‌وار، مس-طلای دارستان، سرب-روی قله‌انارو، مس پوسیده، مس کلوت، مس قله‌چیلی، و ... نمونه‌های بارزی از کانه‌زایی در ناحیه طرود-چاه‌شیرین هستند.

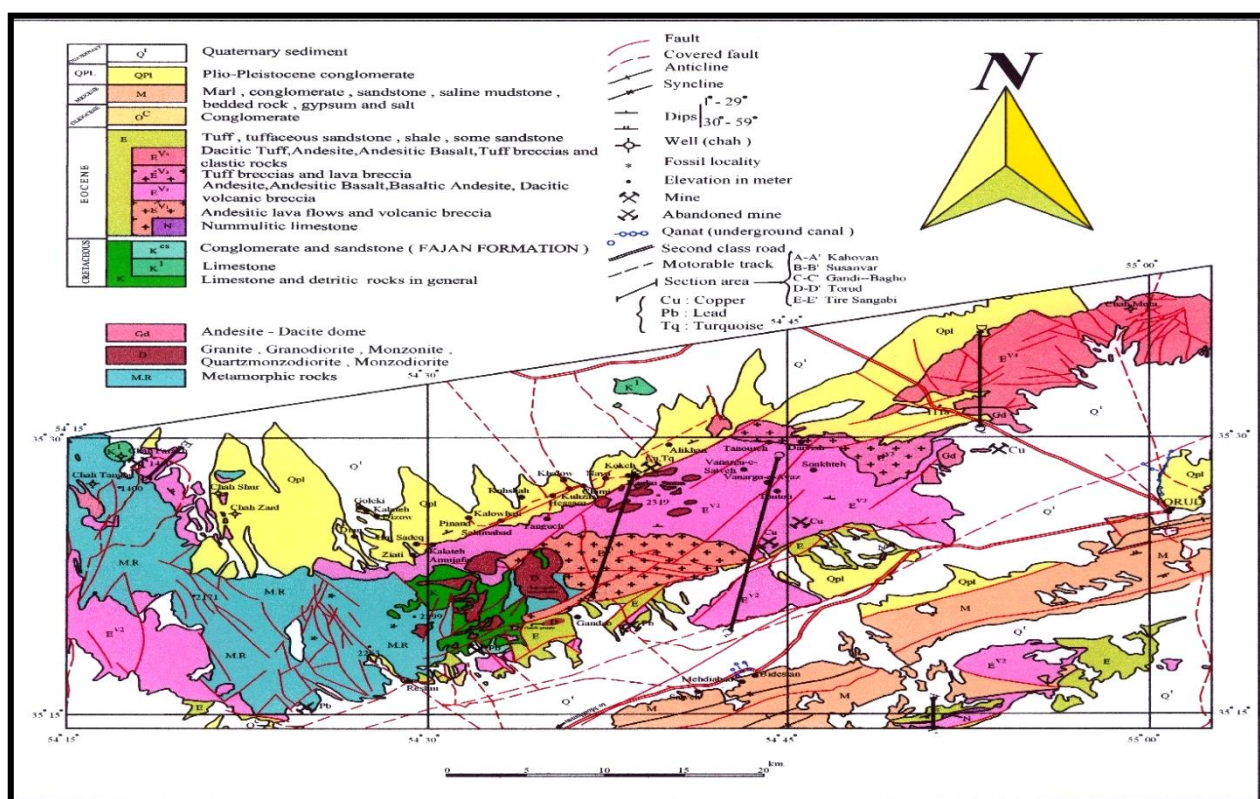


منطقه مورد مطالعه

شکل ۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در نقشه پهنه‌های زمین‌ساختی ایران (اشتوکلین، ۱۹۶۸)

۲-۲- واحدهای سنگ-چینه‌ای کمر بند طرود-چاه شیرین

برای توصیف واحدهای سنگ-چینه‌ای ناحیه طرود-چاه شیرین از شرح نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ طرود (قربانی، ۱۳۸۴)، نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵)، و نقشه زمین‌شناسی که توسط قربانی (۱۳۸۴) و بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ طرود برای این ناحیه بازسازی شده، استفاده گردیده است (شکل ۲-۲). سنگ‌هایی که در ناحیه طرود-چاه شیرین بروزند دارند، از قدیم به جدید عبارتند از:



شکل ۲-۲- نقشه زمین‌شناسی ناحیه طرود-چاه شیرین (قربانی، ۱۳۸۴، بازسازی شده از نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ طرود).

۲-۲-۱- پرمین

شیست‌های پالئوزوئیک (منسوب به پرمین) همراه سنگ‌های آهکی، دولومیتی، ماسه‌سنگی و

آشفشانی دگرگون شده و تبلور مجدد یافته، در بخش جنوب غرب ناحیه طرود-چاه شیرین رخنمون دارند. این شیست ها با رنگ خاکستری مایل به سبز به شدت متورق هستند. در نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان سن این واحدهای سنگی به پرمین نسبت داده شده است (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵).

۲-۲-۲- کرتاسه

سنگ های کرتاسه با طیف ترکیبی سنگ آهک های میکرایتی فسیل دار خاکستری رنگ و شیل و مارن های مدادی خاکستری رنگ در غرب و جنوب غرب منطقه رخنمون دارند و از ضخامت قابل توجهی برخوردار هستند. در منطقه مورد مطالعه سنگ های کرتاسه با سنگ های قدیمی تر از خود مرز عادی ندارند. این سنگ ها دارای رنگ خاکستری روشن هستند و دارای لایه بندی متوسط تا ضخیم بوده و حاوی فسیل های متعددی از جمله براکیوپودها و دوکفه ای ها هستند. سنگ های کرتاسه توسط تعداد زیادی از دایک های آندزیتی (یا میکرودیوریتی) قطع شده اند و متحمل دگرگونی مجاورتی شده اند (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵).

۲-۲-۳- ائوسن

در منطقه مورد مطالعه سنگ های متعلق به پالئوسن رخنمون ندارند و با توجه به نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰ طرود، توالی آشفشانی- رسوبی ائوسن با کنگلومرای به سن ائوسن شروع می شود و سپس به یک مجموعه آشفشانی - رسوبی تبدیل می گردد که تناوبی از گدازه های حدواسط تا بازیک و مقداری توف، شیل توفی، ماسه سنگ توفی، شیل و ماسه سنگ و به ندرت کنگلومرا می باشد. در دامنه جنوبی منطقه مورد مطالعه، سنگ های آشفشانی - رسوبی ائوسن به شدت چین خورده اند. میان لایه هایی از سنگ آهک های نومولیت دار در مجموعه های آشفشانی - رسوبی ائوسن یافت شده اند که معرف کم عمق بودن حوضه و تعلق داشتن آنها به دوره زمانی ائوسن میانی است (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵).

۲-۲-۴- میوسن

منطقه جنوب گسل طرود عمدتاً توسط مارن‌های میوسن پوشیده شده‌اند. باریکه‌ای از این سنگ‌ها در حدفاصل معلمان تا طرود رخنمون دارند. این سنگ‌ها غالباً از رسوبات مارنی، سیلتستونی، میکروکنگلومرایی، مارن‌های گچ‌دار، میان لایه‌های ژیبسی و نمک تشکیل شده‌اند. در بعضی موارد به‌شدت چین‌خورده و در مجموع طاق‌دیس و ناودیس‌های بزرگی را به نمایش می‌گذارند (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵).

۲-۲-۵- پلیوسن

کنگلومرای پلیوسن عمدتاً به صورت مخروط‌افکنه‌های بزرگ در دامنه‌های شمالی منطقه مورد مطالعه و درحوالی روستاهای شیمی، کوه‌زر، و کلاته‌جعفر رخنمون دارند. اجزاء سازنده کنگلومرای پلیوسن غالباً قطعات سنگی نشأت گرفته از سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی ائوسن و توده‌های نفوذی قطع‌کننده آنها می‌باشند (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵).

۲-۲-۶- هولوسن (عهد حاضر)

این رسوبات که از ارتفاعات منطقه مورد مطالعه نشأت گرفته‌اند غالباً به صورت رسوبات آبراهه‌ای، مخروط‌افکنه‌های جوان، و یا دشت‌های پست و فروافتاده رخنمون دارند و سهم کمی از منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص می‌دهند. این رسوبات به صورت دگرشیب واحدهای سنگی قدیمی‌تر را می‌پوشانند (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵).

۲-۲-۷- توده‌های نفوذی عمیق و نیمه‌عمیق

مجموعه آتشفشانی - رسوبی ائوسن توسط تعداد زیادی استوک، آپوفیز و دایک با ترکیبی متغیر از گابرو تا گرانیت قطع می‌شود. نفوذ این توده‌ها به درون سنگ‌های میزبان با دگرگونی مجاورتی و دگرسانی‌های گرمایی به‌ویژه از نوع آرژیلیک همراه بوده است. همچنین وقایع مذکور به کانسارسازی

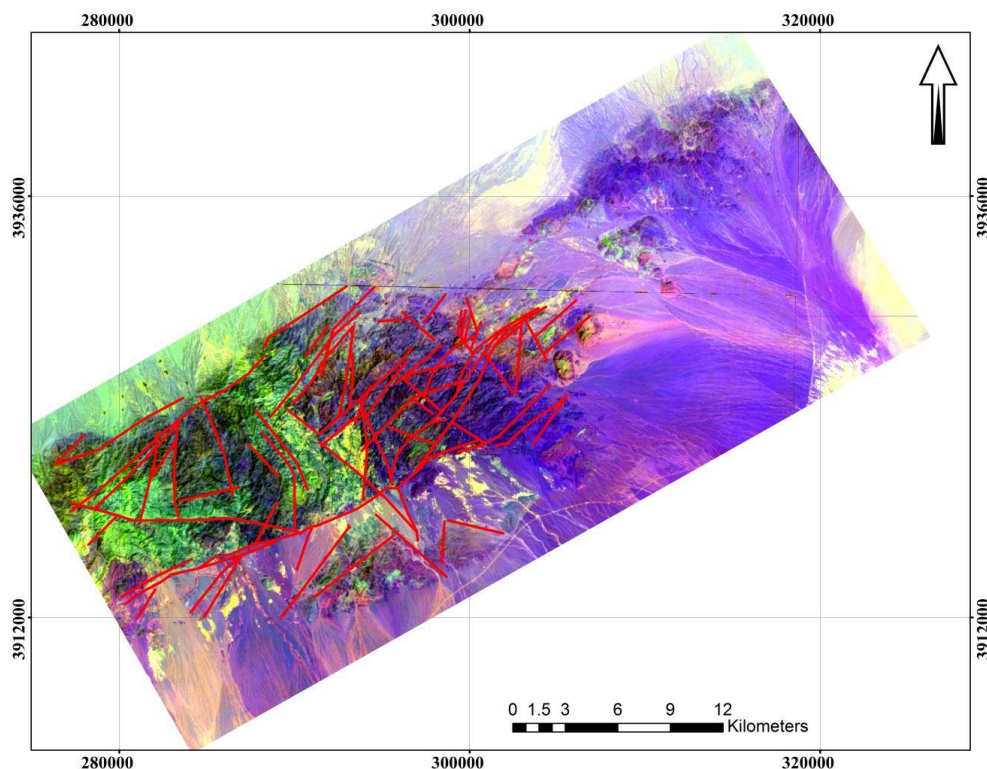
گسترده عناصر سرب، روی، مس، طلا، نقره و... منجر شده است، که در مقدمه همین فصل به آنها اشاره شد و بحث تفصیلی آنها از مجال این پایان نامه خارج است. این کانسارها در دهه های ۱۳۴۰ و ۱۳۵۰ بطور گسترده مورد بهره برداری قرار می گرفته اند، ولی در حال حاضر تعداد زیادی از آنها به صورت متروکه رها شده اند و تنها تعداد اندکی از آنها فعال هستند (قربانی ۱۳۸۴).

۲-۳- زمین شناسی ساختمانی کمر بند طرود-چاه شیرین

گسل های انجیلو و طرود باروند تقریبی شمال شرق - جنوب غرب مهم ترین شکستگی های این منطقه به حساب می آیند، که به عقیده ی هوشمندزاده و همکاران (۱۳۵۷) از کامبرین فعال بوده و بر رخداد فعالیت های ماگمایی-دگرگونی منطقه موثر بوده اند (شکل ۲-۵). بنا به مطالعات صورت گرفته توسط خادمی (۱۳۸۶) خلاصه ای از شرایط تکتونوماگمایی رخ داده در نوار طرود-چاه شیرین بصورت ذیل می باشد:

تکوین ژئودینامیک منطقه طرود، متناسب با رویدادهای مختلف زمین ساختی ایران زمین دستخوش تغییر و تحولات فراوانی شده است. با این حال در تمام مراحل تکوینی و در همه فازهای دگرریختی، یک سیمای ساختاری مهم و اصلی، یعنی گسل امتدادلغز طرود با روند شمال شرق - جنوب غرب عامل اساسی تعیین ویژگی های ساختاری آن بوده است. به عبارت بهتر، نقش این گسل در همه سرگذشت ساختاری منطقه چه مستقیم و چه غیرمستقیم کاملاً بارز و مشهود است. ساختارهای فشارشی در منتهی الیه پایانه غربی گسل طرود، سبب پیدایش کوه های مرتفع رانده - چین خورده و دگرگون شده به صورت یک قلمرو ساختاری دگرگونی در غرب منطقه شده است. گسل مزبور در تعیین خطوط و حدود دو یا احتمالاً سه قلمرو مستقل ساختاری دیگر نیز بیشترین تأثیرات را داشته است. مثلاً آنجا که بخش شدگی واتنش فشارش لغزشی در امتداد آن و پیدایش گسل های معکوس موازی آن سبب راندگی به جنوب شده است، جبهه راندگی مرتفع و پیشرونده ای به وجود آمده است و در جنوب این جبهه راندگی، حوضه فرونشستی نئوژن با رسوبات تبخیری ایجاد شده است که خود یک قلمرو ساختاری مستقل ویژه نئوژن است. در قسمت شمال بلافصل این گسل، پیش از آنکه رژیم واتنشی فشارش لغزشی دچار بخش شدگی شده

باشد و جبهه راندگی به وجود بیاید، در اواخر کرتاسه تا اواخر ائوسن یک رژیم واتنشی - کششی - لغزشی، سبب پیدایش ساختارهای دومینو شکل گسل‌های عادی و حوضه‌های کششی شده است و با افزایش کشیدگی در پوسته و بالا رفتن گرادیان حرارتی، ماگماتیسم گسترده‌ای بخش بزرگی از منطقه را در بر گرفته است و قلمرو ساختاری آذرین به وجود آمده است. نظیر این فعالیت ماگمایی جز این قلمرو، در هیچ نقطه دیگری از منطقه مطالعاتی به چشم نمی‌خورد. اگرچه سر آغاز ماگماتیسم منطقه تحت تأثیر زمین ساخت بوده است ولی در ادامه، در برخی مراحل، دو رویداد زمین ساخت و ماگماتیسم همزمان با هم به وقوع پیوسته‌اند و ندرتاً نیز ماگماتیسم مقدم بر دگرشکلی‌های محلی بوده و خود سبب پیدایش ساخت‌های شکستگی بویژه ساختارهای کششی شده است. این ساختارها و ساختارهای مشابهی که از قبل وجود داشته‌اند، مکان‌های مناسبی برای عبور سیالات ماگمایی شده‌اند و در نقاط متعددی کانسارهای ارزشمندی تشکیل شده‌اند. از جمله این کانه‌زائی‌ها می‌توان به کانسارهای مس و طلای کوه‌زر، فیروزه باغو، سرب و روی رشم، سرب، روی و مس سوسن‌وار، سرب، روی و طلای گندی، مس چاه موسی و ... را نام برد. این شیوه‌های متغیر و متنوع دگرشکلی و سیمای فراوان ساختاری محصول دگرشکلی درون‌قاره‌ای است که مشابه آن در نقاط مختلف جهان، شناسایی شده و تشریح گردیده است. واتنش ناشی از همگرایی صفحه‌های عربستان و اوراسیا در درون خردقاره ایران مرکزی منجر به چرخش بلوک لوت و پیدایش گسل‌های بزرگ امتداد لغز منطقه‌ای شده است و بدین ترتیب دگرشکلی این همگرایی با سازو کار دندان‌ای کردن (Indentation) به درون قاره منتقل شده است. تغییرات آهنگ و جهت این همگرایی و تغییرات سو و مقدار چرخش درون‌قاره‌ای که در زمان‌های مختلف روی داده است تأثیر مستقیم بر میدان تنش محلی و رژیم زمین‌ساختی منطقه داشته و آن را به صورت‌های متفاوتی که گفته شد، درآورده است.



شکل ۲-۳- نقشه توزیع گسل‌های ناحیه طرود - چاه شیرین (یاراحمدی، ۱۳۹۴).

۲-۴- زمین‌شناسی اقتصادی ناحیه طرود - چاه شیرین

کانه‌سازی‌های موجود در رشته کوه طرود-چاه شیرین را بطور کلی می‌توان به دو دسته فلزی و غیر فلزی تقسیم‌بندی نمود، که در زیر بصورت خلاصه در مورد هر یک از آنها شرح داده می‌شود.

۲-۴-۱- کانه‌سازی‌های فلزی

از این گروه می‌توان به اندیس‌ها، معادن متروکه و فعال مانند آهن، منگنز، مس، سرب، روی، طلا و... اشاره نمود. تیپ کانسارهای فلزی رشته کوه طرود- چاه شیرین شامل آهن و منگنز آتشفشانی- رسوبی، آهن اسکارنی، اکسید آهن- مس - طلا (IOCG)، مس هیدروترمالی رگه‌ای، طلای اپی‌ترمال سولفید متوسط، طلای پلاستی، سرب و روی تیپ دره می‌سی‌سی‌پی (MVT)، و سرب و روی رگه‌ای گرمابی می‌باشند. تاکنون شواهدی از کانه‌سازی مس پورفیری در این رشته کوه دیده نشده است و شکل غالب کانسارهای فلزی از نوع رگه‌ای گرمابی است (قربانی، ۱۳۸۱).

کانه‌زائی‌های منگنز

کانسار منگنز هلالان، مهمترین رخداد معدنی منگنز در ناحیه طرود-چاه‌شیرین است. این کانسار در ۱۲۲ کیلومتری جنوب دامغان و ۱۶ کیلومتری غرب روستای رشم واقع شده است. کانه‌زائی منگنز در منطقه هلالان در یک افق اصلی، به شکل چینه‌سان و هم‌روند با لایه‌بندی رخ داده است که سنگ میزبان آن شیست‌ها و سنگ‌آهک و دولومیت‌های دگرگون شده به سن ژوراسیک زیرین می‌باشد. کانی‌های تشکیل دهنده ماده معدنی به طور عمده شامل پیرولوزیت، پسیلوملان، هولاندیت، براونیت و هماتیت می‌باشند. این کانسار بیشترین شباهت را با کانسارهای منگنز تیپ کوبا دارد (مصدق، ۱۳۹۴).

کانه‌زائی‌های سرب و روی

کانسار پلی‌متال سرب، روی، نقره خانجار: کانسار سرب-روی-نقره خانجار در ۱۰۵ کیلومتری جنوب دامغان و ۱۲ کیلومتری شمال روستای حسینان - معلمان قرار دارد. عمده‌ترین کانی‌های تشکیل دهنده این کانسار شامل گالن، اسفالریت، کالکوپریت و پیریت است. این کانسار بعنوان تیپ MVT معرفی شده است که سنگ میزبان آن سنگ‌آهک‌های کرتاسه است (راستاد و همکاران، ۱۳۷۷ و ۱۳۷۹).

کانسار روی (سرب) انارو: کانسار روی و سرب انارو در ۱۵۰ کیلومتری جنوب شرق سمنان و ۱۰۵ کیلومتری جنوب دامغان واقع گردیده است که از نظر جغرافیایی در دامنه جنوبی طرود-چاه شیرین قرار می‌گیرد. سنگ میزبان این کانسار دولومیت و سنگ‌آهک به سن پالئوزئیک است. کانسار انارو از نوع چینه کران بوده و با اشکال رگه-رگچه‌ای قابل مشاهده است. کانی‌های تشکیل دهنده کانسار انارو صرفاً کربنات روی (اسمیت‌زونیت و هیدروزینکسیت) است و به مقدار بسیار کمی کانی‌های سولفیدی سرب، روی و مس در داخل رگه‌های پرعیار مشاهده می‌شود. این کانسار از نوع کانسارهای دره می‌سی-سی پی بوده و کانی‌های اولیه از نوع سولفیدی بوده‌اند که تحت تأثیر فرآیند سوپرژن قرار گرفته و ظاهری غیرسولفیدی پیدا کرده است (شیری، ۱۳۹۲).

کانسار سرب تنگه کوه زر: کانسار سرب تنگه کوه زر در فاصله ۱۰۰ کیلومتری جنوب- جنوب شرق دامغان و در ۵ کیلومتری جنوب غرب روستای کوه زر و ۵۰۰ متری جنوب تنگه قرار دارد. سنگ‌های میزبان کانسار شامل آندزیت، تراکی آندزیت و آندزیت-بازالت می‌باشد که از نظر سنی مربوط به ائوسن میانی تا پلیوسن است. این سنگ‌ها از نظر ترکیب شیمیایی از نوع کالک آلکالن و از لحاظ تکتونوماگمایی مربوط به محیط فرورانش هستند. کانی‌های تشکیل دهنده این کانسار شامل گالن، بورنیت، پیریت، کالکوپیریت، طلا، کالکوسیت، کولیت، دیژنیت، سروزیت، ملاکیت، آزوریت، همتایت، مگنتیت و هیدرواکسیدهای آهن می‌باشند. کانسار سرب تنگه کوه زر یک کانسار هیدروترمال رگه‌ای (اپی‌ترمال) است (اسحاقیان پور، ۱۳۹۵).

کانسار پلی‌متال مس، سرب و روی قله کفتران شمالی و جنوبی: این کانی‌سازی‌ها در ۲۰ کیلومتری شمال غرب طرود، ۴ کیلومتری شمال شرق کانسار چاه موسی واقع شده‌اند. سنگ میزبان آنها توده ساب‌ولکانیک (داسیت پورفیری)، آندزیت، آندزیت-بازالت و سنگ‌های آذرآواری است. دگرسانی این کانی‌زایی‌ها شامل سیلیسی، کلریتی، کربناتی، پروپلیتیکی، آرژیلیکی و فلیک است. کانه‌زایی در طول گسل اصلی منطقه با امتداد شمال شرقی- جنوب غربی و طول بیش از ۶۰۰ متر دیده می‌شود. کانی‌های تشکیل دهنده شامل اسفالریت، گالن، کالکوپیریت، پیریت، بورنیت، کالکوسیت، کولیت، ملاکیت، سروزیت، انگلزیت و اکسید و هیدرواکسیدهای آهن می‌باشد. این کانی‌زایی‌ها شباهت‌های بیشتری با کانسارهای اپی‌ترمال دارند (امام جمعه و همکاران، ۱۳۸۷ و موسوی نقابی، ۱۳۸۸).

کانه‌زایی‌های آهن

کانسار آهن رباعی: این کانسار در چند صد متری شرق کانسار مس رباعی قرار گرفته است که یک توده نفوذی نیمه عمیق در حد گرانودیوریتی به داخل سنگ‌آهک‌های کرتاسه نفوذ کرده و باعث اسکارن زایی آهن (مس و طلا) شده است (بادوزاده کانرش، ۱۳۹۰). اثرات این کانی‌زایی را دورتر از توده

در بخش ولکانیک‌های ائوسن نیز می‌توان مشاهده نمود. با توجه به مطالعاتی که اخیراً روی این کانی-زائی‌ها انجام داده شد، جنس توده بیشتر حالت ساب‌ولکانیک داسیتی را نشان می‌دهد.

کانسار آهن چالو: کانسار آهن اسکارن چالو در جنوب دامغان واقع شده است. سنگ‌های آهکی همراه با سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیت و داسیتی، سنگ میزبان کانی‌زایی در این کانسار هستند. توده‌های نفوذی مرتبط با کانی‌زایی اسکارن آهن چالو از نوع دیوریت می‌باشند (تقی‌پور و همکاران، ۱۳۹۰).

کانه‌زائی‌های مس

کانسار مس دیان: این کانسار در ۹۰ کیلومتری جنوب دامغان واقع شده است که سنگ میزبان آن آندزیت، تراکی-آندزیت، بازالت، تراکی-بازالت، تراکیت، توف و آگلومرا می‌باشد. مهم‌ترین کانی‌های تشکیل دهنده کانسار شامل کالکوسیت، مالاکیت، کریزوکلا و مقدار کمی پیریت و کالکوپیریت است که به‌صورت پراکنده، فضای خالی، محل شکستگی‌ها، برش‌ها و حفرات موجود در سنگ درونگیر را پر کرده‌اند (ناهیدی‌فر، ۱۳۹۳).

کانسار مس چاه موسی: این کانسار در شمال غرب طرود واقع شده است که سنگ میزبان آن شامل توده‌های نیمه‌عمیق تونالیتی تا گرانودیوریتی و سنگ‌های ولکانیکی و ساب‌ولکانیکی با ترکیب آندزیتی و تراکیتی تا داسیتی به سن ائوسن است. کانی‌های تشکیل دهنده‌ی کانسار چاه موسی شامل مالاکیت، کالکوسیت، کوولیت، کوپریت، پیریت، کالکوپیریت، بورنیت و گالن می‌باشد. این کانی‌سازی‌ها بصورت رگه-رگچه‌ای در محدوده‌ی کانسار مشاهده می‌شود (صادقی فلک دهی، ۱۳۸۲ و امام جمعه، ۱۳۸۷).

کانسار مس قله سوخته: کانه‌زایی افشان و رگچه‌ای مس در منطقه قله‌سوخته در دو رخنمون کوچک از یک توده میکروگرانولار کوارتز دیوریت به ابعاد ۰/۲ و ۰/۱۵ کیلومتر مربع مشاهده می‌شود. این کانی‌زایی شامل رگچه‌های کوارتز-کالکوپیریت و کانی‌زائی افشان پیریت، کالکوپیریت، بورنیت و

کالکوسیت است. دگرسانی‌های مشاهده شده در این توده‌ها کوارتز - سرسیت - پیریت (فیلیک) می‌باشد (امام جمعه و همکاران، ۱۳۸۷).

کانسار مس چاه فراخ: کانسار چاه فراخ در ۲۱ کیلومتری شمال شرق روستای معلمان واقع شده است که سنگ میزبان آن آندزیت‌های ائوسن است. کانه‌های اصلی این کانسار که شامل کانی‌های اولیه (درونزاد) مانند پیریت، کالکوپیریت، بورنیت و کانی‌های ثانویه (برونزاد) هیدروکسیدهای آهن هماتیت، مالاکیت و آزوریت هستند که بصورت رگه‌ای تشکیل شده‌اند. مهمترین دگرسانی‌های مشاهده شده در منطقه شامل سریسیتی، سیلیسی، کلریتی و هماتیتی شدن است (یعقوب‌پور و همکاران، ۱۳۸۷).

کانسار مس کلاته مهران: این کانسار در ۱۰۰ کیلومتری جنوب شرق سمنان، در مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۱ دقیقه عرض شمالی و ۵۴ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی واقع شده است. سنگ‌های دربرگیرنده کانسار شامل تراکیت و آندزیت پورفیری است. کانه‌زایی مس در سطح به‌صورت مالاکیت و در عمق به‌صورت کالکوپیریت، کالکوسیت و کوولیت است که به‌صورت رگه‌ای با روند شمالی - جنوبی و شمال شرقی - جنوب غربی شکل گرفته است (پورشعبان و همکاران، ۱۳۸۹).

کانسار مس کلوت: مختصات جغرافیایی این کانسار ۳۵ درجه ۲۱ دقیقه عرض شمالی و ۵۴ درجه ۱۴ دقیقه طول شرقی است. جنس سنگ درونگیر ماده معدنی آندزیت به سن ائوسن است. شکل ماده معدنی در کانسار کلوت بصورت رگه‌ای می‌باشد که عمده‌ترین کانی‌های تشکیل دهنده آن کالکوسیت و مالاکیت است.

کانسار مس چاه‌گله: کانسار چاه‌گله در جنوب شرق دامغان واقع شده است که سنگ میزبان آن آندزیت و تراکی آندزیت است. کانی‌های تشکیل دهنده این کانسار شامل پیریت، کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت، مگنتیت و هماتیت است. شکل کانی‌سازی به‌صورت رگه‌ای با روند شرقی - غربی است که میانگین عیار مس در بخش‌های کم عیار ۰/۲ درصد و در بخش‌های پر عیار ۱/۳ درصد

می باشد (طالع ماسوله و همکاران، ۱۳۸۹).

کانه زایی های طلا

کانسارهای طلای گندی و ابوالحسنی: کانسار طلای اپی ترمال و پلی متال فلزات پایه گندی و ابوالحسنی در رشته کوه طرود- چاه شیرین قرار گرفته است. سنگ های رخنمون یافته در منطقه شامل سیلتستون ها و ماسه سنگ های نازک لایه، لاپیلی توف و ولکانیک برش به سن ائوسن میانی می باشد. در این کانسارها سولفیدهای فلزات پایه (گالن، اسفالریت و کالکوپیریت) به همراه پیریت، نقره و طلا همراه با باطله های کوارتز، کلسیت، باریت در زون های برشی حاصل از عملکرد گسل ها تشکیل شده اند (Shamanian et al., 2004).

کانسار پلی متال طلا، سرب و روی چشمه حافظ: کانسار پلی متال چشمه حافظ در بخشی از رشته کوه آتشفشانی ترود-چاه شیرین در جنوب شرق دامغان واقع شده است. سنگ میزبان این کانسار عمداً آندزیت، تراکی آندزیت، داسیت و ریوداسیت های ترشیری می باشد. کانه زایی فلزات پایه، طلا و نقره در رگه های چشمه حافظ شامل: مرحله اول، کوارتز و کربنات با مقدار کمتری پیریت و کالکوپیریت. مرحله دوم، مرحله اصلی ته نشست سولفیدها است که شامل گالن خودشکل، سپس با گالن، اسفالریت و کالکوپیریت همراه شده است. در پایان گالن، پیریت، کالکوپیریت، تتراهدریت، بورنیت و دیژنیت تشکیل شده اند. بیشترین روند کانی زائی ها شمال شرقی و جنوب غربی تقریباً هم روند با گسل های اصلی طرود و انجیلو است. این کانسار بیشترین شباهت را با اپی ترمال های سولفید متوسط دارد (Mehrabi et al., 2012).

کانسار طلا- فیروزه باغو-کوه زر: رخنمون های سنگی منطقه باغو شامل مجموعه سنگ های آتشفشانی-آذرآواری با سن ائوسن میانی است. این مجموعه مورد نفوذ توده های پلوتونیک با ترکیب غالب گرانودیوریتی-دیوریتی قرار گرفته است. زون های دگرسانی منطقه شامل دگرسانی سریسیتی،

آرژیلیتی، پروپلیتیکی، سیلیسی، پتاسیک و کانی شناسی رگه‌ها شامل کلکوپیریت، پیریت، طلا، هماتیت، گالن، کوپریت، کولیت و هیدروکسیدهای آهن است. دامنه‌ی کانی‌زائی از لحاظ دمایی در کانسار طلای باغو در محدوده مزوترمال تا هیپوترمال تغییر می‌کند (مر و همکاران، ۱۳۷۹). سنگ‌های آذرآواری (توف بلورین) و آتشفشانی (آندزیت و لاتیت) در محدوده کوه‌زر مورد نفوذ توده‌های آذرین نیمه‌عمیق با بافت پورفیری و ترکیب مونزونیتی قرار گرفته‌اند. توده‌های مونزونیتی خود تحت نفوذ توده‌های نیمه‌عمیق جوانتر با ترکیب دیوریتی قرار گرفته‌اند. نفوذ استوک‌های مونزونیتی باعث تشکیل دگرسانی‌های فیلیک، پروپلیتیک، سیلیسی، تورمالینی و کربناتی شده است (روح‌بخش و همکاران، ۱۳۹۵).

۲-۴-۲- کانه‌زائی‌های غیرفلزی

بنتونیت

در محدوده ورقه کلاته رشم، در چندین نقطه توف‌های سفید رنگ دگرسان شده با ترکیب اسیدی در حد ریوداسیت و داسیت برون‌زد یافته‌اند. در نقاطی که شرایط دگرسانی مناسب بوده است، به‌صورت بنتونیت ظاهر شده‌اند که از آن میان می‌توان از معدن فعال بنتونیت رشم نام برد. توف‌های دگرسان شده فوق در یک خط و با روند تقریبی شرقی-غربی از رشم تا مدخل ورودی دره‌ی کلوت به‌طور منقطع دیده می‌شود. یک افق از این نوع توف‌های آلتیه شده در شرق روستای دیان وجود دارد.

رگه‌های فلدسپات‌دار

در شرق رباعی، رگه‌های فلدسپاتی در واحد سنگی با ترکیب داسیتی دیده می‌شود. رنگ عمومی آن‌ها سفید است ولی در سطوح شکسته و سطوح درزه‌ها آثاری از ترکیبات آهن‌دار مشاهده می‌شود.

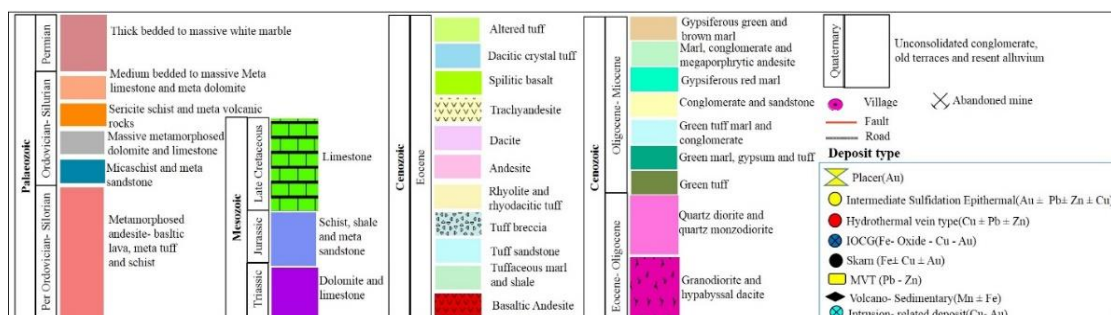
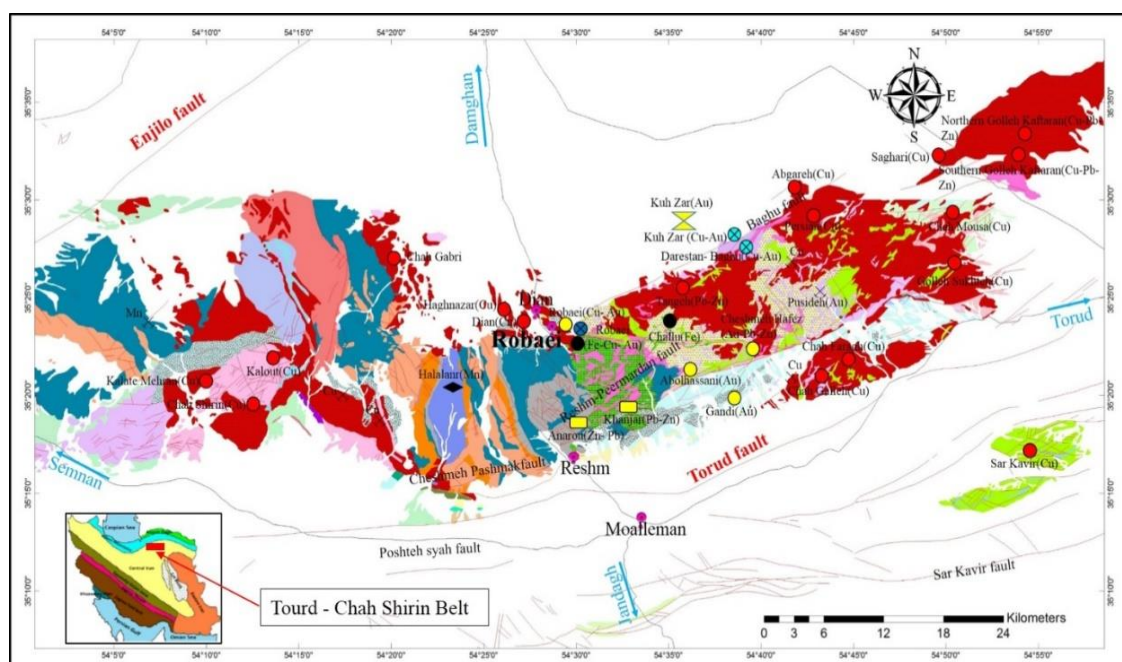
سیلیس

در نقاطی که سنگ‌های شیستی پالئوزوئیک گسترش دارد، رگه‌های سیلیسی در آن دیده می‌شود.

شیست‌های مذکور عمدتاً در دره‌ی رشم و نواحی چاه‌شیرین از گسترش بیشتری برخوردار هستند. در اثر دگرگونی این سنگ‌ها، سیلیس به‌صورت متحرک در آن آزاد شده است و بعضاً رگه‌های قابل توجهی را به‌وجود آورده است. در برخی نقاط نیز از کیفیتی خوب برخوردار است.

نمک و گچ

در نیمه جنوبی ورقه کلاته-رشم چندین گنبد نمکی رخنمون یافته‌اند. چنانچه نتایج آنالیز بر روی آن‌ها مثبت باشد ذخایر زیادی از نمک را تشکیل می‌دهند. به طور معمول در روی گنبدهای نمکی ضخامتی از لایه‌های گچی دیده می‌شود که احتمال اقتصادی بودن آن‌ها وجود دارد (جعفریان، ۱۳۸۰).



شکل ۲-۴- نقشه زمین‌شناسی ساده شده ناحیه طرود-چاه شیرین و نمایش موقعیت قرارگیری تعدادی از کانسارهای فلزی بر روی آن (عبدالهی، ۱۳۹۶). [تهیه شده براساس نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰ طرود (علوی و همکاران، ۱۳۵۵)، ۱/۱۰۰۰۰۰ کلاته رشم (جعفریان، ۱۳۷۳) و ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان (اشراقی، ۱۳۸۵).

فصل سوم: پروکرانی واحدهای سنگی کمر بند طرود-

چاه شیرین

۳-۱- مقدمه

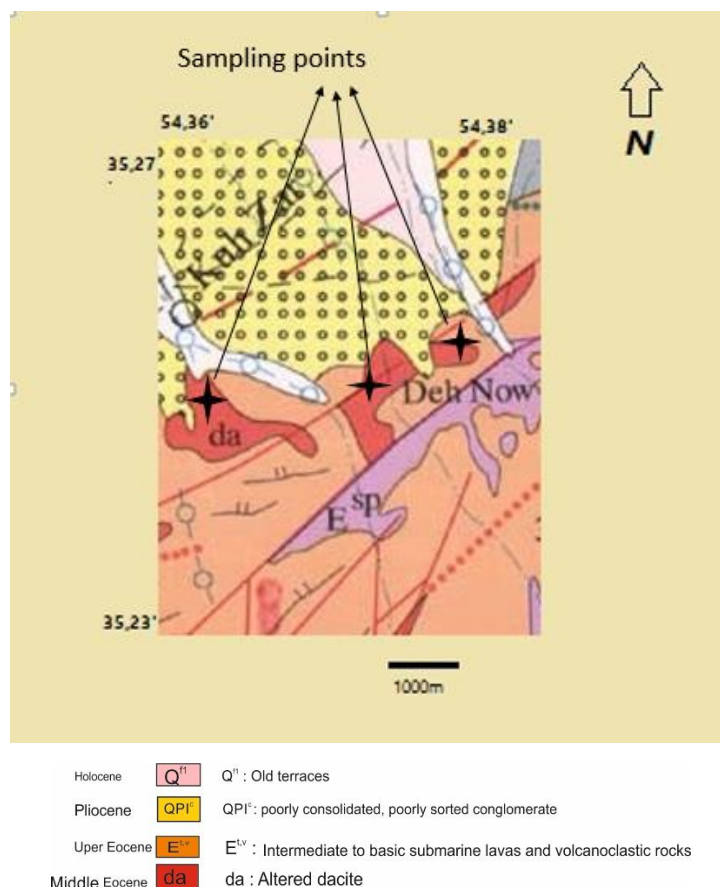
هدف از بررسی سنگ‌شناختی یک محدوده معدنی، مطالعه واحدهای سنگی، روابط بین آن‌ها، ویژگی‌های ساختی، بافتی و کانی‌شناختی و ارتباط هر یک از این پدیده‌ها با کانه‌زایی است. بررسی این پدیده‌ها و ویژگی‌ها، کمک بسیار زیادی به شناخت موقعیت زمانی و مکانی کانه‌زایی و پی‌جویی آنها در دیگر مناطق مشابه خواهد کرد. همچنین به منظور شناخت دقیق این واحدهای سنگی و تشخیص منشاء و نحوه تحول ماگما، مطالعات پتروگرافی جهت بررسی، ساخت و بافت و ترکیب کانیایی سنگ‌ها صورت می‌گیرد.

سنگ‌های آذرین منطقه مورد مطالعه، عملیات به منظور انجام مطالعات سنگ‌شناختی بر روی صحرایی و برداشت نمونه‌های سنگی در شش مرحله صورت گرفت و در این مراحل پیمایش‌هایی به منظور نمونه‌برداری از توده‌های مختلف نفوذی و نیمه‌نفوذی انجام شد و از مجموع نقاط مختلف توده‌های مورد نظر تعداد ۱۸ نمونه برداشت شد و مقطع نازک از آنها تهیه گردید و بر روی مقاطع تهیه شده مطالعات پتروگرافی صورت گرفت. برای نامگذاری سنگ‌ها همزمان با مطالعات پتروگرافی، بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی آنها نیز مد نظر قرار گرفت. مطالعه پتروگرافی به منظور شناسایی روابط بافتی، ترکیب کانی شناسی، دگرسانی کانی‌ها و دیگر شواهد پتروگرافی صورت گرفت و نتایجی به همراه داشت که در ادامه به شرح آنها پرداخته شده است.

۳-۲- پتروگرافی سنگ‌های منطقه کوه‌زر

در منطقه مورد مطالعه واحدهای سنگ‌چینه‌ای، به ترتیب توالی‌های رسوبی مربوط به دونین تا ترباس، ژوراسیک و کرتاسه، مجموعه آتشفشانی-رسوبی ائوسن، توده‌های نفوذی ائوسن و واحدهای کواترنری می‌باشند. توالی‌های رسوبی بیشتر دارای ترکیب آهکی، شیلی و ماسه‌سنگی بوده و بیشتر دارای سن

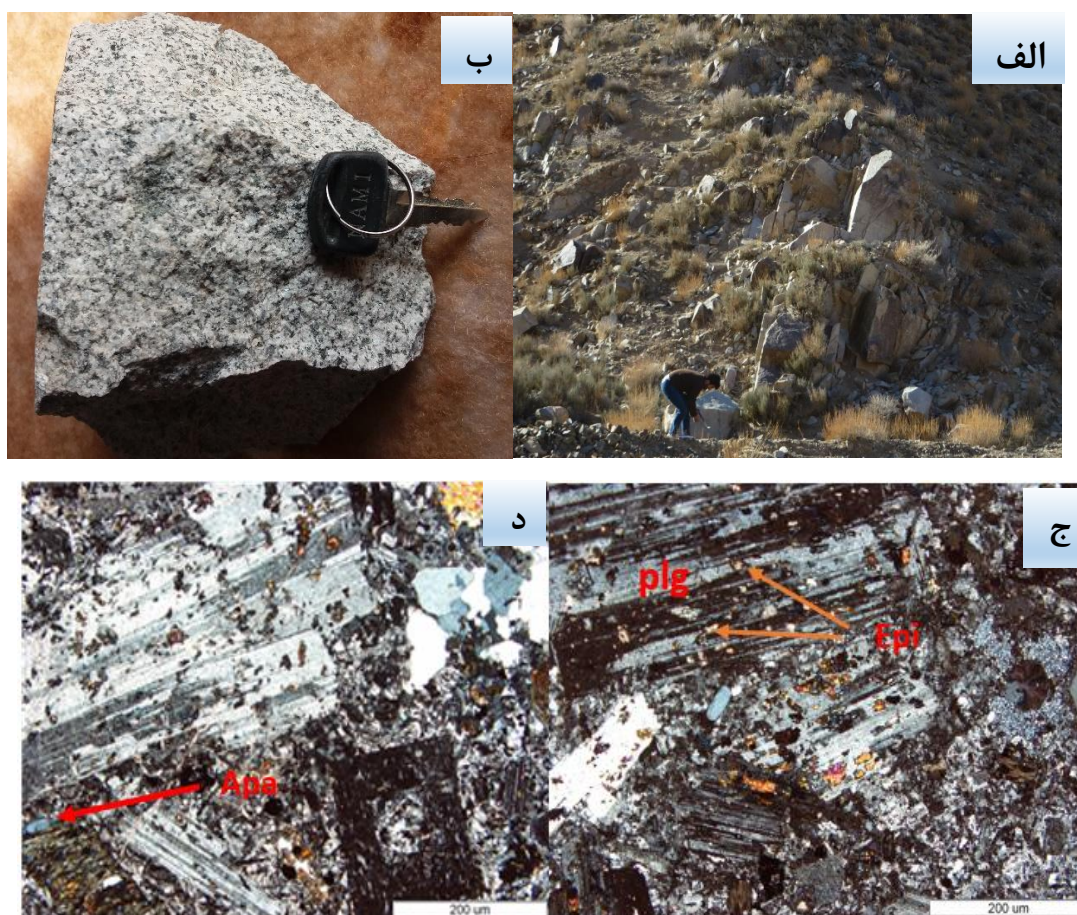
پرمین بالایی تا کرتاسه هستند. سنگ‌های آذرین ائوسن طیف گوناگونی از سنگ‌های آذرین بیرونی و درونی و آذرآواری هستند. حجم اصلی آن‌ها را سنگ‌های آتشفشانی به سن ائوسن میانی-بالایی تشکیل می‌دهند، که توسط توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق ائوسن قطع شده‌اند. سنگ‌های آتشفشانی طیف وسیعی از بازالت‌ها، آندزیت‌ها تا داسیت‌ها را به خود اختصاص می‌دهند، ولی حجم اصلی این واحدها را سنگ‌های آندزیتی تشکیل می‌دهند. توده‌های نفوذی بیشتر به شکل استوک‌های کوچک و دایک رخنمون دارند و شامل گرانیات، گرانودیوریت، دیوریت، تا گابرو هستند. واحدهای آتشفشانی-رسوبی حجم وسیعی از توف، شیل توفی، ماسه‌سنگ، کریستال توف، لیتیک توف، و توف آگلومرایی را به خود اختصاص می‌دهند (اشراقی و جلالی ۱۳۸۵)، (شکل ۳-۱). بنا به اهداف این تحقیق نمونه‌برداری از توده‌های نفوذی عمیق و نیمه‌عمیق و نیز واحدهای آتشفشانی صورت گرفته‌است که در ذیل نتایج مطالعات پتروگرافی توصیف شده‌است.



شکل ۳-۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه کوه‌زر برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵).

۳-۲-۱- سنگ‌های گرانودیوریتی

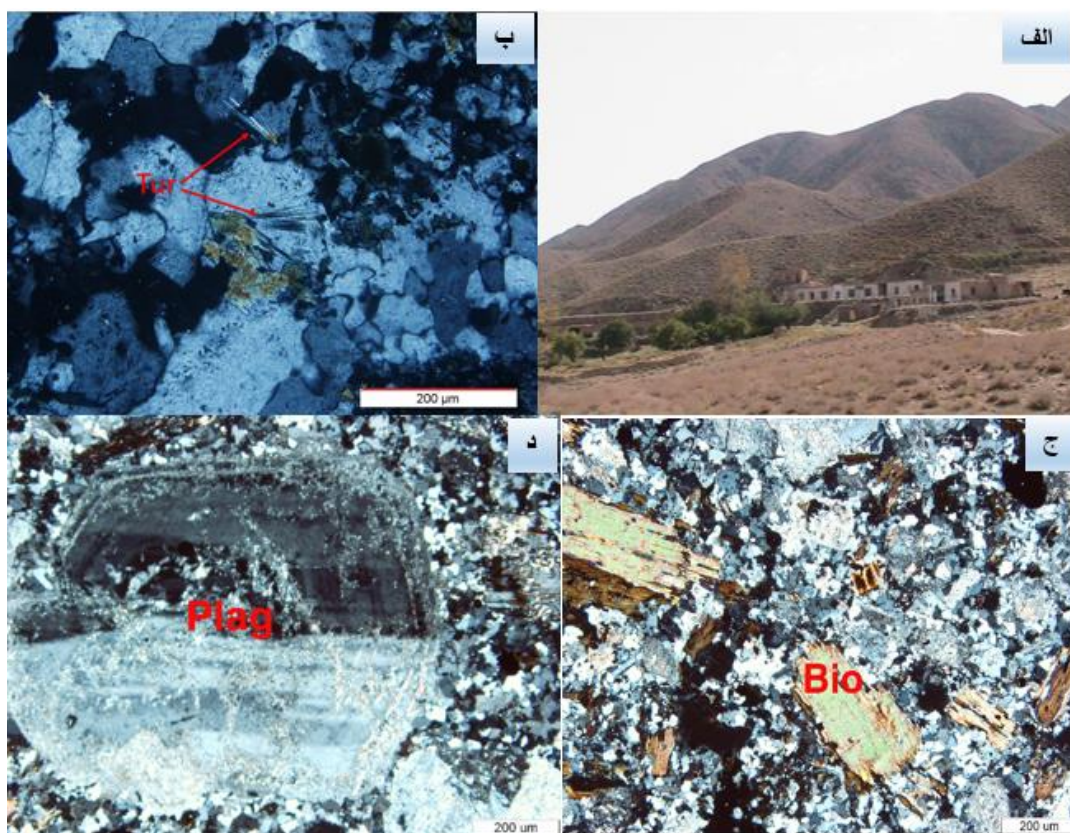
این نمونه سنگ دارای بافت پورفیری بوده، و کانی‌های مافیک موجود در آنها غالباً کلریتی شده و غیر قابل تشخیص می‌باشند. ولی با توجه به ترکیب کانیایی سنگ، کانی‌های مافیک به احتمال قوی هورنبلند سبز و یا بیوتیت بوده‌است. کانی روشن غالب در این نمونه‌ها پلاژیوکلاز می‌باشد، البته آلکالی فلدسپار و کوارتز نیز به مقدار خیلی کم وجود دارد. ویژگی‌های بافتی سنگ بیان از نیمه‌خروجی بودن آن است. برخی نمونه‌ها نیز از نظر بافتی بیشتر به سمت گرانولار میل پیدا می‌کنند (شکل ۳-۲). این سنگ گرانودیوریت نامگذاری می‌شود.



شکل ۳-۲-۱- نمای از توده گرانودیوریتی در منطقه کوه‌زر (دید به سمت شمال غرب)، (ب) تصویر نمونه دستی از گرانودیوریتی، (ج) بافت پورفیری در گرانودیوریت‌های منطقه (XPL)، (د) بلور پلاژیوکلاز که دارای ادخال‌های اپیدوت بوده و در گوشه پائین سمت چپ آپاتیت نیز در سنگ‌های گرانودیوریتی دیده می‌شود (XPL). (علائم اختصاری: پلاژیوکلاز: plg، اپیدوت: Epi، آپاتیت: Apa)

۳-۲-۲- سنگ‌های گرانیتی

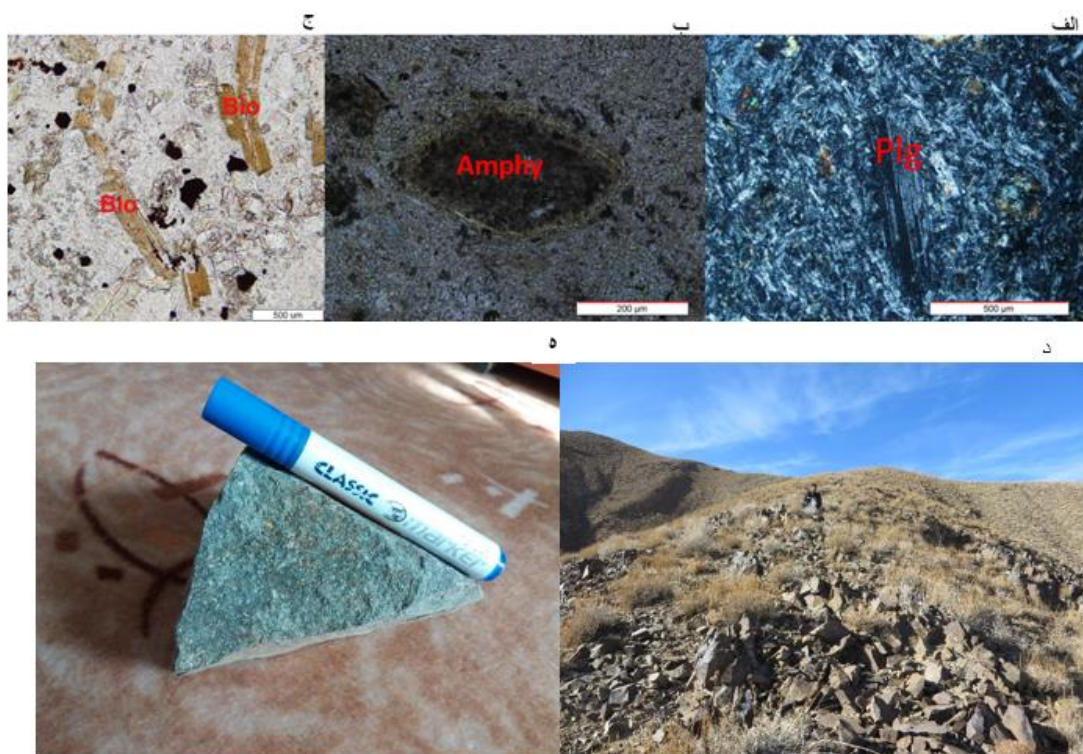
با توجه به ماهیت ساب ولکانیک سنگ‌های مورد مطالعه، ویژگی‌های بافتی این سنگ‌ها همانند سنگ‌های آذرین بیرونی است. در گرانیت‌های منطقه کوه‌زر بافت سنگ، دانه‌ای و پورفیروئیدی است و پورفیرهای سنگ را پلاژیوکلاز و بیوتیت تشکیل می‌دهند. تورمالین نیز به‌عنوان یک کانی فرعی در این سنگ‌ها وجود دارد (شکل ۳-۳).



شکل ۳-۳- الف) نمایی کلی از توده‌های گرانیتی منطقه کوه‌زر، ب) حضور تورمالین شعاعی در گرانیت‌های کوه‌زر (XPL)، ج) گرانیت غنی از بیوتیت منطقه کوه‌زر (XPL)، و د) حالت منطقه‌بندی در پلاژیوکلازهای موجود در گرانیت‌های کوه‌زر (XPL). (علائم اختصاری: پلاژیوکلاز: plg، بیوتیت: Bio، تورمالین: Tur)

۳-۲-۳- سنگ‌های نفوذی نیمه‌نفوذی با ترکیب تراکی آندزیت

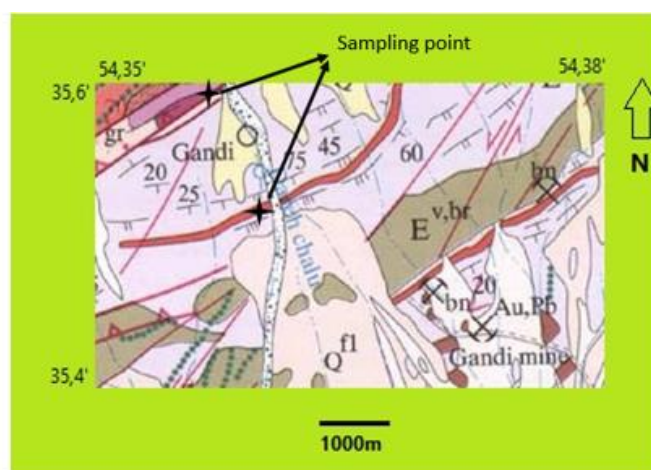
این سنگ‌ها بافت میکرولیتی-پورفیری نشان می‌دهند، بنابراین در زمره‌ی سنگ‌های نیمه‌نفوذی جای می‌گیرند. کانی اصلی سازنده‌ی این سنگ‌ها عمدتاً پلاژیوکلاز بوده که هم به‌صورت درشت‌دانه (فنوکرست) و هم به‌صورت ریزدانه (میکرولیت) در سنگ مشاهده می‌شود. آلکالی فلدسپار نیز در مقادیر خیلی کم در این سنگ‌ها وجود دارد. بیوتیت نیز به‌صورت درشت‌بلور در این سنگ‌ها دیده می‌شود که از نظر زایشی از نوع بیوتیت‌های اولیه است. پلاژیوکلازها عمدتاً سریسیتی، بیوتیت‌ها کلریتی و آمفیبول‌ها اوپاسیتی شده‌اند (شکل ۳-۴).



شکل ۳-۴- الف) فنوکرست‌ها و میکرولیت‌های پلاژیوکلاز (XPL)، ب) درشت‌بلور آمفیبول اوپاسیتی شده (XPL)، ج) درشت‌بلورهای بیوتیت (PPL)، د) نمایی از توده نفوذی نیمه عمیق با ترکیب آندزیت-داسیت در منطقه کوه‌زر (دید به سمت غرب)، و ه) تصویری از نمونه دستی سنگ تراکی آندزیتی منطقه کوه‌زر. (علائم اختصاری: پلاژیوکلاز: plg، بیوتیت: Bio، آمفیبول: Amph).

۳-۳- پتروگرافی واحدهای سنگی منطقه‌ی گندی

محدوده معدنی گندی در ۱۳۰ کیلومتری جنوب‌شرق شهر دامغان و در ۲۵ کیلومتری شمال‌شرق روستای معلمان قرار دارد. این منطقه بخشی از چهارگوش زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ ترود می‌باشد که از دیدگاه زمین‌شناسی ساختاری در پهنه‌ی ایران مرکزی واقع شده است (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷). سنگهای رخمون یافته در منطقه غالباً نهشته‌های ائوسن-الیگوسن است، که غالباً سنگ‌های آذرآواری با ترکیب توف، توف ماسه‌ای، سیلتستون و مارن، و گدازه‌های با ترکیب آندزیتی، بازالتی و داسیتی می‌باشد (شکل ۳-۵).

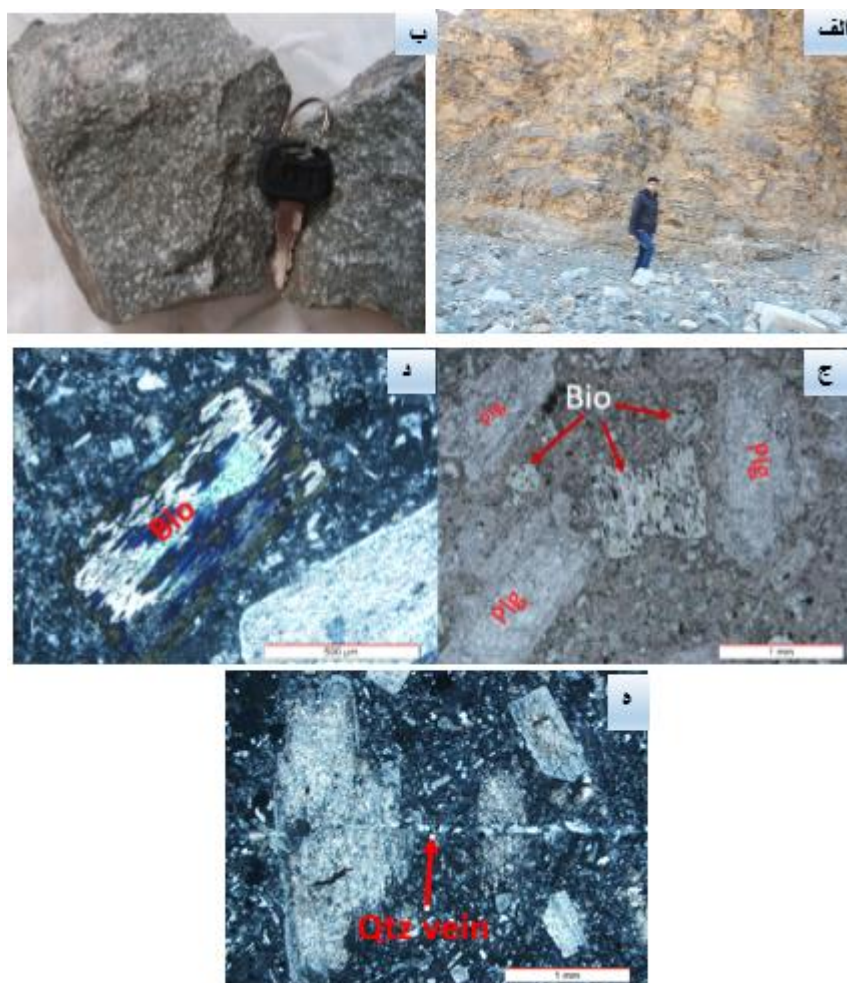


Quaternary		Q ^{F1} : quaternary deposits
Upper Eocene		Gr: micro alkali granite
Lower Eocene		E ^{v,br} : red to grey volcanic breccia's & minor tuffaceous sandstone

شکل ۳-۵- نقشه زمین‌شناسی منطقه گندی برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان (اشراقی و جلالی ۱۳۸۵).

۳-۳-۱- سنگ‌های تراکی آندزیتی

این سنگ‌ها به‌عنوان توده‌های خروجی در نظر گرفته می‌شوند، و بافت میکروولیتی-پورفیری از خود نشان می‌دهند. کانی‌های اصلی شامل پلاژیوکلازهای سریسیتی شده، بیوتیت و آمفیبول‌های کلریتی شده و رگه‌های کلسیت و کوارتز می‌باشد (شکل ۳-۶).

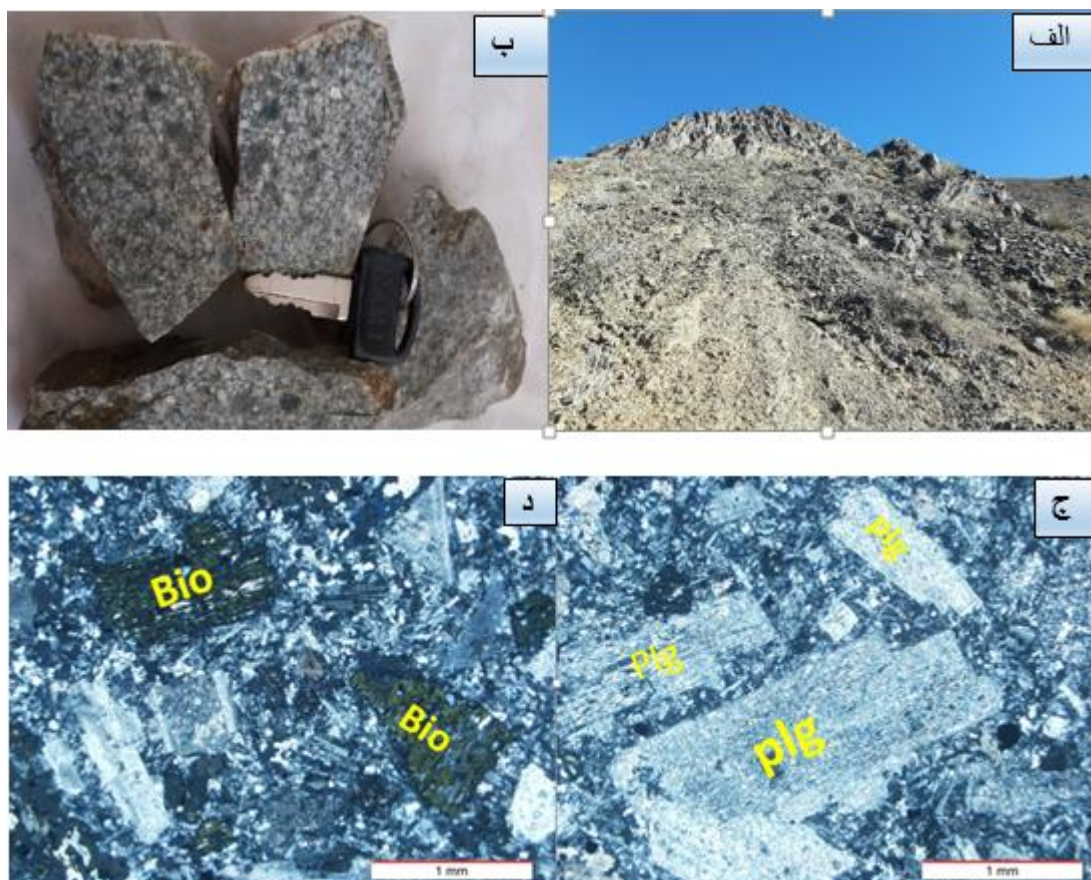


شکل ۳-۶-الف) نمایی از سنگ‌های تراکی آندزیتی منطقه گندی، ب) نمای نزدیک نمونه دستی سنگ‌های تراکی آندزیتی منطقه گندی، ج و د) بیوتیت‌های کلریتی و پلاژیوکلازهای سربستی شده موجود در نیمه-نفوذی‌های تراکی آندزیتی منطقه گندی (PPL) و (XPL)، و ه) بافت هیالومیکرولیتی پورفیری و رگه کوارتز در نمونه سنگ تراکی آندزیتی منطقه گندی (XPL). (علائم اختصاری: پلاژیوکلاز: plg، بیوتیت: Bio، کوارتز: Qtz)

۳-۳-۲- سنگ‌های دیوریتی

اگرچه این سنگ‌ها بافت دانه‌ای و یا گرانولار مشخصی را نشان نمی‌دهد و غالباً ماهیت پورفیری-میکرولیتی دارند، اما با توجه به شواهد صحرایی و ویژگی‌های کانی‌شناختی، این سنگ‌ها را در حد دیوریت نامگذاری می‌شوند. کانی‌های اصلی شامل پلاژیوکلاز هم به صورت درشت‌بلور و هم ریزبلور، بلورهای درشت بیوتیت و هورنبلند می‌باشد (شکل ۳-۷). آکالی فلدسپار نیز در حد ناچیزی مشاهده می‌شود. کانی‌های دگرسانی شامل کلریت، کلسیت، اپیدوت و به مقدار خیلی ناچیزی کوارتز ثانویه

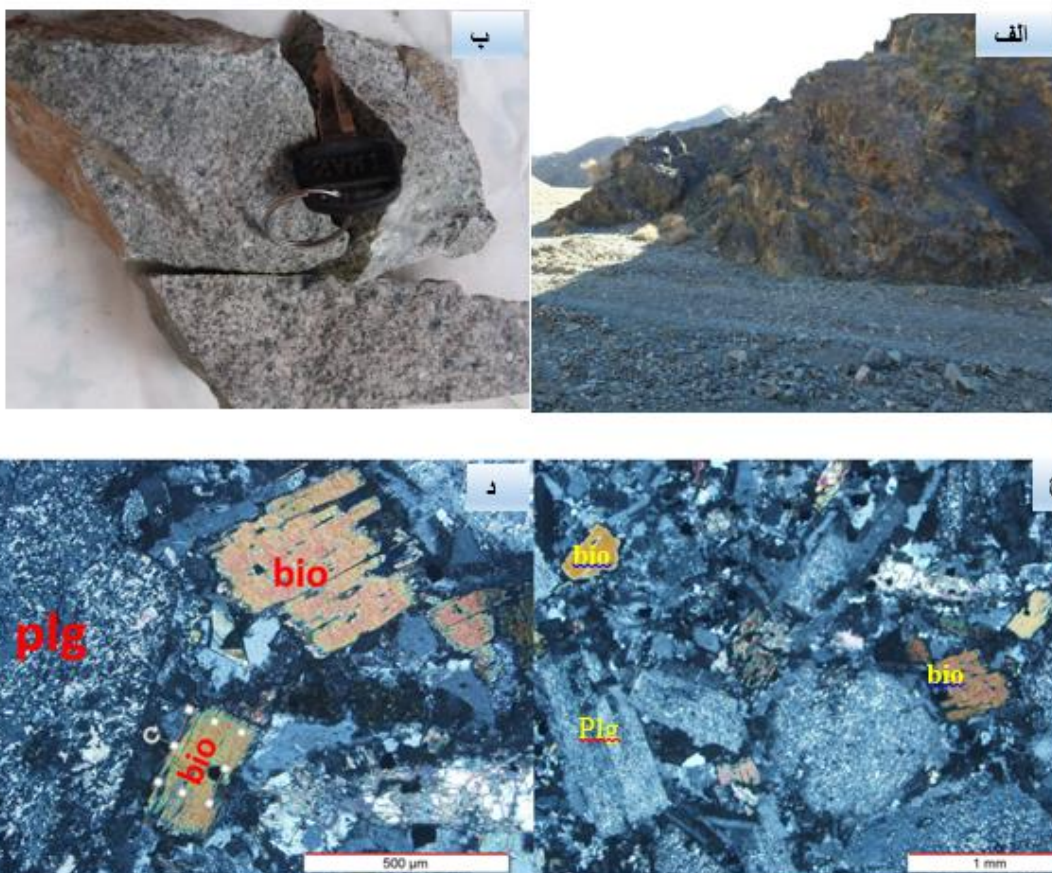
هستند.



شکل ۷-۳-الف) دورنمایی از توده دیوریتی منطقه گندی (دید به سمت شمال غرب)، ب) نمونه دستی دیوریت منطقه گندی، ج) درشت بلورهای سریسیتی شده پلاژیوکلاز در دیوریت منطقه گندی (XPL)، و د) بیوتیت‌های کلریتی شده در دیوریت‌های منطقه (XPL). (علائم اختصاری: پلاژیوکلاز: plg، بیوتیت: Bio)

۳-۳-۳- سنگ‌های گرانودیوریتی

این سنگ از نظر بافتی کاملاً دانه‌ای بوده و ماهیت درونی (پلوتونیک) خود را نشان می‌دهد. کانی‌های اصلی سازنده این سنگ‌ها پلاژیوکلاز با درصد خیلی بالا، مقادیر قابل ملاحظه‌ای بیوتیت، و در مقادیر کمتر دارای آلکالی‌فلدسپار و هورنبلند هستند. کوارتز نیز در ترکیب کانی‌شناسی این سنگ دیده می‌شود که بخش اعظم این کوارتزها ثانویه می‌باشد. کانی‌های ثانویه شامل کلسیت، کوارتز، سریسیت، اپیدوت، کلریت و اکسیدهای آهن می‌باشد (شکل ۳-۸).

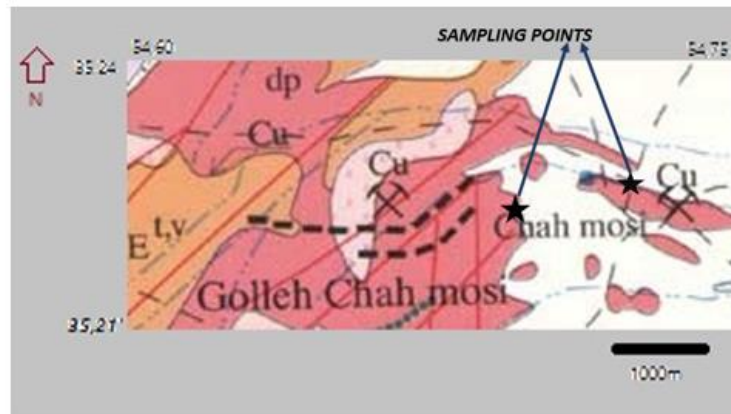


شکل ۳-۸- الف) نمایی از سنگ‌های گرانودیوریتی منطقه گندی (دید به سمت جنوب شرق)، ب) تصویر نمونه دستی گرانودیوریت، ج) بافت دانه‌ای (گرانولار) موجود در گرانودیوریت (XPL)، و د) بلورهای درشت بیوتیت کلریتی شده و پلاژیوکلازهای سریسیتی شده در گرانودیوریت منطقه گندی (XPL).

۳-۴- پتروگرافی سنگ‌های منطقه چاه موسی

کمان ماگمایی طرود-چاه‌شیرین که منطقه چاه موسی در آن واقع شده است، با روند شمال شرقی - جنوب غربی به صورت یک فرازمین در حاشیه شمالی کویر مرکزی قرار دارد. قدیمی ترین واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه مورد مطالعه به سن ائوسن و شامل مجموعه‌ای از ماسه‌سنگ توفی، توف برش داسیتی، توف داسیتی، گدازه‌های پیروکسن آندزیت، توف آندزیتی داسیتی، برش توفی-برش گدازه و ماسه‌سنگ است. براساس تقسیم‌بندی هوشمندزاده و همکاران (۱۳۵۷)، به ترتیب برش‌های آتشفشانی زیرین، و روی آنها داسیت‌های برشی ضخیم‌لایه و سپس مجموعه‌ای از آندزیت و تناوبی از برش توف و برش گدازه آندزیتی قرار دارند (امام جمعه و همکاران، ۱۳۸۴؛ امام جمعه، ۱۳۸۵). این

توده‌ها واحدهای سنگی ائوسن (برش‌های آتشفشانی زیرین و بالایی) را قطع می‌کنند و به‌نظر هوشمندزاده و همکاران (۱۳۵۷) سنی در حدود ائوسن پسین-الیگوسن پیشین دارند (شکل ۳-۹).

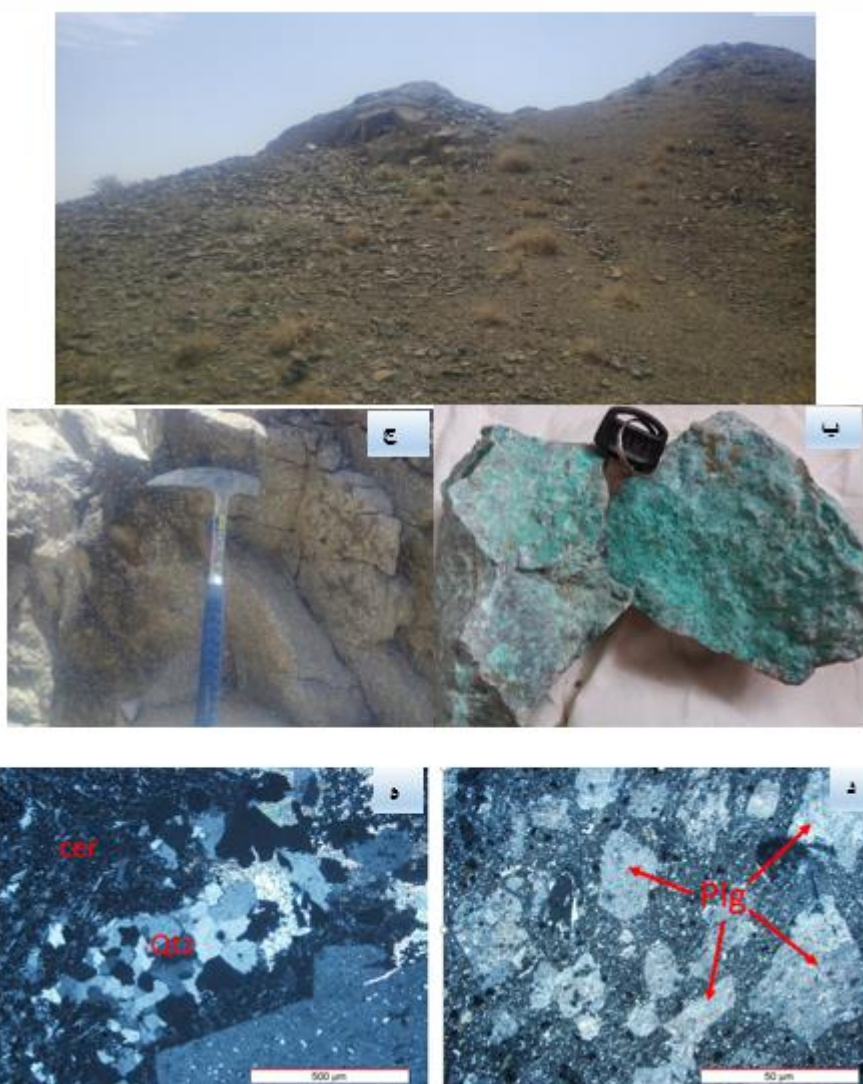


Quaternary	□	Q ^{t2} : Yong terraces
Upper Eocene	■	Dp: Quartz trachyandesite, trachyandesite, quartz latite
Lower Eocene	■	E ^{lv} : intermediate to basic marine lavas and volcanoclastic rocks: andesite, andesitic dacite,

شکل ۳-۹- نقشه زمین‌شناسی منطقه چاه‌موسی برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵).

۳-۴-۱- سنگ‌های تراکی آندزیتی

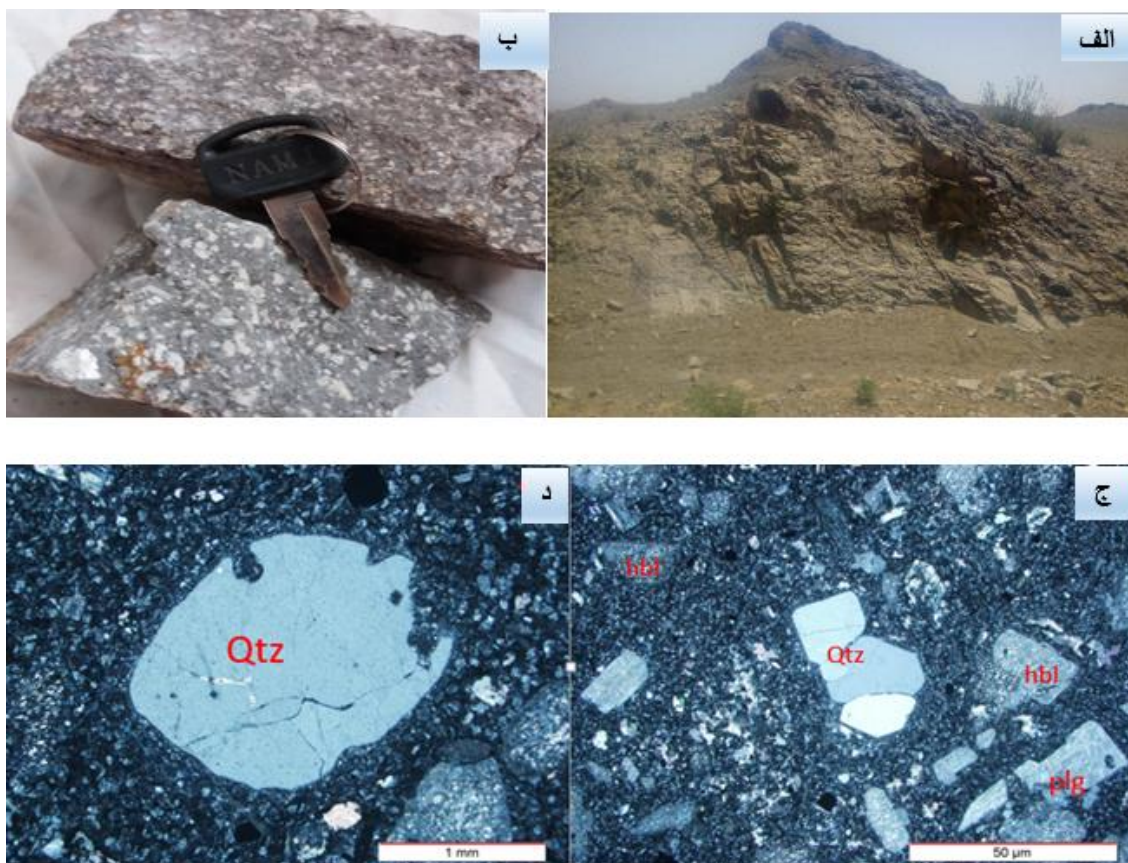
این سنگ‌ها بافت پورفیری با زمینه‌ی میکرولیتی ریزدانه نشان می‌دهند. کانی‌های میکرولیتی کمی جهت‌یافتگی دارند. کانی‌های اصلی شامل پلاژیوکلاز، کوارتز و هورنبلند است. سنگ درجات پایین تا متوسطی از دگرسانی را متحمل شده است. کانی‌های دگرسانی شامل کلسیت، کوارتز و کلریت است (شکل ۳-۱۰).



شکل ۳-۱۰-الف) دورنمایی از توده تراکی آندزیتی منطقه چاه موسی (دید به سمت شرق)، ب) کانه‌زایی مس در میزبان آندزیتی، ج) نمای نزدیک از سنگ‌های تراکی آندزیتی، د) درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز در زمینه میکروولیتی در سنگ‌های تراکی آندزیتی (XPL)، و ه) کوارتزهای ثانویه حاصل از دگرسانی با بافت گلوپوروفیری در زمینه‌ی سریسیتی (XPL). (علائم اختصاری: پلاژیوکلاز: plg، کوارتز: Qtz)

۳-۴-۲- سنگ‌های داسیتی

این سنگ‌ها بافت پورفیری-میکروولیتی نشان می‌دهند و در زمره‌ی سنگ‌های خروجی جای دارند. کانی‌های اصلی سازنده‌ی این واحد درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز، هورنبلند و به مقدار زیاد کوارتز می‌باشد، و کانی‌های حاصل از دگرسانی شامل کلسیت، کوارتز، کلریت و سریسیت هستند (شکل ۳-۱۱).

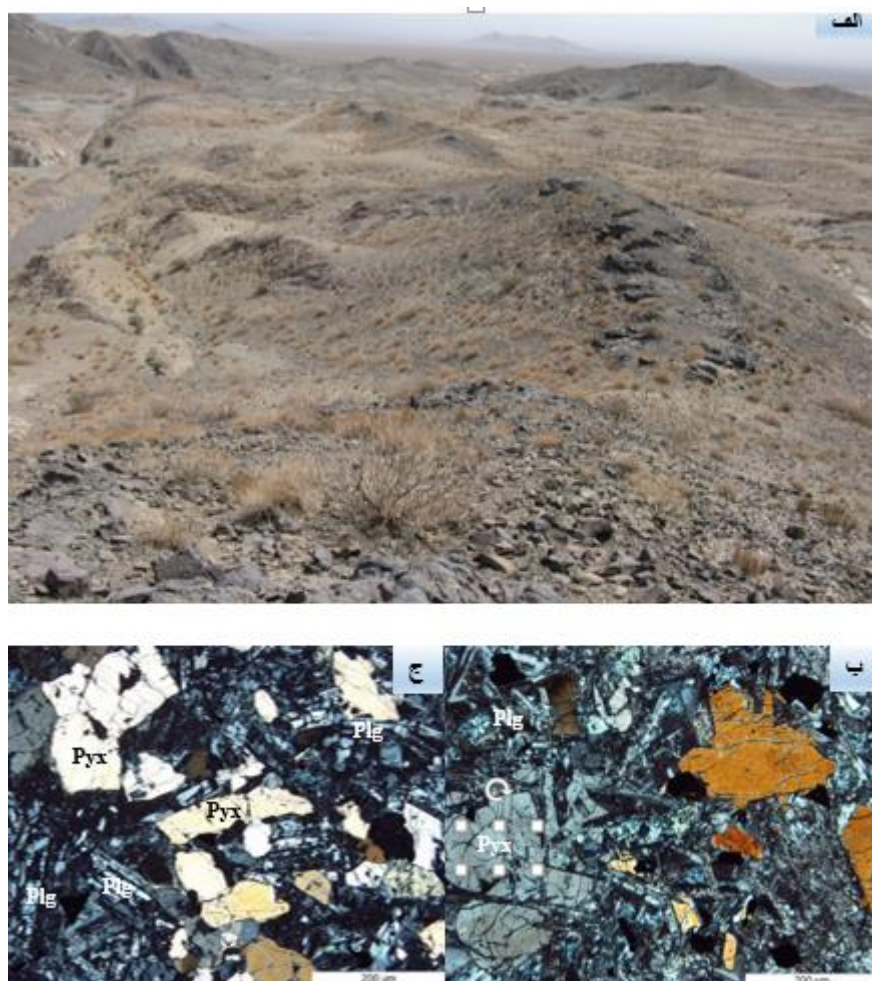


شکل ۳-۱۱- الف) دورنمایی از سنگ داسیتی، ب) تصویر نمونه دستنی داسیت، ج) درشت بلورهای کوارتز، هورنبلند و پلاژیوکلاز در زمینه میکروولیتی موجود در سنگ داسیتی (XPL)، و د) بافت خلیج خوردگی در کوارتزهای درشت موجود در داسیت منطقه چاه موسی (XPL). (علائم اختصاری: پلاژیوکلاز: plg، هورنبلند: hbl، کوارتز: Qtz)

۳-۴-۳- سنگ‌های گابرو دیوریتی

در منطقه معدنی چاه موسی، سنگ‌های گابرو دیوریتی را می‌توان به شکل دایک و استوک‌های کوچک که سنگ‌های مونزونیتی را قطع نموده‌اند، مشاهده نمود (شکل ۳-۱۲). این دایک‌ها با رنگ سبز متمایل به خاکستری خود در منطقه چاه موسی و مناطق دیگر نسبت به سنگ‌های مونزونیتی اطراف خود قابل شناسایی هستند. پلاژیوکلاز، پیروکسن و هورنبلند مهمترین کانی‌های سازنده این سنگ‌ها هستند. الیون به مقدار کم در آنها یافت می‌شود. آپاتیت، زیرکن و مگنتیت کانی‌های فرعی آنها هستند. کلریت، اسفن ثانویه، اکسیدهای آهن و اپیدوت کانی‌های دگرسانی می‌باشند. در مقاطع نازک تهیه شده از این سنگها تنوع بافتی نسبتاً قابل ملاحظه‌ای از قبیل بافت‌های گرانولار، میکروگرانولار، افتیک، ساب افتیک

و پورفیری مشاهده می‌شوند.

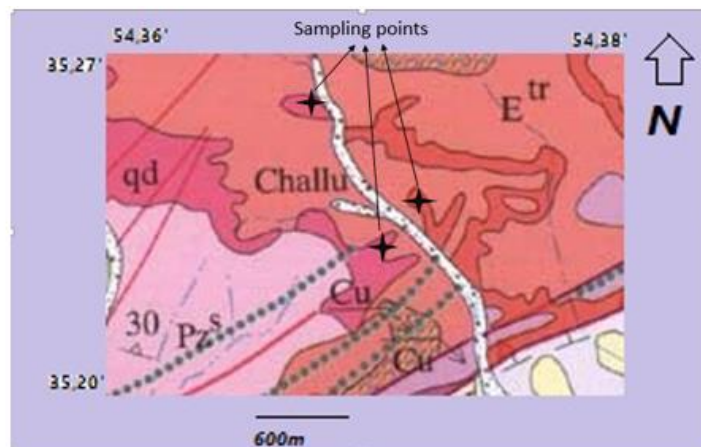


شکل ۳-۱۲- الف) تصویری از دایک گابرو دیوریتی که سنگهای مونزونیتی را قطع کرده است (معدن مس- چاه موسی)، ب) بافت دانه‌ای به همراه بلورهای اوژیت، پلاژیوکلاز و الیوین در گابروهای منطقه (XPL)، و ج) بافت افلیک متشکل از پلاژیوکلاز و پیروکسن در دایک‌های گابرویی منطقه چاه موسی (XPL). (علائم اختصاری : پلاژیوکلاز: plg، پیروکسن : pyx)

۳-۵- پتروگرافی سنگ‌های منطقه چالو

کانسار آهن چالو در جنوب شهرستان دامغان و در نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان قرار دارد. این کانسار بین طول‌های جغرافیایی $54^{\circ}32'$ تا $54^{\circ}40'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $35^{\circ}20'$ تا $35^{\circ}25'$ شمالی قرار گرفته است. قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه‌ی چالو دارای سن ائوسن میانی-بالایی هستند که شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب تراکی آندزیتی، تراکی آندزیت بازالتی، کمی آندزیت-

داسیت، بازالت اسپلیتی، کراتوفیر (تراکی آندزیت، بازالت، کمی داسیت و آندزیت)، همراه با افق‌هایی از ماسه‌سنگ و سنگ‌های آتشفشانی-تخریبی می‌باشد. این واحدها توسط توده‌های نفوذی عمیق تا نیمه‌عمیق با ترکیب کوارتز دیوریت، مونزونیت، داسیت و آندزیت-داسیتی به سن ائوسن-الیگوسن قطع شده اند (اشراقی و جلالی ۱۳۸۵)، (شکل ۳-۱۳).

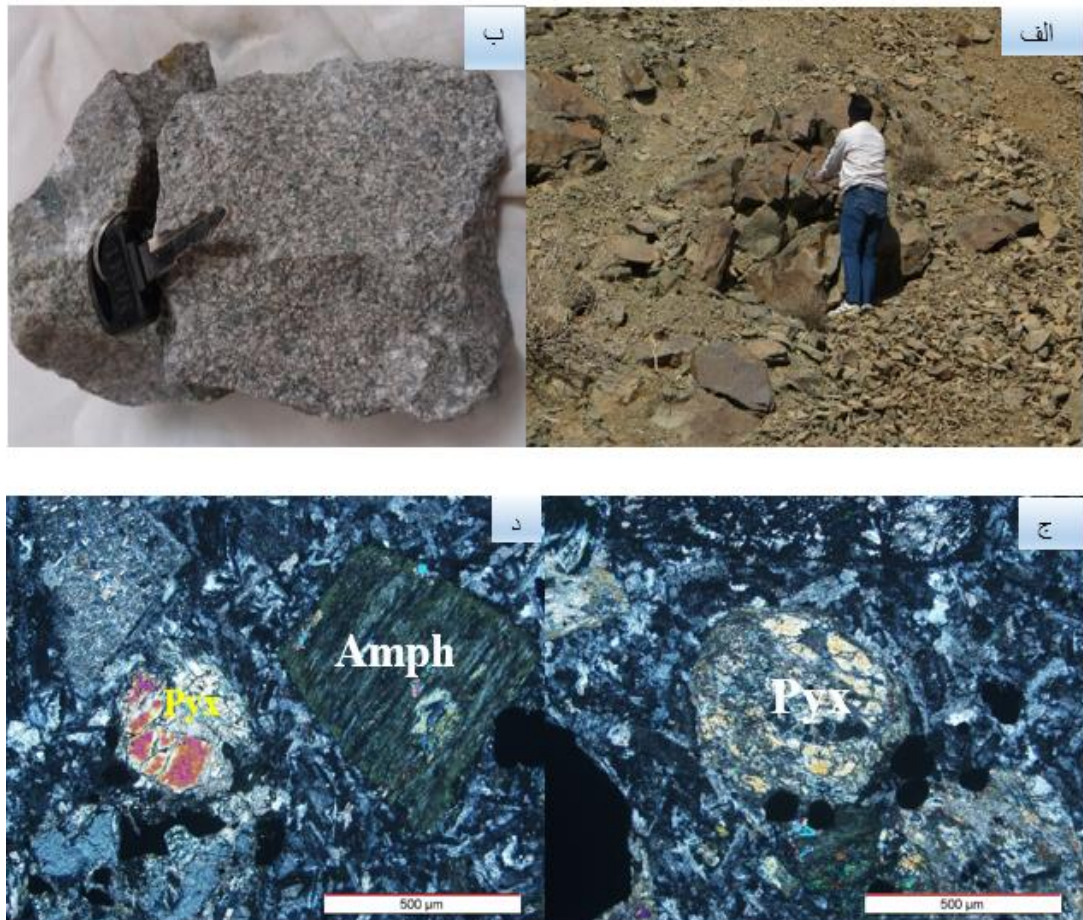


- Upper Eocene Qd: quartz diorite
- Middle Eocene Et: trachyandesitic rocks, massive basaltic trachyandesite & andesite-dacite
- Permian Pzs: grey to dark grey schist, minor green schist

شکل ۳-۱۳- نقشه زمین‌شناسی منطقه چالو برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵).

۳-۵-۱- سنگ‌های دیوریتی

این سنگ‌ها بافت پورفیری-میکرولیتی دارند، که حکایت از حالت نیمه خروجی آنها است. کانی-های اصلی شامل پلاژیوکلاز، هورنبلند، و پیروکسن می‌باشند. در این سنگ‌ها دگرسانی درجه متوسط تا بالایی مشاهده می‌شود و کانی‌های دگرسانی شامل کلریت، سیریسیت، مسکوویت و اپیدوت می‌باشند (شکل ۳-۱۴).

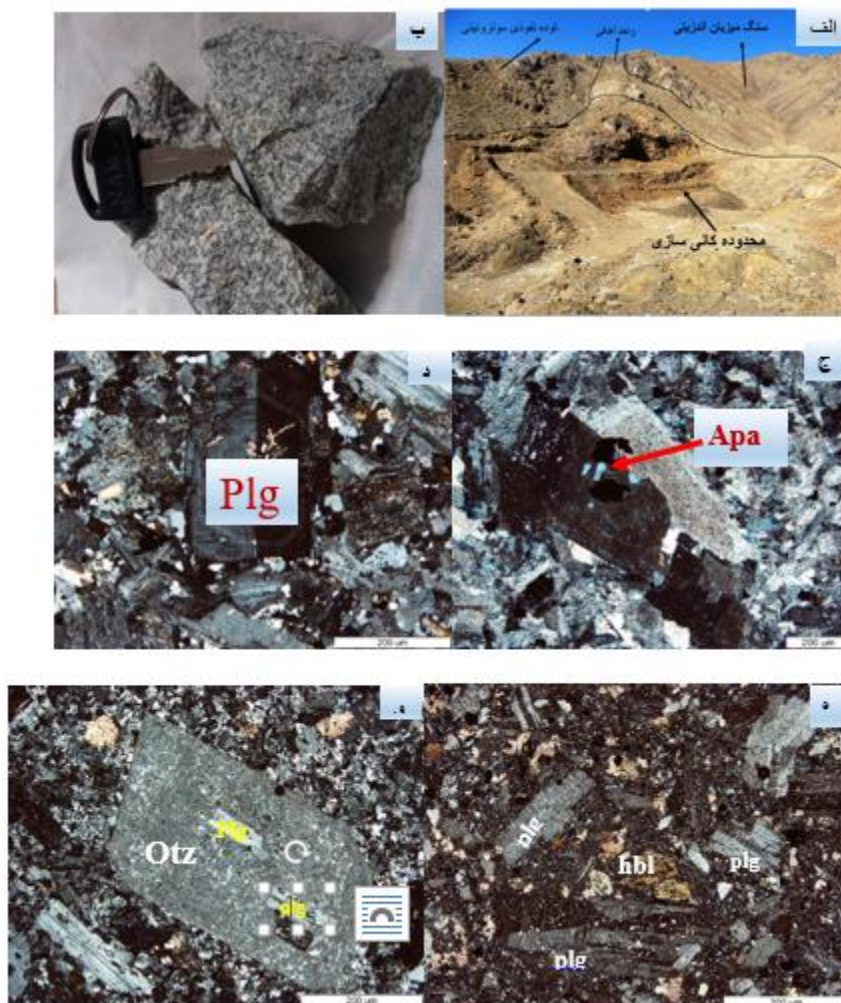


شکل ۳-۱۴- الف) دورنمایی از توده دیوریتی منطقه چالو، ب) تصویری از نمونه دستی سنگ دیوریتی، ج) حضور پیروکسن درشت بلور در زمینه میکرولیتی نمونه دیوریتی (XPL)، و د) بافت پورفیری-میکرولیتی و حضور بلورهای پیروکسن و پلاژیوکلاز در توده دیوریتی چالو (XPL). (علائم اختصاری: آمفیبول: Amph، پیروکسن: pyx)

۳-۵-۲- سنگ‌های مونزونیتی

این سنگ‌ها غالباً به صورت استوک و یا دایک در منطقه حضور دارند. از آنجائیکه این استوک‌ها به شکل توده‌های نفوذی نیمه عمیق هستند، می‌توان ترکیبی از ویژگی‌های سنگ‌های آذرین بیرونی و درونی را در مقاطع نازک مشاهده کرد. به همین خاطر در نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ و ۱/۱۰۰۰۰۰ طرود و معلمان گاهی از این سنگ‌ها با معادل‌های بیرونی و گاهی اسامی معادل‌های درونی برای آنها استفاده شده است. مونزونیت‌ها بافت‌های متنوعی از قبیل گرانولار، میکروگرانولار، پورفیری و پورفیروئیدی، و گرافیکی نشان می‌دهند. کانی‌های اصلی شامل پلاژیوکلاز، آلكالی فلدسپار، کوارتز،

هورنبلند و بیوتیت هستند (شکل ۳-۱۵). کانی‌های فرعی شامل تورمالین، آپاتیت و مگنتیت می‌باشند. دگرسانی‌های درجه پایینی از نوع سریسیتی، کلریتی، اپیدوتی و کلسیتی در این سنگ‌ها قابل مشاهده است.



شکل ۳-۱۵- الف) نمایی از محدوده معدنی منطقه چالو و موقعیت توده نفوذی مونزونیتی، ب) تصویر نمونه دستی توده مونزونیتی چالو، ج) حضور آپاتیت در پلاژیوکلازهای سنگ‌های مونزونیتی (XPL)، د) ساخت منطقه‌بندی در پلاژیوکلازهای موجود در مونزونیت‌های منطقه که نشان از عدم تعادل شیمیایی دارد (XPL)، ه) حضور هورنبلند در مرکز و پلاژیوکلازها در اطراف در سنگ‌های مونزونیتی که در حال تجزیه هستند (XPL)، و و)، در سنگ‌های مونزونیتی آلکالی فلدسپار، پلاژیوکلازها را دربر گرفته، که نشان از یک فاز تاخیری است (XPL). (علائم اختصاری: پلاژیوکلاز: plg، هورنبلند: hbl، کوارتز: Qtz، آپاتیت: Apa)

فصل چهارم:

ژئوسمپی

چگونگی توزیع و پراکندگی عناصر مختلف در محیط‌های سنگی هر منطقه و تشخیص ارتباط و وابستگی آنها با یکدیگر از مهم‌ترین جنبه‌هایی است که همواره در مطالعات ژئوشیمیایی مد نظر قرار می‌گیرند. پس از بررسی‌های زمین‌شناسی صحرایی و سنگ‌نگاری، مطالعه ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است، بطوریکه بدون تجزیه‌های شیمیایی نمی‌توان تفسیر درست و کاملی از منشاء و پتروژنز سنگ‌ها ارائه داد. امروزه قوی‌ترین ابزار برای تشریح منشاء و تحول سنگ‌ها علم ژئوشیمی است. بر اساس نظر گلدشمیت (۱۹۵۴)، مطالعات ژئوشیمی اهداف اصلی زیر را دنبال می‌کند:

- تعیین فراوانی نسبی و مطلق عناصر و گونه‌های اتمی (ایزوتوپ‌ها) در زمین.
 - مطالعه توزیع و مهاجرت عناصر در بخش‌های گوناگون کره زمین (اتمسفر، هیدروسفر، لیتوسفر و...)، کانی‌ها و سنگ‌ها با هدف کشف قوانین و اصول حاکم بر توزیع و مهاجرت آن‌ها و بررسی رفتار عناصر در محیط‌های گوناگون.

هدف اصلی تحقیق حاضر، تفکیک و تمایز توده‌های نفوذی بارور (مولد) از انواع نابارور (غیرمولد) منطقه طرود- چاه شیرین بر پایه شاخص‌های ژئوشیمیایی آنها است. لازمه انجام این پژوهش مهم، وجود و یا تولید داده‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی، کمیاب و کمیاب خاکی با دقت و صحت بالا از سنگ‌های آذرین منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در محور طرود- چاه شیرین بدلیل اهمیت معدنی آن، مطالعات زمین‌شناسی، اکتشافی و پژوهشی زیادی انجام پذیرفته است، و در راستای این تحقیقات داده‌های ژئوشیمیایی فراوانی نیز تولید شده است. از این داده‌ها بنا به اهداف پژوهشی و کاربردی که توسط پیشینیان تعریف شده بود، استفاده شده است. جستجو و بررسی تحقیقات پژوهشی و کاربردی پیشینیان در منطقه طرود- چاه شیرین نشان می‌دهد که بکارگیری داده‌های ژئوشیمیایی برای تفکیک و تمایز توده‌های نفوذی بارور و نابارور در این منطقه انجام نشده است. از آنجایی که برخی از داده‌های ژئوشیمیایی موجود از درجه اعتبار بالایی برخوردار هستند و در چارچوب کارهای پژوهشی مهم و در

آزمایشگاه های طراز اول دنیا (از قبیل ACME و ...) تولید شده است، و از این داده ها تابحال برای هدف پژوهش حاضر (تفکیک توده های بارور و نابارور) استفاده نشده است، و اینکه تولید دوباره این داده ها در آزمایشگاه های خارجی مستلزم صرف هزینه زیاد و خروج ارز از کشور می گردد، از اینرو تصمیم نهایی بر این شد که در هماهنگی با دستگاه ها، اشخاص و نگارندگان رساله های دکتری و پایان نامه های کارشناسی ارشد و با ذکر منابع از داده های موجود برای اهداف ژئوشیمیایی تحقیق حاضر استفاده شود.

۴-۲- نمونه برداری و تجزیه نمونه های سنگ

باتوجه به وجود داده های آنالیزی در دسترس از واحدهای نفوذی و نیمه نفوذی منطقه مورد مطالعه، که توسط محققین پیشین تهیه شده است، و ازطرف دیگر به دلیل محدودیت های مالی در تحقیق حاضر از داده های آنالیزی ایشان با ذکر مرجع استفاده شده است. تعداد ۲۲ نمونه از سنگ های آذرین انتخاب و جهت تعیین میزان عناصر اصلی، کمیاب و کمیاب خاکی در آزمایشگاه ژئوشیمی ACME کانادا به روش ICP-MS تجزیه و نتایج بدست آمده توسط نرم افزارهای مختلف پترولوژیکی مورد پردازش قرار گرفته اند (جدول ۴-۱، خواجه زاده ۱۳۸۸). نمونه ها برای آنالیز به روش ICP-MS در ابتدا تا حد زیر ۲۰۰ مش آسیاب شده و در ادامه توسط روش های اسید شویی به صورت محلول در آمده و مورد آنالیز قرار گرفته اند.

روابط ژئوشیمیایی سنگ ها و نتیجه گیری صحیح بر مبنای این روابط، به صحت و دقت داده های ژئوشیمیایی وابسته است. هر چند در طی آماده سازی نمونه ها و تجزیه شیمیایی آنها، منابع و فرایندهایی موجب بروز خطاهایی می شود که عملاً به صفر رساندن آنها غیر ممکن است. لیکن آگاهی از این عوامل و به حداقل رساندن آنها، می تواند در ارائه تفسیر و اظهار نظر صحیح محقق تأثیر بسزایی داشته باشد. مهم ترین این فرایندها به نقل از رولینسون (۱۹۹۳)، عبارتند از:

- ۱- آلاینش در خلال پودرکردن، ۲- آلاینش در طبیعت، ۳- خطاهای ناشی از کالیبراسیون و ۴- خطاهای ناشی از همپوشی پیک ها.

جدول ۴-۱- مختصات مکانی، موقعیت جغرافیایی و نوع نمونه های سنگ که برای تجزیه های شیمیایی انتخاب شده اند (خواجه زاده، ۱۳۸۸)

منطقه	نوع سنگ*	مختصات مکانی (UTM)		شماره نمونه
		عرض شمالی	طول شرقی	
جنوب کلاته جعفر	گرانیت	۳۵۲۲۰۳۱	۵۴۳۰۰۲۸	Km-01
شمال شرق سوسنوار	گابرو	۳۵۲۱۳۹۸	۵۴۳۳۱۰۰	Km-02
	گابرو	۳۵۱۹۱۶۷	۵۴۳۴۰۷۵	Km-03
شمال - شمال غرب سوسنوار	گابرو	۳۵۱۹۴۷۸	۵۴۳۲۲۹۶	Km-04
	مونزونیت	۳۵۱۹۴۷۸	۵۴۳۲۲۹۶	Km-05
	گرانودیوریت	۳۵۲۰۱۱۴	۵۴۳۲۱۴۶	Km-06
کانسار مس پوسیده	گرانیت	۳۵۲۴۱۱۲	۵۴۴۳۳۱۳	Km-07
	مونزونیت	۳۵۲۱۴۳۴	۵۴۳۳۰۹۸	Km-08
کانسار مس چاه موسی	گابرو	۳۵۲۹۷۷۷	۵۴۵۲۱۶۱	Km-09
	گرانیت	۳۵۲۹۷۷۷	۵۴۵۲۱۶۱	Km-10
	مونزونیت	۳۵۲۹۷۷۷	۵۴۵۲۱۶۱	Km-11
	گابرو	۳۵۲۹۰۲۶	۵۴۵۲۰۱۶	Km-12
	گابرو	۳۵۲۹۰۲۶	۵۴۵۲۰۱۶	Km-13
	گابرو	۳۵۲۹۷۷۷	۵۴۵۲۱۶۱	Km-14
کانسار فلزات پایه و گرانبهای چشمه حافظ	مونزونیت	۳۵۲۷۱۷۱	۵۴۳۳۱۰۰	Km-15
	مونزونیت	۳۵۲۷۱۸۹	۵۴۳۳۱۰۰	Km-16
کانسار فلزات پایه و گرانبهای گندی - چالو	مونزونیت	۳۵۲۲۲۳۷	۵۴۳۴۱۵۵	Km-17
	مونزونیت	۳۵۲۲۴۲۴	۵۴۳۰۴۰۰	Km-18
	مونزونیت	۳۵۲۲۳۴۱	۵۴۳۵۱۲۶	Km-19
کانسار مس - طلای کوه زر	مونزونیت	۳۵۲۷۲۱۵	۵۴۳۳۴۷۰	Km-20
	گرانیت	۳۵۲۷۳۸۵	۵۴۳۹۲۲۹	Km-21
	گرانیت	۳۵۲۷۳۸۵	۵۴۳۹۲۲۹	Km-22

* نوع سنگ بر اساس نمودارهای طبقه بندی ژئوشیمیایی سنگهای آذرین.

۴-۳- ژئوشیمی

مقادیر غلظت عناصر اصلی، کمیاب و خاکی کمیاب برای ۲۲ نمونه سنگ آذرین درونی از منطقه طرود- چاه شیرین بترتیب در جدول های (۴-۲)، (۴-۳) و (۴-۴) داده شده است. از داده های ژئوشیمیایی برای نامگذاری و طبقه بندی شیمیایی سنگ ها، تعیین سری ماگمایی، محیط زمین ساختی

پیدایش، پتروژنز، تفکیک توده های بارور از انواع نابارور و ... استفاده می شود. لازم به ذکر است بسیاری از نمودارها برای مطالعه ژئوشیمیایی سنگ های آذرین، بر اساس مجموع ۱۰۰ درصد مقادیر اکسید عناصر اصلی بدون L.O.I. طراحی شده اند، بنابراین لازم است که مقادیر اکسید عناصر اصلی نمونه ها بدون در نظر گرفتن مقدار L.O.I. به ۱۰۰ رسانده شود. در تحقیق حاضر این تصحیحات بر اساس داده های جدول (۴-۲) و قبل از انجام پردازش ها انجام شده است.

عناوین مطالعات ژئوشیمیایی که در این فصل به آنها پرداخته می شود، بصورت ذیل می باشد:

- نام گذاری شیمیایی سنگ های آذرین نفوذی و نیمه نفوذی.
- تعیین سری ماگمایی سنگ های نفوذی و نیمه نفوذی.
- بررسی ژئوشیمیایی تغییرات عناصر اصلی، کمیاب و خاکی کمیاب در سنگ های آذرین منطقه.
- تعیین جایگاه تکتونیکی سنگ های نفوذی و نیمه نفوذی منطقه.

جدول ۴-۲-مقادیر غلظت اکسید عناصر اصلی (درصد وزنی) برای ۲۲ نمونه سنگ آذرین درونی از منطقه
 طرود- چاه شیرین (خواجه زاده، ۱۳۸۸).

عنصر	KM۰۱	KM۰۲	KM۰۳	KM۰۴	KM۰۵	KM۰۶	KM۰۷	KM۰۸	KM۰۹	KM ۱۰	KM۱۱
SiO _۲	45.36	45.52	47.22	46.97	47.45	48.34	49.11	56.71	57.34	578.41	57.51
Al _۲ O _۳	15.72	16.34	15.3	16.92	17.44	18.06	14.95	14.85	14.96	17.12	16.78
Fe _۲ O _۳	5.59	5.27	9.96	10.02	9.36	7.86	9.39	7.24	7.26	7.19	5.53
MnO	0.16	0.09	0.29	0.24	0.15	0.13	0.17	0.2	0.2	0.13	0.09
MgO	3.32	2.02	7.58	6.64	6.06	7	7.28	1.89	2.08	1.09	1.94
CaO	3.79	4.79	7.03	7.17	8.76	9.34	8.42	14.07	14.14	6.35	2.67
Na _۲ O	4.91	3.71	6.08	5.03	4.06	4.97	4.09	3.4	3.78	4.44	3.81
K _۲ O	3.68	2.48	0.56	0.77	1.28	1.03	1.78	0.96	0.94	3.12	2.25
TiO _۲	1.05	1.06	0.61	0.51	1.88	1.72	1.56	1.17	1.46	1.05	1.06
P _۲ O _۵	0.22	0.22	0.35	0.24	0.26	0.25	0.22	0.28	0.89	0.22	0.22
Cr _۲ O _۳	0.03	0.029	0.013	0.005	0.025	0.026	0.028	0.027	0.014	0.03	0.029
L.O.I.	10.61	8.6	5.03	6.39	3.19	3.12	3.87	3.95	3.92	10.61	8.6
عنصر	KM۱۲	KM۱۳	KM۱۴	KM۱۵	KM۱۶	KM۱۷	KM۱۸	KM۱۹	KM۲۰	KM ۲۱	KM۲۲
SiO _۲	59.87	60.48	60.71	60.73	60.85	62.14	62.65	62.81	62.63	65.11	67.96
Al _۲ O _۳	16.78	17.12	16.78	17.12	16.78	17.12	16.78	15.73	15.51	15.98	16.08
Fe _۲ O _۳	3.77	4.51	4.48	5.1	5.06	5.95	5.18	2.81	4.69	3.68	4.3
MnO	0.11	0.07	0.09	0.09	0.09	0.16	0.12	0.03	0.06	0.07	0.06
MgO	1.58	2.3	2.75	2.01	2.86	2.09	2.48	3.22	4.57	4.54	4.51
CaO	3.32	3.44	2.22	3.35	4.75	3.29	3.09	1.08	2.09	3.46	1.96
Na _۲ O	4.79	5.8	4.66	4.52	3.56	3.99	4.44	2.52	2.51	3.12	2.25
K _۲ O	2.94	5	2.57	2.12	4.25	3.35	4.45	4.2	3.84	3.19	4.76
TiO _۲	0.64	0.53	0.34	0.5	0.45	0.6	0.49	0.78	0.57	0.64	0.53
P _۲ O _۵	0.27	0.25	0.18	0.24	0.25	0.27	0.27	0.35	0.16	0.27	0.25
Cr _۲ O _۳	0.005	0.005	0.004	0.009	0.003	0.005	0.012	0.004	0.005	0.005	0.005
L.O.I.	0.86	3.93	4.94	2.7	3.99	5.07	1.44	2.03	4.56	0.86	3.93

جدول ۳-۴- مقادیر غلظت عناصر کمیاب (گرم در تن) برای ۲۲ نمونه سنگ آذرین درونی از منطقه طرود- چاه شیرین (خواجه زاده، ۱۳۸۸).

عنصر	KM ۰۱	KM ۰۲	KM ۰۳	KM ۰۴	KM ۰۵	KM ۰۶	KM ۰۷	KM ۰۸	KM ۰۹	KM ۱۰	KM ۱۱
Ba	156	158	557	522	176	283	190	285	441	156	158
Be	1	1	1	3	1	3	3	3	2	1	1
Co	17.9	15.6	9.6	9.4	10.6	7.6	14.1	8.9	10.9	17.9	15.6
Cs	1	1	0.3	1.5	0.9	1	12.3	2.1	0.2	1	1
Cu	63.5	88.4	78.2	6.2	96.6	76.3	66.2	42.9	333.1	63.5	88.4
Ga	14.9	14.4	17.5	16.6	17.5	18.4	16.1	18.8	18.4	14.9	14.4
Hf	2.6	2.6	4.3	2.1	4.2	4.1	3	2.3	3.4	2.6	2.6
Mo	0.4	1.5	0.8	0.5	1	0.8	0.6	0.7	0.3	0.4	1.5
Nb	4.3	4.4	8.4	7.3	8.2	7.2	6.1	11.4	17.1	4.3	4.4
Ni	55.5	18.9	24.6	16.4	25.9	27.2	27.9	26.5	45.8	55.5	18.9
Pb	43.3	11.6	3.3	17.8	4.4	2.3	3.4	1.5	5.2	43.3	11.6
Rb	14.5	14.3	62.9	45.3	15.1	19.3	33.4	17.7	30.4	14.5	14.3
Sc	29	29	14	11	33	29	31	32	23	29	29
Sn	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	1
Sr	568.4	553.2	536.2	824.9	893.6	857.6	927.4	752.9	1157.4	756.4	545.2
Ta	0.3	0.3	0.5	0.5	0.6	0.5	0.6	0.8	0.9	0.3	0.3
Th	1.8	1.8	8.8	3.2	2	1.7	1.6	1.1	3.6	1.8	1.8
U	0.5	0.6	3.2	1	0.7	0.6	0.4	0.4	0.9	0.5	0.6
V	199	198	173	122	240	223	216	214	293	199	198
W	0.5	0.5	1.2	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5
Y	20.4	19.8	16.3	7.3	28.8	26.3	23.1	18.4	15.5	20.4	19.8
Zn	66	31	109	135	60	51	58	41	54	66	31
Zr	115.3	112.3	156.7	70.5	169.3	141.2	125.1	86.7	130.8	115.3	112.3
عنصر	KM ۱۲	KM ۱۳	KM ۱۴	KM ۱۵	KM ۱۶	KM ۱۷	KM ۱۸	KM ۱۹	KM ۲۰	KM ۲۱	KM ۲۲
Ba	447	391	518	553	461	141	558	609	568	447	391
Be	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1
Co	34.1	34.3	16.2	15.9	37.9	33.6	33.9	26.9	32.5	34.1	34.3
Cs	3.4	1.1	1.8	0.8	1.5	0.7	1.1	0.8	1.9	3.4	1.1
Cu	114.5	24.5	139.7	88.4	57.7	2.5	45.5	7.9	49.5	114.5	24.5
Ga	16.9	16.6	16.6	16.2	16.6	20	17.6	19.5	15.4	16.9	16.6
Hf	3.7	2.1	2.5	5.9	2.8	4.9	4.3	5.4	5.1	3.7	2.1
Mo	1.3	0.5	0.2	1.5	0.4	1	1.3	0.6	1.7	1.3	0.5
Nb	7.6	7	10.1	12.2	9.3	16.8	7.6	20.4	10	7.6	7
Ni	8.3	17.8	10.4	18.9	11.9	5.8	17	4.9	8.3	8.3	17.8

Pb	4	10.9	1.8	11.6	4.7	1.5	5.7	22.6	1.7	4	10.9
Rb	80.7	36.6	60.7	114.8	43.6	66.7	100.2	79.6	99.7	80.7	36.6
Sc	16	12	5	10	7	7	11	10	12	16	12
Sn	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1
Sr	840.4	824	343.6	755.1	580.9	434.6	912.2	853.2	342.2	840.4	824
Ta	0.5	0.4	0.7	1	0.6	1	0.5	1.1	0.7	0.5	0.4
Th	8.5	2.7	4.5	15.3	4.1	8.2	9.1	10.2	11.3	8.5	2.7
U	2.8	0.9	1.3	4.5	1.2	2.5	2.9	3.2	3.1	2.8	0.9
V	195	145	76	113	98	81	133	94	111	195	145
W	1.3	0.5	0.6	2.4	0.5	1	1.5	1.1	1.5	1.3	0.5
Y	15.7	7.7	7.9	14.5	7.6	16.4	13.9	20.3	17.7	15.7	7.7
Zn	29	51	77	31	74	50	14	99	51	29	51
Zr	128	72.5	88.5	204.5	99.1	176.5	142.4	217.3	188.4	128	72.5

جدول ۴-۴- مقادیر غلظت عناصر خاکی کمیاب (گرم در تن) برای ۲۲ نمونه سنگ آذرین درونی از منطقه طرود- چاه شیرین (خواجه زاده، ۱۳۸۸).

عنصر	KM ۰۱	KM ۰۲	KM ۰۳	KM ۰۴	KM ۰۵	KM ۰۶	KM ۰۷	KM ۰۸	KM ۰۹	KM ۱۰	KM ۱۱
La	15.7	7.7	7.9	14.5	7.6	16.4	13.9	20.3	17.7	18.7	7.7
Ce	38.6	56.7	30.7	61.7	29.7	26.4	24	25.5	60.1	25.2	24.7
Pr	3.69	3.64	6.99	3.69	4.42	3.87	3.42	3.51	8.49	3.69	3.64
Nd	17.1	16.2	28.1	14.6	21.2	18	15.2	15.1	36.3	17.1	16.2
Sm	3.66	3.68	5.17	2.32	5.13	4.37	3.95	3.54	6.48	3.66	3.68
Eu	1.23	1.23	1.52	0.68	1.72	1.5	1.36	1.29	1.88	1.23	1.23
Gd	3.7	3.76	4.52	1.96	5.6	4.74	4.27	3.65	5.51	3.7	3.76
Tb	0.53	0.54	0.48	0.21	0.85	0.7	0.77	0.52	0.56	0.53	0.54
Dy	3.78	3.72	3.1	1.38	5.7	4.85	4.49	3.43	3.57	3.78	3.72
Ho	0.76	0.78	0.59	0.27	1.2	1	0.84	0.69	0.62	0.76	0.78
Er	2.22	2.28	1.63	0.81	3.34	2.8	2.41	1.9	1.71	2.22	2.28
Tm	0.32	0.34	0.25	0.11	0.5	0.41	0.38	0.27	0.23	0.32	0.34
Yb	2.17	2.11	1.68	0.75	3.07	2.59	2.31	1.72	1.48	2.17	2.11
Lu	0.32	0.31	0.25	0.12	0.47	0.4	0.35	0.27	0.22	0.32	0.31
عنصر	KM ۱۲	KM ۱۳	KM ۱۴	KM ۱۵	KM ۱۶	KM ۱۷	KM ۱۸	KM ۱۹	KM ۲۰	KM ۲۱	KM ۲۲
La	15.4	30.7	24.3	36.4	22.2	20.7	14.8	20.9	30.2	28.6	22.9
Ce	44.4	36.5	55.6	54.8	44.4	61.7	46.8	70.6	43.5	41	28.5

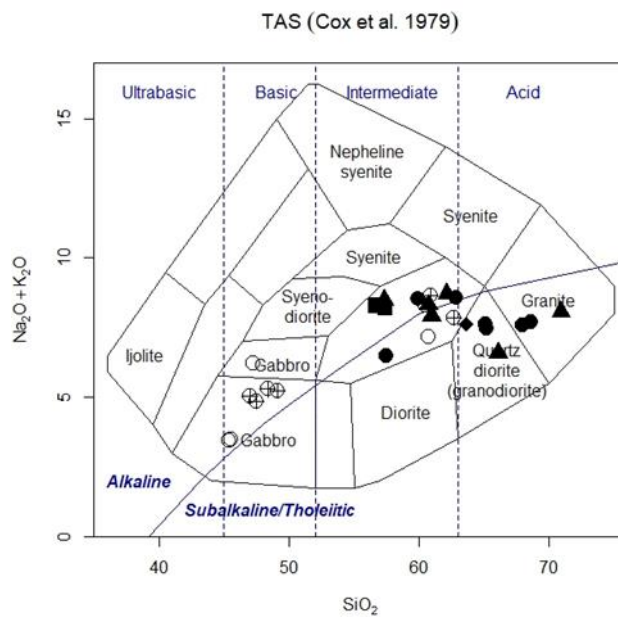
Pr	5.4	3.68	4.58	6.78	3.9	7.4	5.71	8.83	5.54	5.4	3.68
Nd	21.5	13.9	15.8	24.4	15.2	27.9	22.3	35.7	21.4	21.5	13.9
Sm	4.24	2.54	2.52	4.23	2.67	5.27	3.89	6.5	4.12	4.24	2.54
Eu	1.15	0.84	0.67	1.05	0.73	1.38	1.08	1.88	0.99	1.15	0.84
Gd	3.7	3.76	4.52	1.96	5.6	4.74	4.27	3.65	5.51	3.7	3.76
Tb	0.46	0.26	0.23	0.41	0.25	0.52	0.39	0.67	0.48	0.46	0.26
Dy	3.04	1.66	1.45	2.61	1.55	3.02	2.63	4.28	3.41	3.04	1.66
Ho	0.62	0.34	0.3	0.54	0.31	0.59	0.49	0.79	0.68	0.62	0.34
Er	1.83	0.91	0.77	1.58	0.88	1.55	1.35	2.29	2.01	1.83	0.91
Tm	0.28	0.13	0.12	0.25	0.13	0.23	0.21	0.33	0.32	0.28	0.13
Yb	1.82	0.83	0.79	1.67	0.87	1.56	1.41	2.19	2.15	1.82	0.83
Lu	0.29	0.13	0.13	0.26	0.13	0.23	0.22	0.34	0.33	0.29	0.13

۴-۳-۱- نامگذاری شیمیایی سنگ‌های آذرین نفوذی و نیمه‌نفوذی

یکی از سودمندترین روشهای طبقه‌بندی شیمیایی، استفاده از نمودارهای طبقه‌بندی مجموعه آلکالی ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) در مقابل سیلیس (SiO_2) است. چنین نمودارهایی بوسیله ی کاکس و همکاران (۱۹۷۹)، و میدلموست (۱۹۸۵) ارائه شده است. تفاوت این نمودارها در نحوه‌ی مرزبندی میدانهای مختلف می‌باشد.

۴-۳-۱-۱- نمودار نسبت $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ در برابر SiO_2 (Cox et al., 1979)

این نمودار براساس مقادیر $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ در مقابل درصد وزنی SiO_2 ترسیم شده است (شکل ۴-۱). با توجه به این نمودار، سنگ‌های مورد مطالعه در محدوده‌ی گرانیت، گرانودیوریت، مونزونیت، گابرو دیوریت و گابرو قرار می‌گیرند.



شکل ۴-۱- نمودار $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ در مقابل SiO_2 (Cox et al., 1979)، که سنگ های آذرین کمر بند

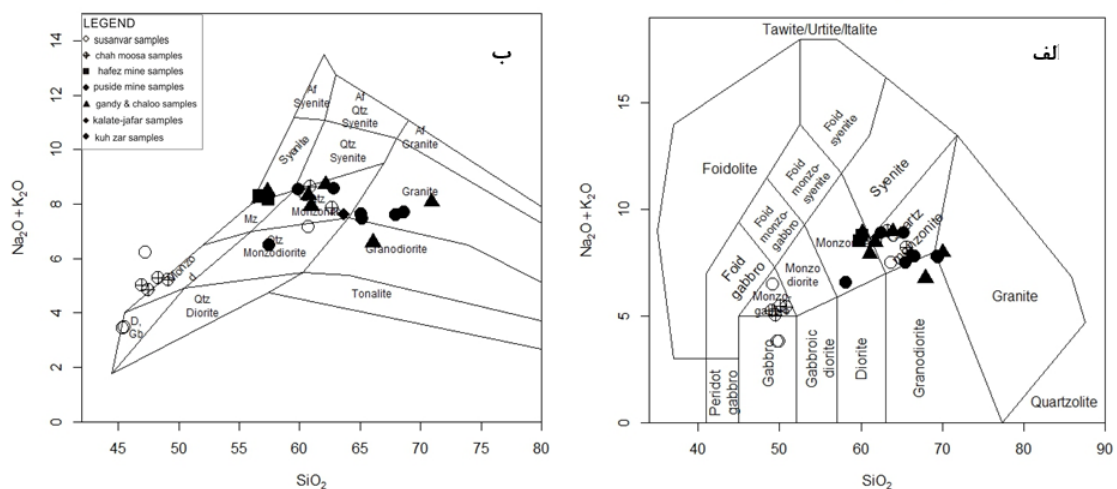
طرود- چاه شیرین طیفی از گرانیت تا گابرو هستند.

۴-۳-۱-۲- نمودار $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ در مقابل SiO_2 (Middlemost, 1985, 1994)

این نمودار نیز بر اساس مقادیر $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ در مقابل درصد وزنی SiO_2 ترسیم شده است (شکل ۴-

۲- الف و ب). سنگهای آذرین درونی مورد مطالعه بر اساس این نمودار، گابرو، گابرو دیوریت،

مونزو گابرو، دیوریت، مونزونیت، کوارتز مونزونیت، گرانودیوریت و گرانیت می باشند.

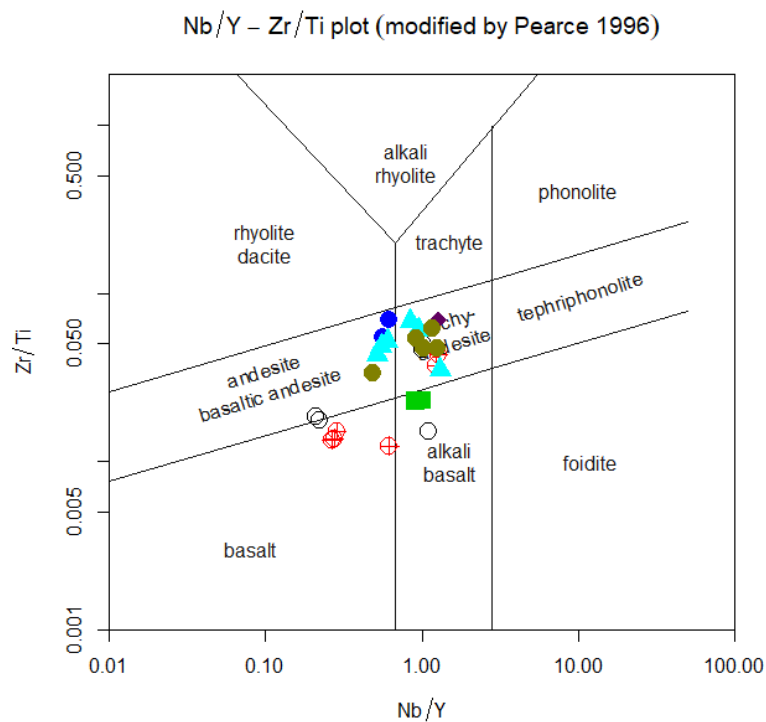


شکل ۴-۲- نمودار $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ در مقابل SiO_2 (Middlemost, 1985, 1994)، که نشان می دهد سنگ های آذرین منطقه

طرود- چاه شیرین طیفی از گرانیت تا گابرو هستند.

۳-۱-۳-۴- نمودار نسبت Zr/Ti در مقابل Nb/Y (Pearce, 1996)

این نمودار براساس نسبت عناصر کمیاب Zr/Ti در مقابل Nb/Y ترسیم شده است (شکل ۳-۴). براساس این نمودار که در آن از نام بیرونی سنگ‌ها استفاده شده است نمونه‌ها در محدوده تراکی‌آندزیت، آندزیت، آندزی‌بازالت، بازالت و آلکالی‌بازالت قرار می‌گیرند که معادل درونی آنها دیوریت گرانودیوریت و گابرو می‌باشند.



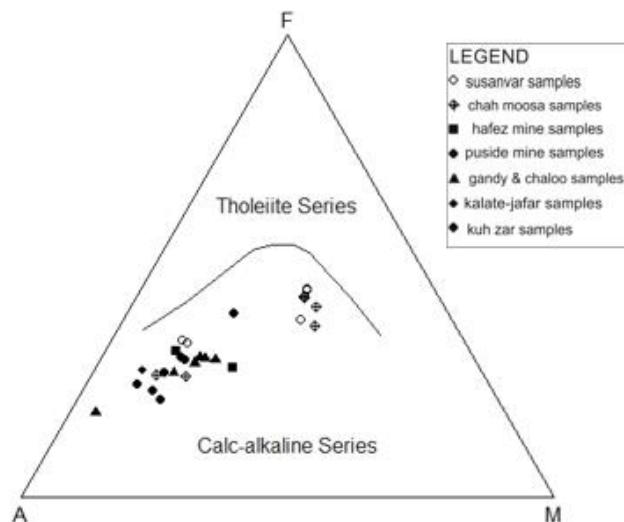
شکل ۳-۴- نمودار Zr/Ti در مقابل Nb/Y ، که سنگ‌های منطقه در محدوده سنگ‌های فلسیک تا مافیک قرار می‌گیرند.

۴-۳-۲- تعیین سری ماگمایی سنگ‌های نفوذی و نیمه‌نفوذی

یکی از مهمترین کاربردهای تجزیه‌های شیمیایی، استفاده از آنها در تعیین سری ماگمایی و جایگاه تکتونیکی سنگها می‌باشد. یک سری ماگمایی شامل مجموعه‌ای از سنگهای آذرین با ترکیب شیمیایی مختلف است که از یک ماگمای مادر بر اثر تبلور بخشی حاصل گردیده‌اند (Conno, 1968). البته در سالهای اخیر روشن شده است که علاوه بر تبلور بخشی عوامل دیگری نظیر آرایش ماگمایی نیز می‌توانند سنگهای مختلف را در یک سری وابسته کاذب قرار دهند. با استفاده از نمودارهای متمایز کننده مختلف، سری ماگمایی و جایگاه تکتونیکی تشکیل سنگهای منطقه و ارتباط بین آنها تعیین می‌شود. در تحقیق حاضر از نمودارهای زیر برای تعیین سری ماگمایی سنگ های آذرین نفوذی و نیمه نفوذی منطقه طرود- چاه شیرین استفاده شده است.

۴-۳-۲-۱- نمودار مثلثی $\text{FeO} - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{MgO}$

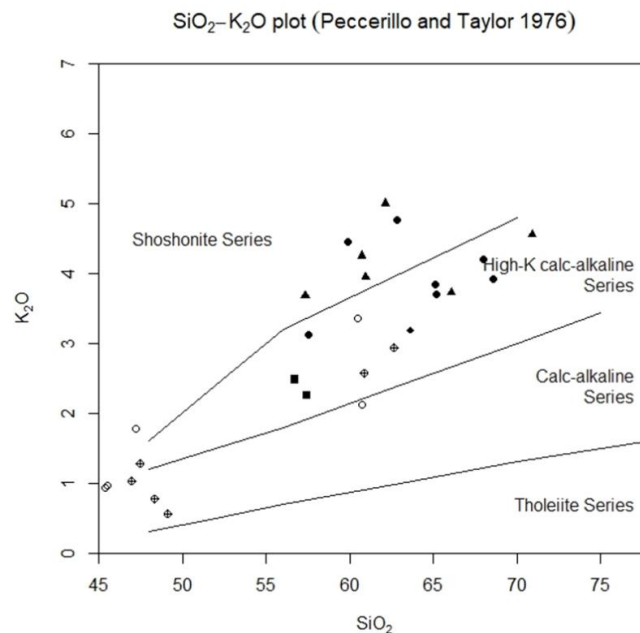
نمودار AFM (Irvin & Bargar, 1971) تغییرات درصد آهن را در طول تفریق نشان می‌دهد و قادر است سنگهای آذرین تولییتی و کالکوالکالن را از یکدیگر متمایز سازد (شکل ۴-۴). از این نمودار چنین استنباط می‌شود که عموماً سنگهای سری تولییتی در مراحل اولیه تفریق، تمایل شدیدی به غنی‌شدگی آهن از خود نشان می‌دهند در حالیکه، سری کالکوالکالن در عرض نمودار ظاهر می‌شوند، زیرا تبلور اولیه اکسیدهای آهن و تیتانیم، از غنی‌شدگی نسبت به آهن در ترمهای بعدی جلوگیری می‌کند. بر اساس این نمودار، ماگمای سازنده سنگهای آذرین مورد مطالعه از نوع کالکوالکالن می‌باشد.



شکل ۴-۴- نمودار AFM از (Irvin & Bargar, 1971) که سنگ های منطقه سری کالکوالکالن نشان می دهند.

۴-۲-۳-۲- نمودار K_2O-SiO_2 (Peccerillo & Taylor, 1976)

این نمودار به چهار سری تولییتی پتاسیم پایین، کالکوالکالن پتاسیم متوسط، کالکوالکالن پتاسیم بالا و سری شوشونیتی تقسیم شده است. با توجه به موقعیت قرارگیری نمونه های مورد مطالعه در نمودار K_2O-SiO_2 ، آنها به سریهای کالکوالکالن، کالکوالکالن غنی از پتاسیم و شوشونیتی تعلق دارند (شکل ۴-۵). گابروها عمدتاً کالکوالکالن هستند. مونزونیتها به سریهای کالکوالکالن پتاسیم بالا و شوشونیتی تعلق دارند. گرانیتها و گرانودیوریتها نیز عمدتاً به سری کالکوالکالن پتاسیم بالا تعلق دارند.



شکل ۴-۵- نمودار K_2O-SiO_2 (Peccherillo & Taylor, 1976) جهت تعیین سری ماگمایی نمونه‌های

مورد مطالعه.

۴-۳-۳- شاخص اشباع از آلومین (ASI) سنگ‌های گرانیتوئیدی کمر بند طرود-

چاه شیرین

باتوجه به درجه اشباع از آلومین ($Al / Ca + Na + K$)، محققین مختلف رده بندی های متعددی را

برای سنگهای آذرین ارائه نموده اند. هیندمن (Hyndman, 1985) جهت تعیین مقدار آلومین سنگهای

آذرین با توجه به مقادیر مولی اکسیدهای $Al_2O_3, Na_2O, K_2O, CaO$ ، آنها را به چهار گروه به شرح

زیر تقسیم نموده است:

- سنگهای پرآلومین $[A > CNK], Al_2O_3 > (CaO + Na_2O + k_2O)$ که بر طبق تقسیم بندی

کلارک (Clark, 1981) به دو گروه پرآلومین نرمال ($A/CNK = 1/1-1/2$) و هیپر آلومین (A/CNK)

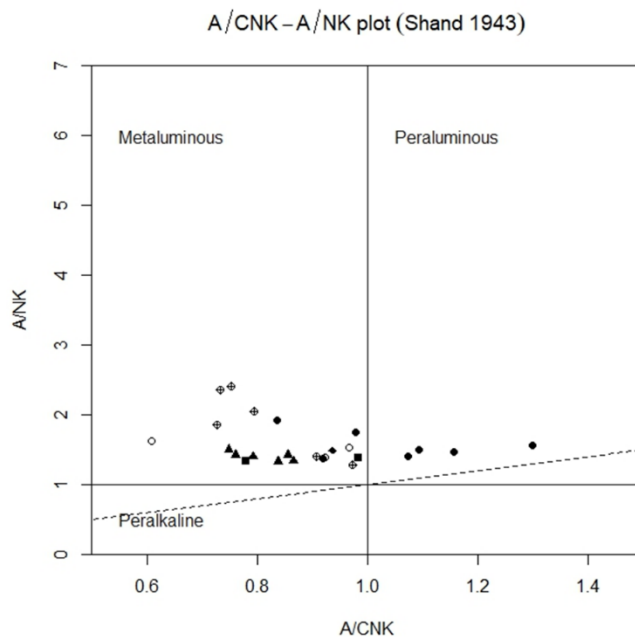
$>1/2$) تقسیم می‌شوند.

- متاآلومین $[CNK > A > NK], (CaO + Na_2O + K_2O) > Al_2O_3 > (Na_2O + K_2O)$

- ساب آلومین $[A = NK], Al_2O_3 = (Na_2O + K_2O)$

- پراآلکالن $[A < NK], Al_2O_3 < (Na_2O + K_2O)$

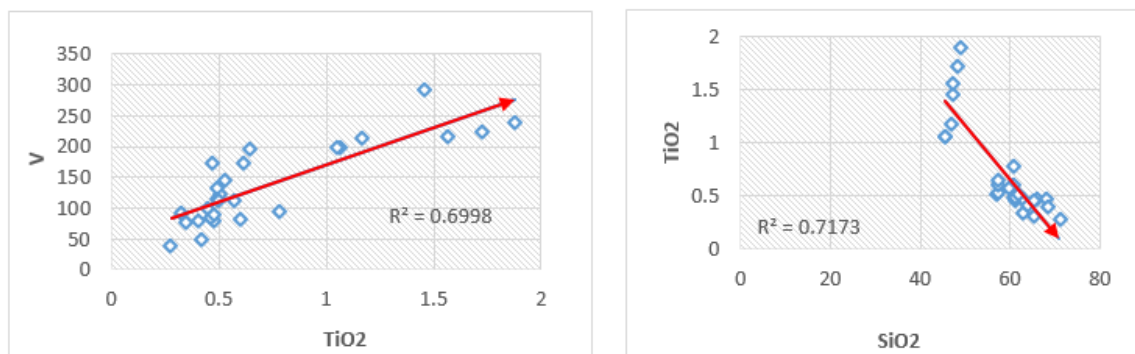
مطابق دیاگرام شاند (Shand, 1943)، که بر اساس A/CNK در مقابل A/NK ترسیم شده، نمونه‌های مورد مطالعه اکثراً دارای ماهیت متاآلومین و تعداد اندکی در محدوده پراآلومین قرار می‌گیرند (شکل ۴-۶). از این بین گابروها و مونزونیت‌ها تماماً دارای ماهیت متاآلومین هستند و قرار گرفتن نمونه‌های گرانودیوریتی و گرانیتی در قلمرو پراآلومین، ممکن است به مشارکت بیشتر بخش پوسته‌ای در تشکیل آنها و نیز هوازگی فلدسپارها و کائولینیتی شدن و افزایش آلومینیوم و کاهش سدیم، پتاسیم و کلسیم مرتبط باشد.



شکل ۴-۶- دیاگرام شاند (۱۹۴۳) جهت تعیین درجه اشباع از آلومین برای سنگهای آذرین منطقه طرود-چاه شیرین

۴-۳-۴- نمودارهای تغییرات $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ و V-TiO_2 (Mclimor, 1999)

از این نمودارها جهت تشخیص فرایند تفریق بلوری در سنگ‌های مورد مطالعه استفاده شده است. همانگونه که در نمودارها دیده می‌شود (شکل ۴-۷) الگوی نشان داده شده توسط نمودار TiO_2 در مقابل SiO_2 ، با افزایش SiO_2 روندخطی و نزولی را نشان می‌دهد و نمودار V در مقابل TiO_2 ، روندخطی و صعودی را نشان می‌دهد که بیانگر الگوی فرایند غالب در تحولات ماگمایی منطقه، فرایند تبلور تفریقی می‌باشد.



شکل ۴-۱- نمودارهای تغییرات $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ و V-TiO_2 (Mclimor, 1999) برای نمونه‌های مورد مطالعه، که تبلور تفریقی فرایند غالب در تحولات ماگمایی منطقه است

۴-۳-۵- ژئوشیمی عناصر کمیاب و خاکی کمیاب

الگوی ژئوشیمیایی عناصر کمیاب و خاکی کمیاب با ترسیم نمودارهای عنکبوتی جهت بررسی میزان تغییر و تحولات ماگماهای مولد نسبت به ماگماهای اولیه و همچنین منشاء و قرابت‌های ژنتیکی آنها از اهمیت خاصی برخوردارند. در این نمودارها، فراوانی گروه‌هایی از عناصر کمیاب ناسازگار بصورتی قانونمند شده‌اند که بتوانند برآوردی از فراوانی این عناصر در ترکیب زمین اولیه باشند. نمودارهای عنکبوتی تعداد ۱۵ عنصر خاکی کمیاب بر اساس الگوی بهنجار شده به ترکیب کندریت به ترتیب افزایش سازگاری آنها از چپ به راست مرتب شده‌اند. بطور کلی جهت بهنجار کردن داده‌های عناصر کمیاب از ترکیب تخمینی گوشته اولیه، متئوریت‌های کندریتی و بازالت‌های کافت‌های میان اقیانوسی (Mid Oceanic Rifting Basalts: MORB) استفاده می‌شود (Rolinson, 1993). به نظر بسیاری از محققین،

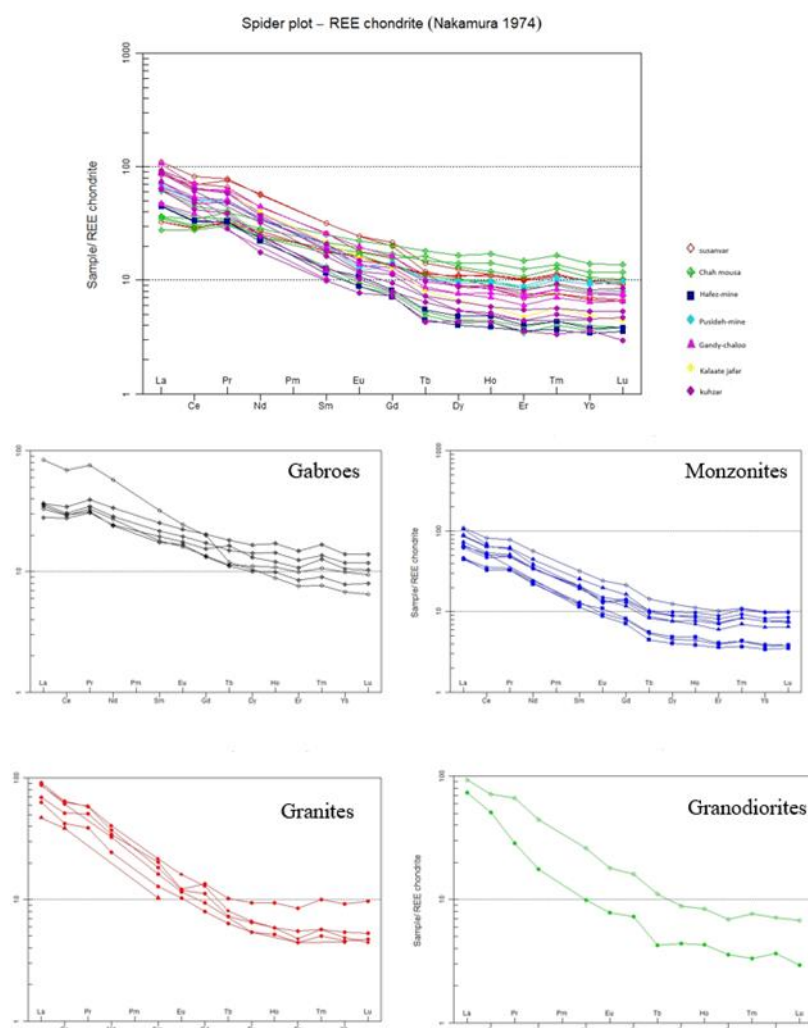
بهنجارسازی عناصر با مقادیر گوشته اولیه مبتنی بر ارقام تخمینی است نه ارقام حقیقی. لذا بهنجار سازی با مقادیر کندریتی و MORB بر مقادیر گوشته اولیه ارجحیت دارد. نمودارهای عنکبوتی ممکن است تنها بر اساس عناصر خاکی کمیاب (Rare Earth Elements: REE) و یا بر اساس عناصر خاکی کمیاب به همراه برخی دیگر از عناصر ناسازگار (نمودارهای چند عنصری) ترسیم شوند و با استفاده از این نمودارها می‌توان میزان انحراف هر ترکیب را از الگوی ترکیبی اولیه در طی فرایندهای ذوب بخشی یا تفریق بلوری تعیین کرد.

۴-۳-۵-۱- الگوی ژئوشیمیایی عناصر خاکی کمیاب بهنجار شده نسبت به کندریت

برای بهنجار کردن عناصر REE نمونه‌های سنگی مورد مطالعه، از روش بهنجارسازی نسبت به کندریت (Nakamura, 1974) استفاده شده است. چنانچه مشخص است، الگوی عناصر کمیاب سنگهای مورد مطالعه جز در موارد نادر، با یکدیگر هماهنگ و موازی می‌باشند. به باور ویلسون (Wilson, 1989) اگر یک مجموعه از سنگهای آذرین در اثر تحمل فرایندهای تبلور تفریقی با یکدیگر مرتبط باشند، در نتیجه باید مقادیر عناصر کمیاب و نسبتهای آنها در یک سری سنگی، بطور ثابت و پیوسته تغییر کند. موازی بودن الگوی عناصر در سنگهای منطقه نیز تأیید کننده این امر و نیز نتایج بدست آمده در بخشهای قبلی بر منشاء واحد این سنگها دلالت دارد و تبلور تفریقی ساز و کار اصلی در تشکیل و تحول آنها است. بطوریکه در نمودار شکل (۴-۸) مشاهده می‌شود میزان عناصر خاکی کمیاب سبک تا ۱۰ برابر غنی شدگی نسبت به عناصر خاکی کمیاب سنگین نشان می‌دهند، عناصر کمیاب خاکی سبک (Light Rare Earth Elements: LREE) نسبت به عناصر کمیاب خاکی سنگین (Heavy Rare Earth Elements: HREE) غنی‌شدگی بیشتری نشان می‌دهند و دارای شیب ملایمی از سمت LREE به سمت عناصر خاکی کمیاب میانی (Middle Rare Earth Elements: MREE) می‌باشد و از MREE به سمت HREE الگوی فراوانی عناصر خاکی کمیاب دارای شیب کم ولی محسوس می‌باشد. به طور کلی غنی‌شدگی از LREE را می‌توان به سه عامل درجات ذوب بخشی

پایین منبع گوشته‌ای، تفریق بلوری و یا آرایش ماگما توسط مواد پوسته‌ای نسبت داد، تهی شدگی از HREE و غنی شدگی از LREE، با تفریق هورنبلندسبز، بیوتیت و اوژیت از ماگمای مورد مطالعه سازگار است.

همه سنگهای مورد مطالعه از الگوی تقریباً یکنواختی برخوردار هستند. در نتیجه می‌توان گفت که آنها تقریباً از ماگمای واحدی نشأت گرفته‌اند. اگرچه تغییر و تحولاتی نظر آرایش پوسته‌ای نیز در تحول آنها سهمیم بوده است.



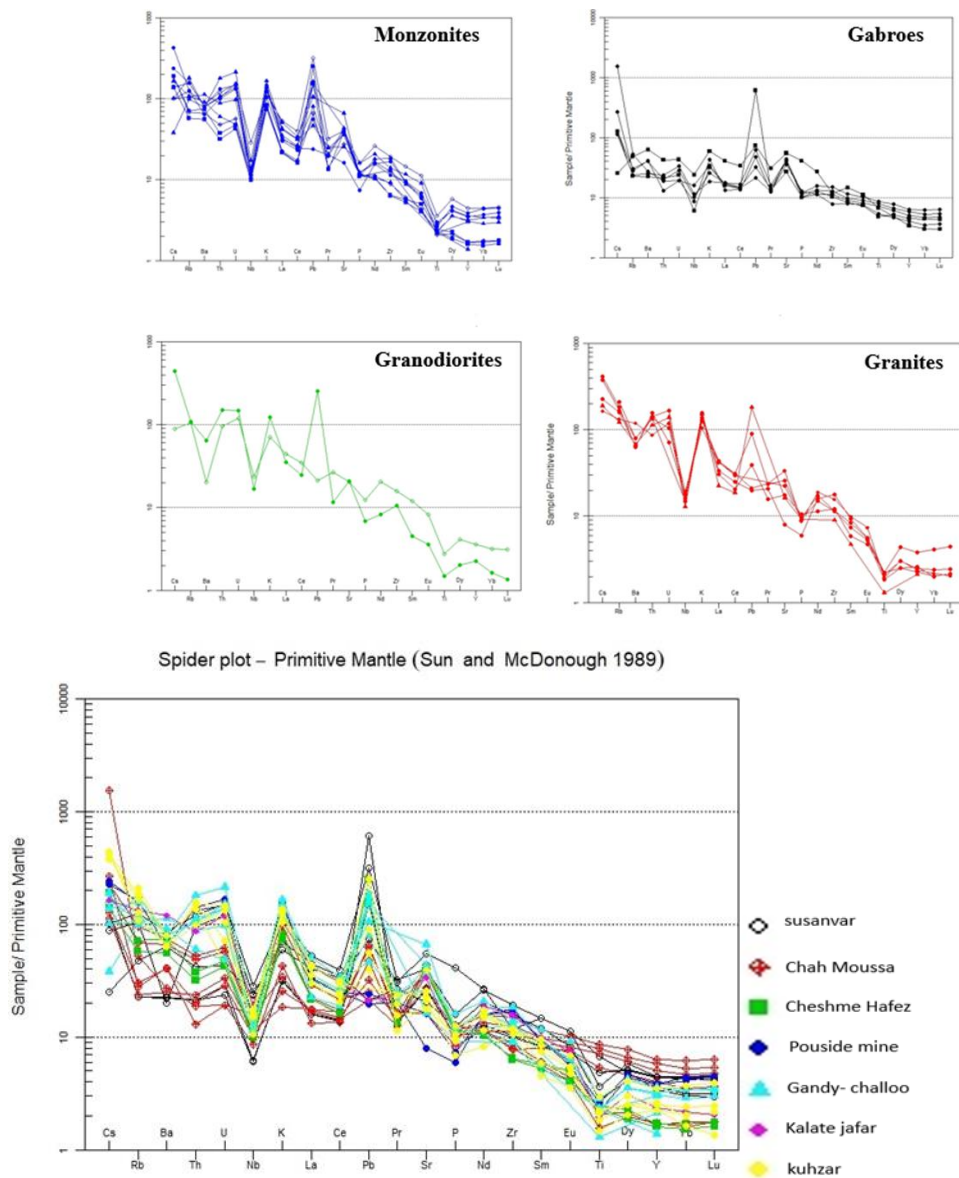
شکل ۲-۲- الگوی REE بهنجار شده به ترکیب کندریت (Nakamura, 1974) نمونه‌های نفوذی ائوسن منطقه طرود-چاه شیرین، که غنی شدگی LREE نسبت به HREE نمایان است.

۴-۳-۵-۲- الگوی ژئوشیمیایی عناصر کمیاب و خاکی کمیاب بهنجار شده نسبت به گوشته

اولیه

در بررسی الگوی تغییرات عناصر کمیاب بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه برای نمونه‌های مورد مطالعه از مقادیر سان و مک‌دونوف (Sun and McDonough, 1989) استفاده شده است. در این نمودارها نیز همانند نمودارهای بهنجار شده نسبت به کندریت، غنی‌شدگی از LREE و تهی‌شدگی از HREE مشاهده می‌شود. کاهش محسوس HREE در گابروها با تبلور پیروکسن و جدایش آن از ماگما توجیه پذیر است. اغلب نمونه‌های گابرویی از عناصر K، Sr و Pb غنی‌شدگی و از Nb تهی‌شدگی نشان می‌دهند. غنی‌شدگی K، Sr و Pb حاکی از منشاء گرفتن گابرو از گوشته غنی شده در نرخ ذوب کم می‌باشد (شکل ۴-۹).

در سایر گروه‌های سنگی مانند مونزونیت‌ها، گرانودیوریت‌ها و گرانیت‌ها K، Pb، Th، و U غنی‌شدگی قابل ملاحظه‌ای نشان می‌دهند که با تفریق ماگمایی و یا آرایش ماگمایی با مواد پوسته‌ای در طی تشکیل آنها سازگاری دارد. در ضمن Nb، P و Ti تهی‌شدگی قابل توجهی را نشان می‌دهند. تهی‌شدگی از عناصر فوق بیانگر تبلور فازهای تیتانیوم، فسفر و نیوبیوم‌دار از ماگما می‌باشد. معمولاً بلورهای هورنبلندسبز، اکسیدهای آهن و مگنتیت، آپاتیت، ایلمنیت و اسفن این عناصر را در خود جای می‌دهند و جدایش آنها از مذاب این تهی‌شدگی‌ها را به وجود می‌آورد. در ضمن فقیرشدگی از Nb، P و Ti از ویژگی‌های ماگماهای حاشیه قاره‌ای محسوب می‌شود. همانطور که در نمودارها مشاهده می‌شود در گرانیت‌ها اختلاف بارزتری در الگوی فراوانی عناصر خاکی کمیاب دیده می‌شود که این موضوع را می‌توان به مشارکت بیشتر بخش‌های پوسته‌ای در تشکیل آنها نسبت داد.



شکل ۳-۴- نمودار عنکبوتی بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (Sun & McDonough, 1989) برای نمونه‌سنگ‌های نفوذی نوار ماگمایی طرود-چاه شیرین.

۴-۳-۶- تعیین جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌های نفوذی و نیمه نفوذی منطقه

در این قسمت بر اساس داده‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی و کمیاب به مطالعه و تعیین محیط تکتونیکی جایگیری سنگ‌های نفوذی و نیمه نفوذی پرداخته شده است:

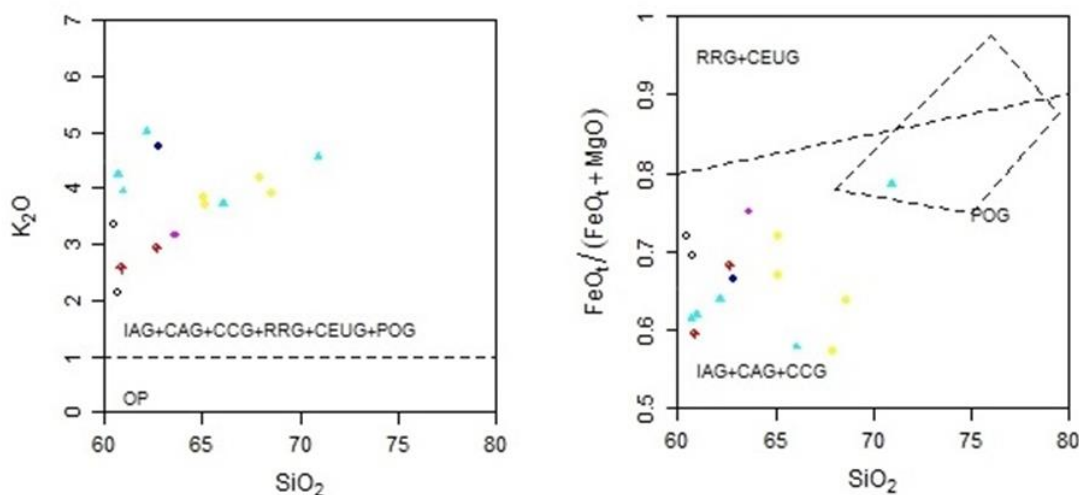
۴-۳-۶-۱ طبقه بندی محیط‌های تکتونیکی گرانیتوئیدها با استفاده از عناصر اصلی

مانیار و پیکولی (Maniar and Picoli, 1989)، سنگهای گرانیتوئیدی را بر اساس عناصر اصلی به دو گروه گرانیتوئیدهای کوهزایی و غیرکوهزایی و به هفت زیر گروه تقسیم کردند:

گرانیتوئیدهای کوهزایی: این نوع گرانیتوئیدها با حادثه کوهزایی مرتبط هستند، و گرانیتوئیدهای جزایر قوسی (IAG)، گرانیتوئیدهای قوس قاره‌ای (CAG)، گرانیتوئیدهای مناطق برخورد قاره‌ای (CCG)، و گرانیتوئیدهای پس از کوهزایی (POG) را شامل می‌شوند.

گرانیتوئیدهای غیرکوهزایی: این نوع گرانیتوئیدها شامل گرانیتوئیدهای مرتبط با ریف‌ت (RRG)، گرانیتوئیدهای بالا آمدگی خشکی زایی قاره‌ای (CEUG)، و پلاژیوگرانیت‌های اقیانوسی (OP).

بر اساس این نمودارها سنگ‌های گرانیتوئیدی منطقه مورد مطالعه در محدوده گرانیت‌های کوهزایی واقع می‌شوند. این نتیجه با شواهد زمین‌شناسی، صحرایی و سنگ‌شناسی سنگ‌های مورد مطالعه نیز سازگار است (شکل ۴-۱۰).



شکل ۴-۱۰- نمودارهای تمایز محیط‌های تکتونیکی (Maniar and Picoli, 1989) و قرار گیری نمونه‌های نوار ماگمایی طرود-چاه شیرین در محیط‌های کوهزایی.

۴-۳-۶-۲- تعیین محیط تکتونیکی گرانیتوئیدها با استفاده از عناصر کمیاب

علاوه بر تعیین جایگاه تکتونیکی گرانیتوئیدها بر اساس عناصر اصلی، با استفاده از عناصر کمیاب نیز می‌توان محیط تکتونیکی گرانیتوئیدها را تعیین و طبقه‌بندی کرد. بر پایه طبقه‌بندی پیرس و همکاران (Pearce et al., 1984) گرانیتوئیدها بر اساس محیط تکتونیکی به چهار گروه تقسیم می‌شوند، که عبارتند از:

گرانیت‌های پشته‌های میان اقیانوسی (ORG)، که معادل پلاژیوگرانیت‌های اقیانوسی بوده و به دو گروه وابسته و غیر وابسته به فروران‌ش تقسیم می‌شوند و شامل گرانیت‌های همراه با پشته‌های اقیانوسی نرمال، گرانیت‌های همراه با پشته‌های اقیانوسی غیر عادی، گرانیت‌های همراه با پشته‌های حوضه پشت قوس و حوضه جلوی قوس می‌باشند.

گرانیت‌های قوس آتشفشانی (VAG)، که بنوبه خود عبارتند از: گرانیتوئیدهای قوس اقیانوسی، که غالباً تولیتی بوده و در نمودار اشتريکایزن (۱۹۷۹) در محدوده تونالیت و کوارتز دیوریت قرار می‌گیرند، و گرانیتوئیدهای قوس آتشفشانی قاره‌ای، که مربوط به حاشیه قاره‌ها بوده و طیف وسیعی از سنگهای گرانیتوئیدی را شامل می‌شود و متعلق به سریهای کالکوالکالن، کالکوالکالن پتاسیم بالا و شوشونیت است.

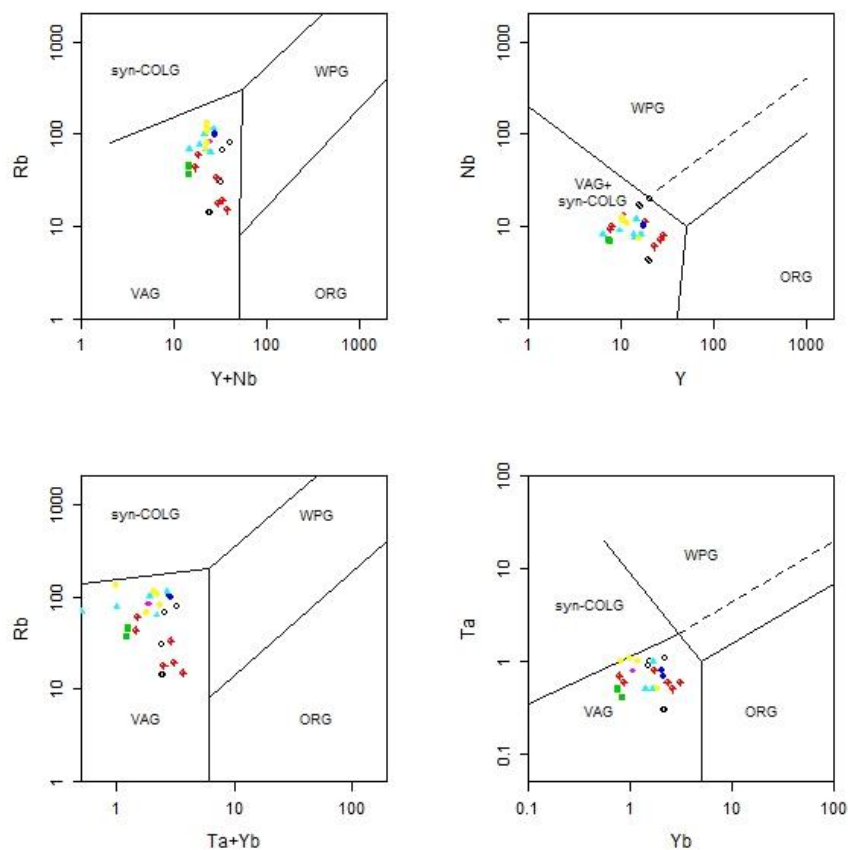
گرانیت‌های درون صفحه‌ای (WPG)، که شامل گرانیت‌های همراه با کمپلکس‌های حلقوی درون قاره‌ای، گرانیت‌های ناشی از پوسته قاره‌ای نازک شده و گرانیت‌های مرتبط با جزایر اقیانوسی هستند.

گرانیت‌های مناطق برخوردی (COLG)، که گرانیت‌های برخورد قاره-قاره (گرانیت‌های همزمان با برخورد و بعد از برخورد)، و گرانیت‌های برخورد قوس-قاره (گرانیت‌های همزمان با برخورد) را شامل می‌شوند.

در نمودارهای Ta-Yb و Rb-(Ta+Yb) ، Nb-Y ، Rb-(Y+Nb) (Pearce et al., 1984) گرانیت‌های پشته‌های میان اقیانوسی (ORG)، گرانیت‌های کمان آتشفشانی (VAG)، گرانیت‌های درون

صفحه‌ای (WPG) و گرانیت‌های همزمان با برخورد (SYN-COLG) از یکدیگر متمایز می‌شوند. با توجه به اینکه سنگهای منطقه مورد مطالعه، دارای طیف وسیعی از گرانیتوئیدها می‌باشند و متعلق به سری-های کالکوالکالن، کالکوالکالن پتاسیم بالا تا شوشونیتی می‌باشند و قرابت و نزدیکی با گرانیتوئیدهای قوس آتشفشانی دارند، لذا گرانیتوئیدهای منطقه مورد مطالعه، از نوع گرانیتوئیدهای قوس آتشفشانی (VAG) می‌باشند (شکل های ۴-۱۱).

Granite tectonic discrimination – Pearce et al. (1984)



شکل ۴-۱۱- نمودارهای $Rb-(Y+Nb)$, $Nb-Y$, $Rb-(Ta+Yb)$ و $Ta-Yb$ (پیرس و همکاران، ۱۹۸۴) برای تعیین جایگاه تکتونیکی سنگ ها، و قرارگیری نمونه‌های نوار ماگمایی طرود-چاه شیرین. در محدوده گرانیتوئیدهای قوس آتشفشانی (VAG).

فصل پنجم: تکنیک توده‌های نفوذی بارور از نابارور

بررسی‌های ژئوشیمیایی توده‌های نفوذی بارور^۱ و نابارور^۲ و تفکیک آنها بر مبنای مشخصه‌های ژئوشیمیایی همواره حائز اهمیت بوده است، فعالیت‌های ماگمایی و تزریق توده‌های نفوذی در همراهی با فرایندهای زمین‌شناختی دیگر در تشکیل مواد معدنی در ناحیه طرود - چاه‌شیرین تاثیرگذار بوده‌است. پرسش اصلی پژوهش حاضر تشخیص باروری و ناباروری توده‌های نفوذی بر پایه معیارهای زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی می‌باشد. مطالعه ایزوتوپ‌های پایدار بر روی کانه‌های معدنی و کانی‌های همراه و نیز تشخیص توده‌های بارور از انواع نابارور بر پایه معیارهای زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی می‌تواند پاسخ مسئله را روشن نماید. در تحقیق حاضر، از مورد دوم (معیارهای زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی) استفاده می‌شود. دستیابی به چنین اطلاعاتی، در انتخاب مناطق مستعد برای پی‌جویی و اکتشافات ناحیه‌ای مواد معدنی و نیز در اکتشاف تفصیلی مواد معدنی (حفریات اکتشافی و ...) بسیار مفید خواهد بود. مطالعات نشان داده است ژئوشیمی عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی امکان تفکیک توده‌های عقیم و بارور گرانیوتئیدی را فراهم می‌سازد. تلفیق داده‌های ژئوشیمیایی با مطالعات زمین‌شناسی، ایزوتوپی و ساختاری کمک شایانی به گسترش مدل‌های اکتشافی، کرده‌است.

توده‌های آذرینی که تمرکزهای اقتصادی از عناصر شیمیایی را خواه به طور ژنتیکی و یا پاراژنتیکی به همراه دارند، عموماً الگوهای ژئوشیمیایی خاصی را نمایش می‌دهند که شناخت این الگوها امکان تشخیص واحدهای زمین‌شناختی بالقوه فلزدار از نوع عقیم را فراهم می‌سازد (Beus 1968).

^۱ Productive

^۲ Barren

اگرچه روش‌هایی مانند ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای، خاک و آب برای شناسایی و پی‌جویی مواد معدنی به‌کار گرفته می‌شوند ولی میزان دقت این تکنیک‌ها در مقایسه با روش‌های لیتوژئوشیمیایی از اهمیت کمتر و ضریب اطمینان پایین‌تری چه در اکتشافات ناحیه‌ای و چه در مقیاس محلی دارا می‌باشند (Coope, 1973).

در این فصل سعی بر آن شده‌است که با استفاده از ژئوشیمی سنگ کل^۱ توان کانه‌زایی توده‌های نفوذی مناطق مختلف کمربند طرود-چاه‌شیرین مورد ارزیابی قرار گیرد.

به‌منظور تفکیک توده‌های نفوذی بارور از انواع عقیم از خصوصیات ژئوشیمیایی ذیل استفاده شده‌است :

- رفتار ژئوشیمیایی عناصر اصلی^۲.
- رفتار ژئوشیمیایی عناصر کمیاب^۳.
- ویژگی‌های ژئوشیمیایی نسبت‌های عنصری.
- رفتار ژئوشیمیایی عناصر نادر خاکی^۴.

۵-۲- تفکیک توده‌های نفوذی بارور از عقیم براساس ویژگی‌های عناصر اصلی و کمیاب

به‌منظور تفکیک توده‌های نفوذی بارور از نابارور از نمودار Zn در مقابل SiO₂ (وولف^۵ ۱۹۷۵) استفاده نموده‌ایم (شکل ۵-۱)، در سنگ‌های حدواسط (حاوی ۶۰٪—۵۲٪ وزنی SiO₂) ، مقدار Zn حدود

^۱ Whole Rock Geochemistry

^۲ Major

^۳ Trace

^۴ REE

^۵ Wolf

85ppm است. به سمت سنگهای اسیدی‌تر با افزایش SiO_2 میزان روی بطور خطی کاهش می‌یابد بطوریکه در ریولیت (با بیش از ۷۵٪ سیلیس) میزان روی به حدود 35ppm می‌رسد (وولف ۱۹۷۵). عقیده وولف بر آن بود که اصولاً تمام سنگ‌هایی که حاوی بیش از ۱۰٪ آهن کل هستند برای اکتشاف ناحیه‌ای روی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

با استفاده از نمودار Zn در مقابل SiO_2 می‌توان توده‌های نفوذی بارور را از انواع نابارور نسبت به عنصر روی متمایز نمود، بنا به این نمودار توده‌های گرانیته و مونزونیتی چاه موسی، توده مونزونیتی چالو، سوسن‌وار و چشمه‌حافظ، و نیز نمونه‌های گرانیته و گرانودیوریتی کوه‌زر در زمره توده‌های مولد وسایر نمونه‌ها در گروه توده‌های نابارور قرار می‌گیرند. مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی انجام گرفته توسط امام جمعه و همکاران (۱۳۸۷)، در مناطق معدنی چاه‌موسی، کلاته چاه‌موسی و قله کفتران نیز ارتباط زایشی کانه‌زایی‌های مس، روی، سرب و باریت را با توده‌های نفوذی ائوسن منطقه آشکار ساخته‌است که موید نتیجه حاصل از نمودار Zn در برابر SiO_2 مبنی بر بارور بودن توده نفوذی منطقه معدنی چاه‌موسی با ترکیب گرانیته تا مونزونیتی نسبت به عنصر روی می‌باشد.

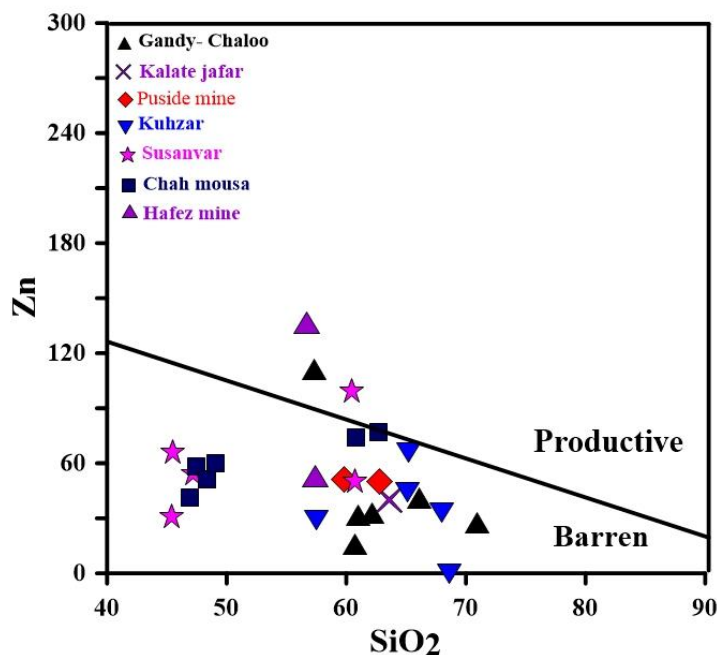
منطقه معدنی چشمه‌حافظ شامل کانی سازی رگه ای چندفلزی (Pb-Cu-Zn-Au-Ag)، در سنگ های میزبان آتشفشانی سنوزوییک با ترکیب چیره آندزیت بازالتی و داسیت است، کانی سازی سرب، روی، مس، نقره و طلا به ترتیب با میانگین عیار ۳درصد، ۷۶،۰۷درصد، ۹درصد، ۴۰۰ گرم در تن و ۴۰۰ میلی گرم در تن در این منطقه معدنی مشاهده است (حقیقی و همکاران ۱۳۸۹).

در منطقه معدنی سوسن وار میانگین عنصر Zn در حدود ۲۳۶۲ گرم برتن تعیین گردیده‌است، محصول اصلی کانسار سوسن وار Zn و Pb است که به همراه آنها Au، Cd و Ag بعضاً غنی شده اند و یک کمپلکس پلی متال رگه ای حرارت پایین را تشکیل داده اند، سنگ میزبان کانی سازی سرب و روی، آهکهای متعلق به کرتاسه است بیشترین مقدار Au در نمونه های مینرالیزه 2 ppm و در نمونه برداری های سیستماتیک 548ppb بوده است. طلا در این کانی سازی به عنوان محصول جانبی محسوب می شود (Jiangxi 1994).

وجود این آنومالی با نتیجه حاصله از نمودار Zn در مقابل SiO_2 (وولف ۱۹۷۵)، مبنی بر بارور بودن توده مونزونیتی سوسن‌وار نسبت به Zn سازگار می‌باشد.

نمونه‌برداری ژئوشیمیایی به روش خرده‌سنگی، ناهنجاری بالایی را از عناصر طلا (تا حداکثر 598ppb)، نقره (تا حداکثر 3747ppb)، مس (تا حداکثر 679ppm)، سرب (تا حداکثر 1427ppm) و روی (تا حداکثر ۱۰۱۳ppm) را در منطقه کانسار مس-طلای کوه‌زر مشخص نموده است. که قرار گیری نمونه

گرانودیوریتی و گرانیته کوه‌زر در رده توده‌های بارور را تایید می‌کند (روح‌بخش، کریم‌پور و شفارودی ۱۳۹۶). دگرسانی‌های سریسیتی و پروپلیتی، کانی‌سازی پراکنده پیریت و بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی طلا و مس در کانسار کوه‌زر، نشان‌دهنده احتمالی سیستم کانی‌سازی طلا-مس پورفیری در این ناحیه است.



شکل ۵-۱- نمودار Zn در مقابل SiO₂ برای توده‌های نفوذی کمر بند طرود-چاه شیرین (وولف ۱۹۷۵)

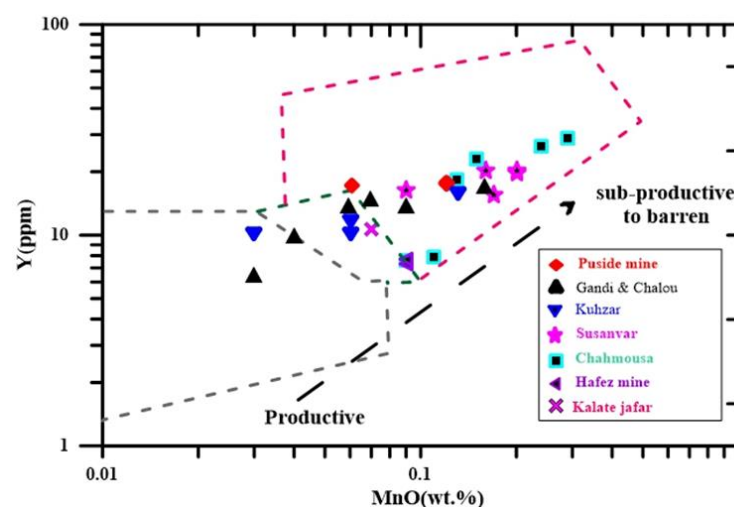
در ادامه برای تفکیک توده‌های نفوذی بر اساس خصوصیات عناصر کمیاب از نمودار Y در مقابل MnO (بالدوین و پیرس^۱ ۲۰۰۶) استفاده شده است (شکل ۵-۲). نمودار Y در برابر MnO (بالدوین و پیرس ۲۰۰۶)، یکی از نمودارهایی است که برای پیش‌بینی و تفکیک توده‌های نفوذی مولد از توده‌های عقیم نسبت به عنصر مس مورد استفاده قرار می‌گیرد و نشان می‌دهد که آیا یک توده نفوذی با کانی‌سازی مرتبط بوده است و یا اینکه در فرآیند کانی‌سازی نقشی نداشته است.

از این نمودار برای ارزیابی میزان باروری و ناباروری توده‌های آذرینی که با کانی‌زایی‌های تیپ‌های پورفیری-رگه‌ای مس، مولیبدن، طلا، نقره و سرب و روی همراه استفاده می‌شود.

^۱ Baldwin & Pearce

مقادیر پایین Y و MnO در نفوذی‌های بارور را می‌توان به تبلور اولیه فازهای آبکی غنی از Y و MnO (مانند هورنبلند) و نیز جدایش سیالات غنی از MnO از ماگما نسبت داد، بنابراین غلظت Y در ماگماهای مولد ارتباط مستقیمی با فرایند کانه‌زایی دارد (هاسک و پیرس^۱ ۲۰۰۶).

همان‌طور که در شکل ۵-۲ مشاهده می‌شود نمونه‌های گرفته شده از توده‌ی مونزونیتی منطقه گندی و چالو و نیز یک نمونه از توده گرانیتی منطقه کوه‌زر در محدوده بارور قرار گرفته‌اند. نمونه‌هایی چون توده گرانودیوریتی کوه‌زر، توده دیوریتی چالو و نمونه گرانیتی کلاته‌جعفر در محدوده نیمه‌بارور و سایر نمونه‌ها در محدوده توده‌های نیمه مولد تا عقیم قرار می‌گیرند.



شکل ۵-۲- نمودار Y vs. MnO (بالدوین و پیرس ۲۰۰۶) برای تفکیک توده‌های بارور از عقیم

-شمعانیان و همکاران (۱۳۸۳)، در یک کار پژوهشی عیار متوسط 1wt% را برای عنصر مس در منطقه معدنی گندی تخمین زده که با قرارگیری توده مونزونیتی گندی در رده توده‌های بارور در نمودار بالا تطابق دارد. در کانسار پلی‌متال رگه‌ای گندی، عیار متوسط (بیشینه) عناصر به شرح ذیل می‌باشد:

1.0(6.3) wt percent Cu, 3.1 (13) wt percent Pb,

0.84 (3.8) wt percent Zn,

30.6 (161) g/t Ag,

14.5 (68.3) g/t Au.

^۱ Haschke and Pearce

- مقادیر ناهنجار عناصر طلا (تا حداکثر 598ppb)، نقره (تا حداکثر 3747ppb)، مس (تا حداکثر 679ppm)، سرب (تا حداکثر 1427ppm) و روی (تا حداکثر 1013ppm) در منطقه کانسار مس-طلای کوه زر، قرار گیری نمونه گرانودیوریتی و گرانیته کوه زر در رده توده های بارور را اثبات می نماید، آثار کانی سازی مس به صورت رگچه فیروزه به میزان 2 تا 5 درصد در واحد مونزودیوریت پورفیری شمال منطقه دیده می شود.

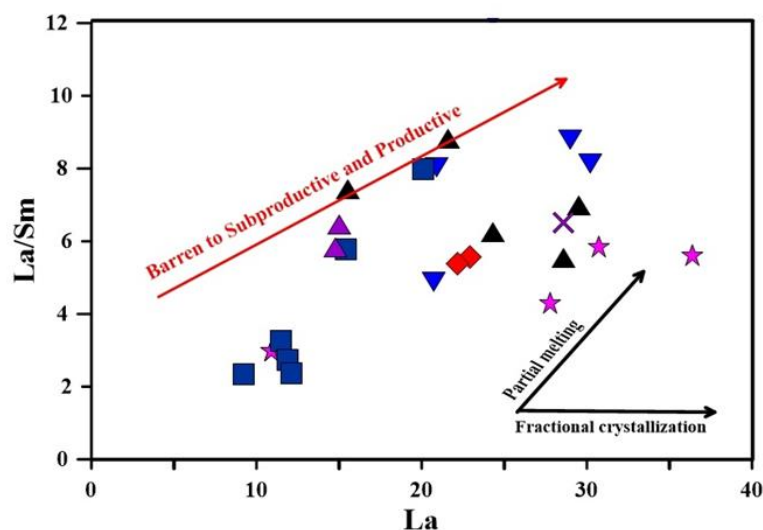
کانی سازی طلا و مس موجود در منطقه کوه زر، مرتبط با توده های نفوذی، به نظر رسیده و احتمالاً از نوع طلا -مس پورفیری می باشد (روح بخش، کریم پور و سفارودی ۱۳۹۶).

۵-۳- تفکیک توده های نفوذی بارور از عقیم براساس ویژگی های نسبت های عنصری

۵-۳-۱- تفکیک توده های نفوذی بارور از عقیم بر اساس نمودار نسبت La/Sm در مقابل La

صعود و تکامل ماگما اصولاً توسط دو فرایند ذوب بخشی و تبلور تفریقی کنترل می شود از نمودار نسبت La/Sm در مقابل La به منظور تشخیص اینکه کدام یک از فرایندهای مذکور در صعود ماگما نقش غالب را ایفا نموده است، استفاده می شود.

بنا به تحقیقی که بر روی توده های گرانیتوئیدی منطقه کرمان، به منظور تفکیک توده های بارور از عقیم صورت گرفته است (اسدی و همکاران ۲۰۱۴)، مشخص شده است که فرایند غالب در روند صعود ماگماهای بارور از مس، ذوب بخشی و در مورد توده های نابارور، فرایند غالب تبلور تفریقی بوده است.



شکل ۵-۳- نمودار نسبت La/Sm در مقابل La برای توده‌های نفوذی کمر بند طرود-چاه شیرین (نشانه‌ها مشابه شکل ۵-۲)

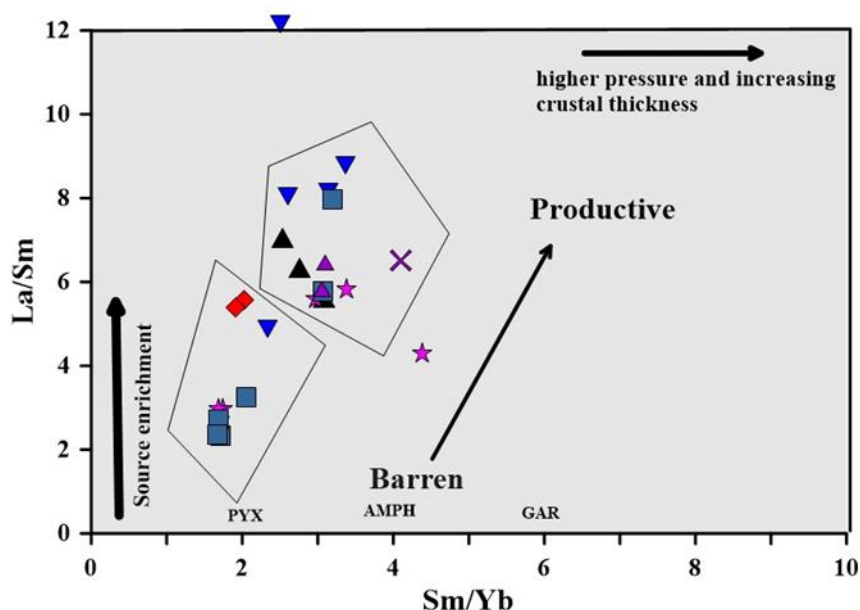
همان‌طور که در نمودار فوق مشاهده می‌شود به‌طور کلی نمونه‌های سنگ‌های آذرین درونی نوار ماگمایی طرود-چاه شیرین روندی در امتداد فرآیند ذوب بخشی از خود نشان می‌دهند که نشان‌دهنده ماهیت کلی مولد بودن آنها می‌باشد، این امر با ماهیت حقیقی منطقه طرود-چاه شیرین که میزبان کانسارهای متعدد از فلزات پایه و گرانبها می‌باشد سازگاری دارد.

۵-۳-۲- تفکیک توده‌های نفوذی بارور از عقیم بر اساس نمودار نسبت La/Sm در مقابل

نسبت Sm/Yb

توده‌های بارور نسبت La/Sm بالایی نشان می‌دهند که بیانگر جدایش این توده‌ها از یک منشا غنی شده، و همچنین این نسبت بالا، نشانگر حضور آمفیبول و به‌مقدار جزئی گارنت، به‌عنوان یک فاز باقی‌مانده می‌باشد.

از طرف دیگر نسبت‌های پایین La/Sm در گرانیتوئیدهای نابارور نشان‌دهنده غنی‌شدگی کمتر ماگمای منشا و نیز عدم حضور آمفیبول می‌باشد (تصویر شماره ۵-۴). با توجه به این نمودار توده‌های گرانیتی و مونزونیتی چاه موسی، توده مونزونیتی چالو، سوسن‌وار و حافظ، و نیز نمونه‌های گرانیتی و گرانودیوریتی کوه‌ز در زمره توده‌های مولد وسایر نمونه‌ها در گروه توده‌های نابارور نسبت به عنصر مس قرار می‌گیرند.



شکل ۵-۴- نمودار نسبت La/Sm در مقابل نسبت Sm/Yb ، و موقعیت قرارگیری توده‌های نفوذی

کمر بند طرود-چاه شیرین (نشانه‌ها مشابه نمودار ۵-۲)

-کانه‌زایی افشان-رگچه‌ای مس، روی و سرب در محدوده معدنی کلاته چاه موسی با کانی‌شناسی پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، بورنیت، گالن، باریت، کالکوسیت، کوولیت و مالاکیت، تاییدی بر بارور بودن توده نفوذی مونزونیتی موجود می‌باشد، این رخداد کانه‌زایی در معدن فعال چاه موسی، همراه با دگرسانی‌های فلیک و پروپیلیتیک در توده نیمه‌نفوذی پرفیری رخ داده است (امام جمعه و همکاران ۱۳۸۷).

- در منطقه معدنی چشمه حافظ کانه‌زایی رگه ای چندفلزی ($Pb-Cu-Zn-Au-Ag$)، در سنگ های میزبان آتشفشانی سنوزوییک با ترکیب چیره آندزیت بازالتی و داسیت است، کانی سازی سرب، روی، مس، نقره و طلا به ترتیب با میانگین عیار ۳درصد، ۰٫۷۶درصد، ۷٫۰درصد، ۹گرم در تن و ۴۰۰ میلی گرم در تن در این منطقه معدنی مشاهده است (حقیقی و همکاران ۱۳۸۹).

در قسمت‌های جنوبی منطقه معدنی چالو که یک معدن چندفلزی (مس-طلا-نقره) به‌شمار می‌رود، کانه‌زایی مس-طلا موید بارور بودن توده مونزونیتی مرتبط می‌باشد کانی سازی در محدوده معدنی چالو در ۲ محدوده رخ داده است؛ محدوده نخست در شمال و شمال خاوری منطقه با کانه زایی آهن - منگنز و محدوده دوم در جنوب منطقه و پیرامون معدن متروکه اصلی چالو همراه با کانه‌زایی مس - طلا است (مهرابی و همکاران ۱۳۹۰).

۵-۳-۳- تفکیک توده‌های نفوذی بارور از عقیم بر اساس نمودارهای نسبت Sr/Y در مقابل Y (دیفانت و دروموند^۱ ۱۹۹۳)، و La/Yb در برابر SiO_2 (ریچاردز و همکاران^۲ ۲۰۱۲) از نمودارهای مفید دیگری که محققین از آن برای تفکیک توده‌های نفوذی بارور از انواع نابارور استفاده می‌کنند نمودار نسبت Sr/Y در مقابل Y و نمودار نسبت La/Yb در برابر SiO_2 می‌باشد، نسبت‌های بالای Sr/Y و La/Yb در ماگماهای مولد شاخص وجود کانی‌های گارنت، هورنبلند و کلینوپیروکسن، و نیز غنی‌شدگی $LREE^3$ نسبت به $HREE^4$ در ماگمای منشا می‌باشد (کاستیلو^۵ ۲۰۱۲).

از طرف دیگر بنا به عقیده هاسک و پیرس (۲۰۰۶)، غلظت‌های پایین Y در ماگماهای مولد نتیجه جدایش فازهای سیال از ماگما طی تکامل اولیه ماگما، می‌باشد (شکل ۵-۵). با توجه به این نمودار توده‌های گرانیتی و مونزونیتی چاه موسی، توده مونزونیتی چالو، سوسن‌وار و حافظ، و نیز نمونه‌های گرانیتی و گرانودیوریتی کوه‌زر در زمره توده‌های مولد مس پورفیری وسایر نمونه‌ها در گروه توده‌های نابارور قرار می‌گیرند.

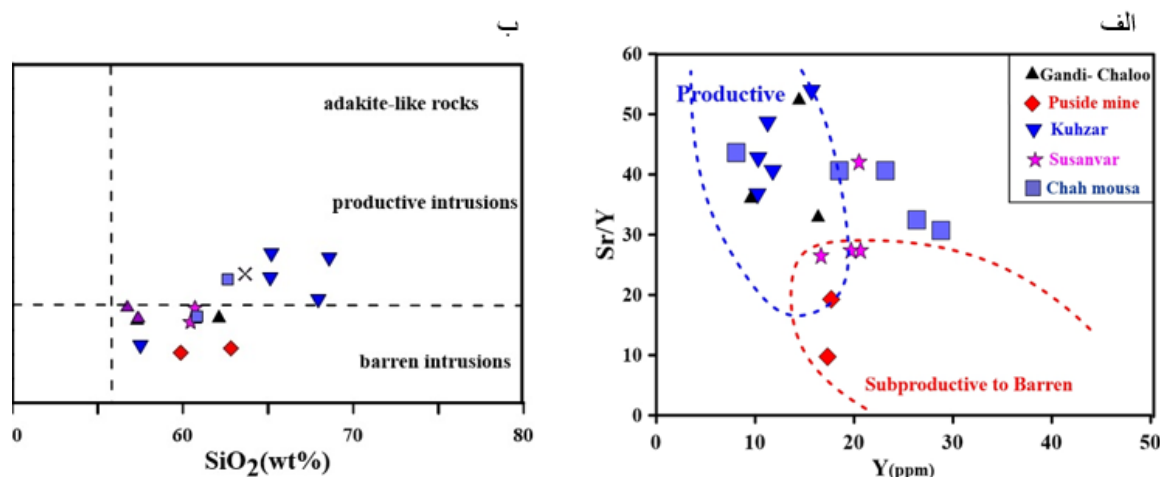
^۱ Defant & Drummond

^۲ Richards et al.

^۳ Light rare earth elements

^۴ Heavy rare earth elements

^۵ Castillo



شکل ۵-۵- الف : نمودار نسبت Sr/Y در مقابل Y (دیفانت و دروموند ۱۹۹۳). ب : نمودار نسبت La/Yb در برابر SiO₂، مورد استفاده جهت تفکیک توده‌های نفوذی بارور از نابارور کمر بند طرود-چاه شیرین

۵-۴- تفکیک توده‌های نفوذی بارور از انواع نابارور کمر بند طرود-چاه شیرین براساس

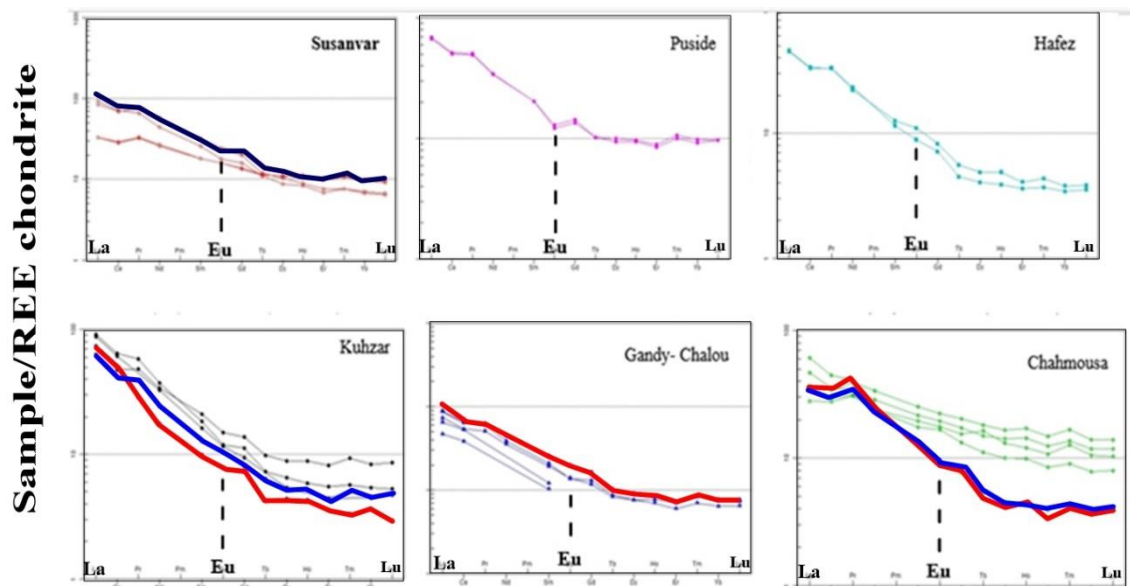
رفتار عناصر کمیاب و نادر خاکی

آنومالی منفی قوی عناصر ناسازگار، نبود آنومالی منفی برای Eu، و غنی شدگی نسبی LREEها نسبت به MREE ها و HREE ها از ویژگی‌های شاخص توده‌های نفوذی بارور می‌باشد. (Pearce & Baldwin, 1982)، جهت تفکیک توده‌های بارور و عقیم مس پورفیری و کانسارهای تیپ‌های اسکارن و رگه‌ای هیدروترمال مرتبط با پورفیری‌ها در شیلی از رفتار ژئوشیمیایی عناصر نامتحرک بخصوص Y، Mn، P، Yb، استفاده نمودند و دریافتند که توده‌های مس دار عمدتاً یک تهی شدگی و کاهش شدید از این عناصر را نشان می‌دهند که این امر ناشی از بدام افتادن این عناصر ناسازگار در فازهای مافیک در طی یک فرایند تفریق می‌باشد.

اصولاً الگوی بهنجار شده عناصر کمیاب توده‌های بارور نسبت به عناصر لیتوفیل درشت یون

(LILE)^۱، غنی شدگی نسبی و نسبت به عناصر با قدرت میدانی بالا (HFSE)^۲، تهی شدگی نشان می‌دهند (اسدی و همکاران ۲۰۱۴).

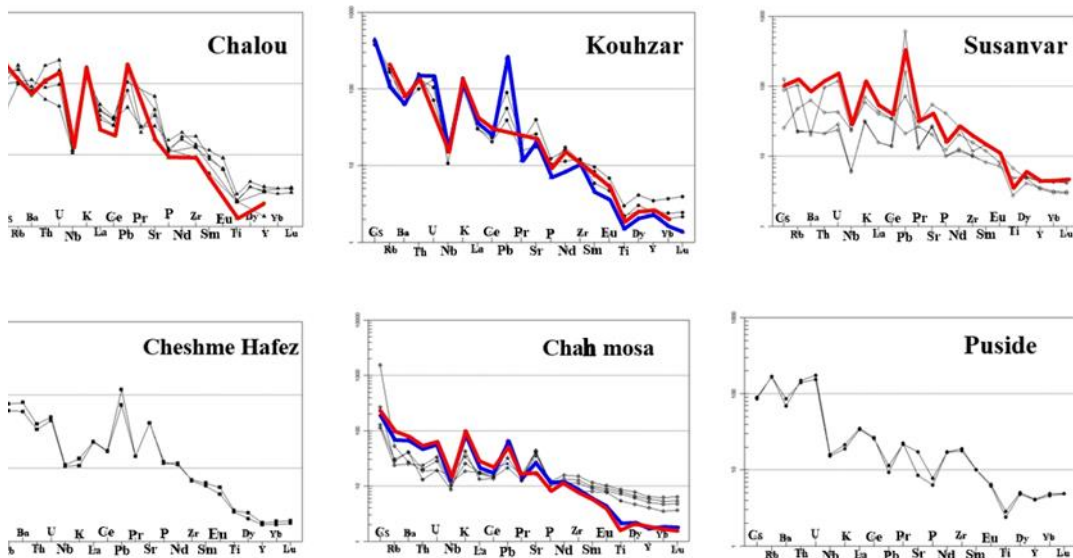
بنا به خصوصیات ذکر شده در بالا و تطابق دادن توده‌های نفوذی مورد مطالعه با این ویژگی‌ها، توده‌های با ترکیب گرانیتی و مونزونیتی منطقه چاه‌موسی، توده‌های مونزونیتی منطقه چالو، نمونه مونزونیتی معدن حافظ، و نمونه‌های گرانیتی و گرانودیوریتی کوه‌زر خصوصیات توده‌های نفوذی بارور را نشان می‌دهند و سایر نمونه‌ها ویژگی‌های توده‌های نابارور را دارا می‌باشند (شکل ۵-۶ و ۷-۷).



شکل ۵-۶- الگوی REE بهنجار شده نسبت به ترکیب کندریت (Nakamura, 1974) نمونه‌های سنگی کمر بند طرود-چاه شیرین

^۱ Large Ion Lithophile Elements

^۲ High Field Strength Elements



شکل ۵-۷- نمودار عنکبوتی بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (Sun & McDonough, 1989) برای توده‌های نفوذی کمر بند طرود-چاه شیرین

فصل ششم: بحث و نتیجه گیری

۶-۱- مقدمه

در این بخش ویژگی‌های سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمی توده‌های نفوذی کمر بند ماگمایی طرود-چاه‌شیرین به‌منظور دستیابی به شاخص‌هایی جهت تفکیک توده‌های نفوذی بارور از انواع نابارور بررسی می‌گردد.

در این فصل ابتدا خصوصیات سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی و پتروگرافی سنگ‌های آذرین نفوذی و نیمه‌نفوذی آورده شده‌است.

در ادامه ویژگی‌های سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمی سنگ‌های آذرین نفوذی نابارور توصیف شده و سنگ‌های نفوذی نابارور کمر بند طرود-چاه‌شیرین با آن‌ها مقایسه شده‌است. سپس اختصاصات سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی توده‌های نفوذی بارور بحث شده، و توده‌های نفوذی بارور کمر بند طرود-چاه‌شیرین با آن‌ها قیاس شده‌است، و در پایان نتیجه‌گیری و پیشنهادات لازم ارائه شده‌است.

۶-۲- زمین‌شناسی، پتروگرافی و پترولوژی توده‌های نفوذی کمر بند طرود-چاه‌شیرین

توده‌های نفوذی و نیمه نفوذی در قسمت‌های مختلف منطقه مورد مطالعه به درون سنگ‌های کربناته کرتاسه و سنگهای آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی ائوسن نفوذ نموده‌اند و پیامدهای متعدد و متنوعی از قبیل دگرگونی مجاورتی، متاسوماتیسم، دگرسانی گرمابی و کانه زایی به همراه داشته‌اند. به طور کلی می‌توان سنگهای نفوذی منطقه مورد مطالعه در چهار گروه سنگی زیر دسته‌بندی نمود (شکل ۶-۱):

- سنگهای گابرو دیوریتی

- سنگهای مونزونیتی

- سنگهای گرانودیوریتی

- سنگهای گرانیتی



شکل ۶-۱- نمای کلی و تصویر میکروسکوپی توده‌های نفوذی و نیمه‌نفوذی کمر بند طرود-چاه شیرین

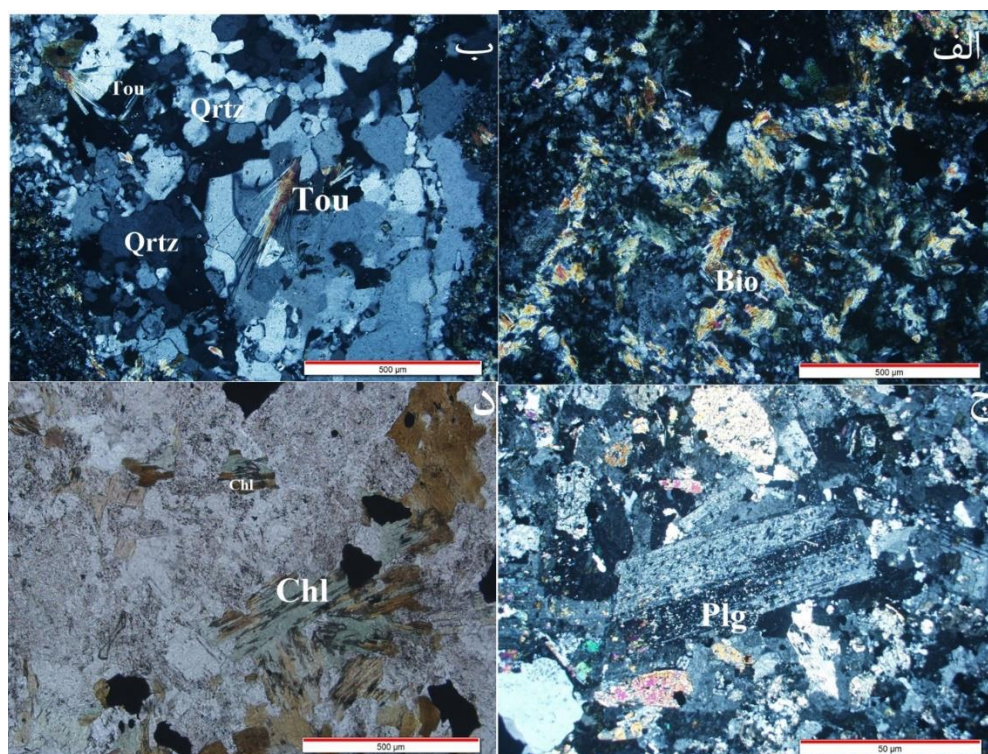
سنگ‌های گابرو دیوریتی به شکل دایک و استوک‌های کوچک مشاهده می‌شوند که واحدهای جوان‌تر را قطع نموده‌اند، پلاژیوکلاز، پیروکسن و هورنبلند مهمترین کانی‌های سازنده این سنگ‌ها هستند. الیوین به مقدار کم در آنها یافت می‌شود. آپاتیت، زیرکن و مگنتیت کانی‌های فرعی آنها هستند. کلریت، اسفن ثانویه، اکسیدهای آهن و اپیدوت کانی‌های دگرسانی می‌باشند.

سنگ‌های مونزونیتی غالباً به صورت استوک و یا دایک در منطقه حضور دارند کانی‌های اصلی شامل پلاژیوکلاز، آلکالی فلدسپار، کوارتز، هورنبلند و بیوتیت هستند، کانی‌های فرعی شامل تورمالین، آپاتیت و مگنتیت می‌باشند.

در سنگ‌های گرانودیوریتی کانی‌های اصلی، پلاژیوکلاز، بیوتیت، و در مقادیر کمتر آلکالی فلدسپار و هورنبلند هستند.

در سنگ‌های گرانیتی پلاژیوکلاز و بیوتیت به عنوان کانی‌های اصلی بوده و تورمالین نیز به عنوان یک کانی فرعی در این سنگ‌ها وجود دارد.

از اختصاصات کانی‌شناسی توده‌های نفوذی مرتبط با کانی‌زایی می‌توان به تورمالینی شدن، وجود بیوتیت‌های ثانویه، منیتیت‌های ثانویه، آلکالی فلدسپار ثانویه، کلریتی شدن و سریسیتی شدن اشاره نمود (شکل ۶-۲).



شکل ۶-۲- الف: وجود بیوتیت‌های ثانویه در توده مونزونیتی بارور چالو (XPL)، ب: تورمالینی شدن و حضور کوارتزهای ثانویه، در توده بارور گرانودیوریتی کوه زر (XPL)، ج: فرایند سریسیتی شدن در توده نفوذی بارور گرانودیوریتی منطقه کوه زر (XPL)، د: فرایند رایج کلریتی شدن در توده‌های نفوذی و نیمه‌نفوذی بارور کمر بند طرود-چاه شیرین (PPL). (علائم اختصاری: بیوتیت: Bio، تورمالین: Tou، کوارتز: Qtz، پلاژیوکلاز: Plg، کلریت: Chl).

پس از تحلیل روابط صحرایی و پتروگرافی سنگ‌ها، مطالعه ویژگی‌های ژئوشیمیایی آنها از اهمیت زیادی برخوردار است. بطوریکه بدون مطالعات ژئوشیمیایی و بررسی نتایج تجزیه‌های شیمیایی، نمی‌توان تفسیر درستی از منشاء و پتروژنز سنگ‌ها ارائه داد. مطالعات ژئوشیمیایی صورت گرفته بر روی توده‌های نفوذی منطقه موید قرار گرفتن واحدهای سنگی منطقه در چهار گروه مذکور در بالا می‌باشد.

نتایج حاصل از تجزیه‌های شیمیایی، بصورت مقادیر عناصر اصلی و کمیاب ارائه شده‌اند و از داده‌های عناصر اصلی در رده‌بندی سنگ‌ها و از داده‌های عناصر اصلی به همراه عناصر کمیاب و کمیاب خاکی،

جهت ترسیم نمودارهای تغییرات، عنکبوتی، تعیین سری ماگمایی و جایگاه تکتونیکی تشکیل سنگها استفاده شده است (نمودارهای استفاده شده در فصل ۴).

به طور کلی براساس مشاهدات صحرایی، مطالعات پترولوژیکی و تجزیه و تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی نتایج ذیل حاصل آمده اند:

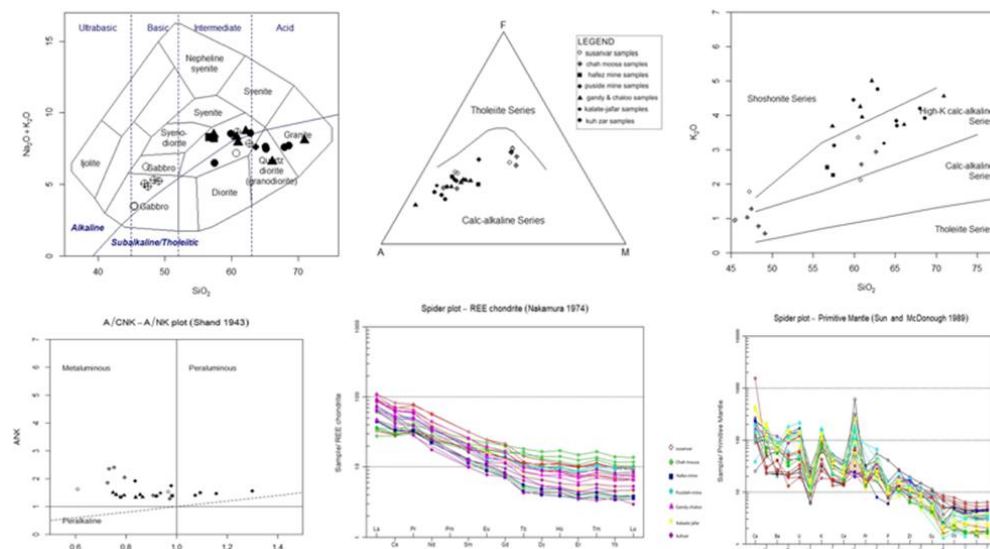
– توده‌های درونی منطقه مورد مطالعه به لحاظ سنگ‌شناختی در محدوده‌ی گرانیت، گرانودیوریت، مونزونیت، گابرو دیوریت و گابرو قرار می‌گیرند.

– ماگمای سازنده سنگهای آذرین مورد مطالعه از نوع کالکوالکالن می‌باشد.

– از بین واحدهای سنگی مورد مطالعه گابروها و مونزونیت‌ها تماماً دارای ماهیت متاآلومین هستند و قرار گرفتن نمونه‌های گرانودیوریتی و گرانیتی در قلمرو پراآلومین، ممکن است به مشارکت بیشتر بخش پوسته‌ای در تشکیل آنها مرتبط باشد.

– فرایند غالب در تحولات ماگمایی منطقه، فرایند تبلور تفریقی می‌باشد (شکل ۶-۳).

– سنگ‌های گرانیتوئیدی منطقه مورد مطالعه در زمره گرانیت‌های کوهزایی واقع می‌شوند که این نتیجه با شواهد زمین‌شناسی، صحرایی و سنگ‌شناسی سنگ‌های مورد مطالعه نیز سازگار است.



شکل ۳-۶- نمودارهای حاصله از داده‌های آنالیزی توده‌های نفوذی و نیمه‌نفوذی کمر بند طرود-چاه شیرین

۳-۶- توده‌های نفوذی نابارور کمر بند طرود-چاه شیرین

مطالعات گوناگونی که بر روی خصوصیات ژئوشیمیایی توده‌های نفوذی توسط محققین متعدد صورت گرفته‌است، نشان داده‌است که تفاوت‌های شاخصی بین توده‌های نفوذی نابارور از انواع بارور براساس ویژگی‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی، کمیاب و کمیاب خاکی وجود دارد. از برخی ویژگی‌های ژئوشیمیایی شاخص توده‌های نفوذی نابارور می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

۱. به‌طور کلی می‌توان گفت که توده‌های نابارور حاوی مقادیر بالاتری از SiO_2 و عناصر قلیایی

نسبت به توده‌های بارور می‌باشند (Kuscu, et al., 2004).

۲. توده‌های نابارور تفریق یافتگی بیشتر و سهم بالاتری از آغستگی پوسته‌ای را متحمل شده‌اند (Kuscu, et al., 2004).

۳. پایین بودن غلظت فلزات پایه یکی دیگر از ویژگی‌های توده‌های عقیم است (زرأسوندی، ۱۳۸۴).

۴. وجود آنومالی منفی از Eu (Asadi, et al., 2014).

۵. توده های عقیم در الگوی REE خود نه تنها از LREE نسبت به MREE و HREE غنی شدگی

نشان نمی دهند بلکه حتی گاهی اوقات نسبت به HREE غنی شدگی نیز نشان می دهند

(زراسوندی، ۱۳۸۴) و (Asadi, et, al. 2014).

۶. غنی شدگی از HFSE و تهی شدگی از LILE.

۷. توده های عقیم همچنین نسبت به Pb, Y و Mn که جزء عناصر نامتحرک می باشند، غنی شدگی

نشان می دهند (Baldwin and Pearce, 1982).

۸. نسبت های پایین La/Sm در توده های نفوذی نابارور منطقه نشان دهنده غنی شدگی کمتر ماگمای

منشا می باشد.

۹. مقادیر پایین نسبت های ($Sr/Y < 21$) و ($La/Yb < 9$)، از خصوصیات شاخص توده های نفوذی

نابارور است (Asadi, et, al. 2014).

با استفاده از روش های تفکیکی که در فصل پنجم بر روی توده های نفوذی کمر بند طرود-چاه شیرین انجام

گرفت، توده های نفوذی شامل سنگ های گرانیتی چاه موسی، توده گرانودیوریتی چالو، سوسن وار و حافظ،

و نیز نمونه های گرانیتی و گرانودیوریتی کوه زر خصوصیات توده های نفوذی عقیم را نشان می دهند.

توده های نفوذی نابارور منطقه طرود-چاه شیرین را از نظر مقادیر غلظت عناصری مانند نیکل، و سرب

با دو توده گرانیتوئیدی نابارور مشابه مقایسه نموده ایم و نتایج مشابهی مشاهده گردیده است. نفوذی های

نابارور مورد مطالعه با توده گرانیتی عقیم ملاطالب واقع در الیگودرز (باقریان و همکاران)، و نیز با

توده های گرانیتوئیدی نابارور جبال بارز واقع در کمر بند ماگمایی سنوزوئیک کرمان (مور و اسدی ۲۰۱۴

)، از نظر مقادیر غلظت عناصر Ni و Pb مورد مقایسه قرار گرفته اند و غنی شدگی نسبی در آن ها دیده-

می شود (جدول ۶-۱).

جدول ۱-۶- مقایسه نفوذی‌های عقیم کمر بند طرود-چاه شیرین با توده‌های نفوذی عقیم سایر نقاط ایران از نظر مقادیر سرب و نیکل

عناصر شاخص (ppm)		توده نابارور
Pb ↓	Ni ↓	
4/5__43	10__55	نفوذی‌های عقیم طرود-چاه- شیرین
12	24	توده‌گرانیته عقیم ملاطالب (باقریان و همکاران)
7__19	11__73	گرانیتوئیدهای عقیم جبال بارز کرمان (مور و اسدی ۲۰۱۴)

بعلاوه توده‌های نابارور منطقه مورد مطالعه را می‌توان از نظر مقادیر غلظت Y و MnO ، که بعنوان شاخص‌هایی جهت تعیین توان کانه‌زایی توده‌های نفوذی می‌باشند با برخی توده‌های نابارور مطالعه شده در سایر نقاط جهان مورد مقایسه قرار داد، برای این منظور توده‌های نابارور منطقه مورد مطالعه را با توده‌های گرانیتوئیدی نابارور کوه‌های شیلی (بالدوین و پیرس ۱۹۸۲)، و نیز با توده‌های گرانیتوئیدی نابارور جبال بارز واقع در کمر بند ماگمایی سنوزوئیک کرمان (مور و اسدی ۲۰۱۴)، از نظر مقادیر غلظتی ایتريوم و منگنز مورد مقایسه قرار داده‌ایم و مشاهده نموده‌ایم که تمامی توده‌های نابارور مذکور نسبت به این دو عنصر غنی‌شدگی نشان می‌دهند ($Y > 10\text{ppm}$) و ($\text{MnO} > 0/1 \text{ wt.}\%$)، (رجوع به تصویر ۵-۲) و (جدول ۲-۶).

جدول ۶-۲- مقایسه نفوذی‌های عقیم کمر بند طرود-چاه شیرین با توده‌های نفوذی عقیم سایر نقاط ایران و

جهان از نظر مقادیر ایتريوم و منگنز

عناصر شاخص		توده نابارور
MnO (wt %) ↓	Y (ppm) ↓	
0/2<	۱۰ __ ۳۰	نفوذی‌های عقیم طرود-چاه-شیرین
0/5<	۱۲ __ ۲۵	گرانیتوئیدهای نابارور کوه‌های شیلی (بالدوین و پیرس ۱۹۸۲)
0/3<	۱۱ __ ۴۰	گرانیتوئیدهای عقیم جبال بارز کرمان (مور و اسدی ۲۰۱۴)

۶-۴- توده‌های نفوذی بارور کمر بند طرود-چاه شیرین

با توجه به روش‌های تفکیکی که در فصل پنجم بر روی توده‌های نفوذی کمر بند طرود-چاه شیرین انجام گرفت ، می‌توان بطور خلاصه ویژگی‌های ژئوشیمیایی توده‌های نفوذی بارور منطقه که شامل سنگ‌های گرانیتی و مونزونیتی چاه‌موسی، توده‌های مونزونیتی چالو، سوسن‌وار و معدن حافظ، توده گرانیتی و گرانودیوریتی کوه‌زر می‌باشند را بصورت ذیل فهرست نمود :

۱. به‌طور کلی می‌توان گفت که توده‌های بارور حاوی مقادیر پایین‌تری از SiO₂ و عناصر

قلیایی نسبت به توده‌های نابارور می‌باشند (Kuscu,et al.,2004).

۲. توده‌های بارور تفریق یافتگی کمتر و سهم پایین‌تری از آغشتگی پوسته‌ای را متحمل شده‌اند (Kuscu, et al., 2004).

۳. بالا بودن غلظت فلزات پایه یکی دیگر از ویژگی‌های توده‌های مولد است (زراسوندی، ۱۳۸۴).

۴. عدم وجود آنومالی منفی از Eu. و حتی گاه‌ها وجود آنومالی مثبت خفیف از Eu (Asadi, et, al. 2014).

۵. توده‌های بارور در الگوی REE خود از LREE نسبت به MREE و HREE غنی‌شدگی نشان نمی‌دهند (Asadi, et, al. 2014).

۶. تهی‌شدگی از HFSE و غنی‌شدگی از LILE.

۷. توده‌های بارور همچنین نسبت به Pb, Y و Mn که جزء عناصر نامتحر می‌باشند، تهی‌شدگی نشان می‌دهند (Baldwin and Pearce, 1982).

۸. نسبت‌های بالای La/Sm در توده‌های نفوذی بارور منطقه نشان‌دهنده غنی‌شدگی بیشتر ماگمای منشا می‌باشد.

۹. مقادیر بالای نسبت‌های $Sr/Y (>55)$ و $La/Yb (>20)$ ، از خصوصیات شاخص توده‌های نفوذی بارور است (Asadi, et, al. 2014).

توده‌های نفوذی بارور منطقه مورد مطالعه را از نظر مقادیر غلظت عناصری مانند نیکل، کروم و سرب با دو توده گرانیتوئیدی بارور مشابه مقایسه نموده‌ایم و نتایج مشابهی مشاهده گردیده است. نفوذی‌های بارور مورد مطالعه با توده‌های گرانیتوئیدی بارور کوه‌پنج واقع در کمربند ماگمایی سنوزوئیک کرمان (مور و اسدی ۲۰۱۴)، از نظر مقادیر غلظت عناصر Ni و Pb مورد مقایسه قرار گرفته‌اند و تهی‌شدگی نسبی در آن‌ها دیده می‌شود (جدول ۶-۳).

جدول ۳-۶- مقایسه نفوذی‌های بارور کمربند طرود-چاه‌شیرین با دو توده نفوذی مولد دیگر از نظر مقادیر سرب و نیکل

عناصر شاخص (ppm)		توده بارور
Pb ↓	Ni ↓	
۱۵__۱	۳۰__۵	نفوذی‌های بارور طرود-چاه-شیرین
۴	۱۱	توده گرانیتوئیدی مولد HSE سویونجه چین
۳۸__۳/۵	۳۱__۹	گرانیتوئیدهای بارور کوه پنچ کرمان (مور و اسدی ۲۰۱۴)

بعلاوه توده‌های بارور منطقه مورد مطالعه را می‌توان از نظر مقادیر غلظت Y و MnO، با برخی توده‌های بارور مطالعه شده در سایر نقاط جهان مورد مقایسه قرار داد، برای این منظور توده‌های بارور منطقه مورد مطالعه را با توده‌های گرانیتوئیدی بارور کوه‌های شیلی (بالدوین و پیرس ۱۹۸۲)، و نیز با توده‌های گرانیتوئیدی بارور کوه‌پنچ واقع در کمربند ماگمایی سنوزوئیک کرمان (مور و اسدی ۲۰۱۴)، از نظر مقادیر غلظتی ایتريوم و منگنز مورد مقایسه قرار داده‌ایم و مشاهده نموده‌ایم که تمامی توده‌های بارور مذکور نسبت به این دو عنصر تهی‌شدگی نشان می‌دهند ($Y < 10\text{ppm}$) و ($\text{MnO} < 0/1 \text{ wt.}\%$)، (رجوع به تصویر ۲-۵ و (جدول ۴-۶).

جدول ۴-۶- مقایسه نفوذی‌های بارور کمربند طرود-چاه‌شیرین با دو توده نفوذی مولد سایر نقاط ایران و

جهان از نظر مقادیر ایتريوم و منگنز

عناصر شاخص		توده بارور
MnO (wt %) ↓	Y (ppm) ↓	
<0/1	6/5__9	نفوذی های بارور طرود-چاه-شیرین
<0/0.5	5__8	گرانیتوئیدهای بارور کوه-های شیلی (بالدوین و پیرس ۱۹۸۲)
<0/0.7	4__8/5	گرانیتوئیدهای مولد کوه پنچ کرمان (مور و اسدی ۲۰۱۴)

۵-۶- نتیجه گیری

باتوجه به مطالعات زمین شناسی ، پتروگرافی و ژئوشیمیایی صورت گرفته بر روی توده های نفوذی و نیمه نفوذی کمر بند آتشفشانی _ رسوبی طرود چاه شیرین و نیز مشاهدات صحرایی انجام شده طی چندین مرحله، می توان نتایج حاصله مبنی بر تفکیک توده های نفوذی بارور از انواع عقیم را بصورت ذیل خلاصه نمود :

- ترکیب سنگ شناسی توده های نفوذی و نیمه نفوذی کمر بند طرود-چاه شیرین شامل گرانیت، گرانودیوریت، مونزونیت، دیوریت و گابرو دیوریت می باشد.
- کانی های تشکیل دهنده این سنگ ها شامل: پلاژیوکلاز، کوارتز، آلكالی فلدسپار، بیوتیت، هورنبلند، وکانی های ثانویه مانند کلریت، اپیدوت، کلسیت و سریسیت می باشد.
- وجه تمایز توده های نفوذی بارور از انواع نابارور در کمر بند طرود-چاه شیرین به لحاظ خصوصیات کانی شناختی، تورمالینی شدن، سریسیتی شدن، کلریتی شدن، وجود کوارتز

ثانویه و بیوتیت ثانویه در توده‌های بارور می‌باشد.

- سری ماگمایی توده‌های نفوذی و نیمه نفوذی کمر بند طرود-چاه‌شیرین کالکوالکالن، کالکوالکالن پتاسیم بالا تا شوشونیتی می‌باشد.
- گرانیتوئیدهای کمر بند مورد مطالعه از نظر موقعیت زمین‌ساختی، از نوع گرانیتوئیدهای قوس آتشفشانی (VAG) می‌باشند، سری ماگمایی تعیین شده و نیز الگوی REE توده‌های نفوذی و نیمه نفوذی کمر بند طرود-چاه‌شیرین موید این امر می‌باشد.
- بر اساس نسبت‌های La/Sm ، Sm/Yb ، Sr/Y و La/Yb ، توده‌های نفوذی و نیمه‌نفوذی شامل سنگ‌های گرانیتی چاه موسی، توده گرانودیوریتی چالو، سوسن‌وار و حافظ، و نیز نمونه‌های مونزونیتی و گرانیتی کوه‌زر در زمره توده‌های نابارور و سنگ‌های گرانیتی و مونزونیتی چاه‌موسی، توده‌های مونزونیتی چالو، سوسن‌وار و معدن حافظ، توده گرانیتی و گرانودیوریتی کوه‌زر در زمره توده‌های بارور قرار می‌گیرند.
- بطور کلی از مهم‌ترین ویژگی‌های توده‌های نفوذی نابارور منطقه که با توده‌های نابارور سایر نقاط جهان نیز مطابقت دارد می‌توان به مواردی چون مقادیر بالاتر SiO_2 و عناصر قلیایی، تفریق یافتگی بیشتر و سهم بالاتری از آغستگی پوسته‌ای، و پایین بودن غلظت فلزات پایه اشاره نمود.
- توده‌های بارور در مقایسه با انواع عقیم حاوی سیلیس کمتر، عناصر قلیایی پایین‌تر، تفریق-یافتگی کمتر و مقادیر غلظتی بالاتری از فلزات پایه می‌باشند.

۶-۶- پیشنهادات

- نمونه‌برداری از توده‌های بارور و نابارور، تهیه و مطالعه پتروگرافی مقاطع نازک-صیقلی و انتخاب کانی‌های شاخص برای تجزیه نقطه‌ای به روش میکروپروپ الکترونی.

- مطالعات ایزوتوپ‌های ناپایدار (روش اورانیوم-سرب U-Pb)، برروی کانی زیرکن به-منظور تعیین سن مطلق سنگ‌های آذرین نفوذی و نیمه‌نفوذی کمربند طرود-چاه-شیرین.
- مطالعات میکروترمومتری و آنالیزهای شیمیایی میانبارهای سیال برروی نمونه‌های برداشت شده از کانی‌سازی‌های مختلف رشته‌کوه طرود-چاه‌شیرین.
- مطالعات ایزوتوپی گوگرد برروی کانی‌های سولفیدی (پیریت، کالکوپیریت و گالن)، برای ارزیابی منشأ سیال کانه‌ساز و شرایط تشکیل کانه‌زایی.
- مطالعات ایزوتوپی اکسیژن و هیدروژن برروی کانی کوارتز برای تعیین منشأ سیال کانه‌ساز.

منابع

امام جمعه، ا.، راستاد، ا.، بوذری، ف.، رشید نژاد عمران، ن.، (۱۳۸۵)، معرفی سامانه واحد کانه‌زایی افشان-رگچه‌ای و رگه‌ای مس (سرب، روی) در محدوده معدنی چاه موسی-قله کفتران، بخش خاوری کمان ماگمایی ترود-چاه شیرین.

اشتوکلین (۱۹۵۶) و هوبر (۱۹۵۷)، "بررسی مقدمات زمین شناسی در لوت مرکزی، شرق ایران"، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

اسحاقیان پور ر، (۱۳۹۵)، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی: "بررسی کانی شناسی و زمین شیمی کانسار سرب تنگه‌ی کوه زر، جنوب دامغان"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان.

اشراقی س، خلیلی ا، (۱۳۸۵)، "نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه معلمان" انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

آقانباتی ع، (۱۳۸۳)، "زمین شناسی ایران"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.

بادوزاده کانرش ح، (۱۳۹۰)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "بررسی کانه‌زایی کانسار آهن رباعی دامغان براساس مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمی"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان.

-تقی پور ن، قربانی ق، (۱۳۹۰)، "زمین شناسی، پتروگرافی و ژئوشیمی سنگ‌های آذرین مرتبط با کانسار اسکارن آهن چالو (جنوب شرق دامغان)"، "مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته زمستان ۹۰، شماره ۲ جلد ۱.

اشراقی، ص.ع.، و جلالی، ع.، (۱۳۸۵)، نقشه زمین شناسی چهارگوش معلمان، سری ۱/۱۰۰۰۰۰، شماره ۶۹۶۰، سازمان زمین شناسی کشور.

حقیقی، ا.، علیرضایی، س.، اشرف پور، ا.، (۱۳۸۹)، کانه زایی، دگرسانی و ویژگیهای سیال کانه زا در کانسار فلزات پایه و گرانبه‌های چشمه حافظ، رشته کوه ترود-چاه شیرین، شمال ایران مرکزی. فصل

نامه علوم زمین، تابستان ۹۲، شماره ۸۸، ص ۹۹-۱۱۰.

حسنی پاک ع ا، شرفالدین م، (۱۳۹۱)، "تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی"، انتشارات دانشگاه تهران
خادمی م، (۱۳۸۶)، رساله دکتری، "ویژگی‌های ساختاری و وضعیت زمین‌شناسی منطقه ترود"، دانشگاه
شهید بهشتی، ۲۰۰ صفحه

خواجehزاده ح، (۱۳۸۸)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "پترولوژی و ژئوشیمی توده‌های آذرین نفوذی شمال
معلمان"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

رشیدنژاد عمران ن، (۱۳۷۱)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "بررسی تحولات سنگ شناسی و ماگمایی و
ارتباط آن با کانی‌سازی طلا در منطقه باغو (جنوب شرق دامغان)"، دانشگاه تربیت معلم.

روحبخش پ، کریم‌پور م ح، ملک‌زاده شفارودی ا، (۱۳۹۵)، "مقایسه پردازش داده‌های ماهواره‌ی و
مطالعات صحرایی در کانی‌شناسی زون‌های دگرسانی کانسار طلا- مس کوه‌زر، دامغان"، هشتمین
همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، شهریور ۱۳۹۵.

زراسوندی ع، لیاقت س، (۱۳۸۴)، "تفکیک توده‌های پورفیری عقیم و کانه دار در جنوب چهارگوش
خضرآباد یزد، با استفاده از ژئوشیمی عناصر نادر خاکی (REE)"، نهمین همایش انجمن زمین شناسی
ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران، ۱۳۸۴.

شیری ز، (۱۳۹۲)، "پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، زمین‌شناسی، کانی‌شناسی،
ژئوشیمی و ژنز کانسار روی (سرب) انارو، جنوب دامغان"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان.
شعمانیان اصفهانی، غ (۱۳۸۱)، رساله دکتری: "مطالعه دگرسانی گرمابی فلزات پایه و گرانبها در منطقه
معلمان"، دانشگاه شهید بهشتی.

صادقی‌فلک‌دهی ص، (۱۳۸۲)، "زمین‌شناسی اقتصادی کانسار چاه‌موسی در شمال غرب ترود
سمنان" دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، ۱۹۴ ص

علوی، م، هوشمندزاده، ع، اطمینان، ه، و حقی پور، ع. (۱۹۷۸)، نقشه زمین شناسی چهارگوش

طروء، سری ۱/۲۵۰۰۰۰، شماره H5، سازمان زمین شناسی کشور.

کهنسال ر، (۱۳۷۷)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "بررسی توده‌های نفوذی نیمه ژرف در محدوده ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان"، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شمال.

کریم‌نژاد، س، (۱۳۸۳)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "بررسی زمین‌شناسی اقتصادی کانسار آهن رباعی"، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شمال. ۱۶۸ ص.

موحد اول م، (۱۳۴۷)، "گزارش مقدماتی فیروزه باغو منطقه کوه زر"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

نوری ل، (۱۳۹۳)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی: "بررسی هاله‌های دگرسانی رشته کوه ترود- چاه‌شیرین با استفاده مطالعات میدانی و پردازش تصاویر ماهواره‌ای ASTER" دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان.

مصدق م، (۱۳۹۴)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی: "کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و الگوی پیدایش کانسار منگنز هلالان، منطقه معلمان، جنوب دامغان"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

موسوی نقابی ا، (۱۳۸۸)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی: "بررسی کانی‌شناسی و ژنز معدن روی و سرب قله کفتران (شاهرود)"، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت معلم تهران.

مرف، شکری ع، (۱۳۷۹)، "کانی‌شناسی، زمین‌شناسی و زمین‌دماسنجی کانسار طلای رگه‌ای باغو"، چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، سال ۱۳۷۹.

ناهیدی‌فر ل، (۱۳۹۳)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی: "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس دیان (جنوب دامغان)"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

هوشمندزاده ع، علوی نائینی م، حقی پور ع، (۱۳۵۷)، "تحول پدیده‌های زمین‌شناسی ناحیه ترود"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

هلمهاکر (۱۸۹۸) و هنمک (۱۸۹۹)، "پی‌جویی طلا در زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه"، قربانی م،

(۱۳۸۴)، رساله دکترا، "پترولوژی سنگ‌های ماگمایی جنوب دامغان"، دانشگاه شهید بهشتی.

Alavi M. (1996) "Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain system in northern Iran" *Journal of Geodynamics.*, v.21, p.1-33.

Asadi S. Moore F. and Zarasvandi A. (2014). Discriminating productive and barren porphyry copper deposits in the southeastern part of the central Iranian volcano-plutonic belt, Kerman region, Iran: a review. *Earth-Science Reviews*, 138, 25-46.

Baldwin, J. A., & Pearce, J. A. (1982). Discrimination of productive and nonproductive porphyritic intrusions in the Chilean Andes. *Economic Geology*, 77(3), 664-674.

Bahajroy, M., & Taki, S. (2014). Study of the mineralization potential of the intrusives around Valis (Tarom-Iran). *Earth Sciences Research Journal*, 18(2), 123-129.

Geological Survey of Iran (1995), Explanatory text of geochemical map of Moalleman, 6960, Report 9, V. 1, 33p.

Exploration Co. Jiangxi, China, (1994), Explanatory text of geochemical map of Moaleman (6960), Stream sediment survey 1:100000, Report No. 9.

Ghorbani, M. (2013). Metallogenic and mining provinces, belts and zones of Iran. In *The economic geology of Iran* (pp. 199-295). Springer, Dordrecht.

Hassanzadeh, J., Ghazi, A. M., Axen, G., Guest, B., Stockli, D. & Tucker, P., 2002- Oligocene mafic-alkaline magmatism in north and northwest of Iran: Evidence for the separation of the Alborz from the Urumieh-Dokhtar magmatic arc [abs.]: *Geological Society of America Abstracts with Program*, v.34, no. 6, and p.331.

Kuscu, I., Gencalioglu, G., Sarc, C., Meinert, L.D., (2004), An approach to geochemical characterization of productive versus barren granitoids in terms of iron in central Turkey. Mehrabi B., Siani M.G.(2012) "Intermediate Sulfidation Epithermal Pb-Zn-Cu ($\pm$ Ag-Au) Mineralization at Cheshmeh Hafez Deposit, Semnan Province, Iran" *Journal of the*

Geological Society of India, 80(4), pp.563-578.

Meinert, L.D., 1990. Skarn deposits in Nevada-geology, mineralogy, and petrology of Au, Cu, W, and Zn skarns. In: Meinert, L.D., Myers, G.L. Brooks, J.W. (Eds.), Geological Society of Nevada Fieldtrip #2 Guidebook, pp. 41–72.

Niroomand, S., Hassanzadeh, J., Tajeddin, H. A., & Asadi, S. (2018). Hydrothermal evolution and isotope studies of the Baghu intrusion-related gold deposit, Semnan province, north-central Iran. *Ore Geology Reviews*, 95, 1028-1048.

Ruiz, C., Fernandez, C., Locutura, J., (2006), Geochemistry, geochronology and mineralization potential of the granites in the central Iberian zone; the Jalama batholith

Shamanian, G.H., Hedequist, J.W., Hottori, K.H., and Hassanzadeh, J., (2004), The Gandy and Abolhassani epithermal prospects in the Alborz magmatic arc, Semnan province, Northern Iran. *Economic Geology*, V. 99, p. 691-712.

Taghipour, B., and Mackizadeh, M.A., (2014), The origin of the tourmaline and turquoise association hosted in hydrothermally altered rocks of the Kuh-Zar Cu-Au-Turquoise deposit, Damghan, Iran, *N. jb. Geol. Palaont. Abh. Stuttgart*, 272/1, 61-77.

Verdel, C., 2008- Cenozoic geology of Iran: an integrated study of extensional tectonics and related volcanism: Unpublished Ph.D. dissertation, California Institute of Technology, Los Angeles, 253 p.

Zhong, S., Seltmann, R., & Shen, P. (2017). Two different types of granitoids in the Suyunhe large porphyry Mo deposit, NW China and their genetic relationships with molybdenum mineralization. *Ore Geology Reviews*, 88, 116-139.

Abstract

Toroud-Chahshirin belt host many precious and base metal deposits that indicates to high mineralization potential and economic importance of this region. Toroud-Chahshirin magmatic belt with an eastern-western trend, is located between Toroud and Anjilu faults in the north margine of central Iran desert. The most ancient rocks (late Precambrian), are amphibolite, schist, gense, quartzite, dolomitic marble and phillite located in north-eastern and east of region, Paleozoic metamorphic rocks are in west terminal, Mesozoic carbonate-clastic rocks appeared around the Reshm.

Cenozoic units are mostly include volcano-sedimentary and volcanics like: tuff, breccia and agglomerate with sandstone and mudstone inter layer. Volcanic rocks include a range of andesite, basaltic andesite, trachyandesite, dacite and rhyolite that crossed by polotonic-subpolotonic intrusions such as: Gabbro-diorite, monzonite, granodiorite and granite. Intrusions mineralogy is commonly characterized by Plagioclase, K-feldspar, quartz, hornblende, biotite, pyroxene and alteration minerals. Some of the main productive intrusions characteristics in Toroud-Chahshirin belt are toumalinized, secondary quarts, k-feldspar and chloritised-sericitised process.

Igneous rocks are mostly High K calcoalkaline to shoshonitic, and recognized by enrichment in LILE (Th, Rb, Cs, Ba, K), loss of HFSE (Ta, Ti, Zr, Nb) and high LILE / HFSE, LREE / HREE ratios.

Based on La/Sm, Sm/Yb, Sr/Y, and La/Yb ratios, Chahmoussa granitic rocks, Chalo, Sousanvar, and Hafez granodioritic intrusions, besides the granite and monzonite of Kouhzar are Non-productive (Barren), and productive intrusions consist of: Chahmoussa monzonite and granite, Chalo, Sousanvar, and Hafez monzonite, and finally The Kouhzar granite and granodiorite.

Keywords: productive intrusion, barren intrusion, geochemistry, Toroud-Chahshirin.



**Shahrood University
of Technology**

**Faculty of Earth Sciences
M.Sc. Thesis in Geochemistry**

**Geochemical And Petrological Discriminant Factors Of
Productive And Barren Intrusions In Torud-Chahshirin
Magmatic Belt, South Of Damghan**

By: Mohammad Reza Hosseiny

Supervisors:

Dr. Masoud Alipour Asl

Dr. Habibolah Ghasemi

July 2018