

ماهیت سیال‌های درگیر در سنگ‌های کالک‌آلکان کانی‌سازی مس و طلای منطقه تنورچه (شمال کاشمر)

کیمیا سادات عجایی^{(۱)*}، محمد حسن کریم‌پور^۲، سید احمد مظاهری^۳ و سعید سعادت^۴

۱. دانشجوی دکتری دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

۲. استاد دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

۳. دانشیار دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

۴. دانشجوی دکترا دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد

تاریخ دریافت: ۸۷/۴/۲۲

تاریخ پذیرش: ۸۷/۸/۱۹

چکیده

منطقه مورد مطالعه، در استان خراسان رضوی، شمال کاشمر واقع شده است. قرارگیری این محدوده بر روی کمر بند خواف- درونه، شرایط تکتونیکی این کمر بند و فعالیت‌های ماگمایی متنوع در ترشیاری، موجب گردیده تا کانی‌سازیهای ویژه‌ای در طول این کمر بند تشکیل شوند. شواهد سنگ‌شناسی (نفوذ توده‌های نیمه عمیق کالک‌آلکان و ساب‌آلکان) و همچنین زونهای آلتراسیون مرتبط با توده‌های نفوذی، حضور آنومالی طلا، پیریت و اکسیدهای آهن ثانویه در تمامی منطقه تشابهی را با مناطق حاشیه‌قاره و ولکانیک‌های پورفیری‌ساز ائوسن نشان می‌دهند. براساس مطالعات سیالات درگیر و با توجه به میزان شوری (۵ تا بیش از ۴۴ درصد وزنی)، دمای همگن‌سازی (۲۰۰ تا ۳۶۰ درجه و بالاتر از آن) و نمودارهای مربوطه، نمونه‌های منطقه در دو محدوده مربوط به سیستم‌های پورفیری و اپی‌ترمال قرار می‌گیرند. همچنین بر اساس نمودار تغییرات فشار و عمق در برابر دما، سیالات درگیر، عمق تقریباً ۸۴۰ متری و فشاری در حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ بار را معرفی می‌نماید که این میزان، با محاسباتی که در سایر سیستم‌های پورفیری مس - اپی‌ترمال طلا انجام شده است تشابه نزدیکی را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: پورفیری، پیریت، تنورچه، طلا، مس، سیالات درگیر

روش تحقیق

جهت بررسی ماهیت پترولوژی و محیط تشکیل سنگ‌های منطقه، پس از برداشت و آماده‌سازی نمونه‌های سنگی از محدوده‌های اولویت‌دار، تعداد ۲۸ نمونه برای مطالعات پترولوژی انتخاب و جهت انجام تجزیه شیمیایی، به کشور کانادا ارسال گردید. نمونه‌ها به روش ICP-MS تجزیه شد که در این روش میزان اکسیدهای اصلی و حدود ۴۷ عنصر (فلزات پایه، عناصر کمیاب و نادر خاکی) مشخص شدند. همچنین با مطالعه سیال‌های درگیر که در دانشگاه تربیت معلم و سازمان زمین‌شناسی انجام شده است، درجه حرارت، عمق و فشار زمان تشکیل سیستم کانی‌سازی، نوع سیستم و شیمی سیالات محبوس محاسبه و بررسی شده است.

مقدمه

محدوده مورد مطالعه در تقسیم بندی پهنه ساختاری - رسوبی، بخشی از ایالت زمین‌ساختی ایران مرکزی را شامل می‌شود. این محدوده در شمال گسل درونه قرار گرفته و به لحاظ فعالیت‌های ماگماتیسم گسترده، می‌توان از آن به‌عنوان کمر بند ولکانوپلوتونیک درونه - تربت حیدریه (کاشمر) - خواف نام برد. فعالیت‌های ذکر شده شرایط کانی‌سازی مختلفی را در کل منطقه به وجود آورده است. از آن جمله سیستم کانی‌سازی طلا - مس تنورچه را می‌توان نام برد. هدف اصلی این تحقیق بررسی ماهیت سنگ‌های منطقه و نیز سیال‌های درگیر موجود در رگه‌های سیلیسی این سیستم کانی‌سازی، جهت تعیین منشأ، نوع کانی‌سازی و نیز مقایسه این داده‌ها با سیستم‌های مشابه می‌باشد.

* نویسنده مرتبط

موقعیت و زمین‌شناسی

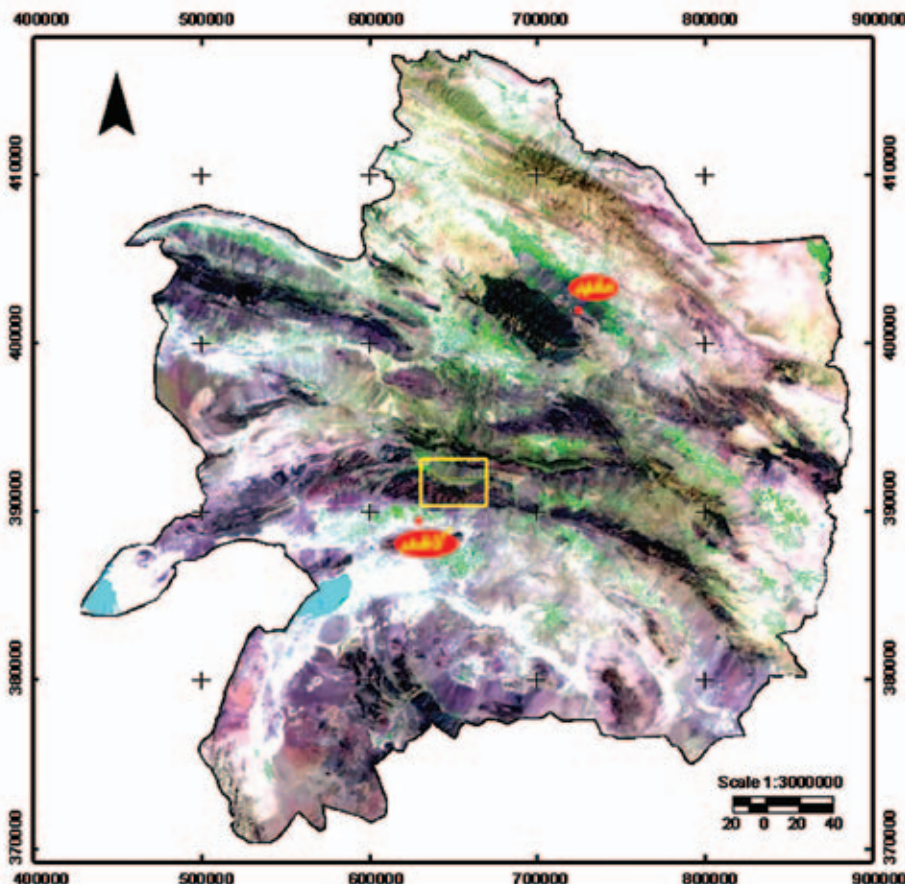
منطقه مورد مطالعه، در محدوده جغرافیایی $58^{\circ}35'23''$ تا $58^{\circ}39'13''$ طول شرقی و $35^{\circ}23'75''$ تا $35^{\circ}21'38''$ عرض شمالی در استان خراسان رضوی، در بخش کوه‌سرخ از توابع شهرستان کاشمر واقع شده است (شکل ۱).

علاوه بر مطالعات انجام شده در منطقه، که جدیدترین آنها عبارتند از مطالعاتی که توسط کریم‌پور (۱۳۸۳)، انجام شده است (کریم‌پور و سعادت، ۱۳۸۱؛ کریم‌پور و سعادت، ۱۳۸۳)، عباسیان (۱۳۷۳) سنگ‌های آتشفشانی منطقه تنورجه را از نظر پترولوژی مورد مطالعه و بررسی قرار داده است (عباسیان، ۱۳۷۳). مستقل (۱۳۷۷)، ارزیابی فنی - اقتصادی توده مگنتیتی شمال تنورجه را در قالب رساله کارشناسی ارشد ارائه نموده است. امیرخانی منفرد (۱۳۸۱)، محدوده مورد نظر را از نظر ژئوشیمی و پترولوژی در قالب رساله کارشناسی ارشد بررسی نموده است (امیرخانی منفرد، ۱۳۸۱). همچنین توسط شرکت‌های معدنی بخش خصوصی به ویژه شرکت طلائی زرمهر، در منطقه فیض‌آباد، مطالعاتی صورت گرفته که بعضاً منطقه مورد مطالعه را نیز دربرمی‌گیرد (شرکت طلائی زرمهر، ۱۳۸۰-۱۳۸۳). در گزارش نقشه زمین‌شناسی منطقه فیض‌آباد در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، عنوان شده است که در

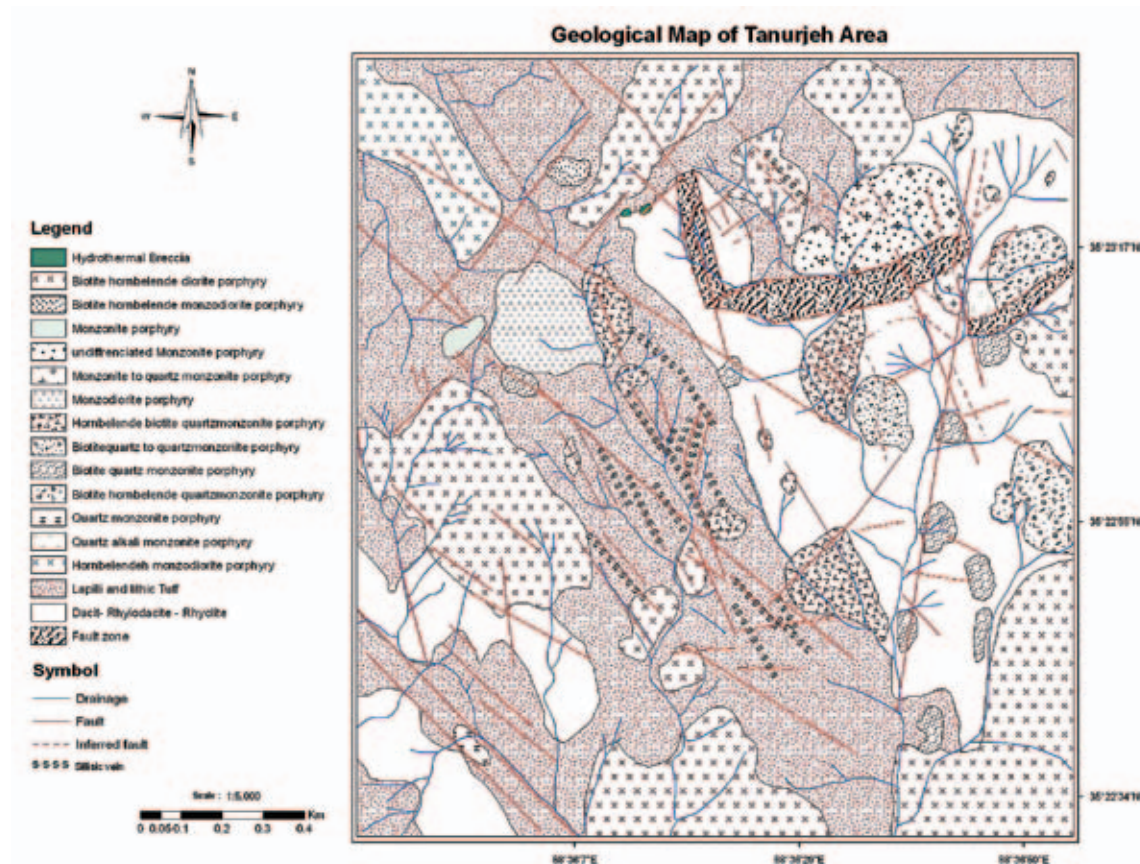
ناحیه فیض‌آباد، سیستم گسل درون‌ه از مجموعه گسل‌های کم و بیش موازی تشکیل شده است. بخش شمالی این گسل بالا آمده و عموماً از سنگ‌های ولکانیکی و آذرآواری ترشیری تشکیل شده که بر روی رسوبات ژوراسیک و کرتاسه قرار گرفته است (بهروزی، ۱۳۶۶).

سنگ‌شناسی

در محدوده مورد مطالعه بخش وسیعی از سنگ‌ها را سنگ‌های آتشفشانی (ائوسن) شامل ریولیت، ریوداسیت، داسیت و تا حدودی آندزیت دربرگرفته‌اند که به صورت توف، لاپیلی توف، آگلومرا و گدازه یافت می‌شوند. میزان سیلیس ماگمای اولیه این سنگ‌ها نسبتاً زیاد بوده و در ریولیت و ریوداسیت به صورت جریان‌های سیلیسی در سنگ مشاهده می‌شود. در مراحل بعدی، ماگمایی با ترکیب حدواسط در این مجموعه سنگی نفوذ کرده است. بیش از ۱۵ توده نفوذی با ترکیب مونزونیت، کوارتز مونزونیت، دیوریت و کوارتز دیوریت در منطقه شناسایی شدند (شکل ۲). این توده‌ها رخنمون‌های کوچکی در سطح زمین دارند و به شکل استوک می‌باشند (عجایی، ۱۳۸۶).



شکل ۱- موقعیت تقریبی محدوده مورد مطالعه (عجایی، ۱۳۸۶)



شکل ۲- نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه (عجایی، ۱۳۸۶)

نمونه‌ها در شکل ۳ مشخص شده است). از این نتایج در نمودارهای مربوط به نامگذاری، تعیین سری ماگمایی و محیط‌های تکتونیکی استفاده شده که شرح آنها به تفصیل آمده است:

پس از مطالعه مقاطع میکروسکوپی و با توجه به نتایج به دست آمده از تجزیه شیمیایی نمونه‌های منتخب (جدول ۱)، تعداد ۶ نمونه مربوط به سنگ‌های آتشفشانی و ۸ نمونه مربوط به نمونه‌های نیمه عمیق تعیین شدند (محل برداشت

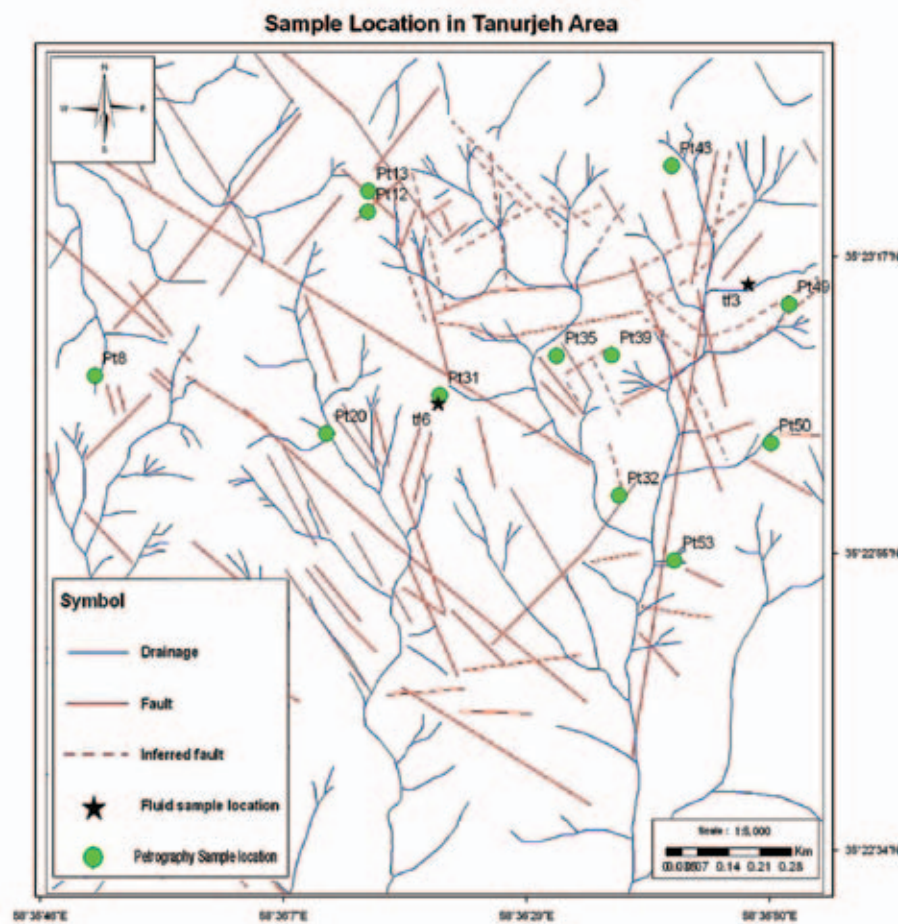
جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های خروجی و نیمه عمیق (بر حسب درصد)

شماره نمونه	PT-12	PT-31	PT-20	PT-32	PT-39	Re-PT-31
	ریوداسیت			ریولیت		تکرار نمونه ۳۱
SiO ₂	۶۹/۷	۶۵/۲۹	۷۱/۴۴	۷۱/۱۸	۵۹/۱۸	۶۴/۹
Al ₂ O ₃	۱۵/۲۵	۱۵/۱۳	۱۳/۷۴	۱۴/۹۷	۱۶/۰۰	۱۵/۴۳
Fe ₂ O ₃	۱/۹۹	۷/۹۰	۵/۲۱	۲/۲۶	۶/۷۲	۷/۷۷
MgO	۰/۱۱	۰/۱۸	۰/۸۲	۰/۳۳	۱/۶۳	۰/۱۸
CaO	۰/۴۹	۰/۸۷	۰/۱۰	۰/۲۳	۱/۷۶	۰/۹۰
Na ₂ O	۳/۸۱	۳/۸۷	۰/۲۶	۱/۹۵	۵/۶۸	۳/۹۲
K ₂ O	۶/۱۶	۲/۹۶	۳/۸۶	۶/۳۶	۱/۸۰	۲/۸۷
TiO ₂	۰/۶۱	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۵۳	۰/۸۰	۰/۴۳
P ₂ O ₅	۰/۱۲	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴
MnO	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۰
Cr ₂ O ₃	۰/۰۱۳	۰/۰۰۹	۰/۰۱۸	۰/۰۱	۰/۰۱۵	۰/۰۰۹
LOI	۱/۹۰	۳/۴۰	۴/۲۰	۲/۳	۶/۴۰	۳/۷۰
Tot/C	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۴
Tot/S	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۶۴	۰/۱	۲/۹۵	۰/۰۱

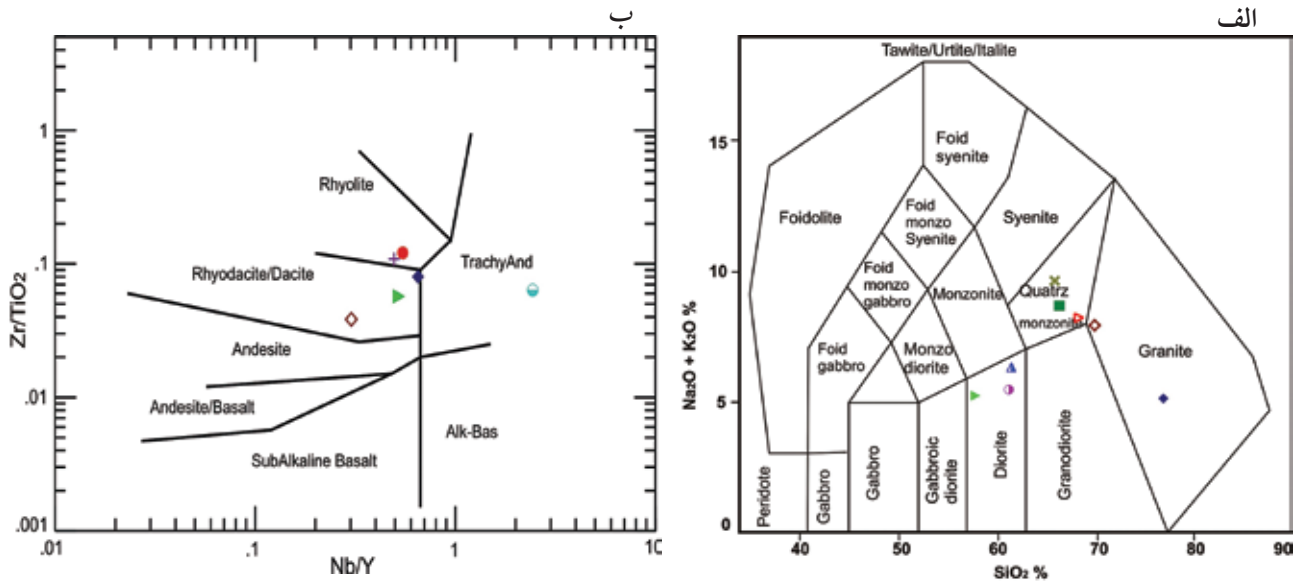
ماهیت سیال‌های درگیر در سنگ‌های کالک‌آلکالن کانی‌سازی مس و طلائی منطقه تنورجه

ادامه جدول ۱- (نمونه‌های نیمه عمیق)

شماره نمونه	PT-6	PT-35	PT-53	PT-43	PT-49	PT-50	PT-8	PT-13
نوع نمونه	کوارتز مونزونیت پورفیری	مونزونیت پورفیری	مونزونیت پورفیری	بیوتیت کوارتز مونزونیت پورفیری	بیوتیت کوارتز مونزونیت پورفیری	کوارتز مونزونودیوریت پورفیری	کوارتز مونزونودیوریت پورفیری	کوارتز مونزونودیوریت پورفیری
SiO ₂	۵۴/۴۳	۶۶/۴۴	۶۹/۶	۶۱/۶۵	۶۶/۵۵	۷۲/۴۶	۷۷/۶۳	۶۱/۷۶
Al ₂ O ₃	۱۵/۱۳	۱۵/۵۵	۱۳/۵۸	۱۵/۹۹	۱۸/۱	۱۳/۹۳	۹/۲۴	۱۵/۷۲
Fe ₂ O ₃	۱۱/۷۰	۴/۴۴	۴/۲۱	۶/۰۷	۱/۷۴	۲/۲۰	۴/۶۲	۶/۳۳
MgO	۱/۶۱	۰/۸۶	۰/۱۸	۲/۱۷	۰/۱۴	۰/۴۵	۱/۲۴	۳/۸۱
CaO	۰/۶۱	۰/۷۵	۰/۴۹	۲/۱۱	۰/۶۱	۱/۳۴	۰/۳۷	۲/۱۵
Na ₂ O	۰/۶۰	۴/۲۵	۳/۸۲	۴/۰۸	۴/۰۰	۳/۷۳	۲/۸۶	۴/۰۵
K ₂ O	۴/۰۲	۴/۵۳	۴/۲۳	۲/۳۷	۵/۶۷	۴/۲۷	۲/۲۲	۱/۵۸
TiO ₂	۰/۸۸	۰/۴۷	۰/۵۳	۰/۶۲	۰/۵۷	۰/۲۱	۰/۲۵	۰/۸۵
P ₂ O ₅	۰/۵۰	۰/۱۲	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۱۳	۰/۲۷
MnO	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۱۵
Cr ₂ O ₃	۰/۰۱	۰/۰۱۳	۰/۰۱۸	۰/۰۲۷	۰/۰۱۱	۰/۰۲۱	۰/۰۲۶	۰/۰۰۷
LOI	۱۰/۵۰	۲/۷۰	۳/۴	۴/۸۰	۲/۶۰	۱/۵۰	۱/۴۰	۳/۳۰
Tot/C	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۲
Tot/S	۲/۱۱	۰/۱۷	۲/۲۰	۳/۹۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۳



شکل ۳- موقعیت نمونه‌های جدول ۱ و جدول ۳ (عجایی، ۱۳۸۶)

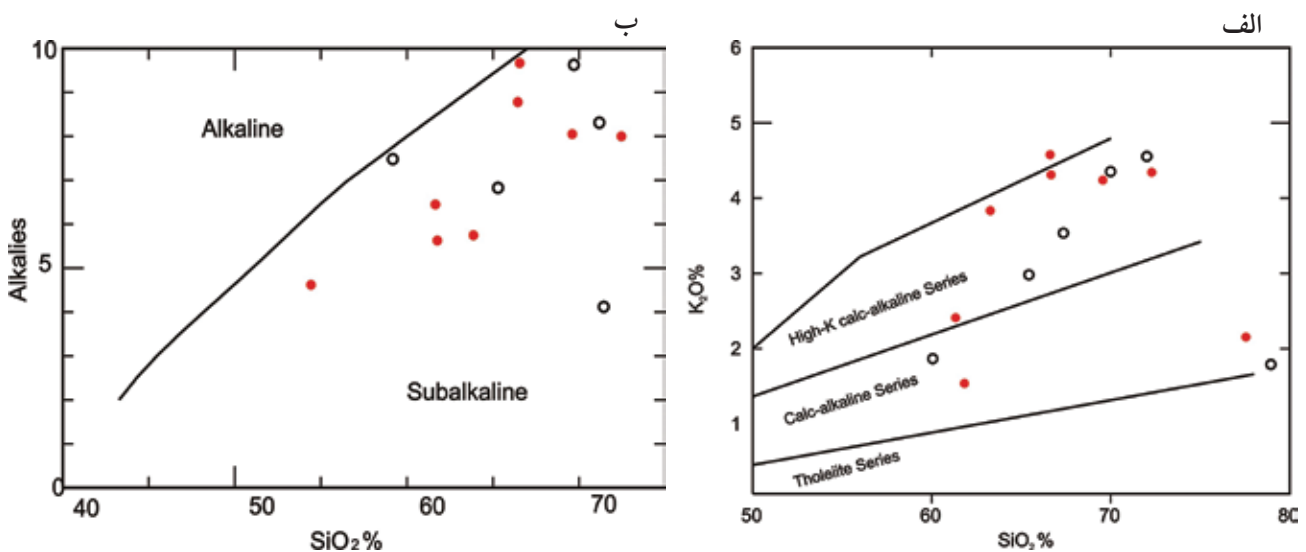


شکل ۴- موقعیت نمونه‌های آتشفشانی در نمودار میدل‌مست، ۱۹۸۵ و نمونه‌های نیمه عمیق در نمودار وینچستر و فلویید، ۱۹۷۷

جهت نامگذاری شیمیایی نمونه‌های آتشفشانی از نمودار وینچستر و فلویید (Winchester and Floyd, 1977) و جهت نامگذاری نمونه‌های نیمه عمیق از نمودار میدل‌مست استفاده شده (Middlemost, ۱۹۸۵) که در آنها نمونه‌های آتشفشانی در محدوده داسیت، ریوداست و ریولیت و نمونه‌های نیمه عمیق در محدوده کوارتز مونزونیت و دیوریت قرار گرفته‌اند (شکل ۴، الف و ب). در تعیین سری‌های ماگمایی، نمونه‌ها در نمودار ایروین باراگار (Irvine and Baragar, 1971)، در محدوده ساب‌آلکالن و در نمودار پسریلو و تایلور، بیشترین تمرکز را در محدوده فوق‌آلکالن نشان می‌دهند جهت تعیین نوع توده‌های نفوذی، علاوه بر حضور شواهدی (شکل ۵ الف و ب). (Peccerillo and Taylor, 1976)

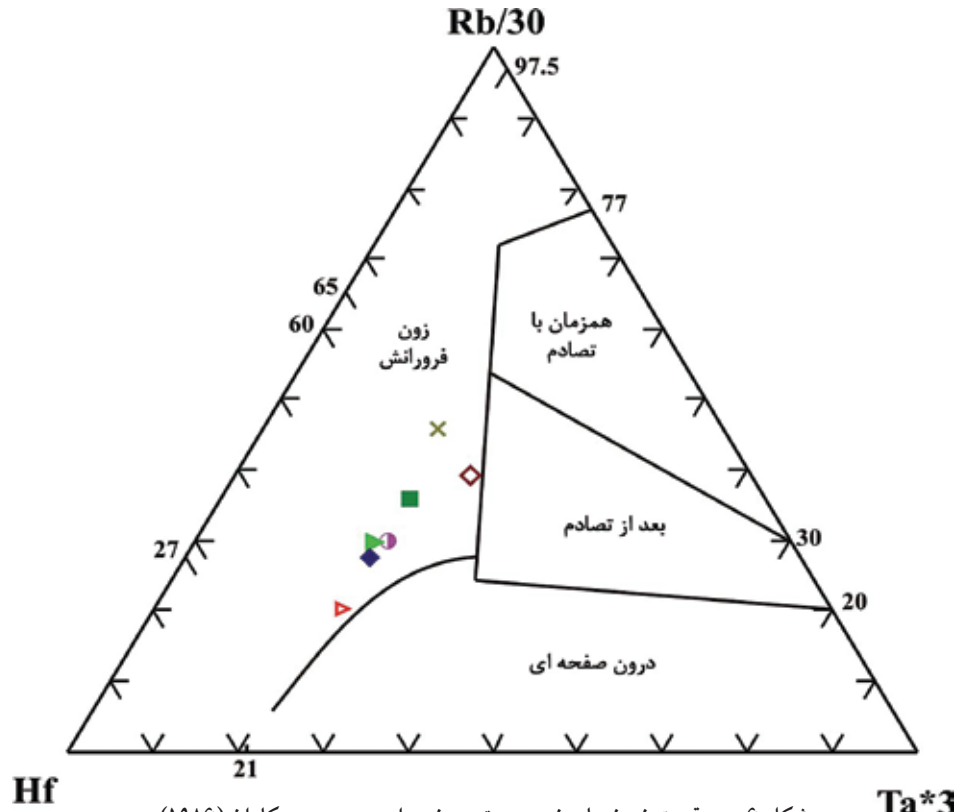
مقایسه نمونه‌های آتشفشانی منطقه تنورجه (جدول ۲) و نیز نتایج حاصل از مطالب ارائه شده در نمودارها، نشان دهنده حضور سنگ‌های آتشفشانی کالک‌آلکالن می‌باشد که تشابهی را با نمونه‌های مناطق فرورانشی حاشیه قاره‌ها نشان می‌دهد. در تعیین جایگاه تکنونیک نمونه‌های نفوذی، بر اساس نمودار هریس و همکاران، نمونه‌ها در محدوده زون فرورانش قرار می‌گیرند (Harris et al., 1986) (شکل ۶).

جهت تعیین نوع توده‌های نفوذی، علاوه بر حضور شواهدی



شکل ۵. موقعیت نمونه‌ها الف) در نمودار ایروین باراگار، ۱۹۷۱، ب) و در نمودار پسریلو و تایلور، ۱۹۷۶، (دایره‌های تو خالی نمونه‌های آتشفشانی و دایره توپر نمونه‌های نیمه عمیق)

ماهیت سیال‌های درگیر در سنگ‌های کالک‌آلکالن کانی‌سازی مس و طلای منطقه تنورجه



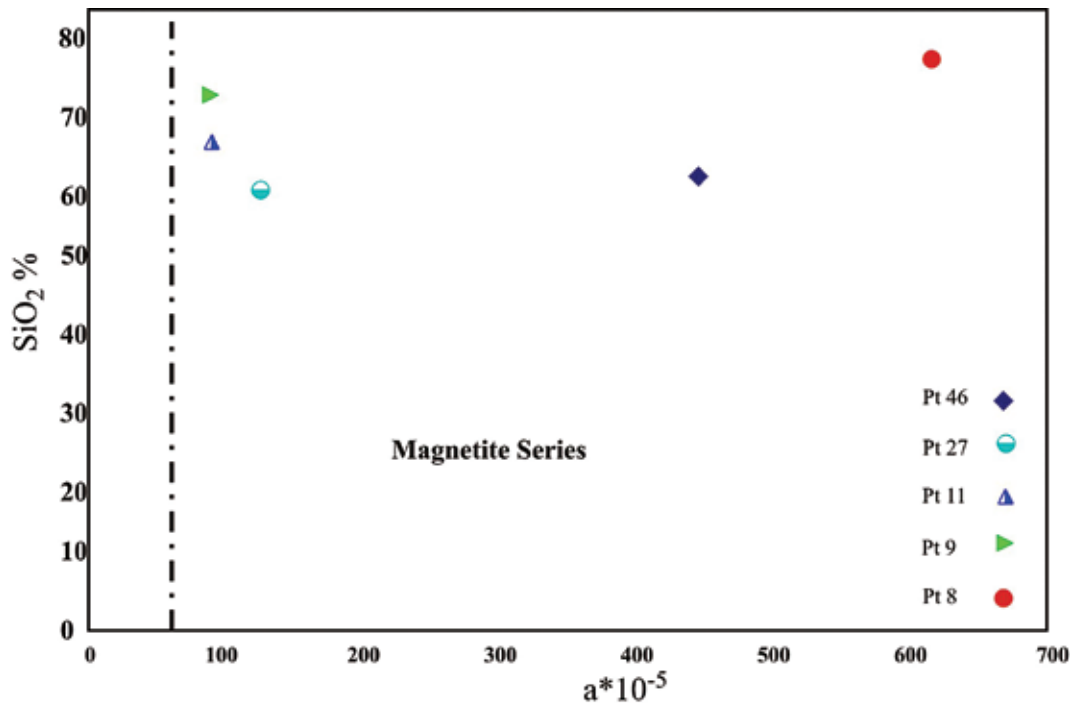
شکل ۶ - موقعیت نمونه‌های نیمه عمیق در نمودار هریس و همکاران (۱۹۸۶)

جدول ۲- مقایسه پارامترهای پترولوژیکی سنگ‌های آتشفشانی منطقه تنورجه با انواع جزایر قوسی و حاشیه قاره‌ها

پارامترها	جزایر قوسی	حاشیه قاره	منطقه تنورجه
SiO ₂ %	۵۰-۶۶	۵۶-۷۵	۵۹-۸۲
Fe ₂ O ₃ /MgO	۲<	۲>	۴-۱۸
K ₂ O/Na ₂ O	۰/۸	۰/۶-۱/۱	۰/۱-۳
Rb (ppm)	۳۰-۴۵	۶۶-۱۰۸	۸۱-۱۳۸
Sr (ppm)	۳۸۰-۴۶۰	۵۷۰-۸۶۰	۷۸-۶۰۰
Zr (ppm)	۱۰۰-۱۱۲	۱۸۴-۲۲۶	۵۰-۳۵۱
فنوکرست‌ها لیتولوژی	پیروکسن‌ها، هورنبلند، ± بیوتیت ± کوارتز بازالت، آندزیت، داسیت، ± ریولیت	پیروکسن‌ها، هورنبلند، + بیوتیت، + کوارتز آندزیت، داسیت، ریولیت ± بازالت	پیروکسن‌ها، هورنبلند، + بیوتیت، + کوارتز داسیت، ریوداسیت، ریولیت

بر اساس مطالبی که در نمودار مطرح شد می‌توان ماگمای موجود در منطقه را ماگمای کالک‌آلکالن حاشیه قاره‌ای در نظر گرفت. طبق نظر لومیتز (Le Maitre, 1981)، غنی‌شدگی گدازه‌ها از سیلیس می‌تواند در اثر مشارکت با پوسته قاره‌ای باشد، که در منطقه مورد مطالعه نیز می‌توان حضور بالای سیلیس را در نتیجه مشارکت با پوسته قاره‌ای در نظر گرفت.

در مقاطع نازک از جمله حضور نداشتن مسکویت، حضور انکلوزیون در داخل پلاژیوکلازها و آپاتیت، حضور هورنبلند، آلکالی فلدسپار ماکل‌دار، همچنین حضور بیوتیت‌های قهوه‌ای رنگ (Ishihara, 1981) و نیز نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی نمونه‌ها و نمودارهای ترسیمی، نتایج حاصل از آزمایش سنجش مغناطیس نیز این نمونه‌ها را متعلق به تیپ I سری مگنتیتی نشان می‌دهد (شکل ۷).



شکل ۷- موقعیت نمونه‌ها در نمودار مربوط به سنجش مغناطیس (Sillitoe, 1996)

تبدیل آن به اکسیدهای آهن قابل مشاهده‌اند (شکل ۸-۳ و ۴).
 ۳) رگچه‌های نوع D، این رگچه‌ها نیز متقارن بوده و پیریت در مرکز این تقارن قرار دارد. اندازه این رگچه‌ها مختلف و به بیش از ده سانتی‌متر می‌رسد. در بعضی موارد این رگچه‌ها در زمینه سیلیس‌های حفره‌دار شکل گرفته‌اند و دارای تورمالین نیز هستند (Oyarzum et al., 2001). در تنورچه نیز از این نوع رگچه در زمینه رگه‌های سیلیسی حفره‌دار در کنار تورمالین دیده می‌شود (شکل‌های ۸-۵ و ۶).

در قسمت‌هایی از منطقه، سیلیس به صورت بافت برشی دیده می‌شود. در مناطق کانی‌سازی در کمربند ماریکونگا برش‌ها (با در نظر گرفتن این مطلب که حضور برش در مناطق کانی‌سازی پورفیری متداول است)، به دو دسته همزمان و بعد از کانی‌سازی تقسیم شده‌اند. برش‌های همزمان با کانی‌سازی، حاوی قطعات استوک ورکی از محدوده پورفیری در سیمانی از کانی‌های هیدروترمالی هستند. در بعضی موارد اسپیکولاریت در زمینه قطعات و در بعضی موارد پیریت در کنار کوارتز نقش سیمان را بازی می‌کند. برش بعد از کانی‌سازی نیز حاوی قطعاتی از سنگ‌های نفوذی منطقه است و نسبت به برش‌های همزمان با کانی‌سازی حاوی قطعات سنگی بیشتری است (Muntean and Einaudi, 2001). با استناد به این مطالب و مطالعات مقاطع نازک در این منطقه به نظر می‌رسد که برش‌ها از نوع بعد از کانی‌سازی باشند چون در آنها قطعات حاوی بافت استوک ورک مشاهده نشده است و نیز حاوی قطعات سنگی و در بعضی موارد سنگ‌های ولکانیکی هستند (شکل ۹).

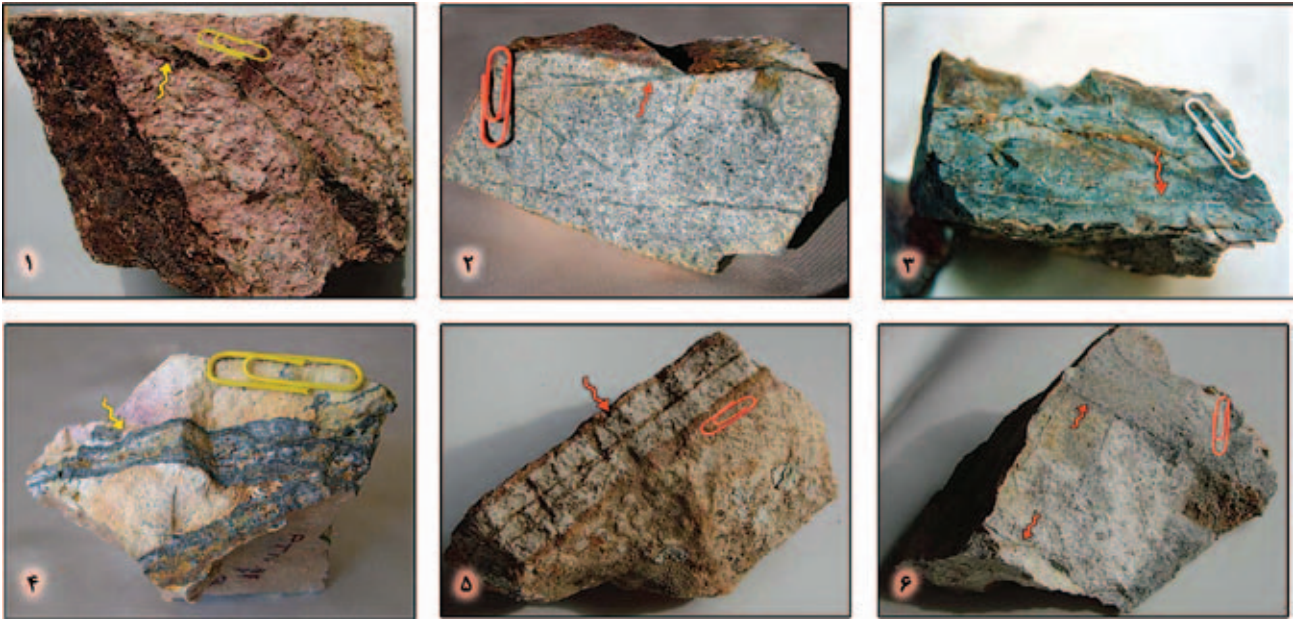
مطالعه رگه‌های کوارتز در منطقه تنورچه

در محدوده مورد مطالعه رگچه‌های مختلف کوارتز وجود دارد. این رگچه‌ها در مقایسه با کانسارهای مس - طلا پورفیری واقع در کمربند ماریکونگا در شیلی (Oyarzum et al., 2001) به انواع مختلف قابل تقسیم هستند.

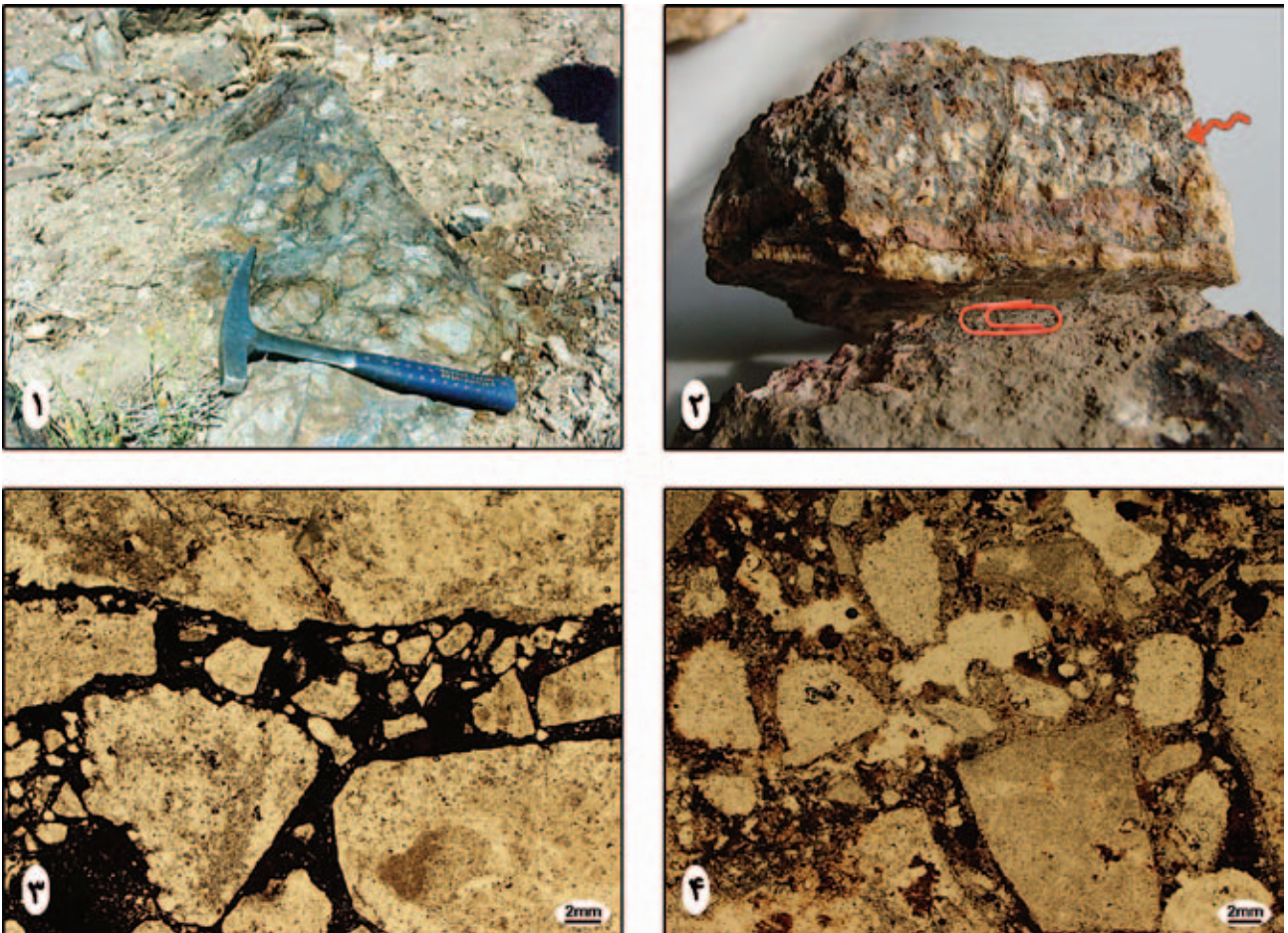
۱) رگچه‌های نوع A، این رگچه‌ها معمولاً در توده‌های نفوذی شکل گرفته‌اند و حاوی کوارتز، مگنتیت، بیوتیت، کالکوپیریت و میزان کمتری از فلدسپارهای آلکالن، پیریت و کانی‌های دیگر هستند. این رگچه‌ها معمولاً در بالای مناطق آلتراسیون پتاسیک قرار می‌گیرند و ویژگی‌های بافت پرکننده فضای خالی (نظیر تقارن) را ندارند (Oyarzum et al., 2001). در منطقه تنورچه نیز رگچه‌هایی قابل مقایسه با این رگچه‌ها دیده می‌شوند که می‌توانند نشان از حضور آلتراسیون پتاسیک و در نتیجه آن کانی‌سازی پورفیری در عمق باشند (شکل‌های ۸-۱، ۲ و ۶).

۲) رگچه‌های نواری کوارتز، این رگچه‌ها از جنس کوارتزهای خاکستری تا سیاه رنگ هستند که معمولاً به صورت متقارن شکل گرفته و اغلب حالت پرکننده فضای خالی را دارند. تیرگی این رگچه‌ها به دلیل فراوانی سیالات درگیر، مگنتیت و کالکوپیریت در اندازه میکرونی است (Oyarzum et al., 2001). پیریت اغلب مرکز این رگچه‌های کوارتزی را پر کرده و در بعضی موارد با مگنتیت جانشین شده است (Vila and Sillitoe, 1991). در منطقه تنورچه نیز رگچه‌هایی با این مشخصات وجود دارند که به صورت متقارن بوده و در مرکز آنها نیز کانی‌سازی پیریت و

ماهیت سیال‌های درگیر در سنگ‌های کالک‌آلکالن کانی‌سازی مس و طلائی منطقه تنورجه



شکل ۸- تصویر نمونه‌های دستی از انواع رگچه‌های کوارتز: ۱ و ۲- رگچه‌های نوع A، که در سنگ‌های نفوذی شکل گرفته‌اند. ۳ و ۴- رگچه‌های نواری کوارتز، ۵- رگچه‌های نوع D، ۶- رگچه‌های شکل گرفته در زمینه کوارتز حفره‌دار



شکل ۹- سیلیس با بافت برشی ۱- در صحرا ۲- در نمونه دستی ۳- مقطع نازک از بافت برشی با سیمان پیریت، مقطع شماره ۲۰، PTN، PPL
۴- برش با قطعات ولکانیکی، مقطع شماره ۳۰، PTN، PPL

ترمومتری سیالات درگیر

محاسبه درجه حرارت، عمق و فشار زمان تشکیل، نوع سیستم و شیمی سیالات محبوس، مواردی هستند که مطالعه سیالات درگیر آنها را مشخص می‌کنند. پس از مطالعات میکروسکوپی، از نمونه‌های برداشت شده تعداد ۶ نمونه که دارای رگه‌های سیلیسی و بلورهای کوارتز بیشتری بودند، جهت تهیه مقطع انتخاب و ۱۲ مقطع دو رو صیقلی از این نمونه‌ها تهیه شدند. انتخاب نمونه‌ها با توجه به نبود بافت استوکورک و نوع رگه‌های سیلیسی صورت پذیرفته است. در نمونه‌های مطالعه شده دو مقطع Tf3 و Tf6 که مربوط به رگه‌های نوع A و D هستند (شکل ۸-۱ و ۵)، دارای سیال مناسب جهت ترمومتری بودند که مطالعات انجام شده بر روی این نمونه‌ها شرح داده شده است (موقعیت این دو نمونه در شکل ۳ و مشخصات آنها در جدول ۳ آورده شده است).

مشخصات سیالات درگیر

مطالعه مقاطع و ترمومتری صورت گرفته در سیالات درگیر موجود در بلورهای کوارتز، منجر به تفکیک پنج نوع سیال درگیر به شرح زیر شده است:

نوع A سه فازه شامل مایع-گاز-جامد (هالیت \pm سیلویت)
 نوع B دو فازه مایع-گاز، (Liquid rich) (L+V)
 نوع C دو فازه گاز-مایع، (Gas rich) (V+L)

نوع D دو فازه گاز-مایع + مایع CO_2 ، (L+L_{CO₂}+V)،
 نوع E تک فازه -گاز، (V) (Gas)

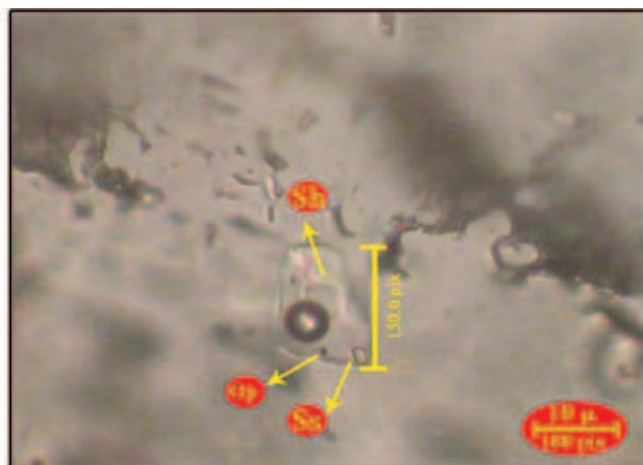
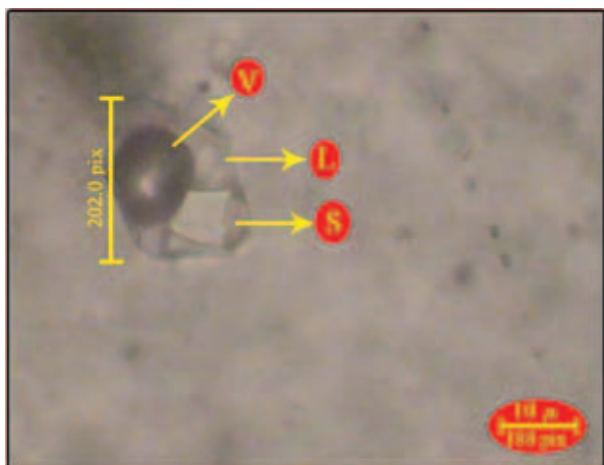
سیالات مطالعه شده جهت ترمومتری از نوع سیالات درگیر اولیه و ثانویه کاذب می‌باشند. از سیالات درگیر ثانویه در این مطالعه استفاده نشده است.

نوع A- سیال درگیر سه فازه (با شوری بالا)

در این نوع از سیالات درگیر، بلور هالیت و بعضاً کانی‌های اوپاک و سیلویت به عنوان کانی دختر دیده می‌شوند. بلور هالیت در بیشتر نمونه‌ها در اشکال مکعبی و به ندرت به صورت گرد شده مشاهده می‌شود. اندازه این نوع سیالات در نمونه Tf3، به طور متوسط 10×15 و در نمونه Tf6، به طور متوسط 8×14 میکرون به صورت کشیده و گرد دیده می‌شوند (شکل ۱۰). از سیالات این گروه درجه همگن شدن و ذوب بلور نمک اندازه‌گیری شده است. در طی حرارت دادن در دمای بالای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد، هالیت مکعبی شکل شروع به ذوب شدن می‌کند و بعد از ۲۵۰ تا ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد اندازه آن کم کم کاهش یافته و ناپدید می‌شود. بلور سیلویت به اشکال نیمه مدور و مدور در اندازه‌های کوچکتر از بلورهای هالیت در نمونه‌ها دیده می‌شود. میزان شوری در این نوع از سیال‌ها به‌طور متغیر و حداقل ۳۲ تا بیش از ۴۵ درصد وزنی NaCl می‌باشد (جدول ۴).

جدول ۳- مشخصات نمونه‌های منتخب جهت مطالعه سیالات درگیر

شماره نمونه	سنگ دربرگیرنده رگه کوارتز	نوع سیالات درگیر
Tf3	توده‌های مونوزونیتی	E,C, B,A
Tf6	رگه‌های حاوی کانی‌سازی پیریت در ولکانیک‌ها	D,C,B,A



شکل ۱۰- دو تصویر از سیالات نوع A که حاوی فاز گاز (V)، مایع (L)، بلور نمک (S) [هالیت (Sh) و سیلویت (Ss)] و فاز اپاک (Op) می‌باشند. تصاویر از نمونه Tf3a

اندازه و به صورت گرد و کشیده دیده می‌شوند (شکل ۱۲). در این سیالات، درجه ذوب شدگی اندازه‌گیری شده است و میزان شوری بین ۶ تا ۲۰ درصد وزنی NaCl در تغییر است (جدول ۴).

نوع D- دو فازه گاز-مایع + مایع CO₂ (با تشکیل کلاتریت)

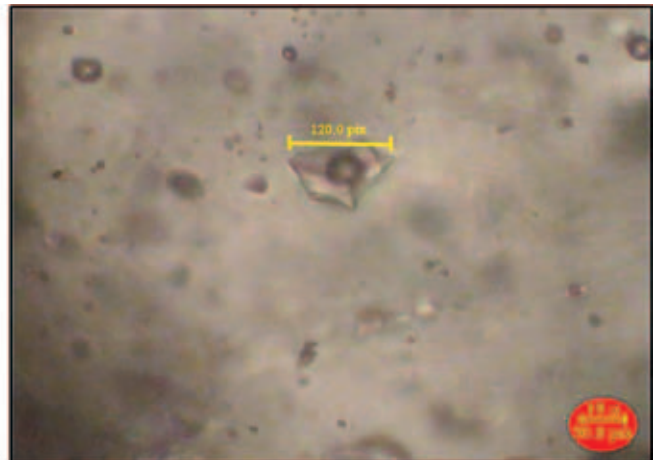
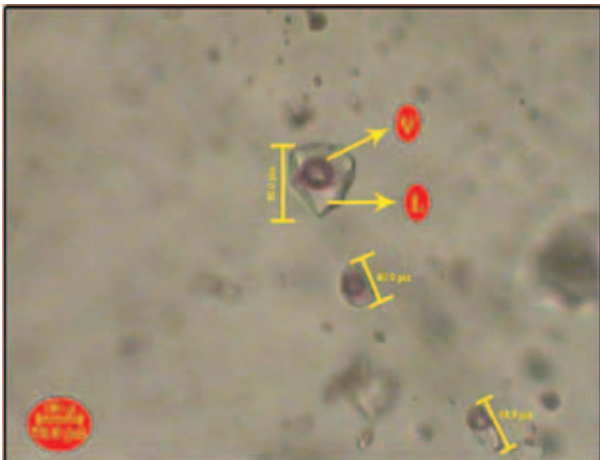
در این نوع از سیال که تنها در یک نمونه مشاهده شده است دو فاز مایع و یک فاز گاز همراه با هم دیده شده‌اند. در این سیال با ابعاد ۹۰ × ۵۰ میکرون، حضور فاز مایع حاوی CO₂ طی گرم کردن پس از مرحله انجماد با تشکیل کلاتریت همراه می‌باشد (شکل ۱۳-الف). کلاتریت هیدرات گازی است که در اثر واکنش بین فازهای موجود در سیال در زمان گرم کردن به وجود می‌آید و باعث برهم خوردن رفتار سایر اجزای موجود در سیال می‌شود. این تغییرات در میزان شوری نیز تاثیر گذار است که شوری از روش‌های محاسباتی خاصی با در نظر گرفتن این فاز محاسبه می‌شود. (شفرد رنکین، ۱۳۸۶). این سیال در نمونه Tf6a مشاهده شده و مشخصات کامل آن در جدول ۴ آورده شده است.

نوع B- سیال درگیر دو فازه مایع-گاز، L+V (با شوری متوسط)

در این نوع سیال درگیر فاز مایع همراه با فاز حباب گاز وجود دارد. بیشترین حجم سیال درگیر را فاز مایع در بر می‌گیرد و فاز گازی تنها ۱۰ تا ۳۵٪ حجم سیالات درگیر مطالعه شده را اشغال کرده است. در این نوع سیال درگیر فاز جامدی وجود ندارد. اندازه این نوع سیالات در نمونه Tf3، به طور متوسط ۸×۱۵ و در نمونه Tf6، به طور متوسط ۷×۵ میکرون و اغلب به صورت گرد دیده می‌شوند (شکل ۱۱). این سیالات، بیشترین نوع سیال درگیر مطالعه شده در نمونه‌ها را شامل می‌شوند که در آنها درجه ذوب شدگی اندازه‌گیری شده است (جدول ۴). میزان شوری این نوع سیال بین ۵ تا ۲۳ درصد وزنی NaCl متغیر است.

نوع C- سیال درگیر دو فازه گاز-مایع، V+L (با چگالی پایین) Gas rich

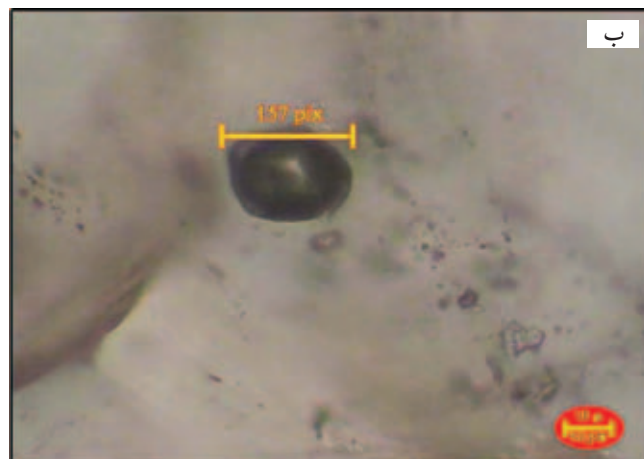
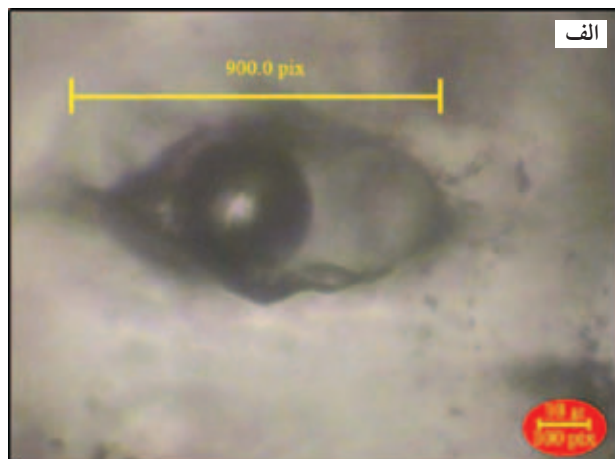
در این نوع از سیالات، حباب گاز بیشترین حجم سیال را (بیش از ۷۰ درصد) اشغال کرده است اندازه این نوع سیالات در نمونه Tf3، به طور متوسط ۷×۱۱ میکرون و در نمونه Tf6، در دو



شکل ۱۱- تصاویری از سیالات نوع B که حاوی فاز حباب (V)، مایع (L) می‌باشند. تصاویر از نمونه Tf3a



شکل ۱۲- تصاویری از سیالات گروه C که از دو فاز گاز و مایع (با حجم بیشتر گاز) تشکیل شده‌اند. تصاویر از نمونه Tf3a



شکل ۱۳- الف: سیال گروه D که از دو فاز گاز- مایع و مایع CO₂ تشکیل شده، نمونه Tf_{6a}
 ب: تصویر سیال گروه E تک فاز گاز. نمونه Tf_{3a}

می‌توان از نمودارهای مختلف همانند نمودار رودر و شپرد که دیاگرام دوتایی سیستم H₂O-NaCl است استفاده نمود (شپرد و همکاران، ۱۳۸۶؛ Roedder, 1984). همچنین جداول مخصوص تنظیم شده در این زمینه که ارتباط بین کاهش نقطه انجماد و درصد نمک طعام را نشان می‌دهند، نیز قابل استفاده است. علاوه بر این از طریق فرمول‌های تجربی نیز میزان شوری قابل محاسبه می‌باشد. در این نمونه‌ها درصد شوری، بر اساس دمای ذوب جامد (بلور هالیت - Ts-halite) تعیین گردیده است. همچنین میزان شوری بر حسب درصد وزنی نمک طعام و دانسیته، توسط نرم افزار PVTX محاسبه شده است و اطلاعات در جدول ۴ ارائه شده است.

با توجه به داده‌های به دست آمده (جدول ۴) و هیستوگرام شوری (شکل ۱۴)، مشاهده می‌شود که در نمونه‌ها دو محدوده شوری مختلف حضور دارد. یکی با شوری بالا که درصد نمک از ۳۲ تا بیش از ۴۴ درصد وزنی می‌باشد و دیگری شوری متوسط از ۵ تا ۲۰ درصد را شامل می‌شود. بنابراین در نمونه‌های مطالعه شده درجه شوری سیالات درگیر از ۵ تا بیش از ۴۴ درصد وزنی متغیر است. این تنوع تغییرات در میزان شوری کانسارهای پورفیری جهان طیفی از ۰ تا ۷۰ درصد نمک طعام را دارد که این تنوع به میزان حرارت و محل به تله افتادن این سیالات از ماگما و تحولات هیدروترمالی بستگی دارد.

همچنین در مطالعه کلی پیرامون سیالات درگیر در کانسارهای مس - طلا پورفیری، برای سیالات با شوری بالا منشأ نزدیک به سیستم پورفیری را در نظر می‌گیرند که این میزان شوری با حرکت سیالات به سمت بالا و دور شدن از سیستم پورفیری و نزدیکی با سیستم اپی‌ترمال تا ۱/۵ درصد نمک طعام کاهش می‌یابد (Wilkinson, 2001).

علاوه بر این، در مطالعات موجود پیرامون کانسارهای کمربند ماریکونگا نیز در سیالات موجود در رگچه‌های نوع A، سیالات غنی از فاز مایع با حضور کانی‌های دختر هالیت، سیلیت و

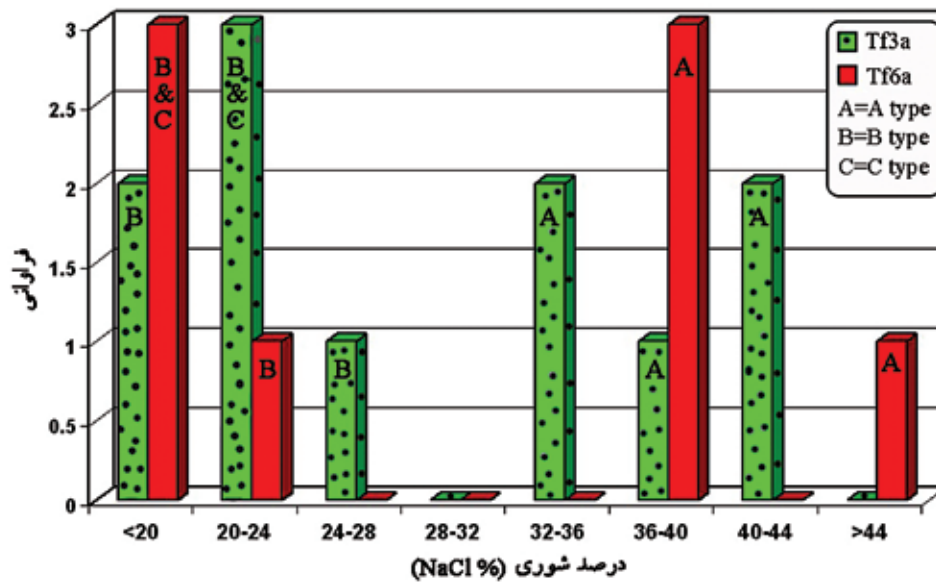
نوع - تک فازه - گاز (V) (Gas)

در این نوع از سیالات درگیر، حباب گاز بیش از ۹۵٪ از حجم سیال را اشغال کرده و امکان مشاهده فاز مایع وجود ندارد. لذا از این نوع سیالات نمی‌توان جهت اندازه‌گیری ترموبارومتري استفاده نمود. فراوانی سیالات درگیر در نمونه‌های مطالعه شده بیانگر شرایط جوشش شدید می‌باشد (شکل ۱۳-ب). این سیالات بیشتر در نمونه Tf_{6a} فراوانی بیشتری دارند.

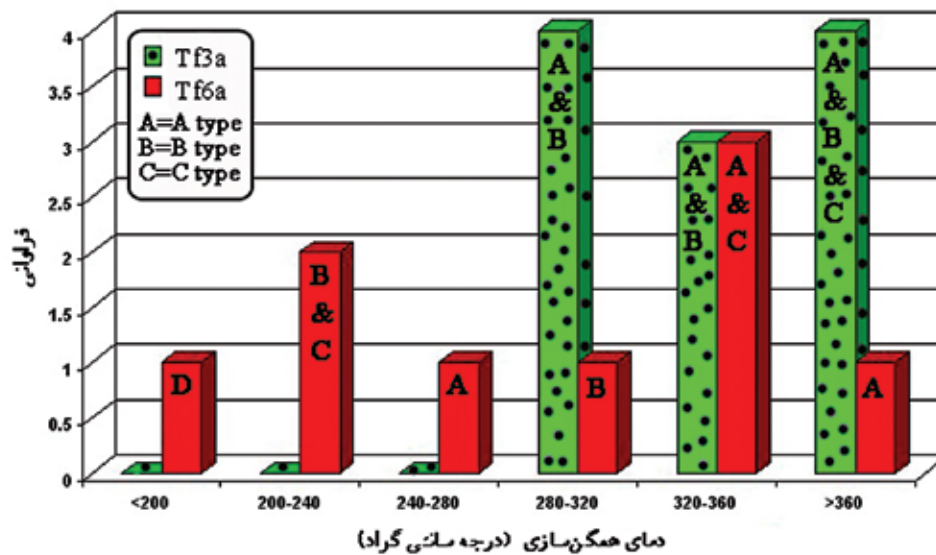
در اندازه‌گیری‌های ترموبارومتري با توجه به فراوانی بیشتر سیالات درگیر نوع B، از سیالات دو فازه L+V، و همچنین از سیالات درگیر نوع A با فاز جامد L+V+S استفاده شده است.

نقطه اوتکتیک برای سیستم NaCl+H₂O بیشتر از ۲۰/۸ - درجه سانتی‌گراد است. حال آنکه نقطه اوتکتیک در تعدادی از نمونه‌های مورد مطالعه پایین‌تر از ۲۰/۸ - درجه است (حدود ۳۷ - تا ۳۹- درجه سانتی‌گراد) که بیانگر حضور نمک‌های دیگر علاوه بر NaCl در سیال کانه‌ساز است. با توجه به دمای اوتکتیک ارائه شده توسط بورینسکو (Borinseko, ۱۹۷۷)، ترکیب این نمک‌ها می‌تواند H₂O-NaCl-FeCl₂ یا H₂O-Na₂CO₃-K₂CO₃ باشد (شفرد رنکین، ۱۳۸۶). در سیستم‌های پورفیری، حضور کانه‌های اپاک (معمولاً همتیت و کالکوپیریت) در سیالات را به دلیل حضور آهن به عنوان عنصر اصلی در سیال در کنار پتاسیم و سدیم می‌دانند (Wilkinson, 2001). با توجه به نبود ترکیبات کربناته در منطقه و میزان بالای آهن و نیز با در نظر گرفتن مطلب عنوان شده، می‌توان احتمال ترکیب اول را برای این نمک‌ها در نظر گرفت.

با محاسبه و استفاده از دمای ذوب (Tm) می‌توان به میزان شوری سیال پی برد. برای به دست آوردن مقدار شوری سیال بر اساس درجه حرارت آخرین بلور یخ،



شکل ۱۴- هیستوگرام درصد شوری در مقابل فراوانی در نمونه‌های مطالعه شده. نوع سیالات نیز با حروف انگلیسی مشخص شده است.



شکل ۱۵- هیستوگرام دمای همگن‌سازی در برابر فراوانی در نمونه‌های مطالعه شده، نوع سیالات نیز با حروف انگلیسی مشخص شده است.

نیز بلورهای نمک از بین نرفتند) بیشترین فراوانی همگن‌سازی دمایی مربوط به طیف دمایی بیشتر از ۳۶۰ تا ۲۵۰ تا ۳۵۰ درجه و درجه می‌باشد. طیف حرارتی به دست آمده (۲۰۰ تا ۳۶۰ درجه و بالاتر از آن) با سیستم‌های پورفیری قابل مقایسه است (جدول ۴). در سیستم‌های پورفیری، طیف حرارتی از ۲۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شده است که البته این میزان در کانساهای مس - مولیبدن کمتر و محدودتر از این طیف می‌باشد. همچنین در کانسارهای پورفیری مس - طلا با حضور طلائی اپی‌ترمال نیز این طیف متغیر درجه حرارت را با حرکت سیالات از نزدیکی سیستم پورفیری (حرارت‌های بالای ۵۰۰ درجه) به سطح و نزدیکی سیستم‌های اپی‌ترمال (تا حرارت ۱۹۰ درجه) می‌دانند

کانی‌های اپاک، با درجه شوری ۳۵ تا ۸۴ درصد نمک طعام، گزارش شده‌اند (Muntean and Einaudi, 2001). از اینرو می‌توان حضور درصد شوری متفاوت را در منطقه مورد مطالعه مشابه با سیستم موجود در کانسارهای پورفیری و خصوصاً مس - طلائی پورفیری در نظر گرفت.

در نمونه‌های مطالعه شده، درجه حرارت همگن‌سازی سیالات درگیر دو فازی با تبدیل بخار به مایع صورت گرفته است. هیستوگرام دمای همگن‌سازی، طیف دمایی متغیری را نشان می‌دهد (شکل ۱۵). قابل ذکر است که بیشتر نمونه‌هایی که دمایی بالاتر از ۳۶۰ درجه نشان می‌دادند بدون شک دمایی بیش از ۴۵۰ درجه داشتند (در بعضی موارد تا درجه حرارت ۵۰۰ درجه

گرفتن تفسیرهای پیرامون روند سیالات از محدوده A به سایر نقاط نمودار موجود (شکل ۱۶) نیز می‌توان تفسیری تقریبی بر این داده‌ها داشت. در این نمودار محدوده C نشان دهنده اختلاط محلول A با سیالات سردتر و درجه شوری کمتر می‌باشد و محدوده B بیانگر جوشش محلول و افزایش شوری در محلول باقی مانده است (Wilkinson, 2001). شاید بتوان این تفسیرها را با داده‌های منطقه تنورچه نیز تطبیق داد.

همچنین با توجه به دمای همگن‌سازی محاسبه شده، می‌توان فشار و عمق تشکیل سیالات را مشخص نمود (شکل ۱۷). همانطور که در نمودار مشخص است، روند سیالات از عمق

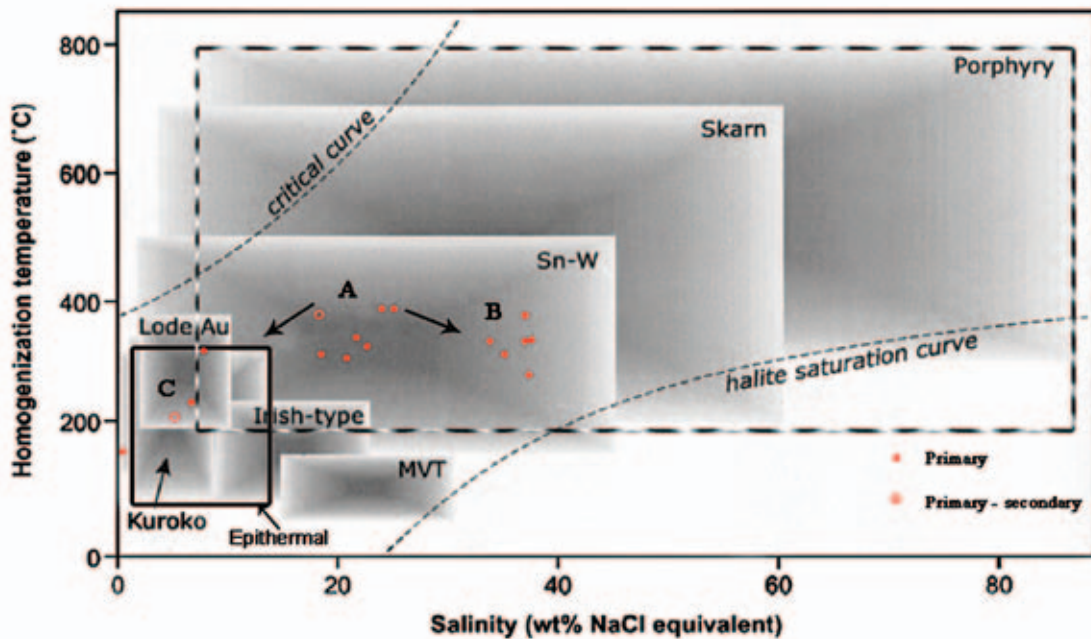
(Hedenquist and Lowenstern, 1994; Wilkinson, 2001) و در بعضی موارد این مسئله را ناشی از اختلاط این سیالات با سیالات جوی می‌دانند (شفرد رنگین، ۱۳۸۶).

با توجه به میزان شوری و دمای همگن‌سازی، نمودار شوری - دمای همگن‌سازی در شکل ۱۶ آورده شده است، با توجه به نمودار ویلکینسون (Wilkinson, 2001) که در آن محل قرارگیری سیالات مربوط به سیستم‌های پورفیری و اپی‌ترمال مشخص شده‌اند. نمونه‌های منطقه در دو محدوده مربوط به سیستم‌های پورفیری (محل خط چین در شکل ۲۲) و اپی‌ترمال (چهارگوش تیره در شکل ۱۶) قرار گرفته‌اند. همچنین با در نظر

جدول ۴- داده‌های محاسبه شده سیالات درگیر منطقه تنورچه

شماره نمونه	نوع سیال	درجه اشباع (F/V)	اندازه (میکرون)	تعداد فاز	Th8C	ThS8C	Tm 8C	شوری NaCl%	دانسیته
Tf3a-1	A	اولیه	۰/۷۶	۱۸×۷	L+V+S	۳۰۷/۸	۲۵۷	۳۵/۱۲۴۷	۱/۰۵۲۲
Tf3a-2	A	//	۰/۶۸	۱۱×۱۲	//	۳۷۴	۳۴۰	۴۱/۴۹۱۲	۱/۰۴۸۷
Tf3a-3	B	//	۰/۷۹	۱۰×۶	L+V	۳۲۰	-۲۰/۵	۲۲/۶۸۹۱	۰/۹۲۲۴
Tf3a-4	A	//	۰/۶۸	//	L+V+S	۳۳۰	۲۳۵	۳۲/۷۷۱۱	۱/۰۱۶۶
Tf3a-5	A	//	۰/۷۴	۱۵×۱۰	//	۳۲۸	۲۸۵	۳۷/۰۴۱۷	۱/۰۵۰۵
Tf3a-6	B	//	۰/۸	۱۲×۸	L+V	۳۳۵	-۱۹	۲۱/۶۶۳۶	۰/۸۹۵۶
Tf3a-7	B	//	۰/۸۲	۱۹×۷	//	۳۱۵	-۵	۷/۸۱۸۵	۰/۷۷۱۸
Tf3a-8	B	//	۰/۸۱	۸×۵	//	۳۰۵	-۱۵	۱۸/۶۱۸۳	۰/۹۰۰۲
Tf3a-9	B	//	۰/۷	۲۴×۳	//	۳۸۰>	-۲۴/۴	۲۵/۱۲۳۷	۰/۸۵۷
Tf3a-10	C	//	۰/۶۸	۱۱×۷	//	//	-۲۲/۴	۲۳/۹۱۳۲	۰/۸۴۴
Tf3a-11	A	//	۰/۷۲	۸×۱۰	L+V+S	//	۳۳۸	۴۱/۳۱۲۸	۱/۰۲
Tf6a-1	A	//	۰/۷۸	۵×۱۴	//	۳۳۴	۲۹۵	۳۷/۷۸۱۶	۱/۰۵۱۸
Tf6a-2	B	//	۰/۸	۷×۵	L+V	۲۹۸	-۱۸	۲۰/۹۴۷۵	۰/۳۹۰۱
Tf6a-3	D	//	۰/۸۴	۹۰×۵۰	//	۱۴۹	۰/۸		۰/۹۲۲۵
Tf6a-4	A	//	۰/۶۷	۱۴×۶	L+V+S	۲۷۰	۲۸۹	۳۷/۳۳۴۱	۱/۱۱۱۲
Tf6a-5	A	//	۰/۷۳	۱۵×۱۰	//	۳۳۷	۳۷۰	۴۴/۳۲۲	۱/۱۱۷۴
Tf6a-6	C	//	۰/۷۶	۱۳×۱۶	L+V	۲۳۰	-۴/۱	۶/۵۲۱۵	۰/۸۱۰۱
Tf6a-7	C	ا+ث	۰/۶۱	۵×۵	//	۳۵۰	-۱۵	۱۸/۶۱۸۳	۱/۰۸۳۵
Tf6a-8	B	//	۰/۸۴	۷×۳	//	۲۱۰	-۳/۳	۵/۱۶۵۷	۰/۸۹۳۵
Tf6a-9	A	اولیه	۰/۵۹	۱۴×۵	L+V+S	> ۳۷۰	۲۸۵	۳۷/۰۴۱۷	۱/۰۰۷۴

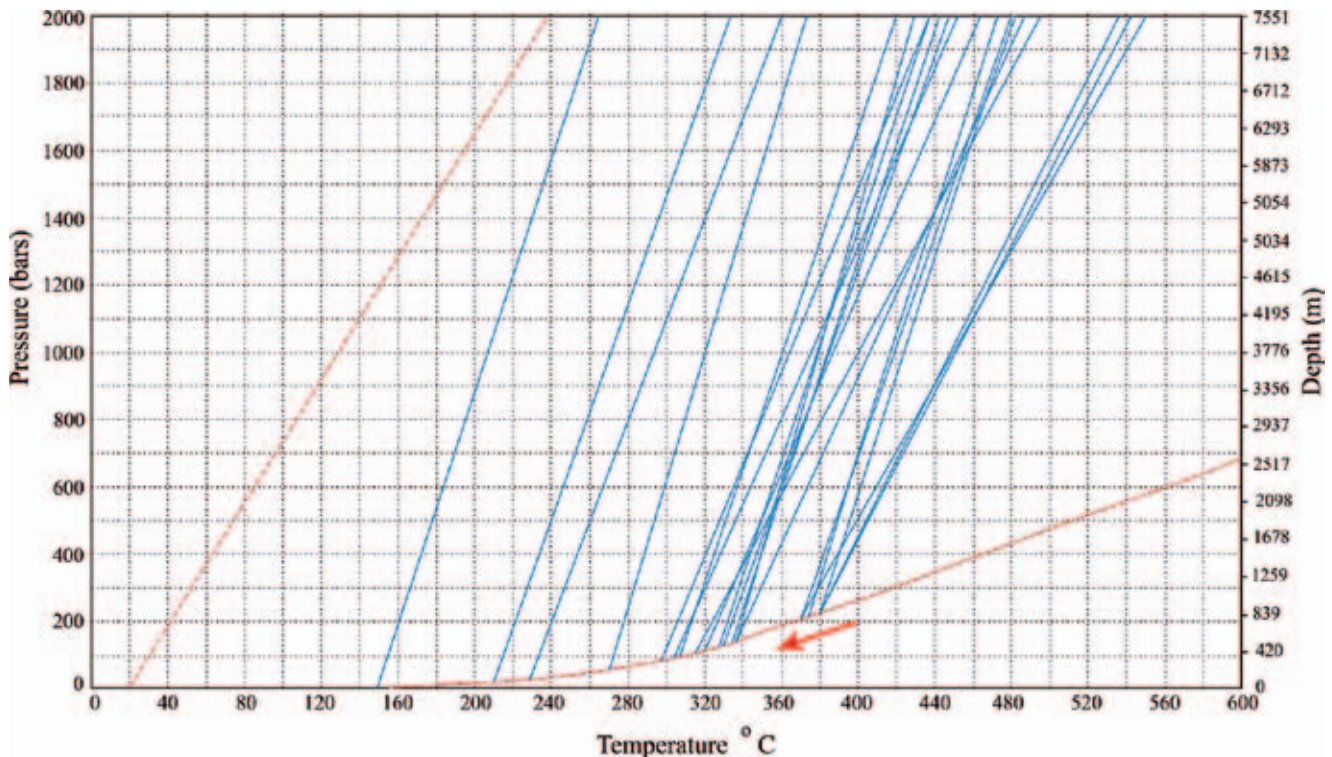
ماهیت سیال‌های درگیر در سنگ‌های کالک‌آلکالن کانی‌سازی مس و طلائی منطقه تنورچه



شکل ۱۶- محل قرارگیری سیالات نمونه‌های تنورچه (A, B, C) در نمودار درجه همگن‌سازی در مقابل شوری کانسارهای مختلف (ویلکینسون ۲۰۰۱ با تغییر) [۲۳]، محدوده خط چین مربوط به کانسارهای پورفیری و محدوده مشخص شده با خط ممتد مربوط به کانسارهای اپی ترمال می‌باشد.

طلائی اپی‌ترمال موجود در منطقه حرارت حدود ۲۵۰ تا ۲۹۰ درجه سانتی‌گراد و در نتیجه آن فشار حدود ۵۵ تا ۹۰ بار به دست آمده است (Wilkinson, 2001)، این داده‌ها با نتایج به دست آمده فوق‌الذکر از منطقه تنورچه قابل مقایسه هستند.

تقریباً ۸۴۰ متری و فشاری در حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ بار، به سطح زمین را نشان می‌دهد. در مطالعاتی که در کشور رومانی انجام شده است، میزان حرارت سیالات مربوط به سیستم پورفیری حدود ۴۰۰ تا ۴۵۰ درجه و در نتیجه فشاری حدود ۲۰۰ تا ۴۰۰ بار، و برای سیستم



شکل ۱۷- دیاگرام فشار - دما - عمق که در آن روند حرکتی سیال از عمق به سطح را (فلش) می‌توان مشاهده نمود

نتیجه‌گیری

بر اساس مطالعات پترولوژی، نمونه‌های آتشفشانی منطقه تنورچه از سنگ‌های آتشفشانی کالک آلکالن می‌باشد که تشابهی را با نمونه‌های مناطق فرورانشی حاشیه قاره‌ها نشان می‌دهد. تعیین سری‌های ماگمایی نمونه‌های نیمه عمیق نیز محدوده‌های کالک آلکالن و فوق آلکالن را نشان می‌دهند. نوع سری ماگمایی توده‌های نفوذی، از سری‌های مگنتیتی (تیپ I) تعیین شده است. در ترمومتری سیالات درگیر با توجه به میزان شوری (۵ تا بیش از ۴۴ درصد وزنی) و دمای همگن‌سازی (۲۰۰ تا ۳۶۰ درجه و بالاتر از آن، نمونه‌های منطقه در نمودارهای مربوط به میزان شوری و حرارت، در دو محدوده مربوط به سیستم‌های پورفیری و اپی‌ترمال قرار گرفته‌اند. همچنین بر اساس نمودار تغییرات فشار و عمق در برابر دما، سیالات، عمق تقریبی ۸۴۰ متر و فشاری در حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ بار، را نشان می‌دهند. این میزان با محاسباتی که در سایر سیستم‌های پورفیری - اپی‌ترمال طلا انجام شده، قابل مقایسه است.

منابع

- Borinseko, A. S., 1977. Study of the salt composition of solution in gas-liquid inclusions in mineral by the cryometric method, *Soviet Geol. and Geographys*, 18, 11-19.
- Harris N.B.W., Pearce J. A. and Tindle A.G., 1986. Geochemical characteristics of collision zone magmatism. In Coward M.P., and Reis, A.C., (eds), *collision tectonics Spec. Publ. Geol. Soc.* 19, 67-81.
- Hedenquist, J. W. and Lowenstern J. B., 1994. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits, *Nature* 370, 519-527.
- Irvine, T.N. and Baragar W.R.A., 1971. A guide to chemical classification of the common volcanic rocks: *Can. J. Sci.* 8, 523-548.
- Ishihara, S., 1981. The granitoid series and mineralization, *Econ. Geol.*, 75, 458-484.
- Le Maitre, R. W., 1981. GENMIX - a generalized petrological mixing model program. *Comput. Geol. Sci.*, 7, 229-247.
- Middlemost, E.A.K., 1985. *Magmas and Magmatic Rocks*. Longman, London and New York, 266.
- Muntean, J. L. and Einaudi M., 2001. Porphyry-epithermal transition Maricunga Belt, northern, Chile: *Econ. Geol.*, 96, 743-772.
- Oyarzum, R., Marquez A., Marquez A., Lilo J., Lopez I. and Rivera S., 2001. Giant versus small porphyry copper deposits of Cenozoic age in northern Chile: adakitic versus normal calc-alkaline magmatism, Springer-Verlag, 794-798.
- Peccerillo R. and Taylor S.R., 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 58, 63-81.
- Roedder, E., 1984. *The fluids in salt. America*, Mineral. 69, 413-439.
- Sillitoe, R. H., 1996. Granite and metal deposits : *Episode* 19, 4, 126-133.
- Vila, T. and Sillitoe R.H., 1991. Gold-rich porphyry systems in the Maricunga Belt, northern Chile, *Econ. Geol.*, 86, 1238-1260.
- Wilkinson, J. J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits, Elsevier, *Lithos* 55, 229-272.
- Winchester, J.A. and Floyd P.A. 1977. Are-appraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series and their differentiation products using immobile elements: *Chem. Geol.*, 20, 325-343.

- امیرخانی منفرد، ح.، ۱۳۸۱. مطالعه ژئوشیمی و پترولوژی منطقه کانی‌سازی تنورچه کاشمر و بررسی توده مگنتیتی واقع در شمال روستا، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۷۹.
- بهروزی، ا.، ۱۳۶۶. نقشه و گزارش نقشه زمین‌شناسی فیض آباد ۱/۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- شرکت طلای زرمهر، ۱۳۸۰-۱۳۸۳. طرح‌های اکتشافی مواد معدنی فلزی و غیر فلزی.
- شفرود رنگین، آ.، ۱۳۸۶. مترجم: سیمونز وارطان، راهنمای عملی برای سیالات درگیر، انتشارات دانیال، ۲۸۸.
- عباسیان غ.، ۱۳۷۳. مطالعات زمین‌شناسی و پترولوژیکی سنگ‌های آتشفشانی سری تنورچه، شمال شرق کاشمر، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان.
- کریم‌پور، م.ح. و سعادت، س.، ۱۳۸۱. زمین‌شناسی اقتصادی کاربردی (ویرایش جدید)، نشر مشهد، ۵۳۵.
- کریم‌پور، م.ح. و سعادت، س.، ۱۳۸۳. پردازش اطلاعات ماهواره‌ای، بررسی آلتراسیون، ژئوشیمی و کانی‌سازی مس - طلای پورفیری در شمال و شمال شرق کاشمر، مرکز تحقیقات ذخایر معدنی شرق ایران، دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد.
- عجایی، ک. س.، ۱۳۸۶. ژئوشیمی، پتروژنز و منشأ سیالات گرمابی در کانی‌سازی منطقه تنورچه (شمال کاشمر)، رساله دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، ۲۷۹.
- مستقل، ب.، ۱۳۷۷. بررسی خاستگاه و ارزیابی فنی - اقتصادی کانسار سنگ آهن تنورچه - کاشمر، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۹۷.