

## پژوهشی در سیالات درگیر (Fluid Inclusion) در نهشته

مس - مولبدن پورفیری سونگون

(باختر اهر - آذربایجان خاوری)

نوشته: دکتر محمود مهرپرتو \* پروفیسور محمود ترکیان \*\*

### چکیده

در کانار مس سونگون، تنها در بخش شمالی روستای سونگون سنگ‌های ماگماتیک تحت تأثیر دگرسانی و کانی‌زایی گسترده قرار گرفته‌اند جای‌گزینی توده‌های نفوذی و نیمه ژرف در چندین مرحله انجام شده و تنها یک توده‌نفوذی نیمه ژرف مسئول کانی‌سازی و دگرسانی است. این توده در شمال روستای سونگون قرار گرفته و ترکیب سنگ‌شناسی گرانیت تا بیوتیت گرانودیوریت دارد. روتد ماگمای سنگ‌های نفوذی این منطقه در قلمرو کالک آلکان است و ویژگی (I) تیپ گرانیت را دارد و از نظر ویژگی‌های ژئوتکتونیک در قوس قاره‌ای (Continental Arc) جای‌گزین شده‌اند. براساس داده‌ها و مطالعات صحرایی، سن جای‌گزینی توده‌های نفوذی این منطقه بعد از ائوسن و همزمان با فاز کوه‌زایی پیرنه‌ای است. دگرسانی از تیپ پیشرفته بوده و زون‌های دگرسان شده پتاسیک، فلیک، آرژیلیک، و پروپیلیتیک پدید آورده است. بیوتیت و فلدسپات پتاسیک ثانویه شاخص دگرسانی زون داخلی (پتاسیک)، سربیت و سیلیس در زون، فلیک، کانولینیت در زون آرژیلیک، و کلریت و اپیدوت در زون پروپیلیتیک است. کانی‌زایی هیپوژن در این منطقه به اشکال پراکنده (Dissemination)، شبکهای (Stockwork)، و رگهای (Veintype) ظاهر شده است. کانی‌های فلزی معمولاً در بخش‌های داخلی به وجود آمده‌اند که در زون پتاسیک توسط کالکوپیریت پراکنده در زون فلیک به قرم رگهای، و در زون آرژیلیک کمتر به قرم انتشاری وجود دارد. ارتباط معکوسی میان گسترش و توسعه کالکوپیریت و مولبدنیت در مقادیر نسبتاً بالای این دو کانی وجود دارد. این نسبت میان کالکوپیریت و پیریت نیز مشاهده می‌شود. کانی‌سازی در این منطقه طی دو مرحله اتفاق افتاده و تفکیک آن دو به کمک نتایج مطالعه سیالات درگیر (Fluid Inclusions) نشان داده شده است. در این شیوه مطالعه کانی‌سازی به وسیله پارامترهای فیزیکی - شیمیایی مانند درجه حرارت، فشار، PH، و دخالت آب‌های جوی به سیستم کنترل می‌شود.

مرحله آغازین کانی‌سازی با پاراژنز کالکوپیریت، مولبدنیت، ایلمینت، تترائیدریت، تنانتیت، پیریت، و با دگرسانی‌های پتاسیک و پروپیلیتیک در درجه حرارت‌های  $350^{\circ}\text{C}$  -  $450^{\circ}\text{C}$  و در بعضی مواقع حتی بیش از  $500^{\circ}\text{C}$  اتفاق افتاده است. دومین مرحله کانی‌سازی با پاراژنهای کالکوپیریت، مولبدنیت، پیریت، بورنیت، کالکوسیت، روتیل، سرب و روی و طلا، و با دگرسانی‌های فلیک و آرژیلیک در درجه حرارت‌های  $250^{\circ}\text{C}$  -  $350^{\circ}\text{C}$  رخ داده است.

در سیالات درگیر، حضور کریستال‌های دختر (Daughter Crystal) مانند هالیت (Halite)، سیلویت (Sylvite)، و اوباک (Opaque) با نمک‌گذاری بالا (High Salinity) حاکی از محلول‌های هیدروترمال غنی از کمپلکس‌های کلرین-کلرین (Chlorine Complexes) است. رخ‌نمون‌های اسکارن با ضخامت‌های گوناگون در اطراف نهشته پورفیری پراکنده است. تیپ کانی‌سازی اسکارن اکثرتر مرز زون بارور (Productive Zone) توده‌نفوذی با آهک‌های کرتاسه‌ای بالا به وجود آمده است. در مرحله اول کانی‌سازی، کانی‌های فلزی پیریت و کمتر کالکوپیریت، سرب و روی و ماگنیت به وجود آمده، در حالی که مرحله دوم کانی‌زایی

## Investigation on Fluid Inclusion in Copper- Molybdenum Porphyry Complex of Sungun, West of Ahar, Eastern Azarbaijan

By: Dr. M. Mehr Partou \* and Prof.Dr.M. Tarkian \*\*

توسط کانی‌های کالکوپیریت، پیریت، سرب و روی، و ماگنتیت مشخص می‌گردند و به صورت رگه‌ای رخ داده‌اند. حای‌گزینی کانی‌های فلزی افزون بر درزه و شکستگی‌های نامنظم، در رزون شبکه‌ای (Stockwork) نیز انجام شده، به وسیله‌ی نوع درزه‌مقاطع و در چند مورد گسل‌ها کنترل می‌شوند که مجاری هدایت محلول‌های نیدروترمال می‌باشند. دایک‌های کانه‌دار با پراکندگی نسبتاً شعاعی، فقط حاوی پیریت هستند. آن‌ها توده‌پورفیر را احاطه کرده و به نظر می‌رسد در گام‌های پایانی کانی‌زایی جای‌گزين شده‌اند. دو سیستم بارز شکستگی و درزه در سونگون وجود دارد؛ سیستم اول به نظر همزمان با نفوذ توده‌پورفیری صورت گرفته و به ویژه سبب شکستگی‌ها و دایک‌های شعاعی و هم مرکز شده است. دومین سیستم شامل انواع شکستگی‌های عمومی و همگون با زمین ساخت است که بعد از زمان اولیگوسن بروز کرده‌اند. وجود فراوانی کانی‌های مس و مولیبدن و کاستی طلا، تیپ کانی‌سازی مس سونگون را با تیپ پورفیر مدل قاره‌ای معرفی شده از طرف (Lowell & Guilbert 1970) و (Cox & Singer 1986) قابل مقایسه می‌سازد. بررسی ۱۷ حلقه چاه حفاری، تونل‌های اکتشافی، و اطلاعات زمین‌شناسی صحرایی نشان داده است که این توده‌پورفیری حاوی ۲۹۰،۰۰۰،۰۰۰ تن سنگ معدن حاوی مس با عیار ۱/۷۶٪، مس، ۱۵۱ ppm، و ۹٪ رینیم در مولیبدنیت است و ۲۱۶،۰۰۰ تن مس، ۴۲،۰۰۰ تن مولیبدن و ۳۷/۸ تن رینیم دارد.

### Abstract

In Sungun area, only within northern part of Sungun Village the magmatic rocks have been affected by advanced alteration and ore mineralization. The host rocks consist of granite and granodiorite which are characterized by calco-alkaline, I- type granite of a continental arc geotectonic setting. According to geological data from peripheral rock units, emplacement of the intrusion is post- Eocene in age, which is simultaneous with the pyrenean orogeny. Pronounced pervasive alteration produced potassic, phyllitic, argillic and propylitic alteration zones of immense extent. Secondary biotite and K-feldspar are typical alteration products in the inner zone of intrusive rocks. Hypogene mineralization consists of disseminated and vein type mineralization. Disseminated minerals mostly occur in inner parts and are identified by chalcopryrite in potassic zone and pyrite in propylitic zone. Chalcopryrite vein type mineralization occur in intermediate zone and mostly in stockwork. Results of fluid inclusion study show that the mineralization was controlled by some

physico- chemical parameters such as temperature- pressure, pH, and by influx of meteoric waters. The first stage of mineralization mainly took place at temperatures between 350 to 450 °C, and in some cases even at more than 540 °C, and a second stage of mineralization occurred at 250 to 350 °C. The presence of daughter crystals of halite and sylvite in fluid inclusions of high salinity suggest metal transport in hydrothermal fluids enriched in chlorine complexes. Some outcrops of variable thickness surround porphyry copper deposit. Copper ore skarn type mostly occurs in contact between productive stock and Cretaceous limestone. Pyrite and minor chalcopyrite were deposited in the first stage of mineralization whereas the second stage is characterized by chalcopyrite, galena, sphalerite and magnetite. Apart from stockwork with irregular joints and fractures, ore emplacement was controlled by two conjugated joints and in some cases by faults which were responsible for conductivity of hydrothermal fluids. Mineralized dykes with relative concentric distribution contain only pyrite. They surround porphyry deposit and suggest later mineralization in studied area. Two specific patterns of fractures and joints were established in Sungun deposit. The first type is thought to have occurred simultaneously with intrusion emplacement and especially caused concentric, radial fractures and dykes and the second type is harmonized by common fracturing pattern in Sungun area and correlates with the main lineament of the pyrenean orogeny.

## مقدمه

یکی از متداولترین و شناخته شدهترین شیوه مطالعه نهشته‌های معدنی، بررسی سیالات درگیر وابسته است. محلول‌های سازنده این گونه توده‌ها حاوی عناصری است که در حال حاضر در توده‌های معدنی حضور دارند. شرایط فیزیکی و شیمیایی بعدی نیز سبب افزایش و کاهش عناصر تشکیل دهنده مواد معدنی می‌گردند، لکن فقط سیالات درگیر موجود بین و منعکس کننده شرایط تشکیل توده‌های معدنی‌اند. مطالعه سیالات درگیر ما را در بیان حقایقی از مراحل ساخت نهشته‌های معدنی یاری می‌نماید (Roedder 1984). در نهشته‌های تیپ پورفیری، معمولاً سیالات درگیر در کانی‌ها به وجود می‌آید و محلول‌های هیدروترمال تحت شرایط ویژه فیزیکی- شیمیایی بارز، در کانی محبوس می‌گردند، که این همزمان با تشکیل نهشته‌های پورفیری است.

مشاهدات زمین‌شناسی صحرایی در نهشته‌های مس پورفیری سونگون، شرایط گوناگون گردش همگرای محلول‌ها را با چند منشأ در سنگ میزبان میرالیزه نشان می‌دهد از دلایل و شواهد به دست آمده، اهمیت محلول‌های با نمک‌گونی بالا (High Salinity) در انتقال فلزات پایه (Base metals) به صورت یون‌های کمپلکس کلراید ثابت می‌شود (White, 1968 Helgeson 1964, 1969). امروزه مطالعه محلول‌های کلرین در سنگ‌های نفوذی تقریباً تنها راه عملی برای بیان شرایط حقیقی شیمیایی ممکنه سنگ در گذشته به نظر می‌رسد (Kesler, et al 1973)، زیرا وابستگی شدیدی بین غنی شدن قابل ملاحظه کلرین در سنگ‌های میرالیزه به چشم می‌خورد، و همان‌طور که بعداً ملاحظه خواهیم کرد، کلرین با منشأ ماگماتیک می‌تواند نقشی اساسی در تعیین و تشخیص منطقه‌بندی زون‌های دگرسانی و شرایط فیزیکی شیمیایی نهشته‌های معدن ایفا کند.

نتایج مطالعات سیالات درگیر کلیه نهشته‌های تیپ پورفیری نشان می‌دهند که سیالات درگیر با نمک‌گونی بالا در زون پتاسیک

و در محدوده مرکزی کانسار به وجود می‌آیند، در حالی که سیالات درگیر با نمک‌گونی پایین تا متوسط در زون‌های فیلیک و آرژیلیک یا حتی در حاشیه توده معدنی به وجود می‌آیند. معمولاً حوزه فعالیت محلول‌های با منشأ ماگماتیک در هسته زون میرالیزه، و حوزه فعالیت محلول‌های با منشأ جوی در حاشیه زون میرالیزه و در اثنای تشکیل توده معدنی است (Takenuchi, 1980).

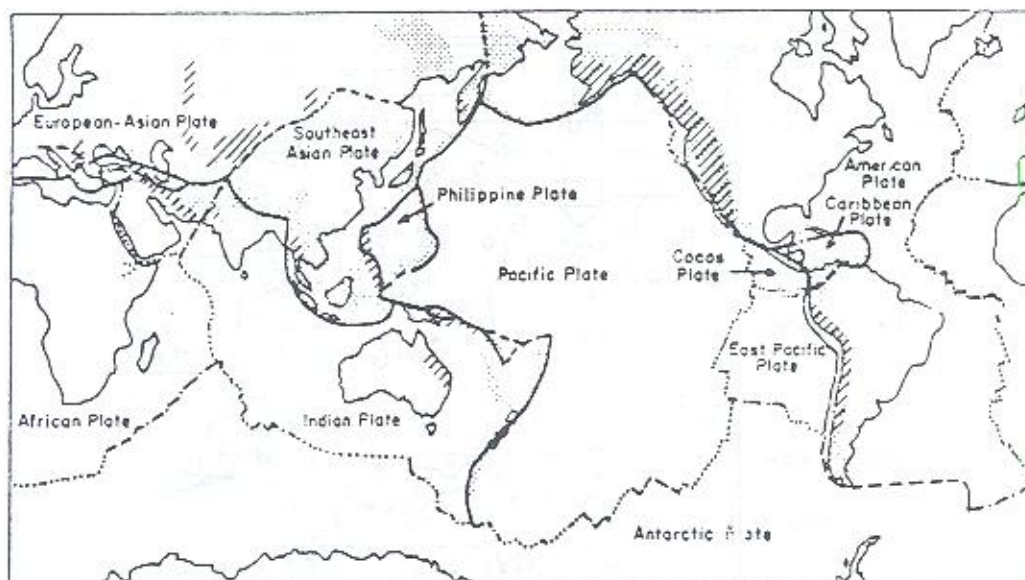
مطالعات ایزوتوپیک آب در داخل مینرال‌ها و سیالات درگیر اکثر نهشته‌های تیپ مس پورفیر آمریکا (Sheppard, et al 1971, Sheppard & Taylor 1974, Sheppard & Gustafson 1976, Batchedler, 1977)

و نتایج اکتشاف نهشته‌های مس پورفیری سراسر دنیا نشان می‌دهند که این گونه نهشته‌ها اساساً در طول جزایر قوسی (Island Arcs) و، از لحاظ کانی‌سازی، در نواحی برخورد صفحه‌ها (Sawkins, 1990)، در داخل سنگ‌های دیوریت کوارتزدار با سن‌های گوناگون پالنوسن- اولیگوسن، میوسن، و حتی پلیستوسن (پانوپانیوگینیا) در شمال غربی پاسیفیک و در داخل سنگ‌های کوارتز مونزونیتیک با سن لارامید در آمریکا تکامل می‌یابند (شکل ۱)

## ۱- مختصری در باره نواحی نمونه‌گیری شده

نمونه‌گیری از هفت حلقه چاه حفاری شده در داخل محدوده زون دگرسان شده، جمع‌آوری شده است. تمام نقاط حفاری شده تقریباً در بخش شمالی روستای سونگون واقع‌اند که چاه‌های فوق به شکل زیگزاگ در یک امتداد شمالی- جنوبی قرار دارند (نقشه زمین‌شناسی شکل ۲)، که به اختصار به نام‌های ۸ و ۶ و ۴ و ۳ و ۲ و ۱ نام‌گذاری شده‌اند. مغزه‌های مربوط به چاه‌های حفاری ما را قادر ساخت تا از سطوح مختلف زون‌های دگرسان شده نمونه‌گیری کنیم. عمق چاه‌های حفاری از ۱۸۶ تا ۳۰۰ متر از سطوح مورفولوژیک متغیر است، لکن





#### EXPLANATION

- ..... Accreting plate margins
- Consuming plate margins
- Mesozoic-Cenozoic mountain belts
- Active transform faults
- · - · - Plate margins of indeterminate nature
- ▨ Regions with porphyry copper and molybdenum deposits

شکل ۱: کمربندهای مس پورفیری جهانی به استثنای رخ نمون‌های شوروی سابق و شمال زون آلیپی - هیمالیا مربوط به مرزهای فشاری پالئوژئیک‌اند  
(After Sawkins, 1990)

پذیرفته است. اندازه‌گیری میکروسکوپی به کمک یک دستگاه گرم کننده و منجمد کننده از مارک Chaimeca صورت گرفته که مجهز به عدسی‌های شیئی ۱۰ و ۴۰ است. این دستگاه توانایی خوبی برای اندازه‌گیری نمونه‌ها در درجات ۱۸۰- تا ۶۰۰ C دارد. استانداردهای تنظیم کننده نقطه ذوب که برای نمونه‌های مورد مطالعه استفاده می‌شوند عبارت‌اند از:

O.tolidine (M.P 130 C CO<sub>2</sub> = (Mp. ۵۶/۶ C)

(Merck SK70 (M. P. 70 C) و (M.P. O. C) = آب مقطر

Naphtaline = (M.P. 80 C) و (Merck 100 (M.P. 100 C)

(M.P. 398 C) = پتاسیم دی کربنات و (M.P. 271 ° C) = سدیم نترات

نمونه‌سیالات درگیری که برای مطالعات و آزمایش‌های گرمادادن و منجمد کردن به کار می‌روند در وهله اول با بزرگ‌نمایی پایین مورد بررسی قرار می‌گیرند تا ارتباط شان از نظر زمانی و مکانی نسبت به یکدیگر مشخص شود. در مرحله دوم بزرگ‌نمایی بزرگ انتخاب می‌شود و انواع سیالات درگیر در حرارت معمولی اطاق مورد مطالعه قرار می‌گیرند تا خواص گرمایی و انجماد تعیین شوند. برای شروع آزمایش نمونه‌هایی به ابعاد ۲ mm انتخاب می‌شود. میزان افزایش گرما در طول مطالعه حدود ۳-۵ C در دقیقه است. باید اول سیالات درگیری را مورد آزمایش قرار داد که درجه همگونی شدن

فقط سه چاه به زون پتاسیک رسیده است (چاه‌های ۳، ۴ و ۶) و به نظر می‌رسد که هنوز زون پتاسیک به سمت اعماق ادامه داشته باشد. جز نمونه‌گیری از چاه‌های حفاری شده، چند نمونه به طور سطحی از رخ‌نمون‌های دگرسان شده از رگه‌های کوارتز برداشت شده است (نمونه‌های ۷۴۰، ۷۷۱، ۶۰۶). روی هم رفته ۵۰ نمونه از مغزه‌های چاه‌های حفاری شده در نقاط مختلف و رخ‌نمون‌ها انتخاب شده که در نقشه زمین‌شناسی مشخص شده است (شکل ۲). کلیه نمونه‌ها از رگه‌های مینرالیزه کوارتز که در بخش‌های گوناگون زون معدنی پراکنده‌اند انتخاب شدند. در شکل ۳ موقعیت فضایی چاه‌های حفاری شده نسبت به سطح توپوگرافی آمده است. مطالعات صحرایی رگه‌های کوارتزدار ارتباط تنگاتنگی را میان کانی‌سازی و آلتراسیون نشان می‌دهد در مباحث بعد از این ارتباط بیشتر سخن می‌گوییم.

## ۲- لوازم و روش‌های مطالعه

تحقیقات میکروسکوپی برای مطالعات سیالات درگیر انجام شده که در آن از تیغه‌های دوطرف صیقل شده (Polished thin section Double) به ضخامت ۳۰۰-۷۰۰ میکرون استفاده شده است که از کوارتز شیری به دست آمده‌اند، آماده‌سازی و تهیه کلیه نمونه‌ها در انستیتو تحقیقات مینرالوژی و پتروگرافی دانشگاه هامبورگ انجام

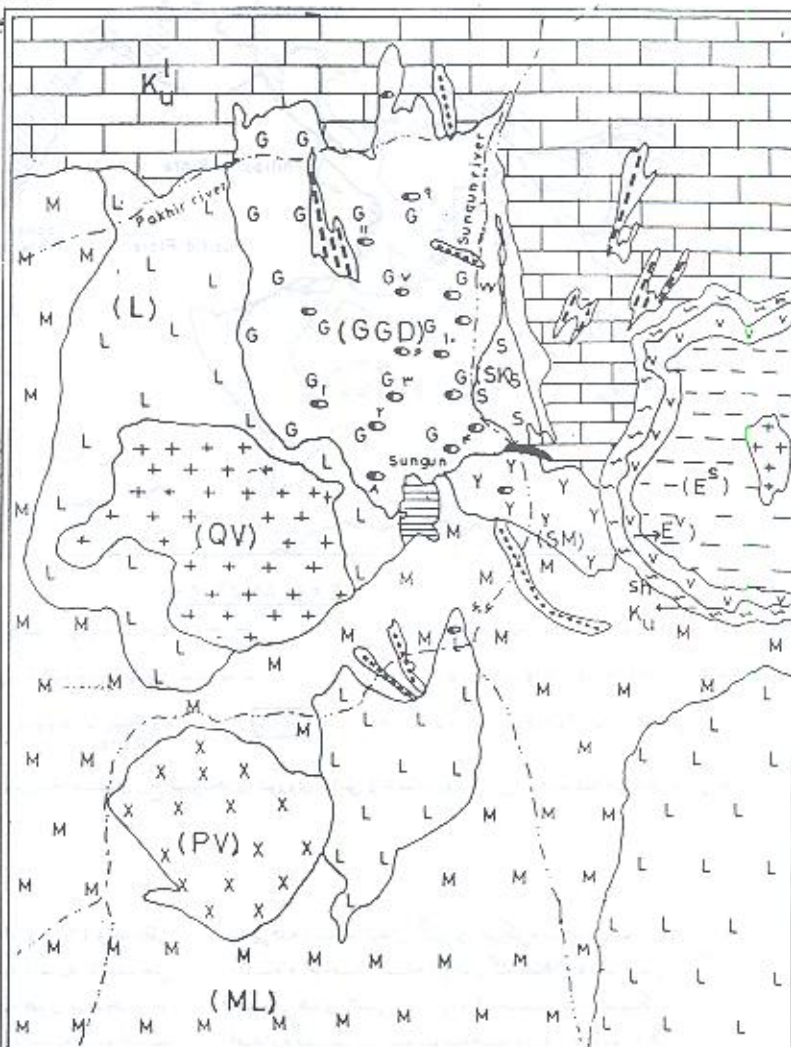
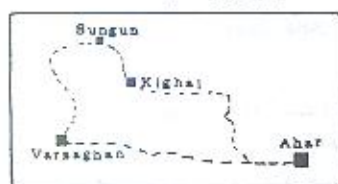
GEOLOGICAL MAP OF SUGUN AREA  
(north west of Iran)

46° 40'  
36° 42'

LEGEND

|                   |     |                                               |
|-------------------|-----|-----------------------------------------------|
| Quaternary        | ++  | QV: Trachyandesite volcanic lava              |
| Quaternary        | xx  | PV: Rhyodacite volcanic dome                  |
| Miocene           |     | D2: Microdioritic dykes                       |
| Miocene           |     | D1: Andesite porphyry dykes                   |
| Oligocene         | yyy | SM: Porphyritic syenomonzonite                |
| Oligocene         |     | AL: Aplitic dykes                             |
| Oligocene         | mm  | L: Porphyritic latite                         |
| Oligocene         | ggg | GSD: Porphyritic biotite granite-granodiorite |
| Oligocene         | lll | ML: Porphyritic quartz monzonite              |
| Cretaceous-Eocene | --- | Es: Nummulitic sandstone and marls            |
| Cretaceous-Eocene | vvv | Ev: Basic volcanic and volcanic breccia       |
| Cretaceous-Eocene | sh  | Ku: Limy-shale                                |
| Cretaceous-Eocene |     | Xn: Medium bedded and massive limestones      |
| Skarna            | ss  | SK: Skarna (ore skarna and reaction skarna)   |

Scale: 100 500  
0 300 m



شکل ۲: نقشه ساده شذ زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

Tm = Temperature of melting

Te = Temperature of eutectic

Kbar = Kilobar pressure

atm = Atmosphere - pressure

equiv = Equivalent

Salinity = Expressed as Wt.% NaCl equiv.; the concentration of NaCl needed to achieve the same depression of the freezing point,

### ۳- کلیاتی در مورد سیالات در گیر (Fluid Inclusion)

به طور کلی هر سیال در گیر (Fluid Inclusion) دو فاز مشخص دارد که تشکیل دهنده گان اصلی ساختمان سیالات در گیرند افزایش و کاهش هریک از این تشکیل دهنده ها نسبت به یکدیگر فاکتور مهمی در مرحله حرارت دادن (Heating) است. فاز مایع شامل آب و نمک

(Homogenization temperature) آنها پایین است، زیرا در غیر این صورت سیالات در گیر با درجه تشکیل (Trapping temperature) پایین از دست خواهند رفته

بعد و قبل از مرحله حرارت دادن نمونه، می توان با انجماد فاز محلول مقدار نمک گونگی (Salinity) محلول را مشخص نمود. انجماد از طریق عبور گاز نیتروژن و نیتروژن مایع از اطراف محفظه جای نمونه حاصل می گردد. علامت های اختصاری که در دیاگرام ها و نوشته ها مورد استفاده قرار گرفته اند عبارت اند از:

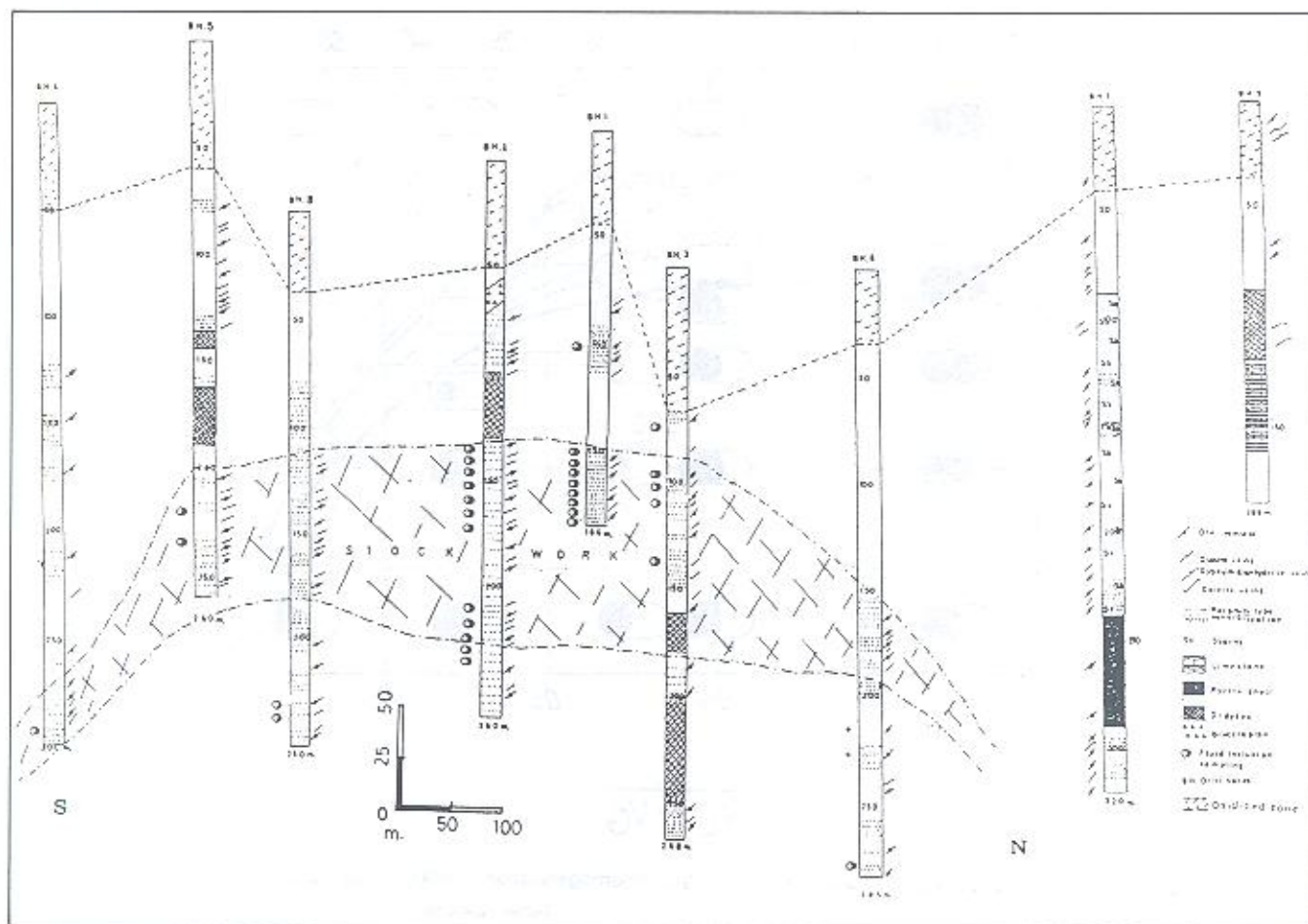
T = Temperature

P = Pressure

V = Vapor

Th, Ph = Temperature and pressure of homogenization

Tt, Pt = Temperature and pressure of trapping



شکل ۳: پراکندگی عمودی رگه‌ها و رگچه‌ها کوارتز-ژئیس و کلسیت و همچنین مینرالیزاسیون تیپ پورفیر در چاه‌های حفاری موقعیت نمونه‌های مربوط به اندازه‌گیری سیالات درگیر (Fluid inclusion) نیز مشخص شده است.

مقدار چگالی محلول (شکل ۴) در سیالات درگیر، درجه‌بندی (Degree of filling) نامیده می‌شود که از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{Degree of filling} = L + V/L \quad \text{حجم مایع} = L \quad \text{حجم گاز} = V$$

ترکیب شیمیایی فاز مایع در سیالات محلول شامل محلول آب و کم‌تر از ۱۰٪ املاح است. املاح آن را مقادیری سدیم، کلسیم، منیزیم، کلر،  $\text{SO}_4$ ، و مقدار نسبتاً کم‌تری از یون‌های دیگر تشکیل می‌دهند (Roedder 1984). سدیم و کلر معمولاً فراوان‌ترین یون‌ها در سیالات درگیرند.

#### ۴- مشاهدات میکروسکوپی

۴-۱- مشاهدات میکروسکوپی در مرحله‌حرارت دادن به سیالات درگیر

نمونه‌نتایج اطلاعات درجه‌حرارت همگون شدن

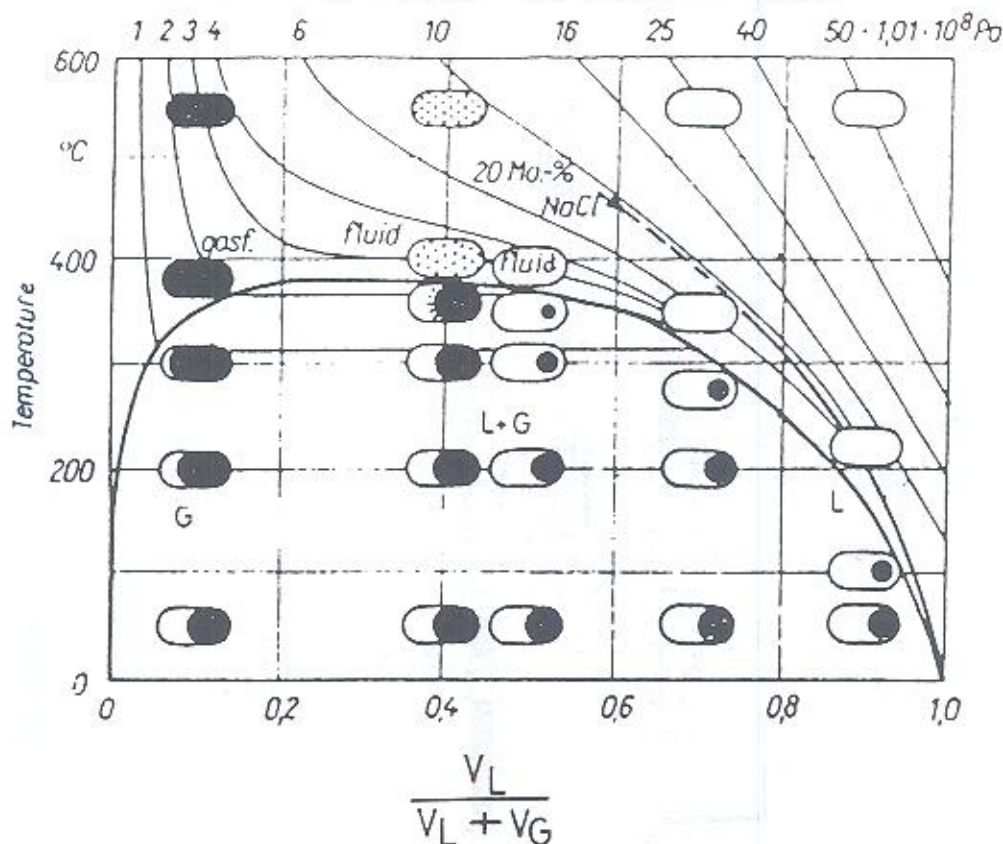
محلول است و گاه محلول‌های حاوی نمک در مرحله‌سردشدن بلورهای نمکی تولید می‌نمایند، که اکثراً نمک طعام (Halite) و کمتر کلرور پتاسیم (sylvite) است که اصطلاحاً آن را کریستال دختر (Daughter mineral) می‌نامند.

از طریق مطالعه سیالات درگیر، اطلاعاتی چند از جمله درجه حرارت، فشار، چگالی و ترکیب سیالات درگیر به دست می‌آیند.

- با اندازه‌گیری درجه حرارت سیالات درگیر، رخداد پیشین زمین‌شناسی نیز قابل پیش‌بینی است (Sorby, 1858).

- اطلاعات فشار در سیالات درگیر ما را قادر می‌کند تا با حقایقی در مورد فشار محیط به هنگام تشکیل (Trapping time) سیالات درگیر آشنا شویم.

- اطلاعات چگالی مبین هریک از فازهایی است که اکنون در سیالات درگیر ملاحظه می‌شود. میانگین کل چگالی برای تفسیر فعالیت گذشته محلول‌ها در پوسته زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۴: مراحل همگون شدن (Homogenization ۰۰۰۰۰۰۰۰) سیالات درگیر، در ارتباط با درجه همگون شدن در دیاگرام درجه حرارت- چگالی در سیستم (After Roedder, 1972)

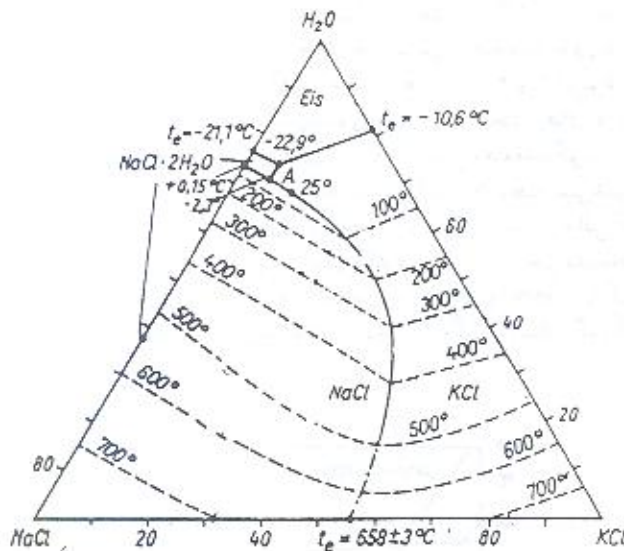
اثنای تشکیل سیالات درگیر (entrapment) می باشد. در تعدادی از نمونه های تیپ (B) در اثنای حرارت دادن، حباب ها انقباضی جزئی نشان می دهند و حباب های گاز در افزایش حرارت ثابت می مانند، لیکن در درجه حرارت بخصوصی ناگهان حباب ناپدید می گردد و در فاز مایع همگون (Homogenize) می شود.

همچنین گاه حتی ممکن است در اثنای حرارت دادن، حتی در آخرین حد ظرفیت حرارت دهی دستگاه، هیچ گونه تغییر در حجم حباب گاز به وجود نیاید و درجه حرارت بالای  $560^{\circ}\text{C}$  هم حباب ها ناپدید نشوند. در سیالات درگیر حاوی بلور هالیت، در آغاز افزایش حرارت، کریستال دختر (Daughter Crystal) شروع می کند به گرد شدن، و این همزمان است با کاهش حجم حباب. معمولاً حباب ها قبل از ناپدید شدن کریستال هالیت ناپدید می شوند (Roedder 1984)، (Ahmad & Rose 1980). لکن گاهی کریستال های نمک طعام قبل از فاز گاز ناپدید می شوند. اختلاف میان درجه حرارت حلالیت بلور هالیت و ناپدید شدن حباب چندان زیاد نیست، لکن سیالات درگیری یافت می شوند که اختلاف شان تا  $30^{\circ}\text{C}$  الی  $40^{\circ}\text{C}$  درجه سانتی گراد می رسد، حتی اگر میزان افزایش درجه حرارت  $5^{\circ}\text{C}$  الی  $8^{\circ}\text{C}$  درجه سانتی گراد در دقیقه باشد. بلور سیلیت معمولاً

(Homogenization Temperature) و مقدار املاح در محلول سیال درگیر در یک دیاگرام خلاصه (شکل ۱۴) به نمایش گذاشته شده است. شکل های مختلف همگون شدن در آنکلوژیون های مورد مطالعه مشاهده گردید. معمولاً آنکلوژیون های تیپ (A) و تیپ (B) در فاز مایع همگون (Homogenize) می شوند، در حالی که فقط در مورد تیپ (C) این همگون شدن محدود است. به طور مشخصی در آنکلوژیون های نوع (B) در مرحله حرارت دادن هر دو نوع سیالات درگیر اولیه و ثانویه، در یک درجه حرارت، حباب ها شروع به منقبض شدن و حرکات جهشی می کنند. گاهی آن ها به بخش های زاویه دار آنکلوژیون ها می چسبند و در چند مورد نیز اتفاق افتاده است که به حاشیه دیواره های آنکلوژیون آویزان شده و در انتها، بسته به درجه حرارت همگون شدن، حباب شان ناپدید شده است.

در سیالات درگیر تیپ C، عموماً در اثنای حرارت دادن، حباب شروع به انبساط می کند و سر آخر مایع را در برمی گیرد؛ همچنین در چند مورد اتفاق افتاده که آنکلوژیون های تیپ C در مایع همگون شده اند. همچنین مشاهده شد که در اثنای حرارت، مرز میان دو فاز ناگهان از بین رفته و فاز مایع و گاز با یکدیگر مخلوط شدند. این پدیده ها ویژگی مشخص شرایط پنوماتولیتیک (Pneumatolytic) در

همراهی می‌کنند و معمولاً با یک رنگ قرمز روشن و اکثراً رنگ اوپاک مشخص‌اند. مینرال‌های اوپاک معمولاً به شکل نیمه مدور تا زاویه‌دار و کوچکتر از بلورهای هالیت مشاهده می‌شوند. به غیر از معدود بلورهای اوپاک بزرگ، دیگر بلورهای اوپاک بی‌شکل کوچک اکسید و سولفید در نظر گرفته می‌شوند. همچنین به غیر از هالیت و سیلویت، تعدادی بلور گرد شده در اطراف و حواشی سیلویت و هالیت قرار می‌گیرند که قابل تشخیص نیستند. اکثر سیالات درگیر مورد مطالعه یک کریستال دختر تنها را به عنوان کریستال دختر می‌سازند و بنابراین چنین استنباط می‌شود که تعداد کریستال‌های دختر در سیالات درگیر، مبین تعداد فاز در آنکلوژیون است.



شکل ۵: دیاگرام سه تایی H<sub>2</sub>O- NaCl- KCl (بعد از Roedder 1971).

## ۵- حرارت دادن و انجماد

### ۵-۱- حرارت دادن (آزمایش‌ها)

همانطور که در شکل ۴ ترسیم شده است، در این جا در پی گرما دادن به سیالات درگیر با چگالی‌های مختلف، حباب‌های مربوطه در سیالات درگیر بالاخره ناپدید می‌شوند، این ناپدید شدن را (Th) دمای همگون شدن می‌نامیم، در اثنای حرارت دادن سه نوع همگون شدن (Homogenization) رخ می‌دهد.

الف- در این نوع مایع بخش اعظم آنکلوژیون را فرا گرفته و حباب گاز قابل توجه نیست پس از گرمادادن، حجم مایع بیش‌تر می‌شود و حباب‌ها گاز کوچک‌تر شده و در نهایت ناپدید می‌گردد و تمام حجم درون آنکلوژیون را مایع پرمی‌کننده این پدیده را همگون شدن در فاز مایع می‌نامند.

ب- ویژگی این نوع، وجود حباب بزرگ گاز و بخش کوچک مایع است. افزایش دما سبب انبساط گاز می‌شود و در نهایت گاز فاز مایع

در درجه حرارت‌های پایین‌تر از بلور هالیت حل می‌گردد و این حالیت در حرارت ۱۰۰ الی ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. حضور بلور هالیت در بالاتر از درجه حرارت همگون شدن حباب می‌تواند:

الف) بر اثر عمل تقسیم سیالات درگیر Necking down به چند سیال درگیر دیگر و یا:

ب) ناشی از محبوس شدن کریستال هالیت در سیالات درگیر باشد (Roedder 1972).

### ۴-۲- شناسایی مینرال‌های دختر (Daughter minerals).

#### محلول‌های نمک دار و آب تشکیل دهنده‌های اصلی فاز مایع در سیالات درگیرند.

محلول‌های نمک دار فوق‌اشباع، در مرحله سرد شدن، بلورهای دختر (Daughter minerals) گوناگون تولید می‌کنند. تصور می‌شود که بلورهای دختر در سیالات درگیر بعد از تشکیل سیالات درگیر (Trapping) به وجود آمده باشند. شناسایی این گونه مینرال‌ها همیشه امکان‌پذیر نیست و اشکالی تکامل نیافته و کریستال‌های کوچک کار تشخیص نوع بلور دختر را مشکل می‌سازند. این بلورها بعد از تشکیل سیالات درگیر تکامل می‌یابند؛ در نتیجه، ویژگی و مشخصات آن‌ها در مراحل آزمایش انجماد و حرارت دادن می‌تواند تفسیری منطقی برای محلول‌های تشکیل دهنده کانی‌ساز ارائه کند. (Roedder, 1984).

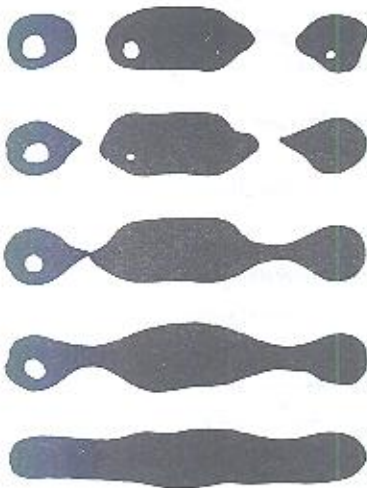
### ۴-۳- انواع بلورهای دختر (Daughter Crystals)

۴-۳-۱- هالیت: هالیت معمولی‌ترین بلور دختر در سیالات درگیر منطقه مورد مطالعه است. این بلور معمولاً در اشکال تکامل یافته مکعبی رخ می‌نماید. اشکال گرد شده آن نادرند. از نظر میکروسکوپی، هالیت بیرنگ و ایزوتروپیک است و بر حسب مقدار شوری محلول، اندازه بلور آن متغیر است. بلورهای هالیت تنها یا همراه با دیگر انواع بلورهای دختر در سیالات درگیر یافت می‌شوند. به ویژه در چاه حفاری شماره ۲ بیش‌تر آن‌ها در سیالات درگیر اولیه در بخش‌های عمیق چاه مشاهده می‌شوند. در اثنای حرارت دادن، در دمای بالای ۱۶۰ تا ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد، هالیت مکعبی شکل شروع می‌کند به گرد شدن و بعد از ۲۵۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد، اندازه آن کم‌کم کاهش می‌یابد و بالاخره با اندک درجه اختلاف با ناپدید شدن حباب گاز از بین می‌رود.

۴-۳-۲- سیلویت: این مینرال دختر در تعدادی از سیالات درگیر حاوی بلور هالیت مشاهده می‌شود. معمولاً به اشکال نیمه مدور و مدور و ایزوتروپ، بیرنگ، در اندازه‌های کوچکتر از بلورهای هالیت دیده می‌شود.

انکسار سیلویت (۱/۴۹۰) نسبت به هالیت (۱/۵۴۴) یک اندیس کم‌تر است و در درجه حرارت کم‌تری نسبت به مینرال دختر هالیت حل می‌گردد. انحلال سیلویت در اثنای حرارت زودتر از هالیت شروع می‌شود و زودتر از هالیت هم ناپدید می‌گردد. در (شکل ۵) نسبت فازهای میان H<sub>2</sub>O NaCl, KCl (Roedder 1971) در یک دیاگرام سه تایی به نسبت‌های میان نتایج مقادیر NaCl, KCl مربوط می‌شود.

۴-۳-۳- هماتیت: بلورهای اوپاک را اساساً بلورهای هالیت



شکل ۷: تقسیم شدن (Necking down) سیالات درگیر (Fluid Inclusion) در اثر سرد شدن با فازهای گاز مختلف

## ۵-۲-۵- انجماد (Freezing)

با اندازه گیری درجه انجماد، می توان میزان نمک گونگی (Salinity) را در سیالات درگیر اندازه گرفت. با این روش می توان غلظت و چگالی را - که معادل با پیک محلول NaCl مشخص است - و نیز کیفیت سایر املاح موجود را مشخص کرد. نقطه اوتکتیک برای سیستم NaCl-H<sub>2</sub>O تقریباً ۲۳/۲-°C است و گاه اختلافاتی نظیر دمای پایین تر از این مشاهده می شود که ناشی از تفاوت میزان نمک است.

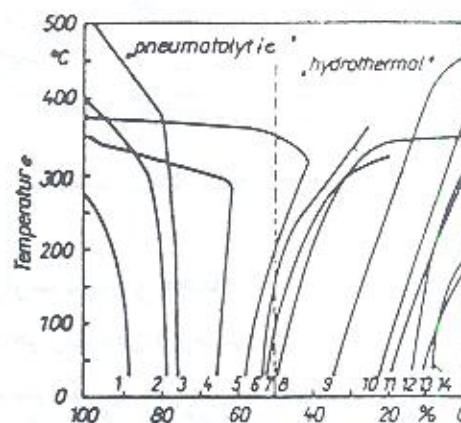
از طریق انجماد، نمونه ها تا پایین تر از اوتکتیک سیستم CaCl<sub>2</sub>·NaCl-H<sub>2</sub>O، یعنی تا ۸۰-°C تا ۱۰۰-°C درجه سانی گراد، سرد شدند. برحسب محتوای نمک، کریستال های یخ تشکیل شدند. در شرایط عادی، با گرم کردن تدریجی (در مورد سیستم NaCl-H<sub>2</sub>O در ۲۳/۲-°C) اولین مرحله ذوب رخ می دهد و کریستال های یخ شروع به ذوب می کنند، اما در مورد سایر املاح این دما تغییر می کنند. در این روش این دما را نقطه اوتکتیک برای سیستم می نامند و با T<sub>e</sub> نمایش می دهند. به طور معمول ذوب یخ از لبه انکلوژیون شروع می شود و در این ناحیه سریع تر از نقاط دیگر انکلوژیون ذوب صورت می گیرد. ذوب تدریجی یخ ادامه می یابد تا سرانجام آخرین قسمت آن ناپدید می شود، که این نمایشگر شرایط تعادلی دوطرفه (برگشت پذیر) انکلوژیون است. حالا فاز محلول دارای NaCl معادل است؛ این دما را، دمای ذوب (T<sub>m</sub>) می نامند با استفاده از T<sub>m</sub> در دیاگرام شماره ۸، مقدار نمک گونگی (Salinity) محاسبه می شود.

در برخی موارد، در سیالات درگیر با نمک گونگی کم (Hypersaline)، پایداری ناقص (metastability) رخ می دهد. در سیالات درگیر تقریباً بزرگ، خطوط تیرم تقاطع متعددی که (شبه هاشور)

را بر می کند، این نوع پدیده را همگون شدن در فاز گاز می نامند.

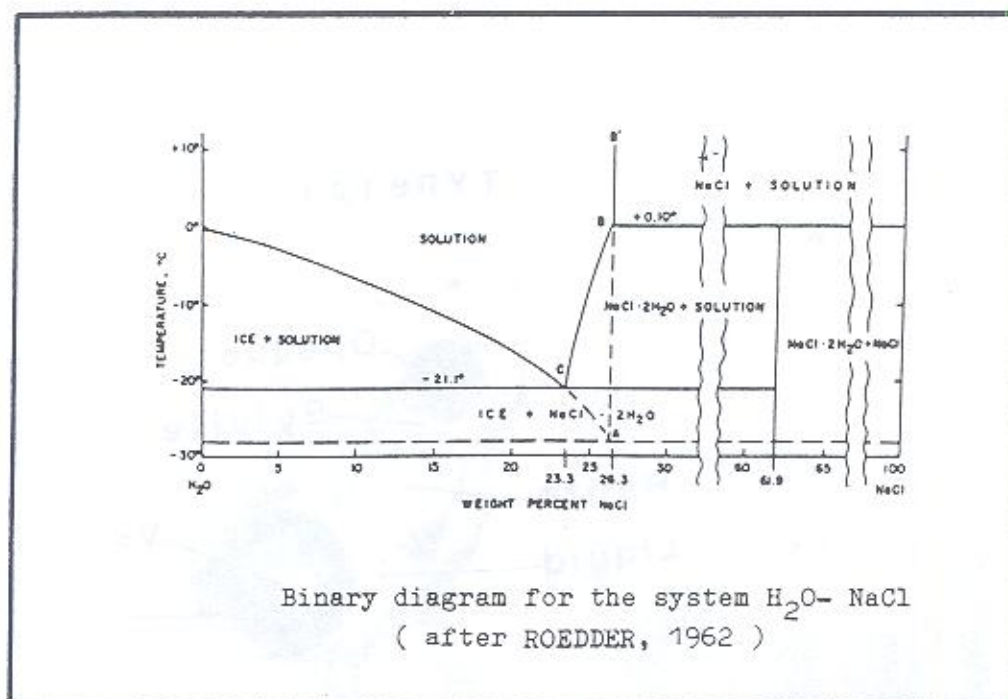
پ (در این نوع، بخش های مساوی گاز و مایع درون انکلوژیون وجود دارند. بر اثر حرارت دادن، در درجه حرارت مشخصی که در نقطه بحرانی نامیده می شود، مرز بین دوفاز ناگهان از بین می رود و دو فاز درون باهم مخلوط می شوند، این پدیده را همگون شدن ظهور بحرانی می نامند (homogenization on critical appearance)).

چنان که بعداً خواهیم دید، به خاطر شرایط خاص ساخته شدن مایعات در نهشته پورفیری سونگون، نوع الف بیانگر شرایط هیدروترمال است، در حالی که نوع ب و پ به وضوح شرایط پنوماتولیتیک را برای ساخت کانسار بیان می دارند. در تصویر ۶ دیاگرام های دوتایی مبین دما و حجم گاز، نقش فاز گاز در سیالات درگیر را به ما نشان می دهند. خطوط بحرانی مشخصه حوزه های هیدروترمال و پنوماتولیتیک اند. منحنی های ۱ و ۲ و ۳ مربوط به سیالات درگیر پر شده با گازند. در حالی که منحنی های ۴ و ۵ مشخصه ظهور بحرانی و منحنی های ۶ تا ۱۴ نمایش دهنده همگون شدن (Homogenization) در فاز مایع اند. چنان که ملاحظه می شود، منحنی های آخری در حوزه هیدروترمال قرار می گیرند، در حالی که منحنی های ۴ و ۵ در حوزه پنوماتولیتیک قرار دارند. برخی پدیده ها، نظیر تقسیم سیالات درگیر به چند انکلوژیون (Necking down)، تشکیل هیدرات و متاستابیلیتی می تواند در نتایج اندازه گیری نمک گونگی (Salinity) ایجاد شبهه کنند.



شکل ۶: منحنی های همگون شدگی سیالات درگیر دوفازی گاز و مایع در ارتباط با حجم گاز (درجه پرشدگی)، دما

۵-۱-۱- تقسیم سیالات درگیر به دو یا چند انکلوژیون (Necking down) در تقسیم بندی سیالات درگیر، گاه نتایج غیر مترقبه ای ما را دچار اشتباه می کند. این انواع سیالات درگیر بر اثر باریک شدن (Necking down) حاصل شده اند. چنان که در تصویر ۷ ملاحظه می شود، انکلوژیون طویل شده در طی سرد شدن چند قسمت می شود. بین سیالات درگیر حاصل از Necking down و سیالات درگیر اولیه بسته به درجه حرارت تشکیل (Trapping Temperature)، حجم گاز، و مقدار نمک گونگی (Salinity) اختلافاتی مشخص وجود دارد.



شکل ۸: دیاگرام دوتایی سیستم NaCl- H<sub>2</sub>O (بعد از Roedder, 1962)

Wt.% NaCl equiv.  $26.218 + 0.0072t + 0.000106t^2 + 0.05$  Wt.% NaCl

B- اگر هالیت و سیلویت به عنوان کانی‌های دختر وجود داشته باشند، ناپدید شدن هر کانی نمکی مورد توجه است و با دیاگرام سه تایی (شکل ۵) محاسبه هر نمک انجام می‌گیرد

#### ۶- انواع سیالات درگیر (Fluid Inclusion)

۶-۱- سیالات درگیر با نمک‌گونگی (Salinity) بالا تیپ (A)

این نوع سیالات درگیر، کریستال هالیت دارند، که به عنوان کریستال دختر است و گاهی همراه کانی یا کانی‌های اویپاک و سیلویت مشاهده می‌شود (شکل ۹). در این نوع، حباب گاز ۱۵ تا ۳۰ درصد از حجم سیالات درگیر را در برمی‌گیرد. این نوع همچنین با نوع (A) که Roedder 1971a معرفی کرده، قابل مقایسه است. اکثر این تیپ، بیش‌تر در چاه حفاری شماره ۲ (BH.2) مشاهده می‌شود. اندازه‌های متفاوت است و به اشکال مکعبی تا گرد و تقریباً گرد وجود دارند. در مواردی سیلویت نیز وجود دارد، اما کوچک‌تر از کریستال هالیت است. مقدار نمک‌گونگی (Salinity) در این نوع از حداقل ۵۵-۳۵ درصد NaCl معادل متغیر است. محتوای سیلویت در این بین ۲۳-۱۸ درصد است.

بر اثر انجماد ظاهر می‌شوند، منعکس کننده تشکیل یخ‌اند. با ادامه سرما به طور موضعی رنگ تیره و ماتی به وجود می‌آید. در سیالات درگیر کوچک، رنگ خاکستری روشن و تیره ملاحظه می‌شود. اگر سیالات درگیر کریستال دختر (Daughter Crystal) نداشته باشند، میزان نمک‌گونگی (Salinity) از فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$\begin{aligned} \text{Wt.\% NaCl equiv.} &= 1.76958\theta - 4.2384 \times 10^{-2} \theta^2 + 5.2778 \times 10^{-4} \theta^3 + 0.028 \\ \text{Molality NaCl equiv.} &= 0.30604\theta - 2.8598 \times 10^{-3} \theta^2 + 4.8690 \times 10^{-6} \theta^3 + 0.007 \end{aligned}$$

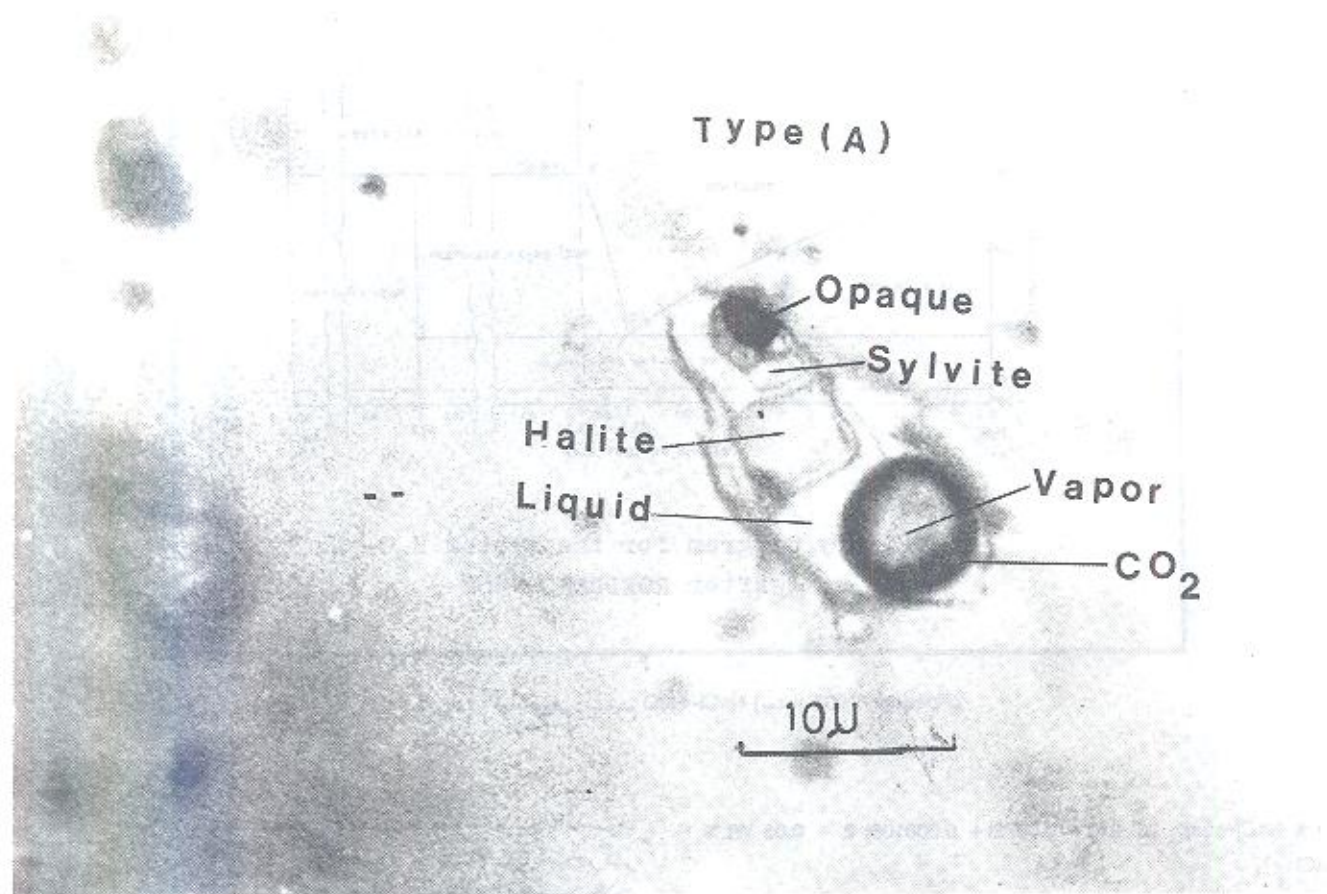
$\theta$  = دما به درجه سانتی‌گراد که آخرین کریستال یخ انکلوژیون ذوب می‌شود.

$$-20.18^\circ\text{C} < \theta < 0^\circ\text{C}$$

وقتی که کریستال دختر (Daughter Crystal) در سیالات درگیر (Fluid Inclusion) وجود داشته باشد، زمانی که آخرین ذره کریستال نمک حل شد، میزان نمک‌گونگی (Salinity) را با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌کنند:

A- اگر فقط هالیت کریستال دختر (Daughter crystal) باشد، فرمول زیر:

(Potter & Bobceck & Brown, 1977).



شکل ۹: سیالات درگیر با مینرال دختر هالیت تیپ (A)

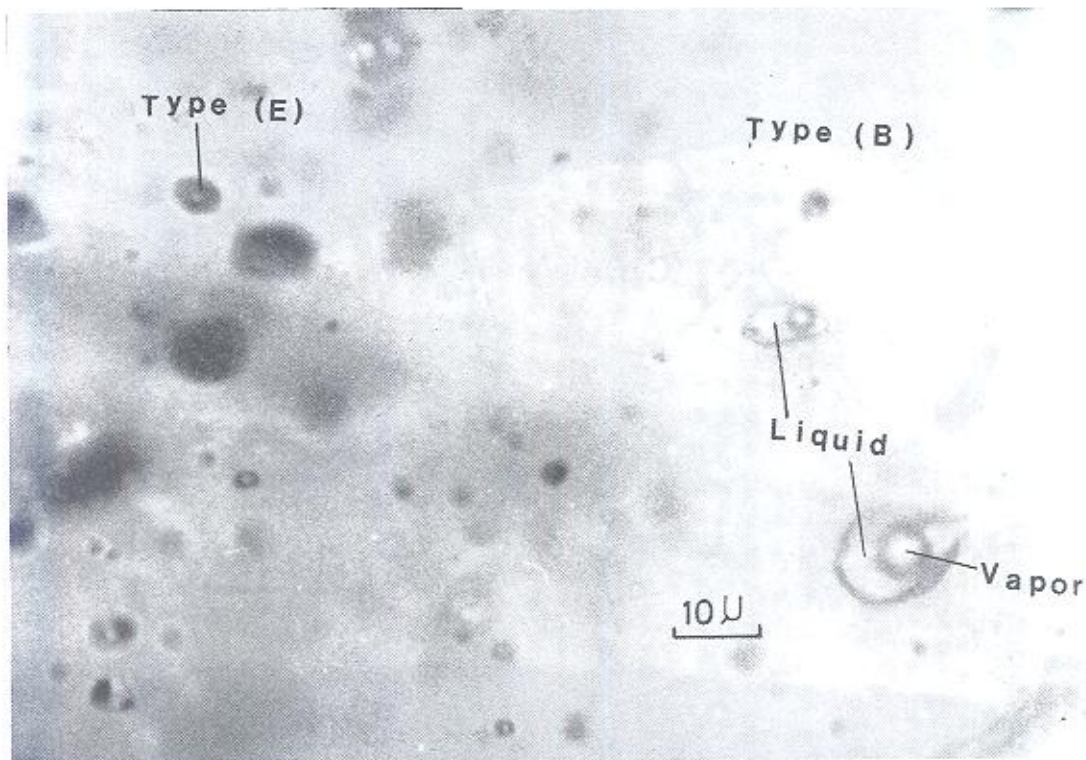
## ۶-۲- سیالات درگیر (Fluid Inclusion) با نمک گونگی (Salinity) متوسط تیپ (B).

تقریباً اکثر انکلوژیون‌های ناحیه مطالعه شده را در بر می گیرد.  
۶-۳- سیالات درگیر با چگالی پایین (غنی از گاز)

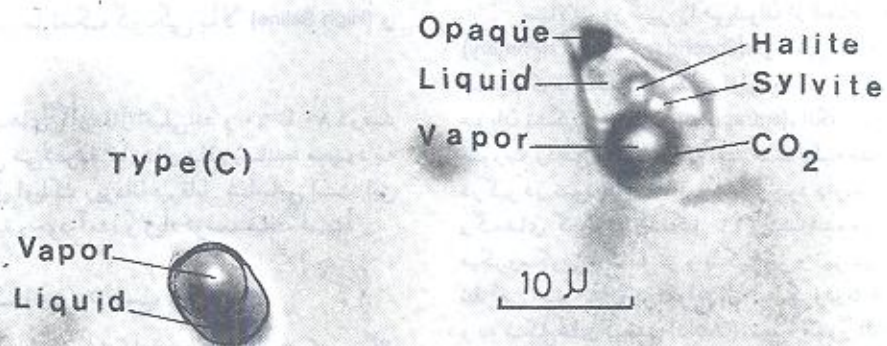
تیپ (C)

این نوع انکلوژیون حاوی دو فاز مشخص است: فاز مایع و فاز گاز. بیش از ۶۰ درصد حجم را گاز می گیرد (شکل ۱۱). این نوع با نوع B که Roedder (1971 a) معرفی نموده است تطابق دارد. انواعی که ۷۰ تا ۸۰ درصد گاز دارند، بیش ترند این نوع انکلوژیون در تمام چاه‌های حفاری مشاهده شده است.

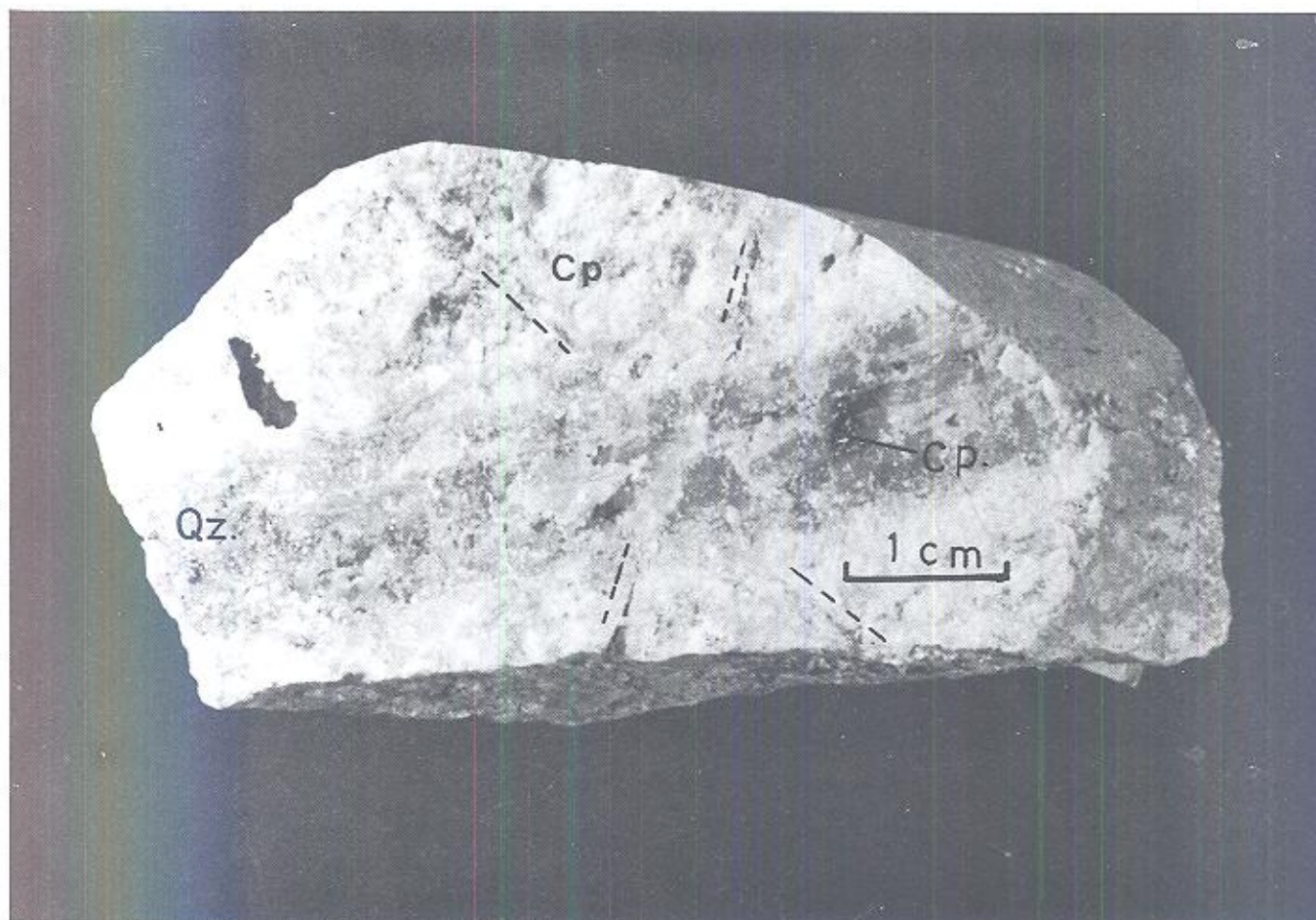
به طور کلی در این نوع دو فاز وجود دارد، یکی مربوط به فاز مایع است و دیگری به فاز حباب گاز (شکل ۱۰)، که ۱۰ تا ۴۰ درصد حجم سیالات درگیر را در بر می گیرد. این نوع هیچ گونه کانی دختر ندارد، ولی استثنائاً در دو مورد کانی‌های اوباک کوچک و غیر قابل شناسایی مشاهده شده است. به طور کلی اندازه این نوع، کوچک تر از نوع (A) به نظر می رسد، و نسبت به سایر انواع، این نوع



شکل ۱۰: سیالات درگیر با مینرال نمک گونه‌ی متوسط تپ (B)



شکل ۱۱: سیالات درگیر با چگالی کم تب (C)



شکل ۱۲: رگه کوارتز و مادهمعدنی که توسط رگچه‌های کالکوپیریت قطع شده است.

سیالات درگیر را می‌توان از لحاظ زمان تشکیل به اولیه (Primary)، ثانویه (Secondary)، و ثانویه مجازی (Pseudosecondary) تقسیم کرد. انکلوزیون‌های اولیه به طور کلی در ابتدای رشد کانی میزبان تشکیل می‌شوند (entrapped). انکلوزیون‌هایی که در کانی‌ها به صورت ردیفی به وجود می‌آیند منشأ اولیه ندارند. تمام انواع سیالات درگیر در نمونه‌های مطالعه شده وجود دارند. انکلوزیون‌های اولیه در رگه‌های کوارتز (شکل ۱۲) مشاهده می‌شود، و در مشاهدات میکروسکوپی، کامل‌تر و شکل‌تر و نیز درشت‌تر از انواع ثانویه به نظر می‌آیند. اندازه‌این انواع از ۳ میکرون تا ۲۰ میکرون متغیر است، و به شکل‌های بیضی (Ovoid)، نیمه مدور (Subrounded)، و رخ‌گونه (Faced) وجود دارند. برای روشن شدن مطلب، در مورد زمان تشکیل (Temporal entrapment) دو نوع انکلوزیون اولیه با نمک‌گونگی (Salinity) کم و زیاد، توضیح بیش‌تری خواهد آمد. با توجه به نهشت کانی سازی تیپ پورفیری در سونگون، به انکلوزیون‌های اولیه توجه مخصوصی خواهد شد.

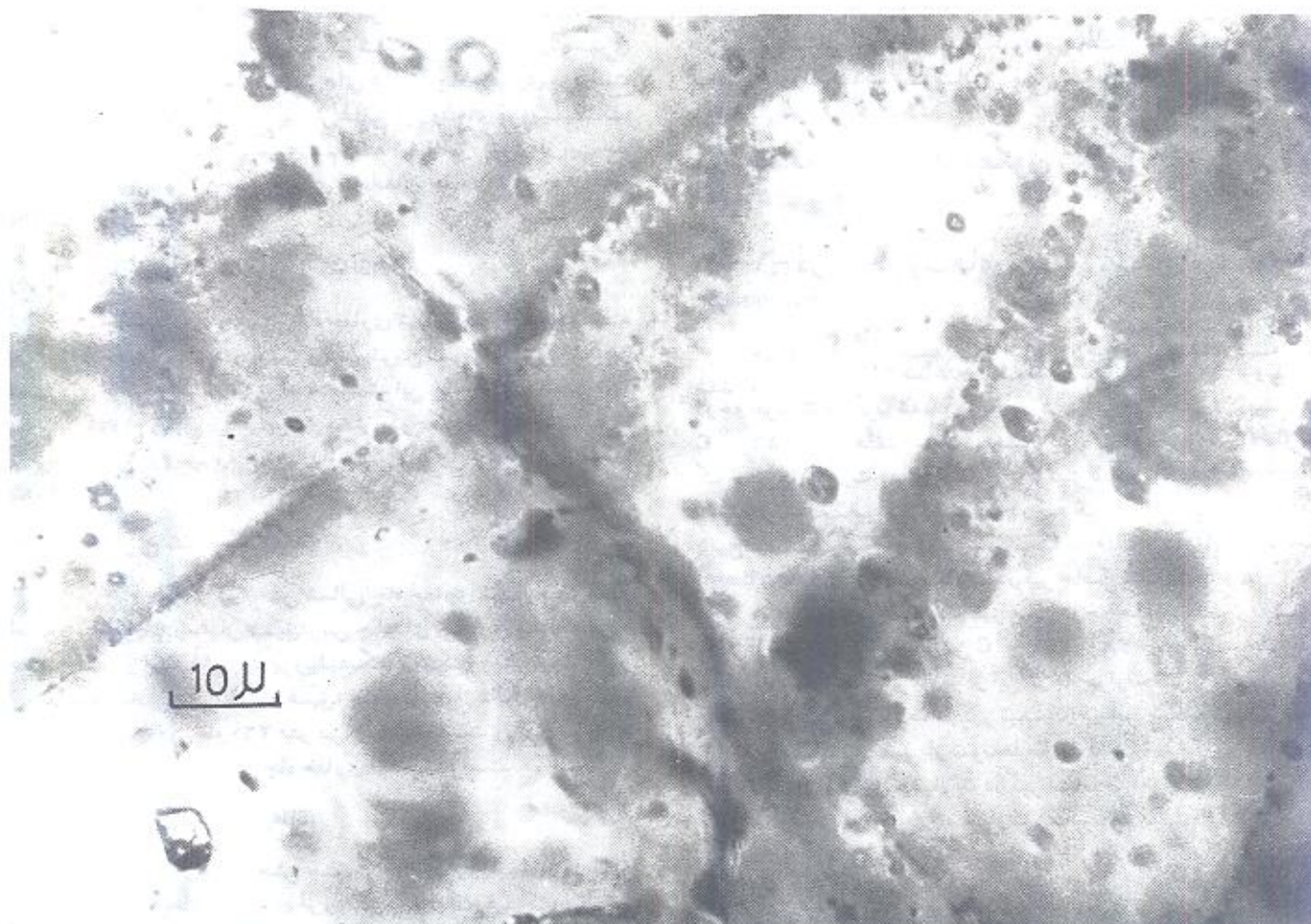
#### ۴-۶- سیالات درگیر با نمک‌گونگی بالا (High Saline) و چگالی کم تیپ (D)

در این نوع نیز حباب‌های گاز، فاز اصلی‌اند و ۶۰ تا ۸۰ درصد حجم انکلوزیون را شامل می‌شوند. فازهای باقی مانده، محدود به کریستال هالیت و کانی‌های اپاک ریزدانه غیر قابل شناسایی است. این نوع فقط در زون پتاسیک به وجود آمده و زیاد توسعه نیافته است.

#### ۵-۶- نوع گاز خشک (Dry gas) تیپ (E)

به طور کلی این نوع همراه با انکلوزیون‌های نوع کم چگال است و گاز بیش از ۹۵ درصد حجم انکلوزیون را تشکیل می‌دهد؛ در نتیجه امکان مشاهده فاز مایع وجود ندارد و لذا دمای تشکیل انکلوزیون (Trapping) را نمی‌توان محاسبه کرد.

#### ۷- سیالات درگیر اولیه (Primary Fluid Inclusion)



شکل ۱۳: سیالات درگیر ثانویه در طول درزه‌ها

#### ۸- سیالات درگیر ثانویه (Secondary Fluid Inclusions)

از ویژگی‌های این گونه سیالات درگیر قرارگیری آن‌ها در راستای صفحات شکستگی کوارتز و نمک گونگی متوسط (Moderate Salinity) است که تیپ B یکی از فراوان‌ترین تشکیل دهنده‌های سیالات درگیر ثانویه است. حفره دربرگیرنده این گونه سیالات درگیر به صورت‌های نیمه زاویه‌دار، بیضوی شکل، با اشکال منظم می‌باشد (شکل ۱۳).

در چاه‌های حفاری شماره ۲ و ۳ (BH. 2, 3)، سیالات درگیر ثانویه با چگالی کم (غنی از گاز)، در طول و امتداد شکستگی‌های به هم جوش خورده (Healed fractures) قرار می‌گیرند تعداد بی‌شماری از آن‌ها در سطوح خرد شده رگه‌های کوارتز قرار می‌گیرند. از دیگر انواع سیالات درگیر ثانویه، سیالات درگیر با مقدار نمک گونگی بالا (High Salinity) و کانه‌های اوپاک ناشناخته تخم مرغی شکل‌اند که در چاه‌های حفاری شماره ۱ و ۲ و ۳ (BH 1, 2, 3) یافت می‌شوند.

#### ۹- سیالات درگیر ثانویه مجازی (Pseudo Secondary Fluid inclusion)

در اثنای تشکیل سیالات درگیر اولیه، اگر درزه‌های بسیار کوچک را محلول‌های اصلی پر کنند، این تیپ سیالات درگیر را سیالات درگیر ثانویه مجازی (Pseudo Secondary) یا اولیه مجازی (Pseudo Primary) می‌نامند (Roedder, 1984). این تیپ سیالات درگیر به ندرت در رگه‌های کوارتز توده سونگون پورفیری مشاهده می‌گردد.

#### ۱۰- اطلاعاتی چند در مورد نمونه برداری از چاه‌های حفاری و رخ‌نمون‌ها جهت مطالعات سیالات درگیر

##### - چاه حفاری شماره یک (BH.1)

همان‌طور که در شکل نشان داده شده، این چاه حفاری در بخش شمالی روستای سونگون واقع است. موقعیت دیگر چاه‌های حفاری

نمونه ۷۷۱ از زون دگرسان شده پتاسیک و فلیک، از رودخانه سونگون در بخش شرقی روستای سونگون برداشت شد. نمونه ۷۴۰ از بخش های به شدت دگرسان شده رخ تمون های زون فلیک در رودخانه وخیخیر برداشت شد

## ۱۱- نتایج مربوط به همگون شدن (Homogenization) و انجماد (Freezing)

### ۱۱-۱- درجه حرارت های همگون شدن (Temperatures Homogenization)

سیالات درگیر تیپ (A) از طریق درجه حرارت های همگون شدن  $480^{\circ}\text{C}$  -  $400^{\circ}\text{C}$  شناخته می شوند، (شکل های ۱۴، ۱۵ و ۱۶). درجه حرارت همگون شدن در سیالات درگیر نوع (B) معمولاً بین  $560^{\circ}\text{C}$  -  $200^{\circ}\text{C}$  متغیر است. همچنین سیالات درگیری وجود دارند که حتی در حرارت بیش از  $500^{\circ}\text{C}$  نیز همگون (Homogenize) نمی شوند به نظر می رسد که درجه حرارت همگون شدن پایین تر از  $220^{\circ}\text{C}$  در نمونه ها به علت عمل باریک شدن (Necking down) از دیگر سیالات درگیر حاصل شده باشند. سیالات درگیر تیپ (C) نیز بین درجه حرارت همگون شدن بالاتر از تیپ A و B است و بین  $560^{\circ}\text{C}$  -  $280^{\circ}\text{C}$  نیز متغیرند. حتی در بعضی از سیالات درگیر بالاتر از این درجه حرارت هنوز انکلوژیون ها همگون نمی شوند. سیالات درگیر تیپ (D) در این منطقه زیاد توسعه ندارند و فقط در بعضی از نمونه ها ملاحظه شده اند. درجه حرارت همگون شدن این گونه سیالات درگیر نشان می دهد که آن ها در فاز گاز همگون می شوند و درجه حرارت همگون شدن بین  $300^{\circ}\text{C}$  تا  $400^{\circ}\text{C}$  درجه سانتی گراد متغیر است.

### ۱۱-۲- مقدار نمک گونگی (Salinity)

اندازه گیری انجماد در سیالات درگیر ما را قادر می سازد تا مقادیر نمک گونگی را در سیالات درگیر اندازه گیری کنیم. سیالات درگیر با نمک گونگی بالا همراه با بلور هالیت، مبین نمک گونگی (Salinity) های گوناگون حداقل ۳۰ تا بیش از ۵۵ درصد معادل نمک طعام می باشد (شکل های ۱۴، ۱۵، ۱۷). عموماً این تیپ شامل مینرال های اوپاک نیز هست و در محدودی از نمونه ها، سیلویت به شکل بلورهای بدون گوشه و گرد حضور دارند. مقادیر سیلویت در نمونه های مورد مطالعه بین ۱۸ تا ۲۳ درصد براساس دیگرام سه تایی سیستم  $\text{H}_2\text{O}-\text{KCl}-\text{NaCl}$  محاسبه می شوند، چنان که در شکل ۱۸ نشان داده شده است.

نمک گونگی (Salinity) در سیالات درگیر تیپ (B) از حداقل ۲ تا ۲۳ درصد معادل  $\text{NaCl}$  تغییر می کند، مخصوصاً در چاه حفاری شماره ۲، نمک گونگی سیالات درگیر حتی تا بالاتر از ۲۳ درصد معادل  $\text{NaCl}$  افزایش می یابد. نقطه اوتکتیک در بیش تر سیالات درگیر پایین تر از  $23/2^{\circ}\text{C}$  - درجه سانتی گراد نیز هست، و این نشانگر وجود نمک های دیگری به غیر از نمک طعام در سیستم آب و نمک است. به هر حال، مقادیر شان قابل محاسبه نیست در منطقه مورد مطالعه Salinity فقط در سیستم  $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$  تعیین می گردد. شکل ۱۸ در سیستم مثلثی  $\text{H}_2\text{O}-\text{KCl}-\text{NaCl}$ ، مقدار درصد  $\text{NaCl}$  و  $\text{KCl}$  برای سیالات درگیر چندین

نسبت به این چاه سنجیده می شود. عمق این چاه حفاری ۱۸۶ متر تخمین زده می شود و نمونه های انتخاب شده به رگ های کوارتز شیری مربوط می شود که اساساً از بخش های عمیق چاه حفاری برداشت شده اند. این چاه حفاری شامل بخش هایی از زون های پروپلیتیک، آرژیلیک، و فلیک است. روی هم رفته ۴۵ اندازه گیری از این چاه حفاری انجام شد از این پس به جای «چاه های حفاری» از حرف های BH استفاده می شود.

### - چاه حفاری شماره ۲ (BH.2)

این چاه حفاری در شمال چاه حفاری شماره یک واقع شده است. عمق آن حدوداً ۲۶۰ متر است و بیش ترین نمونه برداشت شده از بخش های میانی و عمیق این چاه بوده است. این چاه حفاری بخش های پروپلیتیک، آرژیلیک، و فلیک و بخش کوچکی از زون پتاسیک را دربر می گیرد. روی هم رفته ۸۸ اندازه گیری از این چاه حفاری انجام شده است.

### - چاه حفاری شماره ۳ (BH.3)

این چاه حفاری در بخش شمالی چاه حفاری شماره یک واقع است و به نظر می رسد از عمیق ترین چاه های حفاری منطقه مورد مطالعه باشد و اساساً از زون پروپلیتیک، فلیک، و پتاسیک عبور می نماید. در بخش های میانی و عمیق، چاه حفاری از دایک های جوان می گذرد. عمق این چاه ۲۶۰ متر برآورد شده است و روی هم رفته تعداد ۲۸ اندازه گیری از این چاه حفاری انجام شده است.

### - چاه حفاری شماره ۴ (BH.4)

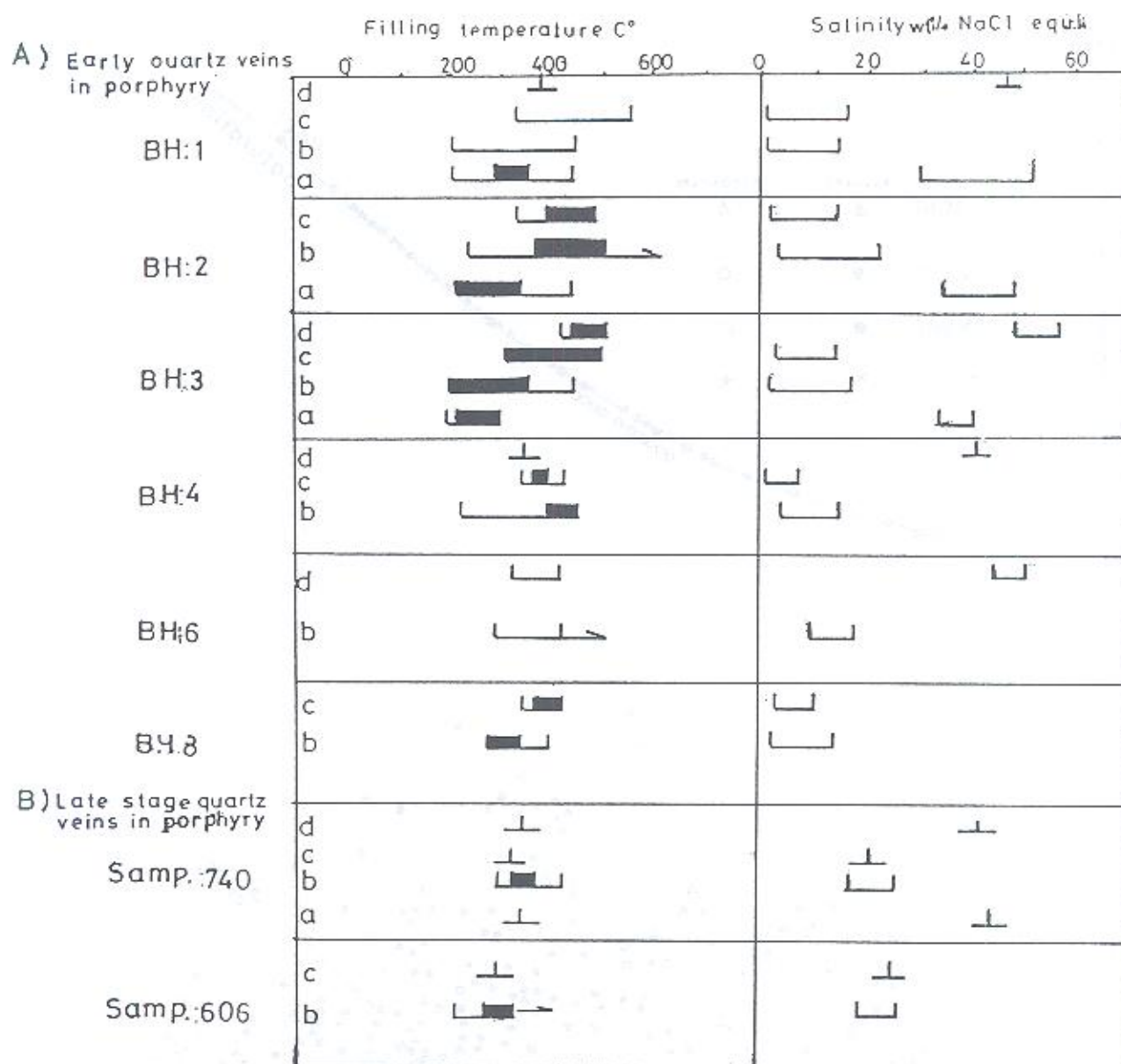
این چاه حفاری در بخش جنوبی چاه حفاری شماره یک قرار دارد و شامل بخش های محدودی از زون پروپلیتیک، فلیک، و بخش کوچکی از زون پتاسیک است. عمق این چاه حفاری در حدود ۲۹۰ متر برآورد می شود و روی هم رفته ۱۵ اندازه گیری از این چاه به عمل آمده است.

### - چاه حفاری شماره ۶ (BH.6)

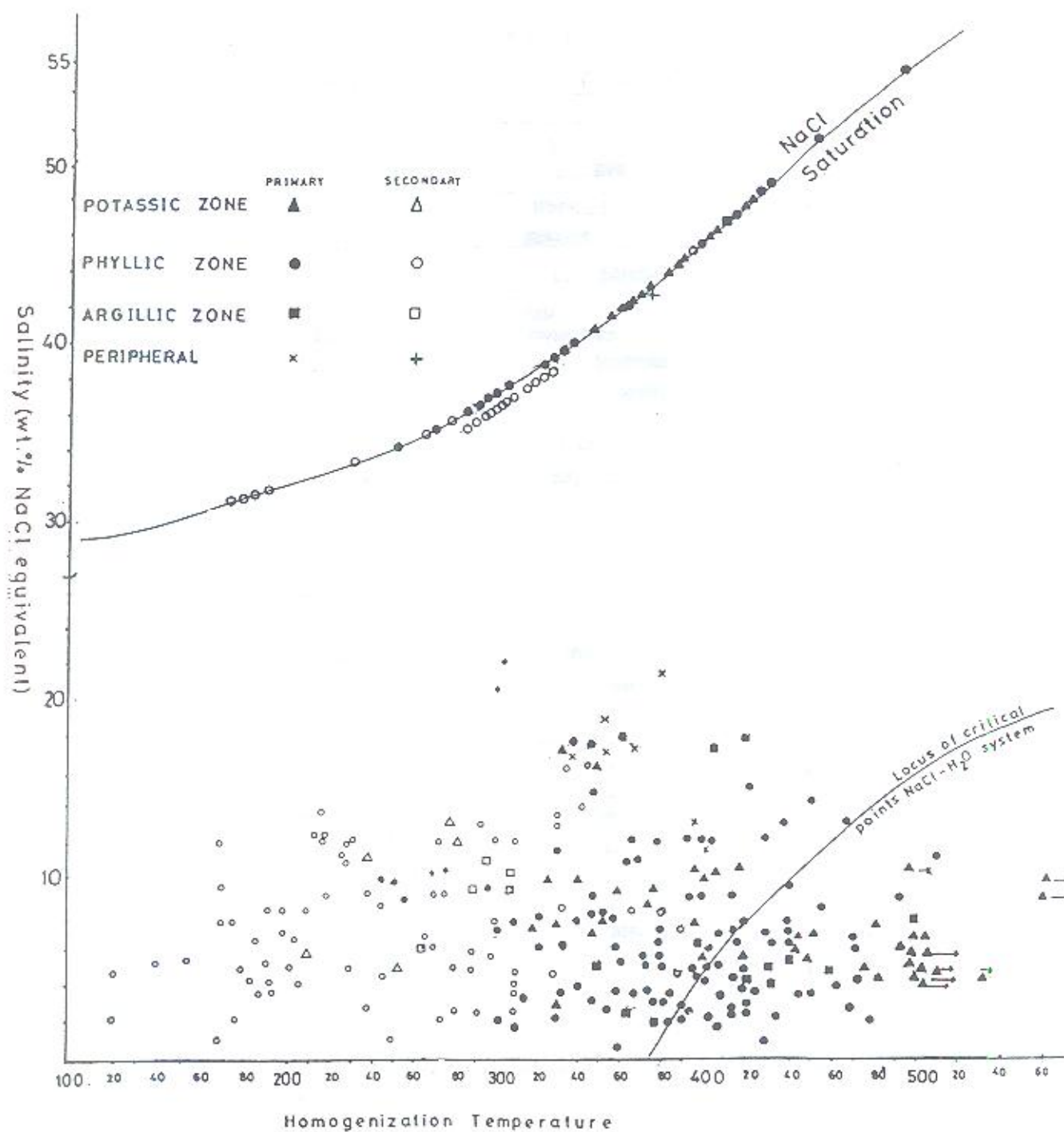
این چاه حفاری در منتهی الیه بخش شمالی چاه حفاری شماره یک قرار گرفته است و شامل بخش هایی از زون پروپلیتیک، آرژیلیک، فلیک، و پتاسیک است. عمق این چاه حفاری حدود ۲۸۵ متر برآورد می شود و روی هم رفته ۷ اندازه گیری از این چاه حفاری انجام شده است.

### - نمونه های مربوط به مناطق اطراف و حومه توده مینرالیزه سونگون

نمونه های شماره ۶۰۶، ۷۴۰، و ۷۴۱ از رخ نمون های پراکنده ای برداشت شده است (رجوع شود به نقشه زمین شناسی). نمونه ۶۰۶ از منتهی الیه بخش های جنوبی منطقه مورد مطالعه از واحد سنگ دیواره (Wall rock) پورفیریتیک کوارتز مونزونیت برداشت شده است. تعداد فراوانی از رگچه های متقاطع کوارتز در بخش های به شدت دگرسان شده واحد پورفیریتیک کوارتز مونزونیت به وجود آمده است.

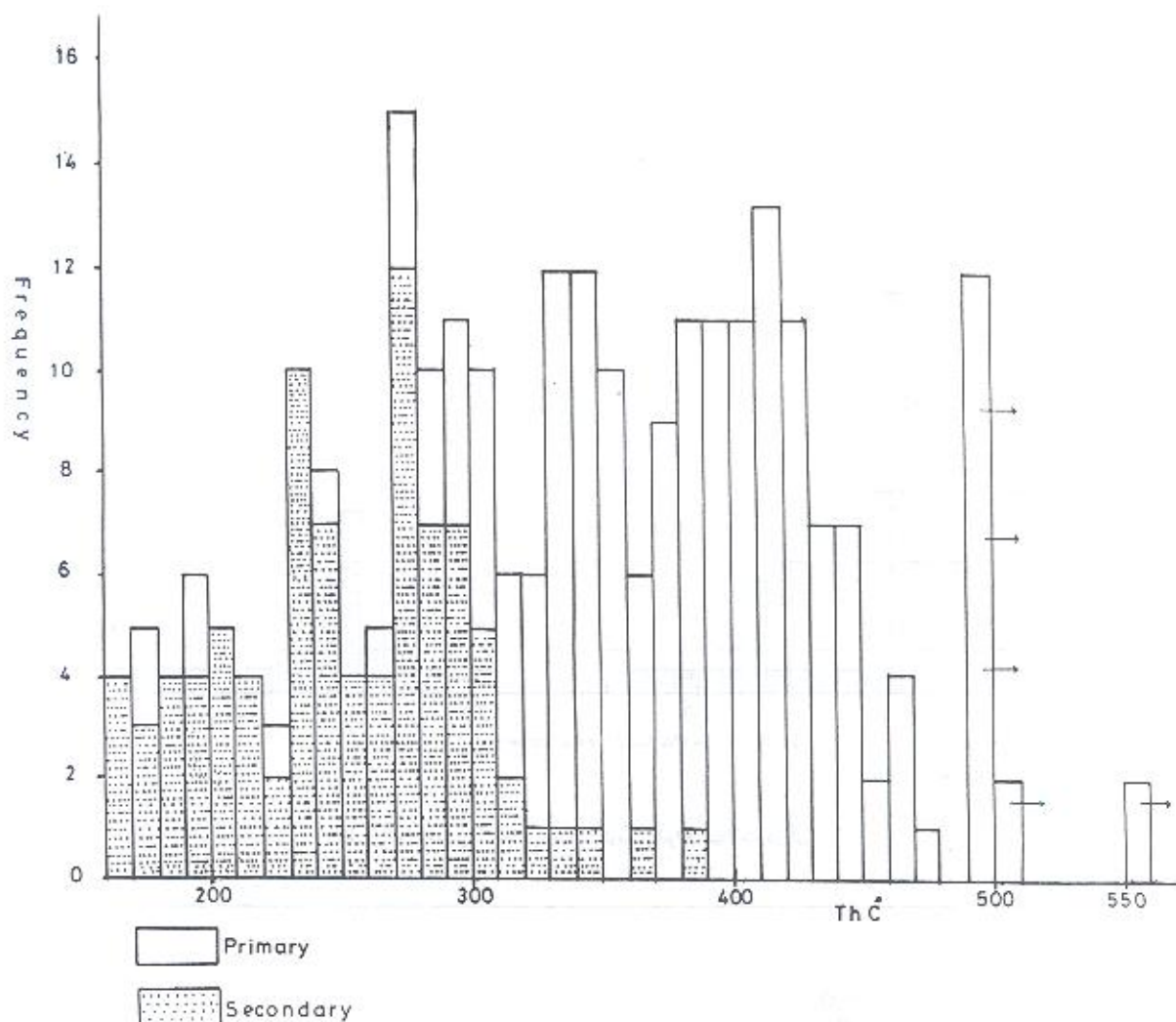


شکل ۱۴: درجه حرارت‌های همگن شدن و مقادیر نمک گونی سیالات درگیر اولیه در رگچه‌های کوارتز (A) در رگچه‌های کوارتز اولیه (B) در رگچه‌های کوارتز بعدی



شکل ۱۵: مقدار نمک گوتگی و درجه همگون شدن انواع سیالات درگیر موجود در زون‌های پتاسیک، فیلیک، آرژیلیک و زون‌های حاشیه‌پورفیر.





شکل ۱۶: درجه حرارت‌های همگون شدن سیالات در گیر اولیه و ثانویه در منطقه مورد مطالعه

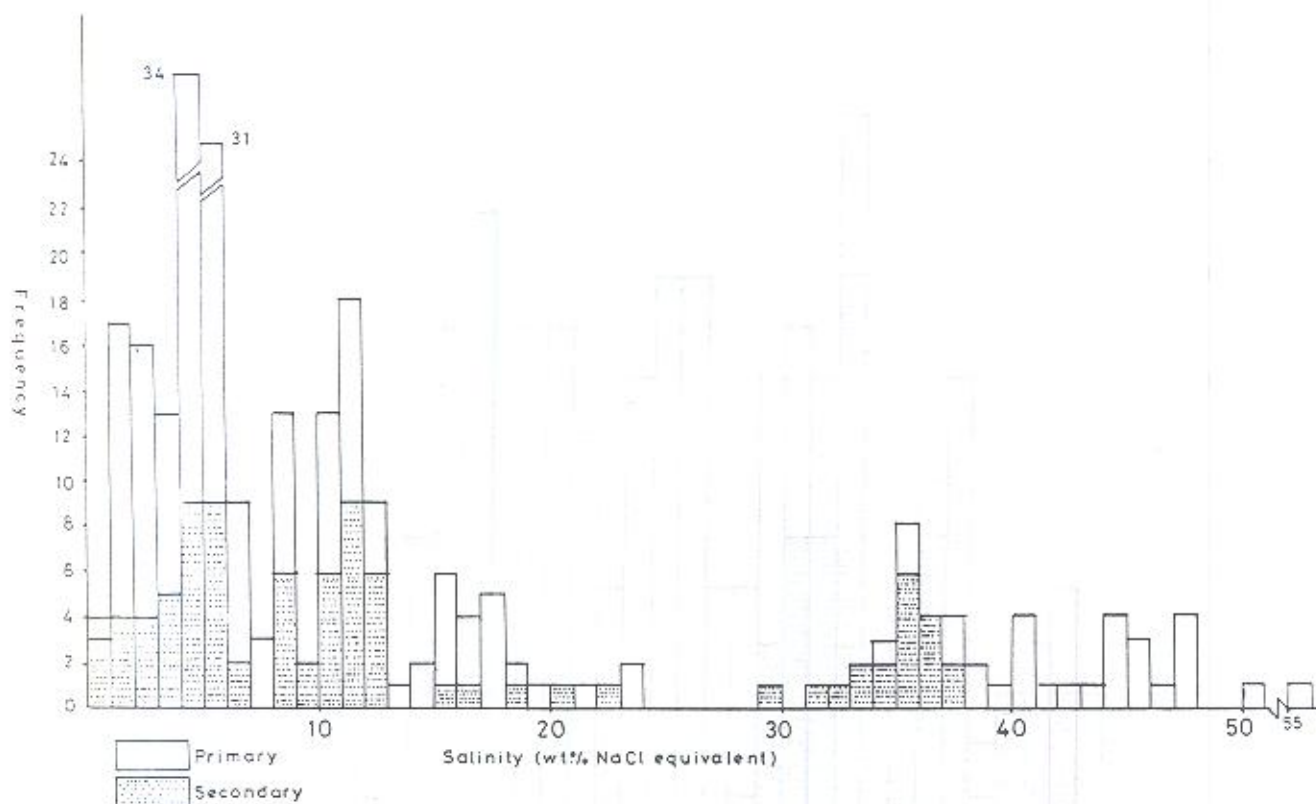
گونگی بالا و پایین، و مقادیر فراوان انکلوژیون‌هایی که حباب‌شان بزرگتر از فاز مایع است، حاکی از آن است که محلول ته‌نشستی (Fluid depositing) در شرایط جوش بوده است و این طور استنباط می‌شود که چندین عامل مانند؛

- ۱) تقسیم سیالات در گیر به چند قسمت در مراحل بعدی (Necking down)،
- ۲) تغییرات بارز و قابل ملاحظه در فشار،
- ۳) تراوش (leakage) سیالات در گیر در اثنای حرارت دادن،
- ۴) حالت و شرایط جوش در محلول، و
- ۵) اختلاط محلول‌های گوناگون با مقدار نمک‌گونگی مختلف در مرحله آغازین تشکیل سیالات در گیر (Trapping) می‌تواند سبب یک انقطاع مشخصی میان سیالات در گیر با نمک‌گونگی بالا و پایین، و

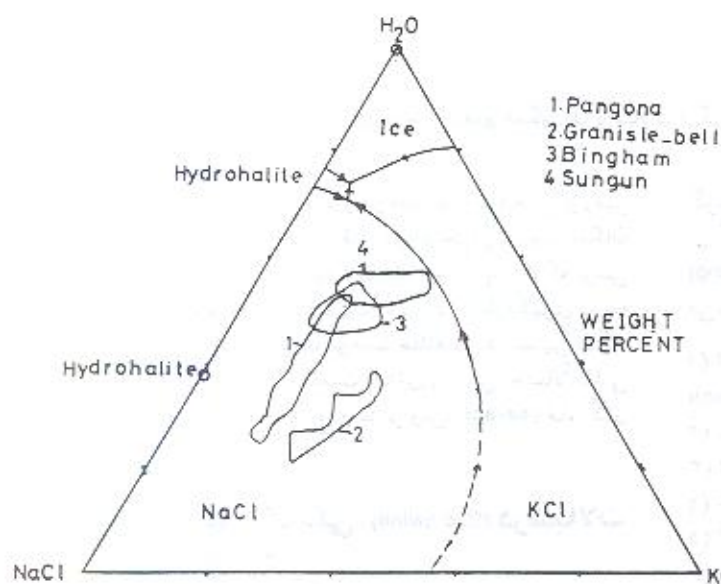
توده‌تپ پورفیری در نقاط مختلف دنیا و در مقایسه با توده‌مس پورفیر سونگون آورده می‌شود. گاهی تعیین دقیق درجه حرارت ذوب امکان پذیر نیست، زیرا بلورهای یخ هنوز ذوب نشده‌اند این پدیده، که نوعی پایداری ناقص (Metastability) است، سبب اشتباه در اندازه‌گیری درجه حرارت سیالات در گیر و به تبع آن، موجب خطاهایی در تعیین نمک‌گونگی (Salinity) می‌شود وجود وضعیت پایداری ناقص احتمالاً ناشی از وجود مقادیر زیاد آب در فاز مایع و یا تراوش (leakage) فاز گاز سیال در گیر در اثنای آزمایش است.

## ۱۲- علل توازن نمک‌گونگی (Gap Salinity) در سیالات در گیر منطقه مورد مطالعه.

وجود انکلوژیون‌های گوناگون با دوفاز مشخص و بانمک



شکل ۱۷: تغییرات مقادیر نمک گونه‌ی انواع سیالات در گبر



شکل ۱۸: نمایش دیاگرام سه‌تایی سیستم NaCl- H<sub>2</sub>O- KCl نشانگر  
دلته تغییرات ترکیب شیمیایی سیالات در گبر از چندین توده‌ی  
پورفیر است.

- 1) Granisle- Bell, (Wilson et, al , 1980)
- 2) Panguna, (Eastoe, 1978)
- 3) Bingham, (Moor & nash, 1974)
- 4) Sungun, (Mehrpour, 1993)

باریک شدن (Necking down) پاسخ چرایی عدم توازن نمک گونگی را در نمونه‌های مطالعه شده نمی‌دهد.

۱۲-۲- تراوش (Leakage) غیر قابل ملاحظه چند انکلوژیون در اثنای حرارت می‌تواند دلیل منطقی برای انکلوژیون‌های با درجه حرارت همگون شدن، بالا باشد. تراوش (Leakage) نیز دلیل اصلی نمک گونگی (Salinity) و درجه حرارت همگون شدن متفاوت نیست، زیرا قبل و بعد از مرحله حرارت دادن اندازه و حجم حباب در نمونه‌ها یادداشت شده است.

۱۲-۳- سیالات در گیر با منشأ ثانویه (Secondary Fluid Inclusion) تشخیص اشتباه انکلوژیون‌های ثانویه به عنوان انکلوژیون‌های اولیه و به حساب آوردن مقادیر نمک گونگی و درجه همگون شدن سیالات در گیر ثانویه به جای سیالات در گیر اولیه نیز می‌تواند سبب اختلال در مقادیر نمک گونگی (Salinity) شود، این احتمال بسیار ضعیف است، زیرا سیالات در گیر ثانویه فقط در طول درزه‌های مشخص به وجود می‌آیند. این مورد نیز نمی‌تواند جوابگوی اختلافات مطرح شده فوق باشد.

۱۲-۴- تغییرات فشار و شرایط جوش (Boiling Condition)

نتایج مطالعات سیالات در گیر نشان می‌دهد که هر دو نوع سیالات در گیر با مقادیر نمک گونگی متوسط و بالا و همگون شدن در فاز مایع و یا گاز در بخش‌های عمیق چاه‌های حفاری در زون‌های فلیک و پتاسیک سونگون پیدا می‌شوند و این بیانگر این مسئله است

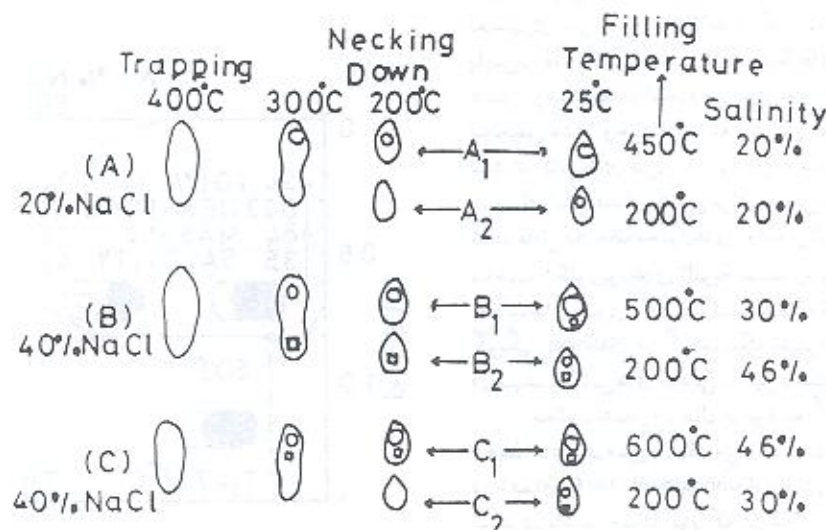
همچنین جایگیری (entrapment) انواع سیالات در گیر به عنوان اولیه گردد.

۱۲-۱- همان‌طور که قبلاً تشریح شد (شکل ۷)، امکان وجود نمک گونگی ثانویه و درجه حرارت همگون شدن (Filling Temperature) بعد از باریک شدن (Necking down) به وضوح نشان می‌دهد که چطور سیالات در گیر با نمک گونگی مشخصی در اثنای سرد شدن و بر اثر باریک شدن (Necking down)، دونوع سیال در گیر (Fluid Inclusion) با حرارت‌های همگونی متفاوت و مقادیر گوناگون نمک گونگی مختلف تولید می‌کنند اگرچه تقسیم شدن سیالات در گیر تحت پدیده باریک شدن (Necking down) در چند نمونه اتفاق افتاده است، لکن این پدیده نمی‌تواند توجیهی برای کلیه نمونه‌ها باشد.

همان‌طور که در شکل ۱۹ نشان داده شده:

۱) اگر انکلوژیون‌ها از نمک طعام اشباع شوند، بنابراین بعد از عمل باریک شدن و برش یافتگی (Necking down) انکلوژیون‌های تازه تشکیل شده شامل مینرال‌های دختر (Daughter mineral) با درجه همگونی (Homogenization Temperature) متفاوت تیپ (A & D) می‌شوند؛

۲) اگر محلول تحت اشباع از نمک باشد، هیچ مینرال دختر به وجود نخواهد آمد و بعد از عمل باریک شدن (Necking down) انکلوژیون‌ها، درجات همگونی (Homogenization Temperature) متفاوتی را نشان می‌دهند بر اساس این رخدادها،



شکل ۱۹: صور مختلف خطاهای ایجاد شده از باریک شدن (Necking down) سیالات در گیر (After Ahmad & Rose, 1980)  
 (A) سیالات در گیر در ۴۰۰°C با نمک گونگی ۲۰ درصد تشکیل شده که به دو انکلوژیون هم حجم در ۲۰۰°C تقسیم شده است.  
 (B+C) سیالات در گیری هستند که در ۴۰۰ یا ۶۰۰ درصد معادل نمک طعام تشکیل شده‌اند که در ۲۰۰°C به دو انکلوژیون هم حجم و کریستال‌های هالیت و حباب گاز متفاوت تقسیم شده است.

طور که در شکل ۲۰ نمایش داده شده، براساس محاسبات ویژه بر روی چگالی‌های محلول‌های آب و نمک تحت شرایط P.T.X و دانسته‌های متفاوت (Budnar 1982)، سیالات درگیر با ویژگی خاصی به وجود می‌آیند. نیمی از محلول اولیه تولید سیالات درگیر با حباب کوچک ۶ Vol و چگالی بزرگ‌تر و مقدار نمک گوناگونی زیاد می‌سازد که در مرحله آغازین سرد شدن در شرایط دمایی اتاق یک حباب و مینرال دختر هالیت (Daughter mineral) با نمک گوناگونی حدوداً ۴۳ درصد می‌سازد. از این آزمایش چنین استنباط می‌شود که تغییر در فشار و شرایط خاص فیزیکی-شیمیایی می‌تواند سبب ایجاد وضعیت جوش در سیستم گردد و دو آنکلوژیون با نمک گوناگونی (Salinity) و چگالی (Density) مختلف به وجود بیاید از دیدگاه (Roedder 1984)، واقعاً نیازی نیست فرض شود که محلول‌های با نمک گوناگونی بالا (High Salinity) در زمان تشکیل (entrapment) اشباع شده‌اند. این تفکر با نتایج

موجود در توده‌های پورفیری سونگون همخوانی دارد. چنان که از دیاگرام‌ها و جداول پیداست، در بخش‌های عمیق‌تر چاه‌های حفاری، سیالات درگیر با نمک گوناگونی بالا و متوسط با یکدیگر به وجود آمده‌اند، که پدیده‌های موجود در نهشته‌پورفیری سونگون با نظر و تفکر (Roedder 1984) مطابقت دارد؛ یا می‌توان این‌طور فرض کرد که سیالات درگیر با نمک گوناگونی بالا از این طریق حادث شده‌اند.

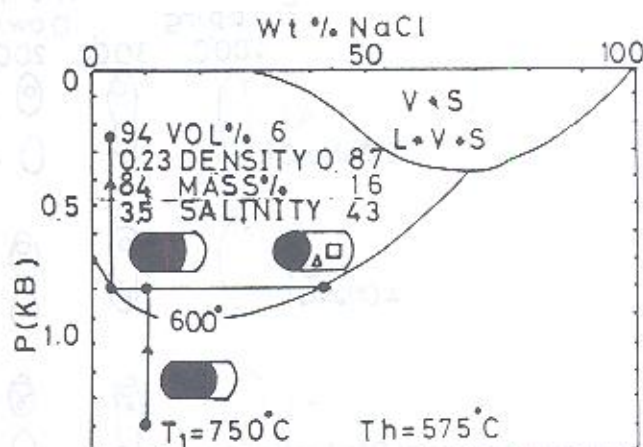
فراوانی آنکلوژیون‌های با حباب بزرگ در زون‌های فیلیک و پتاسیک حاکی از شرایط جوش شدید است، زیرا تمامی انواع آنکلوژیون‌های مشخص شده در نمونه‌ها دارای منشأ اولیه‌اند. در شرایط جوش نیازی به تصحیح فشار نیست و درجه حرارت همگون شدن (Th) مساوی است با درجه حرارت تشکیل سیالات درگیر. چنین شرایط جوش حداقل دوبار در نهشته‌سونگون اتفاق افتاده است و چنین تفسیری نیز برای سیالات درگیر با منشأ ثانویه در درجه حرارت پایین‌تر قابل قبول است. در محیط‌های سطحی توده‌های نفوذی که عمل برشی شدن انجام می‌پذیرد، یک نوسان (افزایش و کاهش) مشخص فشار وجود دارد که یکی از مهم‌ترین فاکتورها (عوامل) در نهشت کانی‌های فلزی و کوارتز به شمار می‌آید. کاهش نفوذپذیری سبب افزایش فشار کافی برای برشی شدن ثانویه نیز می‌گردد. رقیق شدن قابل ملاحظه محلول‌های اولیه بر اثر ورود آب‌های جوی در اثنای ساخت آنکلوژیون‌های ثانویه است. رقیق شدن محلول‌های هیدروترمال با آب‌های جوی اکسید کننده، نه فقط سبب کاهش مقدار نمک گوناگونی (Salinity) می‌گردد، بلکه تغییرات فیزیکی-شیمیایی محلول در نهشت کانی‌های معدنی را نیز باعث می‌شود (Roedder, 1984).

محلول هیدروترمال مربوط به گرانت‌های جایگزین شده در محیط‌های کم‌عمق به نظر می‌رسد نسبت به گرانت‌های جایگزین شده در اعماق (Cunningham, 1978) دارای سیالات درگیر در حال جوش بیشتری باشند، همان‌طور که در شکل ۲۱ نشان داده شده، منحنی‌های دوفاز (مایع-گاز) با نمک گوناگونی (Salinity) های گوناگون، ترسیم شده‌اند. یکی از این دو مبین وضعیت منحنی‌های دوفاز (هم‌زیستی مایع و گاز) برای سیستم فشار هیدرواستاتیکی و دیگری مبین وضعیت منحنی‌های دوفاز (هم‌زیستی مایع و گاز) برای فشارها در سیستم فشار لیتواستاتیکی است.

که شرایط ویژه حاکم در این زون‌ها دلیل اصلی این حقایق می‌باشد. افت قابل ملاحظه فشار در شرایط کم ژرفای (epizonal) فرضی، احتمالاً می‌تواند سبب به جوش آمدن محلول در این عمق نسبت به محیط‌های عمیق باشد. مرحله جوشش عموماً با تغییر محیط لیتواستاتیک به هیدرواستاتیک در زمان تکوین توده آذرین کم عمق همراهی می‌گردد (Cunningham, 1978). افت فشار مشخص این امکان را به محلول‌های هیدروترمال می‌دهد که این محلول‌ها به جوش درآیند و در پایان سبب خرد شدن متقاطع شوند و جایگزینی کوارتز و کانی‌های مربوط در رگه و رگچه‌ها صورت پذیرد.

سیالات درگیر با حباب بزرگ در چند نمونه در مرحله آغازین حرارت دادن و در درجه حرارت یکسان در فاز مایع یا در فاز گاز همگون می‌شوند و این ویژگی یک درجه حرارت جوش حقیقی را در سیستم نشان می‌دهد.

جهت روشن شدن کنش احتمالی محلول‌های تیپ پورفیری و تفسیر وجود دو فاز مشخص با مقادیر نمک گوناگونی متفاوت (Gap Salinity) برای سیالات درگیر با نمک گوناگونی بالا و نمک گوناگونی متوسط، می‌توان از نتایج تجربیات و آزمایش‌ات (Sorirajan & Kennedy 1962; Budnar 1982) استفاده کرد. در این آزمایش آنکلوژیون‌های کپسول شکل در درجه حرارت اتاق مورد مطالعه قرار می‌گیرند، که در شرایط متفاوت تشکیل شده‌اند. در آزمایش Budnar یک محلول ماگماتیک با شوری ۱۰ درصد فرض می‌شود که در دمای  $750^{\circ}\text{C}$  و  $1300$  بار (Bar) تشکیل شده است. سیالات درگیر حاصل یک حباب گاز بزرگ دارند، اگر این آنکلوژیون در راستای ایزوکور  $600^{\circ}\text{C}$  (شکل ۲۰) و  $800$  Bar سرد شود، احتمالاً دو نوع آنکلوژیون تشکیل می‌شود. همان



شکل ۲۰: نمودار P-T منحنی هم‌حرارت (ایزوترم)  $600^{\circ}\text{C}$  در سیستم  $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ . نمایش دهنده ترکیب شیمیایی، چگالی، و درصد حجم فازهای موجود در  $800$  بار است. همچنین نسبت‌های فاز در درجه حرارت اتاق (معمولی) سیالات درگیری را نشان می‌دهد که در فاز مایع و یا در فاز گاز در  $600^{\circ}\text{C}$  و  $800$  بار و نسبت‌های فازی آنکلوژیونی است که با  $10$  درصد در  $\text{NaCl}$  در  $750^{\circ}\text{C}$  و  $1300$  بار تشکیل شده است. (After Budnar, 1982)



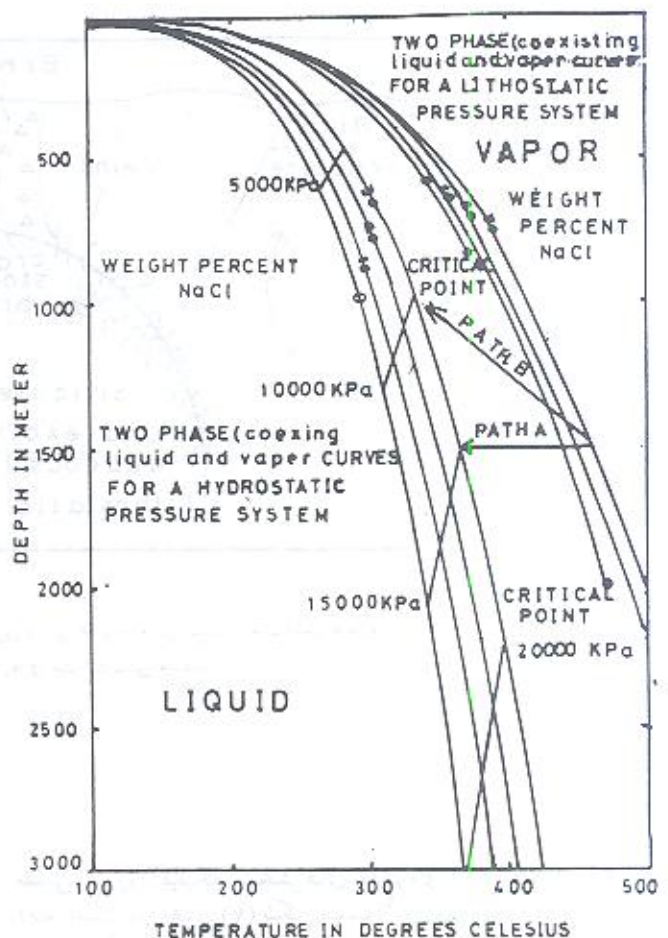
### ۱۳ - سیالات درگیر مربوط به زون پتاسیک

سیالات درگیر مربوط به زون پتاسیک توده‌س پورفیری سونگون فقط منحصر به چاه‌های شماره ۲، ۳، ۶ و (BH, 2, 3, 6) اند و سیالات درگیر تیپ (C-D) (غنی از گاز و غنی از گاز همراه با کریستال هالیت) را نشان می‌دهند و به فراوانی در این زون یافت می‌شوند. در چند نمونه از نظر فراوانی برانواع با نمک گونگی متوسط (Moderate Salinity) تیپ (B) غلبه دارد تقریباً اکثر انکلوژیون‌ها در فاز گاز همگون (Homogenize) می‌شوند و درجه حرارت همگون شدن (Homogenization Temperature) آن‌ها در حدود  $500^{\circ}\text{C}$  -  $400^{\circ}\text{C}$  برآورد می‌شود. دو محدوده مشخص نمک گونگی با نبود نمک گونگی (Gap Salinity) در این جا وجود دارد انواع نمک گونگی بالا (High Salinity) که نمک گونگی شان بین حداقل ۵۵ - ۵۰ درصد نمک طعام است و انواع با نمک گونگی متوسط (Moderate Salinity) شامل مقدار نمک گونگی (Salinity) ۴ - ۱۲ درصد معادل نمک طعام می‌باشد فراوانی انکلوژیون‌های غنی از گاز در این زون مبین شرایط جوش شدید است، زیرا تمام سیالات درگیر موجود در این جام‌نشأ اولیه دارند وجود انواع مختلف تیپ‌های سیالات درگیر با نمک گونگی متفاوت و شرایط جوش شدید در سیستم و کمبود دانسته‌ها و اطلاعات در باره تداوم زون پتاسیک و زون کم عیار و سترون (Protore)، تعیین و شناسایی منشأ محلول را دشوار می‌تواند آید. اختلاط دو محلول متفاوت با نمک گونگی مختلف مسئول پیدایش دو تیپ سیالات درگیر با نمک گونگی (Salinity) متفاوت در سیالات درگیر مورد مطالعه شده، یا شرایط سیستم جوش سبب تولید دو تیپ انکلوژیون گوناگون با نمک گونگی متفاوت شده است. به نظر می‌رسد، وجود انواع مختلف سیالات درگیر با نمک گونگی متفاوت در سیستم جوش مسئول و دلیل احتمالی برای دو فاز مشخص نمک گونگی (Gap Salinity) موجود در زون پتاسیک نهشته پورفیری سونگون است، زیرا در شرایط جوش درجه حرارت همگون شدن (Th) (Homogenization Temperature) برابرست با درجه حرارت تشکیل سیالات درگیر (Tt) (Trapping Temperature) (Cunningham, 1978). پس می‌توان نتیجه گرفت که درجه حرارت همگون شدن در زون پتاسیک برابر است با درجه حرارت تشکیل بیوتیت و کانی فلدسپات ثانویه در زون پتاسیک (Brimhall, 1985). از آن جا که تمام نمونه‌های مورد مطالعه در زون پتاسیک از رگه و رگچه‌های اولیه برداشته شده‌اند، می‌توان نتیجه گرفت که منشأ محلول‌ها ماگماتیک نیز می‌تواند باشد. از مطالب فوق می‌توان چنین استنباط کرد که درجه حرارت محلول مسئول کانی‌سازی به طریق پورفیر در زون پتاسیک در حدود  $400^{\circ}\text{C}$  تا بالاتر از  $540^{\circ}\text{C}$  تخمین زده می‌شود، زیرا که اطلاعات ما در مورد بخش‌های پایینی زون پتاسیک و (Protore) هنوز کامل نیست.

### ۱۴ - سیالات درگیر مربوط به زون‌های فیلیک و آریلیک

سیالات درگیر مطالعه شده از زون‌های آریلیک و فیلیک را انواع انکلوژیون‌های تیپ A, B, C, D و به ندرت تیپ E مشخص

استفاده از درجه حرارت جوش، امکان محاسبه فشار موجود در اثنای تشکیل سیالات درگیر وجود دارد، زیرا در شرایط جوش، درجه حرارت همگون شدن (Homogenization Temperature) مساوی است با درجه حرارت تشکیل سیالات درگیر (Trapping). پس در این صورت ضرورتی به تصحیح فشار و درجه حرارت نیست. با استفاده از درجه حرارت همگون شدن (Homogenization Temperature) و مقدار نمک گونگی (Salinity) (شکل ۲۱)، حداکثر عمق توده نفوذی سونگون تقریباً ۹۰۰ تا ۳۰۰۰ متر تخمین زده می‌شود.

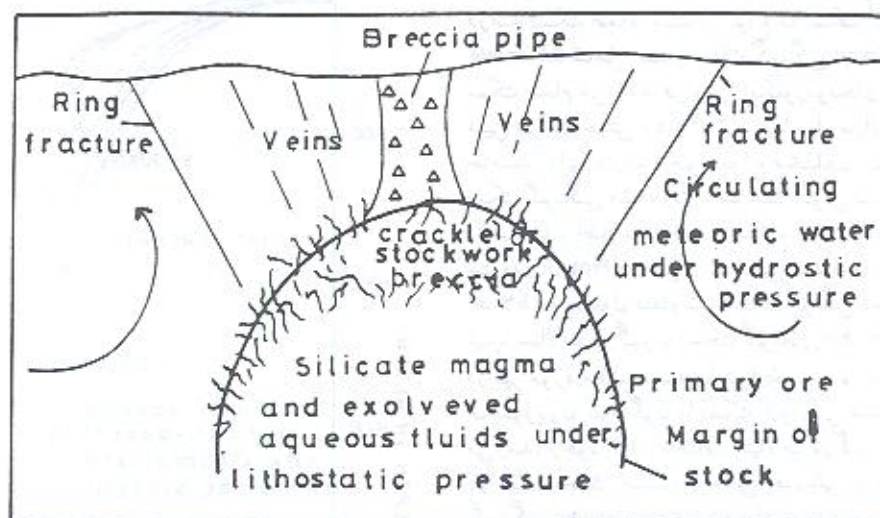


شکل ۲۱ - دیاگرام درجه حرارت، فشار، عمق دارای دوفاز در سیستم  $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$  (Cunningham, 1978; Hass, 1971, 1976; After Sorirarjan & Kenndy, 1962).

در این دیاگرام فلش گذر فشار و درجه حرارت محلول‌های بیناین را به هم وصل می‌کند.

به هیدرواستاتیک، که در اثنای وضعیت مرحله جوش اتفاق می افتد، (Cunningham, 1978)، به احتمال زیاد سبب ترمیب کوارتز و سولفاید می گردد. این ترسیب عموماً به شکل یک جام معکوس در نزدیک حاشیه سطحی توده نفوذی میزبان اتفاق می افتد و حاکی از شکل هندسی کمترین گرادیان فشار است که به احتمال خیلی زیاد با شرایط جوش همراه است. همان طور که در شکل ۲۲ نشان داده شده، جام معکوس تمرکز رگه های سیلیسی به شکل Stockwork، نهشته های

می سازند. در زون فیلیک، انکلوژیون های با نمک گونه گی متوسط (Moderate Salinity) تیپ B و انکلوژیون های با چگالی کم (Low Density) تیپ C معمولاً از بیشترین انواع اند، و انواع سیالات درگیر با نمک گونه گی بالا تیپ A کم تر از بقیه پیدا می شوند. وجود انکلوژیون های مختلف، به ویژه تیپ چگالی کم و تیپ غنی از گاز با نمک گونه گی بالا (High Saline) مبین تداوم شرایط سیستم جوش است. معمولاً درجه حرارت همگون شدن (Temperature)

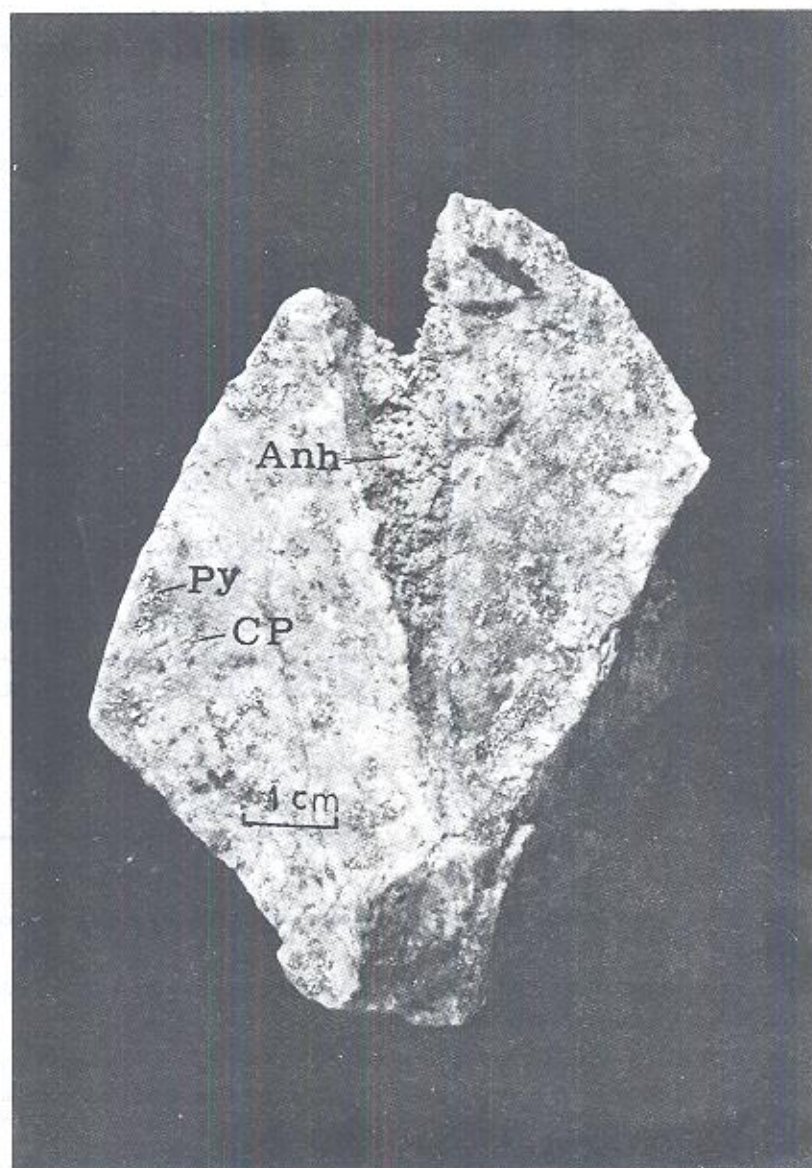


شکل ۲۲: مدل ترکیبی توده نفوذی پورفیری ای زوناله گردش آب های جوی در مرزها و در رأس سیستم تحت فشار هیدرواستاتیک است، درحالی که فشار محلول در بخش های داخلی توده نفوذی تحت تأثیر فشارهای لیتواستاتیکی هستند.

معدنی، در زون فیلیک و بخش های حاشیه ای زون پتاسیک به وجود آمده است. درزه های (V) شکل معمولاً در زون Stockwork مشاهده می شوند، که به طور ثانوی توسط آنیدریت و کوارتز پر می شوند (شکل ۲۳). درجه حرارت همگون شدن  $300-400^{\circ}\text{C}$  در شرایط جوش، درجه حرارت آلتراسیون فیلیک نیز به شمار می آید. رقیق شدن محلول کانه دار در شرایط جوش ناشی از ورود آب های جوی در اثنای آلتراسیون فیلیک و آرژیلیک نیز هست، زیرا در این زون های آلتره درجه حرارت همگون شدن و همچنین نمک گونه گی به طور قابل ملاحظه ای کم تر از زون پتاسیک است.

(Homogenization) سیالات درگیر در زون فیلیک بین  $400-200^{\circ}\text{C}$  متغیر است، که کم تر از درجه حرارت همگون شدن سیالات درگیر در زون پتاسیک است.

دو محدوده مشخص نمک گونه گی (Gap Salinity) نیز در سیالات درگیر این زون وجود دارند و سیالات درگیر با نمک گونه گی بالا (High Salinity) که حداقل  $40-30\%$  درصد معادل نمک طعام دارند، در حالی که برای سیالات درگیر با نمک گونه گی متوسط، این مقدار بین  $15-1\%$  درصد معادل نمک طعام است و میانگین آن  $4\%$  درصد معادل نمک طعام است. شرایط جدید فیزیکی - شیمیایی، تغییرات در PH، فشار، و درجه حرارت در گذر از شرایط لیتواستاتیک



شکل ۲۳: درزه‌های ۷ شکل در منطقه Stockwork که بعداً به وسیله آندریت پر شده است.

## ۱۵- خلاصه و نتیجه‌گیری

نتیجه آزمایش‌ها از حرارت و انجماد ۲۷۸ اندازه‌گیری از سیالات درگیر موجود در رگه‌های کوارتز شیری و کوارتز حاوی سولفور از چاه‌های حفاری شده و رخ‌نمون‌های سطحی در نهشته‌س و مولبدن تیپ پورفیری منطقه سونگون نشان می‌دهد که تشکیل سیالات درگیر در فشار ۵۰ تا کم‌تر از ۳۰۰ بار و یک دامنه وسیع درجه همگون شدن بین ۲۰۰-۴۵۰ °C و حتی در بعضی مواقع فراتر از ۵۰۰ °C به وقوع پیوسته است. تغییرات فیزیکی-شیمیایی

مشخص و افت ناگهانی در فشار عامل ایجاد شرایط جوش است. انواع سیالات درگیر مانند سیالات درگیر غنی از مایع یا کانی دختر هالیت، سیالات درگیر غنی از مایع با نمک گونگی متوسط، و سیالات درگیر با چگالی پایین غنی از گاز، و سیالات درگیر غنی از گاز با کانی دختر هالیت و به ندرت سیالات درگیری که بخش اعظم‌شان توسط گاز پر شده و دارای نمک گونگی متفاوتی هستند، در انواع اولیه و ثانویه در زون‌های پتاسیک و فلیک و به ندرت در آرژلیک به وجود آمده‌اند. وجود سیالات درگیر با چگالی کم و نمک گونگی بالا و سیالات درگیر با نمک گونگی پایین در یک نمونه

(شبکه‌ای) تیپ کانی رگه‌ای ثانویه بین  $350^{\circ}\text{C}$  -  $200^{\circ}\text{C}$  تشکیل می‌شود. با حضور سیالات درگیر تیپ A و B، به نظر می‌رسد شرایط جوش بعد از مرحله اول همچنان ادامه داشته است. لکن با سیالات درگیر ثانویه با نمک‌گونگی کم‌تر از سیالات درگیر اولیه، به نظر می‌رسد ورود آب‌های جوی سبب رقیق شدن مقدار نمک‌گونگی و کاهش درجه حرارت همگون شدن شده است.

نتایج مطالعات سیالات درگیر از توده‌مس-مولیبدن پورفیری سونگون می‌تواند فاکتور مفیدی در امر اکتشاف باشد؛ به طوری که از مطالعه نمونه‌های سیالات درگیر در منطقه سونگون نتیجه شده است، درجه حرارت بالای همگون شدن، در اکتشاف اهمیت چندانی ندارد، لکن وجود هالیت و کالکوپریت به عنوان مینرال‌های دختر (Crystal Daughter) و همچنین همگون شدن به طرف فاز گازی، شاخص‌های مفید در اکتشاف توده‌پورفیری سونگون بوده‌اند.

اندازه‌گیری سیالات درگیر، بر روی رگه‌های کوارتز حاوی کالکوپریت، مولیبدنیت، و پیریت در توده‌پورفیری سونگون انجام شده است. مرحله بحرانی ممکنه برای همگون شدن دو نوع سیال درگیر، چون تیپ‌های (A+B) تا بیش‌تر از  $450^{\circ}\text{C}$  و در چند مورد بیش‌تر از  $500^{\circ}\text{C}$  درجه سانتی‌گراد، و برای سیالات درگیر غنی از گاز چون تیپ‌های (C+D) تحت شرایط جوش  $450^{\circ}\text{C}$  -  $300^{\circ}\text{C}$  که نشانگر یک دامنه فشار  $55$  -  $260$  بار بوده و با بار لیتواستاتیک  $900$  تا  $3000$  متر برابر است. گفتنی است که فشار  $50$  -  $260$  بار با  $3000$  تا  $900$  متر رو باره مطابقت می‌نماید که همساز با صدها متر رسوب ولکانوسدیمتر کراتاسه بالا و سنگ‌های آتشفشانی و آهک انوسن است.

حاکی از شرایط حقیقی جوش در توده‌پورفیری سونگون است. با استفاده از دی‌گرام (Cunningham, 1978)، با توجه به مطالب بالا، جایگزینی توده‌پورفیری سونگون در ژرفای بین  $900$  تا  $3000$  متر انجام گرفته که چنین عمقی مشخصه epizonal است. از سوی دیگر، عدم توازن در نمک‌گونگی (Gap Salinity) سیالات درگیر از انواع نمک‌گون بالا و متوسط، از دیگر ویژگی‌های توده‌معدنی پورفیری سونگون است که دامنه تغییرات آن برای سیالات اولیه تیپ A حداقل  $30$  -  $55$  درصد معادل NaCl، برای سیالات درگیر ثانویه تیپ A حداقل  $30$  -  $38$  درصد معادل NaCl، و برای سیالات درگیر اولیه تیپ B،  $20$  درصد معادل نمک طعام و تیپ B ثانویه  $12$  درصد معادل نمک طعام است. طبق نظر Budnar، در سیستم جوش، حضور انواع سیالات درگیر با مقدار نمک‌گونگی گوناگون امکان‌پذیر است. معلول‌ها عامل خوبی در حمل فلزات پایه (Base metals) در نهشته‌پورفیر سونگون بودند و وجود کلرین در این‌ها را می‌توان شاخص و راهنمای مفیدی در اکتشاف به شمار آورد.

فعالیت محلول‌های هیدروترمال ماگماتیک در زون پتاسیک سبب تشکیل بیوتیت و کانی فلدسپات ثانویه شده است، لکن در زون فیلیک، به خاطر نقش زمین‌ساخت و یژه سنگ دیواره و شرکت آب‌های جوی، این فعالیت خیلی مشخص‌تر است. اختلاط آب‌های جوی با محلول‌های هیدروترمال ماگماتیک سبب کاهش نمک‌گونگی و درجه حرارت می‌گردد.

بر اساس نتایج به دست آمده از سیالات درگیر کانی‌زایی نوع رگه‌ای و افشان در درجه حرارت  $450^{\circ}\text{C}$  -  $350^{\circ}\text{C}$  تشکیل شده است، در حالی که در قسمت کم عمق و همچنین در داخل زون Stockwork

## References

- Ahmad, S.N. & Rose, A. (1980). Fluid inclusion in porphyry and skarn ore at Santa Rita, New Mexico. *Econ. Geol.* Vol. 75, pp. 229-250.
- Baluda, R. (1989). Fluid inclusion study, sto. Tomas II and Vicinity progress report. Philex mining corporation, Geology & Exploration department RPB- 05- 89.
- Budnar, R. & Beane, R. (1980). Temporal and spatial variation in hydrothermal fluid characteristic during rein filling in preore cover overlying deeply buried porphyry copper- type mineralisation at Red mountain, Arizona. *Econ. Geol.* Vol. 75, pp. 876- 893.
- Budnar, R. (1982). Fluid inclusions in porphyry- type deposits. Course notes, Mineral Deposits Research Review for industry, penn. State uni pp.6-9.
- Budnar, R. (1983). A method of calculating fluid inclusion volumes based on vapor bubble diameters and P- V- T- X properties of inclusion fluids. *Econ. Geol.* Vol. Lancaster 78 pp. 535- 542.
- Cunningham, C. (1978). Pressure gradients and boiling as mechanisms for localizing ore in porphyry system. *Jour. Research. U. S. Survey* Vol. 6. pp. 745- 754.
- Eastoe, C. J. (1978). A fluid inclusion study of panguna porphyry copper Deposit, Bougain Ville, papua New Guinea. *Econ. Geol.* Vol. 73. pp. 721- 742.
- Brimhall, G. H. Agee, C. and stoffregen, R. (1985) the hydrothermal conversion of hornblende to biotite. *Canadian Mineralogist*, 23, 369- 379.
- Helgeson, H. C. (1964). Complexing and hydrothermal ore deposition; New York, the Macmillan Co, 128 pp.
- Helgeson, H. C. (1969); Thermodynamics of hydrothermal system at elevated temperatures and pressures: *Am Jour. Sci.* V. 267, P. 729- 804.
- Kamilli, R. (1975). The genesis of the stockwork molybdenite deposits; Implication from fluid inclusion studies at the



- Henderson mine. (abs); Geol. Soc. Amer. Abstracts with programs. Vol. 10, No. 7, P 431.
- Kessler, S. (1973). Copper molybdenum and gold abundances in porphyry copper deposits. Econ. Geol. Vol. 68. pp. 106- 112.
- Leeder, O. Thomas, R. Klemm, W. (1987). Einschlusse in Mineralen. Ferdinand Enke Verlag Stuttgart.
- Cox, D & Singer, D. (1986). Mineral deposit models. U. S. Geological Survey Bulletin 1693.
- Lowell, J. D. & Guilbert, J. M. (1970). Lateral and Vertical alteration- mineralization zoning in porphyry ore deposits. Econ. Geol. 65- 4, pp. 373, 408.
- Moor, W. J. & Nash, J. T. (1974). Alteration and fluid inclusion studies of the porphyry copper orebody at Bingham, Utah: Econ. Geol. V, Cog. p. 631- 645.
- Nash, T. (1976). Fluid inclusion Petrology- Data. from porphyry copper deposits and applications to exploration. Geological Survey professional paper 907- O United States Government printing office, Washington.
- Potter, Babcock and Brown (1977). A new method for determining the solubility of salts in aqueous solutions at elevated temperature; Jour. Research U. S. Geol. Survey, V. 5(3). P. 389- 395.
- Reynolds, T. & Beane, R. (1985). Evolution of hydrothermal fluid characteristics of New Mexico, porphyry copper deposit. Econ. Geol. Vol. 80. pp. 1328- 1347.
- Reynolds, T. (1989). Short course on fluid inclusions: Application to metamorphic and igneous petrology. Mineral and petroleum Deposits and Diagnosis.
- Roedder, E. (1967). Fluid inclusion as samples of ore fluids, 12th chapter of ; Geochemistry of hydrothermal ore deposits. pp. 515- 574, Holt, Rinehart and Winston; Inc.
- Roedder, E. (1977 a). Metastability in fluid inclusions. Soc. Mining Geol. Japan. spec. Issue, pp. 327- 334.
- Roedder, E. (1971 b). Fluid inclusion of the porphyry type. ore deposits at Bingham, Utah, Butte, Montana, and Climax, Colorado. Econ. Geol. Vol. 66. pp. 98- 120
- Roedder, E. (1972). Data of geochemistry sixth edition. Chapter JJ. Composition of fluid inclusions. Geological survey professional paper. United States Government printing office, Washington.
- Roedder, E. (1984). Fluid inclusions Reviews in mineralogy. Vol. 12. Mineralogical Society of America, Book crafters, Inc. Chelsea, Michigan. 48118.
- Sawkins, F. J. (1990). Metal deposits in relation to plate tectonic. Mins. and Rocks. Springer- Verlag Berlin.
- Sheppard, S. Nielson, R and Taylor, H. (1971). Hydrogen and oxygen isotop ratios in minerals from porphyry copper deposits. Econ. Geol. Vol. 81. pp. 430- 446.
- Sheppard, S. & Taylor, P. (1974). Hydrogen and oxygen isotope evidence for the origin of water in the Boulder Batholith and Butte ore deposits, Montana. Econ. Geol. Vol. 69, pp. 926- 946.
- Sheppard, S. & Gustafson, L. (1976). Oxygen and hydrogen isotopes in the porphyry copper deposit at El Salvador, Chile. Econ. Geol. Vol. 71, pp. 1549- 1559.
- Sorby, H. (1958). On the microscopic structure of crystals, indicating the origin of minerals and rocks. Geol. Soc. of London. Quart. J., 14, Pt. 1. pp. 435- 500.
- Sorajan, S & Kennedy, G. (1962). the system H<sub>2</sub>O- NaCl. at elevated temperature and pressure: Amer. Jour. Sci. Vol. 260. pp. 115- 141
- Takenouchi, S. (1980). Preliminary studies of fluid inclusions of the Santo Tomas II (Philex) and Tapien (Marcopper) porphyry copper deposits in the Philippines. Mineralogy Special ISSUE, No. 8, pp. 140- 150.
- White, D. (1968). Environment of generation of some base- metal ore deposits. Econ. Geol. 63: 301- 335.
- Wilson, J. Kessler, S. Cloke, P. & Kelly, W. (1980) Fluid inclusion geochemistry of the Granisel and Bell porphyry copper deposits, British Columbia, Econ. Geol. Vol. 75, pp. 45- 61.

\* سازمان زمین‌شناسی کشور

\* انستیتوی تحقیقات مینرالوژی و سنگ‌شناسی دانشگاه هامبورگ، آلمان

\* Geological Survey of Iran

\*\* Institute of Mineralogy and petrography, Hamburg University Germany

