

جمهوری اسلامی ایران

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

دستورالعمل آماده‌سازی، تهیه نمونه و
مطالعات میکروسکوپی و سیالات درگیر در
نمونه‌های اکتشافی

ضابطه شماره ۶۵۵

وزارت صنعت، معدن و تجارت

معاونت امور معادن و صنایع معدنی

دفتر نظارت و بهره‌برداری

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

امور نظام فنی و اجرایی

www.mimt.gov.ir

nezamfanni.ir



باسم‌هه تعالی

ریاست جمهوری
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
رئیس سازمان

۹۵/۲۴۷۸	شماره:	بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
۱۳۹۵/۰۱/۱۱	تاریخ:	
موضوع: دستورالعمل آماده‌سازی، تهیه نمونه و مطالعات میکروسکوپی و سیالات درگیر در نمونه‌های اکتشافی		
<p>به استناد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و مواد (۶) و (۷) آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی - مصوب سال ۱۳۵۲ و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (موضوع تصویب‌نامه شماره ۱۳۸۵/۴/۲۰ ت ۳۴۹۷/۴۲۳۳۹ - مورخ ۱۳۸۵ هیأت محترم وزیران)، به پیوست ضابطه شماره ۶۵۵ امور نظام فنی و اجرایی، با عنوان «دستورالعمل آماده‌سازی، تهیه نمونه و مطالعات میکروسکوپی و سیالات درگیر در نمونه‌های اکتشافی» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.</p> <p>رعایت مفاد این ضابطه در صورت نداشتن ضوابط بهتر، از تاریخ ۱۳۹۵/۰۷/۰۱ الزامی است.</p> <p>امور نظام فنی و اجرایی این سازمان دریافت‌کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی در مورد مفاد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم را اعلام خواهد کرد.</p>		
 حمد باقر نوبخت		

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این نشریه نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی، فنی، ابهام، ایهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این‌رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایجاد و اشکال فنی صراتب را به صورت زیرگزارش فرمایید:

۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.

۲- ایجاد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.

۳- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.

۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.

کارشناسان این امور نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت.

پیش‌آپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علیشاه، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور،

امور نظام فنی و اجرایی، مرکز تلفن ۳۳۲۷۱

Email:info@nezamfanni.ir

nezamfanni.ir

با اسمه تعالی

پیشگفتار

نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/۴/۲۰ هرخ ۱۳۸۵) به کارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در قیمت تمام شده طرح‌ها را مورد تأکید جدی قرار داده است و این امور به استناد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و نظام فنی اجرایی کشور وظیفه تهیه و تدوین ضوابط و معیارهای فنی طرح‌های توسعه‌ای کشور را به عهده دارد. یکی از روش‌های مطالعاتی پرکاربرد در مراحل مختلف اکتشاف و فرآوری مواد معدنی مطالعات میکروسکوپی نوری است. این مطالعات به منظور شناسایی کانی‌ها، مطالعات بافت‌شناسی، بررسی تخلخل، نامگذاری سنگ‌ها، تعیین توالی پاراژنتیک، تعیین درجه آزادی کانی‌ها، تعیین نوع دگرسانی‌ها و نظایر آن انجام می‌گیرد. کانی‌ها از نظر خواص نوری به سه گروه شفاف، نیمه‌شفاف و اپک (کدر) تقسیم‌بندی می‌شوند. برای مطالعه کانی‌های شفاف از میکروسکوپ پلاریزان نور عبوری و کانی‌های اپک از میکروسکوپ پلاریزان نور انعکاسی استفاده می‌شود. کانی‌های نیمه‌شفاف را می‌توان در هر دو نوع میکروسکوپ مطالعه کرد. با توجه به اهمیت مطالعات میکروسکوپی نوری در مراحل مختلف اکتشاف و فرآوری، مطالعات باید به نحوی انجام گیرد که پاسخگوی نیازهای بنیادی در هر یک از مراحل یاد شده باشد.

از مطالعات سیالات درگیر و آزمایش میکروترموتری برای اندازه‌گیری درجه حرارت و شوری سیال و محاسبه شرایط فشار-حرارت-ترکیب شیمیایی حاکم بر محیط تشکیل کانی‌ها به طور گسترده استفاده می‌شود.

این ضابطه با عنوان "دستورالعمل آماده‌سازی، تهیه نمونه و مطالعات میکروسکوپی و سیالات درگیر در نمونه‌های اکتشافی" به منظور یکسان‌سازی نحوه مطالعات میکروسکوپی نوری در چارچوب برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن تهیه شده است. در این ضابطه ابتدا نحوه آماده‌سازی نمونه‌ها برای مطالعات میکروسکوپی، دستورالعمل مطالعات میکروسکوپی نور عبوری و انعکاسی و میکروترموتری سیالات درگیر به همراه تصویربرداری و تعییر و تفسیر آن‌ها ارایه شده است.

با همه‌ی تلاش انجام شده قطعاً هنوز کاستی‌هایی در متن موجود است که إن شاء الله... کاربرد عملی و در سطح وسیع این ضابطه توسط مهندسان موجبات شناسایی و برطرف نمودن آن‌ها را فراهم خواهد نمود. در پایان، از تلاش‌ها و جدیت جناب آقای مهندس غلامحسین حمزه مصطفوی و کارشناسان امور نظام فنی و اجرایی همچنین جناب آقای دکتر جعفر سرقینی مجری محترم طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی بخش معدن کشور در وزارت صنایع و معادن، کارشناسان دفتر نظارت و بهره‌برداری معادن و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این ضابطه، تشکر و قدردانی می‌نماید. امید است شاهد توفيق روزافزون همه‌ی این بزرگواران در خدمت به مردم شریف ایران اسلامی باشیم.

غلامرضا شافعی

معاون فنی و توسعه امور زیربنایی

۱۳۹۵

مجری طرح

معاون امور معادن و صنایع معدنی - وزارت صنایع و معادن

آقای جعفر سرقینی

تهییه پیش نویس اصلی

آقای حسین عسگرزاده

اعضای شورای عالی به ترتیب حروف الفبا

کارشناس ارشد مهندسی صنایع	سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور	فرزانه آقا رمضانعلی
کارشناس ارشد مهندسی صنایع	وزارت صنعت، معدن و تجارت	سیف... امیری
کارشناس مهندسی معدن	سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور	بهروز برقا
کارشناس ارشد مهندسی معدن	سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور	محمد پریزاده
کارشناس ارشد زمین‌شناسی	سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور	عبدالعالی حقیقی
دکتری مهندسی فرآوری مواد معدنی	وزارت صنعت، معدن و تجارت	جهفر سرقینی
کارشناس ارشد زمین‌شناسی اقتصادی	وزارت صنعت، معدن و تجارت	علیرضا غیاثوند
کارشناس ارشد مهندسی معدن	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	حسن مدنی

اعضای کارگروه اکتشاف به ترتیب حروف الفبا

کارشناس ارشد مهندسی معدن	سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران	علی اصغرزاده
کارشناس مهندسی معدن	سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور	بهروز برقا
کارشناس ارشد مهندسی معدن	سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور	محمد پریزاده
دکترای پترولولژی	دانشگاه تربیت مدرس	نعمت... رشیدنژاد عمران
دکترای زمین‌شناسی اقتصادی	دانشگاه خوارزمی	بهزاد مهرابی

اعضای کارگروه تنظیم و تدوین به ترتیب حروف الفبا

دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	آقای مهدی ایران نژاد
دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	بهرام رضایی
کارشناس ارشد زمین‌شناسی اقتصادی	وزارت صنعت، معدن و تجارت	علیرضا غیاثوند
کارشناس ارشد مهندسی معدن	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	حسن مدنی
دکترای زمین‌شناسی اقتصادی	دانشگاه خوارزمی	بهزاد مهرابی

اعضای گروه هدایت و راهبری پروژه

رئیس گروه امور نظام فنی و اجرایی	خانم فرزانه آقام رمضانعلی
رئیس گروه ضوابط و معیارهای معاونت امور معادن و صنایع معدنی	آقای علیرضا غیاثوند
کارشناس معدن نظام فنی و اجرایی	آقای اسحق صفرزاده

پیش نویس این گزارش توسط کارشناسان بخش شیمی مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران به سپرستی آقای مهندس حسین عسگرزاده تهییه شده و پس از بررسی و تایید توسط کمیته اکتشاف، به تصویب شورای عالی برنامه رسیده است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول - تعاریف و مفاهیم	
فصل دوم - انتخاب نمونه و آماده‌سازی مقاطع میکروسکوپی	
۱-۱- آشنایی	۷
۱-۲- انتخاب نمونه	۷
۳-۲- آماده‌سازی مقاطع میکروسکوپی و نمودار جریانی آن	۸
۳-۲-۱- آماده‌سازی مقاطع نازک	۸
۳-۲-۲- آماده‌سازی مقاطع صیقلی	۱۳
۳-۲-۳- آماده‌سازی مقاطع نازک-صیقلی	۱۶
۳-۲-۴- آماده‌سازی مقاطع دوبر صیقل	۱۷
۴-۲- ویژگی‌های نمونه‌های مورد نیاز برای تهیه مقاطع و مطالعات میکروسکوپی	۱۸
فصل سوم - دستورالعمل مطالعات میکروسکوپی نوری عبوری و فرم گزارش‌نویسی	
۳-۱- آشنایی	۲۳
۳-۲- میکروسکوپ پلاریزان	۲۳
۳-۲-۱- میکروسکوپ پلاریزان عبوری	۲۳
۳-۲-۲- میکروسکوپ پلاریزان انعکاسی	۲۴
۳-۲-۳- استریومیکروسکوپ یا بینوکولار	۲۴
۳-۳- طرز کار میکروسکوپ پلاریزان	۲۵
۳-۳-۱- حالت ارتوسکوپی	۲۵
۳-۳-۲- حالت کنوسکوپی	۲۵
۳-۳-۴- واسنجی میکروسکوپ	۲۵
۳-۵- مطالعات میکروسکوپی مقاطع نازک	۲۶
۳-۶- فرم گزارش‌نویسی مقاطع نازک و نازک-صیقلی	۲۷
فصل چهارم - مطالعات میکروسکوپی نور انعکاسی (مقاطع صیقلی و نازک-صیقلی)	
۴-۱- آشنایی	۳۱
۴-۲- معیار شناسایی کانی‌های اپک به کمک میکروسکوپ انعکاسی	۳۲
۴-۲-۱- خواص نوری	۳۲
۴-۲-۲- خواص سختی	۳۳
۴-۲-۳- خواص ساختاری و مورفولوژیکی	۳۳

۳۳.....	-۳-۴ فرم گزارش نویسی استاندارد مقاطع صیقلی
	فصل پنجم- دستورالعمل مطالعات میکروسکوپی و میکروترمومتری سیالات درگیر
۳۷.....	-۱-۵ آشنایی
۳۷.....	-۲-۵ سیالات درگیر
۳۷.....	-۱-۲-۵ انواع سیالات درگیر بر اساس فازها
۳۸.....	-۲-۲-۵ انواع سیالهای درگیر بر اساس زمان به دام افتادن
۳۹.....	-۳-۵ کاربرد مطالعات سیالات درگیر
۳۹.....	-۱-۳-۵ بررسی دیاژنز و ویژگی‌های سیالات در حوضه‌های رسوی
۳۹.....	-۲-۳-۵ اکتشاف ذخایر هیدروکربنی مواد معدنی
۳۹.....	-۳-۳-۵ تکتونیک
۳۹.....	-۴-۳-۵ جواهرشناسی
۳۹.....	-۴-۵ تجهیزات مورد نیاز
۴۱.....	-۵-۵ نکات اینمی
۴۱.....	-۶-۵ واسنجی (کالیبراسیون) صفحه گرم‌کننده و سردکننده
۴۲.....	-۱-۶-۵ مراحل انجام واسنجی (کالیبراسیون)
۴۴.....	-۷-۵ پتروگرافی سیالات درگیر
۴۴.....	-۸-۵ روش میکروترمومتری
۴۵.....	-۱-۸-۵ آزمایش گرم کردن
۴۶.....	-۲-۸-۵ آزمایش سرد کردن
۴۷.....	-۹-۵ سیستم‌های شیمیایی سیالات درگیر
۴۷.....	-۱-۹-۵ سیال‌های دو فازی مایع-گاز (L+V)
۴۸.....	-۲-۹-۵ سیال‌های درگیر سه فازی مایع-جامد-گاز (L+V+S)
۴۸.....	-۳-۹-۵ سیالات درگیر نآمیخته (L _۱ +L _۲ +V)
۴۸.....	-۴-۹-۵ سیالات غنی از CO _۲
۴۹.....	-۱۰-۵ نقاط اندازه‌گیری
۵۱.....	-۱۱-۵ ارایه نتایج مطالعات میکروترمومتری
۵۱.....	-۱۲-۵ ارتباط درجه شوری و دمای همگن شدن در تیپ‌های مختلف کانساری
	فصل ششم- دستورالعمل تصویربرداری از مقاطع و تعییر و تفسیر
۵۵.....	-۱-۶ آشنایی
۵۵.....	-۲-۶ تصاویر میکروسکوپی
	پیوست - علایم استاندارد برای نام‌گذاری برخی از کانی‌ها در تصاویر میکروسکوپی

فصل ١

تعاريف و مفاهيم

۱-۱- تعاریف و مفاهیم

سیالات درگیر: همزمان با رشد بلورها، به علت ناهمسانی‌هایی که در رشد آن‌ها تحت تاثیر عوامل متعدد روی می‌دهد، فضاهایی در سطوح رشد بلور ایجاد شده و یا در ضمن یا پس از رشد، درزه‌هایی در بلور ایجاد می‌شود که محلول‌های کانه‌دار در آن‌ها محبوس می‌شوند. به این گونه فضاهای و محتویات داخل آن‌ها سیالات درگیر گفته می‌شود.

بافت کانسنگ: بافت کانسنگ در کانسارهای گوناگون، متفاوت است و به ماهیت سیال‌های کانی‌ساز، مشخصات فیزیکی و شیمیایی سنگ‌های میزبان و شیوه جایگزینی کانی‌ها بستگی دارد. تفسیر بافت در تعیین رابطه زمانی مجموعه‌های متوالی کانی در یک کانسار، محیط کلی تشکیل و شیوه نهشت اهمیت زیادی دارد. بافت کانسنگ‌ها با شکل، اندازه، حالت لایه و نحوه رشد کانی‌ها مشخص می‌شود. مهم‌ترین بافت‌های موجود در کانسنگ‌ها شامل بافت ته‌نشینی، پرکننده فضای خالی، جانشینی، کلوپیدی و بافت برون‌رسن (اکسلوشن) هستند.

دگرسانی: تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی که تحت تاثیر سیالات ماقمایی و یا گرمابی در سنگ‌ها ایجاد می‌شود. عوامل کنترل‌کننده این تغییرات شامل ترکیب شیمیایی سیال، دما، عمق، شرایط pH و محلول، ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی سنگ دگرسان شده است. از دگرسانی‌های مهم می‌توان دگرسانی‌های پتاسیک، سریسیتیک، پروپیلیتیک، آرژیلیک، آلونیتی، سیلیسی، کلریتی، زئولیتی و آلبیتی را نام برد.

پتروگرافی: مطالعه بافت و کانی‌شناسی سنگ‌ها و کانسنگ‌ها با استفاده از مقاطع میکروسکوپی و میکروسکوپ نوری عبوری و انعکاسی پلاریزه، برای توصیف و نام‌گذاری آن‌ها.

مینرالوگرافی (کانه‌شناسی میکروسکوپی): روش مطالعه و شناسایی کانی‌های فلزی و بررسی بافت آن‌ها با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان نور انعکاسی.

مطالعات میکروترموتری: مطالعه غیرمخرب سیالات درگیر برای تعیین دما، میزان شوری، جرم مخصوص و ترکیب آن‌ها.

قطع صیقلی: نمونه‌ای که به کمک مواد ساینده و صیقل دهنده به گونه‌ای صیقل داده می‌شود که خصوصیات نوری کانی‌های فلزی (کانه‌ها) با میکروسکوپ نور انعکاسی در آن قابل مطالعه باشد.

قطع نازک: قطعه‌ای از سنگ که آن را بر روی لام می‌چسبانند و با پودرهای ساینده سایش می‌دهند تا به ضخامت ۳۰ میکرون برسد. در این مقاطع خصوصیات نوری کانی‌های شفاف با میکروسکوپ نور عبوری قابل مطالعه است (کنترل ضخامت مناسب با بررسی رنگ بیرفرنزنس کانی کوارتز که رنگ خاکستری سری اول جدول سری رنگ نیوتون است انجام می‌گیرد).

قطع نازک صیقلی: قطعه‌ای از سطح خارجی آن به نحوی صیقل داده شده است که هم با میکروسکوپ نور عبوری و هم انعکاسی قابل مطالعه است. از این مقاطع برای شناسایی همزمان کانی‌های شفاف و اپک در مطالعات کانسنگ‌ها و تعیین توالی پاراژنتیک استفاده می‌شود.

قطع دوبر صیقل (ویفر): برش نازک کانی‌های شفاف به ضخامت ۶۰ تا ۲۰۰ میکرون که هر دو سطح آن‌ها به گونه‌ای صیقل داده شده که سیالات درگیر در آن قابل مشاهده و مطالعه است. ضخامت نهایی ویفر به شفافیت کانی میزبان، ضریب شکست آن، اندازه و فراوانی سیالات درگیر بستگی دارد.

دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی^۱ (SEM): نوعی میکروسکوپ الکترونی که قابلیت عکسبرداری از سطوح با بزرگنمایی ۱۰ تا ۱۰۰۰۰۰ برابر با قدرت تفکیکی در حد ۳ تا ۱۰۰ نانومتر (بسته به نوع نمونه) را دارد. این دستگاه مجهز به یک میکروآنالیزور است که قابلیت تجزیه شیمیایی کیفی و نیمه‌کمی نقاط مشخص شده بر روی نمونه به قطر ۳ تا ۵ میکرومتر را دارد.

دستگاه الکترون مايكروپروب^۲ (EPMA): اساس کار مايكروپروب بمباران الکترونی حجم بسیار کوچکی از نمونه با یک تفنگ الکترونی با انرژی بین ۵ تا ۳۰ کیلو الکترون‌ولت و اندازه‌گیری میزان سیگنال‌های برگشتی از نمونه است. یکی از این سیگنال‌ها اشعه ایکس و مشخصه هر عنصر است که به وسیله ۳ تا ۵ اسپکترومتر (WDS)^۳ اندازه‌گیری می‌شود. با واسنجی مناسب امکان تجزیه نقطه‌ای کمی با حد تشخیص ppm به وسیله این دستگاه امکان‌پذیر است.

ادخال: بلورهای ریز یک کانی در کانی میزبان.

۱- Scanning electron microscope

۲- Electron probe micro analyzer

۳- Wavelength dispersive spectrometer

۲ فصل

انتخاب نمونه و آماده‌سازی

مقاطع میکروسکوپی

۱-۲- آشنایی

طی تشکیل کانسارها، هاله‌های اولیه شکل می‌گیرند که ارتباط فضایی نزدیکی با ذخیره اصلی دارند. هاله‌های اولیه به وسیله روش‌های پتروگرافی، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی قابل مطالعه هستند. برای مطالعات پتروگرافی هاله‌های اولیه، از سنگ بستر نمونه‌برداری می‌شود. هاله‌های ثانویه محصول توزیع دوباره هاله‌های اولیه و یا حتی خود توده‌های کانساری تحت تاثیر عوامل شیمیایی، فیزیکی و یا بیولوژیکی است. هاله‌های ثانویه معمولاً بسیار بزرگ‌تر از هاله‌های اولیه هستند و در نتیجه احتمال کشف را افزایش می‌دهند اما در عین حال به دلیل ضعف ارتباط فضایی با منبع اصلی، تفسیر آن‌ها به مراتب دشوارتر و ریسک تخمین‌های وابسته به آن‌ها بیشتر است. معمولاً برای مطالعات هاله‌های ثانویه از روش‌های ژئوشیمیایی استفاده می‌شود و برای بررسی‌های دقیق‌تر، مطالعات کانی‌شناسی نیز بر روی آن‌ها انجام می‌گیرد.

فرآیندهای پیوسته فعال در تشکیل کانسارها موجب شکل‌گیری یک فضای دگرسان شده در اطراف آن‌ها می‌شود. در این فضا که هاله دگرسانی نامیده می‌شود، مجموعه‌ای از کانی‌های دگرسانی به صورت محصول فرآیندهای متاسوماتیک و یا گرمابی تشکیل می‌شوند. این هاله‌ها هم گستردہ‌تر از کانسارها و هم مشهودتر هستند بنابراین احتمال کشف را افزایش می‌دهند. از طرفی این هاله‌ها نتیجه فرآیندهای مرتبط با تشکیل کانسارها هستند و با آن ارتباط ژنتیکی دارند. ماهیت این ارتباط به نحوی است که پیدایش هاله دگرسانی یک کانی یا کانی‌سازی خاص در یک منطقه معرف احتمال پیدایش تیپ‌های معینی از کانی‌سازی در آن منطقه است.

۲-۲- انتخاب نمونه

در نمونه‌برداری‌های اکتشافی به منظور مطالعات کانی‌شناسی و پتروگرافی باید به موارد زیر توجه شود:

- برای مطالعات میکروسکوپی نمونه‌های اکتشافی دارای آثار کانی‌سازی مشهود با بیشترین تنوع کانی‌شناسی انتخاب شوند.
- برای مطالعات میکروسکوپی از سنگ میزبان، بخش کانی‌سازی شده و زون‌های دگرسانی باید نمونه‌برداری شود.
- برای مطالعات سنگ‌شناسی توصیه می‌شود که از بخش‌هایی که کمترین دگرسانی را دارند نمونه‌برداری شود.
- در تمام مراحل اکتشاف باید از سنگ‌های میزبان، دگرسانی‌ها و بخش‌های کانی‌سازی شده نمونه‌برداری شود.
- از محل مرز تغییرات لیتولوژی، بافت، ساخت یا رنگ باید نمونه‌برداری شود.

کانسنگ‌هایی که در آن‌ها کانی‌های مفید به صورت منظم و یکنواخت هستند، اندک است و بیشتر آن‌ها مخلوطی از کانی‌های متفاوت هستند که مقدارشان در بخش‌های مختلف کانسار تغییر می‌کند. در این حالت‌ها بهتر است نمونه‌های شاخصی در فاصله‌های کوتاه برای ارزیابی دقیق از کانی‌های با ارزش و مزاحم در کانسار انتخاب شوند. به طور معمول بهترین نمونه‌ها از مغزه‌های حفاری به ویژه زمان برخورد با زون کانی‌سازی با بازیابی مناسب برداشت می‌شود. مغزه را در جهت طول به دو نیم تقسیم می‌کنند و بخش‌هایی از یک نیمه آن برای مطالعات میکروسکوپی نمونه‌برداری می‌شود. از بخش‌های بارز و نمایان کانه‌ها باید در فاصله‌های معین از کمربالا به کمرپایین نمونه‌برداری شود. از رگه‌ها، رگچه‌ها، تغییر رنگ‌ها و لیتولوژی‌ها در کانسنگ نیز باید نمونه‌برداری شود. از بخش‌هایی با شدت دگرسانی زیاد علاوه بر نمونه‌برداری برای مطالعات میکروسکوپی، شناسایی دقیق‌تر، نمونه‌هایی برای مطالعات پراش پرتو ایکس نیز برداشت می‌شود.

۲-۳- آماده‌سازی مقاطع میکروسکوپی و نمودار جریانی آن

به منظور شناسایی کانی‌ها، مطالعه بافت‌شناسی و بررسی تخلخل و نظایر آن‌ها از سنگ‌ها و کانی‌ها مقاطع نازک میکروسکوپی تهیه می‌شود.

۲-۱- آماده‌سازی مقاطع نازک

بعد از انتخاب نمونه مناسب، برای آماده‌سازی مقاطع نازک در ابتدا اگر نمونه دارای رطوبت باشد، باید آن را در آون در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد قرار داد. باید توجه کرد که دما تاثیری بر روی ترکیب کانی‌شناسی نمونه نداشته باشد (شکل ۱-۲). در صورت نیاز با استفاده از سیستم خلا و دستگاه حباب‌گیر، نمونه را داخل رزین اپوکسی قرار می‌دهند تا رزین حفرات و شکستگی‌های نمونه‌های سست و دارای خلل و فرج را پر کند تا در مرحله برش و سایش، نمونه شکسته و یا خرد نشود. یکی از نکات بسیار مهم، انتخاب جهت برش نمونه است زیرا در نمونه‌های جهت یافته (مثلاً دارای لایه‌بندی، ریزاساختار و شیستوزیته) بسته به انتخاب جهت برش نوع مشاهدات متفاوت خواهد بود. معمولاً در شرایط عادی در صورت وجود بافت‌های جهت یافته برش نمونه در جهت عمود یا کمی مایل نسبت به جهت یافته‌گی اصلی انجام می‌گیرد. در مواردی ممکن است چند مقاطع با جهت‌های برش متفاوت تهیه شود تا مطالعات پتروگرافی به نحو مطلوب انجام گیرد. پس از انتخاب جهت برش، ابتدا سنگ و یا کانسنگ مورد مطالعه به شکل مکعب مستطیل برش داده می‌شود (شکل ۲-۲). ابعاد این برش به اندازه لام میکروسکوپ مورد استفاده بستگی دارد. ابعاد لام‌های استاندارد که استفاده می‌شوند ۴۶×۲۷ میلی‌متر یا ۷۵×۲۶ میلی‌متر است. عرض بلوک در حدود ۲۶ میلی‌متر و طول آن برای لام‌های بلند ۵۰ و برای لام‌های کوتاه ۳۵ میلی‌متر است. پس از برش، به کمک پودرهای کاربید سیلیسیم یک سطح بلوک به طور کامل ساییده می‌شود (شکل‌های ۳-۲ و ۴-۲). برای این کار ابتدا از پودر ۳۲۰ مش^۱ و در مرحله نهایی از پودر ۶۰۰۰ تا ۸۰۰۰ مش استفاده می‌شود. در صورتی که نمونه دارای تخلخل و یا دارای کانی‌های با سختی زیاد و کم در کنار هم باشد، این مرحله تنها باید با استفاده از پودر نرم انجام گیرد. سپس سطح ساییده شده را با استفاده از چسب دوقلو به لام می‌چسبانند. به منظور گیرش بهتر، یک سطح لام نیز باید به کمک پودرهای ساینده مات شود. لام‌های استاندارد زمین‌شناسی با یک سطح مات عرضه می‌شوند و نیازی به انجام این مرحله ندارند.

چسب دوقلوی شفاف را مطابق دستورالعمل شرکت سازنده به اندازه مشخص مخلوط و سپس چند قطره روی سطح ساییده شده بلوک می‌ریزند و لام را به آهستگی روی بلوک قرار می‌دهند و با دو انگشت به میزان مساوی بر لام فشار وارد می‌کنند تا تمامی حباب‌های هوا خارج شود. بعد از یک دقیقه انگشتان را از روی لام برمی‌دارند و مقاطع را به مدت چند ساعت دور از نور و گرما قرار می‌دهند تا چسب کاملاً سخت شود. مخلوط اپاکسی باید در حد مورد نیاز تهیه شود، زیرا مخلوط آن سخت و غیر قابل استفاده می‌شود. در گذشته، از صمغ کانادا بالزام که به صورت جامد است استفاده می‌شد، در صورت استفاده از این جسم باید بلوک را روی هیتر با دمای حدود ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار داد، به طوری که سطح ساییده شده آن به سمت بالا باشد. آن گاه صمغ را روی بلوک مالش می‌دهند تا چسب به طور کامل آن را فرا گیرد. پس از آن لام را روی آن قرار می‌دهند و به مدت حدود یک دقیقه به آن فشار

وارد می کنند تا همه حباب های هوا خارج شود و بلوک و لام را از روی هیتر برمی دارند تا سرد و کاملا سخت شود. مهم ترین مساله در این مرحله، اطمینان از خارج شدن حباب ها است. بنا به ملاحظات استفاده از کانادا بالزم توصیه نمی شود.

ضخامت اضافه بلوک نصب شده روی لام با دستگاه خودکار و یا به روش دستی برش داده شده و سپس برای کاهش ضخامت تا حد استاندارد (۳۰ تا ۴۵ میکرون) به کمک پودرهای ساینده، ساییده می شود. در دستگاه های خودکار ضخامت، طول و عرض لام استاندارد است و پس از نصب بلوک بر روی لام آن را در جایگاه مخصوص دستگاه قرار می دهند. نمونه ها به وسیله سیستم خلا در دستگاه نگهداری می شوند. بر حسب ظرفیت، در هر مرحله ۵ تا ۷ مقطع در دستگاه جای داده می شود. ابتدا با اره نمونه های نصب شده را در ضخامت خاصی برش می دهند، سپس به کمک صفحه ساب مقاطع را می سایند تا به ضخامت استاندارد (حدود ۳۰ تا ۴۵ میکرون) برسند. در دستگاه های غیر خودکار، ابتدا بخش قابل ملاحظه ای از بلوک با اره کوچک بریده می شود، سپس به کمک پودرهای کاربید سیلیسیم (ابتدا پودر درشت ۴۰۰ مش و در مرحله نهایی پودر نرم ۹۰۰ مش) ساییده می شود تا به ضخامت استاندارد برسد. برای تعیین ضخامت استاندارد از کانی هایی استفاده می شود که بیبرفرنژانس آن ها پایین باشد که در اکثر سنگ ها یافت می شوند. به عنوان مثال کوارتز و فلدسپات ها برای این منظور مناسبند. در ضخامت حدود ۳۰ میکرون رنگ تداخلی این کانی ها خاکستری و مایل به سفید است. هنگام ساییدن به رنگ تداخلی این کانی ها توجه می شود. در صورت نبود این کانی ها از ریز سنج برای اندازه گیری ضخامت استفاده می شود که شامل تفاضل اندازه ضخامت کل منهای ضخامت لام است. نمودار جریانی مراحل آماده سازی مقطع نازک در شکل ۲-۵ ارایه شده است.

برش و سایش نمونه هایی که به آب حساس هستند باید در نفت و یا الکل انجام گیرد. بعد از انجام مراحل سایش، به سطح نمونه لام چسبانده شده و نمونه تثبیت می شود. بعد از چسباندن نمونه روی لام و یا چسباندن لام روی نمونه، باید با استفاده از گیره از به تله افتادن حباب هوا جلوگیری کرد. در نمونه های ماسه سنگی، رسی و شیلی باید قبل از برش نمونه، عمل تزریق رزین و استفاده از سیستم حباب گیر در نمونه انجام گیرد تا از خرد شدن و از بین رفتن نمونه در مراحل بعدی جلوگیری شود. دستگاه برش نمونه از مهم ترین ابزارهای آماده سازی نمونه است که قابلیت برش نمونه در ابعاد مناسب برای تهیه مقطع نازک را دارد و بسته به نوع تیغه اره سرعت برش متفاوت است. آب در هنگام برش به عنوان خنک کننده اره عمل می کند و برای نمونه هایی که به آب حساس هستند باید از ترکیبات دیگری استفاده کرد. در مرحله سایش برای کاهش ضخامت نمونه از ترکیبات ساینده نظیر کاربید سیلیسیم^۱ استفاده می شود. در مرحله اول سایش از پودرهای درشت تر (۴۰۰ و ۶۰۰ مش) و در مراحل پایانی از پودرهای ریزتر (۸۰۰ و ۱۲۰۰ مش) استفاده می شود. در شکل ۲-۶ ترتیب مراحل آماده سازی مقاطع نازک از قطعه سنگ تا مقطع نازک نمایش داده شده است. کوارتز و پلازیو کالازها کانی های معمول اکثر سنگ های آذرین هستند که برای بررسی ضخامت نمونه مناسباند. جدول ارتباط ضخامت نمونه با بیبرفرنژانس تحت عنوان جدول میشل لوی^۱ در کتاب های مطالعات میکروسکوپی نوری موجود است. البته در صورت نیاز می توان به کمک ریز سنج، ضخامت دقیق را اندازه گیری کرد. نمونه هایی از انواع مقاطع برای مطالعات میکروسکوپی در شکل ۷-۲ نشان داده شده است.



شکل ۲-۱- دستگاه آون برای خشک کردن نمونه‌های مرطوب



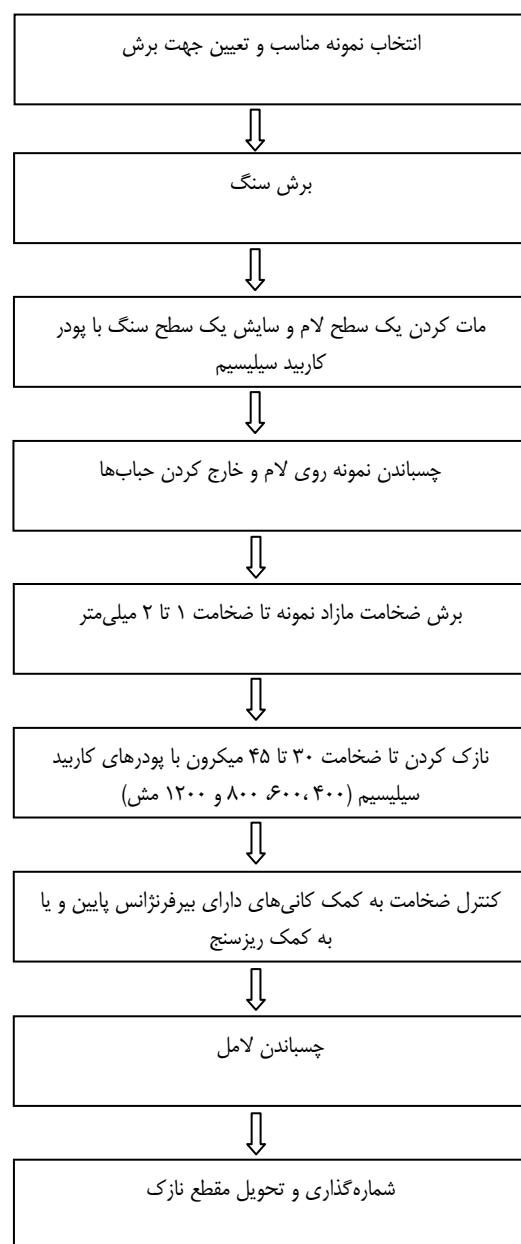
شکل ۲-۲- دستگاه برش سنگ که علاوه بر برش می‌توان با آن نمونه را تا ضخامت ۵۰ میکرون نازک کرد.



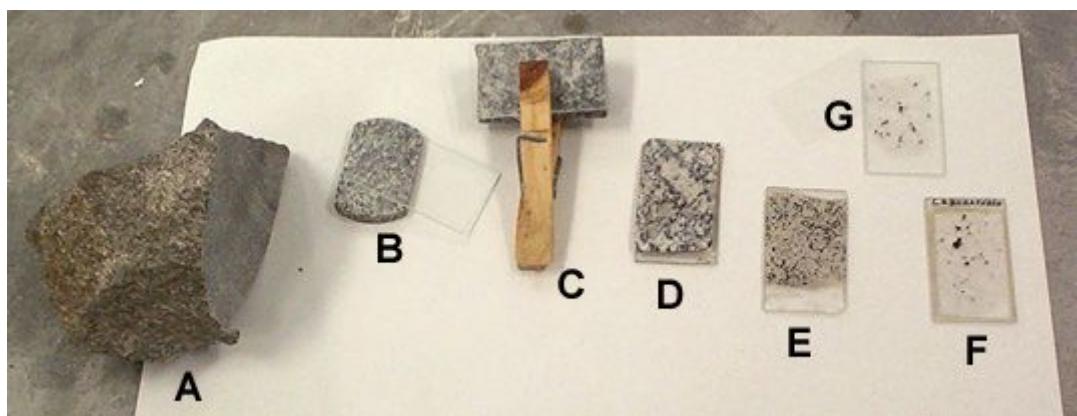
شکل ۲-۳- دستگاه سایش خودکار



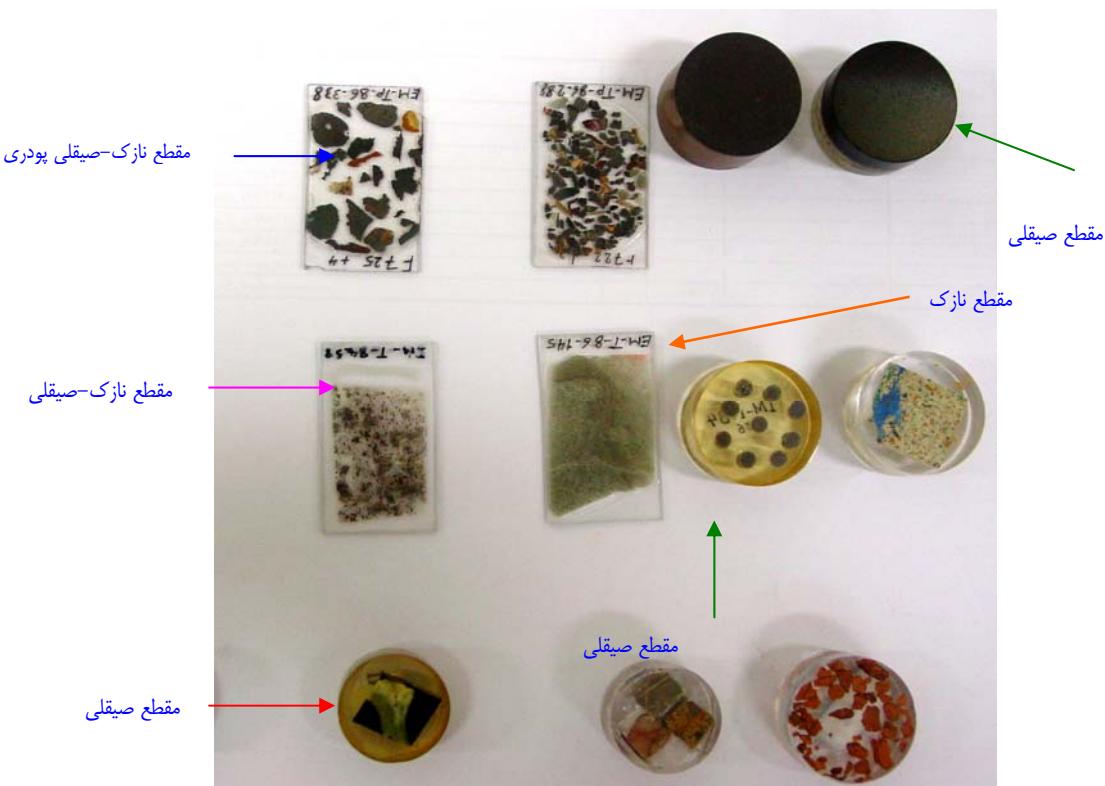
شکل ۲-۴- مرحله سایش نمونه به روش دستی



شکل ۲-۵- نمودار جریانی مراحل آماده‌سازی مقطع نازک



شکل ۲-۶- ترتیب مراحل آماده‌سازی مقاطع نازک از قطعه سنگ تا مقطع نازک



شکل ۲-۷-۲- نمونه هایی از انواع مقاطع برای مطالعات میکروسکوپی

۲-۳-۲- آماده سازی مقاطع صیقلی

بسیاری از مواد معدنی (کانه‌ها) در نمونه‌های دستی و به صورت ماکروسکوپی قابل تشخیص نیستند. به همین دلیل برای تشخیص خصوصیات دقیق‌تر و کامل باید به صورت میکروسکوپی مورد بررسی قرار گیرند. یک نمونه خوب و مناسب برای این منظور، نمونه‌ای است که دارای سطحی صیقل یافته، حداقل شکستگی، برجستگی و فرورفتگی است که تحت تاثیر تغییرات گرمایی و مکانیکی نیز قرار نگرفته باشد. برای تهییه نمونه از کانسنگ‌ها روش‌های متعددی وجود دارد که تمامی آن‌ها مستلزم انتخاب دقیق نمونه، منظم کردن، قالب‌گیری و صیقل دادن بهتر آن است (شکل ۲-۸). برای این کار لازم است که از کانه‌ها نمونه‌های صیقلی تهییه و با میکروسکوپ پلاریزان نور انعکاسی مورد مطالعه قرار گیرد. مثلاً به کمک چند آزمایش می‌توان مواد معدنی موجود در یک نمونه را تشخیص داد، حتی به نظم و آرایش و شکل آن‌ها، بافت‌های گوناگون و بالاخره پاراژنز آن‌ها پی برد. برای به دست آوردن این اطلاعات باید نمونه‌های انتخابی بدون ترک بوده و اکسیده و سست نباشند. مطالعات میکروسکوپی نوری انعکاسی (مینرالوگرافی) برای تشخیص نمونه‌های کانسنگ بسیار ضروری و متداول است و جزو کم خرج‌ترین روش‌های مطالعات علمی است. برای مطالعه کانی‌های فلزی، نمونه باید به طرز مناسب صیقل داده شود. آماده سازی مقاطع صیقلی در چهار مرحله برش، قالب‌گیری، سایش و صیقل به شرح زیر انجام می‌شود:

الف- برش

با توجه به تنوع کانی‌شناسی، بافت و تغییرات آن‌ها محدوده‌ای به قطر متناسب با قالب مورد استفاده (۲۵، ۳۰ و ۵۰ میلی‌متر) و ضخامت حدود یک سانتی‌متر برش داده می‌شود.

ب- قالب‌گیری

نمونه برش داده شده و سطح مورد مطالعه باید با استفاده از پودرهای ساینده بسیار نرم، مسطح و صاف شود. اندازه نمونه باید کمی کوچکتر از قالب نمونه باشد. قطر قالب‌ها معمولاً $\frac{2}{5}$ ، ۳ و ۵ سانتی‌متر و ضخامت قالب معمولاً ۲ سانتی‌متر است. قالب‌گیری به دو روش سرد و گرم انجام می‌گیرد که قالب‌گیری سرد متداول‌تر است (شکل ۹-۲). به منظور جداسازی، سطح داخل قالب باید با گریس یا واژلین آغشته شود. نمونه را به حالتی که سطح آماده شده به طرف پایین باشد داخل قالب قرار می‌دهند. سپس موادی نظیر اپاکسی و یا پولیستر را داخل قالب می‌ریزند و آن را داخل محفظه خلا قرار می‌دهند تا حباب‌ها خارج شود و چنانچه نمونه دارای حفره و درزه باشد این فضاهای کاملاً پر شود. عمل قالب‌گیری باید ارتباط کانی‌ها و بافت نمونه را حفظ کند. در قالب‌گیری به روش گرم نمونه را داخل سیلندر دستگاه قرار می‌دهند و بر روی آن مواد پلاستیکی از جنس باکالیت می‌ریزند در اثر حرارت دادن، مواد پلاستیکی ذوب می‌شود و نمونه را در بر می‌گیرد.

پ- سایش

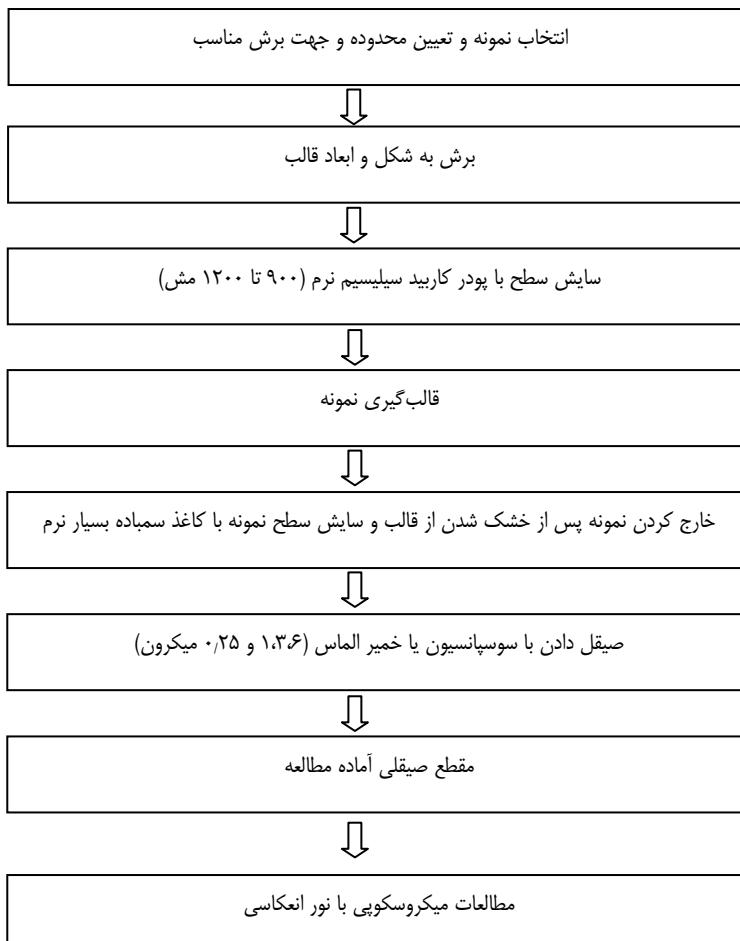
ابتدا ناهمواری‌های سطح نمونه و مواد مورد استفاده در قالب‌گیری، صاف شده و نمونه‌ها آماده مراحل صیقل می‌شوند. در این مرحله نباید هیچ گونه تغییر شکل در سطح کانی‌ها رخ دهد و خراش ایجاد شود. مهم‌ترین ماده ساینده کاربید سیلیسیم است که به حالت پودر و کاغذ سمباده مورد استفاده قرار می‌گیرد. پودر و یا کاغذ سمباده‌ای که استفاده می‌شود باید بسیار ریزدانه و در حد ۹۰۰ مش باشد. لبه‌های نمونه قالب‌گیری شده، ابتدا باید یخ شود تا به کاغذ سمباده آسیب نرسد. سایش تا زمانی ادامه دارد تا تمامی خراش‌ها حذف شوند. عمل سایش به ترتیب روی کاغذ سمباده و یا پودر ساب برای اندازه‌های مختلف روی صفحه دور انجام می‌شود. سایش در هر مرحله باید عمود بر جهت قبلی باشد و دست‌ها در پایان هر مرحله باید کاملاً شسته شود. در مرحله پایانی نمونه با الكل شسته شده و سپس خشک می‌شود. برخی از کانی‌ها نظیر استیبنیت در اثر فشار بیش از حد دچار ماکل مکانیکی می‌شوند و تغییر شکل در آن‌ها به وجود می‌آید. بنابراین در مورد برخی از کانی‌های فلزی تنها باید از پودر نرم زیر ۱۲۰۰ مش استفاده کرد.

ت- صیقل

نمونه ساییده شده با استفاده از مواد صیقل دهنده مناسب روی صفحه‌های دور و یا لرزان به نحوی صیقل داده می‌شود تا جلای فلزی آن‌ها کاملاً نمایان شود و سطح نمونه نور را بازتاب کند. مواد صیقل دهنده متداول شامل اکسید آلومینیم، اکسید منیزیم، اکسید کرم، اکسید آهن و خمیر الماس هستند. این مواد به همراه محلول روان‌ساز مناسب به کار می‌روند. در مورد خمیرهای الماس از روغن و محلول مناسب باید استفاده کرد. اندازه مواد صیقل دهنده متداول به ترتیب $۰,۱$ ، $۰,۳$ ، $۰,۶$ و $۰,۲۵$ میکرون است. برای صیقل از پارچه‌های محکم، با پرز کم و دارای قابلیت نگهداری مواد صیقل دهنده استفاده می‌شود. پارچه باید قادر مواد شیمیایی آلوده‌کننده و موادی که موجب خراش در نمونه می‌شوند، باشند. پارچه مناسب مخصوص روی صفحه دور نصب و سپس مواد صیقل دهنده به همراه محلول مناسب به آن اضافه می‌شود (شکل ۱۰-۲). نمونه روی این صفحات دور به تدریج صیقل داده می‌شود. پس از هر مرحله نمونه و دست‌ها باید تمیز شسته شوند تا مواد صیقل دهنده به مرحله بعد منتقل نشود. نمونه باید با فشار کم و مناسب صیقل داده شود. در هر مرحله لازم است خراش‌های قبلی کاملاً حذف شود. کیفیت نمونه صیقل داده شده به نوع مواد صیقل دهنده، نوع

پارچه، زمان، وسایل کارگاه، میزان فشار و نحوه نگهداری نمونه بستگی دارد.

با توجه به وقت و هزینه زیادی که برای تهیه نمونه‌ای مناسب صرف می‌شود، باید از نگهداری نادرست اجتناب کرد زیرا در صورت بروز تغییرات ثانوی مانند کدر یا اکسید شدن سطح نمونه باید قبل از مطالعه میکروسکوپی آن را دوباره صیقل داد. برای نگهداری نمونه‌ها از ظروف مقوایی یا پلاستیکی و کمدهای مخصوص استفاده می‌شود. سطح صیقل یافته نمونه را هیچگاه نباید به وسیله پارچه تمیز کرد. در مواردی و به هنگام مطالعه میکروسکوپی برای از بین بردن لکه روغن یا گرد و غبار از دستمال مخصوص عدسی میکروسکوپ که آغشته به الکل باشد باید استفاده کرد. اثر انگشت که ناشی از بی‌توجهی در دست زدن به سطح نمونه‌ها است عامل اصلی چرب شدن سطح نمونه است. سطح صیقل یافته نمونه هیچگاه نباید رو به پایین قرار بگیرد، حتی اگر زیر آن پارچه باشد، زیرا باعث جمع شدن گرد و غبار می‌شود و باید دوباره آن را صیقل داد. برخی از کانی‌های سولفیدی در مجاورت رطوبت هوا اکسیده و کدر می‌شوند. بنابراین در مورد نمونه‌های تهیه شده از کانسنگ‌های سولفیدی مراقبت بیشتری مورد نیاز است. با توجه به سختی، بافت و نوع کانی‌ها حداقل سه تا چهار مرحله صیقل دادن مورد نیاز است.



شکل ۲-۸- روند نمایی مراحل آماده سازی مقطع صیقلی



شکل ۲-۹- دستگاه پرس نمونه برای تهییه نمونه‌های صیقلی به روش گرم



شکل ۲-۱۰- دستگاه صیقل خودکار

۳-۳-۲- آماده‌سازی مقاطع نازک-صیقلی

با استفاده از مقاطع نازک-صیقلی، امکان مطالعه همزمان نمونه در نور انعکاسی و عبوری فراهم می‌شود. این نمونه‌ها را برای مطالعه کانسنگ‌های حاوی کانی‌های شفاف، نیمه‌شفاف و اپک به کار می‌برند. استفاده از مقاطع نازک-صیقلی امکان بررسی درجه آزادی کانی‌های اپک و نحوه درگیری آن‌ها با کانی‌های شفاف را فراهم می‌کند. سایش و نازک کردن نمونه‌های نازک-صیقلی مشابه تهییه مقاطع نازک و خصامت استاندارد نمونه ۳۰ تا ۶۰ میکرون است. موادی که برای صیقل دادن نمونه‌ها استفاده می‌شود متنوع و شامل ترکیبات سوسپانسیون، سایندها و خمیر الماس است. مراحل اولیه صیقل با استفاده از مواد صیقل دهنده در ابعاد ۶ و ۳ میکرون و صیقل نهایی با مواد صیقل دهنده در ابعاد ۱۰ و ۰/۲۵ میکرون انجام می‌شود (شکل ۱۱-۲). هر چه زمان صیقل در هر مرحله بیشتر باشد قابلیت انعکاس نور در نمونه بیشتر و کیفیت نمونه بهتر می‌شود. علاوه بر مطالعات میکروسکوپی نوری، برای مطالعات میکروسکوپ الکترونی و تجزیه‌های نقطه‌ای به روش الکترون مایکروپرورب نمونه‌های معدنی و بخش‌های سیلیکاته و مطالعات کاتدولومینسانس^۱ سنگ‌های کربناتی نیز از مقاطع نازک-صیقلی استفاده می‌شود. کیفیت تصاویر کاتدولومینسانس ارتباط زیادی با کیفیت سطح نمونه دارد. در هر مرحله از سایش و صیقل باید مواد ساینده و صیقل دهنده به طور کامل از نمونه جدا شود و

۱- Cathodoluminescence (CL)

نمونه به طور کامل تمیز شود. نمونه های آماده شده را باید با آب و لرم و مواد شوینده مایع داخل اولتراسونیک گذاشت تا چربی های موجود در سطح نمونه از آن جدا شوند. سایش نمونه ها با پودرهای کاربید سیلیسیم معمولاً با دست انجام می شود و مرحله صیقل نمونه ها به وسیله دستگاه های صیقل دهنده انجام می گیرد. معمولاً بسته به سختی کانی های تشکیل دهنده نمونه، مقاطع مانند مقاطع نازک آماده سازی می شوند و در ضخامت بیشتر از ضخامت نهایی مراحل صیقل دادن و نازک شدن به صورت همزمان و تا حدود ۳۰ تا ۶۰ میکرون انجام می گیرد.

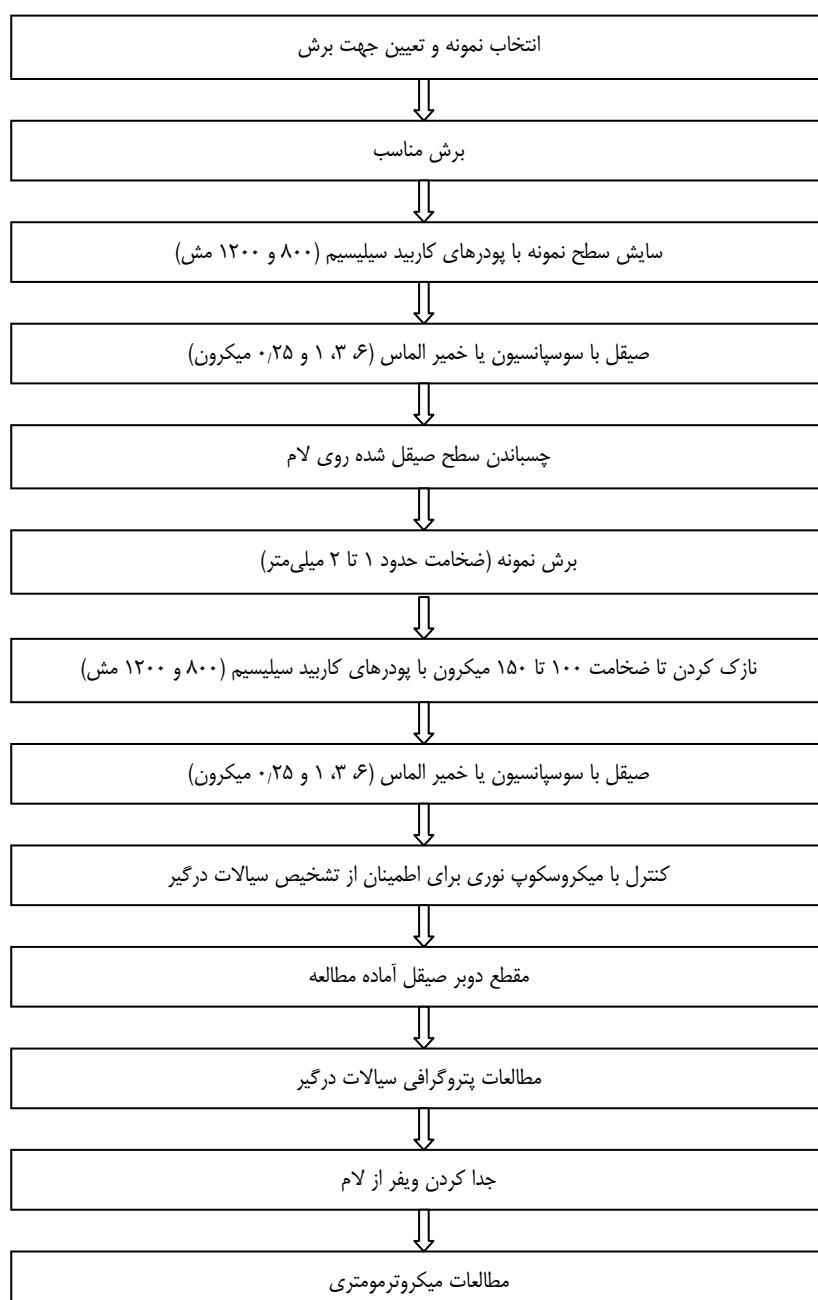


شکل ۱۱-۲- نمودار جریانی مراحل آماده سازی مقطع نازک-صیقلی

۲-۳-۴- آماده سازی مقاطع دوبر صیقل (ویفر)

برای مطالعات میکروترمومتری از ویفرهای نازک کانی های شفاف استفاده می شود. این ویفرها باید در هر دو طرف صیقل شوند تا شفافیت حداکثر در کانی به دست آید. انتخاب نمونه بر اساس محیط زمین شناسی که نمونه در آن ظاهر شده و محدوده کانی های موجود انجام می گیرد. کوارتز به علت رخداد زمین شناسی گستردگی، شفافیت و به دام انداختن سیال های درگیر نسبتاً بزرگ، بهترین گزینه است. در حالت ایده آل، کوارتز باید ظاهری شفاف داشته باشد. نمونه های نهان بلور مات یا شیری به دلیل وجود سیالات درگیر بسیار کوچک معمولاً مناسب نیستند. البته سیال های درگیر قابل مطالعه را می توان در تعداد زیادی از سایر کانی ها پیدا کرد. ده کانی اصلی که سیالات درگیر در آن ها بیشتر مورد مطالعه قرار می گیرند عبارت از کوارتز، فلوریت، هالیت، کلسیت، آپاتیت، دولومیت،

اسفالریت، باریت، توپاز و کاسیتریت است. برای مطالعات میکروترمومتری باید از ویفرهای دوبر صیقل یافته مخصوص استفاده شود. برای آماده کردن ویفرهای سیالات درگیر، از روش‌های استاندارد صیقل دادن، مشابه آماده‌سازی کانی‌ها استفاده می‌کنند. ضخامت نهایی ویفر به اندازه و فراوانی سیالات درگیر و شفافیت کانی بستگی دارد. ضخامت ویفرهای دوبر صیقل شده حدود ۱۰۰ میکرون است. البته ضخامت اتفاقی ویفر در حد نهایی که با توجه به شفافیت نسبی آن که بتوان سیال درگیر را مورد مطالعه قرار داد ممکن است بیش از ۵۰ میکرون باشد. نمودار جریانی مراحل آماده‌سازی مقاطع دوبر صیقل در شکل ۱۲-۲ نشان داده است. برای چسباندن نمونه باید از چسب شفافی که حلال آن در دسترس است استفاده کرد. پس از جدا کردن نمونه از لام باید در حلال مناسب و در صورت نیاز در حمام التراسونیک کاملاً تمیز شود.



شکل ۱۲-۲ - نمودار جریانی مراحل آماده‌سازی مقاطع دوبر صیقل (ویفر)

۴- ویژگی های نمونه های مورد نیاز برای تهیه مقاطع و مطالعات میکروسکوپی

دگرسانی ها از نشانه های کانی سازی و از جمله معیارهای اکتشافات مواد معدنی هستند. در موقع نمونه برداری باید به این بخش توجه ویژه ای شود و از قسمت های مختلف زون های دگرسانی، نمونه برداری انجام گیرد. در نمونه برداری های سطحی باید با فاصله مناسب از توده های آذرین، دایک ها، رگه و زون های کانی سازی نمونه برداری شود و تغییرات زون های دگرسانی مورد بررسی قرار گیرد. در محل رگه ها باید از دو طرف رگه به صورت منظم نمونه برداری کرد و آرمايش های پتروگرافی را بر روی آن ها انجام داد. در حفاری ها (گمانه ها) باید از سطح به عمق نمونه برداری انجام گیرد. از محل تغییرات نظیر تغییرات رنگ، بافت، کانی شناسی و نظایر آن باید نمونه برداری انجام شود. از محل رگه و رگچه های موجود در نمونه ها باید مقاطع نازک، نازک-صیقلی و صیقلی تهیه و مطالعه شود. سنگ میزبان ماده معدنی ممکن است سنگ های آذرین، رسوبی یا دگرگونی باشند که از طریق تهیه مقاطع نازک و نازک-صیقلی باید مورد مطالعه قرار گیرند و نوع سنگ میزبان به دقت تشخیص داده شود. از بخش های کانی سازی شده نیز باید مقاطع نازک، نازک-صیقلی و صیقلی تهیه شود و مورد مطالعات میکروسکوپی نوری قرار گیرد و کانی های فلزی و غیرفلزی موجود در آن ها به دقت شناسایی و ارتباط بین کانی های فلزی و غیرفلزی مشخص شود.

برای مطالعات سیالات در گیر نمونه باید دارای کانی های شفاف مناسب و کانی مورد مطالعه حتما باید مرتبط با یکی از فازهای کانی سازی باشد. مناسب ترین کانی ها برای مطالعات سیالات در گیر شامل کانی های کوارتز، فلوریت، هالیت، کلسیت، آپاتیت، دولومیت، اسفالریت، باریت، توپاز و کاسیتیریت هستند. مطالعات سیالات در گیر در کانی های شفافی که هم زمان با کانی سازی نیستند برای مطالعه شرایط تشکیل کانسار و استفاده به عنوان معیار اکتشافی مناسب نیست و در واقع کانی مورد مطالعه باید در سیستم پاراژنزی حضور و جایگاه آن در توالی پاراژنتیکی قبل تعیین شده باشد. در رگه هایی که در چندین مرحله تشکیل شده اند، باید موقعیت هر نمونه را در کل توالی پاراژنزی مشخص کرد. در حالت ایده آل باید چندین نمونه از کانی هایی معرف کل توالی پاراژنتیک انتخاب شوند و مورد مطالعه قرار گیرند.

یکی دیگر از کاربردهای مطالعات میکروسکوپی شناسایی، خواص سنجی و تعیین ویژگی های کانی شناسی بار اولیه به منظور طراحی فلوشیت های مقدماتی، پایه، نیمه صنعتی و صنعتی و رفتار کانی ها در مدارهای فرآوری است. علاوه بر آن در مدارهای فرآوری به منظور کنترل کیفیت کنسانتره، وضعیت باطله و هدر روی کانی ها و عناصر با ارزش به بخش باطله، مطالعات میکروسکوپی نوری انجام می گیرد. شناسایی سرباره های متالورژی و بررسی پتانسیل تولید زهاب های اسیدی در معادن و سد باطله با مطالعات میکروسکوپی انجام می گیرد.

٣ فصل

دستورالعمل مطالعات میکروسکوپی

نوری عبوری و فرم گزارش نویسی

۱-۳- آشنایی

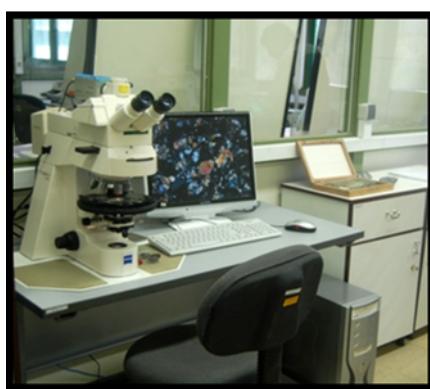
به منظور مطالعه کانی‌شناسی از میکروسکوپ نوری مناسب و مقاطع استاندارد استفاده می‌شود. ویژگی‌های میکروسکوپ مناسب برای مطالعات کانی‌شناسی در ادامه آمده است.

۲-۳- میکروسکوپ پلاریزان

با این که میکروسکوپ پلاریزان از نظر جزئیات ساختمانی با یک میکروسکوپ معمولی تفاوت دارد، ولی اصول کلی آن‌ها مشابه است. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های میکروسکوپ‌ها، بزرگنمایی و قدرت تفکیک آن‌ها است. بزرگنمایی با ترکیب دو عدسی شیئی و چشمی مشخص می‌شود. با عملکرد عدسی‌های شیئی در بخش انتهای میکروسکوپ یک تصویر روشن و واضح ایجاد می‌شود. عدسی چشمی فقط تصویر را به صورتی که در نتیجه کیفیت عدسی شیئی حاصل می‌شود بزرگ می‌کند.

۳-۱-۳- میکروسکوپ پلاریزان عبوری^۱

این میکروسکوپ برای مطالعه خواص نوری بلورها، شناسایی کانی‌ها، مطالعات پتروگرافی انواع سنگ‌ها، بررسی بافت، تعیین تخلخل و مطالعات فسیل‌شناسی با استفاده از مقاطع نازک استاندارد مورد استفاده قرار می‌گیرد. اجزای مهم تشکیل دهنده میکروسکوپ پلاریزان شامل پایه و بدنه، منبع نوری، پلاریزور، دیافراگم، عدسی متقارب‌کننده (کندانسور)، پیچ تنظیم سریع و کند، عدسی‌های شیئی، آنالیزور و عدسی چشمی (شکل ۱-۳) است.



شکل ۱-۳- میکروسکوپ پلاریزان عبوری-انعکاسی

۳-۲-۳- میکروسکوپ پلاریزان انعکاسی^۱

از این میکروسکوپ برای مطالعه کانی‌های فلزی، بررسی شکل و اندازه آن‌ها، مراحل و وضعیت تبلور نسبی کانی‌ها، نسبت به یکدیگر استفاده می‌شود. این میکروسکوپ در متالورژی نیز کاربرد دارد. میکروسکوپ‌هایی که اخیراً ساخته می‌شود مجهز به دو سیستم نور عبوری و انعکاسی هستند و قابلیت مطالعات کانی‌های فلزی و غیر فلزی را به صورت همزمان دارند. اجزای این میکروسکوپ مشابه میکروسکوپ نور عبوری است با این تفاوت که منبع نوری در بالا قرار دارد. همچنین عدسی‌ها به نحوی طراحی

^۱- Transmitted light polarizing microscope

شده‌اند که نور از محل عدسی شیئی به نمونه می‌تابد و انعکاس آن نیز از همان عدسی به عدسی چشمی می‌رسد. مکانیزم این کار بسیار ساده است که معمولاً از یک نیم آینه یا نیم منشور در داخل لوله میکروسکوپ استفاده می‌شود.

۳-۲-۳- استریومیکروسکوپ^۲ یا بینوکولار^۱

کار این میکروسکوپ صرفاً بزرگنمایی اجسام است. این میکروسکوپ برای بررسی نمونه‌های دستی، قطعات منفصل رسوب یا پلاسر و محصولات خط فرآوری مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۳-۲).



شکل ۳-۲- میکروسکوپ بینوکولار

۳-۳- طرز کار میکروسکوپ پلاریزان

مطالعه کانی‌ها با میکروسکوپ پلاریزان به دو روش ارتوسکوپی و کنوسکوپی انجام می‌گیرد.

۳-۳-۱- حالت ارتوسکوپی

در حالت ارتوسکوپی نور به صورت دسته‌های موازی بر مقطع مورد مطالعه می‌تابد. نور معمولی ضمن عبور از عدسی یا صفحه پلاریزور، پلاریزه می‌شود و در مسیر خود از یک دیافراگم عبور می‌کند. نور پلاریزه شده سپس وارد مقطع نازک مورد مطالعه می‌شود. اگر جسم همسانگرد (ایزوتربوپ) باشد، تغییری در نور پلاریزه رخ نمی‌دهد. در صورتی که جسم مورد مطالعه ناهمسانگرد (آنیزوتربوپ) باشد، نور پلاریزه ضمن عبور از جسم تجزیه خواهد شد. اگر آنالیزور و یک پلاریزور دیگر (که با پلاریزور قبلی زاویه ۹۰ درجه می‌سازد) در مسیر نور باشد، نور بعد از عدسی شیئی وارد آنالیزور می‌شود. جهت نوسان نور در صفحه آنالیزور عمود بر صفحه پلاریزور است. اگر جسم مورد مطالعه همسانگرد باشد، در حالتی که آنالیزور داخل است هیچ گونه نوری بعد از ورقه آنالیزور عبور نخواهد کرد و جسم در تمام موقعیت تاریک خواهد بود. اگر جسم غیرهمسانگرد باشد، در حالتی که آنالیزور داخل است، ضمن چرخاندن صفحه میکروسکوپ، کانی‌ها تاریک و روشن خواهند شد. عدسی شیئی ضمن بزرگ کردن جسم تصویر آن را در محل تارهای رتیکول قرار می‌دهد. خواص نوری که در حالت ارتوسکوپی مطالعه می‌شود،

^۱-Reflected light polarizing microscope

^۲-Stereomicroscope

شامل رنگ، رنگ اینترفرانس، بیرفرئانس، طویل شدگی، خاموشی، ضربی شکست و چند رنگی همراه با بررسی رخ و شکستگی‌ها است.

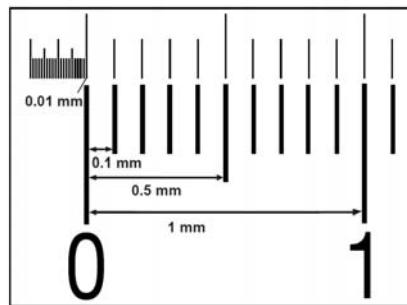
۳-۳-۳- حالت کنوسکوپی

حالت کنوسکوپی حالتی است که علاوه بر پلاریزور، عدسی متقارب‌کننده و آنالیزور نیز در مسیر نور قرار می‌گیرند. از این حالت برای تشخیص وضعیت محوری بلورها، بلورهای یک محوری و دو محوری، تعیین علامت بلوری، اندازه‌گیری زاویه بین محورهای نوری و تعیین جهت برش استفاده می‌شود. در حالت کنوسکوپی باید ترجیحاً از عدسی شیئی با بزرگنمایی $40\times$ یا بیشتر و داخل کردن عدسی برتراند استفاده کرد. در مطالعه محورها نیز تنها یک بلور باید در میدان میکروسکوپ قرار گیرد و محور نوری میکروسکوپ کاملاً تنظیم باشد.

۳-۴- واسنجی میکروسکوپ

در تحقیقات کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی، سنجش ابعاد کانی یکی از موارد ضروری است. اندازه این کانی‌ها به قدری کوچک است که معمولاً با چشم غیرمسلح قابل تشخیص نیستند و ابعاد آن‌ها باید به کمک میکروسکوپ پلاریزان سنجیده شود. وسایلی که برای این کار لازم است عبارتند از:

- میکرومتر چشمی: این ریزسنج، صفحه‌ای شیشه‌ای گرد با محوری مدرج است (شکل ۳-۳).
- تیغه ریزسنج: تیغه‌ای است که به صورت استاندارد مدرج شده است.



شکل ۳-۳- استفاده از میکرومتر برای واسنجی میکروسکوپ

سنجش ابعاد کانی‌ها با کمک ریزسنجی که در عدسی چشمی قرار دارد انجام می‌شود. فاصله بین واحدهای مدرج در ریزسنج عدسی چشمی برای عدسی‌های شیئی با بزرگنمایی‌های مختلف است. بنابراین باید نخست اندازه واحدهای تقسیم شده در ریزسنج چشمی با هر یک از عدسی‌های شیئی تعیین شود. مراحل انجام واسنجی به قرار زیر است:

- وارد کردن عدسی چشمی ریزسنجدار به داخل لوله میکروسکوپ
- تنظیم خطوط مدرج آن با چرخاندن پیچ تنظیم

- قرار دادن تیغه ریزسنج روی صفحه چرخان میکروسکوپ
- تنظیم خطوط مدرج تیغه ریزسنج با چرخاندن پیچ تنظیم
- منطبق کردن مبدأ محورهای دو ریزسنج بر روی هم
- تعیین مقیاس (عمل تعیین مقیاس باید برای تمام عدسی‌های شیئی به طور مجزا انجام شود.)

۳-۵- مطالعات میکروسکوپی مقاطع نازک

تشخیص بسیاری از کانی‌ها و سنگ‌ها در نمونه دستی به دلیل ریز بودن آن‌ها امکان‌پذیر نیست. برای بررسی دقیق این گونه نمونه‌ها باید از مقاطع نازک و میکروسکوپ پلاریزان استفاده کرد. مثلاً در نمونه‌ای از یک سنگ مانند گرانیت که کانی‌های آن به صورت دانه‌های تیره و روشن، قابل مشاهده‌اند، به کمک چند آزمایش می‌توان کانی‌های تشکیل دهنده آن را تا حدودی تشخیص داد و سرانجام سنگ را شناسایی و نام‌گذاری کرد. ولی این کار را درباره تمام نمونه‌های سنگ‌ها نمی‌توان انجام داد، زیرا کانی‌های سازنده سنگ‌ها غالباً ریزبلورند و با چشم تشخیص داده نمی‌شوند. در یک قطعه بازالت از آنجا که کانی‌های سازنده آن بسیار ریزند و به طور متراکم پهلوی هم قرار گرفته‌اند، به سادگی قابل تشخیص نیستند در یک قطعه سنگ آهک ریز بلور، تشخیص وجود کانی‌های دیگر بسیار مشکل است. برای بررسی دقیق و کامل این گونه سنگ‌ها و به طور کلی تمام سنگ‌ها با میکروسکوپ باید مقطع نازکی از آن‌ها تهیه شود تا نور به راحتی از کانی‌های شفاف مقاطع نازک عبور کند. در مقاطع نازک نه تنها می‌توان انواع کانی‌های هر سنگ را تشخیص داد، بلکه به نظم و آرایش دانه‌ها، شکل آن‌ها، بافت سنگ و سیمانی که دانه‌ها را به هم متصل کرده است و حتی به زمان نسبی تبلور هر کانی پی برد. میکروسکوپ پلاریزان، نه تنها اجزای سنگ‌ها را بزرگتر نشان می‌دهد، بلکه در نتیجه تغییر دادن نور معمولی به نورهای مختلف (نور طبیعی، نور پلاریزه و نور متقابله) بسیاری از خصوصیات کانی‌ها را آشکار می‌سازد. میکروسکوپ‌های نوری معمولاً دارای تجهیزات جانبی مثل عدسی‌های شیئی با بزرگنمایی‌های مختلف و دورریزین‌های رقومی هستند. در آزمایشگاه‌های پتروگرافی علاوه بر مطالعات پتروگرافی مطالعاتی هم روی نمونه دستی انجام می‌شود که شامل اندازه‌گیری سختی (استفاده از جدول موس) و تست اسید کلریدریک برای شناسایی کربنات‌ها است. رنگ نمونه دستی هم مورد بررسی قرار می‌گیرد و با استفاده از استریوومیکروسکوپ در بزرگنمایی‌های مختلف مناسب‌ترین محل برای برش و تهیه مقاطع میکروسکوپی انتخاب می‌شود. معمولاً میکروسکوپ‌های پتروگرافی کیفیت بالا قابلیت بزرگنمایی مناسب ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ برابر را دارند.

در مطالعات مقاطع نازک باید موارد زیر مورد بررسی قرار گیرد:

- نسبت کانی‌های موجود در سنگ (نوع، درصد نسبی و اندازه هر کانی)

- تعیین بافت سنگ

- تعیین شکل، اندازه و توزیع ابعاد بلورها و اجزای تشکیل دهنده

رده‌بندی‌های متنوعی برای نام‌گذاری سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی بر مبنای مطالعات میکروسکوپی ارایه شده است. در گزارش مطالعه مقاطع میکروسکوپی باید در مرحله نام‌گذاری سنگ‌ها از رده‌بندی مشخصی استفاده شود و نام رده‌بندی مورد استفاده نیز به صورت دقیق ذکر شود. متدائل‌ترین رده‌بندی برای نام‌گذاری سنگ‌ها عبارتند از:

- سنگ‌های آذرین: اشترييكايزن^۱

- سنگ‌های رسوی:

- سنگ‌های رسوی تخریبی: فولک^۲ یا پتی‌جان^۳

- سنگ‌های رسوی کربناته: فولک یا دانهام^۴

- سنگ‌های دگرگونی: وینکلر^۵ و BGS^۶

۶-۳- فرم گزارش نویسی مقاطع نازک و نازک-صیقلی

فرم گزارش نویسی مقاطع نازک و نازک صیقلی در جدول ۱-۳ ارایه شده است. مطالعه کننده ضمن تکمیل دقیق فرم حداقل دو تصویر میکروسکوپی را نیز باید انتخاب و به همراه گزارش ارسال کند. شکل‌ها باید گویا شوند و نام هر کانی در آن ذکر شده باشد.

جدول ۱-۳- فرم گزارش نویسی مقاطع نازک و نازک-صیقلی

نام آزمایشگاه	درخواست کننده:
شماره آزمایشگاهی نمونه:	نام کانی‌های اصلی (بیش از ۱۰ درصد):
تاریخ:	نام کانی‌های فرعی (۲ تا ۱۰ درصد):
هدف از مطالعات:	نام کانی‌های جزیی (کمتر از ۲ درصد):
كمی، شکل، اندازه و تغییرات ثانویه توصیف از نظر مقادیر نیمه بافت‌های موجود:	بافت‌های موجود:
	دگرسانی‌ها:
	نام ردبهندی مورد استفاده:
	نام سنگ:
	توضیحات:*

در قسمت توضیحات جدول ۱-۳ باید شکل کانی‌های غیرفلزی و فلزی و اندازه آن‌ها با دقت توصیف و محدوده نسبی ابعاد آن‌ها مشخص شود. ارتباط بین کانی‌های غیر فلزی و فلزی باید با دقت مشخص شود و تقدم و تاخر تشکیل کانی‌ها مورد بررسی قرار گیرد. هر گونه رگه و رگچه در نمونه با دقت بررسی و طول و ضخامت رگه-رگچه‌ها مشخص شود. کانی‌های فلزی موجود در

۱- Streikheisen

۲- Folk

۳- Pettijohn

۴- Dunham

۵- Winkler

۶- British geological survey

رگچه‌ها باید مشخص و نسل‌های مختلف زیشی آن‌ها بررسی شود. نوع ادخال‌های موجود در کانه‌ها و ابعاد آن‌ها باید تعیین شود. درصد نسبی تقریبی کانه‌ها با استفاده از نمودارهای استاندارد در نمونه باید مشخص و به صورت نیمه‌کمی گزارش شود. نوع دگرسانی‌ها و تغییرات رخ داده در نمونه‌ها باید به نحو مطلوب توصیف شود. توضیحات ارایه شده در متن باید به عکس‌های مناسب که معرف پدیده‌های کلیدی است ارجاع داده شود. فرمول شیمیایی کانی‌ها و عالیم اختصاری آن‌ها باید در همه بررسی‌ها ارایه شود. نوع درگیری کانه با باطله و کانه‌ها با یکدیگر باید توصیف و به دقت تعیین شود. حداقل دو تصویر میکروسکوپی به صورت پیوست به همراه گزارش مطالعه باید ارایه شود. این تصاویر میکروسکوپی باید مقیاس خطی داشته باشند و نوع نور مورد مطالعه (عبوری یا انعکاسی) عادی، پلاریزه و متقارب بودن در آن‌ها ذکر شود. برای نمونه‌هایی که مریبوط به سنگ میزان هستند و نوع سنگ از طریق مطالعات میکروسکوپی قابل شناسایی است باید نام سنگ تعیین و دگرسانی‌هایی که در کانی‌های تشکیل دهنده سنگ رخ داده مشخص شود.

٤ فصل

**مطالعات میکروسکوپی نور انعکاسی (مقاطع
صیقلی و نازک-صیقلی)**

۴-۱- آشنایی

میکروسکوپی که برای شناسایی و مطالعه کانه‌ها به کار گرفته می‌شود در اصل مشابه همان میکروسکوپی است که در سنگ‌شناسی به کار می‌رود. جز این که در این میکروسکوپ از نور انعکاسی استفاده می‌شود. میکروسکوپ‌های پیشرفته امکان مطالعه هم‌زمان با نور انعکاسی و نور عبوری را دارند. این نوع میکروسکوپ‌ها برای مطالعه نمونه‌های صیقل یافته و مقاطع نازک، به ویژه برای تشخیص کانی‌های اپک و بررسی‌های مربوط به بافت مواد معدنی کاربرد دارند. همچنین برای تعیین پاراژنر و نحوه تشخیص کانه‌ها و کانی‌ها از آن‌ها استفاده می‌کنند.

کانی‌ها از نظر خواص نوری به سه گروه شفاف، نیمه‌شفاف و اپک (کدر) تقسیم می‌شوند. اغلب کانی‌های فلزی نور را از خود عبور نمی‌دهند، بنابراین آن‌ها را نمی‌توان بر اساس روش قانون شکست نور مورد مطالعه و شناسایی قرار داد. کانی‌های فلزی بر اساس قانون انعکاس نور مطالعه می‌شوند. وسیله مطالعه و شناسایی کانی‌های فلزی، میکروسکوپ پلاریزان انعکاسی است. به مجموعه مطالعات در برگیرنده شناخت کانی و بررسی بافت کانی‌های فلزی مینرالوگرافی می‌گویند. مطالعات مینرالوگرافی برای دو هدف مهم انجام می‌شود: یکی تحلیل علمی در مورد نحوه و چگونگی تشکیل و شکل‌گیری کانی‌سازی در منطقه مورد مطالعه و دیگری پاسخ‌گویی به خواسته‌ها و نیازهای کانه‌آرایی و تحلیل‌های اقتصادی. در هدف اول نکاتی که مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرند عبارت از شناسایی کانی‌ها، مطالعه بافت، تعیین ابعاد و درصد نسبی آن‌ها و تعیین پاراژنر است. در مطالعه با هدف فرآوری مواردی که لازم است بررسی شود عبارت از تشخیص کانی‌های اقتصادی و غیراقتصادی، مطالعه بافت با توجه به اندازه کانی‌ها، شکل، ارتباط و موقعیت و درگیری آن‌ها است. در شکل ۱-۴ فرم گزارش‌نویسی مقاطع صیقلی نشان داده شده است.

در کار با میکروسکوپ انعکاسی به ویژه مطالعه کانه‌های اقتصادی، شناخت و تفسیر رابطه بین کانی‌ها (بافت) به اندازه شناخت خود کانه‌ها حائز اهمیت است. برای مطالعه و شناسایی موارد زیر از بافت کانه‌ها کمک گرفته می‌شود:

- برای نشان دادن ماهیت فرآیندهای موثر در تشکیل اولیه کانسار

- برای نشان دادن تغییر ثانویه نظیر تعادل مجدد، دگرگونی، سخت‌شدگی، فرسایش، اکسیداسیون و سیمانی شدن

نتایج مطالعات میکروسکوپی بافت یک کانسنگ در مراحل خردایش، نرمایش و پرعيار کردن آن کانسنگ اطلاعاتی را ارایه می‌دهد تا این کار به نحو موثرتری انجام گیرد. برخی از کانه‌ها مثل اکسیدها، سولفیدها و آرسنایدها نسبت به کانه‌های دیگر مانند پیروتیت و سولفیدهای آهن-مس بافت‌های آغازین خود را بهتر حفظ می‌کنند. مابقی کانه‌ها نظیر آرژانتیت و فلزات خالص به قدری مستعد هوازدگی هستند که به ندرت بافت آغازین آن‌ها حفظ و مشاهده می‌شود. کانسنگ‌های تک کانی نسبت به کانسنگ‌های چند کانی که دستخوش تغییرات زیادی در بافت می‌شوند، کمتر مستعد هوازدگی هستند. هیچ یک از طرح‌های رده‌بندی بافت‌ها کامل و بی‌عیب نیست و تا به امروز هیچ روش بررسی جامعی ارایه نشده است. بافت‌ها را می‌توان به صورت زون‌بندی، متعددالمرکز، هم‌آهنگ، هم‌رشدی، توده‌ای و پوسته‌ای توصیف کرد که در واقع اشاره به منشا اولیه آن‌ها است و تا حدودی شکل ظاهری یک کانی و کانه یا ترکیبی از آن‌ها را مورد توجه قرار می‌دهد.

توالی پاراژنتیک یا به عبارتی دیگر ترتیب زمانی تبلور کانی‌ها و کانه‌های یک کانسار در واقع مرحله شکل‌گیری آن‌ها است که با مطالعه میکروسکوپی مقاطع صیقلی و نازک-صیقلی قابل بررسی است. معمولاً این توالی، زمان تشکیل تدریجی کانه‌ها و تحت تاثیر قرار گرفتن نهشت‌های شرایط وضعیتی را که در اثر هر یک از فازها به وجود می‌آید معرفی و عدم تعادل ایجاد شده در

محیط را نیز توصیف می‌کند. در یک توالی پاراژنتیک علاوه بر تشخیص نوع و تغییرات کانه‌ها، زمان آغاز تهنشست و مدت زمان تهنشینی کانی‌های باطله باید مشخص شود. معمولاً توالی پاراژنتیک به صورت یک نمودار میله‌ای یا جریانی نمایش داده می‌شود. از آنجا که هر نهشته معدنی منحصر به فرد است بنابراین هیچ روش یکنواخت و استانداردی برای تعیین توالی پاراژنتیکی که ترتیب زمانی تبلور کانی‌ها و کانه‌ها را نشان دهد وجود ندارد و این امر به کلی متکی بر نمونه‌های جمع‌آوری شده و تجربه کارشناس است.

۴-۲- معیار شناسایی کانی‌های اپک به کمک میکروسکوپ انعکاسی

به طور کلی معیار شناسایی کانی‌های اپک عبارتند از:

- ^۱- خواص نوری
- ^۲- خواص سختی
- ^۳- خواص ساختاری و مورفولوژیکی

۴-۲-۱- خواص نوری

خواص نوری در نور عادی (PPL)^۴ و نور پلاریزه (P⁺)^۵ مورد مطالعه قرار می‌گیرد. محیط مطالعه خواص نوری ممکن است در هوا یا روغن باشد که برای هر یک از آن‌ها از عدسی شیئی متفاوتی استفاده می‌شود. در صورتی که حد فاصل بین نمونه و عدسی شیئی تنها محیط هوا باشد از عدسی معمولی^۶ و در صورتی که در حد فاصل بین نمونه و عدسی شیئی از روغن شفاف^۷ (دارای ضریب شکست یکسان با عدسی شیئی) قرار داده شود از عدسی روغن^۸ استفاده می‌کنند. معمولاً از عدسی‌های روغن در بزرگنمایی زیاد $50\times$ و $100\times$ استفاده می‌شود. خواص نوری مورد مطالعه در این دو نور کمی متفاوت است و قدرت تفکیک به کمک عدسی روغن افزایش می‌یابد. پس از هر بار استفاده از عدسی روغن باید سطح نمونه و عدسی شیئی کاملاً تمیز شود.

الف- خواص نوری مورد مطالعه در نور عادی عبارتند از:

- رنگ در نور عادی
- قدرت انعکاس
- انعکاس چند رنگی

ب- خواص نوری مورد مطالعه در نور پلاریزه عبارتند از:

- رنگ در نور پلاریزه

-
- ۱- Optical properties
 - ۲- Hardnes properties
 - ۳- Structural and morphological properties
 - ۴- Plain polarized light
 - ۵- Cross polar
 - ۶- Air- objective
 - ۷- Immersion oil
 - ۸- Oil- objective

- ناهمسانگردی

- انعکاس داخلی

در کتاب‌های مینرالوگرافی جداولی وجود دارد که این خواص را به صورت مقایسه‌ای ارایه کرده‌اند و همچنین طبق فرم استاندارد، ویژگی‌های کاملاً هر کانی در یک صفحه به صورت استاندارد در این کتاب‌ها وجود دارد.

۴-۲- خواص سختی

در مطالعات مینرالوگرافی سه نوع سختی مورد مطالعه قرار می‌گیرد که عبارتند از:

- سختی صیقلی

- سختی خراشیدگی

- سختی دستگاهی (ویکرز)

که در بین این سه نوع، سختی صیقلی به صورت نسبی در مطالعات مینرالوگرافی مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای اندازه‌گیری این نوع سختی از حاشیه کلب^۱ استفاده می‌شود.

۴-۳- خواص ساختاری و مورفولوژیکی

این خواص عبارتند از:

- شکل

- هبیت^۲ (فرم بلوری غالب)

- کلیواژ

- جداشدگی (پارتینگ)^۳

- ماکل

۴-۴- فرم گزارش‌نویسی مقاطع صیقلی

فرم گزارش‌نویسی مقاطع نازک و نازک-صیقلی در جدول ۴-۱ ارایه شده است. مطالعه کننده ضمن تکمیل دقیق فرم، حداقل دو تصویر میکروسکوپی را نیز باید انتخاب و به همراه گزارش ارسال کند. تصویرها باید گویا و نام هر کانی در آن ذکر شده باشد. موارد زیر باید به نحو مطلوب در قسمت توضیحات جدول ۴-۱ ارایه شوند:

- شکل و ابعاد کانه‌ها

- فراوانی و مقادیر کمی کانه‌ها

- نوع ادخال‌های موجود در کانه‌ها و اندازه آن‌ها

۱- Kelb line

۲- Habit

۳- Parting

- دگرسانی‌های موجود در کانه‌ها
- درگیری و ارتباط کانه با گانگ

جدول ۴-۱- فرم گزارش نوبسی مقاطع صیقلی

نام آزمایشگاه	
درخواست‌کننده:	کد درخواست‌کننده:
شماره صحرایی نمونه:	شماره آزمایشگاهی نمونه:
موقعیت و محل برداشت نمونه:	تاریخ:
نام پژوهش:	هدف از مطالعات:
توصیف و ارایه مشخصات	
نوع درگیری‌های بین کانه‌های باطله و کانه‌ها:	کانه‌های اصلی (بیش از ۱۰ درصد):
نوع درگیری‌های بین کانه‌ها:	کانه‌های فرعی (۲ تا ۱۰ درصد):
نوع کانسنسگ:	کانه‌های جزیی (کمتر از ۲ درصد):
توضیحات:	بافت‌های موجود:
	**

* در این قسمت باید شکل کانه‌ها و اندازه آن‌ها خوب توصیف و محدوده نسبی ابعاد آن‌ها مشخص شود. مقدار تقریبی کانه‌ها در نمونه باید به صورت نیمه کمی گزارش شود. نوع دگرسانی‌ها و تغییرات رخداده در نمونه‌ها باید توصیف شود. توضیحات ارایه شده در متن باید به شکل‌های مناسب ارجاع داده شود. فرمول شیمیایی کانه‌ها و عالیم اختصاری آن‌ها باید ارایه شود. نوع درگیری کانه با باطله و کانه‌ها با یکدیگر نیز باید به دقت توصیف شوند.

فصل ۵

دستور العمل مطالعات میکروسکوپی و
میکروترموتری سیالات در گیر

۱-۵- آشنایی

سیالات درگیر به صورت نقص در ساختار بلورها و حاصل یک سری فرآیندهای پیچیده هستند. در بعضی از بلورها در هنگام تبلور، سیالاتی در فضاهای بین سطوح بلوری آنها به تله می‌افتد که به آنها سیالات درگیر گفته می‌شود. سیالهای درگیر، بخش جدایی‌ناپذیر از هر کانی هستند و مطالعه آنها به اندازه مطالعه اجزای کانیابی و شیمیابی اصلی سنگ، اهمیت و ارزش دارد. نسبت‌های حجمی این سیالات در مقایسه با حجم کل کانی‌ها بسیار ناچیز است، اما این مساله از اهمیت اطلاعاتی که از طریق مطالعه آنها به دست می‌آیند، نمی‌کاهد. هر بلور طبیعی که از فاز مایع متبلور و رشد کرده باشد دارای سیالات درگیر است. رشد بلورهای کامل حتی در شرایط دقیقاً کنترل شده آزمایشگاهی بسیار مشکل است. طیف نقایص بلور در محدوده‌ای از نقایص کوچک در مقیاس اتمی تا نقایص فاحش در مقیاس بزرگ قرار دارد. اگر به این پدیده‌ها از دیدگاه متخصصان جزو نقایص به شمار می‌روند، ولی برای زمین‌شناسان چنین نقایصی به صورت سیال یا ادخال‌های جامد دیدگاه مناسبی برای درک فرآیند رشد بلورها در طبیعت و شرایط فیزیکوشیمیابی زمان رشد بلور را فراهم کند. فراوانی و گسترش وسیع سیالات درگیر نشان می‌دهد که سیالات در کلیه فرآیندهای تشکیل کانی‌های سنگ اهمیت دارند. سیالات درگیر، قطرات کوچکی هستند که در جریان رشد بلور در آن محبوس شده‌اند. برخی از آن‌ها را در بلورهای شفاف با چشم غیرمسلح و یا عدسی‌های دستی می‌توان به آسانی مشاهده کرد. سیالات درگیر ممکن است نماینده سیالی باشند که با کانی در جریان رشد در حال تعادل بوده است و بنابراین اطلاعاتی از منشا را ارایه می‌کنند. ابعاد سیالات درگیر، از قطری کمتر از قطر لازم برای دیدن در میکروسکوپ سنگ‌شناسی معمولی تا چند سانتی‌متر تغییر می‌کند. سیالات درگیر بزرگتر از ۵ میکرون در مطالعات میکروترمومتری مورد استفاده قرار می‌گیرند. اکتشاف بسیاری از کانسارهای مس پورفیری، قلع-تنگستن پورفیری، تیپ دره می‌سی‌سی‌بی، ذخایر اپی‌ترمال در دنیا به کمک اطلاعات سیالات درگیر انجام شده است. با توجه به اینکه در بسیاری از کانی‌های موجود در سنگ‌های آذرین، رسوبی، دگرگونی و حتی شهاب سنگ‌ها نیز سیالات درگیر مشاهده می‌شود استفاده از آن‌ها برای شناخت شرایط حاکم بر محیط‌ها (از نظر دما و شوری)، دگرگونی (از نظر فشار و دما) و آذرین (از نظر ترکیب شیمیابی ماقما، فشار و دمای حاکم بر محیط تشکیل کانی‌ها) توصیه می‌شود.

۲-۵- سیالات درگیر

سیالات درگیر در کانی‌ها برای اولین بار در قرن ۱۵ توسط ابوریحان بیرونی توصیف شده است. مطالعات سیالات درگیر در سه مرحله پتروگرافی سیالات درگیر، میکروترمومتری و تعبیر و تفسیر نتایج انجام می‌گیرد. قبل از مطالعات میکروترمومتری باید اطمینان حاصل کرد که سیال درگیر از زمان به دام افتادن تا مطالعه دچار تغییر نشده باشد.

۳-۱- انواع سیالات درگیر بر اساس فازها

علیرغم این که سیال به دام افتاده در درون بلورها، در ابتدا به صورت فاز یکنواخت و همگن است ولی به تدریج و با سرد شدن سیال، فازهای مختلفی از آن تشکیل می‌شود. مهم‌ترین فازهای سیالهای درگیر شامل فاز مایع به صورت آب و دی‌اکسید کربن، فاز جامد شامل کانی‌های مختلف فلزی و غیرفلزی (به ویژه نمک‌ها) و فاز گازی است. بر اساس تعداد فازهای مشاهده شده در دمای اتاق، سیالات درگیر را به انواع زیر تقسیم می‌کنند:

- الف- سیالات درگیر تک فاز مایع (L): این سیالات ساده‌ترین نوع انکلوزیون‌ها هستند و تماماً از مایع (عموماً آبگین) پر شده‌اند.
- ب- سیالات درگیر دو فازی غنی از مایع (L+V): فاز مایع در نوع غالب است اما یک حباب بخار کوچک نیز همیشه وجود دارد و کمتر از ۵۰ درصد کل حجم سیال را اشغال می‌کند.
- پ- سیالات درگیر دو فازی غنی از بخار (V+L): در این حالت یک فاز بخار غالب است و بیش از نیمی از حجم سیال را اشغال می‌کند.
- ت- سیالات درگیر تک فاز بخار (V): این گروه، تماماً به وسیله یک فاز بخار با چگالی کم (عموماً مخلوطی از CH_4 , H_2O , N_2 , CO_2) بدون هیچ فاز مایع مریبی پر شده‌اند.
- ث- سیالات درگیر چند فازی جامد و چند جامدی (S+L \pm V): این دو گروه از نظر داشتن یک یا چند فاز بلورین جامد (کانی‌های نوزاد) به عنوان جزو اصلی در کنار مایع و بخار، به هم شاهد دارند.
- ج- سیالات درگیر مایع نامیخته (L \pm V): این سیالات با حضور دو مایع نامیخته مشخص می‌شوند که یکی آبگین و دیگری غنی از CO_2 است. فاز غنی از CO_2 ممکن است حاوی مقادیر قابل توجهی متان یا نیتروژن باشد. یک حباب بخار غنی از CO_2 نیز ممکن است وجود داشته باشد که به چگالی کل فاز غنی از CO_2 بستگی دارد.
- ج- ادخال‌های شیشه: ادخال‌های به دام افتاده از مذاب سیلیکاتی را ادخال‌های شیشه می‌گویند که در درشت بلورهای (فنوکریست‌های) سنگ‌های آتشفشاری و نیمه‌آتشفشاری فراوان هستند.

۵-۲-۲- انواع سیال‌های درگیر بر اساس زمان به دام افتادن

این تقسیم‌بندی جنبه کاربردی دارد و برای انتخاب سیال‌های درگیر مناسب مطالعات میکروترموتری (ریزدماسنجی) بسیار مهم است. در این تقسیم‌بندی، سیال‌های درگیر به سه گروه سیال‌های درگیر اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب تقسیم می‌شوند.

الف- سیالات درگیر اولیه

این سیال‌ها هم‌زمان با رشد بلور در برگیرنده آن‌ها تشکیل می‌شوند و در اثر رشد شاخه درختی صفحات بلوری، رشد مارپیچی، رشد نیمه‌موازی و یا انحلال بخشی از سطوح بلوری در درون این صفحات، به تله می‌افتدند. اغلب به صورت پراکنده در متن بلور قرار گرفته‌اند و به صورت سیال‌های درگیر منفرد تشکیل شده‌اند. در مواردی که سطوح رشد بلوری مشخص باشد، سیالات درگیری که در امتداد این سطوح قرار گرفته‌اند نیز از نوع اولیه هستند.

ب- سیال‌های درگیر ثانویه

این سیال‌ها پس از تبلور کامل بلور در برگیرنده آن‌ها به وجود می‌آیند. یکی از روش‌های تشکیل سیال‌های درگیر ثانویه، محبوس شدن سیال در محل شکستگی‌هایی است که پس از تشکیل کانی در آن به وجود می‌آیند. از سیال‌های درگیر ثانویه عموماً نمی‌توان برای شناخت شرایط فیزیکوشیمیایی سیالات کانه‌ساز استفاده کرد ولی برای شناخت پدیده‌های تکتونیکی و مهاجرت سیالات، کاربرد زیادی دارند. این سیالات درگیر در ردیف‌های (صفحاتی) قرار دارند که از مرز بین بلورها عبور می‌کند.

پ- سیال‌های درگیر ثانویه کاذب

این گروه از سیال‌ها به هنگام تبلور بلور در برگیرنده آن‌ها تشکیل می‌شوند ولی خصوصیاتی مشابه با گروه سیال‌های ثانویه دارند. اگر در هنگام رشد بلور، در اثر پدیده‌های مختلف مثل تنش‌های تکتونیکی، بلور ترک بخورد، سیال‌های کانی‌ساز در محل درزهای و ترک‌ها متتمرکز می‌شوند و سیال‌های درگیر ثانویه کاذب را به وجود می‌آورند. این شکستگی‌ها معمولاً بر خلاف شکستگی‌های ثانوی در تمام طول بلور گستردۀ نیستند و یا ممکن است تغییراتی را در طول بلور از خود نشان دهند. ادامه رشد بلور شکستگی مربوط را می‌پوشانند بنابراین شکستگی از نوع ثانویه محسوب نمی‌شود و سیال درگیر هم مشابه نوع اولیه نیست. ردیف این سیالات از مرز بلورها عبور نمی‌کند.

۵-۳- کاربرد مطالعات سیالات درگیر

سیالات درگیر در درون اکثر کانی‌هایی وجود دارند که در یک محیط سیال (بخار، مایع و گاز) تشکیل شده‌اند و از آن‌ها می‌توان در شاخه‌های مهمی از علوم از جمله در زمین‌شناسی به صورت گسترده‌ای استفاده کرد. با استفاده از مطالعات سیالات درگیر می‌توان اطلاعات زیادی در مورد دمای تشکیل کانی‌ها، فشار حاکم بر محیط تشکیل آن‌ها، چگالی سیال تشکیل دهنده کانی‌ها و نیز ترکیب شیمیایی سیال‌های کانی‌ساز به دست آورد. موارد اصلی مطالعه سیال‌های درگیر را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت:

۵-۴- بررسی دیاژنر و ویژگی‌های سیالات در حوضه‌های رسوبی

سیالات در فرآیندهای رسوبی نقش بنیادی دارند. تشکیل و مهاجرت هیدروکربن‌ها و سیالات کانه‌دار طی فشردنگی و دیاژنر، عامل تشکیل منابع نفتی جهان و بخش بزرگی از کانسارهای فلزات پایه است.

۵-۵- اکتشاف ذخایر هیدروکربنی

سیالات درگیر، نوع سیال، وضعیت جریان و ماهیت آن‌ها را که در یک کانی ثبت شده است نشان می‌دهد. بنابراین با مطالعه سیستماتیک آن‌ها می‌توان نواحی‌ای را که در آن‌ها سیالات ویژه (یعنی سیالات کانه‌دار و هیدروکربن) فعال بوده‌اند را مشخص ساخت. یکی از مهم‌ترین کاربرد سیالات درگیر، بررسی نحوه تشکیل و اکتشاف کانسارهای گرمابی است. با مطالعه سیالات درگیر، امکان شناسایی زون‌های کانی‌سازی شده و زون‌های فاقد کانی‌سازی وجود دارد و از آن‌ها می‌توان به عنوان معیار اکتشافی مواد معدنی مثل ذخایر طلا استفاده کرد.

۵-۶- تکتونیک

با توجه به اهمیت سیالات درگیر در تغییر شکل سنگ‌ها، شکستگی (گسلش) و احتمالاً ایجاد زمین‌لرزه از سیالات درگیر استفاده می‌شود. بنابراین دورنمای وسیعی برای تحقیقات در این زمینه وجود دارد.

۵-۷- جواهرشناسی

از مشاهدات میکروسکوپی ساده می‌توان جواهرات مصنوعی را از انواع طبیعی تشخیص داد. حتی در برخی موارد می‌توان

کانساری را که یک سنگ جواهر خاص از آن مشتق شده است، مشخص کرد.

۵-۴- تجهیزات مورد نیاز

تجهیزات مورد نیاز برای مطالعه سیالات درگیر عبارتند از:

- میکروسکوپ نوری با وضوح مناسب و قابلیت بزرگنمایی تا ۱۰۰۰ برابر (شکل ۱-۵)
- صفحه گرم‌کننده و سردکننده^۱ با حداقل بازه دمایی -۱۹۶- تا +۶۰۰ درجه سانتی‌گراد (شکل ۲-۵)
- کنترل‌کننده گرمایش
- کنترل‌کننده سرمایش
- مخزن نیتروژن مایع
- مخزن آب (برای خنک کردن صفحه گرم‌کننده در حرارت‌های بالا)
- عدسی‌های شیئی با فاصله کاری زیاد^۲



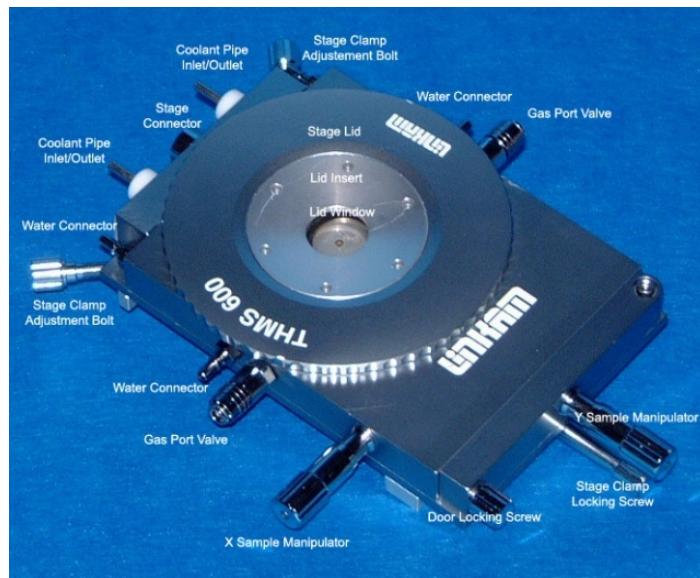
شکل ۱-۵- میکروسکوپ مجهز به صفحه گرم‌کننده و سردکننده

۵-۵- نکات ایمنی

نیتروژن مایع، منجمدکننده بسیار ایمن است که تا دمای -۱۹۶- درجه سانتی‌گراد اجسام را سرد می‌کند، به شرطی که با احتیاط با آن کار شود و در محفظه‌های کاملاً عایق ذخیره شود. در این حالت هدر رفتن آن در اثر تبخیر نیز به حداقل خواهد رسید. نیتروژن، گاز غیرسمی و از نظر شیمیایی بی‌اثر و غیر قابل اشتعال است اما به منظور رعایت ایمنی کامل بهتر است در یک اتاق با تهویه مناسب نگهداری شود. در هنگام پر کردن مخزن نیتروژن دستگاه، باید از وسایل ایمنی مناسب (دستکش، روپوش، ماسک و عینک مناسب) استفاده کرد.

^۱ Heating- freezing stage

^۲ Long working distance (LWD)



شکل ۲-۵- صفحه گرم کننده و سرد کننده مدل لینکهام

۶-۵- واسنجی (کالیبراسیون) صفحه گرم کننده و سرد کننده

واسنجی دقیق، یکی از پیش نیازهای مطالعات میکروترمومتری است و باید به عنوان شاخص اندازه گیری آزمایشگاهی در نظر گرفته شود. ضرورت واسنجی به این دلیل است که سنسور حرارتی با کمی فاصله از سیالات درگیر قرار دارد و دمای آن ممکن است بالاتر یا پایین تر از دمای واقعی باشد (شکل ۳-۵). به علاوه، این اختلاف زمانی، اختلاف دمای کاری استیج و دمای محیط را افزایش می دهد و ممکن است باعث عدم اطمینان در نتایج حاصل شود. برای واسنجی از استاندارد استفاده می شود. یک ماده زمانی به عنوان استاندارد در واسنجی به کار می رود که دارای ویژگی های زیر باشد:

- عاری از ناخالصی باشد.

- قبل از ذوب متحمل هیچ نوع تجزیه حرارتی نشود.

- نقطه ذوب مشخص، واضح و دقیقا قابل تشخیص داشته باشد.

مراحل انجام واسنجی در شکل ۳-۵ و مواد مورد استفاده در جدول ۱-۵ ارایه شده است.

در انجام واسنجی باید نکات زیر رعایت شود:

- برای به دست آوردن نتایج تکرار پذیر، استانداردهای جامد باید در یک خشک کن نگهداری شوند تا جذب رطوبت از اتمسفر به حداقل برسد. به همین ترتیب مایعات نیز باید در بطری های با درب محکم، در یک مکان خنک و خشک و به دور از نور مستقیم آفتاب نگهداری شوند.

- مقدار ماده مورد استفاده باید همیشه کمتر از یک میکرولیتر باشد، ماده اضافی را باید دور ریخت و نباید مجددا به داخل بطری باز گرداند.

- لوله های مویینه بهترین روش برای اندازه گیری ویژگی های مایعات و لامل های شیشه ای بهترین روش برای جامدات هستند.

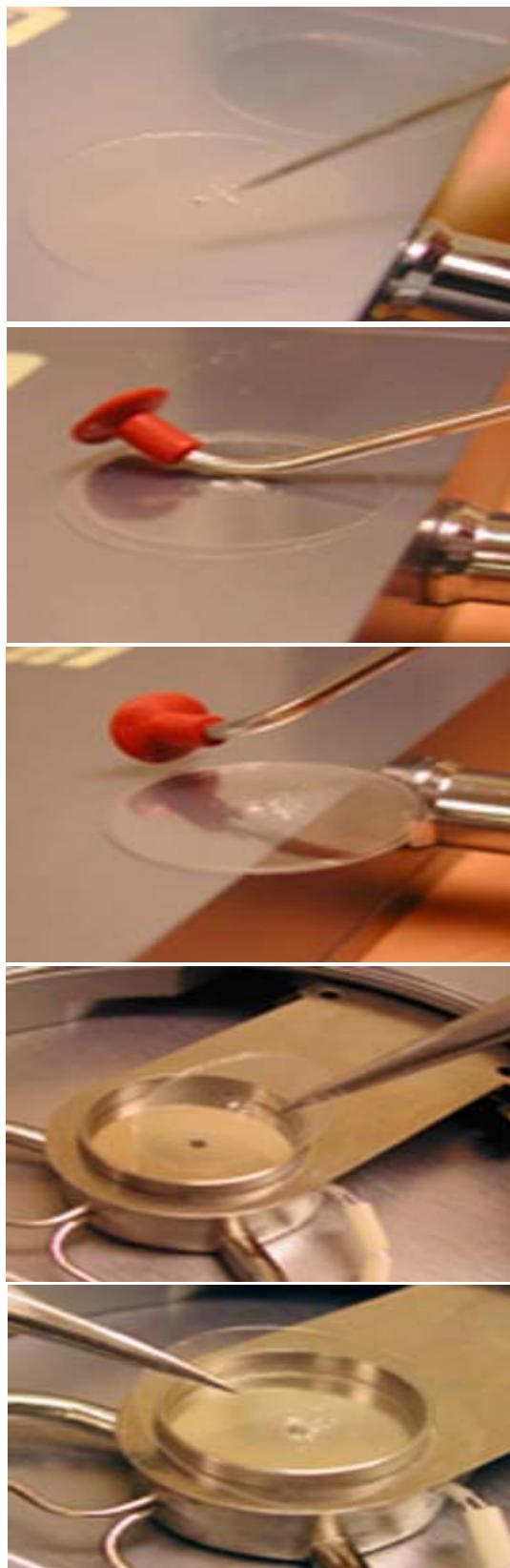
- در حین نزدیک شدن به نقطه ذوب گرمایش باید با آهنگ ۵/۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه افزایش یابد.
- کنترل منظم ماهانه واستنجی از نظر صفر بودن انحراف و کهنه شدن تدریجی سنسور حرارتی توصیه می‌شود.

۶-۱-۵- مراحل انجام واستنجی (کالیبراسیون)

- مراحل واستنجی به شرح زیر است:
- تمیز کردن سطح استیچ با الکل
 - قرار دادن لامل بر روی استیچ
 - ریختن مقدار کمی از نمونه استاندارد بر روی لامل کوارتزی با سوزن
 - صاف و یکنواخت کردن ماده استاندارد
 - قرار دادن لامل در محل قرارگیری نمونه و بستن درب استیل آن
 - تمکز بر روی مقدار کمی از نمونه با به کارگیری اهرم‌های جایه‌جایی در جهت X و Y
 - انتخاب آهنگ تغییرات حرارتی معمولاً حدود $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$
 - ثابت نگه داشتن دما به مدت ۱۰ دقیقه
 - ادامه فرآیند تغییرات دمایی تا $0/20$ درجه سانتی‌گراد نقطه ذوب ویژه نمونه و سپس تا 3 درجه بعد از نقطه ذوب

جدول ۱-۵- مواد استاندارد متداول برای واستنجی دما و نقطه ذوب آن‌ها

نقطه ذوب (درجه سانتی‌گراد)	مواد
-۹۵/۰	هگزان
-۹۰/۶	هپتان
-۶۳/۰	کلروفرم
-۵۶/۷۹	اوکتان
-۵۶/۶	ادخال دی‌اکسید کربن خالص
-۲۹/۷	دکان
-۲۲/۹۹	تتراکلرید کربن
..	آب (بیخ)
۱۰/۰۰	پنتادکان
۱۸/۱۷	هگزادکان
۹۵/۰۰	بنزیل
۱۲۲/۱۳	اسید بنزویک
۱۳۵/۰	اوره
۱۹۰/۰	سالوفن
۴۴۹/۵	تلوریم
۵۰۱/۰	کلرید سرب
۶۳۰/۵	آنتیمونی



شکل ۳-۵- مراحل انجام واسنجی صفحه گرم کننده و سرد کننده

۷- پتروگرافی سیالات درگیر

مطالعات پتروگرافی سیالات درگیر به وسیله میکروسکوپ نوری معمولی با بزرگنمایی بالا انجام می‌شود که شامل بررسی شکل سیال، فراوانی سیال، محتويات سیال و نوع کانی‌های دختر^۱ و پدیده‌های ثانویه مثل گردن دار شدن^۲ و نشت است. در پتروگرافی سیالات درگیر، مطالعه به صورت سه بعدی انجام می‌گیرد. قبل از حرارت دادن یا سرد کردن ویفرها به وسیله صفحات گرمایش و سرمایش، باید به طور کامل خصوصیات مختلف سیالات درگیر را مطالعه کرد. تشخیص پدیده‌های گردن دار شدن و نشت در مطالعه سیالات درگیر اهمیت فوق العاده‌ای دارد، و بدون توجه به آن گزارش‌های مربوط به مطالعات سیالات درگیر اعتبار لازم را نخواهد داشت. تشخیص نشت نسبت به گردن دار شدن مشکل‌تر است. کانی‌هایی مثل کلسیت، باریت، ژیپس که دارای کلیواژ کامل‌اند، بیشتر در معرض این پدیده قرار دارند. کانی‌هایی که تحت تنفس واقع شده‌اند، تغییر شکل می‌یابند و یا اگر در معرض دمایی بالاتر از دمای تشکیل واقع شوند، پدیده نشت در آن‌ها رخ می‌دهد و برای مطالعات میکروترمومتری قابل استفاده نیستند. از ارتباط بین سیالات درگیر و بلور میزبان برای تشخیص منشا اولیه یا ثانویه بودن آن‌ها استفاده می‌شود.

اندازه اکثر سیالات درگیر معمولاً از ۱۰۰ میکرون کوچک‌تر است ولی گاه، سیالات درگیر در حد چند میلی‌متر که با چشم غیر مسلح دیده می‌شوند نیز وجود دارد. معمولی‌ترین اندازه سیالات درگیر ۲ تا ۲۰ میکرون است و اطلاعات سیالات درگیر که اندازه آن‌ها کمتر از ۵ میکرون است فاقد اعتبار است.

۸- روش میکروترمومتری

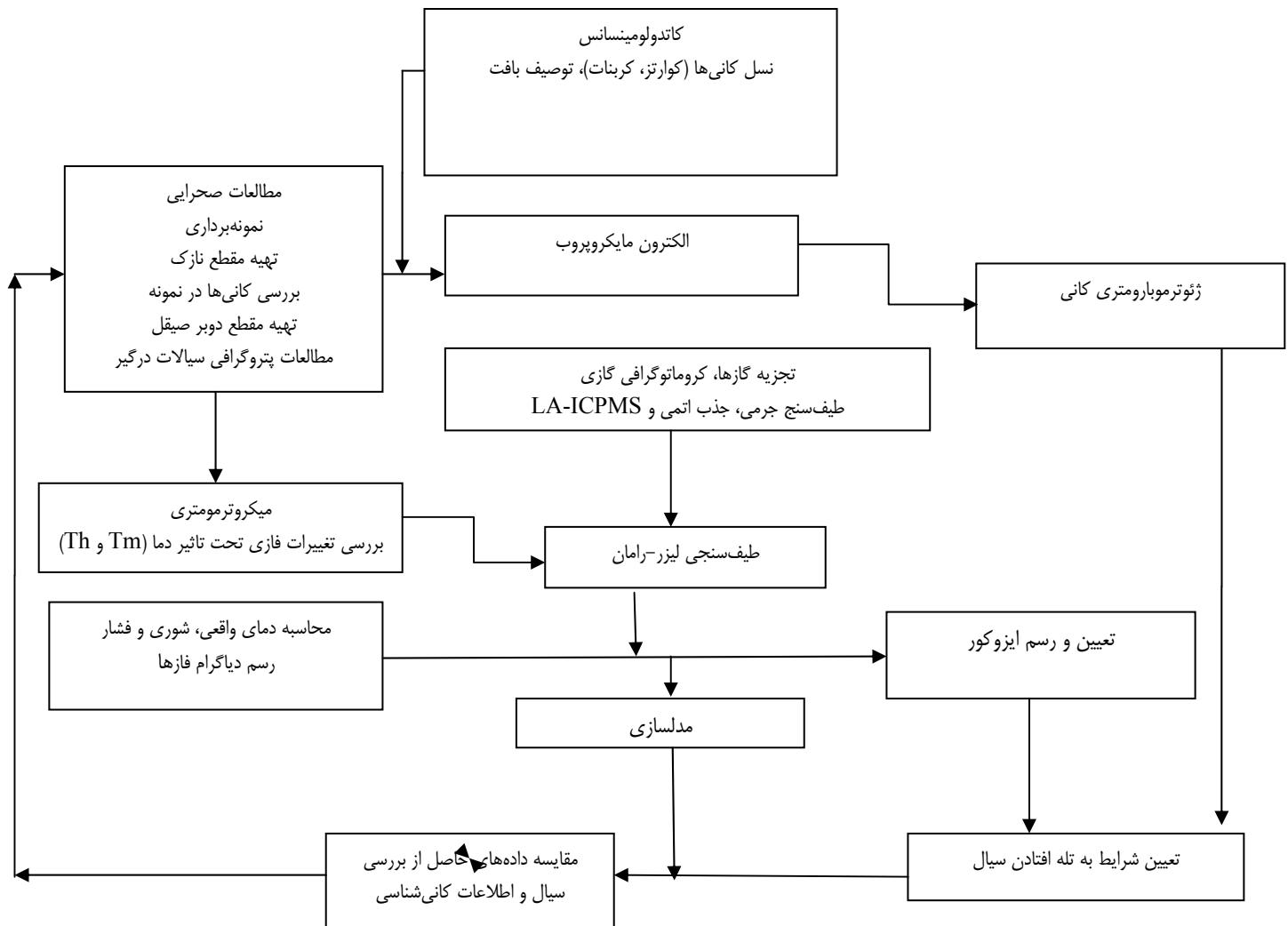
میکروترمومتری بررسی تغییرات فازی در داخل سیالات درگیر در گرم کردن یا سرد کردن آن است. بسته به ترکیب سیال، ممکن است تغییر فاز (جامد، مایع یا بخار) رخ دهد. با اندازه‌گیری دقیق دمایی که این تغییرات در آن رخ می‌دهند، می‌توان با استناد به سیستم‌های ارایه شده بر مبنای مطالعات تجربی (یک، دو یا سه جزیی)، وضعیت فشار، دما، شوری و ترکیبات سیالات را در زمان به دام افتادن تخمین زد. مطالعات میکروترمومتری برای به دست آوردن داده‌هایی در مورد ترکیب، چگالی سیال کانی‌ساز و تعیین دما انجام می‌گیرد. به کمک داده‌های حاصل از تعیین دمای تغییر فازها، میزان شوری و جرم مخصوص ترکیب سیالات که کانی میزبان از آن‌ها نهشته شده است، به دست می‌آید. در شکل ۵-۴ روند کلی مطالعات سیالات درگیر نشان داده شده است.

۸-۱- آزمایش گرم کردن

آزمایشات گرم کردن بر مبنای گرم کردن سیال درگیر تا دمایی که کلیه فازها به یک فاز اصلی همگن شوند، انجام گیرد. دمایی را که این پدیده رخ می‌دهد، دمای همگن شدن (Th) می‌نامند و بیانگر حداقل دمای به تله افتادن سیال است. اگر مایع در زمان به تله افتادن در حالت بحرانی باشد، این دما عبارت از دمای حقیقی به تله افتادن سیال خواهد بود. وقتی سیال به تله می‌افتد، هر چه فشار بیشتر شود، اختلاف بین دمای همگن شدن و دمای واقعی به تله افتادن بیشتر خواهد بود. در موارد لزوم، با به کار بردن تصحیح فشار مناسب، می‌توان دمای واقعی به تله افتادن را به کمک محاسبه ایزوکرها تخمین زد.

۱- Daughter mineral

۲- Necking down



شکل ۵-۴- روند کلی مطالعات سیالات درگیر

اگر کانی دختر نظریه هالیت و سیلویت در سیال وجود داشته باشد، میزان شوری مایع را نمی‌توان با پایین آوردن نقطه انجماد اندازه‌گیری کرد و برای تعیین شوری باید دمای انحلال کانی دختر اندازه‌گیری شود. از روی منحنی‌های موجود و استفاده از دمای انحلال کانی دختر، میزان شوری سیال به دست می‌آید (شکل ۵-۵). بنابراین با آزمایشات گرم کردن می‌توان موارد زیر را مشخص کرد:

- حداقل دمای به تله افتادن
- اگر فاز نمک نظریه هالیت و سیلویت وجود داشته باشد میزان شوری سیال
- چگالی کل سیال

در این آزمایش نمونه‌ها را با آهنگ مناسب (حدود ۲۰ درجه سانتی گراد در دقیقه) تا حداقل ۶۰۰ درجه سانتی گراد حرارت می‌دهند و اندازه‌گیری‌ها با دقت ۰/۱ درجه سانتی گراد انجام می‌گیرد. میزان شوری سیالاتی که حاوی کانی‌های دختر نظریه هالیت و سیلویت هستند دمای انحلال این کانی‌ها اندازه‌گیری می‌شود. هنگامی که سیال‌های درگیر چند فازی حرارت داده می‌شوند کانی‌های دختر حل می‌شوند و آهنگ حل شدن این کانی‌ها وابسته به حلالیت آن‌ها در فاز مایع است.

با افزایش دما حباب شروع به تحرک نوسانی می‌کند و کوچک و کوچکتر می‌شود تا اینکه ناپدید شود. بلور هالیت نیز در آغاز افزایش

حرارت از طرف گوشه‌های مکعبی گرد می‌شود و کم کم اندازه بلورها کاهش می‌باید تا اینکه به طور کامل حل شود. در صورت افزایش بیش از اندازه دما ممکن است سیالات درگیر در اثر فشار بخار شدید و افزایش حجم منفجر شوند، در این صورت سیال درگیر کاملاً سیاه می‌شود و دیگر برای اندازه‌گیری‌های بعدی غیرقابل استفاده خواهد بود. به همین دلیل، باید اول سیالات درگیری را مورد آزمایش قرار داد که دمای همگن شدن آن‌ها پایین است، زیرا در غیر این صورت سیالات درگیر با دمای تشکیل پایین از دست خواهند رفت. در حین عمل گرمایش، دمای اتحلال هالیت (T_{SNaCl}) با توجه به اندازه بلورها متفاوت است و در مواردی که حباب بخار بعد از اتحلال بلور نمک ناپدید می‌شود ($T_{\text{SNaCl}} < T_{\text{H}}$) دمای همگن شدن حباب، دمای همگن شدن محسوب می‌شود.

۵-۲-۸-۵- آزمایش سرد کردن

این آزمایش قبل از آزمایش گرم کردن و برای اندازه‌گیری میزان شوری سیالات درگیر تک فازی و دو فازی انجام می‌شود. با اندازه‌گیری دمای ذوب آخرین قطعه بین، میزان شوری بر حسب درصد وزنی معادل نمک طعام محاسبه می‌شود. آزمایش سرمایش تنها برای پی بردن به دمای اوتکتیک (T_{FM} یا T_{Te}) و نمک‌های حل شده در محلول انجام می‌شود. دمای اوتکتیک یا دمای ذوب اولین قطعه بین با یون‌های حل شده در محلول در ارتباط است. در مورد سیستم $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ ، دمای اولین ذوب $20/8$ - درجه سانتی‌گراد است، بنابراین وقتی یک عضو متشکله سوم در مایع وجود داشته باشد، دمای ذوب بسیار پایین‌تر خواهد بود. در این آزمایش ابتدا سیالات درگیر مورد مطالعه را با نیتروژن مایع تا دمای -60 - درجه سانتی‌گراد برودت می‌دهند و سپس دستگاه به مدت حدود ۲ دقیقه در این وضعیت ثابت می‌شود. بعد از آن، با آهنگ مناسب 10 درجه در دقیقه آزمایش ادامه می‌باید. در این آزمایش، دمای اوتکتیک اندازه‌گیری می‌شود. به کمک آزمایشات انجمامد، نه تنها میزان شوری سیال‌های درگیر رقیق شده را می‌توان تعیین کرد، بلکه ماهیت انواع نمک‌های حل شده در مایع را نیز می‌توان تشخیص داد (جدول ۲-۵). از آن جا که نمک‌های حل شده در یک سیال درگیر موجب افت دمای انجمامد می‌شوند، بنابراین کاهش نقطه انجمامد مایع پایین‌تر از صفر درجه سانتی‌گراد برای اندازه‌گیری میزان شوری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

از طریق آزمایش سرمایش می‌توان حضور گازهایی نظیر CO_2 و CH_4 را شناسایی کرد. بررسی‌های انجمامد با اولین تبدیل به انجمامد آغاز می‌شود، سپس به تدریج در حالی که در زیر میکروسکوپ یا در مانیتور کنترل می‌شود، سیالات درگیر گرم می‌شوند. به محض این که سیال منجمد شد، ناگهان حباب بخار جمع می‌شود و به صورت یک توده از دانه‌های بلور بین توسعه پیدا می‌کند. انقباض حجمی بخار در نتیجه بالا رفتن حجم بین در مقایسه با آب است. سپس سیال به تدریج گرم شده و از حالت انجمامد خارج می‌شود. دما آنقدر افزایش می‌باید تا بین شروع به ذوب شدن کند. مقدار کمی از مایع ناگهان در اولین دمای ذوب ظاهر می‌شود. دمایی که در آن اولین اجزای بین ذوب می‌شوند، دمای اوتکتیک است و مقدار آن به وضعیت نمک‌های حل شده در مایع بستگی دارد. اگر در جریان گرم کردن، دما اندکی از دمای اولین ذوب بالاتر رود، مقدار بیشتری از بین ذوب می‌شود. به تدریج تعداد قطعات بین کمتر می‌شود تا جایی که فقط چند دانه باقی می‌ماند. دمایی را که طی آن آخرین بلور بین ذوب می‌شود به دقت اندازه‌گیری می‌کنند. از آنجا که نمک‌های حل شده در سیال درگیر، دما را تا حدی پایین می‌آورند که باعث انجمامد آبی که آن‌ها را احاطه کرده است می‌شود، بنابراین پایین آمدن نقطه انجمامد مایع تا زیر صفر درجه سانتی‌گراد برای اندازه‌گیری میزان شوری به کار می‌رود. این مقدار بر حسب درصد وزنی معادل NaCl اندازه‌گیری می‌شود. برای اطمینان از بین زدن کامل، معمولاً سیالات درگیر آبگین تا دمای 60 و سیالات CO_2 دار تا 100 - درجه سانتی‌گراد سرد می‌شوند تا از بین زدن کامل فازها اطمینان حاصل شود. سرد شدن تحت دمای پایین‌تر از دمای اتاق باعث می‌شود سیال درگیر حاوی دی‌اکسید کربن به صورت دو حباب در داخل هم درآید. حباب درونی، بخار دی‌اکسید کربن و حباب بیرونی، مایع دی‌اکسید کربن است.

دی اکسید کربن خالص منجمد شده در دمای -56°C - درجه سانتی گراد ذوب می شود و دماهای ذوب پایین تر از این نقطه، حضور هیدروکربن های دیگر نظیر متان را نشان می دهد. مقدار متان را می توان از روی نمودارهایی به صورت نیمه کمی تخمین زد.

۹-۵- سیستم های شیمیایی سیالات درگیر

به منظور مطالعه و تجزیه و تحلیل نتایج مطالعات میکروترموmomتری، کارشناس باید سیستم شیمیایی سیال درگیر را تشخیص دهد و بر مبنای آن نقاط اندازه گیری را مشخص کند. علاوه بر آن باید از ویژگی های سیستم های شیمیایی و نمودارهای فازی آن اطلاع کامل داشته باشد. چهار سیستم بسیار متبادل در ادامه ارایه می شود.

۹-۶-۱- سیال های دو فازی مایع- گاز ($\text{L}+\text{V}$)

این سیال ها از فاز مایع و حباب گاز تشکیل شده است. در هنگام گرم کردن این سیال ها ممکن است سه حالت اتفاق بیفتد که حالت اولی رایج تر است.

الف- همگن شدن به فاز مایع ($\text{L} \rightarrow \text{V}$)

ب- همگن شدن به فاز گاز ($\text{L} \rightarrow \text{V} \rightarrow \text{G}$)

پ- همگن شدن بحرانی که با محو شدن مرز مایع و گاز اتفاق می افتد.

در این نوع سیال های درگیر در آزمایش گرمایش دمای همگن شدن (T_{e}) و در آزمایش سرمایش دمای اوتکتیک (T_{o}) و دمای ذوب آخرین قطعه یخ (T_{Mice}) اندازه گیری می شود. غیر از محلول های نمکی ممکن است هیدرات های نمکی نیز در هنگام انجام دادن بلور های یخ تبدیل شوند. هیدروهالیت ($\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) شناخته شده ترین مثال از این گونه هیدرات ها است. نقطه ذوب آخرین بلور یخ هیدرات های نمکی با T_{MH} نشان داده می شود. با مقایسه T_{MH} , T_{Mice} و T_{FM} می توان اطلاعات دقیق تری در مورد مقدار شوری سیال های درگیر به دست آورد.

۹-۶-۲- سیال های درگیر سه فازی مایع- جامد- گاز ($\text{L}+\text{V}+\text{S}$)

این سیال ها غیر از فاز مایع و گاز دارای فاز جامد (فاز دختر) نیز هستند. کانی هالیت و سیلویت رایج ترین فاز های دختر درون سیالات درگیر هستند. در این سیال ها در آزمایش گرمایش، دمای همگن شدن، دمای انحلال کامل بلور هالیت ($T_{\text{S}_{\text{KCl}}}$) و سیلویت ($T_{\text{S}_{\text{NaCl}}}$) اندازه گیری می شود و نیازی به آزمایش سرمایش نیست.

۹-۶-۳- سیالات درگیر ناآمیخته ($\text{L}_1+\text{L}_2+\text{V}$)

این سیال های درگیر آب و دی اکسید کربن دارند و همگن شدن CO_2 مایع به گاز در دمای $31/1$ درجه سانتی گراد اتفاق می افتد. به دلیل مایع شدن سریع تر CO_2 نسبت به بخار آب، همیشه فاز CO_2 مایع در اطراف حباب بخار تشکیل می شود و آب مایع، آن را در بر می گیرد. در آزمایش گرمایش ابتدا همگن شدن و سپس همگن شدن کامل انجام می شود. نقطه ذوب فاز کلتزیت^۱، و ذوب CO_2 جامد

در آزمایش سرمایش تعیین می‌شود. در آزمایش سرمایش کلتريت تشکیل می‌شود و فاز آبگین و غیرآبگین منجمد می‌شوند. کلتريت یک فاز ناپایدار است که به صورت موقتی تشکیل می‌شود و شامل CO_2 و مقداری آب است. به دلیل ورود آب به فاز کلتريت، برای اندازه‌گیری شوری از نقطه ذوب نهایی بخ نمی‌توان استفاده کرد و شوری بر مبنای نقطه ذوب کلتريت که معمولاً در محدوده $6\text{--}12^\circ\text{C}$ درجه است، محاسبه می‌شود. در آزمایش سرمایش کلتريت (هیدرات گاز، $\text{CO}_2\text{/H}_2\text{O}$) نیز در دمای 28°C درجه سانتی‌گراد تشکیل می‌شود. برای آزمایش سرمایش، نمونه تا دمای زیر 100°C درجه سانتی‌گراد سرد می‌شود تا فاز CO_2 و فازهای آبگین موجود در نمونه همه منجمد شوند. در گرم کردن، CO_2 جامد در دمای 56°C درجه سانتی‌گراد (T_{MCO_2}) کاملاً ذوب شود. در دمایی که آخرین بلور بخ ذوب می‌شود (T_{Mice}) هنوز بلورهای کلتريت حضور دارند و با افزایش دما تجزیه می‌شوند (T_{Mclath}) که این مساله همراه با ظهور ناگهانی CO_2 مایع در اطراف حباب بخار غنی از CO_2 است. با گرم شدن بیشتر فاز CO_2 در دمای $31/1^\circ\text{C}$ درجه سانتی‌گراد CO_2 به حالت مایع همگن می‌شود Th_{CO_2} در این سیال‌ها، دمای همگن شدن (Th) دمایی است که CO_2 مایع و فاز مایع آبگین به صورت کامل همگن می‌شوند.

۴-۹-۵- سیالات غنی از CO_2

سیال‌های درگیر حاوی CO_2 خالص در دمای 56°C درجه سانتی‌گراد ذوب یا منجمد می‌شوند. در صورتی که ترکیبی از CO_2 و مایعات دیگر مثل آب در درون سیال وجود داشته باشد، نقطه ذوب مایع درون سیال درگیر به طرف صفر میل می‌کند. در صورتی که CH_4 به صورت مایع در داخل CO_2 حل شده باشد، درجه ذوب بلورهای بخ تشکیل شده یا درجه انجماد سیال درگیر 56°C درجه سانتی‌گراد به طرف $185/5^\circ\text{C}$ میل می‌کنند. در دمای $31/1^\circ\text{C}$ درجه سانتی‌گراد CO_2 مایع به فاز گاز CO_2 تبدیل می‌شود. برای سیستم CO_2 دو فازی دو نقطه ذوب CO_2 جامد و همگن شدن کامل CO_2 اندازه‌گیری می‌شود.

۱۰-۵- نقاط اندازه‌گیری

در مطالعات میکروترموتری دمای تغییرات فازهای موجود در سیالات درگیر در طی شرایط سرد و گرم کردن اندازه‌گیری می‌شود. بسته به سیستم شیمیابی، نقاط اندازه‌گیری (تغییر فاز) متفاوت است. نقاط مورد اندازه‌گیری در سیستم‌های مختلف در جدول ۳-۵ ارایه شده است.

۱۱-۵- ارایه نتایج مطالعات میکروترموتری

بسته به نوع ذخیره و اهداف مطالعه ارایه نتایج و تعبیر و تفسیر متفاوت است و کارشناسان خبره بسته به نیاز از روش‌های متفاوت استفاده می‌کنند. به منظور ارایه نتایج، استفاده از جدول‌ها و نمودارهایی که در ادامه آمده متناول است. به منظور حصول اطمینان، بین ۱۵ تا ۲۵ سیال درگیر از هر سیستم باید به طور کامل مطالعه شود.

مطالعه کامل شامل نوع سیستم شیمیابی، اندازه‌گیری تغییرات شیمیابی، اندازه‌گیری تغییرات فازی و نوع سیال درگیر از نظر اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب بودن است.

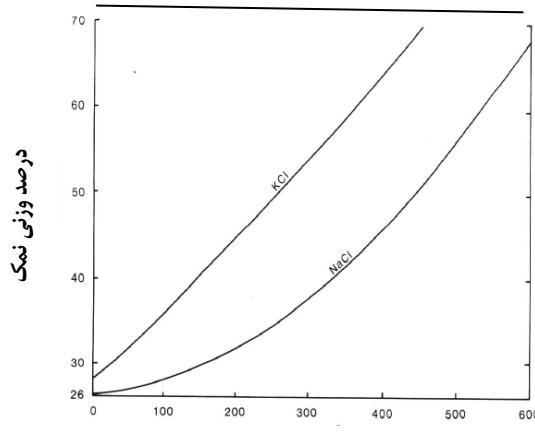
- هیستوگرام دمای ذوب آخرین قطعه بخ

- هیستوگرام درجه همگن شدن

- هیستوگرام شوری محاسبه شده

- نمودار Th در مقابل شوری

- محاسبه و رسم ایزوکرها^۱



دماهی انحلال بر حسب درجه سانتی گراد

شکل ۵-۵- منحنی های حلایت NaCl و KCl در محلول های همگن برابی اندازه گیری میزان شوری سیالات درگیر دارای کانی های دختر هالیت و سیلویت

جدول ۲-۵- تعیین میزان شوری بر حسب درصد نمک طعام با استفاده از ذوب آخرین قطعه یخ

۰/۹	۰/۸	۰/۷	۰/۶	۰/۵	۰/۴	۰/۳	۰/۲	۰/۱	۰/۰	نقطه ذوب آخرین قطعه یخ (Tmice)
۱,۵۷	۱,۴۰	۱,۲۳	۱,۰۵	۰,۸۸	۰,۷۱	۰,۵۳	۰,۳۵	۰,۱۸	۰,۰۰	.
۳,۲۳	۳,۰۶	۲,۹۰	۲,۷۴	۲,۵۷	۲,۴۱	۲,۲۴	۲,۰۷	۱,۹۱	۱,۷۴	۱
۴,۸۰	۴,۶۵	۴,۴۹	۴,۳۴	۴,۱۸	۴,۰۳	۳,۸۷	۳,۷۱	۳,۵۵	۳,۳۹	۲
۶,۳۰	۶,۱۶	۶,۰۱	۵,۸۶	۵,۷۱	۵,۵۶	۵,۴۱	۵,۲۶	۵,۱۱	۴,۹۶	۳
۷,۷۳	۷,۵۹	۷,۴۵	۷,۳۱	۷,۱۷	۷,۰۲	۶,۸۸	۶,۷۴	۶,۵۹	۶,۴۵	۴
۹,۰۸	۸,۹۵	۸,۸۱	۸,۶۸	۸,۵۵	۸,۴۱	۸,۲۸	۸,۱۴	۸,۰۰	۷,۸۶	۵
۱۰,۳۶	۱۰,۲۴	۱۰,۱۱	۹,۹۸	۹,۸۶	۹,۷۳	۹,۶۰	۹,۴۷	۹,۳۴	۹,۲۱	۶
۱۱,۵۸	۱۱,۴۶	۱۱,۳۴	۱۱,۲۲	۱۱,۱۰	۱۰,۹۸	۱۰,۸۶	۱۰,۷۳	۱۰,۶۱	۱۰,۴۹	۷
۱۲,۷۳	۱۲,۶۲	۱۲,۵۱	۱۲,۳۹	۱۲,۲۸	۱۲,۱۶	۱۲,۰۵	۱۱,۹۳	۱۱,۸۱	۱۱,۷۰	۸
۱۳,۸۳	۱۳,۷۲	۱۳,۶۲	۱۳,۵۱	۱۳,۴۰	۱۳,۲۹	۱۳,۱۸	۱۳,۰۷	۱۲,۹۶	۱۲,۸۵	۹
۱۴,۸۷	۱۴,۷۷	۱۴,۶۷	۱۴,۵۷	۱۴,۴۶	۱۴,۳۶	۱۴,۲۵	۱۴,۱۵	۱۴,۰۴	۱۳,۹۴	۱۰
۱۵,۸۶	۱۵,۷۶	۱۵,۶۷	۱۵,۵۷	۱۵,۴۷	۱۵,۳۷	۱۵,۲۷	۱۵,۱۷	۱۵,۰۷	۱۴,۹۷	۱۱
۱۶,۸۰	۱۶,۷۱	۱۶,۶۲	۱۶,۵۳	۱۶,۴۳	۱۶,۳۴	۱۶,۲۴	۱۶,۱۵	۱۶,۰۵	۱۵,۹۶	۱۲
۱۷,۷۰	۱۷,۶۱	۱۷,۵۲	۱۷,۴۳	۱۷,۳۴	۱۷,۲۶	۱۷,۱۷	۱۷,۰۸	۱۶,۹۹	۱۶,۸۹	۱۳
۱۸,۵۵	۱۸,۴۷	۱۸,۳۸	۱۸,۳۰	۱۸,۲۲	۱۸,۱۳	۱۸,۰۴	۱۷,۹۶	۱۷,۸۷	۱۷,۷۹	۱۴

۱- Isochore

ادامه جدول ۵-۲- تعیین میزان شوری بر حسب درصد نمک طعام با استفاده از ذوب آخرین قطعه بخ

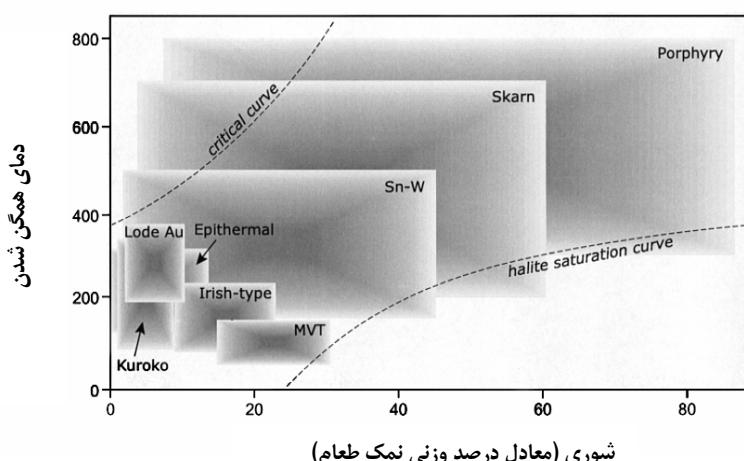
۰۹	۰۸	۰۷	۰۶	۰۵	۰۴	۰۳	۰۲	۰۱	۰۰	نقطه ذوب آخرین قطعه بخ (Tmice)
۱۹,۳۷	۱۹,۲۹	۱۹,۲۱	۱۹,۱۳	۱۹,۰۵	۱۸,۹۶	۱۸,۸۸	۱۸,۸۰	۱۸,۷۲	۱۸,۶۳	۱۵
۲۰,۱۵	۲۰,۰۷	۱۹,۹۹	۱۹,۹۲	۱۹,۸۴	۱۹,۷۶	۱۹,۶۸	۱۹,۶۰	۱۹,۵۳	۱۹,۴۵	۱۶
۲۰,۸۹	۲۰,۸۲	۲۰,۷۵	۲۰,۶۷	۲۰,۵۰	۲۰,۴۲	۲۰,۴۵	۲۰,۳۷	۲۰,۳۰	۲۰,۲۲	۱۷
۲۱,۶۱	۲۱,۵۴	۲۱,۴۷	۲۱,۴۰	۲۱,۳۳	۲۱,۲۶	۲۱,۱۹	۲۱,۱۱	۲۱,۰۴	۲۰,۹۷	۱۸
۲۲,۳۱	۲۲,۲۴	۲۲,۱۷	۲۲,۱۰	۲۲,۰۳	۲۱,۹۶	۲۱,۸۹	۲۱,۸۲	۲۱,۷۵	۲۱,۶۸	۱۹
۲۲,۹۸	۲۲,۹۱	۲۲,۸۵	۲۲,۷۸	۲۲,۷۱	۲۲,۶۵	۲۲,۵۸	۲۲,۵۱	۲۲,۴۴	۲۲,۳۸	۲۰
							۲۳,۱۸	۲۳,۱۱	۲۳,۰۵	۲۱

جدول ۳-۵- پارامترهای قابل اندازه‌گیری در انواع مختلف سیالات درگیر

TMCO۲	Te	TMHH	TM ice	TMclath	Th CO۲	TSS۱	TSS۲	Th	نقاط اندازه‌گیری فاز
-	✓	±	✓	-	-	-	-	✓	L+V
-	-	-	-	-	-	✓	-	✓	L+V+S
-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	L+V+mS
✓	✓	-	-	✓	✓	-	-	✓	L۱+L۲+V
✓	-	-	-	-	✓	-	-	-	L+VCO۲

۱۲-۵- ارتباط درجه شوری و دمای همگن شدن در تیپ‌های مختلف کانساری

ارتباط درجه شوری و دمای همگن شدن به صورت تقریبی و با برخی همپوشانی‌ها برای تیپ کانسارهای مختلف در شکل ۵-۶ ارایه شده است. در این شکل، هر تیپ کانسار در محدوده‌ای از دما و شوری قرار می‌گیرد و با تعیین شوری و دمای همگن شدن می‌توان نوع کانسار مورد مطالعه را تا حدودی تعیین کرد. نتایج مطالعات سیالات درگیر معمولاً به صورت جداول‌ها و نمودارهای هیستوگرام گزارش می‌شود و تغییرات دمای همگن شدن و شوری سیالات درگیر مورد بررسی قرار می‌گیرد (شکل ۷-۵). استفاده از مطالعه سیالات درگیر به تنها‌ی کافی نیست و باید این داده‌ها در کنار سایر داده‌های زمین‌شناسی مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۵-۶- ارتباط تقریبی کانسارهای مختلف با دمای همگن شدن و شوری سیالات درگیر

فصل ۵

دستور العمل مطالعات میکروسکوپی و
میکروترموتری سیالات در گیر

۱-۵- آشنایی

سیالات درگیر به صورت نقص در ساختار بلورها و حاصل یک سری فرآیندهای پیچیده هستند. در بعضی از بلورها در هنگام تبلور، سیالاتی در فضاهای بین سطوح بلوری آنها به تله می‌افتد که به آنها سیالات درگیر گفته می‌شود. سیالهای درگیر، بخش جدایی‌ناپذیر از هر کانی هستند و مطالعه آنها به اندازه مطالعه اجزای کانیابی و شیمیابی اصلی سنگ، اهمیت و ارزش دارد. نسبت‌های حجمی این سیالات در مقایسه با حجم کل کانی‌ها بسیار ناچیز است، اما این مساله از اهمیت اطلاعاتی که از طریق مطالعه آنها به دست می‌آیند، نمی‌کاهد. هر بلور طبیعی که از فاز مایع متبلور و رشد کرده باشد دارای سیالات درگیر است. رشد بلورهای کامل حتی در شرایط دقیقاً کنترل شده آزمایشگاهی بسیار مشکل است. طیف نقایص بلور در محدوده‌ای از نقایص کوچک در مقیاس اتمی تا نقایص فاحش در مقیاس بزرگ قرار دارد. اگر به این پدیده‌ها از دیدگاه متخصصان جزو نقایص به شمار می‌روند، ولی برای زمین‌شناسان چنین نقایصی به صورت سیال یا ادخال‌های جامد دیدگاه مناسبی برای درک فرآیند رشد بلورها در طبیعت و شرایط فیزیکوشیمیابی زمان رشد بلور را فراهم کند. فراوانی و گسترش وسیع سیالات درگیر نشان می‌دهد که سیالات در کلیه فرآیندهای تشکیل کانی‌های سنگ اهمیت دارند. سیالات درگیر، قطرات کوچکی هستند که در جریان رشد بلور در آن محبوس شده‌اند. برخی از آن‌ها را در بلورهای شفاف با چشم غیرمسلح و یا عدسی‌های دستی می‌توان به آسانی مشاهده کرد. سیالات درگیر ممکن است نماینده سیالی باشند که با کانی در جریان رشد در حال تعادل بوده است و بنابراین اطلاعاتی از منشا را ارایه می‌کنند. ابعاد سیالات درگیر، از قطری کمتر از قطر لازم برای دیدن در میکروسکوپ سنگ‌شناسی معمولی تا چند سانتی‌متر تغییر می‌کند. سیالات درگیر بزرگتر از ۵ میکرون در مطالعات میکروترمومتری مورد استفاده قرار می‌گیرند. اکتشاف بسیاری از کانسارهای مس پورفیری، قلع-تنگستن پورفیری، تیپ دره می‌سی‌سی‌بی، ذخایر اپی‌ترمال در دنیا به کمک اطلاعات سیالات درگیر انجام شده است. با توجه به اینکه در بسیاری از کانی‌های موجود در سنگ‌های آذرین، رسوبی، دگرگونی و حتی شهاب سنگ‌ها نیز سیالات درگیر مشاهده می‌شود استفاده از آن‌ها برای شناخت شرایط حاکم بر محیط‌ها (از نظر دما و شوری)، دگرگونی (از نظر فشار و دما) و آذرین (از نظر ترکیب شیمیابی ماقما، فشار و دمای حاکم بر محیط تشکیل کانی‌ها) توصیه می‌شود.

۲-۵- سیالات درگیر

سیالات درگیر در کانی‌ها برای اولین بار در قرن ۱۵ توسط ابوریحان بیرونی توصیف شده است. مطالعات سیالات درگیر در سه مرحله پتروگرافی سیالات درگیر، میکروترمومتری و تعبیر و تفسیر نتایج انجام می‌گیرد. قبل از مطالعات میکروترمومتری باید اطمینان حاصل کرد که سیال درگیر از زمان به دام افتادن تا مطالعه دچار تغییر نشده باشد.

۳-۱- انواع سیالات درگیر بر اساس فازها

علیرغم این که سیال به دام افتاده در درون بلورها، در ابتدا به صورت فاز یکنواخت و همگن است ولی به تدریج و با سرد شدن سیال، فازهای مختلفی از آن تشکیل می‌شود. مهم‌ترین فازهای سیالهای درگیر شامل فاز مایع به صورت آب و دی‌اکسید کربن، فاز جامد شامل کانی‌های مختلف فلزی و غیرفلزی (به ویژه نمک‌ها) و فاز گازی است. بر اساس تعداد فازهای مشاهده شده در دمای اتاق، سیالات درگیر را به انواع زیر تقسیم می‌کنند:

- الف- سیالات درگیر تک فاز مایع (L): این سیالات ساده‌ترین نوع انکلوزیون‌ها هستند و تماماً از مایع (عموماً آبگین) پر شده‌اند.
- ب- سیالات درگیر دو فازی غنی از مایع (L+V): فاز مایع در نوع غالب است اما یک حباب بخار کوچک نیز همیشه وجود دارد و کمتر از ۵۰ درصد کل حجم سیال را اشغال می‌کند.
- پ- سیالات درگیر دو فازی غنی از بخار (V+L): در این حالت یک فاز بخار غالب است و بیش از نیمی از حجم سیال را اشغال می‌کند.
- ت- سیالات درگیر تک فاز بخار (V): این گروه، تماماً به وسیله یک فاز بخار با چگالی کم (عموماً مخلوطی از CH_4 , H_2O , N_2 , CO_2) بدون هیچ فاز مایع مریبی پر شده‌اند.
- ث- سیالات درگیر چند فازی جامد و چند جامدی (S+L \pm V): این دو گروه از نظر داشتن یک یا چند فاز بلورین جامد (کانی‌های نوزاد) به عنوان جزو اصلی در کنار مایع و بخار، به هم شاهد دارند.
- ج- سیالات درگیر مایع نامیخته (L \pm V): این سیالات با حضور دو مایع نامیخته مشخص می‌شوند که یکی آبگین و دیگری غنی از CO_2 است. فاز غنی از CO_2 ممکن است حاوی مقادیر قابل توجهی متان یا نیتروژن باشد. یک حباب بخار غنی از CO_2 نیز ممکن است وجود داشته باشد که به چگالی کل فاز غنی از CO_2 بستگی دارد.
- ج- ادخال‌های شیشه: ادخال‌های به دام افتاده از مذاب سیلیکاتی را ادخال‌های شیشه می‌گویند که در درشت بلورهای (فنوکریست‌های) سنگ‌های آتشفشاری و نیمه‌آتشفشاری فراوان هستند.

۵-۲-۲- انواع سیال‌های درگیر بر اساس زمان به دام افتادن

این تقسیم‌بندی جنبه کاربردی دارد و برای انتخاب سیال‌های درگیر مناسب مطالعات میکروترموتری (ریزدماسنجی) بسیار مهم است. در این تقسیم‌بندی، سیال‌های درگیر به سه گروه سیال‌های درگیر اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب تقسیم می‌شوند.

الف- سیالات درگیر اولیه

این سیال‌ها هم‌زمان با رشد بلور در برگیرنده آن‌ها تشکیل می‌شوند و در اثر رشد شاخه درختی صفحات بلوری، رشد مارپیچی، رشد نیمه‌موازی و یا انحلال بخشی از سطوح بلوری در درون این صفحات، به تله می‌افتدند. اغلب به صورت پراکنده در متن بلور قرار گرفته‌اند و به صورت سیال‌های درگیر منفرد تشکیل شده‌اند. در مواردی که سطوح رشد بلوری مشخص باشد، سیالات درگیری که در امتداد این سطوح قرار گرفته‌اند نیز از نوع اولیه هستند.

ب- سیال‌های درگیر ثانویه

این سیال‌ها پس از تبلور کامل بلور در برگیرنده آن‌ها به وجود می‌آیند. یکی از روش‌های تشکیل سیال‌های درگیر ثانویه، محبوس شدن سیال در محل شکستگی‌هایی است که پس از تشکیل کانی در آن به وجود می‌آیند. از سیال‌های درگیر ثانویه عموماً نمی‌توان برای شناخت شرایط فیزیکوشیمیایی سیالات کانه‌ساز استفاده کرد ولی برای شناخت پدیده‌های تکتونیکی و مهاجرت سیالات، کاربرد زیادی دارند. این سیالات درگیر در ردیف‌های (صفحاتی) قرار دارند که از مرز بین بلورها عبور می‌کند.

پ- سیال‌های درگیر ثانویه کاذب

این گروه از سیال‌ها به هنگام تبلور بلور در برگیرنده آن‌ها تشکیل می‌شوند ولی خصوصیاتی مشابه با گروه سیال‌های ثانویه دارند. اگر در هنگام رشد بلور، در اثر پدیده‌های مختلف مثل تنش‌های تکتونیکی، بلور ترک بخورد، سیال‌های کانی‌ساز در محل درزهای و ترک‌ها متتمرکز می‌شوند و سیال‌های درگیر ثانویه کاذب را به وجود می‌آورند. این شکستگی‌ها معمولاً بر خلاف شکستگی‌های ثانوی در تمام طول بلور گستردۀ نیستند و یا ممکن است تغییراتی را در طول بلور از خود نشان دهند. ادامه رشد بلور شکستگی مربوط را می‌پوشانند بنابراین شکستگی از نوع ثانویه محسوب نمی‌شود و سیال درگیر هم مشابه نوع اولیه نیست. ردیف این سیالات از مرز بلورها عبور نمی‌کند.

۵-۳- کاربرد مطالعات سیالات درگیر

سیالات درگیر در درون اکثر کانی‌هایی وجود دارند که در یک محیط سیال (بخار، مایع و گاز) تشکیل شده‌اند و از آن‌ها می‌توان در شاخه‌های مهمی از علوم از جمله در زمین‌شناسی به صورت گسترده‌ای استفاده کرد. با استفاده از مطالعات سیالات درگیر می‌توان اطلاعات زیادی در مورد دمای تشکیل کانی‌ها، فشار حاکم بر محیط تشکیل آن‌ها، چگالی سیال تشکیل دهنده کانی‌ها و نیز ترکیب شیمیایی سیال‌های کانی‌ساز به دست آورد. موارد اصلی مطالعه سیال‌های درگیر را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت:

۵-۴- بررسی دیاژنر و ویژگی‌های سیالات در حوضه‌های رسوبی

سیالات در فرآیندهای رسوبی نقش بنیادی دارند. تشکیل و مهاجرت هیدروکربن‌ها و سیالات کانه‌دار طی فشردنگی و دیاژنر، عامل تشکیل منابع نفتی جهان و بخش بزرگی از کانسارهای فلزات پایه است.

۵-۵- اکتشاف ذخایر هیدروکربنی

سیالات درگیر، نوع سیال، وضعیت جریان و ماهیت آن‌ها را که در یک کانی ثبت شده است نشان می‌دهد. بنابراین با مطالعه سیستماتیک آن‌ها می‌توان نواحی‌ای را که در آن‌ها سیالات ویژه (یعنی سیالات کانه‌دار و هیدروکربن) فعال بوده‌اند را مشخص ساخت. یکی از مهم‌ترین کاربرد سیالات درگیر، بررسی نحوه تشکیل و اکتشاف کانسارهای گرمابی است. با مطالعه سیالات درگیر، امکان شناسایی زون‌های کانی‌سازی شده و زون‌های فاقد کانی‌سازی وجود دارد و از آن‌ها می‌توان به عنوان معیار اکتشافی مواد معدنی مثل ذخایر طلا استفاده کرد.

۵-۶- تکتونیک

با توجه به اهمیت سیالات درگیر در تغییر شکل سنگ‌ها، شکستگی (گسلش) و احتمالاً ایجاد زمین‌لرزه از سیالات درگیر استفاده می‌شود. بنابراین دورنمای وسیعی برای تحقیقات در این زمینه وجود دارد.

۵-۷- جواهرشناسی

از مشاهدات میکروسکوپی ساده می‌توان جواهرات مصنوعی را از انواع طبیعی تشخیص داد. حتی در برخی موارد می‌توان

کانساری را که یک سنگ جواهر خاص از آن مشتق شده است، مشخص کرد.

۵-۴- تجهیزات مورد نیاز

تجهیزات مورد نیاز برای مطالعه سیالات درگیر عبارتند از:

- میکروسکوپ نوری با وضوح مناسب و قابلیت بزرگنمایی تا ۱۰۰۰ برابر (شکل ۱-۵)
- صفحه گرم‌کننده و سردکننده^۱ با حداقل بازه دمایی -۱۹۶- تا +۶۰۰ درجه سانتی‌گراد (شکل ۲-۵)
- کنترل کننده گرمایش
- کنترل کننده سرمایش
- مخزن نیتروژن مایع
- مخزن آب (برای خنک کردن صفحه گرم‌کننده در حرارت‌های بالا)
- عدسی‌های شیئی با فاصله کاری زیاد^۲



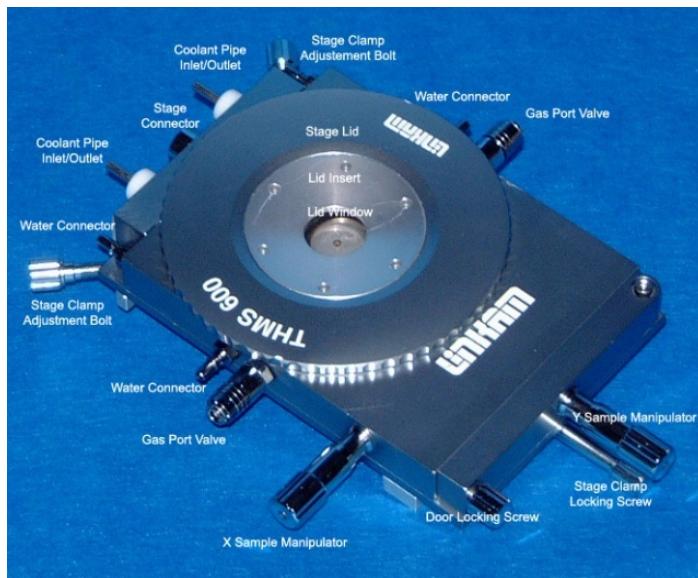
شکل ۱-۵- میکروسکوپ مجهز به صفحه گرم‌کننده و سردکننده

۵-۵- نکات ایمنی

نیتروژن مایع، منجمدکننده بسیار ایمن است که تا دمای -۱۹۶- درجه سانتی‌گراد اجسام را سرد می‌کند، به شرطی که با احتیاط با آن کار شود و در محفظه‌های کاملاً عایق ذخیره شود. در این حالت هدر رفتن آن در اثر تبخیر نیز به حداقل خواهد رسید. نیتروژن، گاز غیرسمی و از نظر شیمیایی بی‌اثر و غیر قابل اشتعال است اما به منظور رعایت ایمنی کامل بهتر است در یک اتاق با تهویه مناسب نگهداری شود. در هنگام پر کردن مخزن نیتروژن دستگاه، باید از وسایل ایمنی مناسب (دستکش، روپوش، ماسک و عینک مناسب) استفاده کرد.

^۱ Heating- freezing stage

^۲ Long working distance (LWD)



شکل ۲-۵- صفحه گرم کننده و سرد کننده مدل لینکهام

۶-۵- واسنجی (کالیبراسیون) صفحه گرم کننده و سرد کننده

واسنجی دقیق، یکی از پیش نیازهای مطالعات میکروترمومتری است و باید به عنوان شاخص اندازه گیری آزمایشگاهی در نظر گرفته شود. ضرورت واسنجی به این دلیل است که سنسور حرارتی با کمی فاصله از سیالات درگیر قرار دارد و دمای آن ممکن است بالاتر یا پایین تر از دمای واقعی باشد (شکل ۳-۵). به علاوه، این اختلاف زمانی، اختلاف دمای کاری استیج و دمای محیط را افزایش می دهد و ممکن است باعث عدم اطمینان در نتایج حاصل شود. برای واسنجی از استاندارد استفاده می شود. یک ماده زمانی به عنوان استاندارد در واسنجی به کار می رود که دارای ویژگی های زیر باشد:

- عاری از ناخالصی باشد.

- قبل از ذوب متحمل هیچ نوع تجزیه حرارتی نشود.

- نقطه ذوب مشخص، واضح و دقیقا قابل تشخیص داشته باشد.

مراحل انجام واسنجی در شکل ۳-۵ و مواد مورد استفاده در جدول ۱-۵ ارایه شده است.

در انجام واسنجی باید نکات زیر رعایت شود:

- برای به دست آوردن نتایج تکرار پذیر، استانداردهای جامد باید در یک خشک کن نگهداری شوند تا جذب رطوبت از اتمسفر به حداقل برسد. به همین ترتیب مایعات نیز باید در بطری های با درب محکم، در یک مکان خنک و خشک و به دور از نور مستقیم آفتاب نگهداری شوند.

- مقدار ماده مورد استفاده باید همیشه کمتر از یک میکرولیتر باشد، ماده اضافی را باید دور ریخت و نباید مجددا به داخل بطری باز گرداند.

- لوله های مویینه بهترین روش برای اندازه گیری ویژگی های مایعات و لامل های شیشه ای بهترین روش برای جامدات هستند.

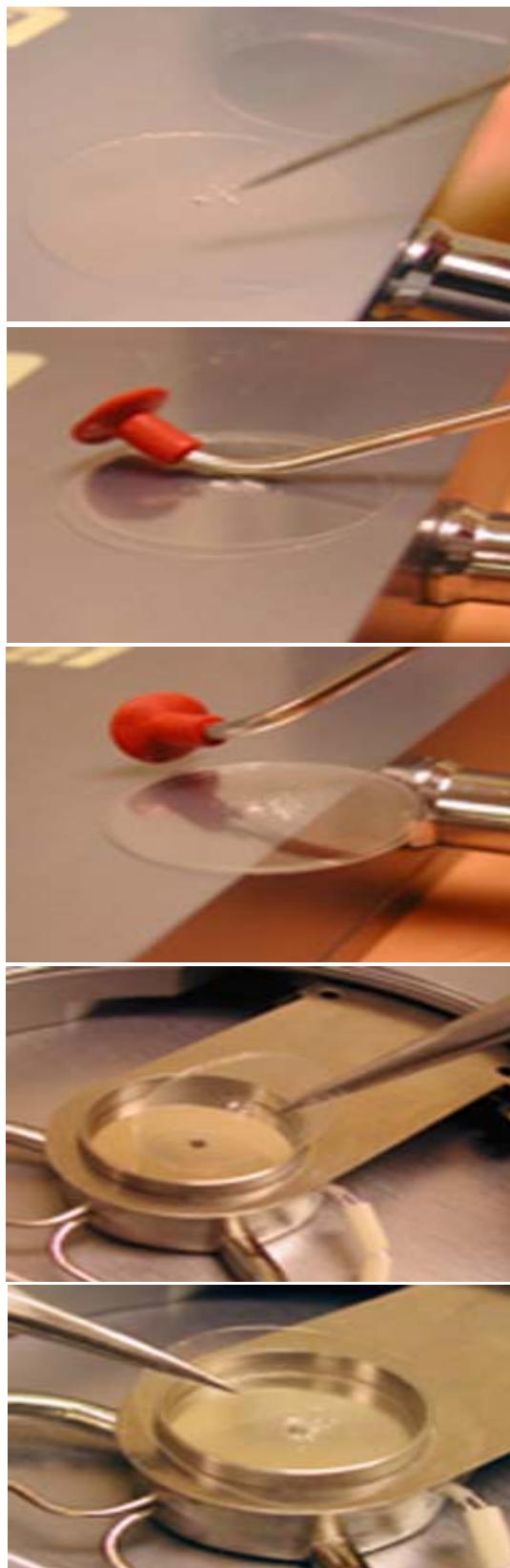
- در حین نزدیک شدن به نقطه ذوب گرمایش باید با آهنگ ۵/۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه افزایش یابد.
- کنترل منظم ماهانه واستنجی از نظر صفر بودن انحراف و کهنه شدن تدریجی سنسور حرارتی توصیه می‌شود.

۶-۱-۵- مراحل انجام واستنجی (کالیبراسیون)

- مراحل واستنجی به شرح زیر است:
- تمیز کردن سطح استیچ با الکل
 - قرار دادن لامل بر روی استیچ
 - ریختن مقدار کمی از نمونه استاندارد بر روی لامل کوارتزی با سوزن
 - صاف و یکنواخت کردن ماده استاندارد
 - قرار دادن لامل در محل قرارگیری نمونه و بستن درب استیل آن
 - تمکز بر روی مقدار کمی از نمونه با به کارگیری اهرم‌های جایه‌جایی در جهت X و Y
 - انتخاب آهنگ تغییرات حرارتی معمولاً حدود $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$
 - ثابت نگه داشتن دما به مدت ۱۰ دقیقه
 - ادامه فرآیند تغییرات دمایی تا $0/20$ درجه سانتی‌گراد نقطه ذوب ویژه نمونه و سپس تا 3 درجه بعد از نقطه ذوب

جدول ۱-۵- مواد استاندارد متداول برای واستنجی دما و نقطه ذوب آن‌ها

نقطه ذوب (درجه سانتی‌گراد)	مواد
-۹۵/۰	هگزان
-۹۰/۶	هپتان
-۶۳/۰	کلروفرم
-۵۶/۷۹	اوکتان
-۵۶/۶	ادخال دی‌اکسید کربن خالص
-۲۹/۷	دکان
-۲۲/۹۹	تتراکلرید کربن
..	آب (بیخ)
۱۰/۰۰	پنتادکان
۱۸/۱۷	هگزادکان
۹۵/۰۰	بنزیل
۱۲۲/۱۳	اسید بنزویک
۱۳۵/۰	اوره
۱۹۰/۰	سالوفن
۴۴۹/۵	تلوریم
۵۰۱/۰	کلرید سرب
۶۳۰/۵	آنتیمونی



شکل ۳-۵- مراحل انجام واسنجی صفحه گرم کننده و سرد کننده

۷- پتروگرافی سیالات درگیر

مطالعات پتروگرافی سیالات درگیر به وسیله میکروسکوپ نوری معمولی با بزرگنمایی بالا انجام می‌شود که شامل بررسی شکل سیال، فراوانی سیال، محتويات سیال و نوع کانی‌های دختر^۱ و پدیده‌های ثانویه مثل گردن دار شدن^۲ و نشت است. در پتروگرافی سیالات درگیر، مطالعه به صورت سه بعدی انجام می‌گیرد. قبل از حرارت دادن یا سرد کردن ویفرها به وسیله صفحات گرمایش و سرمایش، باید به طور کامل خصوصیات مختلف سیالات درگیر را مطالعه کرد. تشخیص پدیده‌های گردن دار شدن و نشت در مطالعه سیالات درگیر اهمیت فوق العاده‌ای دارد، و بدون توجه به آن گزارش‌های مربوط به مطالعات سیالات درگیر اعتبار لازم را نخواهد داشت. تشخیص نشت نسبت به گردن دار شدن مشکل‌تر است. کانی‌هایی مثل کلسیت، باریت، ژیپس که دارای کلیواژ کامل‌اند، بیشتر در معرض این پدیده قرار دارند. کانی‌هایی که تحت تنفس واقع شده‌اند، تغییر شکل می‌یابند و یا اگر در معرض دمایی بالاتر از دمای تشکیل واقع شوند، پدیده نشت در آن‌ها رخ می‌دهد و برای مطالعات میکروترموتری قابل استفاده نیستند. از ارتباط بین سیالات درگیر و بلور میزبان برای تشخیص منشا اولیه یا ثانویه بودن آن‌ها استفاده می‌شود.

اندازه اکثر سیالات درگیر معمولاً از ۱۰۰ میکرون کوچکتر است ولی گاه، سیالات درگیر در حد چند میلی‌متر که با چشم غیر مسلح دیده می‌شوند نیز وجود دارد. معمولی‌ترین اندازه سیالات درگیر ۲ تا ۲۰ میکرون است و اطلاعات سیالات درگیر که اندازه آن‌ها کمتر از ۵ میکرون است فاقد اعتبار است.

۸- روش میکروترموتری

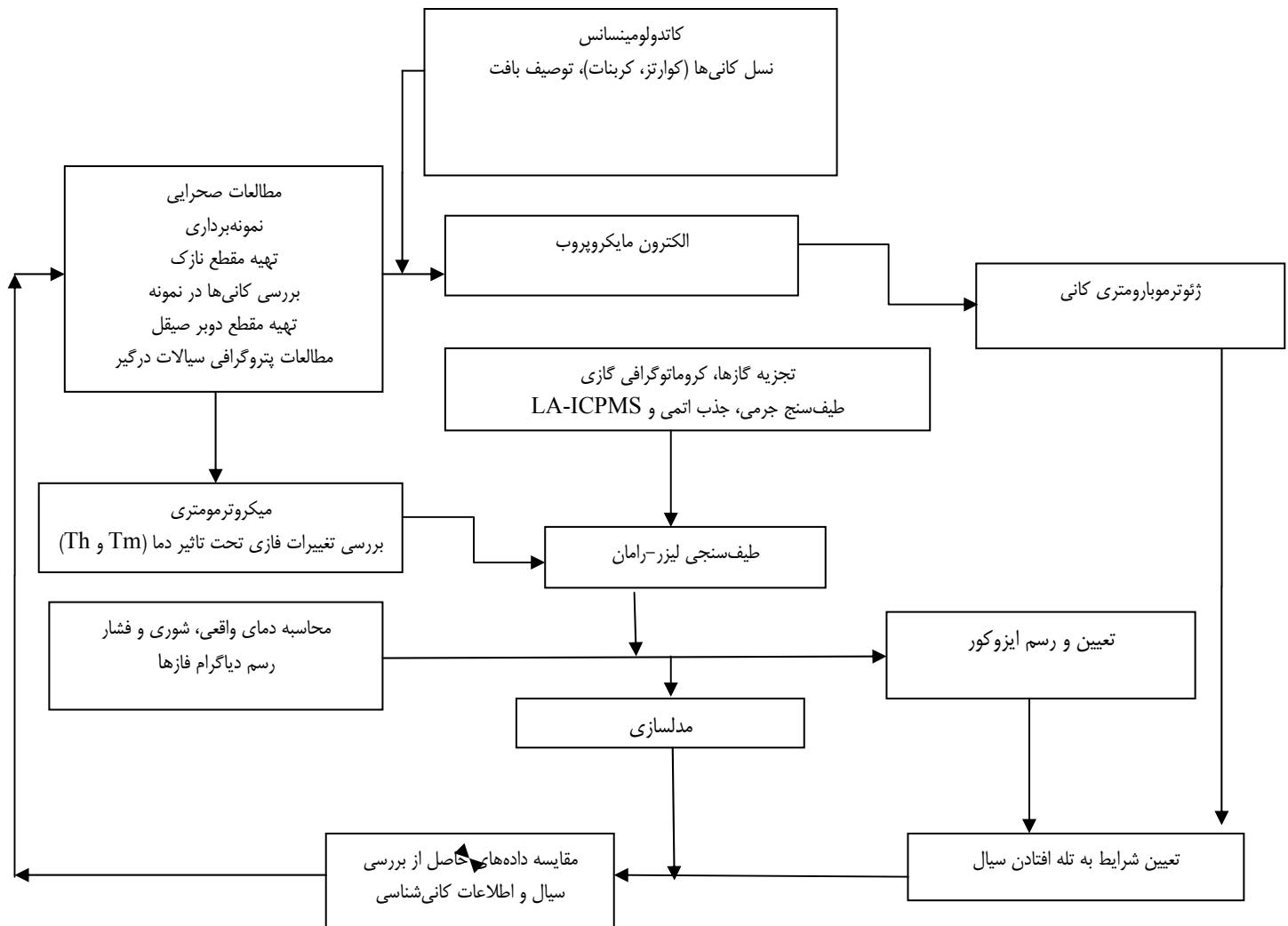
میکروترموتری بررسی تغییرات فازی در داخل سیالات درگیر در گرم کردن یا سرد کردن آن است. بسته به ترکیب سیال، ممکن است تغییر فاز (جامد، مایع یا بخار) رخ دهد. با اندازه‌گیری دقیق دمایی که این تغییرات در آن رخ می‌دهند، می‌توان با استناد به سیستم‌های ارایه شده بر مبنای مطالعات تجربی (یک، دو یا سه جزیی)، وضعیت فشار، دما، شوری و ترکیبات سیالات را در زمان به دام افتادن تخمین زد. مطالعات میکروترموتری برای به دست آوردن داده‌هایی در مورد ترکیب، چگالی سیال کانی‌ساز و تعیین دما انجام می‌گیرد. به کمک داده‌های حاصل از تعیین دمای تغییر فازها، میزان شوری و جرم مخصوص ترکیب سیالات که کانی میزبان از آن‌ها نهشته شده است، به دست می‌آید. در شکل ۵-۴ روند کلی مطالعات سیالات درگیر نشان داده شده است.

۸-۱- آزمایش گرم کردن

آزمایشات گرم کردن بر مبنای گرم کردن سیال درگیر تا دمایی که کلیه فازها به یک فاز اصلی همگن شوند، انجام گیرد. دمایی را که این پدیده رخ می‌دهد، دمای همگن شدن (Th) می‌نامند و بیانگر حداقل دمای به تله افتادن سیال است. اگر مایع در زمان به تله افتادن در حالت بحرانی باشد، این دما عبارت از دمای حقیقی به تله افتادن سیال خواهد بود. وقتی سیال به تله می‌افتد، هر چه فشار بیشتر شود، اختلاف بین دمای همگن شدن و دمای واقعی به تله افتادن بیشتر خواهد بود. در موارد لزوم، با به کار بردن تصحیح فشار مناسب، می‌توان دمای واقعی به تله افتادن را به کمک محاسبه ایزوکرها تخمین زد.

۱- Daughter mineral

۲- Necking down



شکل ۵-۴- روند کلی مطالعات سیالات درگیر

اگر کانی دختر نظریه هالیت و سیلویت در سیال وجود داشته باشد، میزان شوری مایع را نمی‌توان با پایین آوردن نقطه انجماد اندازه‌گیری کرد و برای تعیین شوری باید دمای انحلال کانی دختر اندازه‌گیری شود. از روی منحنی‌های موجود و استفاده از دمای انحلال کانی دختر، میزان شوری سیال به دست می‌آید (شکل ۵-۵). بنابراین با آزمایشات گرم کردن می‌توان موارد زیر را مشخص کرد:

- حداقل دمای به تله افتادن
- اگر فاز نمک نظریه هالیت و سیلویت وجود داشته باشد میزان شوری سیال
- چگالی کل سیال

در این آزمایش نمونه‌ها را با آهنگ مناسب (حدود ۲۰ درجه سانتی گراد در دقیقه) تا حداقل ۶۰۰ درجه سانتی گراد حرارت می‌دهند و اندازه‌گیری‌ها با دقت ۰/۱ درجه سانتی گراد انجام می‌گیرد. میزان شوری سیالاتی که حاوی کانی‌های دختر نظریه هالیت و سیلویت هستند دمای انحلال این کانی‌ها اندازه‌گیری می‌شود. هنگامی که سیال‌های درگیر چند فازی حرارت داده می‌شوند کانی‌های دختر حل می‌شوند و آهنگ حل شدن این کانی‌ها وابسته به حلالیت آن‌ها در فاز مایع است.

با افزایش دما حباب شروع به تحرک نوسانی می‌کند و کوچک و کوچکتر می‌شود تا اینکه ناپدید شود. بلور هالیت نیز در آغاز افزایش

حرارت از طرف گوشه‌های مکعبی گرد می‌شود و کم کم اندازه بلورها کاهش می‌باید تا اینکه به طور کامل حل شود. در صورت افزایش بیش از اندازه دما ممکن است سیالات درگیر در اثر فشار بخار شدید و افزایش حجم منفجر شوند، در این صورت سیال درگیر کاملاً سیاه می‌شود و دیگر برای اندازه‌گیری‌های بعدی غیرقابل استفاده خواهد بود. به همین دلیل، باید اول سیالات درگیری را مورد آزمایش قرار داد که دمای همگن شدن آن‌ها پایین است، زیرا در غیر این صورت سیالات درگیر با دمای تشکیل پایین از دست خواهند رفت. در حین عمل گرمایش، دمای اتحلال هالیت (T_{SNaCl}) با توجه به اندازه بلورها متفاوت است و در مواردی که حباب بخار بعد از اتحلال بلور نمک ناپدید می‌شود ($T_{\text{SNaCl}} < T_{\text{H}}$) دمای همگن شدن حباب، دمای همگن شدن محسوب می‌شود.

۵-۲-۸-۵- آزمایش سرد کردن

این آزمایش قبل از آزمایش گرم کردن و برای اندازه‌گیری میزان شوری سیالات درگیر تک فازی و دو فازی انجام می‌شود. با اندازه‌گیری دمای ذوب آخرین قطعه بین، میزان شوری بر حسب درصد وزنی معادل نمک طعام محاسبه می‌شود. آزمایش سرمایش تنها برای پی بردن به دمای اوتکتیک (T_{FM} یا T_{Te}) و نمک‌های حل شده در محلول انجام می‌شود. دمای اوتکتیک یا دمای ذوب اولین قطعه بین با یون‌های حل شده در محلول در ارتباط است. در مورد سیستم $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ ، دمای اولین ذوب $20/8$ - درجه سانتی‌گراد است، بنابراین وقتی یک عضو متشکله سوم در مایع وجود داشته باشد، دمای ذوب بسیار پایین‌تر خواهد بود. در این آزمایش ابتدا سیالات درگیر مورد مطالعه را با نیتروژن مایع تا دمای -60 - درجه سانتی‌گراد برودت می‌دهند و سپس دستگاه به مدت حدود ۲ دقیقه در این وضعیت ثابت می‌شود. بعد از آن، با آهنگ مناسب 10 درجه در دقیقه آزمایش ادامه می‌باید. در این آزمایش، دمای اوتکتیک اندازه‌گیری می‌شود. به کمک آزمایشات انجمامد، نه تنها میزان شوری سیال‌های درگیر رقیق شده را می‌توان تعیین کرد، بلکه ماهیت انواع نمک‌های حل شده در مایع را نیز می‌توان تشخیص داد (جدول ۲-۵). از آن جا که نمک‌های حل شده در یک سیال درگیر موجب افت دمای انجمامد می‌شوند، بنابراین کاهش نقطه انجمامد مایع پایین‌تر از صفر درجه سانتی‌گراد برای اندازه‌گیری میزان شوری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

از طریق آزمایش سرمایش می‌توان حضور گازهایی نظیر CO_2 و CH_4 را شناسایی کرد. بررسی‌های انجمامد با اولین تبدیل به انجمامد آغاز می‌شود، سپس به تدریج در حالی که در زیر میکروسکوپ یا در مانیتور کنترل می‌شود، سیالات درگیر گرم می‌شوند. به محض این که سیال منجمد شد، ناگهان حباب بخار جمع می‌شود و به صورت یک توده از دانه‌های بلور بین توسعه پیدا می‌کند. انقباض حجمی بخار در نتیجه بالا رفتن حجم بین در مقایسه با آب است. سپس سیال به تدریج گرم شده و از حالت انجمامد خارج می‌شود. دما آنقدر افزایش می‌باید تا بین شروع به ذوب شدن کند. مقدار کمی از مایع ناگهان در اولین دمای ذوب ظاهر می‌شود. دمایی که در آن اولین اجزای بین ذوب می‌شوند، دمای اوتکتیک است و مقدار آن به وضعیت نمک‌های حل شده در مایع بستگی دارد. اگر در جریان گرم کردن، دما اندکی از دمای اولین ذوب بالاتر رود، مقدار بیشتری از بین ذوب می‌شود. به تدریج تعداد قطعات بین کمتر می‌شود تا جایی که فقط چند دانه باقی می‌ماند. دمایی را که طی آن آخرین بلور بین ذوب می‌شود به دقت اندازه‌گیری می‌کنند. از آنجا که نمک‌های حل شده در سیال درگیر، دما را تا حدی پایین می‌آورند که باعث انجمامد آبی که آن‌ها را احاطه کرده است می‌شود، بنابراین پایین آمدن نقطه انجمامد مایع تا زیر صفر درجه سانتی‌گراد برای اندازه‌گیری میزان شوری به کار می‌رود. این مقدار بر حسب درصد وزنی معادل NaCl اندازه‌گیری می‌شود. برای اطمینان از بین زدن کامل، معمولاً سیالات درگیر آبگین تا دمای 60 - و سیالات CO_2 دار تا 100 - درجه سانتی‌گراد سرد می‌شوند تا از بین زدن کامل فازها اطمینان حاصل شود. سرد شدن تحت دمای پایین‌تر از دمای اتاق باعث می‌شود سیال درگیر حاوی دی‌اکسید کربن به صورت دو حباب در داخل هم درآید. حباب درونی، بخار دی‌اکسید کربن و حباب بیرونی، مایع دی‌اکسید کربن است.

دی اکسید کربن خالص منجمد شده در دمای -56°C - درجه سانتی گراد ذوب می شود و دماهای ذوب پایین تر از این نقطه، حضور هیدروکربن های دیگر نظیر متان را نشان می دهد. مقدار متان را می توان از روی نمودارهایی به صورت نیمه کمی تخمین زد.

۹-۵- سیستم های شیمیایی سیالات درگیر

به منظور مطالعه و تجزیه و تحلیل نتایج مطالعات میکروترموmomتری، کارشناس باید سیستم شیمیایی سیال درگیر را تشخیص دهد و بر مبنای آن نقاط اندازه گیری را مشخص کند. علاوه بر آن باید از ویژگی های سیستم های شیمیایی و نمودارهای فازی آن اطلاع کامل داشته باشد. چهار سیستم بسیار متبادل در ادامه ارایه می شود.

۹-۶-۱- سیال های دو فازی مایع- گاز ($\text{L}+\text{V}$)

این سیال ها از فاز مایع و حباب گاز تشکیل شده است. در هنگام گرم کردن این سیال ها ممکن است سه حالت اتفاق بیفتد که حالت اولی رایج تر است.

الف- همگن شدن به فاز مایع ($\text{L} \rightarrow \text{V}$)

ب- همگن شدن به فاز گاز ($\text{L} \rightarrow \text{V} \rightarrow \text{G}$)

پ- همگن شدن بحرانی که با محو شدن مرز مایع و گاز اتفاق می افتد.

در این نوع سیال های درگیر در آزمایش گرمایش دمای همگن شدن (T_{e}) و در آزمایش سرمایش دمای اوتکتیک (T_{o}) و دمای ذوب آخرین قطعه یخ (T_{Mice}) اندازه گیری می شود. غیر از محلول های نمکی ممکن است هیدرات های نمکی نیز در هنگام انجام دادن بلور های یخ تبدیل شوند. هیدروهالیت ($\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) شناخته شده ترین مثال از این گونه هیدرات ها است. نقطه ذوب آخرین بلور یخ هیدرات های نمکی با T_{MH} نشان داده می شود. با مقایسه T_{MH} , T_{Mice} و T_{FM} می توان اطلاعات دقیق تری در مورد مقدار شوری سیال های درگیر به دست آورد.

۹-۶-۲- سیال های درگیر سه فازی مایع- جامد- گاز ($\text{L}+\text{V}+\text{S}$)

این سیال ها غیر از فاز مایع و گاز دارای فاز جامد (فاز دختر) نیز هستند. کانی هالیت و سیلویت رایج ترین فاز های دختر درون سیالات درگیر هستند. در این سیال ها در آزمایش گرمایش، دمای همگن شدن، دمای انحلال کامل بلور هالیت ($T_{\text{S}_{\text{KCl}}}$) و سیلویت ($T_{\text{S}_{\text{NaCl}}}$) اندازه گیری می شود و نیازی به آزمایش سرمایش نیست.

۹-۶-۳- سیالات درگیر ناآمیخته ($\text{L}_1+\text{L}_2+\text{V}$)

این سیال های درگیر آب و دی اکسید کربن دارند و همگن شدن CO_2 مایع به گاز در دمای $31/1$ درجه سانتی گراد اتفاق می افتد. به دلیل مایع شدن سریع تر CO_2 نسبت به بخار آب، همیشه فاز CO_2 مایع در اطراف حباب بخار تشکیل می شود و آب مایع، آن را در بر می گیرد. در آزمایش گرمایش ابتدا همگن شدن و سپس همگن شدن کامل انجام می شود. نقطه ذوب فاز کلتزیت^۱، و ذوب CO_2 جامد

در آزمایش سرمایش تعیین می‌شود. در آزمایش سرمایش کلتريت تشکیل می‌شود و فاز آبگین و غیرآبگین منجمد می‌شوند. کلتريت یک فاز ناپایدار است که به صورت موقتی تشکیل می‌شود و شامل CO_2 و مقداری آب است. به دلیل ورود آب به فاز کلتريت، برای اندازه‌گیری شوری از نقطه ذوب نهایی بخ نمی‌توان استفاده کرد و شوری بر مبنای نقطه ذوب کلتريت که معمولاً در محدوده $6\text{--}12^\circ\text{C}$ درجه است، محاسبه می‌شود. در آزمایش سرمایش کلتريت (هیدرات گاز، $\text{CO}_2\text{/H}_2\text{O}$) نیز در دمای 28°C درجه سانتی‌گراد تشکیل می‌شود. برای آزمایش سرمایش، نمونه تا دمای زیر 100°C درجه سانتی‌گراد سرد می‌شود تا فاز CO_2 و فازهای آبگین موجود در نمونه همه منجمد شوند. در گرم کردن، CO_2 جامد در دمای 56°C درجه سانتی‌گراد (T_{MCO_2}) کاملاً ذوب شود. در دمایی که آخرين بلور بخ ذوب می‌شود (T_{Mice}) هنوز بلورهای کلتريت حضور دارند و با افزایش دما تجزیه می‌شوند (T_{Mclath}) که این مساله همراه با ظهور ناگهانی CO_2 مایع در اطراف حباب بخار غنی از CO_2 است. با گرم شدن بیشتر فاز CO_2 در دمای $31/1^\circ\text{C}$ درجه سانتی‌گراد CO_2 به حالت مایع همگن می‌شود Th_{CO_2} در این سیال‌ها، دمای همگن شدن (Th) دمایی است که CO_2 مایع و فاز مایع آبگین به صورت کامل همگن می‌شوند.

۴-۹-۵- سیالات غنی از CO_2

سیال‌های درگیر حاوی CO_2 خالص در دمای 56°C - 60°C (T_{MCO_2}) درجه سانتی‌گراد ذوب یا منجمد می‌شوند. در صورتی که ترکیبی از CO_2 و مایعات دیگر مثل آب در درون سیال وجود داشته باشد، نقطه ذوب مایع درون سیال درگیر به طرف صفر میل می‌کند. در صورتی که CH_4 به صورت مایع در داخل CO_2 حل شده باشد، درجه ذوب بلورهای بخ تشکیل شده یا درجه انجماد سیال درگیر 56°C - درجه سانتی‌گراد به طرف $185/5^\circ\text{C}$ میل می‌کنند. در دمای $31/1^\circ\text{C}$ درجه سانتی‌گراد CO_2 مایع به فاز گاز CO_2 تبدیل می‌شود. برای سیستم CO_2 دو فازی دو نقطه ذوب CO_2 جامد و همگن شدن کامل CO_2 اندازه‌گیری می‌شود.

۱۰-۵- نقاط اندازه‌گیری

در مطالعات میکروترموتری دمای تغییرات فازهای موجود در سیالات درگیر در طی شرایط سرد و گرم کردن اندازه‌گیری می‌شود. بسته به سیستم شیمیابی، نقاط اندازه‌گیری (تغییر فاز) متفاوت است. نقاط مورد اندازه‌گیری در سیستم‌های مختلف در جدول ۳-۵ ارایه شده است.

۱۱-۵- ارایه نتایج مطالعات میکروترموتری

بسته به نوع ذخیره و اهداف مطالعه ارایه نتایج و تعبیر و تفسیر متفاوت است و کارشناسان خبره بسته به نیاز از روش‌های متفاوت استفاده می‌کنند. به منظور ارایه نتایج، استفاده از جدول‌ها و نمودارهایی که در ادامه آمده متناول است. به منظور حصول اطمینان، بین ۱۵ تا ۲۵ سیال درگیر از هر سیستم باید به طور کامل مطالعه شود.

مطالعه کامل شامل نوع سیستم شیمیابی، اندازه‌گیری تغییرات شیمیابی، اندازه‌گیری تغییرات فازی و نوع سیال درگیر از نظر اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب بودن است.

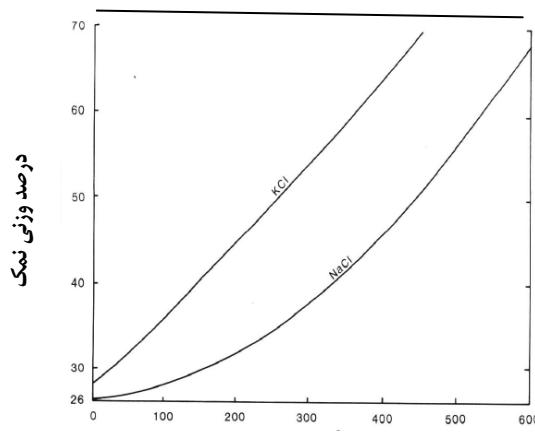
- هیستوگرام دمای ذوب آخرین قطعه بخ

- هیستوگرام درجه همگن شدن

- هیستوگرام شوری محاسبه شده

- نمودار Th در مقابل شوری

- محاسبه و رسم ایزوکرها^۱



دماهی انحلال بر حسب درجه سانتی گراد

شکل ۵-۵- منحنی های حلایت NaCl و KCl در محلول های همگن برابی اندازه گیری میزان شوری سیالات درگیر دارای کانی های دختر هالیت و سیلویت

جدول ۲-۵- تعیین میزان شوری بر حسب درصد نمک طعام با استفاده از ذوب آخرین قطعه یخ

۰/۹	۰/۸	۰/۷	۰/۶	۰/۵	۰/۴	۰/۳	۰/۲	۰/۱	۰/۰	نقطه ذوب آخرین قطعه یخ (Tmice)
۱,۵۷	۱,۴۰	۱,۲۳	۱,۰۵	۰,۸۸	۰,۷۱	۰,۵۳	۰,۳۵	۰,۱۸	۰,۰۰	.
۳,۲۳	۳,۰۶	۲,۹۰	۲,۷۴	۲,۵۷	۲,۴۱	۲,۲۴	۲,۰۷	۱,۹۱	۱,۷۴	۱
۴,۸۰	۴,۶۵	۴,۴۹	۴,۳۴	۴,۱۸	۴,۰۳	۳,۸۷	۳,۷۱	۳,۵۵	۳,۳۹	۲
۶,۳۰	۶,۱۶	۶,۰۱	۵,۸۶	۵,۷۱	۵,۵۶	۵,۴۱	۵,۲۶	۵,۱۱	۴,۹۶	۳
۷,۷۳	۷,۵۹	۷,۴۵	۷,۳۱	۷,۱۷	۷,۰۲	۶,۸۸	۶,۷۴	۶,۵۹	۶,۴۵	۴
۹,۰۸	۸,۹۵	۸,۸۱	۸,۶۸	۸,۵۵	۸,۴۱	۸,۲۸	۸,۱۴	۸,۰۰	۷,۸۶	۵
۱۰,۳۶	۱۰,۲۴	۱۰,۱۱	۹,۹۸	۹,۸۶	۹,۷۳	۹,۶۰	۹,۴۷	۹,۳۴	۹,۲۱	۶
۱۱,۵۸	۱۱,۴۶	۱۱,۳۴	۱۱,۲۲	۱۱,۱۰	۱۰,۹۸	۱۰,۸۶	۱۰,۷۳	۱۰,۶۱	۱۰,۴۹	۷
۱۲,۷۳	۱۲,۶۲	۱۲,۵۱	۱۲,۳۹	۱۲,۲۸	۱۲,۱۶	۱۲,۰۵	۱۱,۹۳	۱۱,۸۱	۱۱,۷۰	۸
۱۳,۸۳	۱۳,۷۲	۱۳,۶۲	۱۳,۵۱	۱۳,۴۰	۱۳,۲۹	۱۳,۱۸	۱۳,۰۷	۱۲,۹۶	۱۲,۸۵	۹
۱۴,۸۷	۱۴,۷۷	۱۴,۶۷	۱۴,۵۷	۱۴,۴۶	۱۴,۳۶	۱۴,۲۵	۱۴,۱۵	۱۴,۰۴	۱۳,۹۴	۱۰
۱۵,۸۶	۱۵,۷۶	۱۵,۶۷	۱۵,۵۷	۱۵,۴۷	۱۵,۳۷	۱۵,۲۷	۱۵,۱۷	۱۵,۰۷	۱۴,۹۷	۱۱
۱۶,۸۰	۱۶,۷۱	۱۶,۶۲	۱۶,۵۳	۱۶,۴۳	۱۶,۳۴	۱۶,۲۴	۱۶,۱۵	۱۶,۰۵	۱۵,۹۶	۱۲
۱۷,۷۰	۱۷,۶۱	۱۷,۵۲	۱۷,۴۳	۱۷,۳۴	۱۷,۲۶	۱۷,۱۷	۱۷,۰۸	۱۶,۹۹	۱۶,۸۹	۱۳
۱۸,۵۵	۱۸,۴۷	۱۸,۳۸	۱۸,۳۰	۱۸,۲۲	۱۸,۱۳	۱۸,۰۴	۱۷,۹۶	۱۷,۸۷	۱۷,۷۹	۱۴

ادامه جدول ۵-۲- تعیین میزان شوری بر حسب درصد نمک طعام با استفاده از ذوب آخرین قطعه بخ

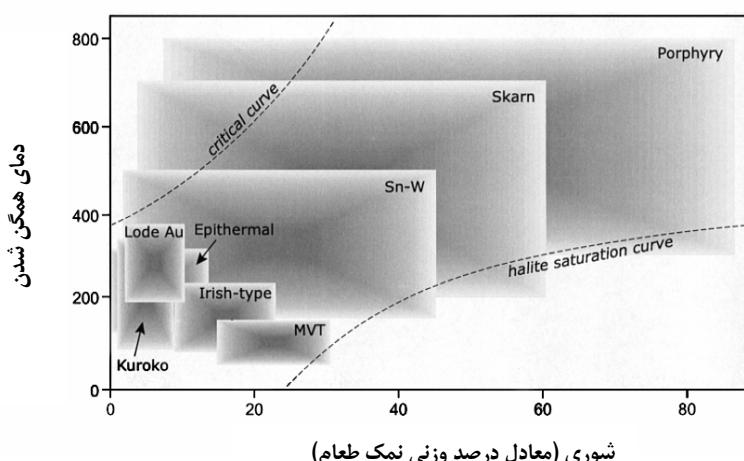
۰۹	۰۸	۰۷	۰۶	۰۵	۰۴	۰۳	۰۲	۰۱	۰۰	نقطه ذوب آخرین قطعه بخ (Tmice)
۱۹,۳۷	۱۹,۲۹	۱۹,۲۱	۱۹,۱۳	۱۹,۰۵	۱۸,۹۶	۱۸,۸۸	۱۸,۸۰	۱۸,۷۲	۱۸,۶۳	۱۵
۲۰,۱۵	۲۰,۰۷	۱۹,۹۹	۱۹,۹۲	۱۹,۸۴	۱۹,۷۶	۱۹,۶۸	۱۹,۶۰	۱۹,۵۳	۱۹,۴۵	۱۶
۲۰,۸۹	۲۰,۸۲	۲۰,۷۵	۲۰,۶۷	۲۰,۶۰	۲۰,۵۲	۲۰,۴۵	۲۰,۳۷	۲۰,۳۰	۲۰,۲۲	۱۷
۲۱,۶۱	۲۱,۵۴	۲۱,۴۷	۲۱,۴۰	۲۱,۳۳	۲۱,۲۶	۲۱,۱۹	۲۱,۱۱	۲۱,۰۴	۲۰,۹۷	۱۸
۲۲,۳۱	۲۲,۲۴	۲۲,۱۷	۲۲,۱۰	۲۲,۰۳	۲۱,۹۶	۲۱,۸۹	۲۱,۸۲	۲۱,۷۵	۲۱,۶۸	۱۹
۲۲,۹۸	۲۲,۹۱	۲۲,۸۵	۲۲,۷۸	۲۲,۷۱	۲۲,۶۵	۲۲,۵۸	۲۲,۵۱	۲۲,۴۴	۲۲,۳۸	۲۰
							۲۳,۱۸	۲۳,۱۱	۲۳,۰۵	۲۱

جدول ۳-۵- پارامترهای قابل اندازه‌گیری در انواع مختلف سیالات درگیر

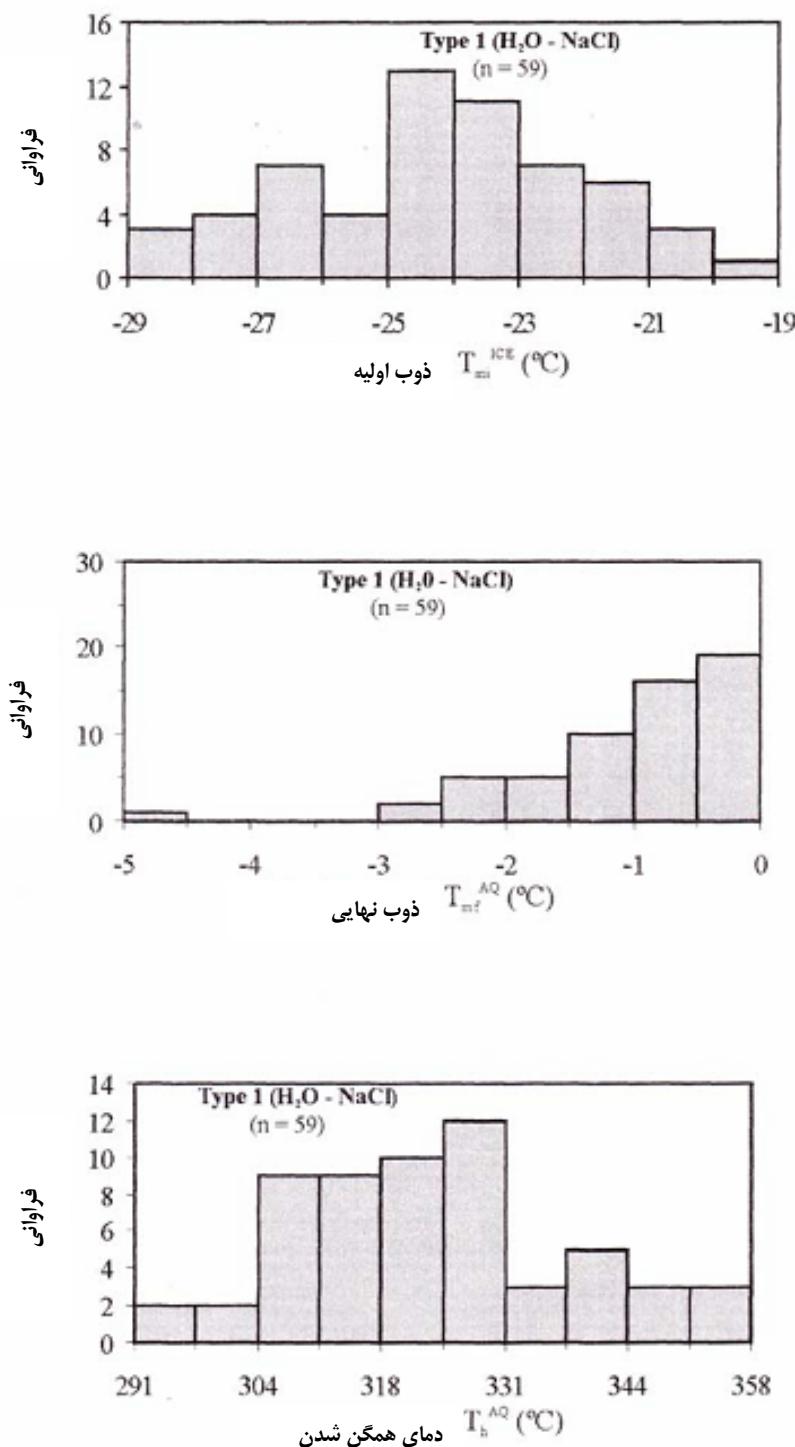
TMCO۲	Te	TMHH	TM ice	TMclath	Th CO۲	TSS۱	TSS۲	Th	نقاط اندازه‌گیری فاز
-	✓	±	✓	-	-	-	-	✓	L+V
-	-	-	-	-	-	✓	-	✓	L+V+S
-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	L+V+mS
✓	✓	-	-	✓	✓	-	-	✓	L۱+L۲+V
✓	-	-	-	-	✓	-	-	-	L+VCO۲

۱۲-۵- ارتباط درجه شوری و دمای همگن شدن در تیپ‌های مختلف کانساری

ارتباط درجه شوری و دمای همگن شدن به صورت تقریبی و با برخی همپوشانی‌ها برای تیپ کانسارهای مختلف در شکل ۵-۶ ارایه شده است. در این شکل، هر تیپ کانسار در محدوده‌ای از دما و شوری قرار می‌گیرد و با تعیین شوری و دمای همگن شدن می‌توان نوع کانسار مورد مطالعه را تا حدودی تعیین کرد. نتایج مطالعات سیالات درگیر معمولاً به صورت جداول‌ها و نمودارهای هیستوگرام گزارش می‌شود و تغییرات دمای همگن شدن و شوری سیالات درگیر مورد بررسی قرار می‌گیرد (شکل ۷-۵). استفاده از مطالعه سیالات درگیر به تنها‌ی کافی نیست و باید این داده‌ها در کنار سایر داده‌های زمین‌شناسی مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۵-۶- ارتباط تقریبی کانسارهای مختلف با دمای همگن شدن و شوری سیالات درگیر



شکل ۷-۵- نمونهای از نمودار دمای همگن شدن، ذوب اولین قطعه بخ و ذوب آخرین قطعه بخ سیالات درگیر

فصل ۶

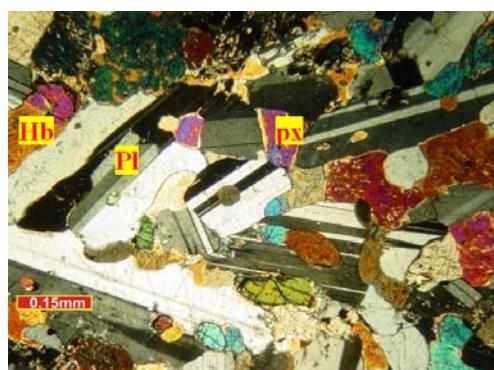
**دستورالعمل تصویربرداری از
مقاطع و تعبیر و تفسیر آنها**

۶-۱- آشنایی

به منظور مستندسازی مطالعات میکروسکوپی و ارایه نکات کلیدی به صورت تصویری باید همراه با گزارش مطالعات، تعدادی عکس گویا شده نیز ارایه شود. تعداد عکس‌ها به پارامترهای کلیدی و موضوع مورد نظر بستگی دارد اما در هر مورد ارایه حداقل دو عکس ضروری است.

۶-۲- تصاویر میکروسکوپی

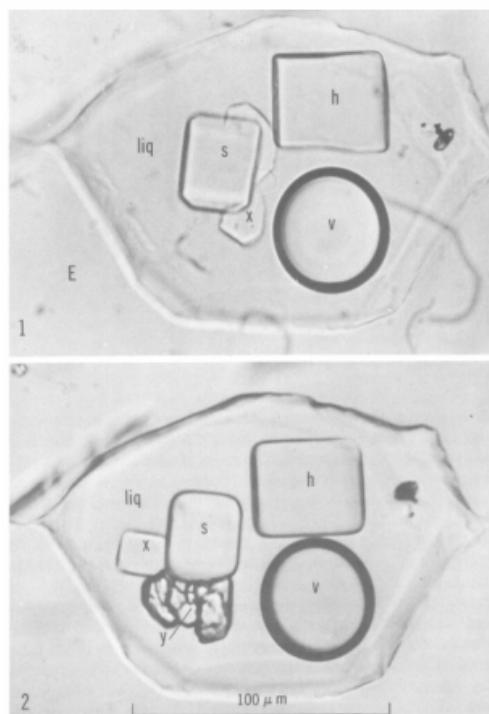
تصاویر میکروسکوپی باید تاییدکننده توضیحات گزارش مطالعات میکروسکوپی باشند و خواننده را در درک گزارش کمک کنند. در مطالعات سنگ‌شناسی تصاویر میکروسکوپی باید گویای نام سنگ باشند و بافت‌های موجود در نمونه را به خوبی نشان دهند. پدیده‌های دگرسانی حتما باید تصویربرداری و در گزارش ارایه شود. هر عکس باید مقیاس خطی داشته باشد و نوع نوری که در آن تصویربرداری شده است در قسمت زیرین عکس ثبت شود. توضیحات مختصری از عکس تحت عنوان زیرنویس برای هر عکس ضروری است (شکل‌های ۱-۶ تا ۳-۶). در مطالعات سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی باید هر کانی یا کانه با استفاده از علایم استاندارد کانی‌ها گویا شود (پیوست). عکس‌برداری و ثبت آن چه که مشاهده می‌شود بهترین سند و مدرک برای اثبات یافته‌های محقق در مطالعات سیالات درگیر است. این عکس‌ها برای مستندسازی اندازه، شکل، فازهای درونی و نوع سیال‌های درگیر ضروری هستند. پدیده‌هایی مثل گردن دار شدن، نشت و تغییرات فازها به کمک عکس‌های برداشته شده از سیال‌ها در فواصل مختلف و طولانی قابل اثبات است. عکس‌برداری از سیال‌های درگیر امکان مشاهده تغییرات و مقایسه وضعیت سیال‌ها در هنگام مطالعات پتروگرافی و پس از گرم یا سرد کردن آن‌ها را برای محقق فراهم می‌سازد. در مطالعات سیالات درگیر، فازهای موجود در تصاویر سیالات درگیر نیز باید با استفاده از علایم استاندارد گویا شود. شماره هر عکس باید در متن گزارش ارجاع داشته باشد. در مطالعات مقاطع صیقلی به منظور نشان دادن بهتر ارتباط کانه با بخش‌های باطله، بهتر است تصاویر میکروسکوپی با بزرگنمایی‌های مختلف گرفته شده و از بزرگنمایی‌های کوچکتر برای نشان دادن نمای کلی نمونه و مقادیر کمی کانه‌های تشکیل دهنده نمونه استفاده شود. از بزرگنمایی‌های بزرگ به منظور نشان دادن بافت‌های خیلی ریز نمونه مثل بافت‌های جانشینی و ادخال‌های موجود در نمونه استفاده می‌شود. کانی‌های غیرفلزی در مطالعات مقاطع صیقلی تحت عنوان گانگ یا باطله نام‌گذاری می‌شوند.



شکل ۶-۱- تصویر میکروسکوپی مربوط به یک نمونه گابرو (نور عبوری XPL)
نماد کانی‌ها: پیروکسن (Px)، پلاژیوکلاز (Pl) و هورنبلند (Hb)



شکل ۶-۲- تصویر میکروسکوپی جانشینی کولولیت به جای کالکوپیریت (نور انعکاسی PPL) کالکوپیریت (Cep) و کولولیت (Cv)



شکل ۶-۳- تصویر میکروسکوپی از سیالات درگیر چند فازی
بخار (v)، هالیت (h)، سیلویت (s)

پیوست

علایم استاندارد برای نامگذاری برخی از

کانی‌ها در تصاویر میکروسکوپی

جدول ۱ - عالیم استاندارد برای نامگذاری برخی از کانی‌ها در تصاویر میکروسکوپی

عالیم	کانی	عالیم	کانی
Act	Actinolite	Bst	Bustamite
Aeg	Aegirine	Cal	Calcite
Aik	Aikinite	Ccn	Cancrinite
Agt	Aegirine-augite	Car	Caryopilite
Ak	Akermanite	Cb	Carbonate mineral
Ab	Albite	Cph	Carpholite
All	Allactite	Cst	Cassiterite
Afs	Alkali feldspar	Cel	Celadonite
Aln	Allanite	Cls	Celestine
Alm	Almandine	Cbz	Chabazite
Als	Alumosilicate	Cc	Chalcocite
Amp	Amphibole	Ccp	Chalcopyrite
Anl	Analcime	Chm	Chamosite
Ant	Anatase	Chl	Chlorite
And	Andalusite	Cld	Chloritoid
Adr	Andradite	Chn	Chondrodite
Anh	Anhydrite	Csl	Chrisstanleyite
Ank	Ankerite	Chr	Chromite
Ann	Annite	Ccl	Chrysocolla
An	Anorthite	Ctl	Chrysotile
Ath	Anthophyllite	Clc	Clinochlore
Atg	Antigorite	Cen	Clinoenstatite
Ap	Apatite	Fe ₂ -Chq	Clinoferroholmquistite
Apo	Apophyllite	Cfs	Clinofersilite
Arg	Aragonite	Chq	Clinoholmquistite
Arf	Arfvedsonite	Chu	Clinohumite
Arm	Armangite	Cpt	Clinoptilolite
Apy	Arsenopyrite	Cpx	Clinopyroxene
Asp	Aspidolite	Czo	Clinozoisite
Aug	Augite	Cbt	Cobaltite
Ax	Axinite	Coe	Coesite
Brt	Barite	Cpr	Cooperite
Brr	Barrerite	Crd	Cordierite
Brs	Barroisite	Crr	Corrensite
Blt	Barylite	Crn	Corundum
Bsl	Barysilite	Cv	Covellite
Bnj	Benjaminite	Crs	Cristobalite
Ber	Berryite	Cum	Cummingtonite
Bet	Betafite	Dee	Deerite
Brl	Beryl	Dsp	Diaspore
Bry	Beryllonite	Dg	Digenite
Beu	Beusite	Di	Diopside
Bt	Biotite	Dol	Dolomite
Bmt	Bismuthinite	Drv	Dravite
Bhm	Boehmite	Dum	Dumortierite
Bor	Boralsilite	Eas	Eastonite
Bn	Bornite	Eck	Eckermannite
Bnn	Bournonite	Ed	Edenite
Brg	Braggite	Elb	Elbaite
Brk	Brookite	En	Enstatite
Brc	Brucite	Ep	Epidote

ادامه جدول ۱ - علایم استاندارد برخی از کانی‌ها در تصاویر میکروسکوپی

علایم	کانی	علایم	کانی
Ess	Esseneite	Hq	Holmquistite
Fa	Fayalite	Hbl	Hornblende
Fac	Ferro-actinolite	Hu	Humite
Fcl	Ferrocolumbite	Ill	Illite
Fed	Ferro-edenite	Ilm	Ilmenite
Fs	Ferrosilite	Ins	Inesite
Ftn	Ferrotantalite	Ixl	Ixiolite
Fts	Ferrotschermakite	Jd	Jadeite
Fer	Feruvite	Jrs	Jarosite
Fsp	Feldspar	Joe	Joesmithite
Fl	Fluorite	Jh	Johannsenite
Foi	Foitite	Jsv	Johnsomervilleite
Fo	Forsterite	Jnt	Junoite
Frd	Friedrichite	Krs	Kaersutite
Gad	Gadolinite	Kls	Kalsilite
Gn	Galena	Kln	Kaolinite
Grt	Garnet	Kln-Srp	Kaolinite-Serpentine
Ged	Gedrite	Ktp	Katophorite
Gh	Gehlenite	Kfs	K-feldspar
Gdf	Gersdorffite	Kie	Kieserite
Gbs	Gibbsite	Kob	Kobellite
Gir	Giraudite	Krn	Komerupine
Gld	Gladite	Koz	Kozulite
Glt	Glauconite	Kut	Kutnohorite
Gln	Glaucophane	Ky	Kyanite
Gt	Goethite	Ltk	Laitakarite
Gft	Graftonite	Lan	Lanarkite
Gdd	Grandidierite	Ltp	Latrappite
Gr	Graphite	Lmt	Laumontite
Gre	Greenalite	Lrt	Laurite
Grg	Greigite	Lws	Lawsonite
Grs	Grossular	Laz	Lazulite
Gru	Grunerite	Lzr	Lazurite
Gp	Gypsum	Lpd	Lepidolite
Hak	Hakite	Lct	Leucite
Hl	Halite	Lm	Limonite
Ham	Hambergite	Lnd	Lindstromite
Hmr	Hammarite	Lz	Lizardite
Hs	Hastingsite	Lol	Loellingite
Hyn	Haüyne	Ldn	Londonite
Hz	Heazlewoodite	Lop	Loparite
Hd	Hedenbergite	Lou	Loughlinite
Hdl	Hedleyite	Lue	Lueshite
Hlv	Helvite	Mkw	Mackinawite
Hem	Hematite	Mgh	Maghemite
Hc	Hercynite	Mhb	Magnesiohornblende
Hrd	Herderite	Mkt	Magnesiokatophorite
Hul	Heulandite	Mrb	Magnesioriebeckite
Hgb	Högblomite (Hoegblomite)	Mg-Sdg	Magnesiosadanagaite

ادامه جدول ۱ - علایم استاندارد برای نامگذاری برخی از کانی‌ها در تصاویر میکروسکوپی

علایم	کانی	علایم	کانی
Mgs	Magnesite	Pet	Petalite
Mgt	Magnetite	Phk	Phenakite
Mcl	Manganocolumbite	Phg	Phengite
Mtn	Manganotantalite	Phl	Phlogopite
Mrc	Marcasite	Pgt	Pigeonite
Mrg	Margarite	Pl	Plagioclase
Mar	Marialite	Pmc	Plumbomicrolite
Med	Medaite	Pol	Pollucite
Mei	Meionite	Prh	Prehnite
Mel	Melilite	Prm	Prismatine
Mer	Merwinite	Pmp	Pumpellyite
Mca	Mica	Py	Pyrite
Mc	Microlime	Pya	Pyroaurite
Mic	Microclite	Pyc	Pyrochroite
Min	Minnesotaite	Pcl	Pyrochlore
Mlb	Molybdenite	Prp	Pyrope
Mnz	Monazite	Pyf	Pyrophanite
Mon	Moncheite	Prl	Pyrophyllite
Mbs	Montebrasite	Prl-Tlc	Pyrophyllite-Talc
Mtc	Monticellite	Px	Pyroxene
Mnt	Montmorillonite	Pxm	Pyroxmangite
Mor	Mordenite	Po	Pyrrohotite
Mmt	Morimotoite	Qtz	Quartz
Mul	Mullite	Rnk	Rankinite
Ms	Muscovite	Rdz	Rhodizite
Nad	Nadorite	Rds	Rhodochrosite
Nas	Nasinite	Rdn	Rhodonite
Ntr	Natrolite	Rbk	Riebeckite
Ne	Nepheline	Rit	Richterite
Ney	Neyite	Rsm	Rosmanite
Nc	Nickeline	Rsb	Rustenbergite
Nrb	Norbergite	Rt	Rutile
Nsn	Nosean	Sdg	Sadanagaite
Nyb	Nyböite (Nyboeite)	Sa	Sanidine
Ol	Olivine	Spr	Sapphirine
Omp	Omphacite	Sar	Sarcopside
Op	Opaque mineral	Scp	Scapolite
Oam	Orthoamphibole	Srl	Schorl
Or	Orthoclase	Skn	Sekaninaite
Opx	Orthopyroxene	Sep	Sepiolite
Osu	Osumilite	Ser	Sericite
Pal	Palygorskite	Srp	Serpentine
Pg	Paragonite	Sd	Siderite
Prg	Pargasite	Sil	Sillimanite
Prk	Parkerite	Sme	Smectite
Pct	Pectolite	Sdl	Sodalite
Pek	Pekoite	Sps	Spessartine
Pn	Pentlandite	Sp	Sphalerite
Per	Periclase	Spl	Spinel
Prv	Perovskite	Spd	Spodumene

ادامه جدول ۱ - علایم استاندارد برای نام‌گذاری برخی از کانی‌ها در تصاویر میکروسکوپی

علایم	کانی	علایم	کانی
Spu	Spurrite	Tph	Triphylite
St	Staurolite	Tro	Troilite
Stl	Stellerite	Ts	Tschermarkite
Stf	Stibiobetafite	Usp	Ulvöspinel (Ulvoespinel)
Stm	Stibiomicrolite	Urn	Uraninite
Std	Stibiopalladinite	Umc	Uranmicrolite
Stb	Stilbite	Uv	Uvarovite
Stp	Stilpnomelane	Vrm	Vermiculite
Sti	Stishovite	Ves	Vesuvianite
Str	Strontianite	Vtm	Viitaniemiite
Tlc	Talc	Viv	Vivianite
Tap	Tapiolite	Vsk	Vysotskite
Tmt	Taramite	Wai	Wairakite
Tsn	Tausonite	Wrd	Werdeingite
Tn	Tennantite	Wmca	White Mica
Tep	Tephroite	Win	Winchite
Td	Tetrahedrite	Wth	Witherite
Thm	Thomsonite	Wtc	Wittichenite
Thr	Thorite	Wo	Wollastonite
Tmn	Tiemannite	Wus	Wüstite (Wuestite)
Til	Tilleyite	Xnt	Xenotime
Ttn	Titanite	Zeo	Zeolite
Toz	Topaz	Zwd	Zinnwaldite
Tur	Tourmaline	Zrn	Zircon
Tr	Tremolite	Zo	Zoisite
Trd	Tridymite		

خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با گذشت بیش از چهل سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر ششصد عنوان خصابه تخصصی-فنی، در قالب آییننامه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی، نشریه و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. خصابه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست ضوابط منتشر شده در پایگاه اطلاع‌رسانی nezamfanni.ir قابل دستیابی می‌باشد.

امور نظام فنی و اجرایی

Islamic Republic of Iran
Management and Planning Organization

Instruction for Sample Preparation, Microscopic Studies and Fluid Inclusion Analysis

No. 655

Office of Deputy for Strategic Supervision
Department of Technical and Executive Affairs

Ministry of Industry, Mine and Trade
Deputy of Mine Affairs and Mineral
Industries
Office for Mining Supervision and
Exploitation
<http://mimt.gov.ir>

[nezamfanni.ir](http://ne zamfanni.ir)

2016

این نشریه

به روش‌های آماده‌سازی نمونه‌ها برای مطالعات میکروسکوپی در نور عبوری و انعکاسی و سیالات درگیر می‌پردازد و در ادامه روش گزارش‌نویسی، تهیه تصاویر میکروسکوپی و تعبیر و تفسیر آن‌ها ارایه شده است.