جمهوری اسلامی ایران

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

شناسایی مواد معدنی و آزادسازی آن‌ها در کانه‌آرایی

نشریه شماره ۵۶۵

معاونت نظارت راهبردی

امور نظام فنی

Nezamfanni.ir

وزارت صنعت، معدن و تجارت

معاونت امور معادن و صنایع معدنی

دفتر نظارت و بهره‌برداری معادن

http://www.mim.gov.ir

۱۳۹۱

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

بسمه‌تعالی

ریاست جمهوری
معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	شماره: ۱۰۰/۹۸۲۶۵
	تاریخ: ۱۳۹۱/۱۱/۲۳

موضوع : شناسایی مواد معدنی و آزادسازی آن‌ها در کانه‌آرایی

به استناد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و ماده (٦) آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی- مصوب سال ۱۳۵۲ و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (موضوع تصویبنامه شماره ٤۲۳۳۹/ت۳۳٤۹۷هـ مورخ ۱۳۸۵/٤/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ٥٦٥ امور نظام فنی، با عنوان «**شناسایی مواد معدنی و آزادسازی آن‌ها در کانه‌آرایی**» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

رعایت مفاد این ضابطه برای دستگاه‌های اجرایی، مشاوران، پیمانکاران و سایر عوامل ذی‌نفع نظام فنی و اجرایی، در صورت نداشتن ضوابط معتبر بهتر، از تاریخ ۱۳۹۲/۲/۱ اجباری است.

بهروز مرادی

۸۷٥۳۳٤

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، 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 ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

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

۲- ***ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.***

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

٤- ***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.

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه : تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علیشاه، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، امور نظام فنی ، مرکز تلفن ۳۳۲۷۱

Email:info@nezamfanni.ir **web: http://nezamfanni.ir**

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

بسمه تعالی

پیشگفتار

نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره۴۲۳۳۹/ ت ۳۳۴۹۷ هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات وزیران) 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 تاکید 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. شناسایی خواص کانی‌ها و مواد معدنی دارای اهمیت و کاربردهای فراوان در کانه‌آرایی و فرآوری مواد معدنی است و از اولین مراحل انجام پروژه‌های کانه‌آرایی و فرآوری به شمار می‌آید. از جمله این موارد، کاربرد داده‌های کانی‌شناسی در شناخت و رفع مشکلات احتمالی حین فرآیندهای مختلف فرآوری، کنترل کیفیت کنسانتره‌ها، باطله‌ها و محصولات، شناسایی خوراک اولیه ورودی به کارخانه و در نهایت استفاده از نتایج این مطالعات در طراحی مدارهای فرآوری است. شناسایی ممکن است بر اساس خواص ظاهری و یا فیزیکی با روش‌های آنالیز کیفی یا کمی شیمیایی و یا میکروسکوپی مواد معدنی صورت گیرد.

در مطالعات شناسایی مواد معدنی کلیه فازهای موجود در نمونه شامل کانی‌های هدف و باطله، تعیین بافت و ساخت و درجه آزادی آن‌ها مورد مطالعه قرار می‌گیرند.

این نشریه با عنوان «شناسایی مواد معدنی و آزادسازی آن‌ها در کانه‌آرایی» در دو مبحث شناسایی مواد معدنی و مطالعات درجه آزادی به بررسی مراحل شناسایی و روش‌های آزاد سازی مواد در عملیات کانه‌آرایی پرداخته است.

با همه‌ی تلاش انجام شده قطعا هنوز کاستی‌هایی در متن موجود است که إن‌شاءا... کاربرد عملی و در سطح وسیع این نشریه توسط مهندسان موجبات شناسایی و برطرف نمودن آن‌ها را فراهم خواهد نمود.

در پایان، از تلاش و جدیت جناب آقای مهندس غلامحسین حمزه مصطفوی و کارشناسان امور نظام فنی همچنین جناب آقای مهندس وجیها... جعفری 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 نشریه، تشکر و قدردانی می‌نماید. امید است شاهد توفیق روزافزون همه‌ی این بزرگواران در خدمت به مردم شریف ایران اسلامی باشیم.

معاون نظارت راهبردی

بهمن ۱۳۹۱

omoorepeyman.ir

مجری طرح

آقای وجیهاا... جعفری	معاون امور معادن و صنایع معدنی – وزارت صنایع و معادن

تهیه پیش‌نویس اصلی

آقای محمد نوع‌پرست	دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی

اعضای شورای عالی

خانم فرزانه آقارمضانعلی	معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری	کارشناس ارشد مهندسی صنایع
آقای بهروز برنا	سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور	کارشناس مهندسی معدن
آقای وجیه ا... جعفری	وزارت صنایع و معادن	کارشناس مهندسی معدن
آقای عبدالعلی حقیقی	معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری	کارشناس ارشد زمین‌شناسی
آقای عبدالرسول زارعی	وزارت صنایع و معادن	کارشناس ارشد زمین‌شناسی
آقای ناصر عابدیان	سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور	کارشناس ارشد مهندسی معدن
آقای حسن مدنی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	کارشناس ارشد مهندسی معدن
آقای هرمز ناصرنیا	سازمان نظام مهندسی معدن	کارشناس ارشد مهندسی معدن

اعضای کارگروه فرآوری

آقای احمد امینی	سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور	کارشناس ارشد مهندسی فرآوری مواد معدنی
آقای عبدالعلی حقیقی	معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری	کارشناس ارشد زمین‌شناسی
آقای علیرضا ذاکری	دانشگاه علم و صنعت	دکترای مهندسی متالورژی
آقای بهرام رضایی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی
خانم فرشته رشچی	دانشگاه تهران	دکترای مهندسی متالورژی

اعضای کارگروه تنظیم و تدوین

آقای مهدی ایران‌نژاد	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی
آقای عبدالرسول زارعی	وزارت صنایع و معادن	کارشناس ارشد زمین‌شناسی
آقای مصطفی شریف‌زاده	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	دکترای مهندسی مکانیک سنگ
آقای حسن مدنی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	کارشناس ارشد مهندسی معدن
آقای بهزاد مهرابی	دانشگاه تربیت معلم	دکترای زمین‌شناسی اقتصادی

اعضای گروه هدایت و راهبری پروژه

خانم فرزانه آقارمضانعلی	رئیس گروه امور نظام فنی
آقای علیرضا فلسفی	کارشناس عمران امور نظام فنی
آقای علیرضا غیاثوند	رئیس گروه ضوابط و معیارهای معاونت امور معادن و صنایع معدنی

omoorepeyman.ir

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول- شناسایی مواد معدنی

۱-۱- آشنایی ۳
۱-۲- اسناد و اطلاعات مورد نیاز برای شروع مطالعات شناسایی ۳
۱-۳- روش‌های مختلف شناسایی مواد معدنی ۴
۱-۴- روش‌های شناسایی میکروسکوپی ۵
۱-۴-۱- روش میکروسکوپی نوری ۵
۱-۴-۲- روش میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ۶
۱-۴-۳- روش الکترون مایکروپروب (EPMA) ۷
۱-۵- روش‌های شناسایی دستگاهی و شیمیایی ۷
۱-۵-۱- آزمایش‌های شیمیایی ۷
۱-۵-۲- روش پراش اشعه ایکس XRD ۸
۱-۵-۳- روش فلورسانس اشعه ایکس (XRF) ۹
۱-۵-۴- طیف‌سنجی نوری – پلاسمای القایی جفت شده (ICP-OES) ۱۰
۱-۵-۵- طیف‌سنجی جرمی– پلاسمای القایی جفت شده (ICP-MS) ۱۰
۱-۵-۶- فعال‌سازی نوترونی (NAA) ۱۱
۱-۵-۷- آنالیزهای حرارتی ۱۱
۱-۵-۸- روش جذب اتمی (AAS) ۱۲
۱-۶- شرایط آزمایشگاه و امکانات مورد نیاز ۱۲
۱-۷- خصوصیات فرد یا گروه آزمایش‌کننده ۱۴
۱-۸- مراحل انجام مطالعات شناسایی ۱۴
۱-۸-۱- قبل از کانه‌آرایی (کانسنگ خرد شده/ نشده اولیه) ۱۴
۱-۸-۲- حین یا پس از کانه‌آرایی (محصولات مختلف فرآوری) ۱۴
۱-۹- فهرست گزارش شناسایی مواد معدنی ۱۵
۱-۹-۱- مقدمه ۱۵
۱-۹-۲- اطلاعات درباره نمونه ۱۵
۱-۹-۳- روش(های) شناسایی ۱۵
۱-۹-۴- ارایه نتایج و پیشنهادها ۱۵
۱-۹-۵- مراجع و منابع ۱۵
۱-۹-۶- پیوست‌ها ۱۵

فصل دوم- مطالعات درجه آزادی

۲-۱- آشنایی ۱۹
۲-۲- آزادسازی ۱۹
۲-۳- اسناد و گزارش‌های مورد نیاز برای شروع مطالعات تعیین درجه آزادی ۱۹
۲-۴- دستورالعمل‌های مطالعات درجه آزادی ۱۹
۲-۴-۱- عوامل موثر در آزادسازی مواد معدنی ۱۹
۲-۴-۲- شرایط آزمایشگاه و امکانات مورد نیاز ۲۰
۲-۴-۳- شرایط فرد یا گروه آزمایش‌کننده ۲۰
۲-۴-۴- مراحل انجام مطالعات درجه آزادی ۲۰
۲-۵- روش‌های انجام آزمایش‌های تعیین درجه آزادی ۲۱

omoorepeyman.ir

۲-۵-۱- مشخصات نمونه‌ها ۲۱
۲-۵-۲- روش تعیین درجه آزادی ۲۱
۲-۶- فهرست گزارش آزادسازی کانی‌ها ۲۱
۲-۶-۱- مقدمه ۲۱
۲-۶-۲- کلیات ۲۱
۲-۶-۳- مطالعات درجه آزادی ۲۲
۲-۶-۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۲۲
۲-۶-۵- مراجع و منابع ۲۲
۲-۶-۶- پیوست‌ها ۲۲

omoorepeyman.ir

فصل اول

شناسایی مواد معدنی

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۱-۱- آشنایی

شناسایی مواد معدنی از مهم‌ترین و پایه‌ای‌ترین مراحل در عملیات فرآوری مواد معدنی است و رعایت دستورالعمل‌ها و استانداردهای مربوط به این موضوع اهمیت ویژه‌ای دارد. مطالعات شناسایی مواد معدنی اساس تصمیم‌گیری‌های بعدی در کانه‌آرایی است. در فرآیند کانه‌آرایی بر اساس خواص فیزیکی با تلفیق علومی مانند شیمی و کانی‌شناسی، با بهره‌گیری از روش‌های تجزیه کیفی یا کمی شیمیایی و یا میکروسکوپی شناسایی مواد معدنی انجام می‌شود. هدف از شناسایی مواد معدنی تشخیص کلیه فازهای موجود در نمونه شامل کانی‌های هدف و باطله (حتی‌الامکان همراه با درصد دقیق)، تعیین بافت، ساخت و درجه آزادی آن‌ها است.

۱-۲- اسناد و اطلاعات مورد نیاز برای شروع مطالعات شناسایی

برای انجام مطالعات شناسایی باید اطلاعات زیر به صورت مکتوب همراه با هر نمونه به آزمایشگاه ارسال شود:

- حالت فیزیکی نمونه (جامد، مایع)؛
- در صورت محلول بودن نمونه، ذکر نام حلال و محلول؛
- نوع نمونه؛
- کد نمونه؛
- وضعیت نمونه (کنسانتره، باطله، میانی، سنگ معدن)؛
- درصد رطوبت؛
- وزن نمونه؛
- ابعاد نمونه (توزیع ابعادی نمونه)؛
- نوع خدمات درخواستی با دقت و صحت مورد نیاز؛
- لیست عناصر مورد تجزیه؛
- حدود نسبی عناصر موجود (درصد، ppm، gr/lit)؛
- ویژگی‌های صحرایی نمونه‌ها؛
- زمان و مکان نمونه‌برداری؛
- روش نمونه‌برداری؛
- توضیحات مختصری در مورد تاریخچه نمونه، فرآیندهایی که تاکنون بر روی نمونه انجام شده، هدف از انجام مطالعات و سایر توضیحات ضروری که لازم است متخصصین شناسایی از آن مطلع باشند.

omoorepeyman.ir

۱-۳- روش‌های مختلف شناسایی مواد معدنی

روش‌های متداول شناسایی مواد معدنی شامل خواص ظاهری، خواص فیزیکی، روش‌های مطالعات میکروسکوپی و دستگاهی است.

الف) شناسایی بر اساس خواص ظاهری

خواص ظاهری عبارتند از:

- شکل بلوری؛
- کلیواژ، سطح شکست و جدایش؛
- رنگ؛
- رنگ خاکه؛
- جلا.

ب) شناسایی بر اساس خواص فیزیکی

خواص فیزیکی عبارتند از:

- وزن مخصوص (چگالی)؛
- خواص مغناطیسی؛
- خواص الکتریکی؛
- مقاومت و شکنندگی؛
- سختی؛
- خواص رادیواکتیو.

پ) شناسایی با بررسی‌های میکروسکوپی

بررسی‌های میکروسکوپی به روش‌های زیر انجام می‌شود:

- میکروسکوپ نوری (تهیه مقطع نازک برای مطالعه کانی‌های شفاف، تهیه مقاطع صیقلی برای مطالعه کانی‌های فلزی و مقاطع نازک- صیقلی)؛
- میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)؛
- میکروپروب الکترونی EPMA.

ت) شناسایی به روش‌های تجزیه شیمیایی کمی و کیفی

روش‌های متداول تجزیه شیمیایی در شناسایی ترکیب مواد معدنی عبارتند از:

- پراش اشعه ایکس (XRD)؛
- فلورسانس اشعه ایکس (XRF) ؛

omoorepeyman.ir

- طیف‌سنجی نوری – پلاسمای القایی جفت شده (ICP-OES)؛
- طیف‌سنجی جرمی– پلاسمای القایی جفت شده (ICP-MS)؛
- فعال‌سازی نوترونی (NAA)؛
- آنالیز حرارتی (DTA و TGA)؛
- جذب اتمی (AAS).

۱-٤- روش‌های شناسایی میکروسکوپی

۱-٤-۱- روش میکروسکوپی نوری

الف- هدف

شناسایی کانی هدف، باطله، تعیین نوع بافت، ساخت، اندازه کانی‌ها، نحوه توزیع و درگیری آن‌ها.

ب- پذیرش نمونه

توصیه می‌شود برای تهیه مقاطع صیقلی و نازک، نمونه به صورت کلوخه‌ای به آزمایشگاه ارسال شود و محصولات خط فرآوری به همان صورت برداشت و به آزمایشگاه ارسال شود.

پ- آماده‌سازی نمونه

۱- تهیه مقطع نازک

- بریدن قطعه سنگ به وسیله تیغه الماسه به ضخامت حداقل ۵ میلی‌متر؛
- چسباندن نمونه‌ها بر روی لام استاندارد؛
- ساییدن نمونه و کاهش ضخامت تا حد ۳۰ تا ۵۰ میکرون؛
- چسباندن لامل روی نمونه.

۲- تهیه مقطع صیقلی

- بریدن قطعه سنگ توسط تیغه الماسه به ابعاد قالب مورد نظر؛
- قالب‌گیری به روش سرد یا گرم؛
- سایش سطح نمونه با ریزدانه‌ترین پودر ساینده و صیقل آن توسط پودرهای میکرونی.

نکته ۱: برای تهیه مقاطع صیقلی از نمونه‌های خرد شده مستقیما قالب‌گیری انجام می‌شود.

نکته ۲: قطر مقطع بسته به هدف مطالعه و نوع ماده معدنی بین ۲۵ تا ۵۰ میلی‌متر است.

نکته ۳: برای دستیابی به بهترین نتایج در مطالعات مقاطع صیقلی (فلزی) پس از تهیه مقاطع باید نمونه‌ها در محل پوشیده نگهداری شوند تا از اکسیداسیون سطحی آن‌ها جلوگیری شود.

omoorepeyman.ir

ت- مزایا و محدودیت‌ها

مزیت این روش ساده و ارزان بودن آن است. محدودیت آن، نیاز به تجربه فرد مطالعه‌کننده، محدودیت در مطالعات کانی‌های ریزبلور و وقت‌گیر بودن آن است.

۱-٤-۲- روش میکروسکوپ الکترونی روبشی[1] (SEM)

الف- هدف

شناسایی کانی‌های هدف یا باطله و همچنین ارتباط شکل و ابعاد دانه‌ها و توزیع عناصر در کانی‌ها، شناسایی عناصر فرعی موجود در کانی‌ها، تشخیص کانی‌های با ابعاد میکرونی، بررسی منطقه‌بندی و جانشینی عناصر در ساختار کانی‌های مورد نظر.

ب- پذیرش نمونه

نمونه‌ها را می‌توان به صورت مقاطع صیقلی و نازک (بدون پوشش یا لامل) و همچنین به صورت قطعات اولیه و آزاد و دانه‌ریز به آزمایشگاه ارسال کرد. در آزمایشگاه به منظور جلوگیری از تجمع بار الکتریکی در سطح نمونه، پوششی از یک لایه نازک کربن و یا طلا بر روی سطح نمونه ایجاد می‌شود.

پ- آماده‌سازی نمونه

در این روش نمونه‌های معدنی به صورت مقاطع صیقلی و یا نازک و همچنین به صورت قطعات اولیه و آزاد مورد مطالعه قرار می‌گیرند. روش تهیه مقاطع صیقلی و نازک همانند مطالعات میکروسکوپی نوری است و به منظور جلوگیری از تجمع بار الکتریکی در سطح نمونه، پوششی از یک لایه نازک کربن و یا طلا بر روی سطح نمونه ایجاد می‌شود. برای انجام تجزیه، نمونه‌های مورد استفاده باید دارای سطح صیقلی و کاملا مسطح باشند.

در دستگاه SEM مجهز به دستگاه‌هایی نظیر QEM SCAN نمونه‌ها باید به صورت پودر دانه‌بندی شده باشند و مقاطع صیقلی با مقطع دایره (معمولا قطر ۳ سانتی‌متر) تهیه شوند. به منظور تعیین مشخصات دانه‌ها به نمونه دانه‌بندی شده، دانه‌های کربن اضافه می‌شود.

باید دقت شود که سطح نمونه کاملا تمیز باشد. حتی برخورد دست با نمونه، ممکن است باعث چرب شدن سطح آن شود. نمونه‌هایی که از پوشش آن‌ها مدت زمان طولانی می‌گذرد، باید پس از صیقل مجدد با خمیر الماسه مجددا پوشش سطحی داده شوند.

ت- مزایا و محدودیت‌ها

مزیت این روش در قدرت تفکیک و بزرگ‌نمایی بالای آن و امکان تجزیه نقطه‌ای برای تعیین ترکیب شیمیایی کانی‌ها است. محدودیت آن در این است که از زمانی که نمونه‌ها پوشش داده می شود تا قرائت آن‌ها با دستگاه نباید مدت زمان زیادی بگذرد.

1- Scanning Electron Microscope (SEM)

omoorepeyman.ir

۱-٤-۳- روش الکترون مایکروپروب[۲] (EPMA)

الف- هدف

اندازه‌گیری کمی غلظت عناصر تا حد PPM در بخش مشخصی از نمونه (معمولا حجم μm^3 ۱۵۰)، تشخیص وجود ادخال‌ها و انحلال جامد در فازهای کانی‌شناسی.

ب- پذیرش نمونه

- نمونه باید به صورت مقطع صیقلی با قطر ۲/۵ یا ۳ سانتی‌متر و یا مقطع نازک صیقلی با ابعاد لام استاندارد زمین‌شناسی (۲۷ × ۴۶ میلی‌متر) تهیه شود؛
- ضخامت نمونه مقطع نازک صیقلی پس از صیقل در انتهای کار باید بین ۵۰ تا ۶۰ میکرون باشد؛
- نمونه باید تا حد ممکن سالم باشد و نمونه هایی با دگرسانی شدید قابل مطالعه نیستند؛
- سطح نمونه باید کاملا صیقلی و فاقد هرگونه خراش و کندگی باشد؛
- مکان‌ها و کانی‌های مورد نظر، پس از آماده‌سازی باید توسط ماژیک ضد آب علامت‌گذاری شود؛
- آثار کثیفی و چربی دست نباید روی نمونه وجود داشته باشد.

پ- آماده‌سازی نمونه

در شناسایی مواد معدنی به روش EPMA، از مقاطع صیقلی و نازک صیقلی با کیفیت بسیار بالا استفاده می‌شود. قبل از قرار دادن نمونه در دستگاه باید سطح آن به وسیله یک پوشش هادی جریان الکتریسیته (کربن یا خلا) پوشش داده شود.

نمونه‌هایی که از پوشش[۳] آن‌ها مدت زمان طولانی می‌گذرد، قابل استفاده نیستند و باید مجددا توسط خمیر الماسه صیقل و سپس پوشش داده شوند.

ت- مزایا و محدودیت‌ها

مزیت این روش امکان تجزیه نقطه‌ای دقیق با حد سنجش ppm از یک محدوده کوچک است و امکان تشخیص جانشینی عناصر و انحلال جامد در مقیاس زیر میکروسکوپی را فراهم می‌آورد. معایب آن گران بودن دستگاه، هزینه راهبری بالا، کنترل دقیق شرایط محیطی و تهیه استانداردهای مناسب با نمونه مورد تجزیه است.

۱-۵- روش‌های شناسایی دستگاهی و شیمیایی

۱-۵-۱- آزمایش‌های شیمیایی

الف- هدف

شناسایی و تعیین غلظت عناصر موجود در نمونه، شناسایی بهتر محصولات اکسیداسیون، تشخیص و تعیین وجود عناصر موجود در یک کانی است.

2- Electron Probe Micro Analyzer
3- Coating

omoorepeyman.ir

ب- پذیرش نمونه

بسته به روش تجزیه، ابعاد نمونه باید کمتر از ۱۰۰ میکرون باشد و نوع نمونه (کنسانتره، میانی، باطله و یا کانسنگ) باید مشخص شود. نمونه باید قبل از تحویل به آزمایشگاه حتما توسط تقسیم‌کن، تقسیم و به صورت همگن به آزمایشگاه تحویل داده شود. وزن نمونه معمولا بین ۲ تا ۱۰۰ گرم است.

پ- آماده‌سازی نمونه

فرآیندهای اصلی تهیه نمونه مناسب برای تجزیه شیمیایی شامل خشک کردن، خرد کردن، الک کردن، تقسیم همگن نمونه و پودر کردن هستند. برای خشک کردن نمونه اغلب لازم است که در خشک کردن مستقیم باید نمونه را روی ظروف تبخیر گذاشته و سپس داخل خشک‌کن با دمای کم قرار داد. خرد کردن نمونه‌ها برای کاهش اندازه ذرات کل نمونه انجام می‌گیرد. در مورد نمونه‌های سنگی، برای دستیابی به نمونه همگن و معرف باید وزن نمونه را متناسب با ابعاد بزرگ‌ترین بلور آن انتخاب کرد و سپس آن را از چشمه ۷۵ میکرون عبور داد.

بسته به وزن نمونه، تقسیم کردن بعد از خردایش و یا نرمایش انجام می‌گیرد. تقسیم کردن باید به نحوی انجام گیرد که زیرنمونه‌ها معرف نمونه اصلی باشند.

نرمایش نمونه‌ها بسته به نوع عناصر مورد نظر برای تجزیه در هاون‌های سرامیکی، آگاتی، کاربید تنگستن و نظایر آن انجام گیرد.

ت- روش تجزیه

روش‌های متداول تجزیه شیمیایی روش شیمی تر نظیر تیتراسیون، وزن‌سنجی، رنگ‌سنجی و نظایر آن‌ها است. برای روش‌های دستگاهی نظیر جذب اتمی، پلاسمای جفت شده القایی، اسپکترومتر UV visible باید نمونه‌ها توسط اسید، باز و یا حلال‌های آلی به صورت محلول درآید و مورد تجزیه شیمیایی قرار گیرد. متداول‌ترین روش تخریب، روش تخریب به کمک اسیدها است. قبل از انتخاب روش تجزیه دستگاهی باید به مواردی نظیر صحت، دقت و حدود سنجش هر روش توجه شود.

ث- مزایا و محدودیت‌ها

مزایای روش‌های تجزیه شیمیایی صحت و دقت بالا و امکان تشخیص غلظت‌های کم از عناصر است. مهم‌ترین معایب این روش‌ها تخریب شدن نمونه‌هاست.

۱-۵-۲- روش پراش اشعه ایکس[4] XRD

الف- هدف

هدف این روش شناسایی کانی‌های هدف یا باطله است. این روش معمولا کیفی است، اما برخی از دستگاه‌های جدید امکان تعیین درصد کمی کانی‌ها را دارند. علاوه بر آن می‌توان دامنه ابعادی و فازهای غیر بلورین را از بلورین تشخیص داد.

4- X-ray Diffraction Analysis

omoorepeyman.ir

ب- پذیرش نمونه

در روش XRD پودر، نمونه باید به صورت پودر همگن به ابعاد کمتر از ۶۰ میکرون باشد. محدوده وزن نمونه بین ۲ تا ۱۰ گرم است.

پ- آماده‌سازی نمونه

- پودر کردن نمونه کانسنگ تا ابعاد کوچک‌تر از ۶۰ میکرون؛
- قرار دادن نمونه در نمونه‌گیر دستگاه و ایجاد یک سطح کاملا صاف برای قرار گرفتن در معرض اشعه ایکس.

ت- مزایا و محدودیت‌ها

مزیت استفاده از این روش سرعت بالا و امکان تشخیص کانی‌های بسیار ریزبلور است که در سایر روش‌ها قابل تشخیص نیست. محدودیت این روش عدم امکان تشخیص کانی‌های با فراوانی کمتر از ۳ درصد در نمونه است.

۱-۵-۳- روش فلورسانس اشعه ایکس[۵] (XRF)

الف- هدف

شناسایی عناصر موجود در نمونه به صورت کمی یا نیمه‌کمی و یا کیفی.

ب- پذیرش نمونه

این روش به دو صورت اندازه‌گیری طول موج اشعه ایکس[۶] WD-XRF و انرژی اشعه ایکس[۷] ED-XRF است که روش WD-XRF دقت و صحت بالاتری دارد.

به طور معمول نمونه‌ها به صورت جامد، مایع و پالپ هستند. نمونه‌های جامد باید تا ابعاد کوچک‌تر از ۶۰ میکرون پودر شوند.

پ- آماده‌سازی نمونه

- نمونه پودر: پس از مخلوط کردن کامل نمونه به نسبت مشخص با مواد پرکننده آن را باید در زیر پرس قرار داد تا به صورت قرص فشرده درآید؛
- نمونه ذوبی (مایع یا پالپ): در این روش نمونه به کمک ذوب (معمولا براکس) در بوته پلاتینی ذوب شده و سپس به صورت یک قرص شیشه‌ای قالب‌گیری می‌شود. روش ذوب برای از بین بردن ماتریکس و اندازه‌گیری غلظت عناصر اصلی است؛
- نمونه مایع: نمونه مایع را باید در داخل نمونه‌گیر ریخت و با توجه به این که محیط اسپکترومتر معمولا باید خلا باشد، در این حالت از سیستم جریان یک گاز خنثی (معمولا هلیم) به جای ایجاد خلا استفاده می‌شود.

ت- مزایا و محدودیت‌ها

مزیت این روش ساده بودن تهیه نمونه و چند عنصری بودن آن است. معایب آن وجود تداخل و هم‌پوشانی طیف‌های برخی از عناصر و تاثیر ماتریکس است.

5- X-ray Fluorescence Spectrometry
6.Wavelength Dispersive XRF
7. Energy Dispersive XRF

omoorepeyman.ir

ث- حدود شناسایی

شکل ۱-۱ حدود شناسایی عناصر مختلف را با استفاده از روش XRF در جدول تناوبی نشان می‌دهد.

حدود شناسایی	
	غیر قابل اندازه‌گیری
	۱۰۰ - ۵۰۰ ppm
	۵۰ - ۱۰۰ ppm
	۱۰ - ۵۰ ppm
	۵ - ۱۰ ppm
	۱ - ۵ ppm
	۰/۱ – ۱ ppm

												B	C	N	O	F	
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo		Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Ti	Pb	Bi			
				Ce	Pr	Nd		Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
						U											

شکل ۱-۱- حدود شناسایی عناصر مختلف با استفاده از روش XRF.

۱-۵-٤- طیف‌سنجی نوری – پلاسمای القایی جفت شده[8] (ICP-OES)

این دستگاه بر پایه طیف سنجی نوری پلاسمایی جفت شده القایی برای تشخیص عناصر فلزی جزیی[9] به کار می‌رود. عملکرد این دستگاه بر اساس افزایش سطح انرژی و یون‌ها است که منجر به تابش امواج الکترومغناطیسی می‌شود که نشانگر میزان غلظت عنصر مورد نظر در نمونه مورد بررسی است. این دستگاه در انجام موازنه‌های جرمی نیز کاربرد دارد.

۱-۵-۵- طیف‌سنجی جرمی– پلاسمای القایی جفت شده[10] (ICP-MS)

دستگاه ICP-MS یک نوع طیف‌سنج جرمی است که حساسیت بالایی دارد و قادر به آنالیز همزمان محدوده‌ای از فلزات با دقت ۱ قسمت بر ۱۰ قسمت است. این دستگاه بر اساس جفت‌شدگی یک پلاسمای القایی به عنوان یک منبع یونی با یک طیف‌سنج جرمی به عنوان روشی برای آشکارسازی یون‌ها به کار می‌رود.

8- Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy
9- Trace Metals
10- Inductively coupled plasma mass spectrometry

omoorepeyman.ir

به دلیل حساسیت فوق‌العاده بالای آن، روش مناسبی برای تعیین عناصر کمیاب است. کاربردهای بسیاری در حوزه پزشکی و ایمنی، برای آن گزارش شده است. به دلیل سادگی، اطلاعات طیف جرمی کاملی از پلاسما از جرم ۶ تا جرم ۲۵۰ در هر آنالیز منفرد ثبت می‌شود. این روش برای اندازه‌گیری صحیح عناصر جدول تناوبی به غیر از عناصر گازی و کربن و همچنین برای تعیین ناخالصی‌های عناصر کمیاب کاربرد دارد.

۱-۵-٦- فعال سازی نوترونی[11] (NAA)

تجزیه جذب نوترونی یک روش بسیار حساس برای تجزیه سنگ‌ها و به ویژه عناصر فرعی است و قادر است که به طور هم زمان مقادیر زیادی از عناصر در نمونه را تعیین نماید. تجزیه نوترونی به دو روش زیر صورت می گیرد:

الف- تجزیه به روش فعال سازی نوترونی دستگاهی[12] (INNA)

در این روش معمولا از۱۰۰ میلی‌گرم پودر سنگ یا کانی به همراه استاندارد استفاده می‌شود. پودر سنگ و استانداردها را در رآکتور نوترونی به مدت ۳۰ ساعت قرار می‌دهند. اشعه نوترونی موجب می‌شود تا ایزوتوپ رادیواکتیو با طول عمر کوتاه مخصوص آن عناصر به صورت گاما منتشر می‌شود. از روی تشعشع اشعه‌های گاما ایزوتوپ‌های مخصوصی را می‌توان شناسایی نمود. شدت این تشعشعات متناسب با مقادیر ایزوتوپ‌های موجود در آن‌ها است. مقادیر عناصر موجود با استانداردهایی که به طور هم‌زمان تجزیه می‌شوند مقایسه می‌شود. این روش برای عناصر نادر خاکی و عناصر گروه پلاتین از حساسیت بالایی برخوردار است.

ب- تجزیه به روش فعال سازی نوترونی رادیو شیمیایی[13] (RNAA)

در این روش جدایش عناصر به روش شیمیایی است. این روش موقعی به کار می‌رود که مقادیر کمتر از ppm ۲ است.

۱-۵-۷- آنالیزهای حرارتی

الف- هدف

شناسایی رس‌ها و کانی‌های شبه رسی که بر اثر حرارت، فرآیندهای دفع آب و دی‌اکسید کربن، اکسیداسیون، تجزیه یا تبدیل فازهای بلورین در آن‌ها رخ می‌دهد. این روش قادر به شناسایی کربنات‌ها، رس‌ها و کانی‌های رسی، زغال‌سنگ، سولفات‌ها، سولفیدها و نظایر آن است. روش‌های متداول آنالیزحرارتی DTA[14] و TGA[15] هستند.

ب- پذیرش نمونه

کانی‌هایی که با این روش می‌توان مورد مطالعه و شناسایی قرار داد محدود به کربنات‌ها، رس‌ها و کانی‌های رسی، زغال‌سنگ، سولفات‌ها و سولفیدها هستند که باید به صورت پودر همگن درآیند.

11- Neutron Activation Analysis
12- Instrumental Neutron Activation Analysis
13- Radiochemical Neutron Activation Analysis
14- Differential Thermal Analysis
15- Thermo Gravimetric Analysis

omoorepeyman.ir

پ- آماده‌سازی نمونه

معمولا روش DTA و TGA به صورت هم‌زمان انجام می‌گیرند و در آن‌ها تغییرات حرارت و بروز واکنش‌های گرمازا و گرماگیر در اثر حرارت دادن (DTA) و تغییرات جرم در طی حرارت دادن (TGA) اندازه‌گیری می‌شود. بر اساس اطلاعات به‌دست آمده و منحنی‌های مربوطه، این دو منحنی تغییراتی نظیر از دست دان آب، دی‌اکسید کربن یا دی‌اکسید گوگرد، تغییر فاز و شرایط دمایی آن‌ها با مقایسه با منحنی‌های استاندارد تعیین و نوع کانی مشخص می‌شود.

ت- مزایا و محدودیت‌ها

مزیت این روش شناسایی کانی‌هایی است که شناسایی آن‌ها با روش‌های معمول میکروسکوپی نوری مشکل است. محدودیت آن نیز دشوار بودن تفسیر نتایج است.

۱-۵-۸- روش جذب اتمی[۱۶] (AAS)

الف- هدف

اندازه‌گیری غلظت حدود ۶۰ عنصر در نمونه‌های تخریب شده در اسید تا حد سنجش ppm.

ب- پذیرش نمونه

نمونه به صورت جامد یا مایع به آزمایشگاه ارسال می‌شود.

پ- آماده‌سازی نمونه

نمونه‌های جامد را ابتدا باید به صورت پودر درآورد و پس از توزین با ترازوی چهار رقم اعشار در محلول‌های اسیدی (تک اسید، چند اسید، در حالت‌های سرد- گرم) حل کرد و پس از به حجم رساندن مورد اندازه‌گیری قرار داد.

ت- مزایا و محدودیت‌ها

مزیت این روش ساده، ارزان و دقیق بودن آن است. در این روش امکان اندازه‌گیری غلظت حدود ۶۰ عنصر وجود دارد. این روش قادر به اندازه‌گیری غلظت در حد ppm و ppb است.

معایب آن تک عنصری بودن، نیاز به یک لامپ هالوکاتد برای هر عنصر، کالیبراسیون مناسب و مراحل آماده‌سازی نمونه است.

ث- حدود شناسایی

شکل (۱-۲) حدود شناسایی عناصر مختلف را با استفاده از روش AAS در جدول تناوبی نشان می‌دهد.

۱-۶- شرایط آزمایشگاه و امکانات مورد نیاز

آزمایشگاه کانی‌شناسی باید دارای امکانات و تجهیزات مورد نیاز برای آماده‌سازی نمونه‌ها و همچنین مطالعات آن‌ها به روش‌های مختلف باشد. در جدول (۱-۱) امکانات و تجهیزات مورد نیاز برای هر کدام از مطالعات آورده شده است.

16.Atomic Absorption Spectroscopy

omoorepeyman.ir

محدوده اندازه گیری $\mu g/ml^{-1}$	
La	≥۱
Si	۰/۱ – ۱
Ti	۰/۰۱ – ۰/۱
Li	۰/۰۰۱ – ۰/۰۱

Cold - Vapour hydride ASS				
		Ge	As	Se
		Sn	Sb	Te
Hg		Pb	Bi	

Li	Be											B					
Na	Mg											Al	Si	P			
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge				
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo		Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te		
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au		Ti	Pb	Bi			

	Pr	Nd		Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
		U											

شکل ۱-۲- حدود شناسایی عناصر مختلف با استفاده از روش AAS.

جدول ۱-۱- امکانات و تجهیزات مورد نیاز برای مطالعات کانی‌شناسی

نوع مطالعه	امکانات و تجهیزات مورد نیاز
آماده‌سازی	– تجهیزات خردایش و طبقه‌بندی مانند آسیاها و سرندها – ریفل (تقسیم‌کننده شانه‌ای) – ترازو با دقت مناسب – دستگاه خشک‌کن – وسایل و مواد مورد نیاز در تهیه مقاطع نازک و مقاطع صیقلی (شامل ابزار برش سنگ و دستگاه‌های صیقل و نظایر آن) – معرف‌های شیمیایی – مایعات سنگین
روش‌های ظاهری	– آهنربای دستی – مقیاس‌ها و ابزار اندازه‌گیری سختی – وسایل مورد نیاز برای انجام آزمایش‌های مشخصه شیمیایی – چینی بدون لعاب برای تعیین رنگ خاکه – وسایل اندازه‌گیری وزن مخصوص – ذره‌بین دستی
روش‌های میکروسکوپی	– میکروسکوپ پلاریزان با قابلیت استفاده در نور عبوری و نور انعکاسی – تجهیزات جانبی برای میکروسکوپ مانند دوربین عکاسی و تیغه‌های کمکی – استریومیکروسکوپ (بینوکولار) – معرف‌های شیمیایی – ابزار و نرم‌افزارهای آنالیز تصویری
تجهیزات دستگاهی و تکمیلی	– دستگاه پراش اشعه X (XRD) با قابلیت اندازه‌گیری کمی در صورت امکان – میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مجهز به آنالیز تصویری – دستگاه الکترون مایکروپروب (EPMA) – دستگاه‌های آنالیز شیمیایی کلی مانند جذب اتمی یا XRF * – دستگاه آنالیز حرارتی DTA/TGA

*این روش‌ها به عنوان روش‌های تکمیلی هستند و جزو روش‌های کانی‌شناسی نیستند.

omoorepeyman.ir

۱-۷- خصوصیات فرد یا گروه آزمایش‌کننده

مشخصات افراد به طور خلاصه در جدول (۱-۲) آمده است. داشتن سابقه و تجربه کافی در مطالعات کانی‌شناسی کاربردی و روش‌های دستگاهی، توانایی تفسیر نتایج مطالعات مختلف، شناسایی مواد معدنی و آشنایی با متغیرها و خطاهای موجود در روش‌های گوناگون، استفاده از افراد با تجربه در مطالعه نمونه‌های کانی‌شناسی و همچنین تکنسین‌های مجرب در امر تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها و برقراری ارتباط پیوسته با متخصصین کانه‌آرایی در امر مشاوره و تبادل اطلاعات بسیار ضروری است.

جدول ۱-۲- مشخصات افراد آزمایش‌کننده

وظیفه	تعداد	تخصص	سابقه
تهیه‌کننده نمونه	۲-۳ نفر	کاردان (زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، معدن کلیه گرایش‌ها، شیمی)	۲-۳ سال
آزمایش‌کننده	۱-۲ نفر	کارشناس یا کارشناس ارشد (زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، معدن کلیه گرایش‌ها، شیمی)	۳-۵ سال
تحلیل‌گر	۱-۲ نفر	کارشناس ارشد یا دکتری (زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، معدن کلیه گرایش‌ها، شیمی)	۳-۵ سال
نویسنده گزارش	۱-۲ نفر	کارشناس (زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، معدن کلیه گرایش‌ها، شیمی)	۳-۵ سال

۱-۸- مراحل انجام مطالعات شناسایی

۱-۸-۱- قبل از کانه‌آرایی (کانسنگ خرد شده/ نشده اولیه)

الف- بررسی گزارش کانی‌شناسی مرحله اکتشاف (در صورت وجود) برای انتخاب نمونه‌های اولیه؛

ب- شناسایی مقدماتی و انجام آزمایش‌های عمومی نظیر ویژگی‌های ظاهری، سختی، جلا، وزن مخصوص و نظایر آن؛

پ- مطالعات میکروسکوپی نوری در مورد کانسنگ اولیه یا بخش‌های دانه‌بندی با هدف شناسایی کانی‌ها و مطالعات درجه آزادی؛

ت- مطالعات تکمیلی کانی‌شناسی به روش‌های دستگاهی با هدف شناسایی دقیق‌تر و تعیین عوامل مؤثر در کانه‌آرایی کانسنگ، همچنین وضعیت درگیری یا آزادی.

۱-۸-۲- حین یا پس از کانه‌آرایی (محصولات مختلف فرآوری)

الف- کنترل درجه خلوص و کیفیت کنسانتره

با مطالعات کانی‌شناسی کنسانتره کارخانه‌ها، باید درجه خلوص محصولات به منظور کنترل عیار و موازنه فرآیند تعیین شود. مطالعه ویژگی‌های ذرات کنسانتره اغلب با میکروسکوپ الکترونی SEM به‌خصوص برای ادخال‌ها و ذرات در حد میکرون و ریزتر از میکرون (صدم میکرون) امکان‌پذیر است.

ب- کنترل عیار، دانه‌بندی و درجه آزادی در باطله

با مطالعات کانی‌شناسی باطله‌های کارخانه‌ها، باید میزان هدرروی کانی‌های مفید و علت آن بررسی شود. در این مرحله از روش‌های مختلف دستگاهی همراه با آنالیز تصویری استفاده می‌شود.

omoorepeyman.ir

۱-۹- فهرست گزارش شناسایی مواد معدنی

۱-۹-۱- مقدمه

الف- هدف از انجام مطالعات کانی‌شناسی (بهینه‌سازی فرآیند، مطالعات اولیه کانه‌آرایی)؛

ب- شرح روند تحقیقات و مطالب ارایه شده در هر بخش.

۱-۹-۲- اطلاعات درباره نمونه

الف- بررسی نتایج کانی‌شناسی در مرحله اکتشاف؛

ب- محل نمونه‌گیری و تعداد آن‌ها؛

پ- محل نمونه‌برداری از مدار کانه‌آرایی با ارایه فلوشیت.

۱-۹-۳- روش(های) شناسایی

الف- علت انتخاب روش (ظاهری، میکروسکوپی، دستگاهی)؛

ب- نوع نمونه و نحوه آماده‌سازی؛

پ- نحوه انجام آزمایش‌ها و ذکر هر گونه تنظیمات خاص متناسب با نمونه معدنی؛

ت- مشخصات دستگاه و شرایط آزمایشگاه؛

ث- ملاحظات و مشاهدات خاص در طول انجام آزمایش؛

ج- تکمیل اطلاعات ضروری در شناسایی کانی‌ها مطابق با چک لیست‌های ارایه شده.

۱-۹-٤- ارایه نتایج و پیشنهادها

۱-۹-۵- مراجع و منابع

۱-۹-٦- پیوست‌ها

الف- جداول؛

ب- نمودارها؛

پ- نمودارهای طیفی.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فصل دوم

مطالعات درجه آزادی

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۲-۱- آشنایی

در بیشتر کانسنگ‌ها، تجمع اولیه کانی با ارزش کمتر از آن است که بتوان آن را مستقیما برای تولید محصولات نهایی مورد استفاده قرار داد. بنابراین باید کانی‌های با ارزش موجود از گانگ جدا شوند. در کانسنگ، کانی‌های با ارزش تنها بخشی از سنگ معدن را تشکیل می‌دهند و برای تغلیظ آن‌ها ابتدا باید کانی‌های با ارزش از سایر کانی‌ها آزاد شوند. مراحل آزادسازی طی چند مرحله سنگ‌شکنی و آسیا کردن انجام می‌شود.

۲-۲- آزادسازی[1]

در برخی موارد نظیر ذخایر آبرفتی، پلاسری و ماسه‌های ساحلی مواد معدنی به صورت مجموعه‌ای از دانه‌های آزاد هستند. اما در اکثر ذخایر معدنی، کانی‌های مختلف در یک توده و مجموعه سخت و سنگی قرار گرفته‌اند. در چنین مواردی با صرف مقادیر زیاد انرژی در سنگ‌شکن‌ها و آسیاها می‌توان کانی‌های با ارزش را از زمینه سنگی آزاد کرد.

۲-۳- اسناد و گزارش‌های مورد نیاز برای شروع مطالعات تعیین درجه آزادی

پیش از شروع مطالعات تعیین درجه آزادی، اطلاعات زیر باید گردآوری شود:

الف- توزیع دانه‌بندی نمونه‌ها که بر اساس تجزیه سرندی مشخص و از هر بخش نمونه‌ای به‌منظور تعیین درجه آزادی برداشت می‌شود؛

ب- نتایج تجزیه کیفی و کمی نمونه‌ها برای شناسایی کانی‌های تشکیل‌دهنده کانسنگ و درصد عناصر مفید و مضر.

۲-٤- دستورالعمل‌های مطالعات درجه آزادی

۲-٤-۱- عوامل موثر در آزادسازی مواد معدنی

در آزادسازی مواد معدنی با ارزش از باطله‌ها عواملی نظیر بافت کانسنگ، ابعاد کانی‌های تشکیل‌دهنده و نظایر آن موثر هستند. عوامل موثر و اهمیت آن‌ها در آزادسازی در جدول (۲-۱) ارایه شده است.

جدول ۲-۱- عوامل موثر در آزادسازی کانی‌ها.

عامل	اهمیت و نقش در آزادسازی
فراوانی نسبی کانی‌ها	تعداد کانی‌های مختلف ماده معدنی با ارزش و نسبت فراوانی آن‌ها با یکدیگر و کانی‌های گانگ (درصد کانی‌ها)
توزیع ابعادی دانه‌ها	تعیین زمان و هزینه خردایش برای دانه‌های با ابعاد مختلف از آن‌ها در مطالعات درجه آزادی، کنترل درجه آزادی در محصولات کانه‌آرایی
خواص کانی‌ها	تاثیر خواص نظیر سختی، مقاومت، داشتن کلیواژ
بافت کانسنگ	ارتباط فضایی کانی‌های مختلف در ذرات و تعیین میزان خردایش لازم برای رسیدن به درجه آزادی کانی‌ها
شکل ذرات	به عنوان یک عامل موثر در درگیری کانی‌ها

1 - Liberation

omoorepeyman.ir

۲-٤-۲- شرایط آزمایشگاه و امکانات مورد نیاز

از آنجا که مطالعات کانی‌شناسی و تعیین درجه آزادی با هم انجام می‌شوند، شرایط و امکانات مورد نیاز برای این مطالعات مشابهت زیادی دارند. امکانات مورد نیاز برای این مطالعات در جدول (۲-۲) ارایه شده است.

جدول ۲-۲- شرایط آزمایشگاه و امکانات مورد نیاز

نوع مطالعه	امکانات و تجهیزات مورد نیاز
آماده‌سازی	- تجهیزات خردایش و طبقه‌بندی مانند سنگ‌شکن‌ها، آسیاها و سرندها - تقسیم‌کن (ریفل) - ترازو با دقت مناسب - دستگاه خشک‌کن - امکانات تهیه مقاطع میکروسکوپی - معرف‌های شیمیایی - مایعات سنگین
تعیین درجه آزادی به روش میکروسکوپی	- میکروسکوپ پلاریزان با قابلیت استفاده در نور عبوری و نور انعکاسی - استریومیکروسکوپ (بینوکولار) - ابزار و نرم‌افزارهای آنالیز تصویری - میکروسکوپ الکترونی

۲-٤-۳- شرایط فرد یا گروه آزمایش‌کننده

پس از بررسی مقدماتی توسط کارشناس فرآوری و تعیین مراحل کار، آماده‌سازی و تهیه نمونه‌ها باید توسط تکنسین باسابقه انجام شود. مطالعات کانی‌شناسی و تعیین درجه آزادی توسط کارشناس کانی‌شناسی صنعتی انجام می‌گیرد. در جدول (۲-۳) مشخصات و صلاحیت مورد نیاز برای افراد آزمایش‌کننده ارایه شده است.

جدول ۲-۳- مشخصات افراد آزمایش‌کننده

وظیفه	تعداد	تخصص	سابقه
تهیه‌کننده نمونه	۳-۲ نفر	کاردان (زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، معدن کلیه گرایش‌ها ، شیمی)	۳-۲ سال
آزمایش‌کننده	۲-۱ نفر	کارشناس یا کارشناس ارشد (زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، معدن کلیه گرایش‌ها)	۵-۳ سال
تحلیل‌گر	۲-۱ نفر	کارشناس ارشد یا دکتری (فرآوری یا کلیه افراد صاحب تجربه در این زمینه)	۵-۳ سال
نویسنده گزارش	۲-۱ نفر	کارشناس (فرآوری)	۵-۳ سال

۲-٤-٤- مراحل انجام مطالعات درجه آزادی

الف- خردایش (در صورت نیاز)؛

ب- تجزیه سرندی؛

پ- تعیین وزن مخصوص (در صورت نیاز)؛

ت- جدایش کانه از باطله با استفاده از روش‌های جدایش مایع سنگین (در صورت نیاز)؛

ث- انجام مطالعات درجه آزادی در هر فراکسیون؛

ج- ترسیم نمودارهای دانه‌بندی ابعادی؛

omoorepeyman.ir

چ- تهیه جدول (یا نمودار) توزیع ذرات درگیر و آزاد کانی با ارزش در هر بخش از دانه‌بندی با استفاده از تصاویر و نتایج آنالیز تصویری؛

ح- تحلیل نتایج و تعیین درجه آزادی؛

خ- تصمیم‌گیری در بهینه‌سازی زمان خردایش و جداسازی در مرحله فرآوری.

۲-۵- روش‌های انجام آزمایش‌های تعیین درجه آزادی

۲-۵-۱- مشخصات نمونه‌ها

نمونه‌های ارسالی به آزمایشگاه به صورت کلوخه، مواد منفصل و در مواردی محصولات خط فرآوری است. اولین اقدام در مورد نمونه‌های کلوخه‌ای انجام خردایش و انجام تجزیه سرندی است، اما در سایر موارد تنها تجزیه سرندی کافی است. با کمک استریومیکروسکوپ کارشناس با تجربه می‌تواند تخمینی از درجه آزادی به دست آورد. اما روش متداول تهیه مقاطع میکروسکوپی و استفاده از میکروسکوپ‌های نوری و الکترونی است.

۲-۵-۲- روش تعیین درجه آزادی

برای تعیین درجه آزادی از مقاطع میکروسکوپی نازک، صیقلی و نازک صیقلی استفاده می‌شود. معمولا از دانه‌بندی‌های درشت‌تر تعداد بیشتری مقطع تهیه می‌شود. سپس با شمارش دانه‌های آزاد و درگیر، درجه آزادی در هر محدوده ابعادی تعیین و نوع درگیری‌ها و کانی‌های درگیر مشخص می‌شود. بسته به ابعاد دانه‌ها بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ دانه باید مورد بررسی قرار گیرد. از روش‌های جدید تعیین درجه آزادی استفاده از میکروسکوپ الکترونی مجهز می‌توان به سیستم Qem Scan و یا نرم‌افزار MLA اشاره کرد.

۲-۶- فهرست گزارش آزادسازی کانی‌ها

۲-۶-۱- مقدمه

- بررسی کارهای انجام شده قبلی؛
- ویژگی‌ها و مشخصات نمونه تحویلی؛
- هدف از انجام مطالعات؛
- شرح روند مطالعات.

۲-۶-۲- کلیات

- محل برداشت نمونه از کانسار؛

omoorepeyman.ir

– محل نمونه‌برداری از مدار کانه‌آرایی و ارایه فلوشیت؛

– ابعاد اولیه؛

– وضعیت درگیری کانی‌های اصلی با باطله (بر اساس گزارشات قبلی کانی‌شناسی).

۲-٦-۳- مطالعات درجه آزادی

– روش و مراحل خردایش نمونه (در صورت انجام)؛

– تجزیه سرندی و نحوه انجام آن؛

– نوع و تعداد مقاطع میکروسکوپی مورد استفاده؛

– مشخصات میکروسکوپ و شرایط آزمایش؛

– نتایج واسطه سنگین (در صورت استفاده)؛

– تعیین درجه آزادی و نحوه درگیری‌ها؛

– شرح روش‌های تعیین درجه آزادی (روش میکروسکوپی، آنالیز تصاویر و نظایر آن).

۲-٦-٤- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

– تفسیر داده‌ها با استفاده از جداول و نمودارها؛

– نحوه دستیابی به درجه آزادی؛

– تعیین محدوده ابعادی با درجه آزادی مناسب و پیش‌بینی رفتار کانی‌ها در مراحل فرآیند؛

– انتخاب زمان بهینه خردایش برای دستیابی به درجه آزادی مطلوب در بازیابی کانی مورد نظر.

۲-٦-۵- مراجع و منابع

۲-٦-٦- پیوست‌ها

در فرم‌های ۲-۱ و ۲-۲ موارد مورد نیاز در تشخیص کانی‌ها بر اساس خواص فیزیکی و در روش‌های میکروسکوپی ارایه شده‌اند.

فرم۲-۱- موارد مورد بررسی در تشخیص کانی‌ها بر اساس ویژگی‌های فیزیکی و ظاهری.

۱. مشخصات نمونه و فرد آزمایش‌کننده:

نام و نام خانوادگی: ..... شماره نمونه: .....

تاریخ مطالعه: ..... محل برداشت نمونه: .....

۲ . مقدار/ وزن نمونه مورد بررسی: .....

omoorepeyman.ir

۳. درصد تخمینی عیار کانی با ارزش: .....

٤. شکل بلورها و یا مجموعه ذرات معدنی:

□ سوزنی **Acicular** □ ستونی **Columnar**

□ کلوفرم **Colloform** □ لایه‌ای/ صفحه‌ای **Lamellar or Tabular**

□ الیافی **Fibrous** □ توده‌ای **Massive**

□ تیغه‌ای **Bladed** □ دانه‌ای **Granular**

□ سایر موارد

توضیحات:.....

.....

۵. کلیواژ: □ دارد □ ندارد

توضیحات:.....

٦. نوع شکست:

توضیحات:.....

.....

۷. سختی (سایشی) و روش اندازه‌گیری: .....

۸. مقاومت:

□ شکننده □ الاستیک □ پلاستیک

توضیحات:.....

.....

۹. وزن مخصوص: کانی **.....** کانسنگ **.....**

روش اندازه‌گیری وزن مخصوص .....

توضیحات:.....

.....

۱۰. رنگ، جلا

توضیحات:.....

.....

۱۱. خاصیت مغناطیسی: □ دارد □ ندارد

توضیحات:.....

.....

omoorepeyman.ir

فرم۲-۲- موارد مورد بررسی در تشخیص کانی‌ها به روش‌های میکروسکوپی

۱. مشخصات نمونه و فرد آزمایش کننده:

نام و نام خانوادگی: ..... شماره نمونه: .....

تاریخ مطالعه: ..... محل برداشت نمونه: .....

۲. هدف: □ شناسایی کانه‌های اصلی □ شناسایی کانی‌های گانگ □ شناسایی ادخال‌ها

۳. مقدار/ وزن نمونه مورد بررسی: .....

٤. درصد (عیار کانی با ارزش): .....

۵. نتایج مطالعه مقاطع نازک (کانی‌های شفاف/ نیمه شفاف):

۱- شکل بلورها .....

۲- اندازه بلورها .....

۳- کلیواژ .....

۴- ضرایب شکست نسبی .....

۵- دگرسانی و اکسیداسیون در سطوح کانی‌ها و مرز بین دانه‌ها .....

۶- انکلوزیون‌ها (ادخال‌ها) .....

۷- محدوده ابعادی و توزیع ابعادی دانه‌ها .....

۸- فراوانی نسبی کانی‌ها .....

۹- پاراژنزهای خاص (همراهی/ درگیری‌ها) .....

۱۰- بافت .....

٦. نتایج مطالعه مقاطع صیقلی (کانی‌های نیمه شفاف/ کدر):

۱-شکل بلورها .....

۲-اندازه بلورها .....

۳-رنگ و تغییرات آن با چرخش صفحه میکروسکوپ .....

۴-درجه انعکاس .....

۵-کلیواژ و کندگی‌های سطحی .....

۶-بافت کانی .....

۷-انعکاس‌های درونی .....

۸-زون‌بندی .....

۷- ارایه تصاویر میکروسکوپی:

این تصاویر باید دارای مقیاس باشد و همچنین کانی‌های اصلی و گانگ باید به طور کامل مشخص شده باشند.

توضیحات: .....

omoorepeyman.ir

خواننده گرامی

امور نظام فنی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر پانصد عنوان نشریه تخصصی- فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه 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 نشریات منتشر شده در پایگاه اطلاع‌رسانی **nezamfanni.ir** قابل دستیابی می‌باشد.

امور نظام فنی

omoorepeyman.ir

Islamic Republic of Iran
Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision

The Characterization of Minerals and the Liberation Studies in Ore Dressing Processes

No. 565

Office of Deputy for Strategic Supervision

Department of Technical Affairs

nezamfanni.ir

Ministry of Industry, Mine and Trade

Deputy office of Mining Affairs and Mineral Industries

Office for Mining Exploitation and Supervision

http://www.mim.gov.ir

2013

omoorepeyman.ir

این نشریه:

به بررسی مراحل شناسایی مواد معدنی بر اساس خواص ظاهری و یا فیزیکی آن‌ها با استفاده از آنالیزهای کمی و کیفی می‌پردازد و در ادامه روش های آزاد سازی مواد در کانه‌آرایی مورد بررسی قرار گرفته است.

omoorepeyman.ir