

روش‌های تجزیه نمونه‌های معدنی

احمد خاکزاد

با همکاری
پیمان افضل

سرشناسه: خاکزاد، احمد، ۱۳۲۳ -

عنوان و نام پدیدآورنده: روش‌های تجزیه مواد معدنی / احمد خاکزاد با همکاری پیمان افضل.

مشخصات نشر: تهران: آرین‌زمین، ۱۳۹۲

مشخصات ظاهری: ۳۴ص، مصور(بفشی رنگی)، جدول، نمودار.

شابک: ۱۷۵۰۰۰ ریال، 9-13-6058-600-978

وضعیت فهرست‌نویسی: فیا

یادداشت: کتابخانه.

موضوع: مواد معدنی -- تجزیه و تحلیل.

شناسه افزوده: افضل، پیمان، ۱۳۵۸ -

رده‌بندی کنگره: QD۳۵۹۶/۳۵۹۶۲۰۱۳۹۲

رده‌بندی دیویی: ۵۴۹

شماره کتابشناسی ملی: ۳۳۴۶۶۶۹



ZARAZMA
Mineral Studies Company



روش‌های تجزیه نمونه‌های معدنی

تألیف: احمد خاکزاد با همکاری پیمان افضل

ناشر: آرین‌زمین

نوبت چاپ: چاپ اول

شمارگان: ۱۰۰۰ جلد

تاریخ انتشار: ۱۳۹۲

چاپ و صحافی: دانش‌پژوه

ناظر چاپ: عبدالله طهماسبی

قیمت: ۱۷۵۰۰ تومان

آدرس: بزرگراه حقانی شمال - خروجی میدان کتابی - خیابان کوشا - پلاک ۶۵ - طبقه دوم غربی

نمابر: ۵۳۷۱ ۲۲۹۲

کدپستی: ۱۵۴۷۷۱۷۴۱۱ - تلفن: ۲۲۹۲۵۲۶۳ - ۲۲۹۲۵۲۷۱

Website: www.arianzamin.com

Email: arianzamin@arianzamin.com

حق چاپ برای انتشارات آرین‌زمین محفوظ است.

ہیات مؤلفین و داوران

دکتر منصور وثوقی عابدینی

دکتر بهاء الدین حمدی

دکتر محمد حسین آدابی

دکتر مرتضی مؤمن زاده

دکتر سید علی آقائباتی

دکتر محمد هاشم امامی

دکتر انوشیروان کنی

مهندس همایون مطیعی

مهندس مصطفی شہرابی

مهندس محمد باقر اکبری

دکتر منصور قربانی

گفتار رها کن بنگر آینه عین

کان شبهت و اشکال ز گفتار برآمد

«مولانا»

سخنی درباره ابن نوشتار

در حال حاضر بیش از ۱۰۰ نوع ماده معدنی در دنیا استخراج می‌شود و میزان تولید آنها به جز سوخت‌های فسیلی سالانه به بیش از ۱۰ میلیارد تن می‌رسد. در کشور ما هم اکنون ۶۴ نوع ماده معدنی تولید می‌شود که متوسط استخراج آنها بدون در نظر گرفتن معادن شن و ماسه در حدود ۱۰۰ میلیون تن کانسنگ در سال است.

اشتهای جهان برای اکتشاف و استخراج منابع معدنی و مصرف آن چنان زیاد است که ذخایر بزرگ به سرعت رو به اتمام هستند. غالباً شرکت‌های بزرگ معدنی برای اکتشاف فلزاتی مانند طلا، مس و عناصر کمیاب به ژرفای بیش از ۵۰۰۰ متری زمین فکر می‌کنند. تولید طلا در آفریقای جنوبی به‌خاطر افت عیار در کانسارهای بزرگ و اشتیاق برای تولید بیشتر، کارگران را به عمق ۶۰۰۰ متری برده است.

فعالیت معدن‌کاری و صنایع معدنی از اکتشاف تا تولید جدا از نیروهای مجرب و متخصص زمین‌شناسی، معدن‌شناسی و معدن‌کار نیازمند ابزار و دستگاه‌های مختلفی می‌باشد که انواع مواد معدنی را از نظر کیفی، و عناصر سازنده آنها را از نظر کمی با دقت‌های زیاد شناسایی نمایند. در اصل می‌توان گفت ابزارها و دستگاه‌هایی که به تجزیه کمی و کیفی مواد معدنی می‌پردازند چشم کارشناسان علوم زمین و معدن و ملاک ارزیابی آنها از ذخایر معدنی می‌باشند. از آنجا که عیار اقتصادی هر ماده معدنی به ارزش اقتصادی و فراوانی آن در کل زمین بستگی دارد اغلب برای تشخیص فراوانی عناصر و چگونگی تمرکز آنها، در فعالیت‌های معدنی نیازمند دقت اندازه‌گیری در حد PPb می‌باشیم، از سوی دیگر گاه فعالیت اکتشافی ایجاب می‌کند که جهت شناخت آنها چگونگی انباشت، خاستگاه و ویژگی‌های متالورژیکی ذخایر معدنی مورد مطالعه و

ارزیابی قرار گیرند. در این مورد نیز برای اندازه‌گیری‌های کمی مقدار عناصر، ابزارها و دستگاه‌های خاصی به کار گرفته می‌شوند.

نیازهای یادشده سبب توسعه و گوناگونی روش‌ها و دستگاه‌های اندازه‌گیری کمی و کیفی برای مواد معدنی شده و اغلب مشاهده می‌شود که روش‌ها و دستگاه‌ها هر چند سال یک‌بار دچار تغییر می‌شوند. به همین خاطر نیاز است آزمایشگاه‌هایی که روی شناخت و ارزیابی مواد معدنی کار می‌کنند مرتب به‌روز شده و کارشناسان آنها نیز کار کردن با دستگاه‌های مختلف را فرا گیرند.

کتاب روش‌های تجزیه نمونه‌های معدنی، توسط جناب آقای دکتر خاکزاد تدوین شده است که بیش از ۳۰ سال به کارهای پژوهشی و آموزشی در دانشگاه‌ها و مؤسسات تحقیقاتی و اجرایی مواد معدنی مشغول بوده‌اند و به‌خوبی نیاز کاربران در امر آموزش و پژوهش در رشته‌های علوم زمین و معدن را می‌دانند. این کتاب نیز در همین راستا توسط ایشان تدوین شده است. مرکز پژوهشی زمین‌شناسی پارسه آری‌زمین با توجه به در نظر گرفتن کلیه مسائل که مطرح شد انتشار و چاپ این کتاب را با اهداف خود هم‌سو می‌داند و از تمام کسانی که در این راستا زحمت کشیده‌اند سپاسگزاری می‌کند. اجرشان مأجور باد.

از جناب آقای مهندس محمدباقر اکبری مدیر محترم ویرایش فنی آری‌زمین، آقای مهندس مسعود اویسی که ویرایش فنی و بازخوانی کتاب و آقای مهندس محسن ایرانمنش که ویرایش فنی نهایی را انجام داده‌اند و همچنین جناب آقای عبدالله طهماسبی که نظارت بر مراحل چاپ کتاب را به‌عهده داشتند، سپاسگزاری می‌گردد.

مدیر مرکز پژوهشی زمین‌شناسی پارس

(آری‌زمین)

دکتر منصور قربانی

پیش‌نویس‌نشر

امروزه با توجه به رشد شدید مصرف مواد معدنی در سرتاسر جهان نیاز به اکتشاف منابع جدید، امری بیش از پیش ضروری می‌باشد. از سویی دیگر، با توجه به عمیق بودن منابع دست‌نخورده و کم شدن عیار حد اقتصادی بسیاری از مواد معدنی موجود باید از روش‌ها و دستگاه‌های نوین در امر اکتشاف منابع معدنی جدید استفاده نمود. بدون هیچ تردیدی آنالیز دستگاهی نمونه‌های معدنی نقشی قابل توجه و اساسی را در این میلان به‌عهده دارد، زیرا امروزه کوچک‌ترین برآورد اشتباه در میزان عیار نمونه‌های اخذشده می‌تواند سبب تغییراتی اساسی در میزان کانه، باطله و ذخیره قابل استخراج در کانسار مورد اکتشاف شود. به‌همین دلیل روش‌های آنالیز دستگاهی در طول نیمه دوم قرن بیستم و به‌خصوص در سال‌های اخیر متنوع‌تر و بسیار پیشرفته‌تر از سابق شده است. در سال‌های اخیر با استفاده از نرم‌افزارهای رایانه‌ای در تفسیر نتایج این روش‌ها، کاربرد آنها عمومی‌تر بسیار یافته است. متأسفانه در بخش معدن و علوم زمین کشور به این مسئله کم‌توجهی شده و این بخش در ایران دارای ضعف‌های زیادی است. سالانه مقادیر زیادی ارز از کشور برای آنالیز نمونه‌های معدنی خارج می‌شود و از سویی دیگر به‌خاطر عدم سرمایه‌گذاری بر روی نیروی انسانی در این بخش بسیاری از دستگاه‌های خریداری شده آنالیز دستگاهی در کشور بلااستفاده باقی مانده است. همچنین به‌دلیل عدم تبلیغ مناسب در این بخش در میان دانشجویان علوم زمین و مهندسی معدن و نگرشی ضعیف بر درس تجزیه مواد معدنی در این رشته‌ها، بخش عمده تجزیه دستگاهی مواد معدنی توسط متخصصان شیمی صورت می‌گیرد که باتوجه به عدم شناخت آنها از مباحث مورد نظر در علوم زمین نتایج به‌دست آمده چندان مناسب نیست.

فهرست

فصل اول: کلیات

- ۱-۱-۱- مقدمه‌ای بر آنالیز مواد معدنی و رده‌بندی روش‌های آنالیز دستگاهی..... ۱
- ۱-۱-۱-۱- مقدمه..... ۱
- ۱-۱-۲- رده‌بندی روش‌های آنالیز دستگاهی..... ۱
- ۱-۱-۲-۱- روش‌های جداسازی..... ۲
- ۱-۱-۲-۱-۱- روش‌های کروماتوگرافی..... ۲
- ۱-۱-۲-۱-۲- روش‌های تجزیه طیفی..... ۲
- ۱-۱-۳- تابش الکترومغناطیس و مشخصات آن..... ۲
- ۲-۱- نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها جهت آنالیز دستگاهی..... ۴
- ۲-۱-۱- مقدمه..... ۴
- ۲-۱-۲- آماده‌سازی نمونه‌ها..... ۶
- ۲-۱-۳- آلودگی در نمونه‌های معدنی و جلوگیری از آنها..... ۱۰
- ۲-۱-۴- حل کردن نمونه‌ها..... ۱۱
- ۲-۱-۵- مختصری درباره قال کاری (Fire Assay)..... ۱۲

فصل دوم: روش‌های کروماتوگرافی

- ۲-۱- مقدمه..... ۱۵
- ۲-۱-۱- مایع - جامد..... ۱۶
- ۲-۱-۲- گاز - جامد..... ۱۶
- ۲-۱-۳- مایع - مایع..... ۱۶
- ۲-۱-۴- گاز - مایع..... ۱۶
- ۲-۲- کروماتوگرافی جذب سطحی (فاز ساکن جامد)..... ۱۶
- ۲-۳- کروماتوگرافی تقسیمی (فاز ساکن مایع)..... ۱۷
- ۲-۳-۱- مختصری در مورد دستگاه کروماتوگرافی با فاز مایع HPLC..... ۱۷
- ۲-۳-۱-۱- قسمت‌های گوناگون دستگاه..... ۱۸
- ۲-۳-۱-۲- کیفیت فاز متحرک مورد نظر..... ۱۹
- ۲-۴- کروماتوگرافی گازی..... ۲۰

۲۱.....	۱-۴-۲ مختصری در مورد دستگاه کروماتوگرافی گازی
۲۲.....	۲-۴-۲ آماده سازی نمونه
۲۳.....	۵-۲ روش های جداسازی مخلوط های گوناگون در کروماتوگرافی
۲۴.....	۶-۲ مقایسه روش های تقسیمی و جذب سطحی
۲۵.....	۷-۲ مزایای روش های کروماتوگرافی
۲۵.....	۸-۲ کاربرد

فصل سوم: روش های مبتنی بر طیفسنجی

۲۷.....	۱-۳ طیفسنجی نشری
۲۷.....	۱-۱-۳ مقدمه
۲۸.....	۲-۱-۳ فرایند نشر و اصول طیفسنجی نشری
۲۹.....	۳-۱-۳ انواع طیف نشری
۲۹.....	۱-۳-۱-۳ تابش زمینه ای پیوسته
۲۹.....	۲-۳-۱-۳ طیف های نواری
۳۰.....	۳-۳-۱-۳ طیف های خطی
۳۰.....	۴-۱-۳ عوامل مؤثر بر روی طیف ها
۳۰.....	۱-۴-۱-۳ اثر منبع
۳۱.....	۲-۴-۱-۳ تعریض فشاری
۳۱.....	۳-۴-۱-۳ تعریض دوپلری
۳۱.....	۴-۴-۱-۳ خود جذبی
۳۱.....	۵-۱-۳ منابع الکتریکی
۳۲.....	۱-۵-۱-۳ قوس های الکتریکی با جریان مستقیم (A.C.Arc)
۳۳.....	۲-۵-۱-۳ قوس های الکتریکی با جریان متناوب (D.C.Arc)
۳۴.....	۳-۵-۱-۳ جرقه A.C یا جرقه جریان متناوب
۳۵.....	۶-۱-۳ آماده سازی نمونه
۳۶.....	۱-۶-۱-۳ تحریک نمونه
۳۶.....	۲-۶-۱-۳ نمونه فلزی
۳۷.....	۳-۶-۱-۳ الکترود برای نمونه های نارسانا
۳۷.....	۴-۶-۱-۳ تحریک اجزای تشکیل دهنده محلول ها
۳۸.....	۷-۱-۳ دستگاه طیفسنج نشری
۴۰.....	۱-۷-۱-۳ شکاف های ورودی و خروجی
۴۰.....	۲-۷-۱-۳ آشکارسازها
۴۲.....	۸-۱-۳ کاربردهای تجزیه ای

۴۲.....	۱-۸-۱-۳ تجزیه کیفی
۴۳.....	۲-۸-۱-۳ تجزیه کمی
۴۴.....	۳-۸-۱-۳ آنالیز هم‌زمان چند عنصری
۴۶.....	۹-۱-۳ کاربردهای طیف‌سنجی نشری
۴۶.....	۱-۹-۱-۳ تجزیه کیفی
۴۷.....	۲-۹-۱-۳ شناسایی عناصر
۴۷.....	۳-۹-۱-۳ روش‌های نیمه کمی
۴۷.....	۴-۹-۱-۳ دستگاه اسپکترومتر
۴۸.....	۱۰-۱-۳ مزایا و معایب
۴۹.....	۱-۱۰-۱-۳ مزایا
۵۰.....	۲-۱۰-۱-۳ معایب
۵۱.....	۱۱-۱-۳ کاربرد
۵۳.....	۲-۳ طیف‌سنجی جرمی (Mass Spectrometry)
۵۳.....	۱-۲-۳ مقدمه
۵۴.....	۲-۲-۳ اصول طیف‌سنجی جرمی
۵۵.....	۳-۲-۳ آماده‌سازی نمونه
۵۶.....	۱-۳-۲-۳ روش‌های اتمی کردن نمونه
۵۸.....	۲-۲-۳ دستگاه طیف‌سنج جرمی
۵۸.....	۱-۴-۲-۳ سیستم ورودی نمونه
۵۸.....	۲-۴-۲-۳ روزنه مولکولی
۵۹.....	۳-۴-۲-۳ محفظه یونیزاسیون
۶۰.....	۴-۴-۲-۳ تجزیه‌گر جرمی
۶۱.....	۵-۴-۲-۳ آشکارساز
۶۱.....	۶-۴-۲-۳ ثبت‌کننده آشکارساز
۶۲.....	۵-۲-۳ فرایند دستگاه
۶۳.....	۶-۲-۳ کاربردها، مزایا و معایب
۶۶.....	۳-۳ طیف‌سنجی شعله‌ای (Flame Photometry)
۶۶.....	۱-۳-۳ مقدمه
۶۶.....	۲-۳-۳ منشأ طیف‌ها
۶۷.....	۳-۳-۳ دستگاه طیف‌سنج شعله‌ای (Flame Photometer) و اجزای تشکیل‌دهنده آن
۷۰.....	۴-۳-۳ کاربردهای تجزیه‌ای روش طیف‌سنجی شعله‌ای
۷۲.....	۵-۳-۳ دقت و صحت روش طیف‌سنجی شعله‌ای
۷۲.....	۶-۳-۳ مزایا و معایب روش طیف‌سنجی شعله‌ای

۷۴.....	۴-۳ روش طیف‌سنجی جذب اتمی (Atomic Absorption Spectrometry).....
۷۴.....	۳-۴-۱ مقدمه.....
۷۴.....	۳-۴-۲ مفاهیم و تعریف‌های تئوری.....
۷۷.....	۳-۴-۳ اصول جذب اتمی.....
۷۷.....	۳-۴-۱ جذب تابش.....
۷۸.....	۳-۴-۲ جذب اتمی.....
۷۹.....	۳-۴-۴ اندازه‌گیری جذب اتمی.....
۷۹.....	۳-۴-۴-۱ روش‌های اندازه‌گیری.....
۸۳.....	۳-۴-۵ رابطه جذب و غلظت.....
۸۳.....	۳-۴-۶ روش آماده‌سازی نمونه.....
۸۴.....	۳-۴-۶-۱ خاک ترساز یا اکسیداسیون خشک.....
۸۵.....	۳-۴-۶-۲ هضم مرطوب.....
۸۵.....	۳-۴-۶-۳ انحلال فشاری.....
۸۶.....	۳-۴-۶-۴ هضم به وسیله امواج ریز.....
۸۶.....	۳-۴-۶-۵ ذوب.....
۸۷.....	۳-۴-۶-۶ استفاده از حلال‌های آلی.....
۸۸.....	۳-۴-۷ شرح دستگاه جذب اتمی.....
۸۸.....	۳-۴-۷-۱ منابع انرژی تابشی.....
۹۰.....	۳-۴-۷-۲ تک‌فام ساز (صافی).....
۹۰.....	۳-۴-۷-۳ افشانه.....
۹۱.....	۳-۴-۷-۴ محفظه افشانه.....
۹۲.....	۳-۴-۷-۵ آشکارساز.....
۹۲.....	۳-۴-۷-۶ شناساگر (Detector).....
۹۲.....	۳-۴-۸ انواع دستگاه جذب اتمی.....
۹۳.....	۳-۴-۹ روش‌های اتمی کردن نمونه.....
۹۳.....	۳-۴-۹-۱ روش شعله‌ای.....
۹۶.....	۳-۴-۹-۲ روش کوره گرافیتی.....
۱۰۳.....	۳-۴-۹-۳ روش بخار سرد.....
۱۰۳.....	۳-۴-۱۰ مراحل اتمی کردن.....
۱۰۴.....	۳-۴-۱۱ تداخل‌ها.....
۱۰۴.....	۳-۴-۱۲ مزایا و معایب روش طیف‌سنجی جذب اتمی.....
۱۰۵.....	۳-۴-۱۳ کاربرد.....
۱۰۸.....	۵-۳ تجزیه به روش فعال‌سازی نوترونی (Neutron Activation Analysis).....

۱۰۸	۱-۵-۳ مقدمه
۱۰۸	۲-۵-۳ اصول و میانی دستگاه آنالیز براساس فعال سازی نوترونی
۱۱۰	۳-۵-۳ انواع روش تجزیه به روش فعال سازی نوترونی
۱۱۱	۱-۳-۵-۳ آنالیز فعال سازی نوترونی دستگاهی (INAA)
۱۱۱	۲-۳-۵-۳ آنالیز فعال سازی نوترونی رادیوشیمیایی (RNAA)
۱۱۳	۴-۵-۳ آماده سازی نمونه ها و استانداردها
۱۱۴	۱-۴-۵-۳ آماده سازی در فعال سازی نوترونی رادیوشیمیایی
۱۱۵	۲-۴-۵-۳ ملاحظات آماده سازی نمونه ها
۱۱۵	۵-۵-۳ اجزای مختلف دستگاه اندازه گیری پرتو گاما
۱۱۶	۱-۵-۵-۳ آشکارساز گاما
۱۱۶	۲-۵-۵-۳ اثرات ناشی از واکنش پرتو گاما با گیرنده ژرمانیومی
۱۱۷	۳-۵-۵-۳ روش های تولید نوترون
۱۱۹	۴-۵-۵-۳ روند پرتو دهی و انواع آن
۱۲۰	۶-۵-۳ تداخل ها در روش فعال سازی نوترونی
۱۲۰	۷-۵-۳ مزایا و معایب
۱۲۱	۸-۵-۳ کاربرد
۱۲۳	۶-۲ پلاسمای جفت شده القایی (Inductively coupled plasma)
۱۲۳	۱-۶-۳ مقدمه
۱۲۳	۲-۶-۳ پلاسما و ویژگی های آن
۱۲۶	۱-۲-۶-۳ کاربردهای پلاسما
۱۲۶	۲-۲-۶-۳ پلاسمای حالت جامد و مایع
۱۲۷	۳-۶-۳ اصول طیف سنجی نشری
۱۲۹	۱-۳-۶-۳ اقرا طیف سنجی نشری
۱۳۱	۲-۳-۶-۳ اقرا روش های معمول ICP
۱۳۲	۴-۶-۳ آماده سازی نمونه
۱۳۳	۱-۴-۶-۳ حد تشخیص
۱۳۴	۵-۶-۳ ساختمان دستگاه پلاسمای جفت شده القایی
۱۳۵	۱-۵-۶-۳ منبع تحریک
۱۳۹	۲-۵-۶-۳ اجزای اپتیکی
۱۴۲	۶-۶-۳ فرایند اتمی شدن و برانگیخته شدن و آشکارسازی نتایج
۱۴۳	۷-۶-۳ مزایا و معایب این روش
۱۴۴	۸-۶-۳ کاربرد
۱۴۴	۱-۸-۶-۳ مقایسه XRF پرتابل و ICP

فصل چهارم: روش های مبتنی بر پرتو ایکس

۱-۴	مطالعه پراش پرتو ایکس (XRD).....	۱۴۹
۱-۱-۴	مقدمه.....	۱۴۹
۲-۱-۴	ویژگی های پرتو ایکس.....	۱۵۰
۳-۱-۴	جذب پرتو ایکس.....	۱۵۱
۴-۱-۴	اثر فتو الکتریک.....	۱۵۲
۵-۱-۴	پراش پرتو ایکس (XRD).....	۱۵۲
۶-۱-۴	انکسار معادله براگ.....	۱۵۳
۷-۱-۴	مکانیزم تولید پرتو ایکس.....	۱۵۴
۸-۱-۴	آماده سازی نمونه.....	۱۵۵
۹-۱-۴	اجرای تشکیل دهنده دستگاه XRD.....	۱۵۷
۱-۶-۱-۴	منبع تشعشع.....	۱۵۷
۱-۹-۱-۴	پراش سنج.....	۱۶۰
۳-۹-۱-۴	ردیاب و تجهیزات شمارش.....	۱۶۴
۱۰-۱-۴	فایل و نوع تصاویر داده ها در XRD.....	۱۶۴
۱-۱۰-۱-۴	تجزیه کیفی داده ها.....	۱۶۶
۲-۱۰-۱-۴	روش تشخیص روش ها با این روش.....	۱۶۷
۳-۱۰-۱-۴	تجزیه کمی.....	۱۶۷
۱۱-۱-۴	برخی از انواع دیفرآکтомتر (پراش سنج) و منعلقات آن.....	۱۶۷
۱-۱۱-۱-۴	پراش سنج D500.....	۱۶۷
۲-۱۱-۱-۴	پراش سنج نوع F.....	۱۶۸
۳-۱۱-۱-۴	تک رنگ کننده پرتو پراش تشعشع Cu.....	۱۶۹
۴-۱۱-۱-۴	لوازم اندازه گیری اتوماتیک جهت یابی های تحلیلی.....	۱۶۹
۵-۱۱-۱-۴	دوربین های سیلندری.....	۱۷۰
۶-۱۱-۱-۴	دوربین تخت برای نمایش انعکاس و انتقال.....	۱۷۱
۷-۱۱-۱-۴	دوربین پودری گیتی بر.....	۱۷۱
۸-۱۱-۱-۴	تک رنگ کننده پرسین.....	۱۷۲
۹-۱۱-۱-۴	دوربین های ویسنبرگ.....	۱۷۲
۱۰-۱۱-۱-۴	سیستم کوچک زاویه پرتو ایکس کراتکی.....	۱۷۲
۱۱-۱۱-۱-۴	پراش سنج HPD-6000.....	۱۷۳
۱۲-۱۱-۱-۴	پراش سنج پرتو ایکس فیلیپس 42202.....	۱۷۴
۱۳-۱۱-۱-۴	سری های D/MAX-B سیستم جدید پراش سنج پرتو ایکس.....	۱۷۴
۱۴-۱۱-۱-۴	پراش سنج پرتو ایکس کوچک و بزرگ زاویه.....	۱۷۵

۱۷۶	۱-۱-۱۵-۱۵ پراش سنج پرتو ایکس تجهیز شده با مونوکروماتور پرتو فرعی
۱۷۶	۱-۱-۱۲ انواع دستگاه های XRD
۱۷۶	۱-۱-۱۳-۱ دستگاه های قدیمی (نسل اول)
۱۷۷	۱-۱-۱۳-۲ دستگاه های ترسیم کننده نمودار (نسل دوم)
۱۷۷	۱-۱-۱۳-۳ دستگاه های مرتبط با سیستم های نرم افزاری (نسل جدید)
۱۷۷	۱-۱-۱۳-۴ دستگاه های تک بلور
۱۷۸	۱-۱-۱۳ مزایا و معایب XRD
۱۷۹	۱-۱-۱۴ کاربردها
۱۸۰	۱-۱-۱۴-۱ کاربردهای ساختاری بلوری (Structural Applications)
۱۸۰	۱-۱-۱۴-۲ توپوگرافی بلور
۱۸۳	۲-۴ طیف سنجی فلورسانس پرتو ایکس (XRF)
۱۸۳	۲-۴-۱ مقدمه
۱۸۴	۲-۴-۲ تکامل دستگاه های XRF
۱۸۴	۲-۴-۳ اساس کار روش XRF
۱۸۵	۲-۴-۳-۱ قاعده موزلی
۱۸۶	۲-۴-۳-۲ علامت گذاری برای نشر پرتو ایکس
۱۸۷	۲-۴-۳-۳ انتخاب خطوط طیفی جهت تجزیه
۱۸۷	۲-۴-۳-۴ حالت اکسیداسیون و اثرات پیوند شیمیایی
۱۸۸	۲-۴-۳-۵ اثر اوگر
۱۸۸	۲-۴-۳-۶ خطوط طیفی همراه
۱۸۹	۲-۴-۴ اثر ماتریس در نمونه های زمین شناسی
۱۹۰	۲-۴-۵ شرایط اندازه گیری با XRF
۱۹۱	۲-۴-۶ جدیدترین برنامه کامپیوتری نمودن اطلاعات پرتو ایکس
۱۹۶	۲-۴-۷ اجزای اصلی دستگاه XRF
۱۹۷	۲-۴-۷-۱ لامپ مولد پرتو ایکس
۲۰۰	۲-۴-۷-۲ کولیماتور یا موازی کننده
۲۰۱	۲-۴-۷-۳ بلور یا کریستال پراش دهنده پرتو ایکس
۲۰۲	۲-۴-۷-۴ آشکارساز پرتو ایکس
۲۰۲	۲-۴-۷-۵ انتخاب تیوب و ولتاژ مناسب
۲۰۴	۲-۴-۸ اساس کار دستگاه
۲۰۵	۲-۴-۹ انواع دستگاه طیف سنجی پرتو ایکس (XRF)
۲۰۷	۲-۴-۹-۱ دستگاه پرتابل Minimate
۲۰۸	۲-۴-۹-۳ شرایط اندازه گیری در دستگاه XRF پرتابل Minimate

۲۰۹	.....	Minipal ۳-۹-۲-۴ دستگاه
۲۱۱	.....	WXRF ۴-۹-۲-۴ دستگاه
۲۱۱	.....	EDXRF ۵-۹-۲-۴ روش
۲۱۳	.....	۱۰-۲-۴ استانداردها و منحنی کالیبراسیون
۲۱۳	.....	۱۱-۲-۴ آنالیز کمی
۲۱۴	.....	۱۲-۲-۴ آنالیز کیفی
۲۱۴	.....	۱۳-۲-۴ زایا و معایب
۲۱۵	.....	۱۴-۲-۴ کاربرد
۲۱۶	.....	۱-۱۴-۲ تعیین ضخامت اندودها و لایه‌ها
۲۱۶	.....	Minipal ۲-۱۱-۲-۴ کاربرد دستگاه
۲۱۷	.....	۳-۱۱-۲ آنالیز طلا و مواد آلیاژ جواهرات
۲۱۸	.....	۴-۲-۴ یونی توانت

فصل پنجم: روش‌های متشعشع میکروسکوپ‌های الکترونی

۲۲۱	.....	۱-۵ میکروسکوپ الکترونی پوششی (SEM)
۲۲۱	.....	۱-۱-۵ مقدمه
۲۲۲	.....	۲-۱-۵ اساس این روش
۲۲۴	.....	۱-۲-۱-۵ سیستم خلأ
۲۲۴	.....	۲-۲-۱-۵ پمپ ایجاد خلأ
۲۲۵	.....	۳-۲-۱-۵ انواع الکترون‌ها
۲۲۶	.....	۴-۲-۱-۵ کاربرد
۲۲۶	.....	۵-۲-۱-۵ الکترون‌های بازگشتی
۲۲۷	.....	۶-۲-۱-۵ Auger الکترون‌های
۲۲۷	.....	۷-۲-۱-۵ پرتو ایکس
۲۲۸	.....	۳-۱-۵ آماده‌سازی نمونه
۲۳۰	.....	۴-۱-۵ ساختمان دستگاه SEM
۲۳۰	.....	۱-۴-۱-۵ منبع الکترونی
۲۳۳	.....	۲-۴-۱-۵ سیستم متمرکزکننده الکترونی
۲۳۴	.....	۳-۴-۱-۵ آشکارکننده‌ها
۲۳۵	.....	۵-۱-۵ واکنش بین پرتو الکترونی و نمونه (گلابی نفوذ)
۲۳۶	.....	۶-۱-۵ قابلیت‌های دستگاه SEM
۲۳۶	.....	۱-۶-۱-۵ تصویربرداری
۲۳۸	.....	۲-۶-۱-۵ آنالیز

۲۳۹	۷-۱-۵ بزرگ‌نمایی و حد تشخیص
۲۴۰	۸-۱-۵ مزایا و معایب
۲۴۱	۹-۱-۵ کاربرد
۲۴۲	۲-۵ میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)
۲۴۲	۱-۲-۵ مقدمه
۲۴۲	۲-۲-۵ اساس کار
۲۴۴	۳-۲-۵ مراحل آماده‌سازی نمونه
۲۴۵	۴-۲-۵ ساختمان میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)
۲۴۶	۱-۲-۵ منبع الکترون
۲۴۷	۲-۲-۵ بایاس
۲۴۷	۳-۲-۵ لیزهای نخستین
۲۴۸	۴-۲-۵ لیزهای کنداسور دوتایی
۲۴۹	۵-۲-۵ طرز تشکیل تصویر در TEM
۲۵۰	۶-۲-۵ مزایا و معایب
۲۵۱	۷-۲-۵ تفاوت TEM و SEM
۲۵۳	۸-۲-۵ کاربرد
۲۵۵	۳-۵ روش آنالیز الکترون میکروپروب (EPMA)
۲۵۵	۱-۳-۵ مقدمه
۲۵۵	۲-۳-۵ اساس این روش
۲۵۶	۳-۳-۵ نتایج بمباران الکترونی نمونه
۲۵۷	۴-۳-۵ دقت و حساسیت روش
۲۵۸	۵-۳-۵ آماده‌سازی نمونه
۲۵۹	۱۰-۳-۵ کانی‌های استاندارد در میکروپروب
۲۶۰	۳-۳-۵ اعتبار کانی‌های استاندارد
۲۶۰	۶-۳-۵ ساختمان دستگاه آنالیزگر الکترون میکروپروب
۲۶۱	۶-۳-۵ توب الکترونی و ستون الکترونی
۲۶۲	۶-۳-۵ میکروسکوپ نوری
۲۶۳	۳-۳-۵ صفحه نمونه
۲۶۴	۴-۳-۵ طیف‌سنج پرتو ایکس
۲۶۴	۵-۳-۵ سیستم خلأ
۲۶۴	۷-۳-۵ اساس و روش کار این دستگاه
۲۶۵	۸-۳-۵ انواع آنالیز قابل انجام با این روش
۲۶۵	۱-۸-۳-۵ EDS

۲۶۵	 WDS۲-۸-۳-۵
۲۶۵	 آنالیز خطی نقطه‌ای ۳-۸-۳-۵
۲۶۶	 ۹-۳-۵ بمباران الکترونی نمونه
۲۶۶	 ۱۰-۳-۵ ایجاد تصویر (Scanning)
۲۶۷	 ۱۱-۳-۵ کاربرد
۲۶۸	 ۱۲-۳-۵ مشخصات میکروپروب CAMECA SX 100
۲۶۸	 ۱۳-۳-۵ تفاوت EPMA با SEM
۲۶۹	 ۱۴-۳-۵ تفاوت EPMA با XRF
۲۶۹	 ۱۵-۳-۵ مزایا و معایب روش EPMA
۲۷۲	 ۴-۵ پیوست‌های میکروسکوپ الکترونی (WDS, EDS)
۲۷۲	 ۱-۴-۵ مقدمه
۲۷۲	 ۲-۴-۵ طیف‌سنج WDS
۲۷۳	 ۱-۲-۴-۵ آشکاراگر پرتو ایکس در داخل بلور آنالیزگر
۲۷۴	 ۲-۲-۴-۵ آشکاراگرها در WDS
۲۷۴	 ۳-۴-۵ طیف‌سنج EDS
۲۷۴	 ۱-۳-۴-۵ اجزای آشکاراگرها در EDS
۲۷۵	 ۲-۳-۴-۵ کارکرد آشکاراگر EDS
۲۷۶	 ۴-۴-۵ مقایسه EDS و WDS
۲۷۶	 ۱-۴-۴-۵ آنالیزهای کیفی
۲۷۷	 ۲-۴-۴-۵ آنالیزهای کمی
۲۷۷	 ۵-۴-۵ کاربردهای EDS در روش XRF
۲۷۸	 ۶-۴-۵ تهیه نقشه عناصر در نمونه

فصل ششم: روش‌های تخصصی صنعتی و طیف‌سنج لیزری

۲۷۹	 ۱-۶ روش‌های تجزیه گرمایی
۲۷۹	 ۱-۱-۶ مقدمه
۲۷۹	 ۲-۱-۶ تجزیه دیفرانسیل گرمایی (DTA)
۲۸۱	 ۱-۲-۱-۶ عوامل مؤثر در روش DTA
۲۸۲	 ۲-۲-۱-۶ محاسن و معایب DTA
۲۸۲	 ۳-۱-۶ گراویمتریک TGA
۲۸۶	 ۴-۱-۶ دیلاتومتریک (انبساط‌سنجی) DIL
۲۸۶	 ۵-۱-۶ تغییرات گاز G.E.A
۲۸۶	 ۶-۱-۶ شکستن کانی‌ها بر اثر گرما
۲۸۶	 ۷-۱-۶ قابلیت هدایت الکتریکی

۲۸۶.....	۸-۱-۶ ترمولومینسانس (لومینسانس گرمایی).....
۲۸۷.....	۹-۱-۶ پرت گرمایی (L.O.I).....
۲۸۹.....	۲-۶ روش آنالیز کربن و گوگرد.....
۲۸۹.....	۱-۲-۶ مقدمه.....
۲۸۹.....	۲-۲-۶ انواع دستگاه‌های آنالیز کربن و گوگرد و روش کار دستگاه.....
۲۹۱.....	۱-۲-۲-۶ اساس و روش کار دستگاه CSA2001.....
۲۹۱.....	۳-۲-۶ آنالیز مخصوص با استفاده از پرتو مادون قرمز (آنالیز IR).....
۲۹۲.....	۴-۲-۶ کوره HF.....
۲۹۴.....	۵-۲-۶ مزایای استفاده از این روش.....
۲۹۴.....	۳-۶ روش ذوب فلزات (Quantometry).....
۲۹۴.....	۱-۳-۶ مقدمه.....
۲۹۵.....	۲-۳-۶ آماده‌سازی نمونه.....
۲۹۵.....	۳-۳-۶ ساختمان و چگونگی عملکرد دستگاه.....
۲۹۶.....	۴-۳-۶ اساس شناسایی عناصر با این روش.....
۲۹۷.....	۵-۳-۶ استفاده از این روش در صنعت فولاد.....
۲۹۹.....	۴-۶ طیف‌سنجی لیزری (SL).....
۲۹۹.....	۱-۴-۶ مقدمه.....
۳۰۰.....	۲-۴-۶ آماده‌سازی نمونه در طیف‌سنجی لیزری (SL) و نرم‌افزار تحلیل گر.....
۳۰۱.....	۳-۴-۶ کاربرد.....
۳۰۳.....	پیوست.....