

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اکتشاف معدن

رشته معدن

زمینه صنعت

شاخه آموزش فنی و حرفه‌ای

شماره درس ۲۵۸۸

مدنی، سیدحسین	۶۲۲
اکتشاف معدن / مؤلف: سیدحسین مدنی - تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی	۱۳۹۵ / الف۶۷۷
ایران، ۱۳۹۵.	۱۳۹۵
۱۷۲ ص. : مصور. - (آموزش فنی و حرفه‌ای؛ شماره درس ۲۵۸۸)	
متون درسی رشته معدن، زمینه صنعت.	
برنامه‌ریزی و نظارت، بررسی و تصویب محتوا: کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی رشته معدن دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش وزارت آموزش و پرورش.	
۱. اکتشاف‌های زیرزمینی. ۲. معدن و ذخایر معدنی. الف. ایران. وزارت آموزش و پرورش. کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی رشته معدن. ب. عنوان. ج. فروست.	

همکاران محترم و دانش آموزان عزیز :
پیشنهادها و نظرهای خود را درباره محتوای این کتاب به نشانی
تهران - صندوق پستی شماره ۴۸۷۴/۱۵ دفتر تألیف کتاب‌های درسی
فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ارسال فرمایند.

tvoccd@medu.ir

پیام‌نگار (ایمیل)

www.tvoccd.medu.ir

وب‌گاه (وب‌سایت)

وزارت آموزش و پرورش سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف : دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

نام کتاب : اکتشاف معدن - ۴۵۸/۳

مؤلف : سیدحسن مدنی

اعضای کمیسیون تخصصی : سیدحسن مدنی، عباس شرفی، مهدی حمیدی، حمیدرضا امانی و حسن مخلصیان

آماده‌سازی و نظارت بر چاپ و توزیع : اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

تهران : خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)

تلفن : ۸۸۸۳۱۱۶۱-۹، دورنگار : ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی : ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹

وب‌سایت : www.chap.sch.ir

مدیر امور فنی و چاپ : لیدا نیک‌روش

طراح جلد : طاهره حسن‌زاده

صفحه‌آرا : شهرزاد قنبری

حروفچین : کبری اجابتی

مصصح : مریم اشرفی ، سمیه صائمانیان

امور آماده‌سازی خبر : سپیده ملک‌ایزدی

امور فنی رایانه‌ای : حمید ثابت کلاچاهی، راحله زادفتح‌اله

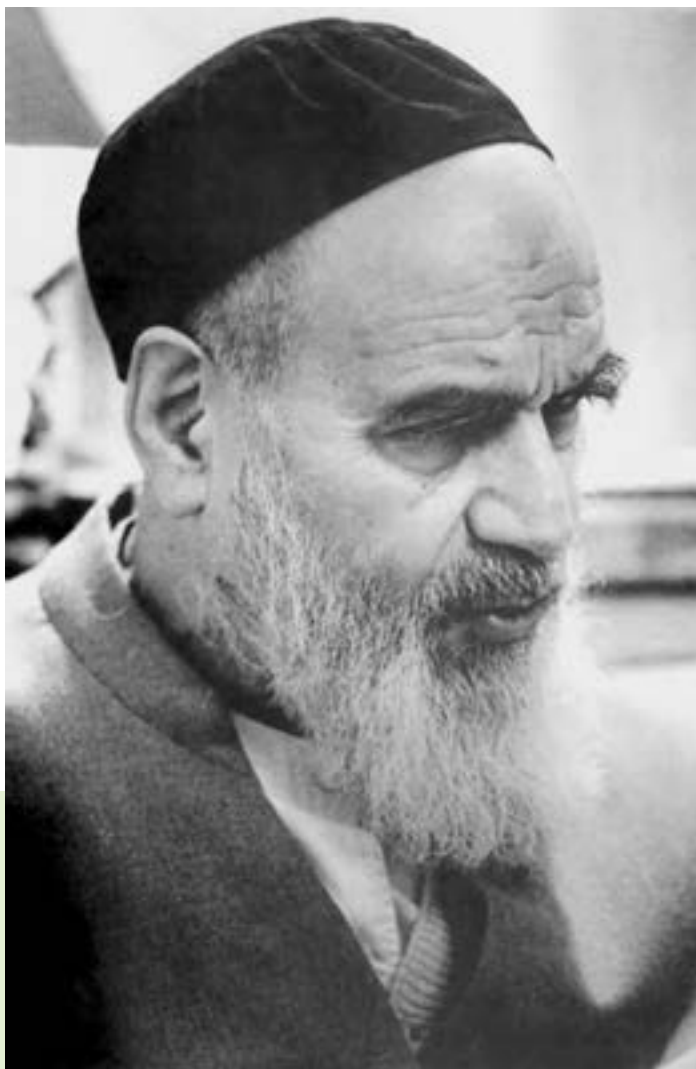
ناشر : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران - تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (داروپخش)

تلفن : ۵ - ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار : ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی : ۱۳۹ - ۳۷۵۱۵

چاپخانه : نادر

سال انتشار : ۱۳۹۵

حق چاپ محفوظ است.



شما عزیزان کوشش کنید که از این وابستگی بیرون آید و احتیاجات کشور خودتان را برآورده سازید، از نیروی انسانی ایمانی خودتان غافل نباشید و از اتکای به اجانب بپرهیزید.

امام خمینی «قدّس سرّه الشّریف»

۱	فصل ۱ – تعاریف و اصطلاحات
۱	۱-۱- آشنایی
۱	۲-۱- کانی
۲	۳-۱- کانسنگ
۲	۴-۱- کانه
۲	۵-۱- باطله یا گانگ
۲	۶-۱- کانسار
۳	۷-۱- منبع معدنی
۳	۸-۱- ذخیره معدنی
۳	۹-۱- کانتن
۴	فصل ۲ – کانسارهای درون‌زاد یا اولیه
۴	۱-۲- آشنایی
۵	۲-۲- کانسارهای ماگمایی اولیه
۶	۳-۲- کانسارهای پگماتیتی
۶	۴-۲- کانسارهای گازی یا پنوماتولیتیکی
۷	۵-۲- کانسارهای گرمایی

۹	فصل ۳- کانسارهای برونزاد یا ثانوی
۹	۱-۳- آشنایی
۱۰	۲-۳- کانسارهای ناشی از هوازدگی
۱۳	۳-۳- کانسارهای رسوبی
۱۶	۴-۳- زغال سنگ
۲۰	۵-۳- نفت

۲۴	فصل ۴- کانسارهای دگرگونی
۲۴	۱-۴- آشنایی
۲۵	۲-۴- انواع دگرگونی
۲۶	۳-۴- کانسارهای دگرگون شده
۲۶	۴-۴- کانسارهای دگرگونی

۲۸	فصل ۵- از کانسار تا معدن
۲۸	۱-۵- آشنایی
۲۸	۲-۵- فازهای مختلف عملیات معدنکاری
۳۰	۳-۵- اهداف کلی اکتشاف

۳۲	فصل ۶- معیارهای اکتشاف
۳۲	۱-۶- آشنایی
۳۳	۲-۶- معیارهای آب و هوایی
۳۴	۳-۶- معیارهای چینه‌شناسی
۳۵	۴-۶- معیارهای رخساره‌ای و سنگ‌شناسی
۳۵	۵-۶- معیارهای ساختاری
۳۶	۶-۶- معیارهای ماگمایی

۳۷	فصل ۷- راهنماها و نشانه‌های اکتشاف
۳۷	۱-۷- آشنایی
۳۷	۲-۷- نشانه‌های محلی
۳۹	۳-۷- قسمت‌های دگرسان شده سنگ‌ها
۳۹	۴-۷- تمرکز مواد معدنی
۴۰	۵-۷- قطعات کانسنگ
۴۰	۶-۷- هاله‌های تفرقی
۴۱	۷-۷- نشانه‌های گیاهی

۴۲	فصل ۸- مراحل مقدماتی اکتشاف
۴۲	۱-۸- آشنایی
۴۳	۲-۸- انتخاب محدوده ناحیه
۴۳	۳-۸- انجام کارهای اداری
۴۹	۴-۸- جمع‌آوری و مطالعه نقشه‌ها و گزارش‌های موجود
۴۹	۵-۸- بازدید مقدماتی از ناحیه
۵۰	۶-۸- استقرار مرکز عملیات

۵۱	فصل ۹- اکتشافات ماهواره‌ای (دورسنجی)
۵۱	۱-۹- آشنایی
۵۴	۲-۹- ماهواره‌های ویژه بررسی منابع زمین
۵۵	۳-۹- سنجنده‌ها
۵۵	۴-۹- نحوه ارسال اطلاعات از ماهواره به ایستگاه‌های زمینی
۵۶	۵-۹- کاربرد داده‌های ماهواره‌ای در مطالعات اکتشافی

۶۱	فصل ۱۰- اکتشافات هوابردی
۶۱	۱-۱۰- آشنایی

- ۶۱ ۱۰-۲- عکس‌های هوایی
- ۶۳ ۱۰-۳- مطالعه عکس‌های هوایی
- ۶۵ ۱۰-۴- اکتشافات ژئوفیزیکی هوابردی

۶۶ فصل ۱۱- اکتشافات زمین‌شناسی

- ۶۶ ۱۱-۱- آشنایی
- ۶۷ ۱۱-۲- بازدید و برداشت مقاطع زمین‌شناسی
- ۷۱ ۱۱-۳- تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی
- ۷۲ ۱۱-۴- جستجو و تعقیب رودخانه‌ها و خاک‌شویی

۷۷ فصل ۱۲- اکتشافات ژئوفیزیکی

- ۷۷ ۱۲-۱- آشنایی
- ۸۰ ۱۲-۲- روش گرانی‌سنجی
- ۸۳ ۱۲-۳- روش مغناطیس‌سنجی
- ۸۴ ۱۲-۴- روش‌های الکتریکی

۹۰ فصل ۱۳- اکتشافات ژئوشیمیایی

- ۹۰ ۱۳-۱- آشنایی
- ۹۱ ۱۳-۲- هاله‌های ژئوشیمیایی
- ۹۲ ۱۳-۳- عناصر ردیاب و نشانه
- ۹۴ ۱۳-۴- مراحل مختلف اکتشافات ژئوشیمیایی
- ۹۴ ۱۳-۵- روش‌های ژئوشیمیایی

۱۰۴ فصل ۱۴- حفریات اکتشافی سطحی

- ۱۰۴ ۱۴-۱- آشنایی
- ۱۰۵ ۱۴-۲- تهیه نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس

۱۰۸	۱۴-۳- چاله‌های اکتشافی
۱۰۹	۱۴-۴- ترانشه
۱۱۷	۱۴-۵- اوکلون
۱۲۰	۱۴-۶- چاهک‌های اکتشافی

۱۲۲	فصل ۱۵ - گمانه‌های اکتشافی
۱۲۲	۱۵-۱- آشنایی
۱۲۳	۱۵-۲- شبکه گمانه‌های اکتشافی
۱۲۴	۱۵-۳- تعیین مشخصات گمانه‌ها
۱۲۶	۱۵-۴- آماده کردن سکوی حفر گمانه
۱۲۶	۱۵-۵- حفر گمانه
۱۳۰	۱۵-۶- گل حفاری
۱۳۱	۱۵-۷- چگونگی حفر گمانه
۱۳۲	۱۵-۸- برداشت گمانه

۱۳۴	فصل ۱۶ - تونل‌های اکتشافی
۱۳۴	۱۶-۱- آشنایی
۱۳۵	۱۶-۲- تونل‌های عمود بر لایه
۱۴۲	۱۶-۳- تونل‌های امتدادی (موازی لایه)
۱۴۶	۱۶-۴- میان‌برها
۱۴۸	۱۶-۵- تونل‌های دنباله‌رو (دنبال لایه)

۱۵۰	فصل ۱۷ - نمونه‌برداری
۱۵۰	۱۷-۱- آشنایی
۱۵۱	۱۷-۲- نمونه‌برداری شیبی
۱۵۳	۱۷-۳- نمونه‌برداری لایه‌ای

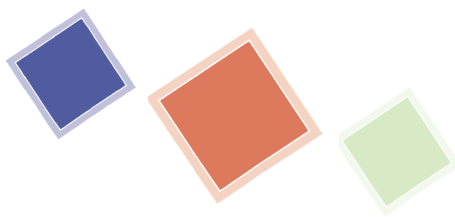
۱۵۴	۱۷-۴- نمونه برداری نقطه‌ای یا لب‌پری
۱۵۵	۱۷-۵- نمونه برداری کلوخه‌ای
۱۵۶	۱۷-۶- نمونه برداری از گمانه‌ها
۱۵۷	۱۷-۷- نمونه برداری از کانسارهای سطحی
۱۵۷	۱۷-۸- نمونه برداری از کپه‌ها و تل‌ها
۱۵۸	۱۷-۹- آماده‌سازی نمونه
۱۶۰	۱۷-۱۰- بررسی و تجزیه و تحلیل نمونه‌ها

فصل ۱۸ - محاسبه ذخیره

۱۶۲	۱۸-۱- آشنایی
۱۶۳	۱۸-۲- مشخصه‌های اصلی محاسبه ذخیره
۱۶۳	۱۸-۳- محاسبه ذخیره به روش میانگین حسابی
۱۶۴	۱۸-۴- محاسبه ذخیره روش قطعه‌های زمین‌شناسی
۱۶۵	۱۸-۵- محاسبه ذخیره به روش قطعه‌های معدنی
۱۶۷	۱۸-۶- رده‌بندی ذخائر

۱۷۲

فهرست منابع



مقدمه

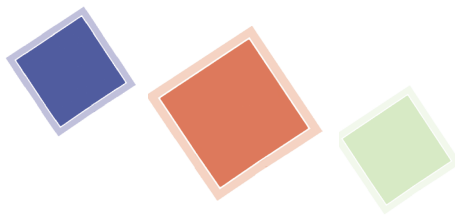
کتابی که با عنوان «اکتشاف معدن» از نظر شما می‌گذرد برای تدریس در رشته معدن در هنرستان کشور تألیف شده است. این کتاب حاصل بازسازی کتاب اکتشاف معدن است که در آن از نظرات ارزشمند هنرآموزان و دبیران هنرستان‌ها نیز استفاده شده است. در این کتاب، با توجه به مشکلاتی که به لحاظ محتوایی در کتاب‌های قبلی وجود داشت، سعی گردیده در عین حال که مطالب به گونه‌ای ساده و روان بیان می‌شود حاوی اطلاعات علمی لازم برای آشنایی هنرجویان با مراحل مختلف بی‌جویی و اکتشاف معادن نیز باشد. به‌طور کلی، مندرجات کتاب در سطحی است که می‌تواند نیازهای هنرجویان رشته استخراج معدن را در سطح دیپلم فنی این رشته تأمین نماید. بدیهی است مطالب تکمیلی برای دانشجویان دوره کاردانی و کارشناسی در مقاطع عالی تحصیلی ارائه خواهد شد. از همکاران محترم انتظار می‌رود در صورت نزدیک بودن به کانسارهایی در منطقه جغرافیایی خود، زمینه بازدید از آن‌ها را برای هنرجویان فراهم سازند و در حد امکان در محل، توضیحات عملی بیشتری را به آنان ارائه نمایند. ضمن اذعان به وجود پاره‌ای از اشکالات و نارسایی‌های احتمالی، از کلیه هنرآموزان و دبیران محترم تقاضا می‌شود نظرات و پیشنهادهای خود را به دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای ارسال نمایند تا در اصلاحات بعدی مورد استفاده قرار گیرد.

منابع مورد استفاده کتاب در متن با شماره در داخل [] مشخص شده تا هنرجویان بتوانند با مراجعه به فهرست منابع، مراجع را شناسایی کرده و برای مطالعه پیش‌تر استفاده نمایند.

دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کار دانش

هدف کلی

در پایان این درس هنرجویان از شرایط تشکیل کانسارها و انواع آن و مراحل مختلف پی‌جویی، اکتشاف، نمونه‌برداری و ارزیابی ذخایر معدنی و نیز روش‌های مربوط به آن شناخت کلی به‌دست می‌آورند.



تعاریف و اصطلاحات

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که: مفاهیم و اصطلاحات مربوط به مبحث اکتشاف معدن را شرح دهد.

۱-۱- آشنایی

از آنجا که در مباحث مختلف این کتاب، از اصطلاحات و مفاهیم مختلف نام برده می‌شود. لذا در این فصل، بعضی اصطلاحات تشریح شده است.

۱-۲- کانی^۱

این کلمه از دو جزء «کان» به معنی معدن و پسوند نسبی «ی» تشکیل شده و عبارت از جسم متجانسی است که به حالت طبیعی در زمین یافت می‌شود و ترکیب شیمیایی و خواص فیزیکی کمابیش مشخصی دارد.

تعداد کانی‌هایی که تاکنون شناخته شده‌اند به حدود چند هزار می‌رسد. ولی توزیع آنها در پوسته زمین یکنواخت نیست. بخش اصلی سنگ‌های تشکیل دهنده پوسته زمین را تنها تعداد معدودی از کانی‌ها تشکیل می‌دهند، در صورتی که تعداد زیادی از کانی‌ها نادرند و به صورت آثاری در بعضی از سنگ‌ها مشاهده می‌شوند.

^۱ - mineral

۱-۳- کانسنگ^۱

کانسنگ مجموعه طبیعی از یک یا چند کانی است که امکان دارد فلزات یا ترکیباتی با صرفه اقتصادی از آن استخراج شود. بنابراین اصطلاح کانسنگ نه تنها شامل کانه‌ها و کانی‌های موجود در کانسار می‌شود، بلکه باطله‌های دور ریخته شده قبلی و پس ماند کارخانه کانه‌آرایی و نظایر آنها نیز در صورتی که با انجام عملیات جدید از نظر اقتصادی با ارزش باشند، کانسنگ تلقی می‌شوند.

۱-۴- کانه^۲

معمولاً کانسنگ حاوی کانی‌های گوناگون فلزی و غیرفلزی است. کانی‌های فلزی موجود در کانسنگ را کانه می‌نامند.

۱-۵- باطله یا گانگ^۳

کانسنگ معمولاً با بعضی کانی‌های دیگر همراه است که ضمن استخراج کانی، باید الزاماً آنها را نیز استخراج کرد. به این مواد، باطله یا گانگ گفته می‌شود. مثلاً رگه‌های سرب در ایران غالباً با کانی باریت^۴ همراه است که در این مورد باریت، باطله کانسنگ سرب به‌شمار می‌آید. باید توجه داشت که جسمی که در یک معدن عنوان گانگ ماده معدنی اصلی را دارد الزاماً و در تمام موارد گانگ نیست. مثلاً اگرچه باریت در معادن سرب حالت گانگ را دارد، ولی در معادن باریت، کانسنگ اصلی به‌شمار می‌رود و در ایران، معادن متعددی تنها به خاطر استخراج باریت احداث شده‌اند.

۱-۶- کانسار^۵

کانسار از دو کلمه «کان» به معنی معدن و پسوند محل «سار» تشکیل شده است و به محلی گفته می‌شود که در آن یک یا چند کانسنگ یا ماده معدنی، که ارزش استخراج دارد، وجود داشته باشد و بنابراین توده‌های قابل استخراج اعم از فلزی یا غیرفلزی را شامل می‌شود. قابلیت استخراج کانسار از سویی به مشخصات ذاتی آن بستگی دارد و از سوی دیگر، به پیشرفت‌های فناوری و ارزش مواد معدنی وابسته است.

۱- ore

۲- ore mineral

۳- gangue

۴- baryte

۵- mineral deposit (ore deposit)

۱-۷- منبع معدنی^۱

انباشت طبیعی مواد معدنی که وجود آنها با بررسی‌های زمین‌شناسی قابل اثبات است. بنابراین، منابع معدنی نه تنها کانسار را شامل می‌شود، بلکه مواد معدنی شناخته شده‌ای را که استخراج آنها در شرایط فعلی مقرون به صرفه نیست نیز در بر می‌گیرد.

۱-۸- ذخیره معدنی^۲

اگر عملیات اکتشافی در کانسار به طور کامل انجام گیرد و مشخصات مواد معدنی موجود در آن به خوبی مشخص شود، بخش شناخته شده کانسار به نام ذخیره خوانده می‌شود، که میزان کانسنگ آن قابل محاسبه است و بسته به درجه اکتشاف، به رده‌های مختلف تقسیم می‌شود.

۱-۹- کان تن^۳

توده معدنی با ابعاد مشخص که حاوی کانسنگ با ارزش اقتصادی باشد، به نام کان تن خوانده می‌شود.

خودآزمایی

- ۱- کانی را تعریف کنید.
- ۲- فرق کانسنگ و کانه را تشریح کنید.
- ۳- باطله یا کانسنگ را تعریف کنید.
- ۴- تفاوت کانسار و منبع معدنی را تشریح کنید.

۱- mineral resources

۲- ore reserve

۳- ore body

کانسارهای درون‌زاد^۱ یا اولیه

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که:

- ۱- کانسارهای ماگمایی را شرح دهد.
- ۲- کانسارهای پگماتیته را توضیح بدهد.
- ۳- کانسارهای پنوماتولیتیکی را شرح دهد.
- ۴- کانسارهای گرمابی را توضیح بدهد.

۲-۱- آشنایی

همان‌طوری که از اسم کانسارهای درون‌زاد برمی‌آید، منشأ تشکیل آنها در درون زمین است و از آنجا که این کانسارها، اولین محصول‌اند و از تجزیه و تبدیل مواد دیگر به‌وجود نمی‌آیند، به آنها کانسارهای اولیه نیز می‌گویند.

منشأ اصلی این کانسارها ماگما^۲ است. ماگما در واقع مادر بسیاری از کانی‌ها است و می‌توان آن‌را به عنوان مخلوط مذابی از کانی‌ها و عناصر مختلف که در اعماق زمین تشکیل می‌شود، تعریف کرد [۱]. باید توجه داشت که اگرچه این کانسارها در اعماق زمین تشکیل شده‌اند، ولی همیشه در یک‌جا قرار ندارند بلکه در اثر فرآیندهای مختلف، از قبیل چین‌خوردگی‌ها و گسل‌ها، ممکن است به قسمت‌های بالاتر تغییر مکان دهند. از سوی دیگر، عوامل فرسایش نیز سنگ‌های رویی را به تدریج از

۱- endogenous

۲- magma

بین می‌برند و مجموعه این عوامل سبب می‌شود که امروزه بتوان این کانسارها را در سطح زمین یا در اعماق کم مشاهده کرد.

ماگما انواع مختلف دارد ولی انواع آنها عناصر و کانی‌های مختلف را کما بیش در بردارند [۲]. به طور کلی ماگما از ذوب قسمتی از پوسته یا گوشته زمین به وجود می‌آید ولی پس از تشکیل، در جای خود باقی نمی‌ماند و در اثر عوامل مختلف به سمت بالا حرکت می‌کند. ضمن حرکت ماگما به سمت بالا، تغییراتی در آن به وجود می‌آید. از جمله این که به علت سرد شدن، بخشی از آن منجمد شده و از آن جدا می‌شود و بنابراین ترکیب ماگمای باقی‌مانده دائماً در حال تغییر است. از سوی دیگر، ماگما با سنگ‌های دیواره شکاف‌هایی که از داخل آن عبور می‌کند، نیز فعل و انفعالاتی انجام می‌دهد و در نتیجه، ترکیب ماگما و این سنگ‌ها نیز عوض می‌شود. به هر حال، بخشی از ماگما تا لحظه رسیدن به سطح زمین، سیالیت (روانی) خود را حفظ می‌کند و به صورت آتشفشان در سطح زمین ظاهر می‌شود و سنگ‌های آتشفشانی را به وجود می‌آورد. بسته به اینکه کانسارها در چه مرحله‌ای از ماگما تشکیل شوند، انواع مختلفی از کانسارها را می‌توان تشخیص داد که در ادامه به شرح آنها می‌پردازیم:

۲-۲- کانسارهای ماگمایی اولیه

ماگما پس از تشکیل، به تدریج سرد می‌شود و کانی‌هایی که نقطه ذوبشان بالاست، در اولین مراحل سرد شدن، از آن جدا می‌شوند و از تجمع آنها کانسارهای مهمی به وجود می‌آید. بسیاری از کانسارها به این نحو تشکیل می‌شوند. البته چگونگی تجمع کانی‌ها در این مرحله خود موضوع پیچیده‌ای است، ولی به طور خیلی خلاصه می‌توان گفت که پس از انجماد کانی‌های مختلف، آنهایی که وزن مخصوصشان بالاست، در اثر سنگینی، به قسمت‌های پائین می‌روند و در آنجا جمع می‌شوند. کانسارهای کرومیت ایران که عمده آنها در مناطق فاریاب و اسفندقه قرار دارند، بدین نحو تشکیل شده‌اند. در این کانسارها، کرومیت به شکل عدسی‌های نسبتاً بزرگی در داخل سنگ‌ها تمرکز یافته است.

کانسارهای ماگمایی همیشه به حالت توده‌ای نیستند و در بعضی موارد ماده معدنی، همزمان با سنگ‌های اطراف خود تشکیل می‌شود که در این حالت به شکل پراکنده در داخل این سنگ‌ها دیده می‌شود. به عنوان مثال می‌توان کانسار طلای ناحیه آستانه در حوالی شاه‌زند اراک را نام برد که در آنجا طلا به صورت دانه‌های پراکنده‌ای در داخل سنگ‌های گرانیت دیده می‌شود [۳].

۲-۳- کانسارهای پگماتیتی^۱

پگماتیت اصولاً یک نوع سنگ آذرین اسیدی است که دانه‌های بسیار درشت دارد و همین امر از ویژگی‌های مهم این دسته از کانسارها به شمار می‌آید.

هنگامی که مرحله ماگمایی اولیه پایان یافت و کانی‌ها با دمای ذوب بالا از ماگما جدا شدند، محصول باقی مانده جسم سیال و مذابی است که اگرچه بعضی از کانی‌های خود را از دست داده است ولی هنوز عناصر زیادی را دربردارد و به‌ویژه از نظر عناصری مانند فلوئور، کلر و بُر غنی است. این محلول ضمن این که به سوی بالا رانده می‌شود، شکستگی‌ها و فضا‌های خالی سنگ‌ها را پر می‌کند و کانسارهای پگماتیتی را به‌وجود می‌آورد.

باید توجه داشت که در مرحله پگماتیتی نیز محلول باقی مانده از ماگما، فعل و انفعالاتی با سنگ‌های اطراف خود انجام و بدین ترتیب، ترکیب خود و سنگ‌ها را تغییر می‌دهد. بسیاری از کانی‌هایی که قطعات درشت آنها در صنایع مختلف مصرف دارد، بدین نحو تشکیل می‌شوند که از آن جمله می‌توان کوارتز، فلدسپات و میکاها را نام برد. از سوی دیگر، تنها منابع مهم میکاهای صنعتی و بسیاری کانی‌های دیگر را باید در این کانسارها جستجو کرد.

۲-۴- کانسارهای گازی یا پنوماتولیتیکی^۲

پس از جدا شدن کانی‌های مربوط به مرحله‌های ماگمایی اولیه و پگماتیتی، آنچه که از ماگما باقی مانده، مخلوط مذاب و درهمی از مواد مختلف است که بخش عمده‌ای از آن را گازها و بخارات تشکیل می‌دهند. بدین ترتیب، ابتدا بخش گازی این مخلوط جدا می‌شود و کانسارهای گازی یا پنوماتولیتیکی را تشکیل می‌دهد و محلول باقی مانده، که مایع نسبتاً داغی است، در مراحل آخر، کانسارهای گرمابی را به‌وجود می‌آورد.

ممکن است بخش گازی ماگما در اعماق زمین و یا در سطح آن از ماگما جدا شود و کانسارهایی تشکیل دهد که به ترتیب به آنها کانسارهای پنوماتولیتیکی نفوذی و خروجی می‌گویند. این کانسارها نیز از نظر اقتصادی اهمیت زیادی دارند و کانسارهای بسیاری از فلزات نظیر طلا، نقره، مس، جیوه، آنتیمون، روی، سرب، آرسنیک و مولیبدن عمدتاً به این طریق تشکیل می‌شود [۳].

علاوه بر کانسارهای فلزات، بعضی مواد غیرفلزی مهم نظیر فلورین، باریت، آزبست نیز به همین نحو به‌وجود می‌آیند [۲].

۱- pegmatite

۲- pneumatolytic

از فرآیندهای مهمی که در این مرحله اتفاق می‌افتد، پدیده جایگزینی^۱ را می‌توان نام برد. طبق تعریف، جایگزینی یا به عبارتی، دگرسانی جایگزینی، عبارت از جانشین شدن یک ماده معدنی یا کانی، به وسیله ماده معدنی یا کانی دیگری است که از نظر ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی با آن متفاوت است [۳]. در این پدیده، کانی‌های موجود در سنگ، حل می‌شود و به جای آنها کانی‌های جدیدی به وجود می‌آیند. نکته جالب آن است که این دو عمل به‌طور همزمان صورت می‌گیرد و بنابراین، سنگ حالت جامد خود را در تمام طول این دگرسانی حفظ می‌کند [۳]. کانسارهایی را که بدین ترتیب از تأثیر گازها و مواد فرار ماگما بر سنگ‌های کربناته به‌وجود می‌آید، اسکارن^۲ می‌گویند.

۲-۵- کانسارهای گرمایی

در آخرین مراحل انجماد ماگما، آنچه که باقی مانده محلول کمابیش داغی است که تعداد زیادی کانی دارد و به آن محلول گرمایی^۳ می‌گویند. این محلول، ضمن عبور از فضای خالی و شکاف‌سنگ‌ها، کانی‌های خود را بر جای می‌گذارد و بدین ترتیب، رگه‌های معدنی را به‌وجود می‌آورد. از جمله خصوصیات مهم کانسارهای گرمایی، شکل رگه‌ای آنهاست که این امر از نظر اکتشاف و ارزیابی آنها بسیار مهم است.

بسته به دمای محلول‌های گرمایی، آنها را به محلول‌های داغ (۳۰۰ تا ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد)، متوسط (۲۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد) و سرد (کمتر از ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد) تقسیم می‌کنند. بعضی از مواد معدنی فقط در دماهای معینی تشکیل می‌شوند، ولی عده‌ای از آنها، ممکن است در طیف وسیعی از دماهای بالا تا پایین، تشکیل شوند.

بسیاری از کانسارهای فلزی بدین نحو تشکیل می‌شوند که از جمله آنها می‌توان کانسارهای سرب، روی قلع، آنتیمون، جیوه، آرسنیک، طلا، نقره و مس را نام برد. بخش عمده‌ای از کانسارهای سرب و روی ایران بدین نحو تشکیل شده‌اند. محلول گرمایی نیز ممکن است ضمن تماس با سنگها، تغییراتی در آنها به‌وجود آورد و انواع کانسارهای جانشینی را تشکیل دهد.

۱_ metasomatism

۲_ skarn

۳_ Hydrothermal

خودآزمایی

- ۱- کانسار را تعریف کنید.
- ۲- ماگما چیست؟
- ۳- مراحل مختلف تشکیل کانسار از ماگما را شرح دهید.
- ۴- کانسارهای پگماتیتی چگونه تشکیل می‌شوند؟
- ۵- شکل کانسارهای گرمابی چگونه است؟
- ۶- کانسارهای اسکارن چگونه تشکیل می‌شوند؟

کانسارهای پرون زاد^۱ یا ثانوی

هدفهای رفتاری: در پایان این فصل از هنرجو انتظار می رود که:

- ۱- کانسارهای ناشی از هوازدگی را تشریح کند.
- ۲- کانسارهای رسوبی را شرح بدهد.
- ۳- کانسارهای آواری، رسوبی تبخیری و کانسارهای ناشی از فعالیت‌های زیستی را توضیح بدهد.
- ۴- زغال سنگ را تعریف کند.
- ۵- مراحل مختلف تشکیل نفت را شرح بدهد.

۳-۱- آشنایی

همان طوری که دیدیم، کانسارهای درون زاد یا اولیه، عمدتاً در اعماق زمین یعنی جایی که فشار و دما بالاست، تشکیل می‌شوند، اما عوامل مختلفی از قبیل حرکات پوسته زمین و فرسایش، سبب می‌شوند که در حوالی سطح زمین ظاهر شوند. بدین ترتیب، شرایط امروزی آنها، با شرایط اولیه تشکیل شان متفاوت است و به بیان دیگر، این کانسارها در شرایط ناپایدار به سر می‌برند و عوامل مختلف سبب می‌شود که کانی‌های موجود در آنها به انواع کانی‌های دیگری که در شرایط جدید پایدارترند، تبدیل شوند. نتیجه این فرآیند، تشکیل گروه جدیدی از کانسارها است که به آنها کانسارهای پرون زاد

^۱ - exogenous

یا ثانوی می‌گوییم. علت این نام‌گذاری آن است که از سویی، این کانسارها معمولاً محصول تغییرات دسته اول اند (درون‌زاد) و بنابراین به آنها ثانوی می‌گوییم و از سوی دیگر، محل تشکیل آنها در سطح زمین است و به همین خاطر آنها را به نام کانسارهای برون‌زاد می‌نامیم.

بسته به اینکه کانسارهای ثانوی به چه نحوی تشکیل شوند، آنها را به انواع مختلف تقسیم می‌کنند که در این فصل به شرح آنها می‌پردازیم:

۳-۲- کانسارهای ناشی از هوازدگی^۱

به مجموعه فعل و انفعالاتی که سبب تخریب و تجزیه سنگ‌ها می‌شوند، هوازدگی می‌گویند. در پای کوه‌ها حتی سخت‌ترین و مرتفع‌ترین آنها، توده‌ای از واریزه وجود دارد که محصول تخریب سنگ‌ها است.

هوازدگی انواع مختلف دارد و عوامل گوناگونی در این فرآیند مؤثرند. به عنوان مثال می‌توان عمل یخ‌بندان را نام برد. در مواقع بارانی، شکاف سنگ‌ها از آب پر می‌شود و هنگامی که دما به حد کافی کاهش یابد، این آب یخ می‌زند و حجم آن اضافه می‌شود و در نتیجه فشارهایی به دیواره شکاف وارد می‌کند که سبب بزرگ‌تر و عمیق‌تر شدن شکاف و در نهایت، جدا شدن قطعه‌ای از کوه می‌شود. قطعات جدا شده از کوه، در اثر وزن خود و یا در نتیجه باد و باران، به قسمت‌های پایین دست می‌غلطند و در ضمن این فرو افتادن نیز با یکدیگر برخورد می‌کنند و ریزتر می‌شوند. البته عوامل دیگری هم در هوازدگی و تخریب سنگ‌ها مؤثرند که از جمله مهم‌ترین آنها می‌توان عوامل شیمیایی و حیاتی را نام برد. به هر حال، مجموعه این عوامل سبب می‌شوند که سنگ‌ها به قطعات کوچکی خرد شوند.

خرد شدن سنگ‌ها به تنهایی نمی‌تواند کانسار تشکیل دهد. ولی این امر سبب می‌شود که در مراحل بعد، ماده معدنی در یک جا متمرکز شود و کانسار به وجود آید. بسته به اینکه تجمع مواد معدنی چگونه انجام گیرد، کانسارهای ناشی از این فرآیند را به دو گروه زیر تقسیم می‌کنند:

۳-۲-۱- تمرکز برجا^۲: به طوری که می‌دانیم، در حالت کلی سنگ‌ها، حاوی کانی‌های مختلفی هستند که خود عناصر گوناگونی دارند. در بسیاری موارد، غلظت این عناصر آقدها زیاد نیست که بتوان به آن کانسار گفت اما به مرور، ممکن است مواد محلول در سنگ حل شده و از آن خارج شوند و بدین ترتیب، درصد مواد نامحلول بالا می‌رود و این امر ممکن است به تشکیل یک کانسار منجر شود.

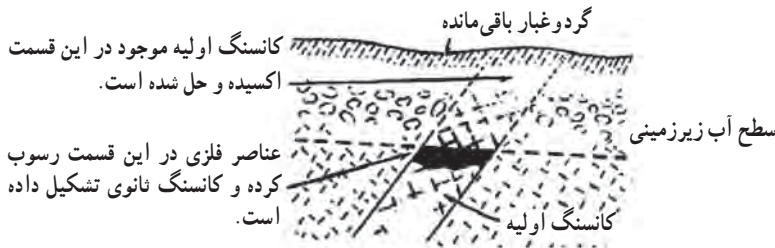
۱- weathering

۲- residual concentration

بهترین مثال در این مورد بوکسیت^۱ (مخلوطی از هیدروکسیدهای آلومینیوم) است. اگر سنگی که دارای سیلیکات‌های مختلف از جمله سیلیکات‌های آلومینیوم است خرد شود، تحت تأثیر بارندگی شدید و مداوم، نمک‌های محلول آن از قبیل نمک‌های سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم به مرور حل شده و از محل دور می‌شوند، در صورتی که مواد نامحلول یا کم محلول، مثل سیلیس و اکسید آلومینیوم بر جای باقی می‌مانند و غلظت آنها به تدریج اضافه می‌شود. نتیجه این امر، تشکیل بوکسیت است که یکی از مواد اولیه اصلی تهیه فلز آلومینیوم به‌شمار می‌آید.

۲-۲-۳- تمرکز ثانوی^۲: در این شیوه تمرکز، عناصری که در حالت عادی در سنگ‌ها پراکنده‌اند و عیار آنها آنقدر نیست که کانسار تشکیل دهند، تحت تأثیر آب، به مرور حل شده و در مرحله بعد، در جای دیگری متمرکز می‌شوند و این تمرکز ممکن است به تشکیل یک کانسار منجر شود.

مثال جالب در این مورد کانی پیریت (S_2Fe) است. این کانی به‌طور پراکنده در بسیاری از سنگ‌ها دیده می‌شود. پیریت تحت تأثیر آب‌های زیرزمینی به H_2SO_4 تبدیل می‌شود و بقایای آن به‌صورت اکسید آهن بر جای می‌ماند. اسید سولفوریک حاصله، بر کانی‌های پراکنده‌ای که در ناحیه وجود دارند اثر می‌کند و با آنها سولفات مس تشکیل می‌دهد که این سولفات به پایین می‌رود و هنگامی که به سطح آب زیرزمینی ناحیه رسید، اکسیژن خود را از دست می‌دهد و نتیجه آن، تشکیل و رسوب سولفید مس است. بدین ترتیب، طی زمان طولانی، ممکن است مقدار سولفید مس آنقدر زیاد شود که از نظر اقتصادی قابل توجه باشد (شکل ۱-۳).



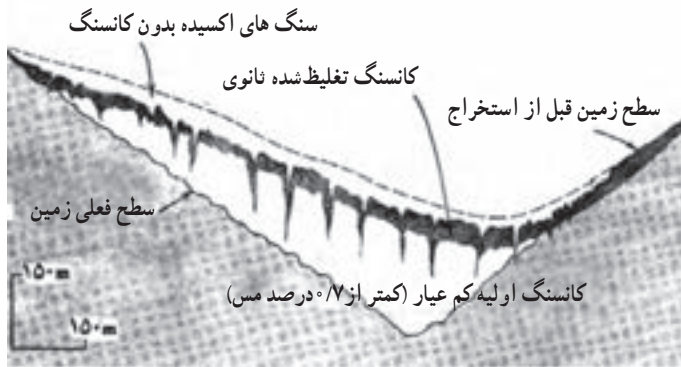
شکل ۱-۳- تمرکز کانسنگ در اثر انحلال و رسوب مجدد [۱].

یکی از بزرگ‌ترین معادن مس دنیا به نام معدن مس بوت^۳ واقع در ایالات متحده آمریکا طی همین فرآیند تشکیل شده است (شکل ۲-۳).

۱- bauxite

۲- secondary enrichment

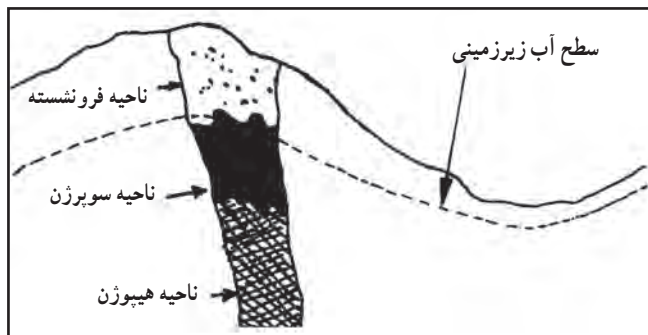
۳- Utah



شکل ۳-۲- تمرکز کانسنگ در اثر انحلال و رسوب مجدد در معدن یوتا [۱].

فرآیند تمرکز نانوی را تقریباً در تمام کانسارها می‌توان مشاهده کرد. هرگاه مطابق شکل ۳-۳ یک رگه سولفید را در نظر گیریم، از آنجا که معمولاً سولفیدهای آهن نیز با سایر کانی‌های سولفیدی همراه‌اند، لذا این سولفیدها به اکسید آهن تبدیل می‌شوند و در قسمت‌های سطحی کانسار، پوششی از اکسید آهن به وجود می‌آورند که به نام کلاهِک آهنی خوانده می‌شود و از آنجا که این کلاهِک آهنی با رنگ قهوه‌ای متمایل به قرمز خود مشخص است، لذا نشانه خوبی برای اکتشاف کانسارهای سولفیدی به شمار می‌آید.

قسمت‌های بالایی هر کانسار، که در آنجا بعضی کانی‌ها شسته شده و به سمت پایین رفته‌اند به نام زون فروشسته^۱ خوانده می‌شود و این ناحیه از سطح زمین تا سطح آب زیرزمینی محل ادامه دارد.



شکل ۳-۳- تأثیر هوازدگی در تشکیل کانی‌های جدید [۴].

^۱ - leached zone

در زیر سطح آب زیرزمینی، ناحیه‌ای وجود دارد که کانی‌هایی که از قسمت‌های بالا حل شده و به این قسمت حمل شده‌اند، رسوب می‌کنند و به کانی‌هایی که از قبل وجود داشته است، افزوده می‌شوند. این ناحیه را ناحیه سوپرژن^۱ می‌خوانند. در زیر این قسمت، سنگ‌های اولیه و بکر قرار دارند که به آن ناحیه هیپوژن^۲ گفته می‌شود.

۳-۳- کانسارهای رسوبی

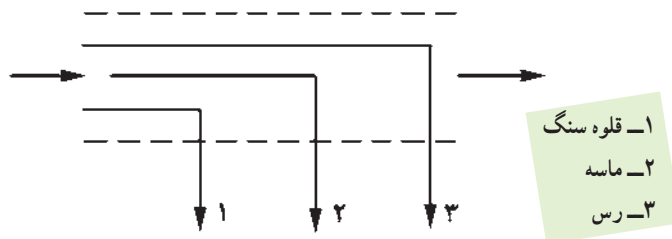
همان‌گونه که دیدیم، سنگ‌ها در اثر عوامل هوازدگی تخریب می‌شوند و محصولات تخریب شده در اثر عوامل حمل و نقل از قبیل رودخانه‌ها و باد، به قسمت‌های پایین دست حمل می‌شوند. عمل حمل و نقل به‌طور دائم انجام نمی‌گیرد و این مواد به هر حال، در قسمتی از مسیر خود رسوب می‌کنند و در پاره‌ای موارد ممکن است کانسارهای با ارزشی تشکیل دهند.

رسوب مواد ممکن است در نتیجه عمل مکانیکی، شیمیایی و یا زیستی انجام شود و کانسارهایی که در اثر این فرآیندها به وجود می‌آیند به همین نام خوانده می‌شوند.

۳-۳-۱- کانسارهای آواری یا مکانیکی^۳: موادی که به‌وسیله رودخانه‌ها حمل می‌شوند،

از نظر اندازه، وزن مخصوص و شکل با هم تفاوت دارند و همین تفاوت سبب می‌شود که ذرات مختلف، در قسمت‌های مختلفی از مسیر رودخانه رسوب کنند. مثلاً اگر مخلوطی از قلوه‌سنگ، ماسه و رس با هم حمل شوند، پس از مدتی، ابتدا قلوه‌سنگ و در مراحل بعدی به ترتیب ماسه و رس رسوب خواهند کرد (شکل ۳-۴).

همچنین اگر در ابتدای رودخانه مخلوطی از کانی‌های با وزن مخصوص متفاوت موجود باشد، پس از مدتی این مواد به ترتیب وزن مخصوص خود رسوب خواهند کرد.



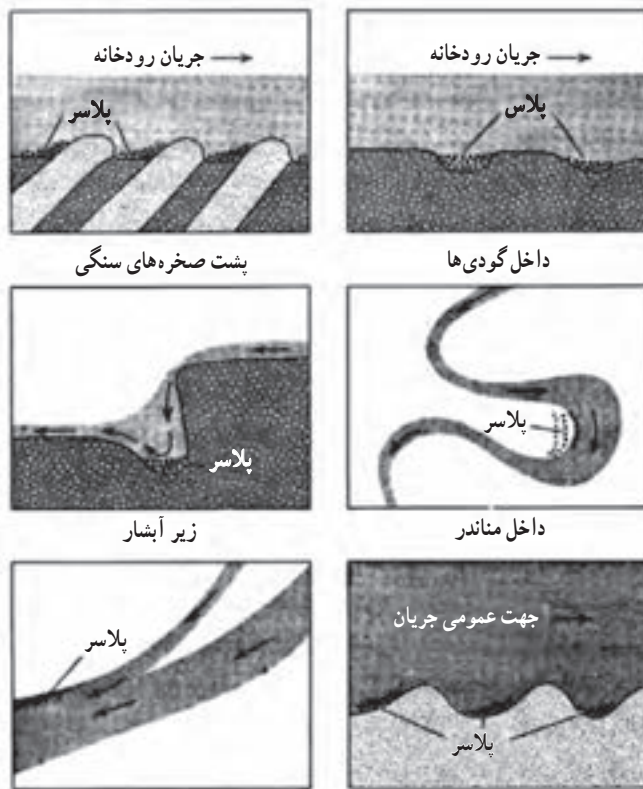
شکل ۳-۴- رسوب مواد براساس اندازه ذرات [۲].

۱- supergene zone

۲- hypogene zone

۳- mechanical (detrital)

از جمله مهم‌ترین کانسارهای مکانیکی می‌توان کانسارهای جامانده^۱ (پلاسر) را نام برد. مواد مختلفی که به وسیله رودخانه حمل می‌شوند، در اثر کاهش سرعت رودخانه، با توجه به اندازه و وزن مخصوص خود، در قسمت‌های خاصی از مسیر رودخانه رسوب می‌کنند که از تجمع آنها یک کانسار جامانده به وجود می‌آید. کانسارهای فلزات سنگین مثلاً طلا و پلاتین و نیز بعضی از کانسارهای الماس، بدین نحو تشکیل می‌شوند (شکل ۳-۵).



پشت برجستگی‌های موجود در اقیانوس‌ها

شکل ۳-۵- چگونگی تشکیل کانسارهای پلاسر [۴]

۳-۲- کانسارهای رسوبی تبخیری و شیمیایی: محصولات خرد شدن سنگ‌ها، تنها به صورت ذرات آواری به وسیله عوامل حمل و نقل حمل نمی‌شوند بلکه مقداری از آنها به صورت محلول یا به حالت کلوئیدی انتقال می‌یابند. از آنجا که قابلیت انحلال مواد مختلف در آب متفاوت است و از سویی

شرایط محیط آب نیز از نقطه‌ای به نقطه‌ای دیگر تغییر می‌کند، لذا موادی که بدین نحو حمل می‌شوند، در قسمت‌های مختلف مسیر ممکن است رسوب کنند و کانسار به وجود آورند.

رسوب مواد فقط در طول مسیر رودخانه انجام نمی‌گیرد بلکه بخش عمده این رسوبات در دریاها و دریاچه‌ها تشکیل می‌شوند. املاح مختلف به‌طور مداوم به دریاچه‌ها و دریاها وارد می‌شود و غلظت این املاح در این آب‌ها به تدریج افزایش می‌یابد. در بعضی موارد مقدار این املاح به حدی است که آب دریا از آنها اشباع می‌شود و در این حالت، بخشی از املاح در کف دریا رسوب می‌کنند و کانسار رسوبی را به وجود می‌آورند. در بسیاری موارد، رسوب شیمیایی مواد بدین ترتیب است که قسمتی از دریا یا دریاچه، از دریا یا دریاچه اصلی جدا می‌شود و در این حالت، مقدار تبخیر بیش از میزان آب ورودی به این قسمت است و در نتیجه به مرور، غلظت املاح آنقدر زیاد خواهد شد که آب از آنها اشباع می‌شود و این مواد در کف دریا یا دریاچه رسوب می‌کنند. کانسارهای نمک و گچ بدین نحو به وجود می‌آیند.

رسوب مواد ممکن است به علت شیمیایی انجام گیرد. بدین معنی که با تغییر مشخصات آب دریا یا دریاچه (مثلاً تغییر PH) ممکن است موادی که تا به حال محلول بودند، در شرایط جدید محلول نباشند و به تدریج رسوب کنند و بدین ترتیب، کانساری را به وجود آورند. بعضی از کانسارهای آهن و منگنز به این نحو تشکیل می‌شوند.

۳-۳-۳- کانسارهای ناشی از فعالیت‌های حیاتی: بعضی از کانسارها در نتیجه فعالیت‌های گیاهان یا موجودات به وجود می‌آیند که از آن جمله می‌توان کانسارهای آهک، سیلیس، فسفات، گوگرد و سوخت‌های فسیل (زغال سنگ و نفت) را نام برد. به عنوان مثال در این مورد می‌توان رسوب طبقات ضخیم آهک را ذکر کرد. معمولاً در آب دریا همیشه مقداری کربنات کلسیم وجود دارد، اما میزان آن به حدی نیست که به حالت طبیعی رسوب کند و طبقات آهک را به وجود آورد. طرز تشکیل این لایه‌های آهکی معمولاً بدین ترتیب است که بعضی از موجودات دریایی، که پوسته آهکی دارند، برای ساختن پوسته خود، از کربنات کلسیم موجود در آب دریا استفاده می‌کنند. پس از مرگ، پوسته این حیوانات روی هم انباشته می‌شود و لایه‌های آهک را به وجود می‌آورد.

لایه‌های فسفات دریایی نیز همین منشأ را دارند یعنی منبع اصلی آنها را بقایای بدن حیوانات قدیمی تشکیل می‌دهد.

نفت و زغال سنگ نیز مواد معدنی دیگری هستند که به کمک فعالیت‌های موجودات زنده تشکیل می‌شوند. نظر به اهمیتی که زغال سنگ و نفت در بین سایر مواد معدنی دارد، آنها را به‌طور جداگانه بررسی می‌کنیم.

۳-۴- زغال سنگ

زغال سنگ در بین مواد معدنی اهمیت ویژه‌ای دارد و می‌توان آن را به عنوان یک سنگ رسوبی تعریف کرد.

در بسیاری موارد می‌توان آثار برگ، ساقه و ریشه گیاهان را در داخل لایه‌های زغال و سنگ‌های اطراف آن مشاهده کرد و این مطلب نشان‌دهنده منشأ گیاهی این جسم است. گیاهان قدیمی‌ای که زغال از آنها درست شده است، تا حد زیادی شبیه گیاهان امروزی و فوق‌العاده متنوع بوده‌اند.

۳-۴-۱- چگونگی تجمع مواد گیاهی: اگرچه منشأ گیاهی زغال سنگ مورد قبول تمام متخصصین زغال است، اما در مورد چگونگی تجمع مواد گیاهی دو نظریه مهم وجود دارد که به نام نظریه‌های درجازا و دگرجازا معروف است.

الف) نظریه درجازا^۱: مطابق این نظریه، زغال در همان محل رویش گیاهان تشکیل شده است. براساس این نظریه، پس از اینکه شرایط آب و هوای مناسب سبب شد که جنگل‌های انبوهی به وجود آید، درختان کهنسال در این جنگل‌ها در محل خود شروع به فاسد شدن کردند. البته اگر مواد گیاهی در معرض هوا قرار گیرند می‌پوسند و به زغال تبدیل نمی‌شوند و برای تشکیل زغال، این مواد باید در زیر رسوبات گل و لای مدفون و حفظ شوند. توجه این مطلب بدین ترتیب است، که ابتدا گیاهان و درختان در گودی‌ها رشد کرده و در مرحله بعد، سیلاب‌هایی که به درون این گودال‌ها راه یافته، مقداری گل و لای با خود حمل کرده و روی آنها را پوشانیده و به تریبی که بعداً خواهیم دید، این مواد به زغال تبدیل شده‌اند.

وجود لایه‌های متعدد زغال را که به فاصله کم از هم قرار دارند، بدین ترتیب می‌توان توجیه کرد که هر بار پس از تشکیل اولین لایه زغال، دریا در این محل پیشروی کرده و رسوبات معمولی را برجای نهاده و پس از عقب‌نشینی، مجدداً جنگل جدیدی تشکیل و شرایط برای تشکیل لایه‌های جدید زغال فراهم شده است.

طرز قرار گرفتن مواد گیاهی اولیه، دلیل بارزی در تأیید این نظریه است. بدین ترتیب که در بسیاری موارد، درختان به همان حالت قائم به زغال تبدیل شده‌اند و در سنگ‌های زیرین لایه، آثار ریشه و در سنگ‌های بالای آن، آثار برگ و ساقه دیده می‌شود.

ب) نظریه دگرجازا^۲: براساس این نظریه، سیلاب‌های موسمی و طغیان رودخانه‌هایی که از نزدیکی جنگل‌ها می‌گذشته‌اند، سبب شده است که درختان زیادی کنده شده و به وسیله رودخانه به دریا

۱- autochthonous

۲- Allochthonous

یا بانلاق‌ها حمل شود و در آنجا رسوب کند.

مبنای این نظریه این است که زغال در واقع خود یک نوع سنگ رسوبی است و همان‌گونه که اجزای سنگ‌های رسوبی عموماً از محل دیگری به حوضه رسوبی حمل و پس از تحمل تغییراتی به سنگ رسوبی تبدیل شده‌اند، مواد اولیه زغال نیز باید به همین ترتیب از جای دیگر حمل شده باشند. در تأیید این نظریه می‌توان وجود قطعات گیاهی از قبیل برگ و ساقه را به موازات لایه‌بندی سنگ‌های اطراف زغال شاهد آورد که این مطلب نشانه حمل و نقل از محلی دیگر و رسوب‌شان در محل فعلی است. از سوی دیگر، ترتیب قرار گرفتن اجزای گیاهی برحسب وزن مخصوص آنها است. یعنی مواد سنگین‌تر در ابتدا و مواد سبک‌تر در مرحله بعدی رسوب کرده‌اند. علاوه بر این، در بعضی از لایه‌ها فقط آثار ساقه و در تعدادی دیگر، تنها آثار برگ و یا پوست درخت مشاهده می‌شود. حتی در بعضی موارد درخت‌های اولیه به حالت واژگون در داخل لایه زغال دیده می‌شود.

در حوضه‌های زغالی مختلف دلایلی در تأیید هریک از دو نظریه می‌توان مشاهده کرد و نیز در بعضی از حوضه‌های زغالی، به نظر می‌رسد هر دو نظریه صادق باشند. یعنی در عین اینکه پیشروی دریا در جنگل سبب تشکیل بعضی از لایه‌ها شده است، رودخانه‌ها نیز مقدار زیادی مواد گیاهی حمل کرده و مواد اولیه سایر لایه‌ها را فراهم ساخته‌اند [۵].

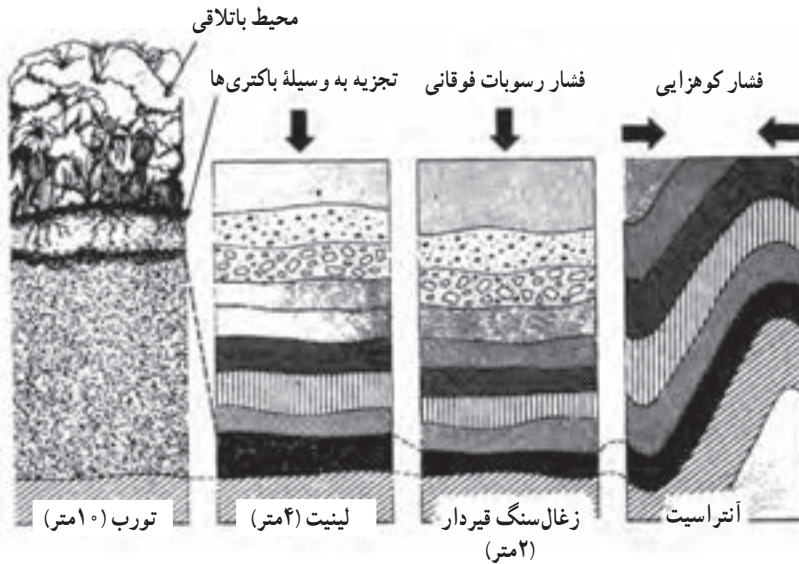
۳-۴-۲- چگونگی تبدیل مواد گیاهی به زغال: مواد گیاهی به هر روشی که جمع شده باشند، طی تغییراتی به زغال تبدیل می‌شوند.

در اولین مرحله، تجزیه مواد گیاهی، به‌ویژه در اثر فعالیت باکتری‌های مختلف، شروع می‌شود. از آنجا که بعضی از عناصر تشکیل‌دهنده گیاه، نظیر اکسیژن و هیدروژن، از آن خارج می‌شوند، لذا به تدریج درصد کربن آن افزایش می‌یابد و پس از مدتی، بقایای گیاهان به ماده‌ای به نام پیت^۱ یا تورب تبدیل می‌شود. این مرحله که مرحله پیت شدن نام دارد، به علت دخالت باکتری‌ها به نام مرحله زیست-شیمیایی^۲ نیز نامیده می‌شود. در این مرحله، به تدریج مواد گیاهی تجزیه شده، با قشری از رسوبات گل و لای پوشیده شده و بدین ترتیب فشرده‌تر می‌شوند. مدتی که از رسوب گل و لای گذشت، محصولات ناشی از تجزیه مواد، که برای باکتری‌ها سمی است، دیگر نمی‌تواند از محیط خارج شود و بنابراین، فعالیت آنها متوقف می‌شود. از سوی دیگر، در اثر فشار ناشی از وزن گل و لای رویی، آب موجود در مواد گیاهی از محیط خارج می‌شود و این مواد باز هم متراکم‌تر می‌شود.

۱- peat

۲- biochemical

با پایان گرفتن مرحله زیست شیمیایی و فعالیت باکتری‌ها، مرحله کند فیزیکی - شیمیایی، یا دینامیکی - شیمیایی، شروع می‌شود که طی آن، زغال خام حاصله به اعماق فرو می‌رود و به مرور، هم فشار و هم دمای محیط افزایش می‌یابد. نتیجه این امر، افزایش باز هم بیشتر درصد کربن، کم شدن اکسیژن و آب و در نتیجه تبدیل زغال نارس به زغال قهوه‌ای است. به تدریج که عمل دگرگونی ادامه می‌یابد، زغال قهوه‌ای نیز به انواع دیگر زغال از قبیل زغال قیردار و بالاخره آنتراسیت تبدیل می‌شود (شکل ۳-۶).



شکل ۳-۶- مراحل مختلف تبدیل مواد گیاهی به انواع مختلف زغال [۶]

۳-۴-۳- مشخصات زغال: اگرچه شرح مشخصات زغال سنگ از حوصله این کتاب به دور است اما برای شرح انواع زغال ناچاریم که خواص عمومی آنها را بشناسیم. بنابراین در ادامه به اختصار خواص مهم زغال را بررسی می‌کنیم:

الف) خاکستر: خاکستر یکی از مهم‌ترین مشخصات زغال است و می‌توان آن را به عنوان ماده‌ای که پس از سوختن زغال برجای می‌ماند، تعریف کرد. خاکستر از جمله مواد مضر زغال است و به‌ویژه برای مصرف در صنعت کک‌سازی باید میزان آن از حد معینی تجاوز نکند.

ب) مواد فرار: اگر مقداری زغال را بدون مجاورت هوا حرارت دهیم، قسمتی از آن که به صورت گاز متصاعد می‌شود به نام مواد فرار خوانده می‌شود. درصد مواد فرار از جمله مشخصاتی است که در تقسیم‌بندی زغال‌ها نقش مهمی دارد.

ج) **ارزش حرارتی:** مقدار حرارتی که در اثر سوختن واحد وزن زغال حاصل می‌شود. ارزش حرارتی آن نام دارد. ارزش حرارتی معمولاً برحسب کیلوکالری بر کیلوگرم بیان می‌شود.

د) **خواص کک‌دهی:** از حرارت دادن زغال سنگ در دمای بالا و فضای بسته، جسم متخلخلی به نام کک تولید می‌شود که در کوره‌های ذوب فلزات و به‌ویژه ذوب آهن به کار می‌رود. قابلیت زغال برای تهیه کک از جمله خواص مهم آن است و تنها از زغال‌های معینی می‌توان کک تهیه کرد.

خاصیت کک‌دهی زغال به درجه زغال‌شدگی و میزان مواد فرار آن بستگی دارد. در ایران برای تعیین خواص کک‌دهی زغال، آن را در دستگاه مخصوصی به نام پلاستومتر، آزمایش می‌کنند. ضخامت قشر پلاستیک حاصله که به حرف Y و به واحد میلی‌متر نموده می‌شود، مشخص کننده خواص کک‌دهی زغال است و هرچه قدر این ضریب زیادتر باشد، قابلیت کک‌شدن زغال بهتر است.

۳-۴-۴- **انواع زغال سنگ:** زغال سنگ‌ها را براساس مشخصات مختلف از قبیل مواد فرار، خاصیت کک‌دهی، ارزش حرارتی و درجه زغال‌شدگی به انواع مختلف تقسیم می‌کنند. تقسیم‌بندی زغال در کشورهای مختلف متفاوت است و تقسیم‌بندی متداول در ایران، در جدول ۳-۱ نشان داده شده است.

جدول ۳-۱- تقسیم‌بندی زغال سنگ در ایران [۵]

ردیف	نوع زغال	کربن ثابت درصد	مواد فرار درصد	ضریب پلاستومتری میلی‌متر	ارزش حرارتی کیلوکالری بر کیلوگرم	درجه دگرگونی
۱	زغال قهوه‌ای (لینیت)	کمتر از ۷۶	بیشتر از ۴۱	—	۶۹۰۰ تا ۷۵۰۰	۰
۲	زغال شعله دراز	کمتر از ۷۷	بیشتر از ۳۷	—	۷۹۰۰ تا ۸۰۰۰	۱
۳	زغال گازدار	کمتر از ۸۲	۳۵ تا ۴۴	۶ تا ۲۵	۷۹۰۰ تا ۸۶۰۰	۲
۴	زغال چرب	کمتر از ۸۵	۲۶ تا ۳۵	بیشتر از ۲۶	۸۵۰۰ تا ۸۷۰۰	۳
۵	زغال کک‌شو	کمتر از ۸۹	۱۸ تا ۲۶	۶ تا ۲۵	۸۴۰۰ تا ۸۸۰۰	۴
۶	زغال لاغر دلمه شو	۹۰	۱۲ تا ۱۸	۶ تا ۹	۸۴۰۰ تا ۸۸۰۰	۵
۷	زغال لاغر	۹۱	کمتر از ۱۲	—	۷۳۰۰ تا ۸۷۵۰	۶
۸	نیمه آتراسیت			—	بیشتر از ۸۲۰۰	۷
۹	آتراسیت	بیشتر از ۹۳	۷	—	بیشتر از ۸۲۰۰	۷

۱- این جدول برای اطلاعات عمومی هنرجویان است و جزو برنامه درسی نیست.

۳-۵- نفت

اگرچه در اصطلاح رایج فارسی، نفت را برای مایع سفیدرنگی به کار می‌برند که از آن در چراغ‌ها و بخاری‌های نفت‌سوز استفاده می‌شود، اما در واقع، نفت مورد نظر که نام علمی آن نفت سفید است، تنها یکی از فرآورده‌های متعدد نفت است که از زمین استخراج می‌شود. بنابراین نفت را باید به‌عنوان ماده سوختنی طبیعی تعریف کرد که از طریق چاه‌های نفت به سطح زمین راه می‌یابد و در اثر تصفیه، به فرآورده‌های مختلفی مثل بنزین، گازوئیل، نفت سفید و صدها محصول دیگر تبدیل می‌شود.

۳-۵-۱- مواد اولیه نفت: مواد اولیه نفت، موجودات دریایی به نام پلانکتون^۱ هستند که نمونه‌های آنها امروزه نیز در شکل‌های مختلف و به مقدار زیاد در دریاها زندگی می‌کنند. این جانوران که معمولاً در داخل پوسته آهکی یا سیلیسی قرار گرفته‌اند، حاوی اسیدهای آلی هستند که به نظر می‌رسد ماده اصلی تشکیل نفت باشد [۷]. از جمله گروه‌های عمده این موجودات نفت‌ساز، جلبک‌های دریایی هستند که معروف‌ترین آنها انواع سبز و آبی و نیز نوعی جلبک به نام دیاتومه^۲ است.

موجودات نفت‌ساز در آب‌های سطحی دریاها یعنی تا اعماقی که نور خورشید نفوذ می‌کند، شناورند و پس از مرگ، لاشه آنها به کف دریا سقوط می‌کند. تعداد این لاشه‌ها به حدی است که آن‌را به باران تشبیه کرده‌اند. البته تمامی این لاشه‌ها به نفت تبدیل می‌شوند زیرا برای تشکیل نفت، باید این لاشه‌ها با رسوبات ریزدانه پوشیده شود تا از اکسیده شدن آنها جلوگیری به‌عمل آید. خوشبختانه مواد ریزدانه‌ای که به‌وسیله رودخانه‌ها به دریا حمل می‌شوند نیز زیاد است و در بسیاری موارد، به سرعت به‌صورت قشری این اجساد را می‌پوشاند و مانع از اکسایش آنها می‌شود.

۳-۵-۲- نحوه تبدیل مواد آلی به نفت: عامل اصلی تغییردهنده پیکر موجودات ریز نفت‌ساز که لابه‌لای رسوبات ریزدانه مدفون شده‌اند، گروه دیگری از موجودات موسوم به باکتری‌های بی‌هوازی هستند. این باکتری‌ها نیز نظیر سایر موجودات زنده به اکسیژن نیاز دارند. ولی برخلاف موجودات هوازی، اکسیژن موردنیاز خود را از ترکیبات اکسیژن‌دار نظیر لاشه موجودات نفت‌ساز می‌گیرند. باکتری‌های بی‌هوازی، موجودات بسیار مقاومی هستند و قادرند دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد و فشار زیاد را تحمل کنند و در محیط شور دریا نیز به زندگی خود ادامه دهند. تعداد این موجودات نیز بسیار زیاد است به طوری که در هر گرم از رسوبات اعماق دریاها، هزاران باکتری از این نوع شمارش شده است [۷].

۱- plankton

۲- diatom

به هر حال، ترکیبات آلی لاشه موجودات نفت‌ساز در اثر فعالیت باکتری‌های بی‌هوازی به ماده‌ای به نام ساپروپیل^۱ تبدیل شده که در اثر تغییرات فیزیکی و شیمیایی و طی چندین هزار سال، به نفت و گاز تبدیل می‌شود.

۳-۵-۳- مهاجرت اولیه نفت: عمل رسوب‌گذاری در دریا طی میلیون‌ها سال ادامه می‌یابد و طی آن، مقادیر زیادی رسوبات که در بین آنها آب شور دریا و مقدار کمی مواد نفتی وجود دارد، بر روی هم انباشته می‌شود. در اثر وزن این رسوبات، فشار وارد بر بخش‌های زیرین رسوبات که به نام سنگ مادر^۲ خوانده می‌شود افزایش می‌یابد و در نتیجه این رسوبات، آب خود را از دست می‌دهند. این آب ضمن خروج از سنگ مادر و حرکت به سوی نقاط با فشار کمتر، نفت و گاز تشکیل شده را نیز با خود حمل می‌کند. حرکت نفت و گاز همراه با آب، که ممکن است به صدها کیلومتر برسد، به نام مهاجرت اولیه نفت^۳ خوانده می‌شود. باید توجه داشت که مخلوط آب، گاز و نفت مجرای وسیعی برای حرکت ندارند بلکه حرکت خود را از درون خلل و فرج و منافذ ریز سنگ‌ها ادامه می‌دهند و طی این مهاجرت طولانی، ممکن است بخش مهمی از مواد نفتی، به هدر رود. البته تمام نفت و گاز تشکیل شده از سنگ مادر جدا نمی‌شوند و بسته به مشخصات سنگ مادر و فشار اعمالی، بخشی از این مواد در سنگ مادر باقی می‌مانند.

۳-۵-۴- نفتگیر^۴: مهاجرت اولیه نفت آن قدر ادامه می‌یابد تا سرانجام در سنگ مناسبی به دام افتد و در آن تجمع یابد. این سنگ که به نام سنگ مخزن^۵ نامیده می‌شود، باید ساختار مناسبی داشته باشد. یکی اینکه خلل و فرج و تخلخل مناسبی داشته و دیگر آنکه در بالای آن سنگ‌های غیر قابل نفوذی وجود داشته باشند که از فرار نفت و گاز به سمت بالا جلوگیری کنند. چنین ساختاری به نام نفتگیر خوانده می‌شود.

نفتگیرها انواع مختلفی دارند که از جمله مهم‌ترین آنها انواع تاقدیس هستند. به عنوان مثال اگر یک سازند آهکی دارای تخلخل به صورت یک تاقدیس چین بخورد و در قسمت بالای آن یک سازند غیر قابل نفوذ قرار داشته باشد، نفتگیر مناسبی را تشکیل می‌دهد (شکل ۳-۷). بسیاری از نفتگیرهای ایران از این نوع هستند و سنگ مخزن آنها را نوعی سنگ آهک به نام آهک آسماری تشکیل می‌دهد.

۳-۵-۵- مهاجرت ثانویه: پس از آنکه مخلوط آب، نفت و گاز در ساختار مناسبی به دام افتاد، در اثر اختلاف وزن مخصوص این سه سیال، به تدریج و طی زمان طولانی، نفت و گاز موجود در مخلوط به سمت بالا حرکت می‌کنند به گونه‌ای پس از گذشت زمان کافی، در قسمت‌های بالایی نفتگیر

۱- sapropel

۲- source rock

۳- primary migration

۴- oil trap

۵- reservoir rock

گاز، در زیر آن نفت و در بخش پایین آن آب وجود خواهد داشت (شکل ۳-۷). تفکیک سه سیال آب، نفت و گاز در نفتگیر، به نام مهاجرت ثانویه نفت خوانده می‌شود.



شکل ۳-۷- نفتگیر تاقدیسی [۱۷]

۳-۵-۶- انواع نفت: نفت طبیعی از هیدروکربن‌های مختلف یعنی ترکیبات کربن و هیدروژن تشکیل شده است به گونه‌ای که بیش از ۹۵ درصد آنرا هیدروژن و کربن و بقیه را اکسیژن، نیتروژن و گوگرد تشکیل می‌دهند [۷]. معدودی از نفت‌های طبیعی بی‌رنگ و بی‌بو اند اما نفت طبیعی عموماً به رنگ قهوه‌ای یا سیاه و دارای بو است. هیدروکربن‌های سازنده نفت خام را به چند گروه عمده تحت عنوان هیدروکربن‌های پارافینی، حلقوی و معطر تقسیم می‌کنند که انواع پارافینی عمده‌ترین آنها هستند و ترکیب عمده بسیاری از نفت‌ها را تشکیل می‌دهند.

بسته به اینکه کدام یک از هیدروکربن‌های یاد شده درصد بیشتری داشته باشند، نفت خام را نیز به همان نام می‌خوانند. به عنوان مثال نفت پارافینی نفتی است که ترکیب عمده آنرا هیدروکربن‌های پارافینی تشکیل می‌دهند.

تقسیم‌بندی متداول دیگر نفت‌ها براساس مقدار گوگرد آنها است. اگر درصد گوگرد نفت کم باشد آنرا نفت شیرین و در غیر این صورت، نفت ترش می‌گویند.

یکی دیگر از روش‌های رده‌بندی نفت‌ها، تقسیم آنها به انواع سبک و سنگین است که بر مبنای بزرگی و کوچکی مولکول‌های هیدروکربن‌های سازنده آنها و در نتیجه وزن مخصوص آنها انجام می‌گیرد. اگر وزن مخصوص نسبی نفت در حدود 0.7 باشد آنرا نفت سبک و اگر بیشتر باشد، نفت سنگین می‌گویند.

خودآزمایی

- ۱- کانسارهای ناشی از هوازدگی را شرح دهید.
- ۲- فرق بین تمرکز بر جا و تمرکز ثانوی را شرح دهید.
- ۳- کانسارهای آواری و مکانیکی را تشریح کنید.
- ۴- کانسارهای طلا جزو کدام گروه از کانسارها هستند.
- ۵- نشانه‌های تشکیل زغال به روش‌های درجا و دگرجا را شرح دهید.
- ۶- ارزش حرارتی زغال را شرح دهید.
- ۷- مواد اولیه نفت را شرح دهید.
- ۸- نفتگیر تاق‌دیسی را شرح دهید.

کانسارهای دگرگونی

اهداف‌های رفتاری: در پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که:

- ۱- دگرگونی همبری را توضیح بدهد.
- ۲- دگرگونی عمومی را شرح بدهد.
- ۳- کانسارهای دگرگونی را شرح بدهد.
- ۴- کانسارهای دگرگون شده را تعریف نماید.

۴-۱- آشنایی

به طور کلی می‌توان دگرگونی^۱ را به‌عنوان مجموعه فرآیندهایی که در سنگ‌های اعماق زمین و تحت تأثیر دما، فشار و عناصر فعال شیمیایی انجام می‌گیرد و سبب تغییر ترکیب کانی‌شناسی و بافت سنگ‌ها می‌شود، تعریف کرد [۲].

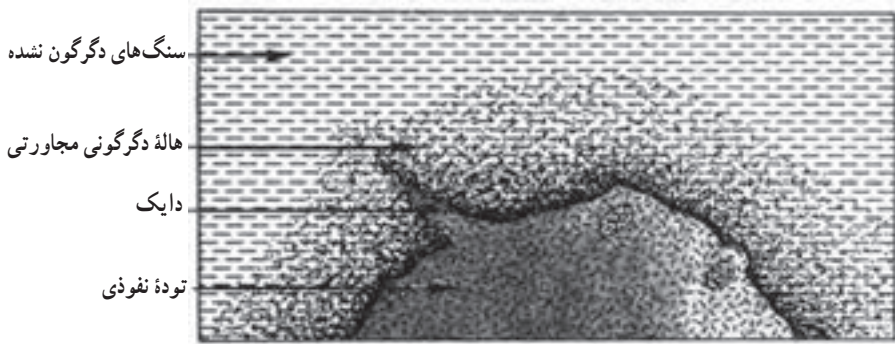
اگرچه دگرگونی خود به‌طور مستقیم مولد کانسار نیست ولی در بعضی موارد، سبب تمرکز مواد پراکنده می‌شود و ممکن است کانساری را به‌وجود آورد [۳].

۱- metamorphism

۴-۲- انواع دگرگونی

دگرگونی را به انواع مختلفی به شرح زیر تقسیم می‌کنند:

۴-۲-۱- دگرگونی همبری^۱: هنگامی که ماگما در اعماق زمین تشکیل می‌شود، بخش‌های مختلف آن ضمن حرکت خود به سمت بالا، در تماس با سنگ‌های دیگر قرار می‌گیرند. در این حالت، در اثر دما و فشار زیاد ماگما یا محصولات آن، سنگ‌های اطراف آنها دگرگون می‌شوند و کانی‌های آنها تغییر می‌کند و به کانی‌های دگرگونی تبدیل می‌شود (شکل ۴-۱).



شکل ۴-۱- اثر دگرگونی در یک توده نفوذی [۸].

عامل اصلی در این نوع دگرگونی، دما است زیرا دمای ماگما در اعماق زمین لااقل ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد و این دما قادر به دگرگونی کانی‌های سنگ است [۹]. باید توجه داشت که این دگرگونی، تنها در فاصله معینی تأثیر دارد که به نام شعاع تأثیر دگرگونی خوانده می‌شود. شعاع تأثیر به وسعت و جنس توده نفوذی و نوع سنگ‌های اطراف آن بستگی دارد. مثلاً در مورد یک توده نفوذی کوچک معمولاً چند متر است و حتی ممکن است فقط چند سانتی‌متر باشد ولی در مورد یک توده نفوذی بزرگ با ابعاد چند کیلومتر، ممکن است به صد متر و بیشتر نیز برسد.

۴-۲-۲- دگرگونی عمومی یا ناحیه‌ای^۲: مواد مختلفی که در دریا رسوب می‌کنند و لایه‌های

رسوبی را تشکیل می‌دهند، به مرور به سمت پایین حرکت می‌کنند. علاوه بر این حرکت تدریجی، در بعضی موارد حرکات پوسته زمین، نظیر چین‌خوردگی، نیز سبب می‌شود که این لایه‌ها به اعماق زمین فرو روند. از سوی دیگر، هرچقدر از سطح زمین پایین‌تر رویم، فشار و دما افزایش می‌یابد.

۱- contact metamorphism

۲ regional metamorphism

از آنجا که در قسمت‌های مختلف یک توده وسیع سنگ، که تحت تأثیر دگرگونی عمومی قرار گرفته، فشار و دما متفاوت است. بنابراین نحوه دگرگونی در این قسمت‌ها نیز تفاوت می‌کند و آثار دگرگونی مختلفی در سنگ به وجود می‌آید.

۲-۳-۴- دگرگونی حرکتی^۱: این نوع دگرگونی، از نظر تشکیل کانی‌ها از انواع دیگر آن اهمیت کمتری دارد. هنگامی که قسمتی از پوسته زمین در اثر گسل شکسته شود، قطعات شکسته شده نسبت به هم می‌لغزند. در محل لغزش، در نتیجه فشار و دما، مواد موجود تغییر می‌یابند و بعضی از انواع کانی‌های دگرگونی را به وجود می‌آورند.

انواع مختلف دگرگونی که شرح آنها گذشت، در بعضی موارد به طور مستقیم سبب تبدیل کانی‌ها به انواع با ارزش می‌شوند.

صرف نظر از نوع دگرگونی، کانسارهایی را که در ارتباط با دگرگونی تشکیل می‌شوند، می‌توان به دو دسته کلی کانسارهای دگرگون شده و دگرگونی تقسیم کرد که در ادامه به شرح آنها می‌پردازیم:

۳-۴- کانسارهای دگرگون شده^۲

این کانسارها آنهایی هستند که از تبدیل کانسارهای قبلی، که ممکن است هر منشأیی داشته باشند، نتیجه می‌شوند. در این دسته از کانسارها، دگرگونی ترکیب شیمیایی سنگ‌های اولیه را تغییر نمی‌دهد و تنها تغییراتی در شکل کانسار و نیز بافت و ساخت کانسنگ به وجود می‌آورد.

بعضی از کانسارهای آهن، منگنز، طلا و اورانیوم با منشأ رسوبی، طی این فرآیند تمرکز می‌یابند. در این زمینه، محلول‌های گرمایی هم در ارتباط با عمل جایگزینی نقش مهمی دارند. به عنوان مثال، اگر در ناحیه‌ای هیدروکسیدهای آهن و کربنات آهن وجود داشته باشد، در اثر محلول‌های گرمایی، بعضی از عناصر نظیر گوگرد و فسفر از محیط خارج می‌شود و در نتیجه عیار کانسنگ موجود افزایش می‌یابد.

۴-۴- کانسارهای دگرگونی

این کانسارها در نتیجه تغییر کانسارهای اولیه به وجود نمی‌آیند، بلکه مستقیماً از سنگ‌ها مشتق شده‌اند. به عنوان مثال، در نتیجه دگرگونی سنگ‌های حاوی سیلیکات‌های آلومینیوم و بوکسیت، ممکن

۱- dynamic metamorphism

۲- metamorphosed

است کانسار قابل توجه کروندوم^۱ (یاقوت) به وجود آید [۲]. همچنین امکان دارد که از دگرگونی بعضی از زغال‌سنگ‌ها، گرافیت و از دگرگونی آهک، مرمر تشکیل شود که این هر دو، از نظر اقتصادی با ارزش‌اند.

خودآزمایی

- ۱- دگرگونی را تعریف کنید.
- ۲- دگرگونی همبری را شرح دهید.
- ۳- شعاع تأثیر دگرگونی را تشریح کنید.
- ۴- دگرگونی عمومی را شرح دهید.
- ۵- تفاوت کانسارهای دگرگون شده و دگرگونی را شرح دهید.

از کانسار تا معدن

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که:

۱- فازهای مختلف عملیات معدنکاری را نام ببرد.

۲- فاز پیش از استخراج را توضیح بدهد.

۳- فاز استخراج را شرح بدهد.

۴- فاز پس از استخراج را توضیح بدهد.

۵-۱- آشنایی

برای تبدیل یک کانسار یعنی استعداد بالقوه موجود در طبیعت به معدن یعنی استعداد بالفعل، باید فرایندی طولانی انجام گیرد. در بسیاری موارد به غلط، اولین اقدامات شناسایی منابع معدنی به عنوان اکتشاف و گاه نیز تحت عنوان یافتن معدن تلقی می‌شود. اگرچه واژه کلی اکتشاف را به عنوان یک واژه عام می‌توان برای مجموعه عملیاتی که منجر به شناسایی کامل ذخایر معدنی می‌شود به کار برد، اما همان گونه که خواهیم دید، این واژه، معانی تخصصی نیز دارد که به آن خواهیم پرداخت.

۵-۲- فازهای مختلف عملیات معدنکاری

مقصود از اصطلاح عام معدن کاری^۱ طیف گسترده‌ای از عملیاتی است که مراحل اکتشاف،

^۱ - mining

استخراج، فرآوری و پس از استخراج را دربرمی‌گیرد و می‌توان آن را به سه فاز اصلی تقسیم کرد :

۵-۲-۱- فاز پیش از استخراج : این فاز شامل مراحل زیر است :

الف) مرحله مطالعات زمین‌شناسی

ب) مرحله شناسایی^۱

ج) مرحله پی‌جویی^۲

د) مرحله اکتشاف عمومی^۳

ه) مرحله اکتشاف تفصیلی^۴

مراحل ب، ج، د و ه از این فاز تحت عنوان کلی اکتشاف^۵ نامیده می‌شود. در حین استخراج نیز همچنان اکتشاف ادامه دارد، این مرحله را به نام اکتشاف حین استخراج^۶ می‌نامند که باید آن را جزو مرحله استخراج در نظر گرفت.

در مراحل مختلف اکتشاف عملیات اکتشافی به شرحی که در فصل‌های بعدی خواهد آمد انجام می‌گیرد ولی بسته به مورد، مقیاس کار در مراحل مختلف، متفاوت است.

۵-۲-۲- فاز استخراج : این فاز مراحل زیر را در بر دارد :

الف) مرحله طراحی^۷

ب) مرحله مطالعات امکان‌سنجی^۸

ج) مرحله گشایش، تجهیز و آماده‌سازی^۹

د) مرحله استخراج^{۱۰}

ه) مرحله فرآوری^{۱۱}

۵-۲-۳- فاز پس از استخراج : این فاز مراحل زیر را شامل می‌شود :

الف) مرحله بستن معدن^{۱۲}

ب) مرحله بازسازی معدن^{۱۳}

ارتباط مراحل مختلف اکتشاف با سایر فعالیت‌ها در جدول ۵-۱ نشان داده شده است. باید توجه داشت که نمودار جدول ۵-۱، نشانگر وضعیت کلی ارتباط مراحل مختلف معدن‌کاری

۱- reconnaissance	۲- prospecting	۳- general exploration	
۴- detailed exploration	۵- exploration	۶- mining exploration	۷- planning
۸- feasibility study	۹- opening and development	۱۰- exploitation	
۱۱- processing	۱۲- closing	۱۳- reclamation	

است و ممکن است برحسب مورد چندین مرحله به طور همزمان انجام گیرد.

جدول ۱-۵-۱- ارتباط مراحل مختلف اکتشاف با مراحل مختلف استخراج^۱ [۱۱].

مراحل	
اکتشاف	شناسایی ← پی جویی ← اکتشاف عمومی ← اکتشاف تفصیلی ← اکتشاف حین استخراج
طراحی	طراحی مفهومی ← طراحی پایه ← طراحی تفصیلی
امکان سنجی	فرصت سنجی ← پیش امکان سنجی ← امکان سنجی
تجهیز و آماده سازی	تجهیز و آماده سازی
استخراج	استخراج
بستن معدن	
بازسازی معدن	

در حالت کلی، برای کم کردن زمان و هزینه عملیات معدن کاری، کانسار به بخش‌های مختلف تقسیم می‌شود و در هر یک از آنها مراحل یاد شده پشت سر هم انجام می‌گیرد. پس از شروع تولید از اولین بخش کانسار، در دیگر بخش‌های آن فعالیت‌های توسعه‌ای به صورت اکتشاف، تجهیز و آماده‌سازی متمرکز می‌شود و امکان دارد که در بخش‌های مختلف کانسار فعالیت‌های اکتشاف، تجهیز، آماده‌سازی و تولید به طور هم‌زمان انجام گیرد. همچنین ممکن است در قسمت‌های کم عمق کانسار که اکتشاف آن به پایان رسیده است، عملیات استخراجی آغاز شود و در عین حال، در بخش‌های عمیق‌تر آن، اکتشاف ادامه یابد.

۳-۵- اهداف کلی اکتشاف

هدف از انجام عملیات اکتشافی در یک ناحیه، ارائه کلیه داده‌ها و اطلاعاتی است که برای طراحی معدن لازم است. بدیهی است تنها در پایان مرحله اکتشاف تفصیلی است که می‌توان به تمام این اطلاعات در مقیاس مورد نیاز برای طراحی تفصیلی دست یافت، اما مطابق جدول ۱-۱، اطلاعات حاصل از مراحل پی جویی و اکتشاف عمومی نیز باید به گونه‌ای باشد که بر اساس آنها بتوان به ترتیب

۱- جدول ۱-۵-۱ جزو مطالعات آزاد است.

مراحل طراحی مفهومی و پایه را انجام داد. به بیان دیگر، بعضی از فعالیت‌های اکتشافی ممکن است در تمام مراحل چهارگانه اکتشاف انجام گیرد، ولی مقیاس کار در هر مرحله متفاوت و متناسب با اهداف مورد نظر خواهد بود.

خودآزمایی

- ۱- مراحل مختلف فاز پیش از استخراج را شرح دهید.
- ۲- ترتیب انجام مراحل مختلف در فاز پیش از استخراج را شرح دهید.
- ۳- مرحله طراحی معدن جزو کدام فاز است؟
- ۴- طراحی مفهومی، پایه و تفضیلی هر کدام پس از کدام مرحله اکتشاف انجام می‌شود؟

معیارهای اکتشاف

هدفهای رفتاری: در پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که:

- ۱- معیارهای آب و هوایی را توضیح دهد.
- ۲- معیارهای چینه‌شناسی را شرح دهد.
- ۳- معیارهای رخساره‌ای و سنگ‌شناسی را شرح دهد.
- ۴- معیارهای ساختاری را شرح دهد.
- ۵- معیارهای ماگمایی را توضیح بدهد.

۶-۱- آشنایی

بسیاری از کانسارها در سطح زمین رخنمون ندارند یا در محلی دور از چشم زمین‌شناسان و مهندسیین اکتشاف واقع‌اند. با توجه به نحوه و شرایط تشکیل کانسار، می‌توان معیارهای مختلفی را برای شناسایی و اکتشاف آن تعیین و بر این اساس، عملیات اکتشافی را آغاز کرد. به‌عنوان مثال، اگر کانسار جزو انواع رسوبی باشد، باید آن را در طبقات رسوبی جستجو کرد. از آنجا که کانسارهای رسوبی در زمان‌های خاصی تشکیل شده‌اند، بنابراین برای جستجوی آنها، باید سنگ‌های مربوط به همان دوره را مورد کاوش قرار داد. مثلاً از آنجا که اغلب زغال‌سنگ‌های ایران در دوره‌های خاصی از تاریخ زمین تشکیل شده‌اند، لذا برای جستجوی زغال، سازندهای این دوره را باید مطالعه کرد. همچنین بسیاری از کانسارهایی که منشأ ماگمایی دارند، در سنگ‌های خاصی متمرکز می‌شوند و طبیعی است که برای یافتن آنها باید این سنگ‌ها را مطالعه کرد.

مفهوم معیارهای اکتشاف ذخایر معدنی به خصوصیات اطلاق می‌شود که به طور مستقیم یا غیرمستقیم به امکان دستیابی مواد معدنی با ارزش کمک می‌کند.

برای روشن شدن مطلب به مثال ساده‌ای توجه می‌کنیم. اگر کسی بخواهد در یک روز تعطیل در یک شهر پرجمعیت مثل تهران به دنبال دوستی بگردد، غیرمنطقی‌ترین راه آن است که بدون هیچ مقصد خاصی، در خیابان‌های شهر به راه افتد و البته از نظر قوانین احتمال، امکان این که با این روش، دوست خود را بیابد صفر نیست ولی احتمال بسیار اندکی در این مورد وجود دارد. راه منطقی آن است که قبل از آغاز جستجو، به این نکته توجه کند که در یک روز تعطیل دوستش معمولاً به کجا می‌رود، اگر اهل کوهنوردی باشد، روش منطقی آن است که در کوه‌ها او را جستجو کند. اگر معمولاً در چنین روزهایی به سینما می‌رود، باید بررسی کند که دوست وی به چه فیلم‌هایی علاقمند است و اگر به عنوان مثال فیلم‌های کمدی را ترجیح می‌دهد، محتمل‌ترین جا برای پیدا کردن دوستش، سینماهایی هستند که این گونه فیلم‌ها را نشان می‌دهند. همچنین اگر دوستش اهل فوتبال و طرفدار تیم خاصی باشد، باید جایگاه ویژه طرفداران این تیم را برای یافتن دوستش بگردد.

بدیهی است مکان‌هایی که به آنها اشاره شد، محتمل‌ترین جا برای پیدا کردن دوست است و البته این احتمال وجود دارد که دوستش در هیچ‌یک از این محل‌ها نباشد اما به هر حال، با انتخاب محتمل‌ترین جاها برای یافتن دوست می‌توان به فرد مورد نظر دست یافت.

این مثال در مورد شناسایی و پی‌جویی مواد معدنی نیز صادق است. به بیان دیگر برای یافتن ماده معدنی مورد نظر، ابتدا باید بررسی کرد که محتمل‌ترین جا برای تمرکز ماده مورد نظر کجاست و آنگاه در این محدوده، جستجو را آغاز کرد. به بیان دیگر، ابتدا باید نواحی‌ای را که احتمال وجود ماده معدنی در آنجا هست مشخص ساخت. تعیین این نواحی بر اساس معیارهایی است که در ادامه به شرح آنها خواهیم پرداخت.

در اکتشاف مواد معدنی معیارهای مختلفی کاربرد دارند که از جمله مهم‌ترین آنها می‌توان معیارهای آب و هوایی، چینه‌شناسی، رخساره‌ای و سنگ‌شناسی، زمین‌ساختی و ماگمایی را نام برد.

۶-۲- معیارهای آب و هوایی^۱

بسیاری از کانسارها در شرایط آب و هوایی خاصی تشکیل می‌شوند. بنابراین اگر مقصود اکتشاف این مواد باشد، ابتدا باید دوره‌هایی از تاریخ زمین را که دارای آب و هوای مناسب برای

^۱ climatic criteria

تشکیل این مواد بوده است، مشخص ساخت. بدیهی است وجود آب و هوای مناسب به تنهایی برای تشکیل کانسار کافی نیست بلکه در کنار آن باید مواد اولیه مناسب و نیز عوامل لازم به منظور حفظ مواد تشکیل شده هم وجود داشته باشد. به عنوان مثال در دوره کربونیفر شرایط رشد گیاهان بسیار مناسب بوده و در بسیاری از نقاط دنیا در این دوره زغال سنگ تشکیل شده است ولی در کشور ما، علیرغم وجود مواد گیاهی در این دوره، شرایط حفظ آنها وجود نداشته و به همین دلیل، زغالی تشکیل نشده است.

۳-۶- معیارهای چینه‌شناسی^۱

چینه‌شناسی شاخه‌ای از زمین‌شناسی است که موضوع آن مطالعه و بررسی سن سازندها و سنگ‌های زمین است. رابطه کانسار و سنگ‌های دربرگیرنده آن یکی از مهم‌ترین معیارهای اکتشاف به‌شمار می‌آید. از آنجا که با مطالعات فسیل‌شناسی، زمان حیات فسیل‌های مختلف مشخص شده است، لذا با تشخیص نوع فسیل‌های موجود در سنگ‌ها، و یا به کمک روش‌های دیگر، می‌توان به سن آنها پی برد.

بسیاری از مواد معدنی، در داخل سنگ‌های با سن معین یافت می‌شوند و در سایر سنگ‌ها یا به طور کلی دیده نشده‌اند و یا اینکه به ندرت مشاهده می‌شوند. از جمله مهم‌ترین این مواد می‌توان زغال سنگ، بعضی کانسنگ‌های آهن و منگنز، بوکسیت و بعضی مواد دیگر را نام برد.

به‌عنوان مثالی در این مورد می‌توان از زغال‌سنگ‌های ایران نام برد. بر اساس مطالعاتی که تاکنون صورت گرفته، مشخص شده است که زغال‌های ایران از نظر چینه‌شناسی محدود به تریاس فوقانی تا ژوراسیک میانی‌اند. بنابراین برای جستجوی زغال در ایران، باید سنگ‌های این دوره را مورد مطالعه قرار داد [۱۲]. بدیهی است وجود زغال در این سنگ‌ها الزامی نیست، کما اینکه در بسیاری نقاط ایران، این طبقات فاقد لایه‌های زغال‌اند.

از آنجا که مواد معدنی در تمام دوره‌های مختلف زمین‌شناسی تشکیل شده‌اند لذا معیارهای چینه‌شناسی محدود به زمان خاصی نیست و حتی ماده معدنی واحد ممکن است چند معیار چینه‌شناسی مختلف داشته باشد. مثلاً بوکسیت‌هایی که تا کنون در ایران یافت شده، بعضی متعلق به کرتاسه بالایی‌اند و پاره‌ای نیز در فصل مشترک یرمین و تریاس متمرکز شده‌اند [۱۳].

۱- stratigraphic criteria

۴-۶- معیارهای رخساره‌ای و سنگ‌شناسی^۱

در بسیاری موارد، رابطه نزدیکی بین کانسار و نوع سنگ‌های همبر^۲ آن وجود دارد که از این ویژگی می‌توان در اکتشاف کانسارهای رسوبی یا ماگمایی استفاده کرد. در مواردی که چنین رابطه‌ای وجود داشته باشد، به کمک آن می‌توان به وجود ماده معدنی پی برد و بررسی آن را آغاز کرد. رابطه یاد شده ممکن است به صورت مستقیم و به شکل وجود غلابی از ماده معدنی در این سنگ‌ها باشد و یا این که امکان دارد غیر مستقیم باشد یعنی وجود ماده معدنی سبب تغییرات خاصی در سنگ‌های درونگیر شود.

به عنوان مثالی در این مورد می‌توان از کانسارهای بوکسیت که یکی از مهم‌ترین کانسنگ‌های آلومینیوم است نام برد. در بسیاری موارد این ماده معدنی در اثر دگرسانی گرانیت و سینیت که دو نوع سنگ آذرین هستند، تشکیل می‌شود. در چنین مواردی اگر مواد دگرسان شده برجا بمانند، کانسارهای بوکسیت در جازا را تشکیل می‌دهند و بنابراین وجود سنگ‌های آذرین یاد شده، معیار مناسبی برای جستجوی بوکسیت در آنها است.

۵-۶- معیارهای ساختاری^۳

ارتباط ساختار زمین‌شناسی منطقه با مواد معدنی‌ای که در آن یافت می‌شود، یکی از معیارهای مهم اکتشاف است. در موارد متعددی، رابطه نزدیکی بین کانسار و عوامل ساختاری وجود دارد. به عنوان مثال می‌توان از ساختار بسیاری از نفتگیرها^۴ نام برد که معمولاً به شکل تاقدیس‌اند. بنابراین اگر مقصود یافتن منابع نفتی باشد، باید مناطقی را که چنین ساختاری دارند، مورد جستجو قرار داد. اساس اکتشافات ژئوفیزیکی در مورد کاوش نفت را همین معیار تشکیل می‌دهد. به عبارت دیگر، به کمک روش‌های مختلف ژئوفیزیکی، ابتدا ساختارهای تاقدیس شکل مشخص شده و در مرحله بعدی، امکان وجود نفت و گاز در داخل آن بررسی می‌شود.

بسیاری از مواد معدنی فلزی به شکل رگه‌هایی دیده می‌شوند که این رگه‌ها در واقع شکستگی و گسل‌هایی هستند که از مواد معدنی پر شده‌اند. بنابراین در چنین مواردی، با جستجوی مناطقی که شدیداً دارای شکستگی هستند، می‌توان راه جستجوی مواد معدنی را آسان کرد. در پاره‌ای موارد، مواد معدنی در محل تلاقی دو گسل متمرکز می‌شوند که این خود می‌تواند معیار مناسبی برای اکتشاف مواد معدنی باشد.

۱- facies, lithological criteria

۲- سنگ همبر، سنگی است که ماده معدنی در داخل آن قرار دارد.

۳- structural criteria

۴- oil trap

۶-۶- معیارهای ماگمایی^۱

ارتباط ماگما با تشکیل مواد معدنی مختلف به خوبی شناخته شده است و بر این اساس می‌توان گفت که بخش قابل توجهی از مواد معدنی، به طور مستقیم یا غیرمستقیم در ارتباط با ماگما تشکیل می‌شوند.

بسیاری از مواد معدنی در داخل توده‌های آذرینی متمرکز می‌شوند که برای اکتشاف آنها فقط باید این گونه توده‌ها را مورد کاوش قرار داد. به علاوه، تعداد قابل توجهی از کانسارها در نتیجه دگرسانی توده‌های آذرین و یا در مجاورت این توده‌ها با سنگ‌های همبر تشکیل می‌شوند. به‌هنگام مطالعه توده‌های آذرین با هدف جستجوی مواد معدنی، در ابتدا باید شکل توده و موقعیت آن را نسبت به سنگ‌های درونگیر مشخص ساخت و آنگاه ساختار داخلی توده را بررسی کرد و سپس در داخل توده به دنبال مواد معدنی مورد نظر گشت. همچنین از آنجا که بسیاری از مواد معدنی در مرز توده‌های آذرین با سنگ‌های همبر تشکیل می‌شوند، سنگ‌های اطراف این توده را نیز باید مورد کاوش قرار داد.

خودآزمایی

- ۱- مفهوم معیارهای اکتشافی را شرح دهید.
- ۲- معیارهای آب و هوایی را شرح دهید.
- ۳- برای اکتشاف زغال از چه معیارهایی استفاده می‌شود؟
- ۴- معیارهای ماگمایی در اکتشاف کدام منابع معدنی کاربرد دارند؟
- ۵- چگونه می‌توان از معیارهای ساختاری در اکتشاف نفت استفاده کرد؟

^۱ - magmatic criteria

راهنماها و نشانه‌های اکتشاف

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که:

- ۱- مفهوم راهنما را توضیح بدهد.
- ۲- نشانه‌های محلی را شرح دهد.
- ۳- بخش‌های دگرسان شده را توضیح دهد.
- ۴- قطعات کانسنگ را توضیح بدهد.
- ۵- هاله‌های تفرقی را شرح بدهد.

۷-۱- آشنایی

مقصود از راهنماهای اکتشاف مواد معدنی، نشانه‌هایی است که نشانگر وجود کانسار در محل هستند. در ضمن عملیات اکتشافی ممکن است به یک یا چند نشانه از این گروه برخورد شود که در بسیاری موارد، به یافتن محل اصلی کانسار کمک می‌کند.

۷-۲- نشانه‌های محلی

بسیاری از معادن امروزی ایران نه براساس کاوش‌های علمی، بلکه به کمک اطلاعات و نشانه‌های محلی کشف شده و به بهره‌برداری رسیده‌اند. مهم‌ترین نشانه‌های محلی به شرح زیرند:

۷-۲-۱- اطلاعات مردم محلی: چوپانان و شکارچیان محلی، منبع اطلاعاتی مهم درباره مواد معدنی محل هستند. این قبیل افراد ضمن رفت و آمدهای خود در ناحیه، ممکن است رخنمون

یا قطعاتی از ماده معدنی را مشاهده کنند و در صورتی که نمونه یافت شده برای آنان جالب باشد، ممکن است آن را به معدنکاران اطلاع دهند. به هر حال، استفاده از این اطلاعات بسیار سودمند است.

۲-۲-۷ اثرات معادن قدیمی: آثار حفريات قدیمی معدنکاری، که به نام کارهای شدادی معروف است، در بسیاری از معادن امروزه کشور ما به چشم می خورد که از جمله آن می توان معدن سرب آهنگران، معدن سرب و روی نمار، معدن مس عباس آباد، آثار استخراج سنگ در کوه رحمت تخت جمشید، معدن آهن قدیمی شاهبولاغ در زنجان، معدن سرب قدیمی کلونگاه در الیکا، معدن قلعه زری در بیرجند و معدن سبرز در انارک را نام برد. این آثار همیشه قابل رؤیت نیستند بلکه در این مورد نیز می توان از اطلاعات مردم محلی استفاده کرد.

۲-۲-۳ اثرات کوره های ذوب قدیمی: از آنجا که در قدیم وسایل حمل و نقل محدود بوده است و مواد معدنی استخراج شده را نمی توانستند تا فاصله زیاد حمل کنند، لذا در بسیاری از موارد، در حوالی معدن قدیمی، ماده معدنی را ذوب می کرده و به مصرف می رسانده اند که بقایای آن به صورت سنگ های ذوب شده، کمابیش امروزه نیز در حوالی معادن قدیمی دیده می شود. در بسیاری نقاط ایران از جمله کرمان، شاهرود و ملایر این آثار دیده می شود.

در اطراف توده مواد ذوب شده، معمولاً بقایای کانی های اولیه را نیز می توان مشاهده کرد که این خود، نشانه گویایی بر وجود کانسار در منطقه است.

۲-۲-۴ توجه به اسامی محلی: بسیاری از نام های قدیمی روستاها و آبادی های ایران وجه تسمیه معینی دارند که در پاره ای موارد ممکن است گویای وجود مواد معدنی یا ساختار مناسب برای تشکیل این مواد در اطراف روستا باشد.

در حوالی ده سرچشمه که بزرگ ترین کانسار شناخته شده مس ایران در حوالی آن واقع است، آبگیری موسوم به زنگار وجود دارد و علاوه بر این، ده نزدیک آن به نام زنگالو نامیده می شود که خود مؤید وجود مس در این ناحیه است. در حوالی معدن سرب آهنگران که حاوی مقدار قابل توجهی آهن نیز هست، ده قدیمی آهنگران وجود دارد. در حوالی دهکده زاج کان (معدن زاج) قزوین کانسار مهم آلونیت یافت می شود. معدن تالمسی (تل = توده) در مجاورت دهی به همین نام قرار دارد که مؤید وجود مس است.

معدن زغال سنگ تزره (البرز شرقی) در مجاورت دهی به همین نام قرار دارد که وجه تسمیه ده مزبور را افراد قدیمی محل به صورت «ته زره» یعنی محلی که ته آن حاوی زر و مواد گرانبها است، می دانند.

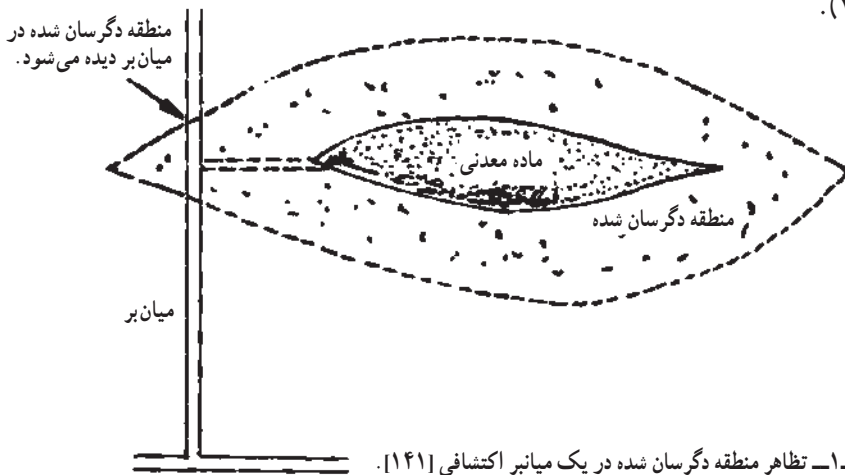
در حوالی اردبیل چشمه معدنی مهمی وجود دارد که به نام سردابه معروف است و افراد قدیمی محل معتقدند که نام اصلی آن «ساری داوا» (واژه آذری به معنی داروی مرض زردی یا یرقان) بوده که به مرور به این شکل درآمده است.

از این مثال‌ها در نقاط مختلف ایران فراوان می‌توان یافت که در آنها نامگذاری در ارتباط با مواد معدنی مختلف انجام گرفته است.

۷-۳- قسمت‌های دگرسان شده سنگ‌ها

دگرسانی سنگ‌ها در خلال تشکیل مواد معدنی، از جمله راهنماهای اکتشاف به‌شمار می‌آید. در بعضی موارد وجود کانی‌ها و سنگ‌های ناشی از دگرسانی در قسمت‌های سطحی نشانه وجود ماده در قسمت‌های زیرین است. این دگرسانی‌ها مخصوصاً در مورد کانسارهای گرمابی، اهمیت بیشتری دارد.

در بسیاری موارد، قسمت‌های دگرسان شده، خود رخنمون سطحی ندارند اما از آنجا که به‌صورت هاله‌ای ماده معدنی را احاطه کرده‌اند، ممکن است ضمن حفاریات اکتشافی اعم از ترانشه، گمانه یا تونل، این قسمت‌های دگرسان شده رؤیت و به کمک آن توده ماده معدنی اصلی کشف شود (شکل ۷-۱).



شکل ۷-۱- تظاهر منطقه دگرسان شده در یک میانبر اکتشافی [۱۴۱].

۷-۴- تمرکز مواد معدنی

معمولاً پس از اینکه سنگ‌ها در اثر عوامل هوازدگی در سطح زمین متلاشی شدند، کانی‌های سنگین و نیز آنهایی که در برابر عوامل شیمیایی مقاوم‌اند، در اثر نیروی ثقل و آب‌های سطحی به

قسمت‌های پایین دست حمل می‌شوند. مشاهده چنین موادی نشانه وجود کانسار در قسمت‌های بالا دست است.

۷-۵- قطعات کانسنگ

قطعات کانسنگ یا قطعات حاوی کانسنگ که در رسوبات یخچالی یا واریزه‌ها و آبرفت‌ها دیده می‌شود، راهنمای با ارزشی در پی‌بردن به وجود ماده معدنی است. با مطالعه ترکیب کانی‌شناسی این قطعات و میزان صیقلی شدن آنها، می‌توان ترکیب ماده معدنی اصلی و فاصله آن از محل پیدا شدن قطعه را تا حدودی شناسایی کرد.

مسافت لازم برای صیقلی شدن کامل قطعات کانسنگ، از سویی به جنس، مقاومت، سختی، وزن مخصوص و ابعاد قطعه بستگی دارد و از سوی دیگر به جنس و ابعاد موادی که در مسیر حرکت آن قرار گرفته‌اند نیز وابسته است.

۷-۶- هاله‌های تفرقی^۱

معمولاً فصل مشترک ماده معدنی با سنگ‌های اطراف آن به صورت یک مرز دقیق و مشخص نیست و غالباً سنگ‌های درونگیر توده ماده معدنی، به‌ویژه در نزدیکی ماده، حاوی ذرات کانی هستند. بدین ترتیب، در اطراف ماده معدنی در داخل سنگ‌های درونگیر، هاله‌ای وجود دارد که محتوی درصد قابل توجهی از اجزای ماده معدنی است و این هاله به نام هاله تفرقی خوانده می‌شود.

علاوه بر هاله تفرقی، ترک و شکاف سنگ‌ها در اطراف ماده معدنی در اثر عبور محلول‌های حاوی ماده معدنی نیز از این ماده پرمی‌شود و به‌صورت زواید کانه‌دار درمی‌آید. به هر حال، وجود هاله تفرقی و زواید یاد شده، راهنمایی برای اکتشاف ماده معدنی اصلی به‌شمار می‌آید.

برحسب چگونگی تشکیل این هاله‌ها، آنها را به دو گروه اولیه و ثانویه تقسیم می‌کنند: هاله و زواید اولیه در نتیجه همان فرآیند تشکیل‌دهنده ماده معدنی اصلی به‌وجود می‌آیند. در این هاله‌ها و زواید، معمولاً ماده معدنی به‌صورت اجزای ریز و به حالت پراکنده است و به‌وسیله همین مشخصه می‌توان آنها را شناسایی کرد.

هاله تفرقی ثانویه در نتیجه تخریب شیمیایی و مکانیکی و نیز اکسایش ماده معدنی و هاله تفرقی اولیه، به‌ویژه در نزدیکی سطح زمین تشکیل می‌شود.

^۱ - dispersion haloes

۷-۷- نشانه‌های گیاهی

در بسیاری موارد، خاک‌های حاصله از هوازدگی کانسارهای مختلف، با توجه به اینکه مواد مختلفی در بردارند، استعداد پرورش گیاهان و درختان خاصی را دارا هستند که این گیاهان نیز به‌عنوان راهنما، در تجسس کانسارها به کار می‌روند.

نوع خاک موجود در مجاورت کانسار ممکن است سبب شود که گیاهان خاصی رشد بیشتری پیدا کنند و یا اینکه تعدادشان زیادتر شود.

یکی از مواردی که در ایران به چشم می‌خورد، وجود بوته‌های سماق در حوالی بعضی از معادن سرب و روی است که امکان دارد در ارتباط با این ماده معدنی باشند. همچنین در خاک‌های مجاور طبقات زغال‌دار، بوته‌های زرشک، رشد قابل توجهی پیدا می‌کنند که ممکن است با زغال و مواد همراه آن بی‌ارتباط نباشند.

خودآزمایی

- ۱- نام سه محل را که در ارتباط با مواد معدنی نامگذاری شده‌اند، ذکر کنید.
- ۲- اثرات معادن قدیمی چگونه به‌عنوان راهنمای اکتشاف قابل استفاده‌اند؟
- ۳- چگونه می‌توان از قسمت‌های دگرسان شده سنگ‌ها در اکتشاف استفاده کرد؟
- ۴- اگر یک قطعه کانسنگ صاف و گرد در کف یک دره دیده شود، نشانگر چیست؟
- ۵- هاله‌های تفرقی اولیه و ثانویه را شرح دهید.

مراحل مقدماتی اکتشاف

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از هنر جو انتظار می‌رود که:

- ۱- نحوه انتخاب محدوده برای اکتشاف را شرح دهد.
- ۲- مراحل صدور پروانه اکتشاف را شرح دهد.
- ۳- تهیه طرح اکتشاف را توضیح دهد.
- ۴- دریافت گواهی کشف را توضیح بدهد.
- ۵- نحوه جمع‌آوری نقشه‌ها و گزارش‌های موجود را شرح دهد.
- ۶- استقرار مرکز عملیات را شرح دهد.

۸-۱- آشنایی

پس از اینکه با استفاده از معیارها و یا نشانه‌های گفته شده، ناحیه‌ای از نقطه نظر مواد معدنی مفید تشخیص داده شد، باید عملیات اکتشاف را طی مراحل چهارگانه شناسایی، پی‌جویی، اکتشاف عمومی و اکتشاف تفصیلی آغاز کرد. قبل از آغاز عملیات اکتشافی از قبیل اکتشافات ماهواره‌ای، زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی، بعضی کارهای مقدماتی را باید انجام داد که در این فصل به شرح آنها می‌پردازیم.

۸-۲- انتخاب محدوده ناحیه

از آنجا که عموماً امکانات انجام عملیات اکتشافی محدود است، لذا در آن واحد نمی‌توان سطح وسیعی را مورد اکتشاف قرار داد بلکه به‌خاطر سهولت دسترسی به ناحیه و نیز تمرکز عملیات، باید محدوده معینی را به منظور انجام عملیات اکتشافی تعیین کرد.

محدوده مورد نظر را می‌توان بر روی نقشه توپوگرافی $۱:۲۵۰,۰۰۰$ یا نقشه‌های دقیق‌تر موجود مشخص کرد. مثلاً اگر هدف بررسی وضعیت زغال در سلسله جبال البرز باشد، باید با توجه به راه‌های دسترسی به منطقه، آن را به چندین ناحیه تقسیم تا به‌آسانی بتوان تمام نقاط آن را از مرکز واحدی خدمات‌رسانی کرد.

محدوده اکتشافی را می‌توان با توجه به امکانات نیروی انسانی، زمان، وضعیت آب و هوایی، راه‌های دسترسی و مسایل دیگر انتخاب کرد. البته این انتخاب، یک انتخاب اولیه است و در مراحل بعدی و پس از انجام عملیات مقدماتی اکتشافی، بسیار محتمل است که محدوده تغییر کند.

یکی از مسایل اصلی مؤثر در انتخاب محدوده اکتشاف، وسعت ناحیه است زیرا براساس قوانین معدنی ایران، حداکثر وسعت ناحیه برای صدور پروانه اکتشاف بسته به نوع ماده معدنی محدود است که جزئیات آن در قانون معادن آمده است.

۸-۳- انجام کارهای اداری

قبل از انجام عملیات اکتشافی در ناحیه، باید پروانه اکتشاف ناحیه را از طریق سازمان‌های صنعت، معدن و تجارت استان‌ها اخذ کرد. پروانه اکتشاف مجوزی است که برای انجام عملیات اکتشافی مواد معدنی در محدوده مشخص صادر می‌شود. پس از خاتمه عملیات اکتشافی، تأییدیه‌ای که به نام گواهی کشف موسوم است به دارنده پروانه اکتشاف داده می‌شود.

از آنجا که مراحل کار در مورد مواد معدنی مختلف متفاوت است و به طبقه ماده معدنی بستگی دارد لذا در قانون معادن ایران کلیه مواد معدنی به شرح جدول ۸-۱، طبقه‌بندی شده‌اند. بسته به عواملی همچون نوع عملیاتی که قرار است در ناحیه مورد اکتشاف انجام گیرد، هزینه پیش‌بینی شده برای عملیات اکتشافی، نوع ماده معدنی و مرحله اکتشاف، طرح‌های اکتشافی را به چهار درجه ۱، ۲، ۳ و ۴ به شرح جدول ۸-۲ تقسیم‌بندی می‌کنند که برای هر درجه، مسئول تهیه طرح اکتشاف و مسئول فنی عملیات اکتشافی خاصی باید انتخاب شود.

جدول ۸-۱- طبقه‌بندی مواد معدنی براساس قانون معادن [۱۵]

طبقة	مواد معدنی
۱	سنگ آهک، سنگ گچ، شن و ماسه، خاک رس، صدف دریایی، بوکه معدنی، نمک آبی و سنگی، مارن، سنگ لاشه ساختمانی و نظایر آنها
۲	۱- مواد معدنی آهن، طلا، کرم، قلع، جیوه، سرب و روی، مس، تیتانیوم، آنتیمون، مولیبدن، کبالت، تنگستن، کادمیوم و سایر فلزات ۲- نیترات‌ها، فسفات‌ها، بورات‌ها، نمک‌های قلیایی، سولفات‌ها، کربنات‌ها، کلریدها (به استثنای مواد یاد شده در طبقه ۱) و نظایر آنها ۳- میکا، گرافیت، تالک، کائولن، نسوزها، فلدسپات، سنگ و ماسه سیلیسی، پرلیت، دیاتومیت، زئولیت، بوکسیت، خاک سرخ، خاک زرد، خاک‌های صنعتی و نظایر آنها ۴- کانی‌های قیمتی و نیمه‌قیمتی مانند الماس، زمرد، یاقوت، یشم، فیروزه، انواع عقیق و امثال آنها ۵- انواع سنگ‌های تزئینی و نما ۶- انواع زغال‌سنگ‌ها و شیل‌های غیرنفتی ۷- مواد معدنی قابل استحصال از آب‌ها و نیز گازهای معدنی به استثنای گازهای هیدروکربنی
۳	کلیه هیدروکربن‌های مایع و گازی
۴	کلیه مواد پرتوزا اعم از اولیه یا ثانویه

۸-۳-۱- مراحل صدور پروانه اکتشاف : مراحل صدور پروانه اکتشاف طی مواد ۱ تا ۲۱

آیین‌نامه اجرایی قانون معادن آمده که به اختصار در جدول ۸-۳ درج شده است.

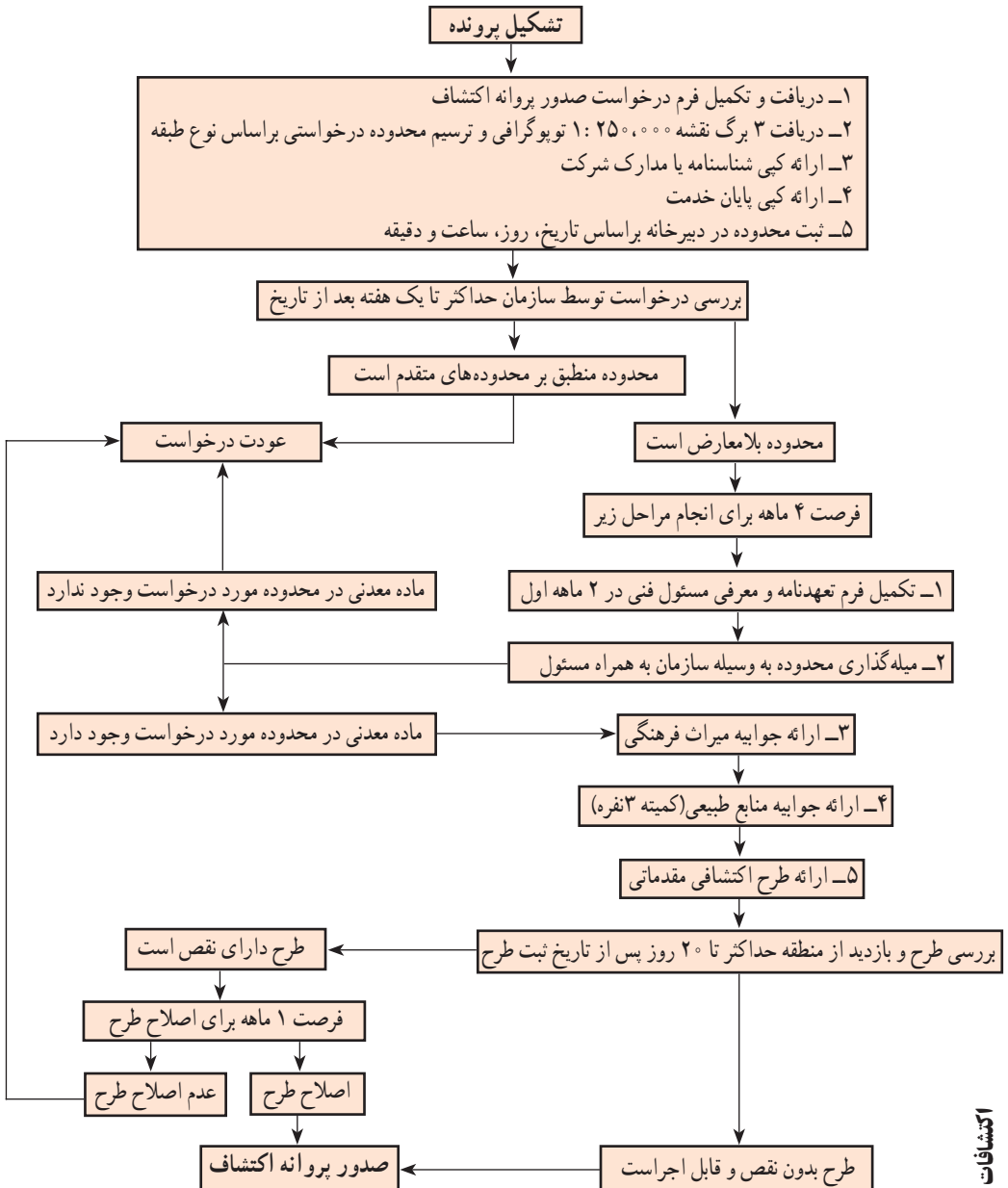
جدول ۸-۲- درجه بندی طرح های اکتشافی به منظور تعیین امتیاز سابقه کار در فعالیت های اکتشافی، تعیین مسئول فنی عملیات اکتشافی و تهیه گزارش پایان عملیات اکتشافی [۱۵].

درجه	نوع ماده معدنی	طبقه ماده معدنی	مساحت محدوده (کیلومتر مربع)	مرحله فعالیت
یک	طرح های بزرگ دولتی برای همه مواد معدنی	-	>۲۵	عمومی و تفصیلی
	زغال سنگ	دو (بند پ ۵)	>۲۵	عمومی و تفصیلی
	مواد معدنی پرتوزا	چهار (بند د)	هر مساحتی	عمومی و تفصیلی
دو	مواد معدنی فلزی	دو (بند پ ۱)	>۲۵	عمومی و تفصیلی
	زغال سنگ	دو (بند پ ۵)	≤۲۵	عمومی و تفصیلی
	اکتشاف تکمیلی در معادن درجه ۱	-	-	تکمیلی
سه	مواد معدنی فلزی	دو (بند پ ۱)	≤۲۵	عمومی و تفصیلی
	مواد معدنی غیر فلزی - شیل های غیر نفتی - قیر - آسفالت طبیعی - پلمه سنگ ها و ماسه های آغشته به نفت و امثال آنها	دو (بند پ ردیف های ۲، ۳، ۴، بخشی از ۶ و ۷) بخشی از طبقه سه	هر مساحتی	عمومی و تفصیلی
	مواد معدنی پرتوزا	چهار (بند د)	هر مساحتی	پی جویی
	مواد معدنی طبقه یک برای کارخانه های سیمان و در مقیاس بزرگ برای مصارف خاص	یک	>۲۵	عمومی و تفصیلی
	اکتشاف تکمیلی در معادن درجه ۲	-	-	تکمیلی
چهار	سنگ های تزئینی و سایر فعالیت های اکتشافی و پی جویی غیر از موارد مندرج در درجه های ۱ و ۲ و ۳	دو (بند ۵)	-	عمومی و تفصیلی

تبصره ۱- چنانچه فعالیت اکتشاف تفصیلی با صدور پروانه ای جدا از پروانه اکتشاف عمومی انجام می شود، درجه فعالیت در کلیه موارد یک درجه افزایش می یابد.

۸-۳-۲- تهیه طرح اکتشاف : از جمله مدارک لازم برای دریافت پروانه اکتشاف، ارائه طرح اکتشاف است که باید با توجه به مرحله اکتشاف به وسیله مسئول تهیه طرح اکتشاف، تهیه شود.

جدول ۸-۳- مراحل گردش کار برای دریافت پروانه اکتشاف



اگر متقاضی صدور پروانه اکتشاف، تهیه طرح را به شخص حقوقی واجد صلاحیت فنی واگذار کند، مسئول تهیه طرح اکتشاف توسط مدیریت آن مؤسسه تعیین می‌شود. مسئول تهیه طرح اکتشاف باید با امضاء و مهور کردن گزارش طرح، مسئولیت تهیه آن را به عهده گیرد. طبق آیین‌نامه اجرایی قانون نظام مهندسی معدن، علاوه بر تهیه‌کننده طرح، مدیرعامل یا رئیس مؤسسه نیز باید با امضاء کردن گزارش طرح، مسئولیت آن را بپذیرد.

اگر طرح اکتشاف (به ویژه در مراحل تفصیلی) دارای بخش‌های مختلفی مانند ژئوفیزیک، ژئوشیمی و نظایر آنها باشد، هر بخش باید توسط متخصص مربوط، که وظیفه تهیه آن را به عهده دارد، به امضاء برسد و مهر شود. مجموع گزارش نیز باید توسط مسئول طرح امضاء و مهر شود.

در معادن در حال بهره‌برداری، مسئولیت تهیه طرح‌های اکتشاف حین استخراج، تفصیلی یا تکمیلی، به عهده شخصی است که طبق ساختار تشکیلاتی مؤسسه تعیین می‌شود.

۳-۳-۸- انتخاب و معرفی مسئول فنی عملیات اکتشاف: متقاضی اکتشاف مکلف است همراه با ارائه سایر مدارک، یک فرد ذیصلاح را نیز به عنوان مسئول فنی عملیات اکتشاف به سازمان صنعت، معدن و تجارت استان معرفی کند.

برای کلیه مراحل عملیات اکتشافی و همچنین برای اجرای طرح‌های اکتشافی ملی و استانی، تعیین و معرفی مسئول فنی عملیات اکتشاف به وزارت صنعت، معدن و تجارت الزامی است. برای آن دسته عملیات اکتشافی که در حین عملیات استخراجی معدن انجام می‌شود، معرفی مسئول فنی عملیات ضروری نیست.

۳-۳-۴- دریافت گواهی‌نامه کشف: پس از خاتمه عملیات اکتشاف، دارنده پروانه اکتشاف باید با مراجعه به سازمان صنعت، معدن و تجارت استان مربوطه، گواهی‌نامه کشف را دریافت کند. بدین منظور باید گزارش پایان عملیات اکتشاف تهیه و به سازمان ارائه شود. مراحل گردش کار برای دریافت این گواهی‌نامه در جدول ۳-۸ آمده است.

۸-۴- جمع‌آوری و مطالعه نقشه‌ها و گزارش‌های موجود

یکی از اساسی‌ترین کارهایی که قبل از شروع عملیات اکتشاف باید انجام گیرد، جمع‌آوری و مطالعه اطلاعات موجود درباره ناحیه است. اگرچه جمع‌آوری این اطلاعات در کشور ما به سادگی میسر نیست، با این وجود هیچ‌گونه کوششی را در این زمینه نباید فروگذار کرد زیرا قدم اول، هرچند هم که ناچیز باشد، کمک بزرگی در پیشبرد قدم‌های بعدی خواهد بود.

مهم‌ترین محل‌هایی که می‌توان اطلاعات را جمع‌آوری کرد عبارتند از:

(الف) سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

(ب) پایگاه داده‌های علوم زمین کشور

(ج) سازمان توسعه و نوسازی معادن (ایمیدرو)

(د) وزارت نفت

(ه) سازمان انرژی اتمی

(و) سازمان صنعت، معدن و تجارت استان‌ها

۸-۵- بازدید مقدماتی از ناحیه

قبل از شروع عملیات اکتشافی باید ناحیه را مورد بازدید مقدماتی قرار داد. این بازدید به دو منظور اساسی انجام می‌گیرد. یکی آن‌که وضعیت عمومی ناحیه از نزدیک مشاهده شود و از ساختار آن یک ایده کلی به دست آید. دیگر آن‌که امکانات رفت و آمد در ناحیه مشخص شود تا بتوان وسایط نقلیه لازم را پیش‌بینی کرد و نیز محل مناسبی را برای استقرار مرکز عملیات در نظر گرفت.

برای رفتن به ناحیه می‌توان از انواع اتومبیل‌های دو دیفرانسیل استفاده کرد و در صورتی که ناحیه صعب‌العبور باشد، می‌توان از هلی‌کوپتر کمک گرفت (برای بازدید مقدماتی ناحیه زغال‌خیز طبس، از هلی‌کوپتر استفاده شده است). در بعضی از مناطق هم اجباراً باید از چارپایان استفاده کرد.

بازدید مقدماتی را می‌توان به صورت مقطعی در جهت عمود بر امتداد عمومی گسترش مواد معدنی یا ساختار عمومی ناحیه انجام داد و برای شروع کار می‌توان از دره‌های عرضی موجود در ناحیه استفاده کرد. این روش، به ویژه در نواحی‌ای که با درخت یا خاک پوشیده شده‌اند، بسیار مناسب است و به توجیه عمومی ناحیه کمک می‌کند.

در بازدید مقدماتی، باید نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی و عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای موجود ناحیه را همراه داشت و نکات مهمی را که در این بازدید مشاهده می‌شود بر روی آنها پیاده کرد.

در همین مرحله می‌توان از قسمت‌هایی که ماده معدنی رخنمون دارد، نمونه اولیه تهیه کرد و به مطالعه و تجزیه آن پرداخت.

بازدید مقدماتی برای برنامه‌ریزی کارهای اکتشافی و برآورد زمان و هزینه‌های لازم بسیار سودمند است.

۸-۶- استقرار مرکز عملیات

پس از تکمیل جدول برنامه‌ریزی عملیات و قبل از شروع عملیات اصلی باید محلی را به‌عنوان مرکز عملیات انتخاب کرد تا هم به‌عنوان سکونت افراد و هم به‌عنوان دفتر انجام کارها از آن استفاده شود.

اگر ناحیه مورد کاوش نزدیک شهر یا آبادی باشد، می‌توان مرکز را در محل آبادی انتخاب کرد اما از آنجا که با توجه به وسعت کشور ما، در بسیاری موارد ناحیه مورد اکتشاف در نقاط دور دست قرار دارند، لذا معمولاً مرکز عملیات در محل‌های جدید و فاقد آبادی مستقر می‌شود.

مرکز عملیات را باید در نقطه‌ای انتخاب کرد که تقریباً مرکز ثقل هندسی ناحیه باشد تا از آن بتوان به سهولت به تمام نقاط دسترسی یافت. از سوی دیگر این مرکز باید در نقطه‌ای انتخاب شود که اولاً آب به اندازه کافی در دسترس بوده و ثانیاً وسعت کافی داشته باشد تا در مراحل بعدی اکتشاف و استخراج، فضای کافی برای احداث تأسیسات اداری، صنعتی و مسکونی مورد نیاز موجود باشد.

خودآزمایی

- ۱- مراحل صدور پروانه اکتشاف را نام ببرید.
- ۲- مراحل تهیه طرح اکتشاف را شرح دهید.
- ۳- تقسیم‌بندی مواد معدنی براساس قانون معادن را شرح دهید.
- ۴- گواهی‌نامه کشف را شرح دهید.
- ۵- نام سه سازمان را که باید برای تهیه نقشه‌ها و گزارش‌ها به آنها مراجعه کرد، نام ببرید.

اکتشافات ماهواره‌ای (دورسنجی)

هدف‌های رفتاری : در پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که :

- ۱- مؤلفه‌های دورسنجی را توضیح دهد.
- ۲- ماهواره‌های ویژه بررسی منابع زمینی را توضیح دهد.
- ۳- چگونگی ارسال اطلاعات از ماهواره به ایستگاه‌های زمین را شرح دهد.
- ۴- کاربرد داده‌های ماهواره در اکتشاف منابع معدنی را توضیح دهد.

۹-۱- آشنایی

از نظر کلی دورسنجی^{۱*} نوعی فناوری است که طی آن می‌توان از یک پدیده، اطلاعات فیزیکی و شیمیایی به دست آورد، بدون آنکه این پدیده، از نزدیک لمس شود. از دیدگاه اکتشاف، مقصود از دورسنجی فرآیندی است که طی آن با استفاده از تصاویری که به وسیله ماهواره‌های مستقر در مدار زمین تهیه می‌شود، و حاوی واکنش‌های بخش‌های مختلف زمین نسبت به امواج الکترومغناطیسی است که بر آنها می‌تابد، می‌توان پوسته زمین را از نظر وجود مواد معدنی خاص، ساختارهای ویژه تشکیل مواد معدنی و نیز ساختارهای تکتونیکی، مورد کاوش قرار داد.

۱- remote sensing

* در زبان فارسی از اصطلاح سنجنش از دور نیز برای این فناوری استفاده می‌شود.

در برخورد امواج الکترومغناطیسی با هر پدیده، سه فرآیند انعکاس، جذب و عبور انجام می‌گیرد که میزان هر یک، به طول موج انرژی تابیده و نیز خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن پدیده بستگی دارد. میزان انعکاس انرژی از هر پدیده واقع بر سطح زمین، تابعی از طول موج، خواص ملکولی و درون سلولی پدیده و سایر خصوصیات فیزیکی و ظاهری اشیاء مورد اندازه‌گیری است [۱۶].

مکانیسم دورسنجی بر مشاهده یک پدیده از طریق چشم‌هایی که در فضا قرار گرفته‌اند و به نام «چشمی در آسمان» موسوم‌اند، استوار است و از این نظر، با چشم انسان مشابهت دارد. تفاوت عمده دورسنجی با رؤیت به وسیله چشم را می‌توان به شرح زیر در نظر گرفت [۱۷]:

– چشم انسان برسکوی صورت قرار دارد، حال آنکه چشم آسمان بر روی یک ماهواره، که در ارتفاع ۷۰۰ تا ۹۰۰ کیلومتری سطح زمین قرار دارد، واقع است.

– قدرت دید چشم انسان ۳ تا ۷/۰ میکرون است در حالی که فناوری دورسنجی ۱ تا ۱۶ میکرون قدرت دید دارد.

– انسان یک جفت چشم دارد اما ماهواره‌ها ۴، ۷ یا ۱۱ چشم (به صورت دوربین) دارند که قادرند به تعداد چشم‌ها، ابعاد مختلف پدیده‌ها را شناسایی کنند.

مراحل مختلف دورسنجی را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

الف) استقرار ماهواره‌ها و سنجنده‌ها

ب) تهیه و ثبت اطلاعات

ج) تعبیر و تفسیر اطلاعات

ه) ارائه نتیجه به صورت نقشه یا داده‌های رقمی

فناوری دورسنجی در واقع تکنیک جمع‌آوری اطلاعات از راه دور است. منظور از اصطلاح راه دور، بدین معنی است که فرد، صدها کیلومتر از جسم و پدیده مورد بررسی دور و امکان تماس آن از نزدیک فراهم نباشد ولی بتواند اطلاعاتی در مورد پدیده مورد نظر به دست آورد. عکسبرداری هوایی در واقع نوعی دورسنجی است که برای تهیه نقشه توپوگرافی، نقشه‌های پوشش گیاهی، مطالعات زمین‌شناسی، کاربری اراضی و خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد.

امروزه برای تهیه این گونه نقشه‌ها نیز از تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شود و مطالعات زمین‌شناسی و اکتشاف مواد معدنی، مرهون فناوری دورسنجی است. تکنیک‌های دورسنجی به‌طور گسترده‌ای در جمع‌آوری اطلاعات و اندازه‌گیری‌ها به کار می‌رود. تصاویری که از این طریق تهیه می‌شود، برای رسم منحنی تراز نقشه‌های توپوگرافی به کار می‌رود. از هواپیما نیز برای مطالعات

دورسنجی استفاده می‌شود و طی آن، از تشعشع اشعه گاما و میدان مغناطیسی استفاده می‌کنند و به اکتشافات مواد معدنی و تهیه نقشه می‌پردازند.

با فناوری دورسنجی می‌توان پدیده‌های متغیر نسبت به زمان را مورد اندازه‌گیری قرار داد و به کمک آن از حوادثی مانند آتش‌سوزی جنگل‌های دور افتاده و لغزش زمین آگاهی یافت و نیز مناطق مرتفع و صعب‌العبور را مورد بررسی قرار داد. ماهواره‌های هواشناسی، دمای نقاط مختلف در سطح زمین و ارتفاعات بالای سطح زمین و سطح دریا را اندازه می‌گیرند و جریانات جوی و موقعیت مناطق پرفشار و کم فشار را مشخص می‌سازند و براساس آن، وضعیت آب و هوا و احتمال بارش در نقاط مختلف را پیش‌بینی می‌کنند.

از بررسی سطوح کلروفیل در نزدیکی سطح دریا می‌توان در مطالعات شیلات استفاده کرد. تعیین میزان محصولات کشاورزی با تصویربرداری متناوب و منظم در فصل مناسب با رشد نباتات انجام می‌گیرد و با این روش می‌توان مزارع کم محصول را مشخص کرد. سیستم دورسنجی توانایی آن را دارد که با سرعت زیاد به جمع‌آوری اطلاعات به صورت رقومی و نیز به تحلیل اطلاعات از یک منطقه وسیع بپردازد که این کار به جز استفاده از سیستم ماهواره‌ای میسر نیست.

به طور کلی یک سیستم دورسنجی مرکب از ۴ مؤلفه به شرح زیر است (شکل ۹-۱):

(الف) منبع انرژی: منبع انرژی به شکل امواج الکترومغناطیسی ممکن است طبیعی (مثل نور خورشید و یا امواج حرارتی منتشر از زمین) و یا مصنوعی باشد (مثل رادارهای مایکروویو)

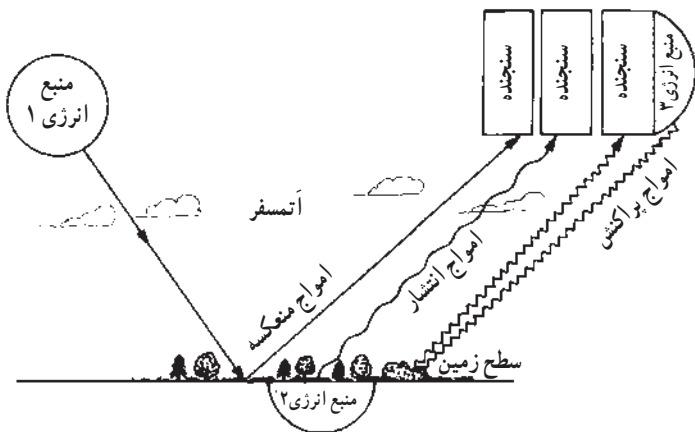
(ب) رفتار متقابل سطح زمین^۱: مقدار و ویژگی‌های تشعشعی که از زمین خارج و یا در سطح آن منعکس می‌شود، به مشخصات اجسامی که در سطح زمین قرار دارند، وابسته است.

(ج) رفتار متقابل آتمسفر: امواج الکترومغناطیسی که از آتمسفر عبور می‌کنند، در برخورد با آن اعوجاج و تفرق می‌یابند.

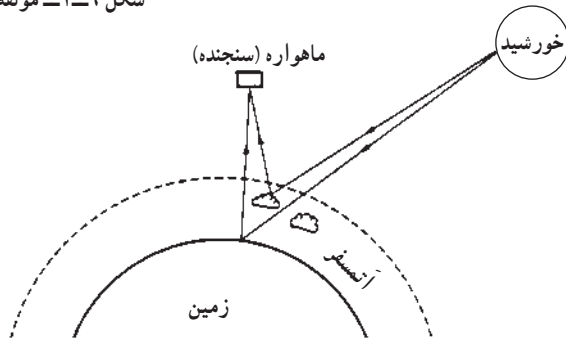
(د) سنجنده^۲: تشعشعات الکترومغناطیسی که تحت تأثیر رفتار متقابل سطح زمین و آتمسفر قرار گرفته‌اند، به وسیله سنجنده‌ها ثبت می‌شوند. سنجنده ممکن است یک رادیومتر و یا یک دوربین عکاسی باشد. از آنجا که نتیجه ثبت شده به وسیله سنجنده‌ها تابع خواص مواد موجود در سطح زمین است لذا با تعبیر و تفسیر نتایج می‌توان دریافت که چه نوع موادی باعث بروز این واکنش‌ها شده‌اند. نحوه عملکرد یک سیستم دورسنجی به طور ساده در شکل ۹-۲ نشان داده شده است.

۱_ earth surface interaction

۲_ sensor



شکل ۹-۱- مؤلفه‌های مختلف سیستم دورسنجی [۸۲]

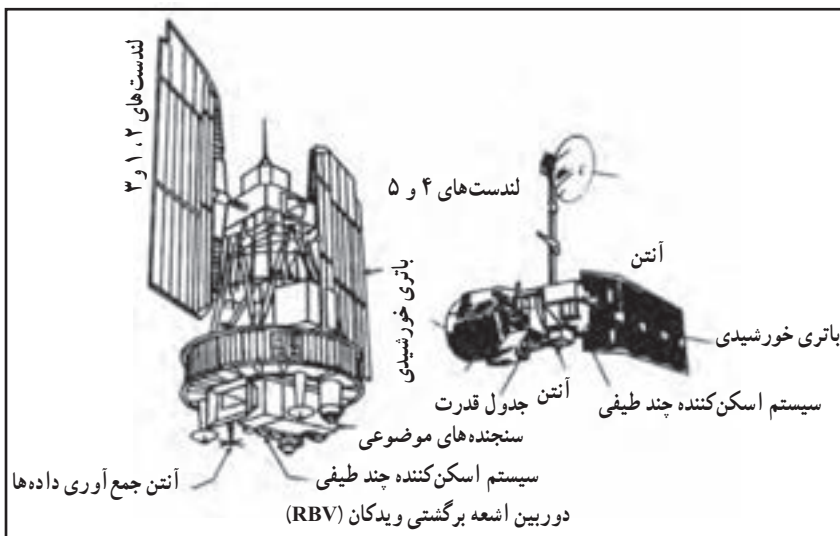


شکل ۹-۲- نمودار ساده یک سیستم دورسنجی [۱۶].

۹-۲- ماهواره‌های ویژه بررسی منابع زمین

ماهواره‌های ایالات متحده آمریکا تحت عنوان لندست شناخته می‌شوند و تاکنون ۷ ماهواره از این گروه به فضا پرتاب شده است که هر یک از آنها ضمن رفع نواقص ماهواره قبلی، از تکنیک‌های جدیدی نیز بهره می‌گیرند. ماهواره‌های لندست را به دو گروه عمده تحت عنوان نسل اول و دوم تقسیم می‌کنند: (شکل ۹-۳).

از جمله مهم‌ترین امتیازات این ماهواره، سهولت دستیابی به تصاویر حاصله از آن بدون محدودیت‌های سیاسی و امنیتی، نبود محدودیت‌های کپی رایت، ارزانی و کیفیت خوب تصاویر بود. این ماهواره در ژانویه سال ۱۹۷۸ میلادی از کار افتاد. لندست دو در ژانویه سال ۱۹۷۵ میلادی و قبل از آنکه لندست یک از کار بیفتد، به فضا پرتاب شد و تجهیزات آن مشابه لندست یک بود. این ماهواره در ماه جولای سال ۱۹۸۳ میلادی از کار افتاد.



شکل ۹-۳- لندست نسل اول [۱۸].

۹-۳- سنجنده‌ها^۱

مقصود از سنجنده‌ها، دستگاه‌هایی است که در ماهواره‌ها مستقر می‌شوند و قادرند سطح زمین در زیر ماهواره را نظاره کرده و اطلاعات را به صورت رقمی ضبط کنند. در واقع آنچه که سنجنده‌ها ثبت می‌کنند، اطلاعاتی از شدت و ضعف انرژی منعکسه از عوارض زمینی است. این اطلاعات پس از انجام بعضی تصحیحات، به صورت علائم رادیویی به زمین مخابره شده و به وسیله ایستگاه‌های زمینی مستقر در نقاط مختلف زمین، ضبط می‌شود.

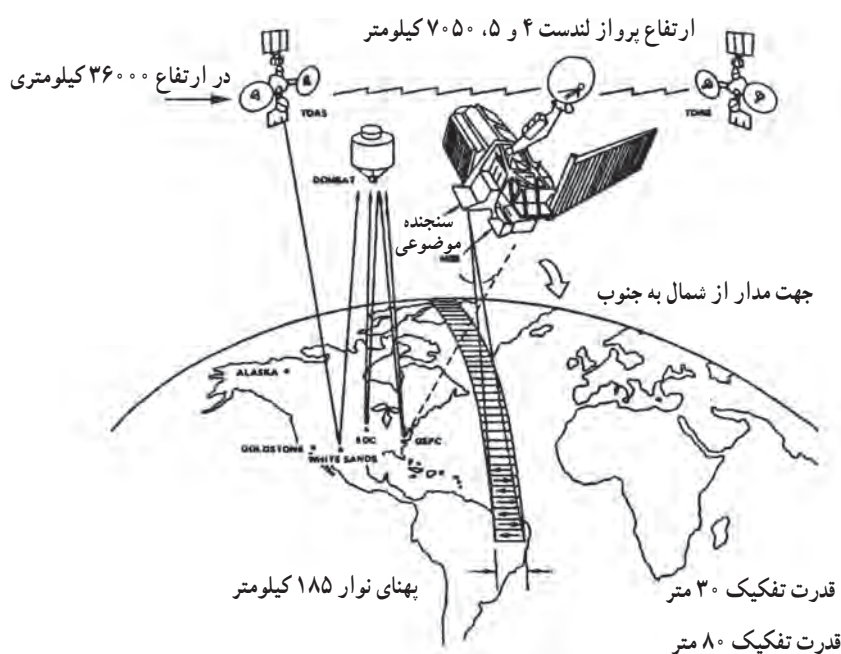
۹-۴- نحوه ارسال اطلاعات از ماهواره به ایستگاه‌های زمینی

اطلاعاتی که به وسیله سنجنده ماهواره‌ها ثبت شده است باید به ایستگاه‌های زمینی ارسال شود. نحوه ارسال اطلاعات در ماهواره‌های مختلف تا حدودی متفاوت است. در ماهواره‌های نسل اول یعنی لندست‌های ۱، ۲ و ۳، در مواردی که ماهواره در معرض دید ایستگاه‌های زمینی بود، اطلاعات مستقیماً مخابره و در مواردی که ماهواره در معرض دید ایستگاه‌ها واقع نبود، اطلاعات رقمی در سیستم ضبط ماهواره ثبت می‌شد. ظرفیت دستگاه ضبط برای اطلاعات حدود ۲۴ دقیقه بود و هنگامی

^۱ - sensor

که ماهواره در معرض دید ایستگاه‌های زمینی قرار می‌گرفت، اطلاعات ضبط شده را مخابره می‌کرد. بدین ترتیب، دستگاه ضبط تخلیه و برای ضبط مجدد آماده می‌شد.

در ماهواره‌های نسل دوم لندست یعنی ماهواره‌های لندست ۴ تا ۷، دستگاه ضبط تعبیه نشده بود و برای ارسال اطلاعات از سیستم ویژه‌ای^۱ استفاده می‌شد. در این سیستم، دو ماهواره مخابراتی پیش‌بینی شده بود که در ارتفاع ۳۶۰۰۰ کیلومتری بالای خط استوا مستقر شدند تا با توجه به فاصله ماهواره از خط استوا (ارتفاع ماهواره از زمین) و سرعت پیش‌بینی شده برای آنها، ماهواره‌ها حالتی ساکن نسبت به زمین داشته باشند (شکل ۹-۴).



شکل ۹-۴- نحوه ارسال اطلاعات ماهواره‌های لندست نسل ۲ [۸۸].

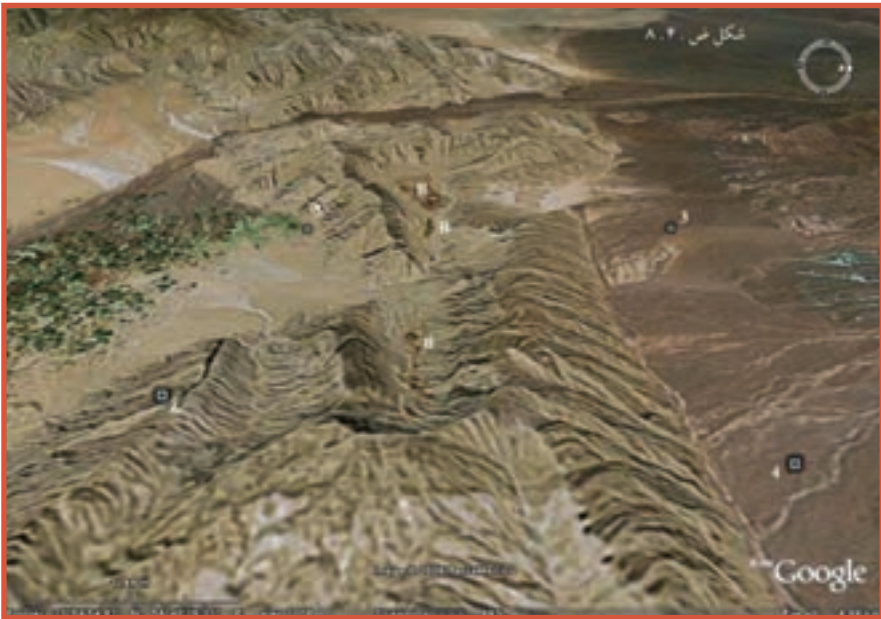
۹-۵- کاربرد داده‌های ماهواره‌ای در مطالعات اکتشافی

داده‌های ماهواره‌ای در موارد متعددی کاربرد دارند که از آن جمله می‌توان به شناسایی و حفظ منابع طبیعی، کشاورزی، آب‌شناسی، اقیانوس‌شناسی، شهرسازی، محیط زیست، و بسیاری موارد دیگر اشاره کرد ولی در این مبحث تنها به شرح موارد کاربرد آن در اکتشاف مواد معدنی بسنده می‌کنیم.

۱- Tracking and Data Relay Satellite System (TDRSS)

۹-۵-۱- زمین‌شناسی فیزیکی: تصاویر و داده‌های ماهواره‌ای کاربرد وسیعی در بررسی‌های زمین ریخت‌شناسی دارند. از آنجا که پدیده‌های زمین‌شناسی اغلب بزرگ مقیاس‌اند و ناحیه وسیعی را شامل می‌شوند و با توجه به این که تصاویر ماهواره‌ای مناطق وسیعی را پوشش می‌دهند لذا زمین‌شناسان به کمک آنها می‌توانند تعابیر خود را انجام دهند. شکل ۹-۵ تصویر ماهواره‌ای ناحیه‌ای در جنوب غرب ایران را که به وسیله ماهواره‌های لندست تهیه شده است نشان می‌دهد و در آن جزیره قشم، قسمتی از خلیج فارس و بخش‌هایی از کوهستان‌های (جنوب شرقی) کوه‌های زاگرس به تصویر کشیده شده‌اند. این تصویر محدوده‌ای به طول بیش از ۱۲۰ کیلومتر را تحت پوشش قرار داده است.

با بررسی این تصویر، زمین‌شناسان توانستند اطلاعات قابل توجهی از رنگ‌سازندها در طول موج مادون قرمز، لایه‌بندی، گدازه‌های آتشفشانی، مرز سازندهای مجاور و مقاومت سنگ‌ها در برابر فرسایش به دست آورند.



شکل ۹-۵- تصویر ماهواره‌ای سنجنده MSS لندست از جنوب غرب ایران

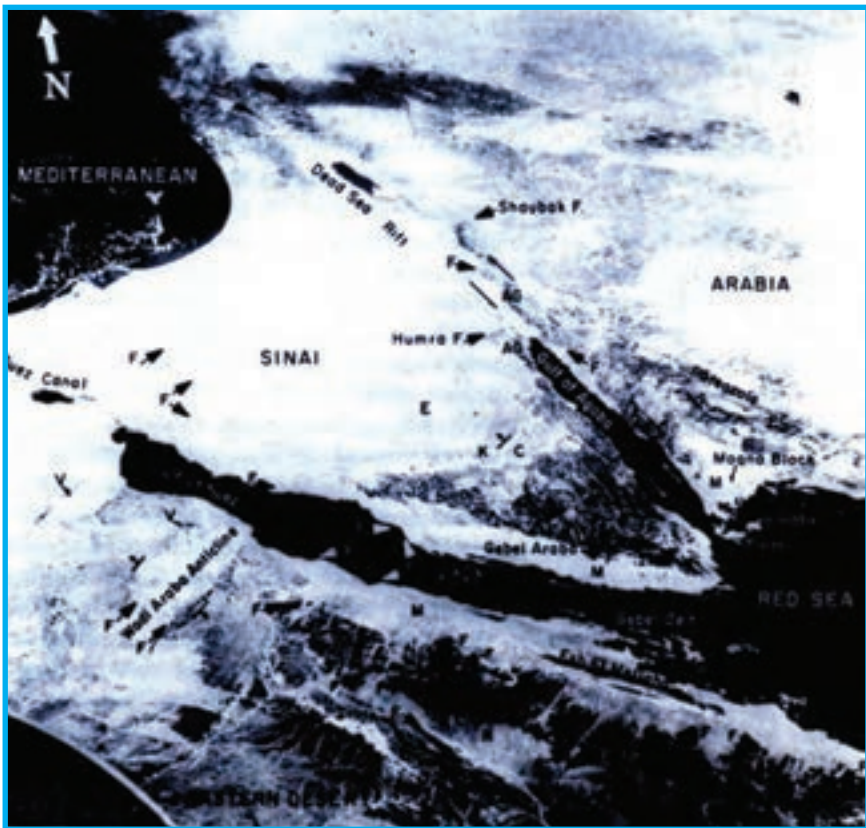
۹-۵-۲- سنگ‌شناسی: در اکثر تصاویر ماهواره‌های لندست، انواع مختلف سنگ‌های رسوبی، آذرین و دگرگونی را می‌توان شناسایی کرد. البته تشخیص نوع سنگ‌ها (به‌ویژه سنگ‌های رسوبی مثل

ماسه‌سنگ، سنگ آهک و نظایر آنها) مستلزم انجام بررسی‌های زمینی نیز هست. اختلاف طیفی سنگ‌های رسوبی چندان زیاد نیست و همین امر سبب اشکال در شناسایی آنها می‌شود.

در بعضی موارد می‌توان سنگ‌های مشخصی را که رخنمون گسترده‌ای دارند با استفاده از ویژگی‌های طیفی و نیز الگوهای مشخص توپوگرافی، تشخیص داد.

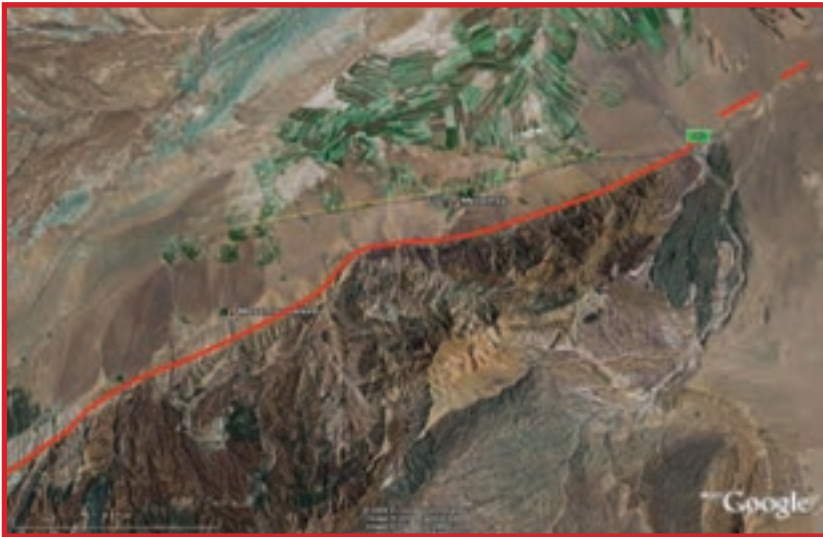
سنگ‌هایی را که دگرسان شده‌اند، در تصاویر ماهواره‌ای می‌توان به خوبی تشخیص داد.

۹-۵-۳- زمین ساخت: با بررسی سطح زمین از فاصله دور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، می‌توان ساختارهای مهم ناحیه را شناسایی کرد. به‌عنوان مثال، با مطالعه عکس ماهواره‌ای ناحیه واقع در محدوده، خلیج سوئز، دریای سرخ و خلیج عقبه (شکل ۹-۶)، علاوه بر اینکه اطلاعاتی در مورد وضعیت سنگ‌شناسی منطقه به دست آمد (براساس تفاوت رنگ سنگ‌ها در تصویر)، گسل‌های اصلی منطقه نیز شناسایی شد.



شکل ۹-۶- تصویر ماهواره‌ای از ناحیه خلیج سوئز، دریای سرخ و خلیج عقبه [۱۲۰].

به عنوان مثالی دیگر در این مورد، می توان از تصویر ماهواره لندست از محدوده شهر لس آنجلس ایالات متحده آمریکا نام برد (شکل ۹-۷). با بررسی این تصویر، مجموعه ای از گسل های فعال به خوبی قابل مشاهده است.



شکل ۹-۷- تصویر ماهواره لندست از محدوده شهرستان میامی که گسل میامی در آن مشخص است.

۹-۵-۴- اکتشاف به کمک گیاهان (ژئوبوتانی^۱): در بعضی موارد، انواع ویژه ای از گیاهان در مناطقی سبز می شوند که خاک آنها حاوی کانی ها و یا عناصر مشخصی باشد و گاه نیز، وجود کانی ها و عناصر خاص، تأثیر وارونه ای در رویش گیاهان دارد، یعنی باعث رشد ضعیف گیاه نسبت به سایر مناطق می شوند. آگاهی از ارتباط متقابل گیاهان و نوع عناصر و یا کانی ها، موضوع یک روش اکتشاف ژئوشیمیایی موسوم به ژئوبوتانی است که در فصل اکتشافات ژئوشیمیایی به آن خواهیم پرداخت. اگر چنین رابطه ای وجود داشته باشد، آنگاه با تعیین نوع گیاهان منطقه، با استفاده از تصاویر ماهواره ای، به ویژه در مناطق صعب العبور جنگلی، می توان ناحیه را اکتشاف کرد.

^۱- geobotany

خودآزمایی

- ۱- مؤلفه‌های یک سیستم دورسنجی را شرح دهید.
- ۲- وظیفه سنجنده‌ها چیست؟
- ۳- تفاوت لندست‌های نسل اول و دوم چیست؟
- ۴- سنجنده‌ها چه وظیفه‌ای دارند؟
- ۵- اطلاعات چگونه از ماهواره به ایستگاه‌های زمین می‌رسد؟
- ۶- کاربرد داده‌های ماهواره‌ای در زمین‌شناسی فیزیکی را شرح دهید.
- ۷- موارد استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در سنگ‌شناسی چیست؟

اکتشافات هواپردی

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که:

- ۱- عکس‌های هوایی و انواع آنها را نام ببرد.
- ۲- موارد کاربرد عکس‌های هوایی مختلف را توضیح دهد.
- ۳- نحوه مطالعه عکس‌های هوایی را بیان کند.
- ۴- اکتشافات ژئوفیزیکی هواپردی را تعریف کند.

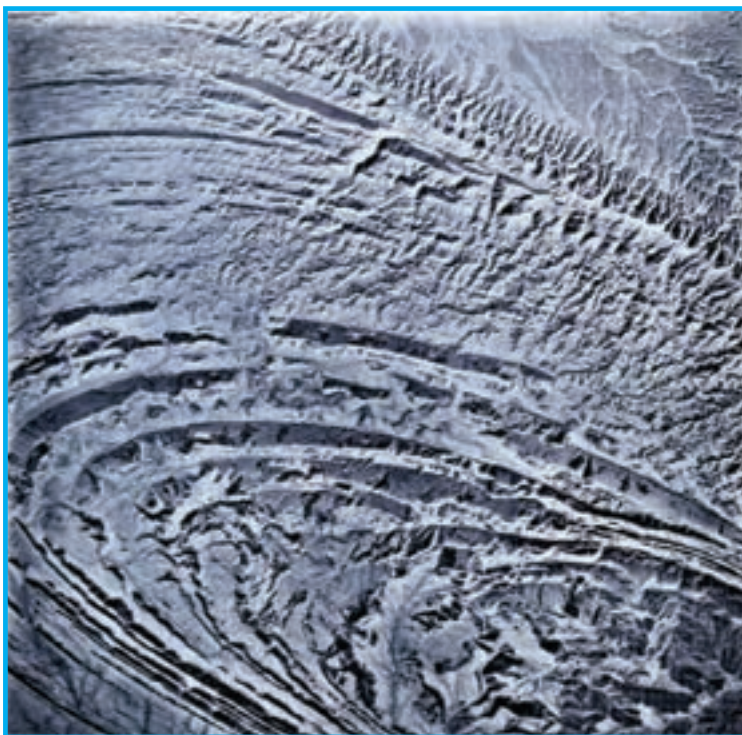
۱۰-۱- آشنایی

مقصود از اکتشافات هواپردی^۱ مجموعه بررسی‌هایی است که به کمک سنجنده‌های مستقر در هواپیما انجام می‌گیرد. در واقع تفاوت اساسی این رده از اکتشافات با اکتشافات ماهواره‌ای، ارتفاع کمتر سنجنده‌ها نسبت به ماهواره‌ها است.

۱۰-۲- عکس‌های هوایی

کاربرد عکس‌های هوایی در مراحل مختلف اکتشاف، به ویژه تهیه نقشه زمین‌شناسی و تحلیل ساختار منطقه از سال‌ها پیش مرسوم بوده است. با بررسی عکس‌های هوایی به آسانی می‌توان ساختار منطقه را شناسایی کرد (شکل ۱۰-۱).

۱- airborne



شکل ۱۰-۱- شناسایی یک ساختار تاقدیسی از یکسو متمایل، در سنگ‌های رسوبی به کمک عکس‌های هوایی [۱۸].

الف) عکس‌های هوایی سیاه و سفید: فیلم این عکس‌ها نسبت به طول موج نور مرئی حساس است و به نام فیلم‌هایی بانکروماتیک^۱ خوانده می‌شود. عکس‌های سیاه و سفید تمامی نقاط سطح زمین در دست است زیرا این عکس‌ها به منظور تهیه نقشه‌های توپوگرافی تهیه شده‌اند و بنابراین همه جا قابل تهیه‌اند. از جمله ویژگی‌های این عکس‌ها می‌توان از پایداری هندسی آنها نام برد که این ویژگی، این عکس‌ها را برای تهیه نقشه‌ها، به‌عنوان یک ابزار ایده‌آل درآورده است. از جمله خصوصیات دیگر، می‌توان از ارزانی و سهولت تهیه آنها نام برد.

ب) عکس‌های سیاه و سفید با استفاده از طول موج مادون قرمز نزدیک: این عکس‌ها از بسیاری جهات شبیه عکس‌های سیاه و سفید معمولی هستند و تفاوت عمده آنها حساسیت طیفی آنها است که به سوی ماورای طیف مرئی تا حد طول موج حدود یک میکرون یعنی محدوده مادون قرمز نزدیک گرایش دارد.

^۱ - panchromatic

این عکس‌ها با استفاده از فیلترهای مادون قرمز نزدیک تهیه می‌شوند و در بررسی مناطق کشاورزی، جنگل‌ها و نیز تشخیص رطوبت زمین‌های کشاورزی کاربرد دارند. همچنین از این عکس‌ها برای بررسی مرزهای زمین‌شناسی (در مواقعی که این تغییر مرزها با تغییر رطوبت سنگ و خاک همراه باشد)، گسترش تلماسه‌ها در خاک‌های مرطوب و شناسایی مناطق با فرسایش شدید خاک استفاده می‌شود [۱۸].

ج) عکس‌های هوایی رنگی: چشم انسان می‌تواند بیش از $20,000$ رنگ و سایه را در اشیاء رنگی مشاهده کند در صورتی که این امر در مورد اشیاء خاکستری به حدود 200 مورد کاهش می‌یابد. بنابراین واضح است که عکس‌های هوایی رنگی، اطلاعاتی به مراتب بیشتر از عکس‌های هوایی سیاه و سفید، به دست می‌دهند.

اگرچه هزینه عکسبرداری هوایی رنگی و متعاقب آن ظهور و ثبوت این عکس‌ها در مقایسه با انواع سیاه و سفید زیاد است، با این وجود، این عکس‌ها آنچنان کاربرد گسترده‌ای در کشاورزی، جنگل‌شناسی، زیست‌بوم‌شناسی، آب‌شناسی، زمین‌ریخت‌شناسی و زمین‌شناسی دارند که تهیه آنها کاملاً از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر است. این عکس‌ها، به ویژه در بررسی‌های ژئوبوتانی کاربرد گسترده‌ای یافته‌اند.

۱۰-۳- مطالعه عکس‌های هوایی

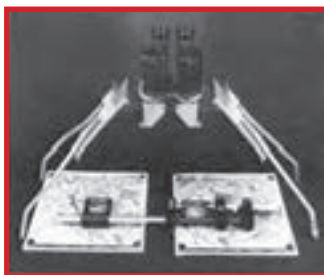
با استفاده از استریوسکوپ^۱ و یک زوج عکس که 60 درصد همپوشانی دارند، می‌توان منطقه‌ای را که از آن عکس گرفته شده است به صورت سه بعدی و برجسته مشاهده کرد. ساده‌ترین استریوسکوپ، نوع صحرائی آن است (شکل ۱۰-۲-الف) برای مطالعات دفتری از استریوسکوپ آینه‌دار (شکل ۱۰-۲-ب) و برای بررسی دقیق‌تر و گرفتن عکس، از استریوسکوپ دوربین‌دار (شکل ۱۰-۲-ج) استفاده می‌کنند. در شکل ۱۰-۲-د نوعی استریوسکوپ مجهز به سیستم اسکن کننده نیز نشان داده شده است.

با استفاده از استریوسکوپ و بررسی عکس‌های هوایی می‌توان اطلاعات با ارزشی از وضعیت زمین‌شناسی منطقه به دست آورد. به عنوان مثال، مطالعه عادی زوج عکس‌های شکل ۱۰-۳ که مربوط به منطقه‌ای در مکزیک است، اطلاعاتی در مورد سن گدازه‌های خروجی به دست نمی‌دهد، اما با مطالعه استریوسکویی، رابطه سنی گدازه‌ها و ارتفاعات به خوبی مشخص می‌شود.

۱- stereoscope



(ج)



(ب)

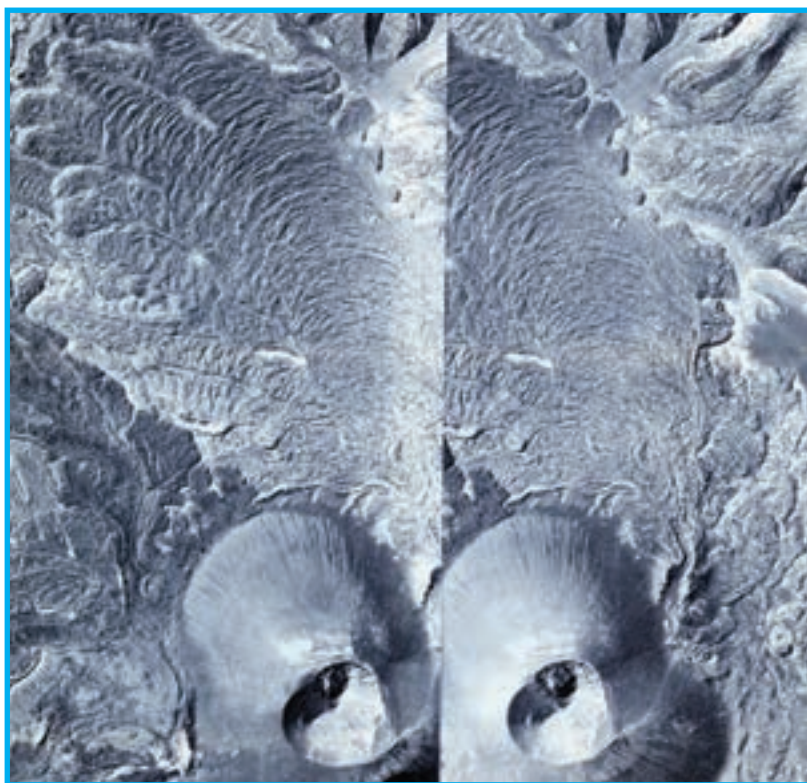


(الف)



(د)

شکل ۱۰-۲- انواع استریوسکوپ
برای بررسی عکس‌های هوایی [۱۸].



شکل ۱۰-۳- زوج عکس‌های استریوسکوپی منطقه‌ای در میکزیک [۱۸].

۱۰-۴- اکتشافات ژئوفیزیکی هوابردی^۱*

در فصل دوازدهم، اکتشافات ژئوفیزیکی را بررسی خواهیم کرد و خواهیم دید که در مواردی که تفاوت فیزیکی چشمگیری بین مواد معدنی و سنگ‌های اطراف آنها وجود داشته باشد، با روش‌های مختلف ژئوفیزیکی می‌توان این مواد را شناسایی کرد.

روش‌های ژئوفیزیکی انواع مختلفی دارند که از میان آنها روش‌های مغناطیس‌سنجی، الکترومغناطیسی و رادیواکتیویته را می‌توان به شیوه هوابردی نیز به کار برد. اگرچه در حالت کلی روش‌های هوابردی برای مطالعات اولیه و روش‌های زمینی برای کاوش‌های دقیق‌تر به کار می‌رود ولی مواردی نیز وجود دارد که از این هر دو روش، به خوبی می‌توان استفاده کرد.

روش‌های هوابردی مزایای فراوانی دارند که از جمله آنها می‌توان سرعت عملیات و در نتیجه ارزان‌تر بودن را نام برد. از سوی دیگر، در روش‌های هوابردی، می‌توان اندازه‌گیری را در مناطقی نظیر قله کوه‌ها، جنگل‌ها، باتلاق‌ها، دریاچه‌ها، یخچال‌های طبیعی و نواحی مشابه به آسانی انجام داد در صورتی که روش‌های زمینی، فوق‌العاده مشکل و یا اصولاً امکان‌ناپذیر است.

خودآزمایی

- ۱- اکتشافات هوابردی را شرح دهید.
- ۲- انواع عکس‌های هوایی را شرح دهید.
- ۳- عکس‌های هوایی را چگونه مطالعه می‌کنند؟

۱- airborne geophysics

* اگرچه از نظر مراحل اکتشاف، جای مبحث اکتشافات ژئوفیزیکی هوابردی در این فصل است اما برای آنکه هنرجویان قبلاً با مفاهیم ژئوفیزیکی آشنا شده باشند، بهتر است پس از خاتمه فصل اکتشافات ژئوفیزیکی تدریس شوند.

اکتشافات زمین‌شناسی

هدف‌های رفتاری : در پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که :

- ۱- نحوه برداشت مقاطع زمین‌شناسی را بیان کند.
- ۲- تعیین شیب و امتداد طبقات را توضیح دهد.
- ۳- نحوه برداشت طبقات را شرح دهد.
- ۴- مبانی تهیه نقشه زمین‌شناسی را بیان کند.
- ۵- جستجو و تعقیب رودخانه‌ها و خاک‌شویی را توضیح دهد.
- ۶- نحوه نمایش نتایج را بیان کند.

۱۱-۱- آشنایی

پس از آنکه با استفاده از معیارهای اکتشاف و نیز استفاده از نتایج اکتشافات ماهواره‌ای و هواپردی مشخص شد که در ناحیه‌ای پتانسیل مواد معدنی وجود دارد، ابتدا باید مطالعات زمین‌شناسی را به منظور شناسایی مستقیم مواد معدنی و یا ساختارهای مستعد وجود منابع و ذخایر معدنی، انجام داد.

مقصود از اکتشافات زمین‌شناسی، کلیه کارهایی است که در ارتباط با امور زمین‌شناسی در سطح زمین انجام می‌گیرد. گرچه در تمام مراحل اکتشاف، همواره کارهای زمین‌شناسی از جمله عملیات اساسی به شمار می‌آید، اما این قبیل کارها، در فصل‌های دیگر و مربوط به خود بررسی خواهند شد و در اینجا، فقط عملیاتی از قبیل برداشت و تهیه مقاطع، تجزیه و تحلیل ساختارهای زمین‌شناسی،

مطالعات کانی‌شناسی و موارد مشابه دیگر را مورد بررسی قرار می‌دهیم. باید توجه داشت که در عمل، انجام این گونه کارها الزاماً به ترتیبی که در این فصل می‌آید نیست، و ممکن است چندین مرحله، همزمان با هم انجام گیرد.

۱۱-۲- برداشت مقاطع زمین‌شناسی

یکی از مهم‌ترین عملیات اکتشافی، شناسایی سازندهای ناحیه و ارتباط آنها در مناطق مختلف است. بدین منظور، تعدادی مقطع زمین‌شناسی در جهت عمود بر امتداد عمومی ساختارهای منطقه تهیه می‌شود و آنگاه مقاطع قائم آنها را رسم و با یکدیگر مقایسه می‌کنند.

۱۱-۲-۱- انتخاب موقعیت مقاطع: اولین مرحله در این زمینه، انتخاب محل مقاطع است. در صورت وجود دره‌های عمیق، از آنها می‌توان به عنوان مقاطع مورد نظر استفاده کرد و در صورتی که در ناحیه چنین دره‌هایی وجود نداشته باشد، می‌توان مقاطع مزبور را حتی المقدور به فاصله‌های مساوی از هم (با توجه به وضعیت زمین‌شناسی ناحیه) انتخاب کرد. فاصله مقاطع به عواملی همچون ساده یا درهم بودن وضعیت زمین‌شناسی ناحیه و نیز تغییر وضعیت طبقات و سازندهای آن بستگی دارد. در صورتی که این تغییرات در ناحیه ناچیز باشد، فاصله مقاطع را می‌توان چند کیلومتر در نظر گرفت و در مورد تغییرات شدید، فاصله کمتر می‌شود و ممکن است به 50° و یا حتی 25° متر برسد. در حالت کلی می‌توان فاصله مقاطع را ۱ تا $1/5$ کیلومتر در نظر گرفت*.

پس از انتخاب موقعیت مقاطع، ابتدا باید جهت عمومی آنها را به گونه‌ای که حتی المقدور عمود بر امتداد طبقات و یا ساختار عمومی ناحیه باشد، در نظر گرفت و آنگاه آنها را برداشت کرد.

۱۱-۲-۲- تعیین شیب و امتداد طبقات: برداشت مقاطع را می‌توان از طبقاتی که در ابتدای محدوده منطقه قرار دارند، آغاز کرد. برای این کار، یک متر نواری یا فلزی چند ده متری را روی زمین و در امتداد مقطع پهن کرده و ضخامت طبقات مختلف را اندازه‌گیری می‌کنند. شیب سطح زمین و شیب طبقات نیز اندازه‌گیری و در هر مورد یادداشت می‌شود و در مرحله بعدی، با استفاده از فرمول‌ها یا جدول‌هایی که در این زمینه وجود دارد، ضخامت واقعی طبقه را به دست می‌آورند.

* در صورتی که در یک قسمت از ناحیه پدیده خاصی مثل پیچیدگی‌های زمین‌شناسی، احتمال وجود ماده معدنی و نظایر آن وجود داشته باشد، فاصله مقاطع را باید نزدیک‌تر به هم، انتخاب کرد.

امتداد لایه به عنوان فصل مشترک آن با یک صفحه افقی تعریف می‌شود. این فصل مشترک، یک خط افقی است که برای مشخص کردن آن، زاویه آن را با امتداد شمال مغناطیسی محل اندازه می‌گیرند و آن را زاویه امتداد، یا به طور ساده، امتداد لایه^۱ می‌نامند. بدین ترتیب، لایه‌هایی که امتداد شرقی غربی داشته باشند زاویه امتدادشان ۹۰° درجه است و آنهایی که امتداد شمالی جنوبی دارند، زاویه صفر درجه خواهند داشت. امتداد لایه‌های غیرمشخص، بین صفر تا ۹۰° درجه شمال شرقی یا شمال غربی تغییر می‌کند. اگر زاویه امتداد لایه با شمال در جهت شرق مثلاً ۳۰° درجه باشد، آن را به صورت زیر نشان می‌دهند:

$$N30^{\circ}E \quad (1-11)$$

زاویه خط بزرگ‌ترین شیب هر لایه با صفحه افقی را شیب^۲ آن صفحه می‌گویند. برای مشخص کردن صفحه، علاوه بر زاویه شیب، جهت شیب آن را نیز باید تعیین کرد. مثلاً اگر لایه‌ای در جهت شمال غرب، ۴۰° درجه شیب داشته باشد، زاویه شیب آن را به صورت زیر نشان می‌دهند:

$$40^{\circ}NW < \quad (2-11)$$

بنابراین، شیب و امتداد لایه‌ای که امتدادش ۳۰° درجه به سمت شمال شرق و شیبش ۴۰° درجه به سوی شمال غرب باشد، به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$N30^{\circ}E < 40^{\circ}NW \quad (3-11)$$

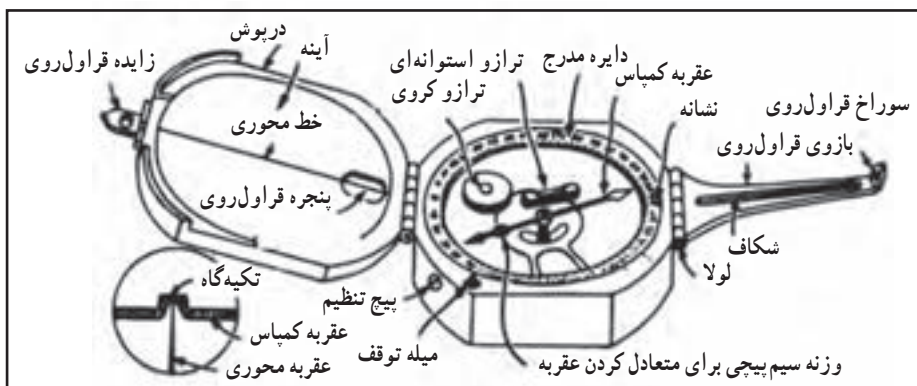
برای اندازه‌گیری شیب و امتداد طبقات، از قطب‌نما یا کمپاس استفاده می‌کنند که قسمت‌های مختلف آن در شکل ۱-۱۱ نشان داده شده است.

برای اندازه‌گیری امتداد لایه، کمپاس را مطابق شکل ۱-۱۱-۲ الف در سطح لایه قرار می‌دهند و آنقدر آن را بالا و پائین می‌برند تا تراز دستگاه، حالت افقی را نشان دهد و در این حالت، زاویه‌ای را که عقربه شمال کمپاس در روی صفحه مدرج آن نشان می‌دهد، قرائت می‌کنند. این زاویه، امتداد لایه را به دست می‌دهد.

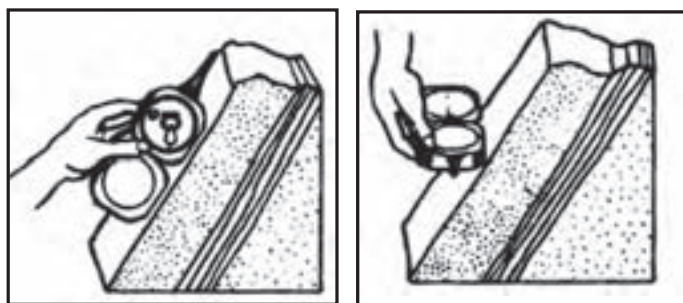
نحوه اندازه‌گیری شیب لایه به وسیله کمپاس، در شکل ۱-۱۱-۲ ب نشان داده شده است. مطابق شکل، لبه کمپاس را در امتداد خط بزرگ‌ترین شیب صفحه قرار می‌دهند و شیب سنج دستگاه را آن قدر می‌چرخانند تا تراز استوانه‌ای آن، حالت افقی را نشان دهد. عددی که به وسیله ورنیه شیب‌سنج قرائت می‌شود، شیب لایه را به دست می‌دهد.

۱- strike

۲- dip



شکل ۱۱-۱- کمپاس برای اندازه گیری شیب و امتداد طبقات [۲۲]



ب- اندازه گیری شیب طبقه

الف- اندازه گیری امتداد طبقه

شکل ۱۱-۲- اندازه گیری شیب و امتداد لایه ها به وسیله کمپاس [۲۲].

۱۱-۲-۳- برداشت طبقات: مشخصات ظاهری طبقات از قبیل جنس، اندازه دانه ها، فرم دانه بندی، شکل دانه ها، رنگ در مقطع هوا خورده و در شکست تازه، وجود فسیل و آثار گیاهی و بالاخره تمام آنچه را که به وسیله چشم و ذره بین می توان تشخیص داد، مطالعه و یادداشت می شود. همچنین پدیده هایی از قبیل، گسل، درزه، چین خوردگی و نظایر آنها نیز در صورت وجود ثبت می شود.

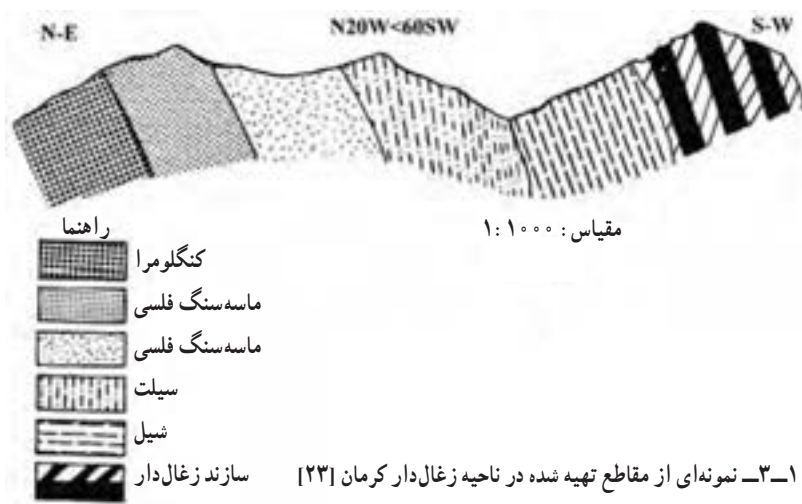
برای درج اطلاعات یاد شده می توان از دفاتر جدول بندی شده، مطابق آنچه در جدول ۱۲-۱ نشان داده شده است استفاده کرد.

جدول ۱۱-۱- فرم یادداشت مشخصات طبقات در سرزمین [۲۳].

مشخصات	ضخامت واقعی	شیب سطح زمین	شیب و امتداد طبقات	ضخامت ظاهری متر	فاصله روی متر		ردیف
					تا	از	
ماسه سنگ دارای کوارتز و میکا، دانه ریز، اندازه دانه‌ها مساوی، دارای شکستگی‌های زیاد، رنگ در مقطع هواخورده خاکستری		۱۵NE	$N50^{\circ}W < 4^{\circ}NE$	۳/۲۵	۳/۲۵	۰	۱
شیل دارای شکستگی‌های زیاد، رنگ در مقطع هواخورده خاکستری روشن، در مقطع تازه تیره، دارای لایه بندی نازک، حاوی کنکریون‌های به قطر تا ۵ سانتی متر و به شکل بیضوی		۱۵NE	$N51^{\circ}W < 4^{\circ}NE$	۰/۷۵	۴	۳/۲۵	۲

۱۱-۲-۴- رسم مقطع : پس از آنکه تمام طول مقطع به روش یاد شده برداشت شد، وضعیت

ظاهری مقطع رسم می‌شود. نمونه‌ای از این مقاطع که در ناحیه کرمان برداشت شده در شکل ۱۱-۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۳- نمونه‌ای از مقاطع تهیه شده در ناحیه زغال‌دار کرمان [۲۳]

۱۱-۲-۵- تفکیک و نامگذاری سازندها* و بخش‌های مختلف: پس از اینکه بهترین

ارتباط ممکن بین مقاطع قائم مختلف به دست آمد، باید با توجه به خواص سنگ‌شناسی، چینه‌شناسی و فسیل‌شناسی مجموعه سنگ‌های مختلف، آنها را به بخش‌های مجزا تفکیک و نامگذاری کرد. البته سازندهای مختلف در سطح کشور تقسیم‌بندی و نامگذاری شده است. به عنوان مثال سازند شمشک که زغال‌سنگ‌های ایران عمدتاً در آن متمرکزاند، در سطح کشور به خوبی مشخص شده است، اما هدف از تقسیم‌بندی مورد بحث آن است که مثلاً سازند شمشک بسته به مشخصات قسمت‌های مختلف، به بخش‌های جزئی‌تری تفکیک و نامگذاری شود. از آنجا که مطالعات زمین‌شناسی در مراحل مختلف اکتشاف در مقیاس‌های متفاوت انجام می‌گیرد لذا انتخاب سازند و یا بخش‌ها نیز در مراحل مختلف متفاوت است. به عنوان مثال در مراحل شناسایی و پی‌جویی ممکن است همان سازندهای کشوری را به کاربرد. نکته دیگری که باید به آن توجه داشت آن است که انتخاب سازندها و بخش‌ها طی این مراحل، یک کار صرفاً علمی نیست بلکه قسمت‌هایی از طبقات که حاوی مواد معدنی است طبیعتاً اهمیت بیشتری دارد و حتی در مواردی که این قسمت‌ها از نقطه‌نظر چینه‌شناسی چندان تفاوتی هم با سنگ‌های اطراف نداشته باشند، باز هم به عنوان یک بخش مجزا منظور می‌شوند.

۱۱-۳- تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی

یکی از مهم‌ترین و اصولی‌ترین عملیات مراحل مختلف اکتشاف، تهیه نقشه زمین‌شناسی ناحیه است. نقشه زمین‌شناسی، نه تنها برای نمایش وضعیت زمین‌شناسی ناحیه ضروری است، بلکه نقشه مبنای سایر عملیات اکتشافی از قبیل کاوش‌های ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی نیز هست زیرا هیچ‌گونه عملیات موفقیت‌آمیز ژئوفیزیکی یا ژئوشیمیایی را نمی‌توان انجام داد مگر آنکه قبلاً نقشه زمین‌شناسی با مقیاسی مناسب تهیه شود.

نقشه زمین‌شناسی به دو منظور اساسی زیر می‌شود:

الف) تعیین وضعیت زمین‌شناسی ناحیه از قبیل جهت عمومی ساختارهای ناحیه، زمین ساخت کلی، وضعیت سنگ‌شناسی و فرآیندهای کانی‌سازی و مسایل مشابه آن. در این مرحله باید ارتباط زمین‌شناسی مناطق مختلف یک ناحیه نسبت به هم به طور دقیق روشن شود. به عبارت دیگر باید مشخص کرد که آیا منطقه الف و منطقه ب که در دو نقطه مختلف ناحیه واقع شده‌اند، در امتداد هم‌اند،

* مجموعه سنگ‌هایی را که خواص سنگ‌شناسی، چینه‌شناسی و فسیل‌شناسی مشترکی داشته باشند، به نام سازند می‌نامند.

دامنه‌های چین واحدی هستند، قطعات موجود در طرفین یک گسل‌اند و یا اینکه دو قسمت مجزایند و به هم ارتباطی ندارند. فقط پس از این مرحله است که مناطق مختلف یک ناحیه را می‌توان به طور مجزا مورد اکتشاف قرار داد و از نتایج یک منطقه در سایر مناطق استفاده کرد.

ب) ارائه نقشه مبنا برای سایر عملیات اکتشافی و بنابراین باید با توجه به نوع عملیات اکتشافی، مقیاس نقشه و نیز دقت عمل، آن را تعیین کرد.

بدیهی است در صورتی که نقشه زمین‌شناسی ناحیه قبلاً تهیه شده و مقیاس و دقت عمل آن برای مرحله اکتشاف مورد نظر مناسب باشد، می‌توان آن را به عنوان نقشه زمین‌شناسی آن مرحله مورد استفاده قرار داد و از تهیه نقشه جدید صرف‌نظر کرد.

تهیه نقشه زمین‌شناسی به عهده زمین‌شناسان با تجربه است و نیاز به تجربه زیادی دارد که از شرح جزئیات آن صرف‌نظر می‌شود.

۱۱-۴- جستجو و تعقیب رودخانه‌ها^۱ و خاک شویی^۲

گرچه این روش بسیار قدیمی و مربوط به قرن هیجدهم میلادی است ولی هم اکنون نیز در کاوش‌های زمین‌شناسی، روش ارزنده‌ای به شمار می‌آید.

۱۱-۴-۱- مبانی روش: اصول کار بدین ترتیب است که براساس یک برنامه منظم، از رسوبات کناره و بستر رودخانه‌ها، جویبارها و مسیل‌ها نمونه‌گیری و آنها را خاک‌شویی می‌کنند. آنگاه باقیمانده خاک‌شویی را که به نام «تغلیظ شده» موسوم است، به روش‌های مختلف مطالعه و کانی‌ها و عناصر موجود در آنها را تعیین می‌کنند. اگر بعضی از نمونه‌ها حاوی مقدار قابل توجهی کانی یا عنصر مورد نظر باشند، با تداوم نمونه‌گیری و مطالعه آنها، می‌توان به محل اصلی کانسار دست یافت. روش تعقیب بستر رودخانه‌ها، فقط در مورد آن دسته از کانی‌ها مفید است که وزن مخصوص و یا مقاومت بالایی دارند.

در مجاورت رخنمون بی‌سنگ‌ها^۳، کانی‌های مختلف از جمله سولفیدهای ناپایدار را می‌توان در محصولات خاک‌شویی شده و تغلیظ یافته مشاهده کرد. بنابراین، با استفاده از روش خاک‌شویی، در بعضی موارد می‌توان به محل کانسارهای سولفیدی نیز دست یافت. امکان استفاده از روش خاک‌شویی به منظور اکتشاف کانسار به عوامل مختلف و متنوع از قبیل مرحله فرسایش و شیب دره، آب و هوا، وضعیت پستی و بلندی، شیب دامنه‌ها، استحکام، وزن مخصوص مواد معدنی و بسیاری عوامل دیگر بستگی دارد.

۱- river float tracing

۲- panning

۳- bed rock

۱۱-۴-۲- موارد کاربرد : جستجوی رودخانه‌ها را در مراحل مختلف اکتشاف از مرحله شناسایی و در مقیاس‌های کوچک تا مرحله اکتشاف تفصیلی می‌توان به کار برد ولی طبیعی است که مسایل مطروحه در هر مرحله متفاوت است [۲۴].

در مواردی که عملیات اکتشافی در مقیاس کوچک انجام می‌شود، فواصل نمونه‌برداری بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر است و به کمک این عملیات می‌توان محدوده مناطق امیدبخش را بر روی نقشه مشخص ساخت، در صورتی که به هنگام کار در مقیاس بزرگ فواصل نمونه‌برداری ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر است و به کمک این عملیات می‌توان محدوده کانسار را تعیین کرد [۲۴].

۱۱-۴-۳- نمونه‌برداری : به هنگام کار در مقیاس دقیق، نه تنها از تمام جویبارها و رودخانه‌های ناحیه نمونه‌برداری می‌شود، بلکه تمام گودال‌ها، قنوت و به‌طور کلی پدیده‌های نظیر آنها مطالعه شده و علاوه بر آن، چاهک‌ها و گمانه‌هایی نیز حفر و از آنها نمونه‌برداری می‌شود. به هنگام نمونه‌برداری از کف رودخانه‌ها، علاوه بر نمونه‌گیری منظم، که به فواصل معین انجام می‌شود، قبل و بعد از هر انشعاب رودخانه نیز باید نمونه‌گیری کرد زیرا با مطالعه و مقایسه مواد معدنی در این نمونه‌ها، می‌توان جهت کلی ورود این مواد به رودخانه را به دست آورد.



رسوبات بستر (الف)



(ب)

رس و سیلنت

رسوبات گیاهی

قلوه سنگ، شن و ماسه

توده ماسه

یکی از مسایل مهمی که در مورد نمونه‌گیری وجود دارد، تعیین فاصله نمونه‌برداری است. رودخانه‌ها را از نظر تکامل فرسایشی به مراحل اولیه و بلوغ تقسیم می‌کنند. در مراحل اولیه، رودخانه از نقطه نظر فرسایش فعال و در حال تعریض و عمیق کردن بستر خود است (شکل ۱۱-۴-الف) در صورتی که در مرحله بلوغ^۱ وضعیت نسبتاً ثابتی پیدا می‌کند (شکل ۱۱-۴-ب).

شکل ۱۱-۴- مراحل اولیه و بلوغ بستر رودخانه [۲۴].

۱- maturity

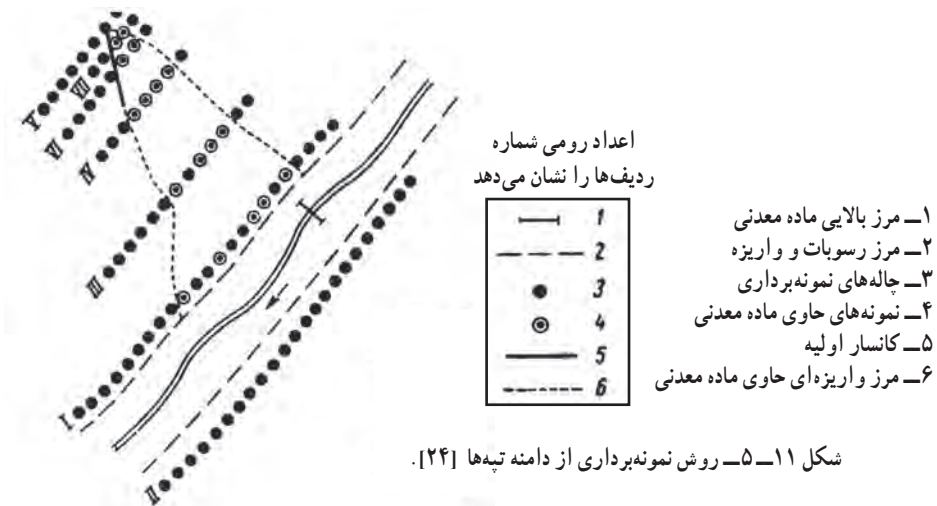
مهم‌ترین عامل در مورد نمونه‌برداری از رودخانه‌های نوع اول، فصل نمونه‌گیری و میزان و طبیعت بارش است. مثلاً فصل سیلابی از این نقطه‌نظر بی‌فایده است و نمونه‌گیری را در مواقعی باید انجام داد که پس از کاهش سریع آب رودخانه، آب آن افزایش یافته باشد زیرا در این حالت رسوبات بستر رودخانه غنی از کانی‌های سنگین است [۲۴].

در مورد رودخانه‌های نوع دوم، از کف گودال‌ها و جوی‌های حاصله از آب باران و نیز از محل تجمع قطعه سنگ‌های انبار شده و در پاره‌ای موارد، از کف چمن‌های طبیعی کنار رودخانه نمونه گرفته می‌شود.

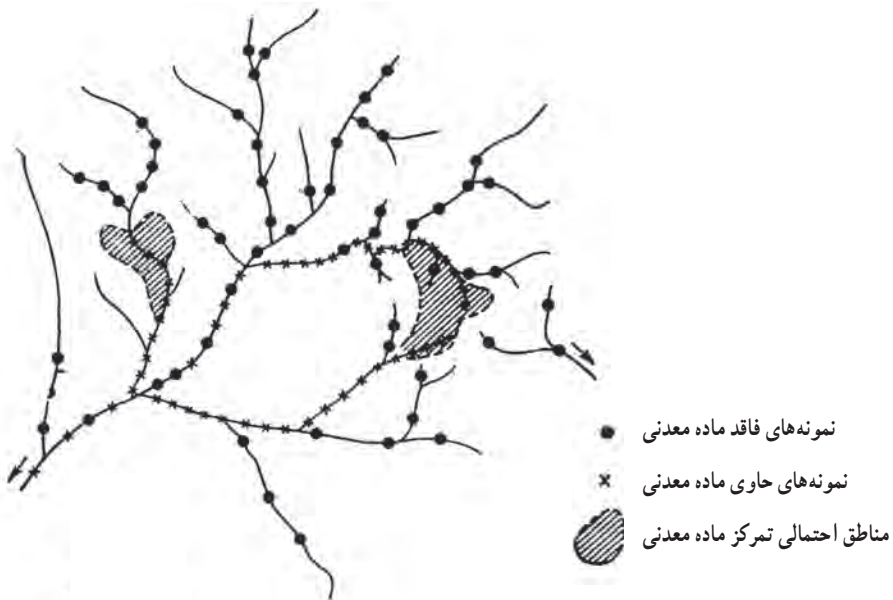
برای تهیه نمونه‌های واقعی در مورد رودخانه‌های عریض، باید ردیف‌های منظمی از گودال‌های نسبتاً عمیق در عرض آن حفر و از آنها نمونه‌برداری کرد. به‌طور کلی، نمونه را باید از قسمت‌هایی از رودخانه انتخاب کرد که سرعت آن به عللی کم می‌شود و احتمال تمرکز مواد معدنی در آنجا بیشتر است.

هنگامی که اکتشاف در مقیاس دقیق انجام می‌گیرد، باید واریزه‌های دامنه تپه‌ها را نیز مورد مطالعه و بررسی دقیق قرار داد و به ویژه قسمت‌هایی را که امید تمرکز مواد معدنی می‌رود، دقیق‌تر مطالعه کرد.

به هنگام نمونه‌برداری از دامنه تپه‌ها، باید به فواصل ۵۰ تا ۲۰۰ متر در طول شیب تپه، یک ردیف نمونه‌گیری در امتداد خط تراز تپه در نظر گرفت و بر روی این ردیف‌ها، نمونه‌برداری را به فاصله حدود ۲۰ متر انجام داد (شکل ۱۱-۵). بدین ترتیب، با مطالعه و بررسی نمونه‌ها، می‌توان محدوده کانسار را مشخص ساخت. عمق چاله‌های نمونه‌برداری حدود ۶۰ تا ۸۰ سانتیمتر است [۲۴].



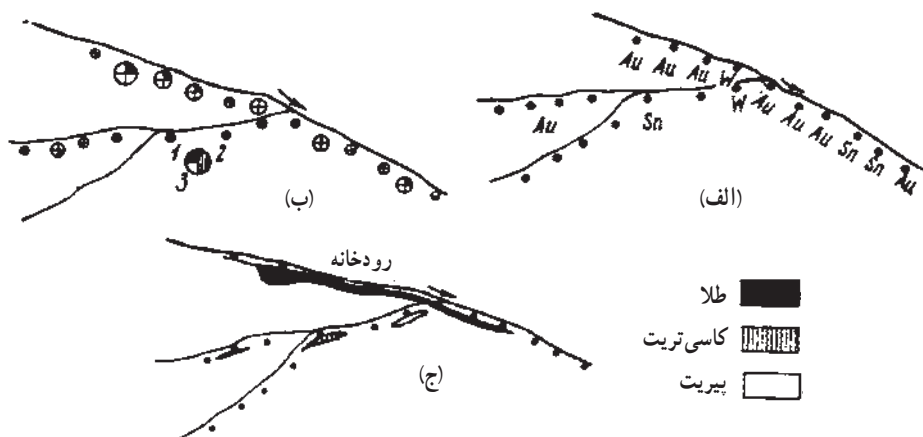
۱۱-۴-۴- نحوه نمایش و تعبیر و تفسیر داده‌ها: پس از بررسی نمونه‌ها و تعیین نوع و میزان کانی یا عناصر آنها، باید داده‌ها را بر روی نقشه پیاده کرد و با تحلیل آنها، موقعیت کانسار را مشخص ساخت. در این مورد به عنوان نقشه مینا، می‌توان از نقشه‌های توپوگرافی و در صورت امکان، نقشه‌های زمین‌شناسی محل استفاده کرد. برای نمایش داده‌ها در روی نقشه، چندین روش وجود دارد. یکی از متداول‌ترین روش‌ها آن است که نمونه‌های حاوی و فاقد کانی یا ماده معدنی مورد نظر را با دو علامت مختلف نشان می‌دهند. به عنوان مثال در شکل ۱۱-۶ نمونه‌های فاقد و حاوی ماده معدنی به ترتیب با شماره‌های ۱ و ۲ نشان داده شده و به کمک آنها، مناطقی که احتمال وجود ماده معدنی در آنجا می‌رود، با علامت هاشور مشخص شده است.



شکل ۱۱-۶- نحوه نمایش داده‌ها در روی نقشه [۲۴]

ممکن است مستقیماً ماده معدنی یا عناصر مورد نظر در روی نقشه نوشته شود (شکل ۱۱-۷- الف). روش دیگر، استفاده از دایره‌های کوچکی است که قطر آنها متناسب با میزان ماده معدنی موجود در نمونه است (شکل ۱۱-۷- ب). بسته به مقدار مواد معدنی، دایره را به چند قسمت تقسیم و هر قسمت را با علامت ماده مورد نظر پر می‌کنند.

روش دیگر در این زمینه، رسم نوارهایی به رنگ‌های مختلف (بسته به نوع ماده معدنی) و به عرض متفاوت (بسته به مقدار آنها) است که در محل‌های نمونه برداری رسم می‌شود (شکل ۱۱-۷- ج).



شکل ۱۱-۷- روش‌های مختلف نمایش داده‌ها در روی نقشه [۶]

در پی جویی مواد معدنی به روش خاک‌شویی، باید توجه داشت که مواد معدنی، بسته به شکل و ابعاد دانه‌هایشان، به روش‌های مختلف در رودخانه حمل می‌شوند. مثلاً تعدادی از آنها به حالت شناور در آب رودخانه حمل می‌شوند و تعدادی نیز در کف رودخانه می‌غلطند. بدیهی است گروه اول ممکن است تا مسافت طولانی حمل شوند و سپس رسوب کنند در صورتی که فاصله حمل و نقل دسته دوم، چندان زیاد نیست. از سوی دیگر، قطعات ماده معدنی در طول حمل و نقل، بسته به مشخصاتشان، از نقطه نظر شکل و اندازه نیز تغییراتی را متحمل می‌شوند.

ذرات طلا در ضمن حمل، نسبتاً درشت باقی می‌مانند و صاف و پهن می‌شوند در صورتی که قطعات کاسی تریت، خرد می‌شوند و شکل بلورین خود را از دست می‌دهند. همچنین قطعات کاسی تریت بیش از ۵ تا ۶ کیلومتر نمی‌توانند از محل اولیه خود دور شوند، در صورتی که الماس و کانی‌های همراه آن، ممکن است تا کیلومترها حمل شوند.

خودآزمایی

- ۱- موقعیت مقاطع برچه اساسی انتخاب می‌شود.
- ۲- شیب و امتداد طبقات را چگونه اندازه می‌گیرند.
- ۳- کاربرد کمپاس را شرح دهید.
- ۴- در برداشت مقاطع به چه مواردی باید توجه کرد.
- ۵- دو هدف اصلی از تهیه نقشه زمین‌شناسی چیست.
- ۶- موارد کاربرد روش جستجو و تعقیب رودخانه‌ها را شرح دهید.
- ۷- نحوه نمونه‌برداری در روش جستجو و تعقیب رودخانه‌ها را شرح دهید.
- ۸- نتایج حاصل از روش جستجو و تعقیب رودخانه‌ها چگونه در نقشه نشان داده می‌شود.

اکتشافات ژئوفیزیکی

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که:

- ۱- روش‌های مختلف ژئوفیزیکی را توضیح دهد.
- ۲- روش گرانی‌سنجی و کاربرد آن را شرح دهد.
- ۳- روش مغناطیس‌سنجی و کاربرد آن را شرح دهد.
- ۴- روش‌های الکتریکی شامل روش‌های پتانسیل خودزاد، مقاومت مخصوص و پلاریزاسیون القایی را بیان کند.

۱۲-۱- آشنایی

ژئوفیزیک را می‌توان به‌عنوان علم بررسی و مطالعه خصوصیات فیزیکی زمین تعریف کرد. با این تعریف، مطالعاتی نظیر بررسی وضعیت جو، مطالعه الکتریسیته هوا، بررسی یونسفر و بسیاری مسایل نظیر آن، نیز در این علم جای می‌گیرند.

شاخه‌ای از این رشته که به نام ژئوفیزیک عملی^۱ موسوم و در حقیقت موضوع این فصل کتاب است، به آن دسته از مطالعاتی گفته می‌شود که با استفاده از مشخصات فیزیکی مختلف زمین، بتوان منابع معدنی را اکتشاف کرد. در روش‌های مختلفی که آنها را بررسی خواهیم کرد، یکی از خصوصیات فیزیکی زمین (مثل مغناطیس، شتاب جاذبه و ...) در نقاط مختلف اندازه‌گیری و با مقایسه این داده‌ها با یکدیگر، ساختار داخلی زمین و امکان وجود منابع معدنی تا حدود زیادی شناسایی می‌شود.

^۱- applied geophysics

با استفاده از مطالعات ژئوفیزیکی، می‌توان وجود تاق‌دیس‌ها، ناودیس‌ها و گسل‌ها و در نتیجه، احتمال وجود نفتگیرها را بررسی کرد. همچنین به کمک این بررسی‌ها، می‌توان آبخوان‌ها را مشخص ساخت.

مهم‌ترین روش‌های ژئوفیزیک عملی به شرح زیر است:

۱-۱-۱۲ روش لرزه‌ای انعکاسی^۱: در این روش، با انفجار مواد منفجره، استفاده از نوسان‌سازهای الکترونیکی و یا ضربه یک جسم سنگین، امواج لرزه‌ای ایجاد می‌کنند که این امواج، در داخل زمین منتشر می‌شود. امواج یاد شده به هنگام برخورد با لایه‌های مختلف داخل زمین، منعکس و منکسر می‌شوند و پس از تعدادی انعکاس و انعکاس، مجدداً به سطح زمین برمی‌گردند و به وسیله لرزه‌سنج‌هایی که در سطح زمین نصب شده‌اند ثبت می‌شوند. با تعیین زمان رفت و برگشت موج، می‌توان عمق طبقات منکسر کننده و در نتیجه ساختار داخلی زمین در ناحیه مورد نظر را به دست آورد.

هرچند این روش دقت روش انعکاسی را ندارد ولی سرعت عمل آن زیادتر است و به سرعت می‌توان منطقه را شناسایی کرد.

۱-۱-۲ روش لرزه‌ای انعکاسی^۲: در این روش نیز، همانند روش انعکاسی، یک دسته امواج لرزه‌ای به داخل زمین می‌فرستند. این امواج، در اثر برخورد با طبقات مختلف داخل زمین، منعکس می‌شوند و به سطح زمین برمی‌گردند. با اندازه‌گیری زمان لازم برای رفت و برگشت موج، می‌توان عمق طبقات منعکس کننده و در نتیجه ساختار داخلی زمین در آن ناحیه را مشخص کرد. ثبت امواج برگشتی، به وسیله لرزه‌سنج‌های مستقر در سطح زمین انجام می‌گیرد و به کمک این دستگاهها، زمان برگشت موج را ثبت می‌کنند. با تغییر نقطه ایجاد لرزه و لرزه‌سنج‌ها، نیمرخ زمین در ناحیه مورد نظر مشخص می‌شود.

۱-۱-۳ روش گرانی‌سنجی^۳: در این روش، شتاب جاذبه زمین در نقاط مختلف ناحیه مورد بررسی، اندازه‌گیری و در نقشه ناحیه ثبت می‌شود. از آنجا که جرم مخصوص سنگ‌های موجود در زیر پوسته زمین در شتاب جاذبه مؤثرند، لذا با بررسی اختلاف شتاب جاذبه در نقاط مختلف، می‌توان جرم مخصوص مواد موجود در زیر سطح زمین را مشخص و در نتیجه جنس آنها را تا حدود زیادی

۱_ seismic refraction method

۲_ seismic reflection method

۳_ gravity method

شناسایی کرد. مثلاً هرگاه در زیر سطح زمین یک گنبد نمکی وجود داشته باشد، شتاب جاذبه در آن نقطه کمتر از حالت عادی است و در حالتی که ماده معدنی با جرم مخصوص زیاد در زیر زمین موجود باشد، شتاب جاذبه، زیادتر از حد عادی خواهد بود.

۱۲-۱-۴- روش مغناطیس‌سنجی^۱: بعضی از سنگ‌های زمین، کمابیش خاصیت مغناطیسی دارند و بنابراین، وجود آنها باعث می‌شود که شدت میدان مغناطیسی زمین در محل تمرکز آنها تغییر کند. در این روش، با اندازه‌گیری دقیق میدان مغناطیسی زمین در نقاط مختلف و مقایسه آنها با یکدیگر، می‌توان وجود این مواد را در ناحیه شناسایی کرد.

۱۲-۱-۵- روش‌های الکتریکی^۲: خواص الکتریکی سنگ‌ها نیز از جمله مشخصات دیگری است که با اندازه‌گیری آنها، می‌توان مواد موجود در زیر سطح زمین را شناسایی کرد. از جمله مهم‌ترین مشخصات الکتریکی سنگ‌ها، مقاومت الکتریکی آنهاست. مثلاً هرگاه در زیر سطح زمین یک کانسار فلزی موجود باشد، مقاومت الکتریکی زمین در آن نقطه، به مراتب کمتر از قسمت‌هایی است که سنگ‌های عادی وجود دارند.

وجود آب حاوی املاح در خلل و فرج سنگ‌ها نیز باعث تغییر مقاومت الکتریکی آنها می‌شود و بدین ترتیب، با اندازه‌گیری این مشخصه، می‌توان آب‌های زیرزمینی را شناسایی کرد.

۱۲-۱-۶- روش رادیواکتیو^۳: مواد رادیواکتیو از خود اشعه خاصی صادر می‌کنند که این امواج از بسیاری موانع قادر به عبوراند. اگر در زیر سطح زمین مواد رادیواکتیو وجود داشته باشد، اشعه صادره از آنها را می‌توان با دستگاه‌های مخصوصی در سطح زمین شناسایی کرد و به وجود این مواد پی برد.

۱۲-۱-۷- روش‌های چاه‌پیمایی^۴: در بسیاری موارد، برای اکتشاف منابع معدنی مختلف، گمانه‌هایی حفر می‌شود. اگرچه غالباً از این گمانه‌ها نمونه‌گیری می‌کنند و بنابراین با مطالعه آنها می‌توان خصوصیات سنگ‌های زمین را در ناحیه‌ای که گمانه حفر شده است شناسایی کرد، اما به کمک روش‌هایی که به نام چاه‌پیمایی معروف است، می‌توان اطلاعات زیادتری از این گمانه‌ها به دست آورد. از آنجا که از بین روش‌های مختلف، روش‌های گرانی‌سنجی، مغناطیس‌سنجی و الکتریکی در اکتشاف مواد معدنی کاربرد بیشتری دارند لذا به شرح این روش‌ها اکتفا می‌شود.

۱_ magnetic method

۲_ electrical method

۳_ radioactivity method

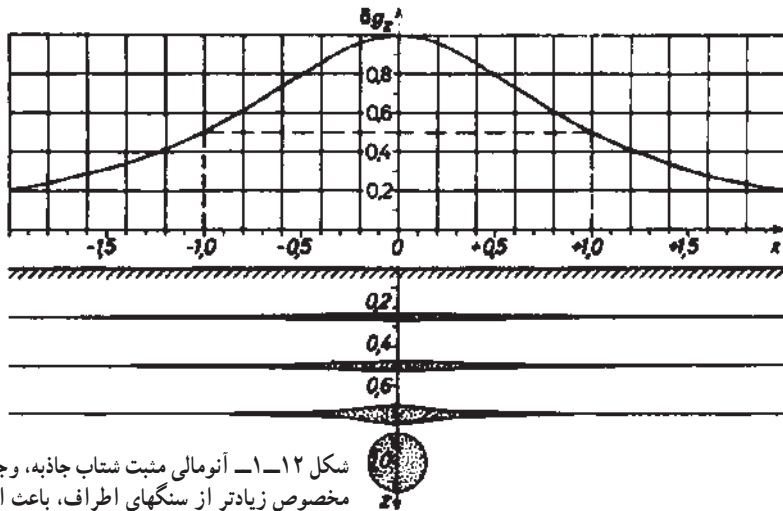
۴_ well logging

۱۲-۲- روش گرانی‌سنجی

۱۲-۲-۱- مبانی روش: مبنای روش گرانی‌سنجی^۱، اختلاف جرم مخصوص مواد معدنی

و سنگ‌های اطراف است که سبب می‌شود، شتاب جاذبه در سطح زمین و در بالای ماده مزبور، از شتاب عادی جاذبه بیشتر و یا کمتر شود (بسته به آنکه جرم مخصوص ماده معدنی از سنگ‌های اطراف بیشتر یا کمتر باشد). در این حالت گفته می‌شود که ناحیه مزبور، دارای آنومالی^۲ مثبت یا منفی است. بدین ترتیب، با اندازه‌گیری شتاب جاذبه، می‌توان تا حدودی به جنس مواد موجود در زیر ایستگاه اندازه‌گیری پی برد، مثلاً در شکل ۱۲-۱، وجود یک توده معدنی با جرم مخصوص بیشتر از سنگ‌های اطراف، سبب بروز آنومالی مثبت شتاب جاذبه شده است. به طوری که از شکل پیدا است، از روی آنومالی جاذبه، نمی‌توان به مشخصات عامل بروز آنومالی پی برد زیرا توده‌ها با شکل و جرم مخصوص مختلف، ممکن است آنومالی واحدی را تولید کنند.

زمین همانند یک جرم عظیم، میدان جاذبه دارد و شتاب آن در نقاط مختلف به علت تغییر عرض جغرافیایی، وجود پستی و بلندی و عوامل دیگر، کمی متغیر است. هرگاه شتاب جاذبه را از بابت‌های



شکل ۱۲-۱- آنومالی مثبت شتاب جاذبه، وجود یک توده با جرم مخصوص زیادتر از سنگهای اطراف، باعث افزایش شتاب جاذبه در سطح زمین شده است [۲۱].

۱- gravity method

۲- anomaly

* در مواردی که بین خواص فیزیکی یا شیمیایی ماده معدنی و سنگ‌های اطراف آن تفاوت چشمگیری وجود داشته باشد، گفته می‌شود که یک آنومالی فیزیکی یا شیمیایی وجود دارد. به‌عنوان مثال اگر شدت میدان مغناطیسی زمین در منطقه‌ای بیش از حد معمول باشد، وضعیت موجود به نام آنومالی مغناطیسی خوانده می‌شود.

یاد شده تصحیح کنیم، باز هم در نقاط مختلف، اندازه آن کمی متفاوت خواهد بود که این اختلاف، به علت تفاوت جرم مخصوص مواد موجود در زیر سطح زمین است. در حقیقت، همین تفاوت شتاب است که مبنای روش گرانی سنجی را تشکیل می‌دهد.

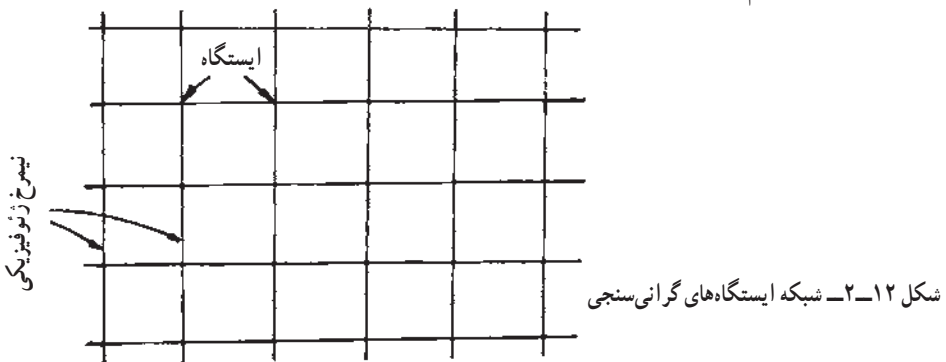
واحد شتاب جاذبه در دستگاه G.G.S برابر یک سانتیمتر بر مجذور ثانیه و به نام گال^۱ موسوم است. از آنجا که گال در کاوش‌های گرانی سنجی واحد نسبتاً بزرگی است، لذا در عمل، از میلی گال که $\frac{1}{1000}$ گال است استفاده می‌کنند.

۱۲-۲-۲- وسایل اندازه‌گیری شتاب جاذبه: از آنجا که تغییرات شتاب جاذبه بسیار کم است لذا دستگاه‌هایی که برای اندازه‌گیری به کار می‌روند، باید فوق‌العاده حساس و قادر به ثبت تغییرات کوچک باشند.

گرانی‌سنج‌ها^۲، متداول‌ترین وسایل اندازه‌گیری شتاب جاذبه‌اند. این دستگاه‌ها انواع متنوعی دارند، که در ادامه به شرح چند نوع از آنها می‌پردازیم.

۱۲-۲-۳- طرز کار در روش گرانی‌سنجی: برای انجام اکتشافات گرانی‌سنجی در یک ناحیه، ابتدا در روی نقشه دو دسته خطوط عمود بر هم رسم می‌کنند (شکل ۱۲-۲). هر یک از نقاط تقاطع این خطوط، به عنوان یک ایستگاه گرانی‌سنجی در نظر گرفته می‌شود. فواصل این خطوط (و بنابراین فواصل ایستگاه‌ها) به مقیاس و نوع کاوش بستگی دارد.

پس از آن که ایستگاه‌ها در روی نقشه و در پی آن، در زمین مشخص شد، مختصات و ارتفاع آنها به دقت محاسبه و تعیین می‌شود، زیرا علاوه بر آنکه به هنگام تنظیم داده‌های گرانی‌سنجی مختصات ایستگاه‌های مزبور مورد نیاز است، برای انجام تصحیحات مختلف نیز، مختصات و به ویژه ارتفاع دقیق ایستگاه‌ها لازم است.



۱- Gal

۲- gravimeters

در عملیات گرانی‌سنجی، همراه با انتخاب ایستگاه‌ها، تعدادی ایستگاه مبنا، که طی شبکه معینی به هم ارتباط دارند نیز باید انتخاب شود. این ایستگاه‌ها که به نام ایستگاه‌های تصحیح زمانی موسوم‌اند، باید در تمام طول ناحیه مورد کاوش پراکنده و در دسترس باشند. از آنجا که فزر دستگاه‌های گرانی‌سنج نسبت به تغییر دمای روزانه حساس است، پس از هر یک الی دو ساعت اندازه‌گیری، باید دستگاه را به ایستگاه مبنا برد و شتاب‌جاذبه را در آنجا اندازه‌گیری کرد. در مرحله بعد، به کمک اندازه‌گیری‌های انجام شده در ایستگاه معین و در ساعات مختلف، منحنی تغییر شتاب جاذبه نسبت به زمان، که معمولاً یک منحنی خطی است، رسم می‌شود. به کمک این منحنی، می‌توان نتایج حاصله در ایستگاه‌های اندازه‌گیری را از نقطه نظر زمان تصحیح کرد.

به هنگام جابه‌جا کردن دستگاه گرانی‌سنج بین ایستگاه‌های مختلف و نیز از مرکز تا محل کار، باید نهایت دقت را به کاربرد که به دستگاه ضربه‌ای وارد نشود زیرا این دستگاه‌ها بسیار حساس‌اند و بی‌دقتی، سبب کاهش حساسیت آنها می‌شود.



۱۲-۲-۴- تصحیح داده‌های حاصل از عملیات گرانی‌سنجی: داده‌های حاصل از اندازه‌گیری، حتی پس از تصحیحات مربوط به دستگاه، در حقیقت داده‌های خام است و باید ابتدا تصحیحات مختلف را در مورد آن انجام داد و آنگاه داده تصحیح شده را در ایستگاه مورد نظر درج کرد.

۱۲-۲-۵- آنومالی بوگر: پس از آنکه شتاب اندازه‌گیری شده از نظرهای مختلف تصحیح شد، شتاب تئوری‌ای که باید در ایستگاه وجود می‌داشت، با توجه به عرض جغرافیایی ایستگاه و به عنوان یک نقطه از سطح زمین نیز محاسبه می‌شود. اگر جرم مخصوص مواد موجود در زیر سطح زمین همه‌جا یکسان می‌بود، شتاب تئوری با شتاب تصحیح شده، اختلافی نداشت و تفاوت آنها صفر می‌شد اما به علت اختلاف جرم مخصوص طبقات، این دو با هم تفاوت دارند و این تفاوت، به نام آنومالی بوگر خوانده می‌شود و وجود همین آنومالی است که راهنمای اکتشاف مواد معدنی به‌شمار می‌آید.

۱۲-۳- روش مغناطیس‌سنجی

۱۲-۳-۱- مبانی روش: روش مغناطیس‌سنجی^۱ یکی از روش‌های قدیمی اکتشاف

مواد معدنی و اساس آن بر اندازه‌گیری مشخصات مغناطیس زمین در نقاط مختلف استوار است. در صورتی که سنگ‌های زیرزمین از نظر خواص مغناطیسی یکسان می‌بودند، اندازه‌گیری در تمام نقاط نتیجه واحدی به دست می‌داد، اما به علت تفاوت خواص مغناطیسی مواد موجود در زیر سطح زمین (که اساس روش مغناطیس‌سنجی را تشکیل می‌دهد)، این اندازه‌گیری در نقاط مختلف متفاوت است و در بعضی مناطق، آنومالی‌های مغناطیسی وجود دارد.

۱۲-۳-۲- مشخصات میدان مغناطیسی زمین: هرگاه یک عقربه مغناطیسی را روی پایه

بدون اصطکاک قرار دهیم، پس از نوسانات متعدد، در امتدادی خواهد ایستاد که آن را امتداد شمال-جنوب مغناطیسی می‌گویند. این امتداد، عموماً با امتداد شمال-جنوب جغرافیایی محل منطبق نیست بلکه با آن زاویه‌ای می‌سازد که آن را زاویه انحراف مغناطیسی^۲ می‌گویند. همچنین عقربه یاد شده معمولاً افقی نیست بلکه با افق زاویه‌ای می‌سازد که به نام زاویه میل مغناطیسی^۳ خوانده می‌شود.

۱۲-۳-۳- وسایل اندازه‌گیری: برای اندازه‌گیری شدت میدان مغناطیسی، وسایل مختلفی

وجود دارد که از جمله متداول‌ترین آنها ترازوی اشمیت^۴ است.

ساختمان مغناطیس‌سنج اشمیت به طور ساده در شکل ۱۲-۳ نشان داده شده است. مطابق شکل، هرگاه یک میله مغناطیسی افقی را حول نقطه‌ای مانند F که به فاصله افقی d و قائم a از نقطه مرکز ثقل آن واقع شده است لولای کنیم و آن را در جهت عمود بر نصف النهار مغناطیسی زمین قرار دهیم، مؤلفه قائم میدان مغناطیسی زمین، سبب چرخش میله در خلاف جهت عقربه‌های ساعت و نیروی وزن، باعث چرخش آن در جهت یاد شده می‌شود. بنابراین، موقعیت میله در هر حالت، برآیند گشتاور این دو نیرو خواهد بود و میزان چرخش آن را می‌توان به وسیله انعکاس یک دسته اشعه نورانی، بر روی آینه‌ای که به میله وصل شده است، در روی یک مقیاس مدرج، قرائت کرد. در ابتدای کار، دستگاه را به کمک میدان‌های معین، که شدت آنها در دست است، مدرج می‌کنند و آنگاه آن را برای کاوش‌های مغناطیسی به کار می‌برند.

۱۲-۳-۴- طرز کار در روش مغناطیس‌سنجی: پس از اینکه ناحیه‌ای که باید در آن

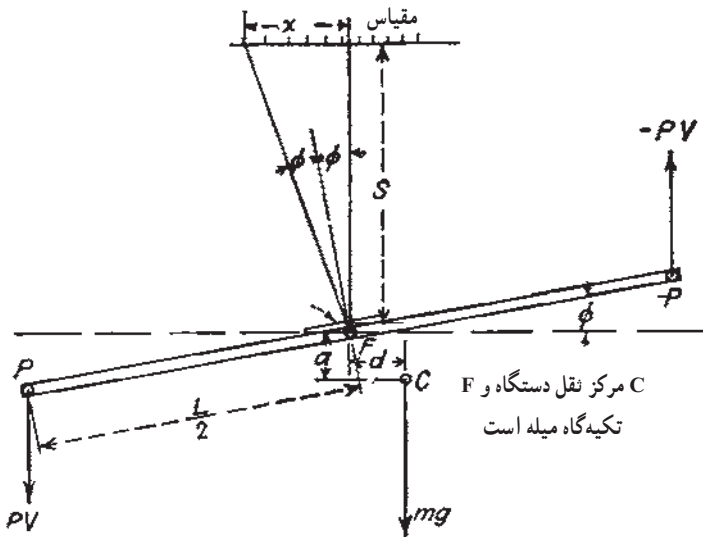
کاوش‌های مغناطیس‌سنجی انجام گیرد، انتخاب شد، ابتدا یک خط مبنا به موازات ساختارهای عمومی

۱- magnetic method

۲- declination

۳- inclination

۴- Schmidt balance



شکل ۱۲-۳- اصول کار ترازوی اشمیت [۱۲۶].

زمین‌شناسی ناحیه انتخاب می‌کنند. اندازه‌گیری‌ها، در امتداد نیمرخ‌های با فاصله معین که در جهت عمود بر امتداد ساختار توجیه شده‌اند، انجام می‌گیرد. همچنین در ناحیه مورد بررسی، یک نقطه که به اندازه کافی از عوامل مغشوش کننده میدان مغناطیسی نظیر خطوط انتقال برق، راه‌آهن و نظایر آنها فاصله داشته باشد، انتخاب می‌کنند. شدت میدان مغناطیسی در این نقطه، به عنوان شدت مبنا در نظر گرفته شده و شدت میدان در سایر ایستگاه‌ها، نسبت به این نقطه سنجیده می‌شود.

اگر در منطقه توده‌ای از مواد معدنی با خاصیت مغناطیسی وجود داشته باشد، اندازه‌گیری‌ها، شدت میدان مغناطیسی بیشتری را به دست می‌دهند که به کمک آنها می‌توان به محل تمرکز این مواد، پی برد.

۱۲-۴- روش‌های الکتریکی

۱۲-۴-۱- مبانی روش: روش‌های الکتریکی نسبت به سایر روش‌های ژئوفیزیکی تنوع بیشتری دارند. بعضی از این روش‌ها نظیر روش پتانسیل خودزاد، بر مبنای اندازه‌گیری مشخصات میدان‌های الکتریکی، که به طور طبیعی وجود دارند، بنا شده‌اند و از این نظر، مشابه روش‌های گرانی‌سنجی و مغناطیسی‌سنجی هستند. در روش‌های دیگر، جریان‌های الکتریکی، به طور مصنوعی به داخل زمین فرستاده شده و آثار آنها اندازه‌گیری می‌شود و از این نظر مشابه روش‌های لرزه‌ای هستند.

از آنجا که روش‌های الکتریکی، تنها در اعماق کم مؤثراند و ندرتاً عمق تأثیر آنها به ۳۰۰ تا ۴۰۰ متر می‌رسد، لذا این روش‌ها، بیشتر در کاوش کانسارهای فلزی مورد استعمال دارند [۲۱].

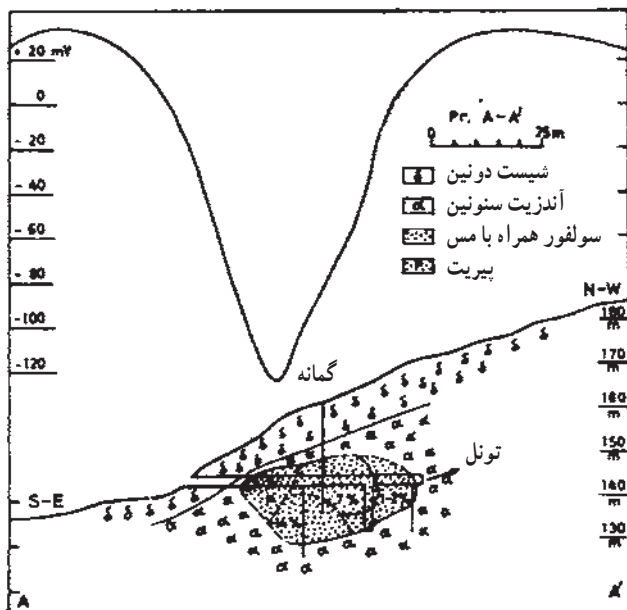
۱۲-۴-۲- روش پتانسیل خودزاد (SP)^۱: اساس این طریقه را، اندازه‌گیری اختلاف پتانسیلی که به طور طبیعی بین دو نقطه از سطح زمین وجود دارد، تشکیل می‌دهد. هرگاه در امتداد نیمرخ معینی در سطح زمین و در بالای توده معدنی‌ای که این ویژگی را دارد، به طور مرتب اختلاف پتانسیل بین نقاط را اندازه‌گیری و آنرا رسم کنیم، منحنی حاصله، در بالای ماده معدنی یاد شده، آنومالی نشان خواهد داد.

اندازه‌گیری پتانسیل خودزاد در سطح زمین، بسیار ساده است و به کمک یک میلی‌ولت‌متر حساس متصل به دو الکتروود، انجام می‌گیرد. الکتروودها باید غیرقابل قطبی شدن (پلاریزه شدن) باشند زیرا در غیر این صورت، فعالیت الکتروشیمیایی ناشی از تماس آنها با زمین نیز، در اندازه‌گیری دخالت می‌کند و سبب به هم خوردن نتایج اندازه‌گیری می‌شود. الکتروودها معمولاً از میله‌های مسی که داخل محلول سولفات مس قرار دارند، و یا از میله پلاتین واقع در محلول کلرید پتاسیم، تشکیل می‌شود. به هنگام کار، باید الکتروودها را ۱۰ تا ۱۵ سانتیمتر در داخل زمین فرو کرد.

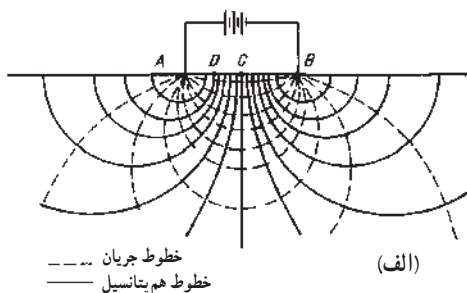
در عمل، برداشت به دو روش مختلف انجام می‌گیرد. در یک روش الکتروودها که به فاصله ثابت حدود ۲۰ متر قرار دارند، در طول نیمرخ مورد کاوش، توأمآً جابه‌جا شده و در هر نوبت اختلاف پتانسیل بین آنها اندازه‌گیری می‌شود. در روش دیگر، دو الکتروود به دو انتهای یک کابل بلند که به دور قرقه پیچیده شده است و نیز به یک میلی‌ولت‌متر، متصل‌اند. ضمن کار، یکی از الکتروودها در یک نقطه ثابت باقی می‌ماند و الکتروود دیگر به همراه قرقه و میلی‌ولت‌متر، به طور مرتب در نقاط مختلف قرار می‌گیرد و در هر نوبت، میلی‌ولت‌متر قرائت می‌شود و این عمل مادامی که کابل به انتها نرسیده است، ادامه می‌یابد. پس از اینکه تمام کابل باز شد، الکتروود ثابت به نقطه جدیدی منتقل می‌شود و این عمل ادامه می‌یابد.

در شکل ۴-۱۲ نتیجه پیمایش SP در بالای یک توده پیریت نشان داده شده است. تعبیر و تفسیر داده‌های حاصل از برداشت‌های SP مشابه تعبیر داده‌های حاصله از روش مغناطیس‌سنجی است.

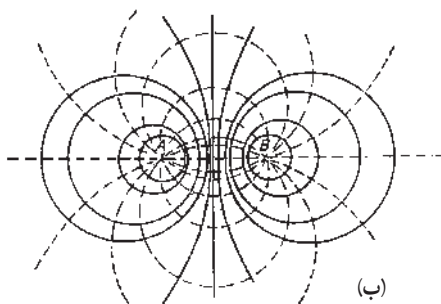
^۱ self-potential (S.P.)



شکل ۱۲-۴- نتیجه پیمایش SP در بالای یک توده پیریت [۹]



خطوط هم پتانسیل
خطوط جریان



خطوط هم پتانسیل
خطوط جریان

شکل ۱۲-۵- خطوط جریان و منحنی هم پتانسیل در مقطع (الف) و نقشه (ب) [۲۶].

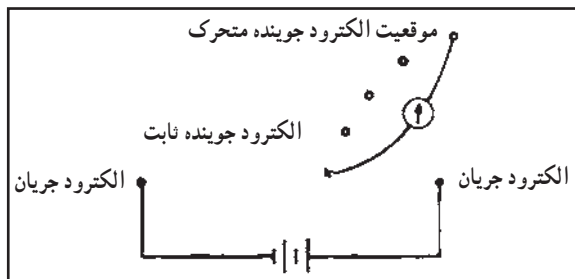
۱۲-۴-۳- روش منحنی‌های

هم پتانسیل: هرگاه یک ولتاژ خارجی به وسیله دو الکترود که در زمین فرورفته‌اند به داخل زمین اعمال کنند، جریان الکتریکی در داخل زمین برقرار می‌شود. در این حالت، خطوط نیرو در همه حال، بر منحنی‌های هم پتانسیل، که پتانسیل نقاط مختلف آنها یکسان است، عموداند.

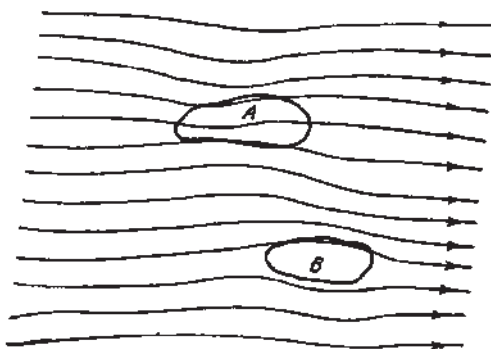
در شکل ۱۲-۵، خطوط جریان و منحنی‌های هم پتانسیل عمود بر آنها، در مقاطع قائم و افقی نشان داده شده است.

اگر مواد موجود در زیر سطح زمین متجانس باشند، منحنی‌های هم پتانسیل نیز مطابق شکل اشکال منظمی خواهند داشت. در چنین حالتی، اختلاف پتانسیل بین نقطه A و نقطه C که در وسط الکترودهای A و B قرار داد، نصف اختلاف پتانسیل نقاط A و B است.

اگرچه وضعیت منحنی‌های هم پتانسیل در سطح زمین از نظر ظاهری مشخص نیست، ولی به سهولت می‌توان به وسیله الکترودهای اندازه‌گیر، آنها را مشخص کرد. برای این کار، ابتدا دو الکترودی را که از طریق آنها جریان الکتریکی به داخل زمین اعمال می‌شود، در فاصله حدود ۶۰ متر از یکدیگر قرار می‌دهند و جریان برق را برقرار می‌کنند. طرز عمل بدین ترتیب است که یکی از الکترودهای جوینده را (که معمولاً از جنس میله‌های فولادی‌ای است که به وسیله یک لایه مس پوشیده شده است) در یک نقطه ثابت نگه می‌دارند و الکترود دیگر را آنقدر تغییر می‌دهند تا جریانی از گالوانومتر متصل به آن دو، عبور نکند. در این حالت، هر دو الکترود روی منحنی هم پتانسیل واحدی قرار دارند (شکل ۱۲-۶).



شکل ۱۲-۶ - طرز عمل در روش منحنی‌های هم پتانسیل [۲۶]



شکل ۱۲-۷ - تأثیر وجود توده‌های با هدایت بالا و پایین در شکل منحنی‌های هم پتانسیل [۲۶].

اگر سنگ‌های زیرین در ناحیه مورد اندازه‌گیری، از نقطه نظر هدایت الکتریکی یکسان باشند، در آن صورت منحنی‌های هم پتانسیلی که به دست می‌آید نیز شکل منظمی مطابق شکل ۱۲-۷ خواهند داشت. اما اگر در ناحیه، توده‌ای وجود داشته باشد که هدایت الکتریکی آن نسبت به سنگ‌های اطراف بیشتر یا کمتر باشد، اغتشاشاتی در

این منحنی‌ها به وجود می‌آید. بدین معنی که در مورد توده‌های با هدایت الکتریکی بالا، منحنی‌ها به هم نزدیک و در حالت عکس، از هم دور می‌شوند (شکل ۱۲-۷). به کمک اغتشاشات موجود در این منحنی‌ها، می‌توان موادی را که آنومالی الکتریکی دارند، مشخص ساخت.

۱۲-۴-۴- روش مقاومت مخصوص: روش مقاومت مخصوص نیز مشابه روش منحنی‌های هم پتانسیل ولی مؤثرتر آن است. به کمک این روش، می‌توان عمق طبقاتی را که از نظر هدایت الکتریکی آنومالی دارند، مشخص کرد و نیز به کمک آن می‌توان شکل توده‌هایی را که دارای چنین خاصیتی هستند، تا حدودی مشخص ساخت.

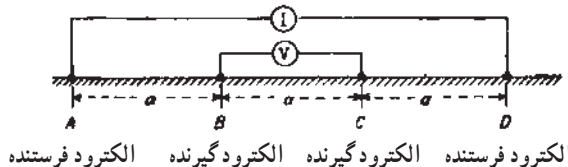
برای تعیین مقاومت مخصوص، آرایه‌های مختلفی را برای الکترودهای فرستنده و گیرنده به کار می‌برند که در اکثر آنها، هر چهار الکتروده، در امتداد یک خط مستقیم قرار دارند.

آرایه ونر که در شکل ۱۲-۸ نشان داده شده، یکی از متداول‌ترین آرایه‌های روش مقاومت مخصوص است. به طوری که دیده می‌شود، الکترودهای فرستنده، در طرفین الکترودهای گیرنده به گونه‌ای قرار دارند، که فاصله الکترودهای متوالی از هم ثابت و برابر a است. در این مورد، مقاومت مخصوص الکتریکی زمین از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\rho_a = 2\pi a \frac{V}{I} \quad (1-12)$$

که در آن V اختلاف پتانسیل بین الکترودها و I شدت جریان رسانی به داخل زمین است. در عمل، آرایه ونر را به دو روش به کار می‌برند. در روش اول، که به نام گمانه‌زنی^۱ یا حفاری الکتریکی موسوم است، پس از هر نوبت اندازه‌گیری، فاصله a را به گونه‌ای زیادتر می‌کنند که نقطه وسط الکترودها، همواره ثابت بماند و بدین ترتیب، با افزایش a در حقیقت مقاومت مخصوص اعماق مختلف زمین را محدوده الکترودها تعیین می‌کنند.

در روش دوم، که به نام ترانسه‌زنی^۲ یا نقشه‌برداری الکتریکی خوانده می‌شود، فاصله a ثابت است



شکل ۱۲-۸ - آرایه ونر [۲۶].

۱- vertical electrical sounding

۲- electrical profiling

و پس از هر نوبت اندازه‌گیری، مجموعه الکترودها را در طول یک نیمرخ معین جابه‌جا می‌کنند و بدین ترتیب، مقاومت مخصوص زمین را در قسمت‌های مختلف ولی در عمق ثابت، به دست می‌آورند.

خودآزمایی

- ۱- کدام روش‌های ژئوفیزیکی از نظر اصول کار، با هم شباهت دارند.
- ۲- در چه موارد یک آنومالی گرانی وجود دارد.
- ۳- چه عاملی باعث ایجاد آنومالی گرانی می‌شود.
- ۴- روش مغناطیس‌سنجی در چه مواردی به کار می‌آید.
- ۵- ترانشه‌زنی و گمانه‌زنی الکتریکی را شرح دهید.
- ۶- روش پلاریزاسیون القایی در مورد کدام مواد معدنی کاربرد بیشتری دارد.

اکتشافات ژئوشیمیایی

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از هنرچو انتظار می‌رود که:

- ۱- مبانی روش‌های ژئوشیمیایی را شرح دهد.
- ۲- هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه و ثانویه را شرح دهد.
- ۳- عناصر ردیاب و نشانه را توضیح دهد.
- ۴- مراحل مختلف اکتشافات ژئوشیمیایی را شرح دهد.
- ۵- روش نمونه‌برداری از خاک را بیان کند.
- ۶- روش نمونه‌برداری از رسوبات آبراهه‌ای را بیان کند.
- ۷- روش نمونه‌برداری از آب را توضیح دهد.
- ۸- روش‌های ژئوبوتانی و بیوژئوشیمیایی را توضیح دهد.

۱۳-۱- آشنایی

روش‌های ژئوشیمیایی^۱ را در مراحل مختلف اکتشاف منابع معدنی می‌توان به کار بست. اساس اکتشافات ژئوشیمیایی، جستجو و ردیابی مناطقی است که در آنها غلظت یک یا چند عنصر معین، بیش از حد معمول است. به عبارت دیگر، به کمک اکتشافات ژئوشیمیایی، مناطقی که دارای این قبیل آنومالی‌ها* هستند، مشخص می‌شود.

۱- geochemical

* همانگونه که در مبحث اکتشافات ژئوفیزیکی هم گفته شد، در مواردی که غلظت یک یا چند عنصر در یک منطقه بیش از حد عادی باشد، گفته می‌شود که یک آنومالی ژئوشیمیایی وجود دارد.

همانند ژئوفیزیک، در ژئوشیمی نیز مستقیماً موقعیت ماده معدنی ردیابی نمی‌شود بلکه در این روش‌ها نیز، علائم و نشانه‌هایی مورد بررسی قرار می‌گیرد که آنها را می‌توان ناشی از وجود ماده معدنی با شرایط زمین‌شناسی مناسب برای تمرکز مواد معدنی، تعبیر و تفسیر کرد. بدیهی است، هنگامی آثار ژئوشیمیایی مربوط به یک توده ماده معدنی را می‌توان در سطح زمین تشخیص داد که توده مزبور، ابعاد قابل توجه داشته و نیز چندان عمیق نباشد. در این صورت «علامت»^۱ ژئوشیمیایی در سطح زمین وجود خواهد داشت. باید توجه داشت که علامت‌ها هنگامی قابل تشخیص‌اند، که خواص ژئوشیمیایی ماده معدنی، نسبت به خواص ژئوشیمیایی سنگ‌های اطراف، که به نام زمینه^۲ خوانده می‌شود، در حد قابل توجهی متفاوت باشد. در این صورت یک آنومالی^۳ ژئوشیمیایی خواهیم داشت. همانند ژئوفیزیک، آنومالی ژئوشیمیایی را نمی‌توان دلیل قطعی بر وجود کانسار دانست بلکه در این نواحی باید عملیات اکتشافی دقیق‌تری انجام داد و فقط پس از طی این مراحل است که می‌توان وضعیت ناحیه را از نقطه نظر بود یا نبود مواد معدنی مورد نظر و نیز کمیت و کیفیت این مواد، مشخص کرد. برای تعبیر و تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی و نیز تشخیص مناطقی که دارای آنومالی واقعی هستند، بعضی اطلاعات زمین‌شناسی از منطقه لازم است. به عبارت دیگر بسته به مرحله کار، وجود نقشه زمین‌شناسی با مقیاس مناسب، برای انجام عملیات ژئوشیمیایی مورد نیاز است.

امروزه بخش عمده‌ای از هر پروژه اکتشافی عظیم را عملیات ژئوشیمیایی تشکیل می‌دهد و سالیانه چندین میلیون نمونه ژئوشیمی گرفته شده و تجزیه می‌شود و منابع معدنی قابل توجهی در نتیجه این بررسی یافت شده است.

۱۳-۲- هاله‌های ژئوشیمیایی

به هنگام بررسی میزان عناصر موجود در سنگ‌های اطراف یک کانسار، هر چقدر از کانسار دورتر شویم، درصد عناصر کاهش می‌یابد تا به میزان متوسط آنها در پوسته زمین، که زمینه نام دارد برسد. محدوده‌ای از سنگ‌های اطراف توده ماده معدنی را که در آنجا عیار عناصر مورد نظر بیش از حد زمینه است، هاله ژئوشیمیایی^۴ آن توده می‌گویند. هاله‌ها ممکن است اولیه و یا ثانویه باشند.

۱۳-۲-۱- هاله ژئوشیمیایی اولیه^۵: مقصود از هاله اولیه، محدوده‌ای از سنگ‌های

۱- signal

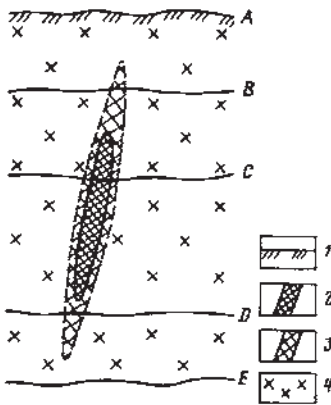
۲- back-ground

۳- geochemical anomaly

۴- geochemical halo

۵- primary halo

اطراف ماده معدنی است که عیار آنها بیش از عیار زمینه ولی کمتر از عیار توده اصلی است و همزمان با تشکیل توده معدنی، تشکیل شده‌اند (شکل ۱۳-۱). مطابق شکل، به هنگام تشکیل توده معدنی، سطح زمین در وضعیت A قرار داشته و بنابراین هم ماده معدنی و هم هاله آن، در سطح زمین تظاهر نداشته و به اصطلاح از نوع کور بوده‌اند. هنگامی که سطح زمین به علت فرسایش در موقعیت B باشد، هاله اولیه در سطح زمین ظاهر می‌شود که به کمک آن می‌توان با بررسی‌های ژئوشیمیایی، موقعیت توده معدنی را تعیین کرد. در مرحله فرسایش C، ماده معدنی نیز در سطح زمین رخنمون می‌یابد و در مرحله فرسایش D، ماده معدنی اصلی به کلی فرسوده می‌شود و سرانجام در مرحله E، هیچ یک از آن دو وجود نخواهند داشت.



شکل ۱۳-۱- هاله اولیه و وضعیت‌های مختلف آن نسبت به سطح فرسایش. نمادهای ۱ تا ۴ به ترتیب سطح اولیه زمین به هنگام تشکیل ماده معدنی، توده معدنی، هاله اولیه و سنگ‌های درونگیر را نشان می‌دهند. سطح زمین نیز پس از چندین مرحله فرسایش از وضعیت A به وضعیت E رسیده است [۱۳].

۱۳-۲-۲- هاله ژئوشیمیایی ثانویه^۱: پس از تشکیل ماده معدنی و برونزد آن در سطح زمین، عوامل مختلف حمل‌ونقل مثل نیروی جاذبه، باد، آب و نظایر آنها ممکن است آثار ماده معدنی را تا دوردست‌ها حمل کنند. بنابراین، اگرچه توده معدنی اصلی ممکن است گسترش وسیعی در سطح زمین نداشته باشد اما گسترش هاله ثانویه آن ممکن است تا فواصل دوردست از توده اصلی گسترش یابد و به کمک آن بتوان توده معدنی اصلی را شناسایی کرد (شکل ۱۳-۲).

۱۳-۳- عناصر ردیاب و نشانه

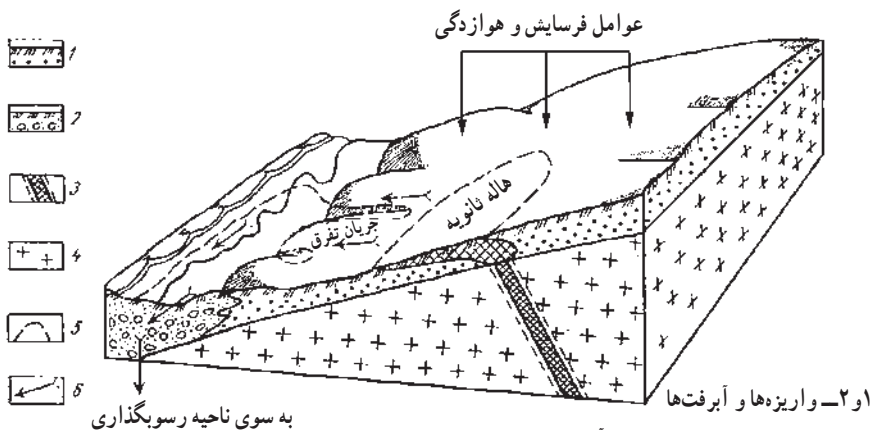
در اکتشافات ژئوشیمیایی از دو تعریف عناصر ردیاب^۲ و نشانه^۳ استفاده می‌شود، که در ادامه به شرح آنها می‌پردازیم:

۱۳-۳-۱- عناصر ردیاب: عناصر ردیاب عناصری هستند که با توده معدنی اصلی

۱- secondary halo

۲- pathfinder elements

۳- indicator elements



- ۱ و ۲- واریزه‌ها و آبرفت‌ها
 ۳- توده معدنی اصلی و هاله اولیه آن
 ۴- سنگ‌های دورنگیر ۵- محدوده آنومالی ۶- جهت حرکت مواد [۱۵].
 شکل ۱۳-۲- هاله نانوید و گسترش آن

همراه‌اند ولی از عناصر نشانه آسان‌تر قابل تشخیص‌اند و گسترش آنها نیز بیش از عناصر نشانه است. علت سهولت تشخیص این عناصر ممکن است وسیع‌تر بودن هاله ژئوشیمیایی آنها و یا وجود روش‌های تجزیه‌ای مناسب‌تر باشد [۲۸].

در یک کانسار حاوی چند فلز مختلف، ممکن است یکی از عناصر اصلی تشکیل‌دهنده، به‌عنوان یک ردیاب آن کانسار تلقی شود. به‌طور کلی ویژگی‌های یک عنصر ردیاب را می‌توان به شرح زیر در نظر گرفت [۲۸]:

الف) داشتن تحرک ژئوشیمیایی قوی و در نتیجه وجود هاله ژئوشیمیایی وسیع‌تر نسبت به عناصر مورد اکتشاف.

ب) وجود روش تجزیه آسان‌تر، ارزان‌تر و یا حساس‌تر برای آن عنصر نسبت به عناصر مورد اکتشاف.

عناصر ردیاب ممکن است در کانسنگ اصلی و یا در گانگ آن یافت شوند. گاه نیز ممکن است گسترش آنها در ارتباط با مراحل خاص کانی‌سازی باشد.

۱۳-۲-۳- عناصر نشانه: عناصر نشانه یا معرف به‌عناصری گفته می‌شود که در عین حال که یکی از تشکیل‌دهنده‌های اصلی کانساراند، تا حدودی نیز ویژگی‌های عناصر ردیاب را دارا هستند، بنابراین از آنها می‌توان برای تعیین نوع کانی‌سازی نیز استفاده کرد.

۱۳-۴- مراحل مختلف اکتشافات ژئوشیمیایی

در بررسی‌های ژئوشیمیایی، مراحل مشابهی وجود دارد که می‌توان آنها را به شرح زیر طبقه‌بندی کرد:

الف) انتخاب روش‌ها و عناصری که باید مورد کاوش قرار گیرد، تعیین حساسیت و دقتی که باید در عمل به کار رود و طرح شبکه نمونه‌برداری. این انتخاب‌ها براساس هزینه‌ها، شرایط زمین‌شناسی شناخته شده و یا قابل انتظار، عملیات آزمایشگاهی‌ای که در مورد مواد مشابه انجام گرفته و از همه مهم‌تر، بررسی توجیهی یا تجربیات مشابهی که در مورد کانسارها و شرایط مشابه صورت گرفته، انجام می‌گیرد.

ب) بررسی اولیه و نمونه‌برداری در سر زمین، به همراه چند نمونه کنترلی و عمیق به منظور تعیین میزان تغییرات و ارزیابی علایم ژئوشیمیایی موجود.

ج) تجزیه نمونه‌ها در سر زمین (در صورت امکان) و در آزمایشگاه و انجام تجزیه‌های کنترلی با چند روش مختلف.

د) کنترل کیفیت نتایج تجزیه‌ها.

ه) پردازش نتایج و تحلیل‌های آماری.

ی) تعیین آنومالی‌های اولیه، ادامه نمونه‌برداری و تجزیه و ارزیابی در مناطق محدودتر با استفاده از شبکه نمونه‌برداری انبوه‌تر و فواصل کمتر و نیز به کار گرفتن روش‌های ژئوشیمیایی دیگر.

و) تحقیقات نهایی و منطقه‌ای همراه با تهیه تدارکات به منظور نمونه‌برداری مجدد و نیز تجزیه مجدد نمونه‌هایی که قبلاً گرفته شده است.

باید توجه داشت که تعبیر و تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی نیز همانند داده‌های ژئوفیزیکی براساس مدلی است که برای کانسار در نظر گرفته شده است و چند گمانه‌ای که در مراحل بعدی حفر می‌شود، ممکن است مدل اولیه را به کلی دگرگون سازد.

۱۳-۵- روش‌های ژئوشیمیایی

روش‌های ژئوشیمیایی را می‌توان براساس نحوه عمل و یا بر مبنای نوع موادی که مورد کاوش قرار می‌گیرد، تقسیم‌بندی کرد. به طور کلی می‌توان این روش‌ها را به شرح زیر در نظر گرفت:

الف) روش بررسی هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه

ب) روش بررسی‌های ژئوشیمیایی ثانویه که خود شامل روش‌های زیر است:

روش فلزسنجی با نمونه‌گیری از سنگ و خاک

روش نمونه‌برداری از رسوبات بستر آبراهه‌ای

ج) روش نمونه‌گیری از آب

د) روش بررسی بخارات و گازها

ه) روش بیوژئوشیمیایی

ز) روش ژئوبوتانی

در ادامه به شرح چند روش متداول در ایران می‌پردازیم.

۱۳-۵-۱- روش فلزسنجی با نمونه‌گیری از خاک^۱: در این روش که معمولاً در مراحل

اولیه اکتشاف به کار می‌رود، بر اساس یک شبکه نمونه‌برداری معین، نمونه‌های متعددی از خاک ناحیه گرفته شده و عیار فلزات موجود در آنها تعیین و به کمک آنها، آنومالی‌های فلزی مشخص می‌شود. اساس این روش، بر این حقیقت استوار است که خاک و خرده‌سنگ، فلزات مختلف را به اشکال گوناگون از قبیل جذب، مخلوط مکانیکی و انحلال در خود نگه می‌دارند. بنابراین، تجزیه آنها، اطلاعات گرانمایی از فلزات موجود در ناحیه، به دست می‌دهد.

نظیر دیگر روش‌های ژئوشیمی هدف از روش فلزسنجی، جستجوی مستقیم کانسارهای فلزی و بعضی کانسارهای غیرفلزی است که در عمق ۲ تا ۳ متری، و ندرتاً ۵ تا ۱۰ متری قرار دارند.

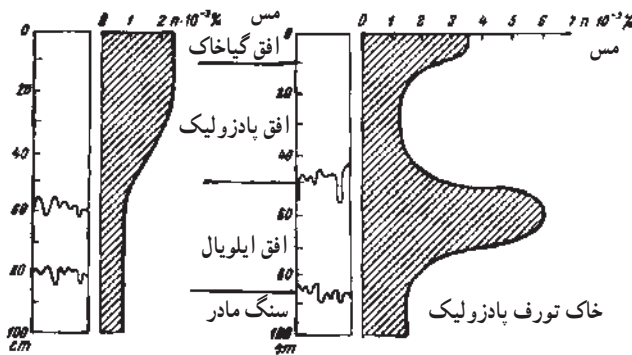
الف) شبکه نمونه‌برداری: شبکه نمونه‌برداری باید به گونه‌ای طراحی شود که تمام منطقه‌ای را که گمان کانسار در آن می‌رود، همراه با هاله‌های ژئوشیمیایی آن، بپوشاند. اگرچه در بعضی موارد گسترش هاله‌های کانسار در طرفین آن یکنواخت است اما اکثراً، گسترش آن قرینه نیست بلکه در امتدادهای خاصی، گسترش زیادتری دارد. بدیهی است، گسترش هاله‌ها به نوع کانسار و نیز شرایط زمین‌شناسی و جغرافیایی محل بستگی دارد. مثلاً در بسیاری موارد، دیده شده است که هاله ژئوشیمیایی حدود ۱۰۰۰ متر طول دارد حال آنکه عرض آن از ۲۰ تا ۳۰۰ متر تجاوز نمی‌کند [۶]. این نکته نیز در خور توجه است که در ناحیه‌ای که چندین کانسار وجود دارد، هاله کانسارهای مختلف ممکن است با یکدیگر تلاقی کند.

شبکه نمونه‌برداری ژئوشیمیایی، در حالت کلی مستطیلی و مرکب از نیمرخ‌هایی است که در امتداد عمود بر گسترش فرضی کانسار و یا هاله آن، توجیه شده‌اند. بدیهی است هر چقدر حدسیاتی که در مورد ابعاد و گسترش ماده معدنی و هاله‌های آن زده می‌شود به حقیقت نزدیک‌تر باشد، اکتشافات ژئوشیمیایی مؤثرتر خواهد بود. باید توجه داشت که توزیع نیمرخ‌های ژئوشیمیایی، الزاماً در همه قسمت‌های ناحیه یکنواخت نیست بلکه در مناطقی که از نظر تمرکز مواد معدنی احتمال بیشتری می‌رود، فاصله نیمرخ‌ها و نیز نقاط نمونه‌برداری، کمتر است.

^۱ - metallometric surveying

ب) نمونه برداری: برای نمونه برداری کافی است حدود ۵۰ گرم نمونه پس از برطرف کردن خاک رویی و از اعمال ۱۰ تا ۲۰۰ سانتیمتری گرفته شود [۲۴]. در مناطقی که به وسیله قشر ضخیمی از خاک‌های حمل شده از سایر نقاط پوشیده شده است، نمونه برداری سطحی، فایده‌ای ندارد و برای این منظور باید گمانه‌های خاصی حفر کرد. در بعضی مواد، مثل اکتشاف مواد طلا دار ممکن است مقدار نمونه لازم به ۵۰۰ و حتی ۱۰۰۰ گرم برسد [۲۴].

معمولاً نمونه برداری از عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتر، یعنی بلافاصله زیر قشر خاک‌نما کافی است. عمق بهینه نمونه برداری را می‌توان در سر زمین و به روش تجربی به دست آورد. به طوری که می‌دانیم، محتوای فلزی خاک به دو عامل یکی ترکیب شیمیایی سنگ‌های تشکیل دهنده آن و دیگری شرایط فیزیکی بستگی دارد. همچنین می‌دانیم که در نیمرخ خاک، معمولاً دو افق غنی از فلز وجود دارد که اولی در بخش فوقانی حاوی گیاجاک*^۲ و دومی در بخش غنی شده خاک و در اعماق ۵۰ تا ۷۰ سانتیمتری خاک واقع است [۲۴]. به عنوان مثال، درصد فلز مس در اعماق مختلف دو نوع خاک در شکل ۱۳-۳ نشان داده شده است.



خاک‌های چرنوزوم، چستونت خاکستری

شکل ۱۳-۳- تغییرات درصد مس در اعماق مختلف خاک [۲۴]

برای این که افق غنی خاک برای نمونه برداری مشخص شود، ابتدا در چندین نقطه، محتوای فلزی خاک را در اعماق مختلف (به فواصل ۱۵ تا ۲۰ سانتیمتری)، به کمک نمونه برداری و تجزیه شیمیایی مشخص می‌کنند و از روی آنها منحنی‌هایی شبیه به آنچه که در شکل ۱۳-۳ نشان داده شده است، رسم می‌شود. پس از رسم این منحنی‌ها، عمق غنی خاک را از نقطه نظر فلز مورد نظر می‌توان تعیین کرد و نمونه برداری را در این عمق، انجام داد.

۱- top soil

۲- humus

* گیاجاک ماده آلی سیاه رنگی است که حاوی بقایای تجزیه شده انساج گیاهی و جانوری است و عمدتاً در افق بالایی خاک متمرکز

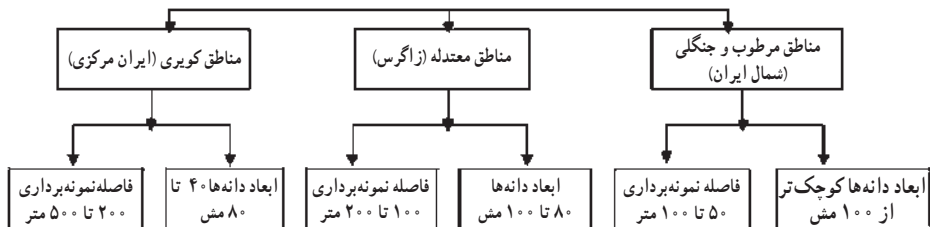
ذکر این نکته ضروری است که هرگاه ضخامت خاک ناحیه بیش از ۳ متر باشد، اثر هاله‌های ژئوشیمیایی در قسمت‌های سطحی ظاهر نمی‌شود و در چنین مواردی، باید نمونه‌برداری را به کمک گمانه انجام داد [۲۴]. بدیهی است در صورتی که منطقه موئین آب‌های زیرزمینی وسیع و یا فعالیت‌های گیاهی منطقه زیاد باشد، ممکن است آثار کانسارهای عمیق نیز در قسمت‌های سطحی ظاهر شود.

۱۳-۵-۲- روش نمونه‌برداری از رسوبات آبراهه‌ای^۱: رسوبات آبراهه‌ای در هر نقطه در حقیقت ترکیب طبیعی‌ای از کلیه موادی است که در قسمت بالا دست آن نقطه قرار دارند. منشأ فلزات موجود در این رسوبات، تخریب و فرسایش سنگ‌های بالادست و نیز بخشی از آن، در اثر نفوذ آب‌های زیرزمینی است. در این جا نیز فلزات به شکل مخلوط مکانیکی، انحلال و یا جذب، با رسوبات همراه‌اند. بدین ترتیب، با نمونه‌برداری منظم براساس شبکه معین و تجزیه و سپس نمایش آنها در روی نقشه، می‌توان جهت عمومی کانی‌سازی منطقه را مشخص کرد.

الف) شبکه نمونه‌برداری: قبل از شروع عملیات نمونه‌برداری، باید شبکه نمونه‌برداری را طراحی کرد. اگرچه در بعضی موارد ممکن است در هر ۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلومتر مربع یک نمونه گرفته شود ولی معمولاً شبکه نمونه‌برداری به گونه‌ای است که به طور متوسط در هر چند کیلومتر مربع یک نمونه گرفته می‌شود.

در یکی از ساده‌ترین روش‌های طرح شبکه نمونه‌برداری، مسیر تمام آبراهه‌ها (اعم از فعال و خشک) در روی نقشه رسم و در طول هر کیلومتر از مسیر اصلی، ۲ تا ۳ نمونه گرفته می‌شود. علاوه بر این، در محل تلاقی شاخه‌های فرعی و قبل از ورود آنها به شاخه اصلی نیز نمونه گرفته می‌شود. در مورد کاوش‌های دقیق، فواصل نمونه‌برداری در طول مسیر ۵۰ تا ۱۰۰ متر است.

براساس بررسی‌های انجام شده در ایران، شبکه نمونه‌برداری در مورد اکتشافات آبراهه‌ای بزرگ مقیاس را می‌توان مطابق شکل ۱۳-۴ در نظر گرفت [۲۹].



شکل ۱۳-۴- نمودار اندازه دانه‌ها و فواصل نمونه‌برداری در اکتشافات آبراهه‌ای بزرگ مقیاس در مناطق مختلف ایران [۲۹]

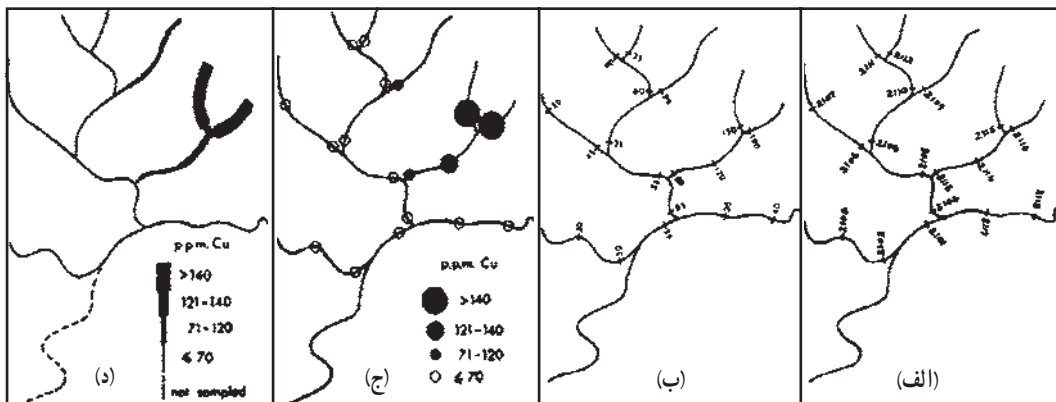
ب) **نمونه برداری:** اگرچه نمونه برداری از رسوبات آبراهه‌ای بسیار ساده‌تر از نمونه‌گیری از سنگ و خاک است ولی نکته مهمی که باید به آن توجه داشت، تأثیر تأسیسات کشاورزی و صنعتی در حوالی آبراهه است که امکان دارد ترکیب این رسوبات را به نحو قابل ملاحظه‌ای تغییر دهد. نمونه، حدود ۵۰ گرم از رسوبات وسط بستر آبراهه با ابعاد کمتر از ۷۰ مش* است [۲۴]. نمونه را می‌توان از برکه‌ها و یا مواد ریزی که در پشت تخته سنگ‌ها جمع می‌شوند، نیز تهیه کرد. باید سعی کرد که مواد آلی، که ممکن است حاوی فلزات باشند، داخل نمونه نشوند. معمولاً در مراحل اولیه اکتشاف، از رسوبات کناره آبراهه نمونه‌گیری نمی‌شود و تنها در مراحل بعدی است که برای بررسی منشأ آنومالی، از این قسمت‌ها نیز نمونه تهیه می‌کنند. از سوی دیگر باید توجه داشت که ریزش مواد از دامنه‌های آبراهه که معمولاً در کناره‌های آن متمرکز می‌شود، تا حد زیادی غلظت عناصر موجود در این رسوبات را تغییر می‌دهد.

ج) **بررسی نمونه‌ها:** اگرچه در بسیاری موارد، نمونه‌های گرفته شده از بستر آبراهه‌ها مستقیماً آزمایش می‌شود ولی اگر این رسوبات حاوی مواد سنگین و مقاوم باشند، ابتدا آنها را خاک‌شویی کرده و آنگاه محصول خاک‌شویی شده را تجزیه می‌کنند. در بعضی موارد نیز اکسیدهای منگنز و آهن را، که به صورت قشری ذرات نمونه را احاطه کرده‌اند، جدا کرده و محصول باقی مانده را تجزیه می‌کنند. نحوه ارسال نمونه‌ها به آزمایشگاه و تجزیه آنها طی مبحث جداگانه‌ای بررسی خواهد شد.

در شکل ۱۳-۵ نمونه‌ای از نتایج حاصل از روش نمونه‌گیری از رسوبات آبراهه‌ای نشان داده شده است.

۱۳-۵-۳- روش نمونه‌گیری از آب: روش نمونه‌گیری از آب، یکی از قدیمی‌ترین روش‌های اکتشافات ژئوشیمیایی است که امروزه چندان متداول نیست. اگرچه نمونه‌گیری بسیار ساده است اما نمی‌توان حتی برای مدت کوتاه آن را انبار کرد زیرا مشخصات آن به سرعت تغییر می‌کند. در مقایسه رسوبات با آب‌های سطحی، از آنجا که رسوبات طی زمان طولانی‌تری در منطقه جمع شده‌اند، لذا اطلاعات ناشی از محتوای فلزی آنها واقعی‌تر از نمونه آب‌های سطحی است. از سوی دیگر با نمونه برداری از آب‌های زیرزمینی می‌توان کانسارهای موجود در اعماق زیاد را که در نمونه‌های رسوبات سطحی اثری ندارند، اکتشاف کرد.

* برای تعیین اندازه ذرات ریز، آنها را از غربال‌های مختلف عبور می‌دهند. تعداد سوراخ‌های موجود در هر اینچ (۲/۵۴ سانتیمتر) از غربال را مش آن می‌گویند. بنابراین وقتی می‌گوئیم اندازه رسوبات ۷۰ مش است، مقصود این است که این رسوبات از غربالی که در هر اینچ ۷۰ سوراخ دارد، عبور می‌کند.



الف) نقشه مینا همراه با شماره نمونه‌ها (ب) نقشه نشان‌دهنده عیار مس در نمونه‌ها (ج و د) دو سیستم نمایش داده

شکل ۱۳-۵ نمونه‌ای از نقشه‌های بررسی رسوبات بستر آبراهه‌ای [۱۳۰]

روش نمونه‌گیری از آب، در اکتشاف کانسارهای فلزاتی نظیر اورانیوم، مولیبدن، روی و مس موفقیت‌آمیز است و به نظر می‌رسد در سنجش سایر فلزات، به ویژه آنهایی که به آسانی حمل و نقل می‌شوند، نیز موفق باشد. امروزه در اکتشاف کانسنگ‌های مختلف نیکل، کبالت و انادیم، کرم و طلا نیز از این روش استفاده می‌شود. بدیهی است برای کسب نتایج بهتر، این روش را باید همراه با سایر روش‌های اکتشاف به کار برد.

مشخصات آب زیرزمینی را می‌توان به عنوان نشانه مستقیم یا غیرمستقیم در اکتشاف کانسارها به کار گرفت. افزایش غلظت فلزات در آب زیرزمینی (در مقایسه با زمینه) نشانه مستقیم وجود کانسار این فلزات در مسیر آب زیرزمینی است. پدیده‌هایی مثل افزایش غلظت فلزات فرعی، افزایش یون سولفات (و بالا رفتن نسبت یون سولفات به یون کلر) و کم شدن pH، نشانه‌های غیرمستقیم وجود کانساراند [۲۴].

موفقیت روش نمونه‌گیری از آب، به زمان نمونه‌گیری نیز بستگی دارد. در مناطقی که رطوبت بالا و منابع متعدد آب دارند، نمونه‌گیری آب زیرزمینی باید در فصول خشک انجام گیرد، اما در مناطق خشک، بهترین موقع نمونه‌گیری وقتی است که سطح ایستابی در بالاترین موقعیت خود قرار دارد [۲۴]. به هنگام نمونه‌برداری از آب‌های سطحی نیز باید دقت لازم را به کار برد و بهتر است نمونه‌برداری در فصول خشک سال انجام گیرد زیرا بارش‌های سنگین بعد از فصول خشک، ممکن است مقدار قابل توجهی املاح فلزات مختلف را از طریق شاخه‌های فرعی به جویبار اصلی وارد کند.

۱۳-۵-۴- روش بررسی بخارات و گازها: بعضی از مواد معدنی، به طور طبیعی و خودزاد (نظیر مواد رادیواکتیو) و یا در اثر تحریک عوامل سطحی، در اطراف خود گازها و ذراتی متصاعد می‌کنند که با بررسی آنها می‌توان به وجود کانسار اصلی پی برد. بدین ترتیب، در حالت کلی باید هاله‌های گازی که اطراف این کانسارها را احاطه کرده‌اند، در گروه هاله‌های ثانویه طبقه‌بندی کرد. بخار جیوه از مدت‌ها پیش به عنوان نشانه‌ای دال بر وجود کانی‌های سولفیدی تعبیر می‌شده و امروزه نیز از آن، در اکتشاف این کانسارها و نیز خود جیوه استفاده می‌شود. رادن و هلیم موجود در آب‌های سطحی و زیرزمینی، راهنمای مؤثری در جستجوی کانسارهای حاوی اورانیوم به شمار می‌آیند. وجود هیدروکربن‌ها در خاک، نشانه میدان‌های نفت و گاز و وجود گازهای SH_2 و SO_2 ، دال بر وجود مواد گوگردار است. در جدول ۱۳-۳ گازهایی که معمولاً در اطراف کانسارهای مختلف پراکنده‌اند، درج شده است.

هاله‌های گازی را به سه دسته زیر تقسیم می‌کنند [۲۸]:

- هاله‌های گازی با منشأ رادیواکتیو
- هاله‌های گازی با منشأ غیررادیواکتیو
- هاله‌های گازی ترکیبات شیمیایی

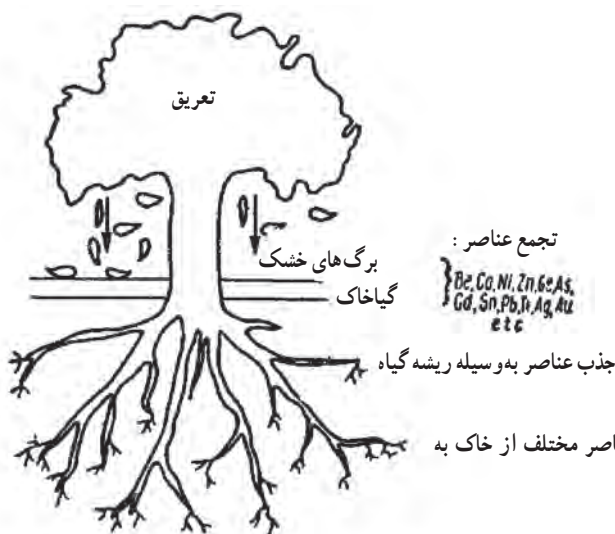
جدول ۱۳-۱- گازها و بخارات موجود در اطراف کانسارهای مختلف [۳۱]

ردیف	نوع گاز یا بخار	عامل مربوطه
۱	Hg	کانسارهای جیوه - کانسارهای اورانیوم - سولفیدهای مختلف
۲	He	کانسارهای اورانیوم - سولفیدهای مختلف - شکستگی‌های عمیق
۳	CO ₂	کانسارهای جیوه - شکستگی‌های عمیق - اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی (برای بررسی نسبت CO ₂ /O ₂)
۴	Ra	کانسارهای اورانیوم
۵	SO ₂	کانی‌های سولفیدی
۶	SH ₂	کانی‌های سولفیدی
۷	I, F	اسکارن - گرازن - کانسارهای مس پرفیری
۸	ترکیبات آلی - فلزی عناصر: Ag, Zn, Ca, Hg, Ni	کانی‌های سولفیدی

۱۳-۵-۵- روش بیوژئوشیمیایی^۱: اکتشاف فلزاتی نظیر نیکل، مس، کرم، سرب،

مولیبدن، طلا و بعضی عناصر دیگر، این نکته مهم و جالب را آشکار ساخته است که رابطه‌ای بین محتوای فلزی (و نسبت فلزات مختلف) کانسار و خاک اطراف آن از یک سو و گیاهانی که در خاک آنها می‌رویند، از سوی دیگر، وجود دارد. همین بررسی‌ها نشان داده است که درصد فلزات یاد شده در گیاهانی که در محدوده هاله‌های تفرقی کانسار می‌رویند، چند ده و حتی چند هزار برابر میزان آن، در خاک و گیاهانی است که در مناطق معمولی روئیده‌اند.

اکتشافات بیوژئوشیمیایی نیز نظیر بسیاری روش‌های ژئوشیمیایی دیگر، بر مبنای گسترش هاله ثانویه و ارتباط بین گیاهان و محیط تغذیه آنها استوار است (شکل ۱۳-۶).



در حالت کلی هرگاه خاکستر گیاهان منطقه، یک افزایش ناگهانی در غلظت بعضی عناصر و فلزات نشان دهد، می‌توان انتظار داشت که پی سنگ‌های منطقه نیز از عناصر و فلزات یاد شده غنی باشند و احتمال دارد، کانسار آنها در ناحیه وجود داشته باشد.

برای بررسی‌های بیوژئوشیمیایی بسته به مقیاس کار، به فواصل ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متری، نیمرخ‌های اکتشافی، عمود بر امتدادی که گسترش کانسار در آن جهت انتظار می‌رود در نظر گرفته می‌شود. نیمرخ‌ها از دو طرف، تا حدی که پیش‌بینی می‌شود دیگر اثری از کانسار موجود نباشد، ادامه می‌یابند. فواصل نمونه‌برداری در روی نیمرخ‌ها نیز بسته به مقیاس بین ۱۰ تا ۵۰ متر تغییر می‌کند.

در نقاط نمونه برداری، مقداری از برگ یا شاخه‌های نازک درخت به وزن ۱۵ تا ۲۰ گرم گرفته می‌شود. حجم نمونه باید به اندازه‌ای باشد که از سوختن آن حداقل ۲۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم خاکستر به دست آید. همچنین، نمونه‌هایی از همان نوع گیاهان و در فاصله ۲ تا ۳ کیلومتری از محیط اطراف کانسار نیز تهیه و خاکستر شاخ و برگ آنها تجزیه می‌شود تا مقدار زمینه عناصر مورد نظر در ناحیه به دست آید [۲۴]. در بعضی موارد نیز از شبکه‌های نمونه برداری مربع یا مستطیل با اضلاع ۵ تا ۳۰۰ متر استفاده می‌شود [۲۴].

پس از اینکه در نقاط مورد نظر نمونه برداری به عمل آمد، نتیجه تجزیه خاکستر را در روی نقشه در کنار نمونه می‌نویسند و در صورت لزوم، منحنی‌های هم عیار را تهیه می‌کنند. به کمک این منحنی‌ها، می‌توان جهت عمومی کانی‌سازی ناحیه را تعیین کرد.

۱۳-۵-۶- روش ژئوبوتانی^۱: این روش را ممکن است به طور مستقل و یا همراه با روش بیورژوشیمیایی به کار برد. از مدت‌ها پیش، معدنکاران به رابطه بین مواد معدنی و پوشش گیاهی روی آنها پی برده و متوجه شده بودند که در مناطقی که عناصر خاصی وجود دارد، گیاهان خاصی می‌رویند و یا رشد آنها زیاده‌تر از حد معمول است. مطالعات نشان داده است که بعضی از گیاهان و حتی باکتری‌ها، قادر به جذب مقدار قابل توجهی مس، روی، لیتیم و منگنز هستند [۲۴].

معمولاً گیاهان خود را با عناصری که به مقدار زیاد در خاک وجود دارد (مثل سدیم، پتاسیم، سیلیسیم، آهن و غیره) تطبیق می‌دهند. افزایش میزان عناصر اخیر در خاک، سبب معیوب شدن خاک می‌شود و قدرت رویش آن را کاهش می‌دهد و حتی ممکن است به کلی آن را عقیم سازد [۶]. نکته جالب آن است که در این شرایط خاک، گیاهان خاصی در آن می‌رویند که می‌توان آنها را به عنوان نشانه‌ای، دال بر بالای بودن میزان این عناصر دانست و بدین ترتیب، به وضعیت کانی‌شناسی منطقه پی برد.

بررسی‌های گیاه‌شناسی نشان داده است که گیاهان نشانه‌ای، برای خاک‌های غنی از فلزات مختلف به ویژه نیکل و مس، وجود دارد. کانسارهای معروف مس در نواحی جنگلی انبوه زامبیا و کاتانگا، به کمک گیاهان ویژه مس که در روی تصاویر ماهواره‌ای یا عکس‌های هوایی مشخص شده‌اند، کشف شده است [۲۴].

در بسیاری از نقاط ایران، در سازند زغال‌دار شمک، بوته‌های زرشک فراوانی روئیده که ممکن است با زغال و یا مواد همراه آن مرتبط باشد. همچنین در حوالی بعضی از کانسارهای سرب و روی، بوته‌های قوی سماق می‌روید که ممکن است با این فلزات رابطه داشته باشد.

نکته مهم به هنگام کاربرد این روش‌ها، آن است که رابطه گیاه یا گیاهان منطقه با کانی‌ها یا عناصر خاص منطقه کشف شود. باید توجه داشت که وقتی چنین ارتباطی روشن شود، نمی‌توان آن را به طور کامل تعمیم داد بلکه باید آن را برای شرایط اقلیمی خاصی در نظر گرفت. در حقیقت اشکال اساسی این روش آن است که نشانه گیاهی‌ای که بتوان آن را برای تمام نقاط منظور کرد، وجود ندارد.

به طور کلی می‌توان روش‌های ژئوبوتانی را برای مقاصد زیر به کار برد:

الف) تهیه نقشه‌های سنگ‌شناسی در مناطق با پوشش انبوه گیاهی.

ب) بررسی آب‌های زیرزمینی در اعماق کم.

ج) بررسی گنبد‌های نمکی و جابه‌جایی تکتونیکی جدید.

د) بررسی قیرهای طبیعی، نفت، بر، گوگرد و مواد دیگر.

ه) پی‌جویی کانسارهای فلزی

در این‌جا باید به روش استفاده از باکتری‌ها در اکتشاف مواد معدنی نیز اشاره کنیم. این تحقیقات بر مبنای بررسی باکتری‌هایی که در ارتباط با مواد معدنی خاصی نشو و نما می‌کنند، استوار است. به عنوان مثال می‌توان از، باکتری‌هایی نام برد که در میدان‌های نفت و گاز یافت شده و سبب اکسیداسیون هیدروکربن‌ها می‌شوند.

خودآزمایی

- ۱- تفاوت هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه و ثانویه را شرح دهید.
- ۲- عناصر ردیاب و نشانه را شرح دهید.
- ۳- مراحل مختلف اکتشافات ژئوشیمیایی را نام ببرید.
- ۴- روش‌های ژئوشیمیایی را نام ببرید.
- ۵- نحوه تعیین عمق بهینه نمونه‌برداری در روش نمونه‌برداری از خاک را شرح دهید.
- ۶- مکان‌های نمونه‌برداری در روش رسوبات آبراهه‌ای را شرح دهید.
- ۷- روش نمونه‌برداری آب در چه مواردی کاربرد دارد.
- ۸- یک مثال از کاربرد روش بررسی بخارات و گازها را ذکر کنید.
- ۹- روش‌های بیوژئوشیمیایی و ژئوبوتانی را شرح دهید.

حفریات اکتشافی سطحی

- هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که:
- ۱- نحوه تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی بزرگ مقیاس را بیان کند.
 - ۲- تخته سه پایه و کاربرد آن را توضیح دهد.
 - ۳- حفر و برداشت چاله، ترانشه، اوکلون و چاهک را شرح دهد.

۱۴-۱- آشنایی

مقصود از حفریات اکتشافی سطحی، آن دسته حفریاتی است که در سطح زمین و یا اعماق کم احداث می‌شوند و هدف آنها کسب اطلاعاتی از وضعیت سطحی ماده معدنی و سنگ‌های اطراف آن است. هزینه حفریات اکتشافی سطحی در مقایسه با سایر حفریات اکتشافی کم است و در زمان کوتاهی انجام می‌گیرد و این، از جمله امتیازات این حفریات به شمار می‌آید.

مهمترین حفریات اکتشافی سطحی، چاله‌های اکتشافی، ترانشه، چاهک و چال‌های اکتشافی هستند. از آنجا که قبل از احداث حفریات سطحی باید نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس منطقه تهیه شود لذا در ابتدا به شرح چگونگی تهیه این نقشه‌ها می‌پردازیم و سپس نحوه حفر و برداشت حفریات اکتشافی را شرح خواهیم داد. به طوری که خواهیم دید، تهیه نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس در بسیاری موارد، مستلزم حفر چاله‌های اکتشافی است.

۱۴-۲- تهیه نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس

اگرچه نقشه‌های زمین‌شناسی در مراحل مختلف اکتشاف تهیه می‌شوند، ولی نقشه‌های بزرگ مقیاس را با مقیاس‌های بزرگ‌تر و به منظورهای مختلف تهیه می‌کنند. نقشه زمین‌شناسی‌ای که در این مرحله تهیه می‌شود، مبنای تعبیر و تفسیر داده‌های اکتشافی است و بنابراین باید دقت لازم در تهیه آن به کار رود.

در نقشه‌های زمین‌شناسی بزرگ مقیاس، تمام پدیده‌های زمین‌شناختی که در سطح قابل تشخیص‌اند، به ویژه جزئیات مربوط به ماده معدنی، باید شناسایی و در نقشه درج شود. در مواردی که ضخامت ماده معدنی در رخنمون کم باشد، باید جزئیات آن را به طور مجزا و با مقیاس بزرگ‌تر در نقشه نشان داد.

۱۴-۲-۱- مقیاس نقشه: انتخاب مقیاس نقشه زمین‌شناسی، به ساده یا پیچیده بودن ساختار ماده معدنی بستگی دارد. در مورد کانسارهای لایه‌ای، مثل زغال‌سنگ، معمولاً مقیاس ۱:۵۰۰۰ را به کار می‌برند، اما در مورد مواد معدنی فلزی، که تغییرات آنها زیاد است، ممکن است از مقیاس‌های بزرگ‌تر استفاده شود. بدیهی است در مواردی که نقشه زمین‌شناسی به کمک نقشه‌های توپوگرافی موجود تهیه می‌شود، مقیاس نقشه‌های توپوگرافی موجود نیز خود عاملی در انتخاب مقیاس نقشه است.

۱۴-۲-۲- نحوه تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی بزرگ مقیاس: بسته به دقت مورد نظر و بود یا نبود نقشه توپوگرافی و وسایل نقشه‌برداری، نقشه‌های زمین‌شناسی بزرگ مقیاس را می‌توان به کمک نقشه‌های توپوگرافی، دوربین نقشه‌برداری و یا تخته سه‌پایه تهیه کرد که در ادامه به اختصار آنها را شرح می‌دهیم.

الف) استفاده از نقشه‌های توپوگرافی: در صورتی که نقشه توپوگرافی دقیق منطقه در دست باشد، می‌توان آن را به عنوان نقشه مبنا به کاربرد و پدیده‌های زمین‌شناسی را روی آن پیاده کرد و از ارتباط دادن پدیده‌های مختلف به هم، نقشه زمین‌شناسی را به دست آورد.

تهیه نقشه‌های بزرگ مقیاس با این روش، مشابه روش تهیه نقشه‌های کوچک مقیاس است که قبلاً به آنها اشاره کردیم.

ب) استفاده از وسایل نقشه‌برداری: در بسیاری موارد، در مرحله احداث حفاریات اکتشافی سطحی، ممکن است نقشه توپوگرافی دقیقی وجود نداشته باشد. در چنین مواردی باید عوارض زمین‌شناسی را با استفاده از وسایل نقشه‌برداری برداشت کرد و پس از تعیین مختصات، آنها را بر

روی نقشه منتقل ساخت.

اولین قدم در این مورد، انتخاب و احداث تعدادی ایستگاه نقشه‌برداری موسوم به ایستگاه‌های مینا است. موقعیت، ایستگاه‌های مینا باید به گونه‌ای انتخاب شود که هر ایستگاه نسبت به ایستگاه‌های ماقبل و مابعد خود دید داشته باشد و نیز با استقرار دوربین بر روی این ایستگاه‌ها، بتوان تمام پدیده‌های موجود در منطقه‌ای را که مقصود تهیه نقشه از آنجا است، برداشت کرد. در انتخاب موقعیت این ایستگاه‌ها باید به این نکته مهم توجه کرد که ایستگاه‌ها به گونه‌ای انتخاب شوند که عملیات معدنکاری احتمالی در آینده، موجب از بین رفتن آنها نشود زیرا این ایستگاه‌ها باید در تمام مدت اکتشاف و استخراج پایدار بمانند تا از آنها بتوان برای تلفیق داده‌های مختلف اعم از داده‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، زمین ساخت، آب‌شناسی و نظایر آنها استفاده کرد و نیز بتوان سیستم GIS را به کاربرد.

فاصله ایستگاه‌های مینا به وضعیت توپوگرافی، پوشش گیاهی و نیز دقت دوربین نقشه‌برداری مورد استفاده، بستگی دارد. اگر منطقه پستی و بلندی زیادی نداشته باشد و ایستگاه‌ها در فواصل طولانی نیز نسبت به هم دید داشته باشند، در آن صورت دقت دوربین، تعیین کننده فاصله ایستگاه‌ها خواهد بود. در حالت عکس، یعنی وقتی که به علت پستی و بلندی و یا وجود درختان بلند، نقاط به فواصل طولانی نسبت به هم دید نداشته باشند، فواصل ایستگاه‌ها کمتر انتخاب می‌شود ولو آن که دوربین در فواصل بیشتر نیز دقت کافی داشته باشد.

پس از انتخاب موقعیت ایستگاه‌ها، به اصطلاح باید آنها را احداث کرد. بدین منظور در محل ایستگاه گودالی حفر کرده و پس از قرار دادن یک میلگرد که در مقطع آن علامت \times درج شده باشد، گودال را با بتن پر می‌کنند. این امر باعث می‌شود که در طول سال‌های آینده، موقعیت ایستگاه ثابت بماند و از آن بتوان برای عملیات مختلف اکتشاف و استخراج استفاده کرد. در کنار ایستگاه احداث شده، شماره آن با رنگ ثابت نوشته می‌شود و برای شناسایی سریع محل ایستگاه، در کنار آن سنگ‌چین یا پرچمی نصب می‌کنند.

پس از احداث ایستگاه‌ها، باید مختصات آنها را به دقت تعیین کرد. اگر در محدوده منطقه مورد مطالعه نقاط نقشه‌برداری کشوری (NCC) وجود داشته باشد، با انجام پیمایش از آن منطقه تا نزدیکترین ایستگاه، مختصات آن ایستگاه و در پی آن مختصات سایر ایستگاه‌ها از طریق پیمایش‌های بعدی (و یا به روش مثلث‌بندی) به دقت تعیین می‌شود.

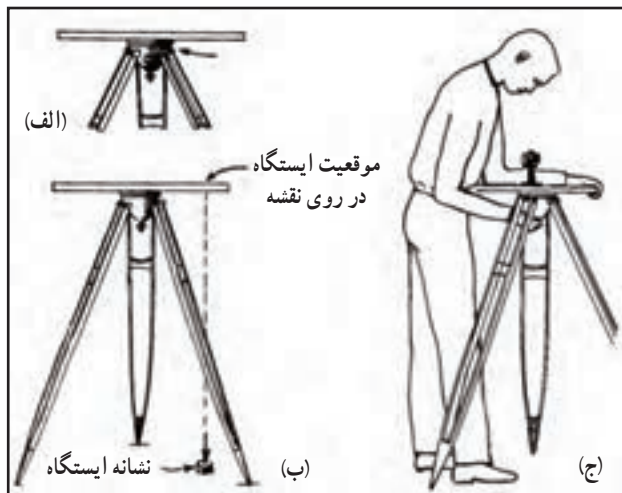
اگر در نزدیکی منطقه نقطه نقشه‌برداری کشوری وجود نداشته باشد، باید برای ایستگاه مادر، مختصات محلی در نظر گرفت. بدین منظور می‌توان با قراول روی به ستاره قطبی، امتداد

شمال جغرافیایی محل را به دست آورد و با فرض اعدادی به عنوان مختصات x ، y و z آن ایستگاه (معمولاً برای هریک از مختصات سه گانه عدد ۱۰۰۰ در نظر گرفته می شود)، مختصات سایر ایستگاه های مبنا تعیین می شود.

به هر حال، پس از مشخص شدن مختصات ایستگاه ها، با استقرار دوربین در هریک از آنها، مختصات تمام پدیده های زمین شناسی از قبیل مرز واحدهای سنگی، گسل ها، شکستگی های مهم و نظایر آنها محاسبه و بر روی نقشه پیاده می شود و بدین ترتیب، با تکمیل برداشت ها، نقشه زمین شناسی بزرگ مقیاس نیز تکمیل می شود.

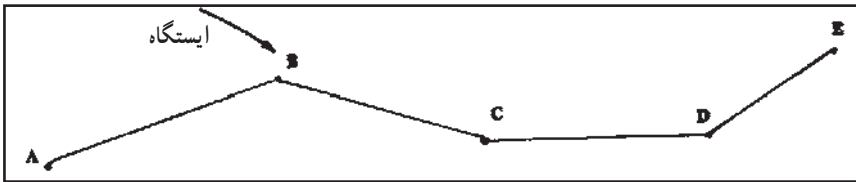
ج) استفاده از تخته سه پایه^۱: در بعضی موارد، می توان به کمک تخته سه پایه، نقشه زمین شناسی بزرگ مقیاس را تهیه کرد. اگرچه این روش قدیمی و سنتی است اما در مواردی که امکانات دیگر در دسترس نباشد، می توان از آن استفاده کرد. بدیهی است در این مورد نیز ابتدا باید ایستگاه های مبنای مورد نیاز را به شرحی که گفتیم احداث و مختصات آنها را محاسبه کرد.

تخته سه پایه از یک تخته صاف و محکم تشکیل شده است که در زیر آن یک صفحه برنجی قرار دارد و تخته به وسیله آن به سه پایه وصل می شود. در شروع کار، تخته سه پایه را در یک ایستگاه مبنا مستقر می کنند یعنی آن را طوری قرار می دهند که شاقول زیر آن، که در موقعیت ایستگاه تنظیم شده است، درست در بالای میلگرد ایستگاه قرار گیرد و آنگاه دستگاه را تراز می کنند (شکل ۱۴-۱).



شکل ۱۴-۱- استقرار تخته سه پایه در ایستگاه [۳۲]

از آنجا که ایستگاه‌های مبنا در روی کاغذی که روی تخته سه‌پایه نصب شده، مشخص است لذا به آسانی می‌توان به اصطلاح دستگاه را توجیه کرد. برای تشریح مسئله فرض می‌کنیم که مطابق شکل ۱۴-۲، دستگاه در ایستگاه B مستقر شده باشد. پس از تراز دستگاه، لبه خط‌کش آلیداد را بر خط BA منطبق می‌کنند و آنگاه تخته را آن‌قدر می‌چرخانند تا میری که در ایستگاه A قرار گرفته است در دوربین دیده شود. اگر تخته سه‌پایه را در این حالت ثابت کنیم و لبه خط‌کش آلیداد را بر امتداد BC منطبق سازیم، میری که در ایستگاه C قرار گرفته است در داخل دوربین دیده خواهد شد. در این حالت دستگاه توجیه شده و آماده کار است.



شکل ۱۴-۲- چگونگی توجیه کردن دستگاه

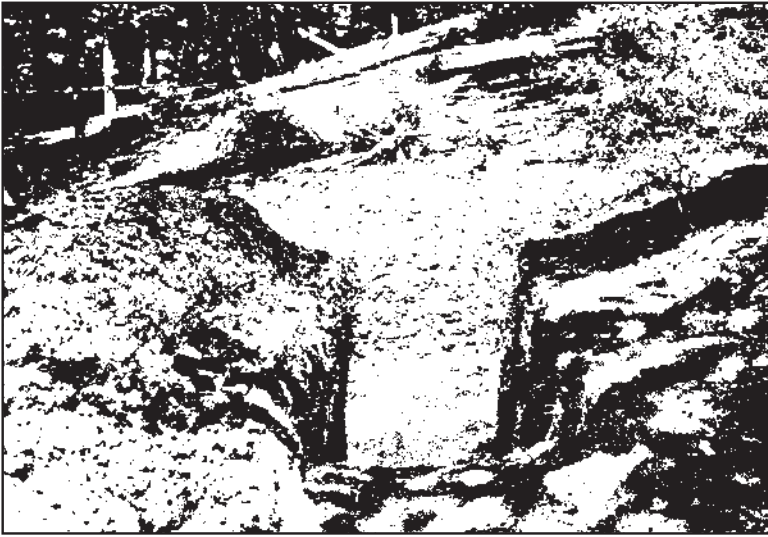
برای برداشت نقاط مختلف موجود در اطراف ایستگاه B، ابتدا میر را در نقطه مورد نظر مستقر کرده و آنگاه از درون دوربین آلیداد به سوی آن قراول روی می‌کنند. هنگامی که میر در دوربین دیده شود، با لبه خط‌کش آلیداد خط کم‌رنگی رسم می‌کنند. حال فاصله نقطه مورد نظر تا ایستگاه را به وسیله دوربین و با قرائت میر اندازه می‌گیرند و آن را به فاصله افقی تبدیل می‌کنند و سپس در روی کاغذ، در امتداد خط یاد شده، فاصله را با توجه به مقیاس نقشه جدا می‌کنند و بدین ترتیب موقعیت نقطه مورد نظر را در روی نقشه به دست می‌آورند.

نقاطی که در روی نقشه مشخص می‌شوند ممکن است مرز دولایه یا دو بخش و یا هر پدیده دیگر زمین‌شناسی نظیر نقطه‌ای از یک گسل باشد. پس از اینکه به تعداد کافی نقطه به دست آمد، با وصل کردن آنها به هم، نقشه زمین‌شناسی منطقه به دست می‌آید.

۱۴-۳- چاله‌های اکتشافی

در بسیاری موارد، مرز دقیق ماده معدنی با سنگ‌های اطراف به خوبی مشخص نیست و ماده معدنی در سطح به وسیله قشری از خاک پوشیده شده است و رؤیت مستقیم آن امکان ندارد. در چنین مواردی، باید با حفر چاله‌های اکتشافی، از روی ماده معدنی خاکبرداری کرد و آن را مشخص ساخت.

چاله‌های اکتشافی گودال‌های کوچکی هستند که آنها را در امتداد گسترش مورد انتظار ماده معدنی حفر می‌کنند. طول آنها برابر ضخامت ماده معدنی و عمق آنها معمولاً حدود یک متر است. این چاله‌ها را به وسیله بیل و کلنگ حفر می‌کنند (شکل ۱۴-۳).



شکل ۱۴-۳- چاله اکتشافی در یک منطقه زغالی

فاصله چاله‌های اکتشافی از هم، به پیچیدگی منطقه و نحوه بیرون زدگی ماده معدنی بستگی دارد. اگر تغییرات ماده معدنی زیاد و منطقه پیچیده باشد، فواصل آنها را خیلی نزدیک به هم در نظر می‌گیرند و حتی در بعضی موارد فاصله آنها تنها ۲۵ متر است، اما اگر تغییرات شدید نباشد، می‌توان فاصله‌ها را زیادتر و مثلاً تا حد ۲۵۰ متر نیز در نظر گرفت.

در مورد کانسارهای زغال‌سنگ، پس از این که با حفر چاله‌های متعدد در امتداد لایه‌های مختلف زغال، وضعیت آن مشخص شد، موقعیت چاله‌ها در روی نقشه پیاده می‌شود و از وصل آنها به هم، در واقع نقشه زمین‌شناسی لایه‌های زغال به دست می‌آید.

۱۴-۴- ترانشه^۱

در حالت کلی ماده معدنی در سطح زمین رخنمون مشخصی ندارد و اغلب با قشری از خاک و

^۱- trench

واریزه پوشیده شده است. هر چقدر ماده معدنی نرم تر و در برابر هوازدگی مقاومت کمتری داشته باشد، ضخامت خاک روی آن بیشتر است. مثلاً در حالی که رخنمون مواد معدنی مقاوم مثل کانسنگ‌های فلزی در سطح زمین به خوبی مشخص است، مواد معدنی نرم مثل زغال‌سنگ، معمولاً با قشری از خاک پوشیده شده‌اند که ضخامت این قشر خاک ممکن است به چند متر برسد. برای اینکه وضعیت ماده معدنی در سطح زمین مشخص شود، در جهت عمود بر گسترش ماده معدنی گودالی حفر می‌کنند که به نام ترانشه معروف است (شکل ۱۴-۴).



(الف)



(ب)

شکل ۱۴-۴ الف) نمایی از ترانشه‌های حفر شده در جهت عمود بر امتداد گسترش ماده معدنی
ب) نمایی از داخل یکی از ترانشه‌های حفر شده [۳۳]

طول ترانشه تابع گسترش عرضی ماده معدنی است. مثلاً اگر در ناحیه‌ای یک زون زغالی مرکب از ۱۵ لایه مختلف وجود داشته و مجموع ضخامت لایه‌های زغالی به همراه سنگ‌های بین آنها ۶۰ متر باشد، در این صورت طول ترانشه‌ای که باید برای مشخص کردن این لایه‌ها حفر شود نیز در حدود ۶۰ متر خواهد بود.

عرض ترانشه باید به اندازه‌ای باشد که کارگر به آسانی بتواند در داخل آن به حفاری ادامه دهد، معمولاً عرض ۸۰ سانتیمتر تا یک متر برای این کار کافی است.

عمق ترانشه در نقاط مختلف آن متفاوت و تابع ضخامت خاکی است که روی ماده معدنی را پوشانده است. مثلاً در مورد لایه‌های مقاوم، که به خوبی در سطح زمین مشخص‌اند، حفر لازم نیست در صورتی که در قسمت‌هایی که مواد نرم قرار دارند، عمق آنها به ۵ متر هم می‌رسد.

تفاوت ترانشه و چاله اکتشافی در آن است که چاله اکتشافی به عمق کم و برای تعقیب یک لایه خاص حفر می‌شود، در صورتی که ترانشه تمام گسترش عرضی ماده معدنی را در برمی‌گیرد و عمق آن نیز بیشتر است به طوری که پس از حفر، می‌توان مشخصات ماده معدنی را به خوبی مشاهده و اندازه‌گیری کرد.

۱۴-۴-۱- انتخاب محل ترانشه: در ابتدای کار که اطلاع دقیقی از وضعیت ماده معدنی در منطقه موجود نیست، ترانشه‌ها به طور یکنواخت در سرتاسر منطقه توزیع می‌شوند یعنی بر روی هر نیمرخ اکتشافی از شبکه اکتشافی اولیه، یک ترانشه در نظر گرفته می‌شود. بدین ترتیب فواصل اولیه ترانشه‌ها از هم زیاد و به طور متوسط ۵۰۰ متر است. پس از حفر ترانشه‌های مرحله اول و به دست آمدن اطلاعاتی در مورد وضعیت ماده معدنی، ترانشه‌های مراحل دوم و سوم در بین ترانشه‌های اولیه حفر می‌شوند. فواصل ترانشه‌های اخیر بستگی به مشخصات ماده معدنی در قسمت‌های مختلف منطقه دارد. مثلاً اگر مشخصات ماده معدنی ثابت باشد، ممکن است فواصل ترانشه‌ها در حد ۲۵۰ متر بماند در صورتی که اگر به علت وجود پدیده‌هایی نظیر گسل‌ها و چین‌خوردگی‌ها، منطقه ساختار پیچیده‌ای داشته باشد، ممکن است فواصل آنها به ۵۰ متر نیز برسد.

۱۴-۴-۲- پیاده کردن ترانشه در زمین: ترانشه باید به گونه‌ای حفر شود که تمام ضخامت ماده معدنی را در برگیرد. اگر ماده معدنی کمابیش در سطح زمین رخنمون داشته باشد، به آسانی می‌توان موقعیت ترانشه را در زمین مشخص کرد. در چنین مواقعی، ریسمان بلندی را در امتداد عمود بر گسترش مواد معدنی روی زمین قرار می‌دهند و روی آن را پودر گچ یا آهک می‌ریزند. همچنین خط دیگری نیز به فاصله ۸۰ تا ۱۰۰ سانتیمتر و به موازات آن روی زمین رسم می‌کنند. خطوط یاد شده

کمی بیش از آخرین رخنمون ماده معدنی نیز ادامه می‌یابد و بنابراین کارگران به آسانی می‌توانند از روی این خطوط، ترانشه را حفر کنند.

اگر ماده معدنی در سطح زمین رخنمون واضحی نداشته باشد، موقعیت ترانشه را باید به کمک لایه راهنما مشخص ساخت.

در بعضی موارد ممکن است به علت پاره‌ای مشکلات، ترانشه در همه جا امتداد ثابتی نداشته باشد. مثلاً ممکن است قسمتی از آن در مسیر مستقیم، زیر مسیل یا ناحیه‌ای که ضخامت خاک زیاد است واقع شود و یا اینکه به علت وجود گسل‌ها، امتداد ماده معدنی در گسترش عرضی خود ثابت نباشد. در چنین مواردی، امتداد قسمت‌های مختلف ترانشه متفاوت است و در هر قسمت، باید حتی‌المقدور بر امتداد گسترش ماده معدنی عمود باشد و نیز از قسمت‌هایی که ضخامت خاک یا آبرفت زیاد است، عبور نکند.

اگر منطقه بادخیز باشد، برای جلوگیری از پاک شدن خط ترانشه، به جای ریختن پودر آهک و گچ، امتداد آن را در زمین به کمک میخ‌های چوبی میخ‌کوبی می‌کنند.

۱۴-۴-۳- حفر ترانشه: معمولاً حفر ترانشه با ابزار دستی و به وسیله کارگر انجام می‌گیرد. علت این امر آن است که معمولاً هنگامی که ترانشه‌ها حفر می‌شود، هنوز جاده‌ای احداث نشده است و بنابراین حمل و نقل کمپرسور و استفاده از چکش‌های مکانیکی مقدور نیست. معمولاً طول ترانشه به قطعات ۱۰ متری تقسیم و حفر هر قطعه به عهده دو نفر کارگر گذاشته می‌شود. دو کارگر یاد شده، به نوبت عمل حفر و خاکبرداری را انجام می‌دهند. بدیهی است این روش ابتدایی است و باعث صرف هزینه و وقت زیادی می‌شود اما در نقاط دورافتاده، تقریباً روش منحصر به فرد است.

اگر در حوالی ترانشه جاده وجود داشته باشد، می‌توان حفر را به کمک چکش مکانیکی انجام داد. در چنین مواردی می‌توان با استفاده از یک کمپرسور، هوای فشرده لازم برای تغذیه چکش را تأمین کرد.

امروزه چکش‌های مکانیکی‌ای ساخته شده است که کمپرسور و موتور بنزینی کوچکی به آن متصل است. وزن دستگاه همراه با کمپرسور از ۲۶ کیلوگرم تجاوز نمی‌کند و بنابراین وسیله بسیار مناسبی برای حفر ترانشه در نقاط دور افتاده است (شکل ۱۴-۵).

اگر زمین اطراف ترانشه کمابیش مسطح باشد، می‌توان برای حفر ترانشه، از ماشین‌های کج‌بیل^۱، استفاده کرد. این ماشین‌ها، بیل مخصوصی دارند که به کمک آن می‌توان از زمین خاک برداری کرد و

معمولاً از آنها برای حفر گودال به منظور عملیات لوله‌گذاری استفاده می‌شود. در شکل ۱۴-۶ نوعی از این ماشین‌ها نشان داده شده است.



شکل ۱۴-۶- نوعی ماشین ترانشه‌زنی

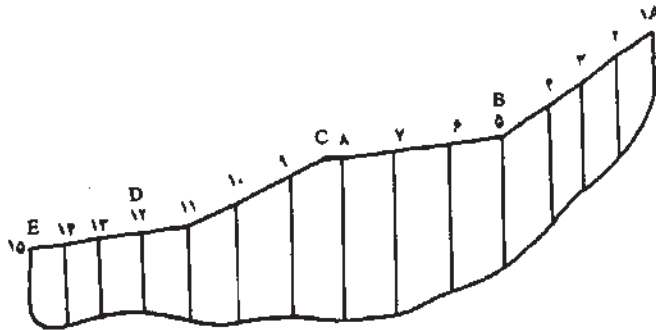


شکل ۱۴-۵- نحوه حفر ترانشه به کمک چکش مکانیکی سیار



۱۴-۴-۴ برداشت ترانشه : برای برداشت ترانشه، ابتدا باید مقطع آن را رسم کرد. برای این کار، ابتدا یک متر نواری فلزی یا پارچه‌ای را در امتداد طول ترانشه پهن می‌کنند. با توجه به آنکه شیب سطح زمین ممکن است در طول ترانشه متفاوت باشد، لذا طول آن را به چند قطعه که در آنها شیب سطح زمین مساوی باشد تقسیم می‌کنند و شیب هر قسمت را به وسیله کمپاس اندازه می‌گیرند.

بدین ترتیب، با این اطلاعات می‌توان نیمرخ سطح زمین را در امتداد ترانشه رسم کرد. مثلاً در شکل ۷-۱۴، شیب سطح زمین در قطعه‌های AB، BC، CD و DE ترانشه اندازه‌گیری و مقطع آن رسم شده است. حال با توجه به تغییرات عمق ترانشه در طول آن که خود تابع نوع مواد معدنی و ضخامت خاک روی آنهاست، به وسیله یک متر فلزی کوچک، عمق ترانشه را در نقاط مختلف (مثلاً نقاط ۱ تا ۱۵ در شکل ۷-۱۴) اندازه می‌گیرند. اکنون با انتخاب مقیاس مناسب (معمولاً مقیاس ۱:۱۰۰) می‌توان به کمک این اطلاعات، سطح مقطع دیواره ترانشه را مطابق شکل روی کاغذ میلیمتری رسم کرد.

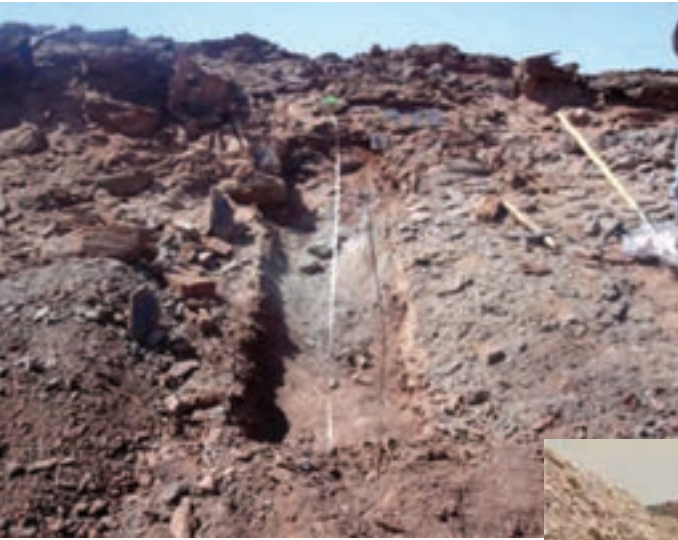


شکل ۷-۱۴ - رسم مقطع ترانشه

برداشت ترانشه باید بلافاصله پس از خاتمه حفر انجام گیرد زیرا مدتی که از حفر ترانشه گذشت، دیواره‌های آن ریزش می‌کند و دیگر مشاهده مستقیم مواد معدنی در کف ترانشه ممکن نخواهد شد.

برای برداشت ترانشه، ابتدا سطح مقطع ترانشه را به ترتیبی که گفته شد، روی کاغذ میلیمتری رسم می‌کنند. برای این که رسم ترانشه به آسانی انجام گیرد، بهتر است کاغذ میلیمتری را روی یک قطعه تخته صاف و یا لوح‌های آلومینیومی که به همین منظور تهیه شده است، نصب کرد. برای پیاده کردن ترانشه بر روی نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس، باید مختصات ابتدا و انتهای آن در دست باشد. بدین منظور باید این مختصات به شیوه نقشه‌برداری محاسبه شود و در صورتی که در زمان برداشت مختصات دقیق در دست نباشد، می‌توان مختصات تقریبی را با استفاده از GPS به دست آورد. در مواردی که ترانشه به صورت خط شکسته باشد، باید مختصات نقاط شکستگی تعیین شود.

پس از رسم مقطع، در حالی که متر چند ده‌متری روی زمین و در بالای ترانشه پهن است، از



شکل ۱۴-۸ نحوه برداشت ترانشه [۳۳]

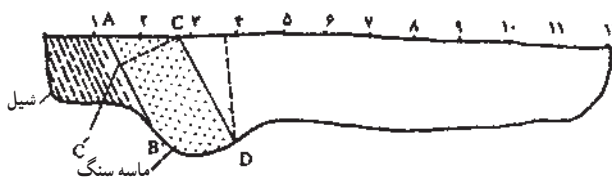
یک سر ترانشه برداشت را شروع می‌کنند (شکل ۱۴-۸). مقیاس برداشت معمولاً ۱:۱۰۰ است و اگر این عمل به خوبی انجام گیرد، در واقع تمام اطلاعات حاصل از ترانشه در آن ثبت می‌شود (شکل ۱۴-۹).



شکل ۱۴-۹ ثبت اطلاعات ترانشه [۳۳]

در مواردی که مواد معدنی و سنگ‌های اطراف آن لایه‌ای شکل‌اند، می‌توان با اندازه‌گیری شیب لایه‌ها در داخل ترانشه، آنها را رسم کرد و در صورتی که شیب لایه یکسان نباشد، باید آنها را به روش ترسیمی به نقشه درآورد. یکی از روش‌های برداشت ترانشه آن است که محل برخورد لایه به سطح زمین را در روی متر قرائت می‌کنند و موقعیت کف آن را نیز با انداختن یک سنگ‌ریزه از محاذات آن در روی متر، مشخص می‌سازند و بدین ترتیب با وصل دو نقطه بالا و پائین لایه، وضعیت آن در ترانشه رسم می‌شود.

مثلاً در شکل ۱۴-۱۰، سطح کمر پائین لایه ماسه‌سنگ در بالای ترانشه ۱/۲ متر (نقطه A) و موقعیت آن در کف ترانشه (نقطه B) ۲ متر است بنابراین با این دو نقطه، سطح کمر پائین لایه

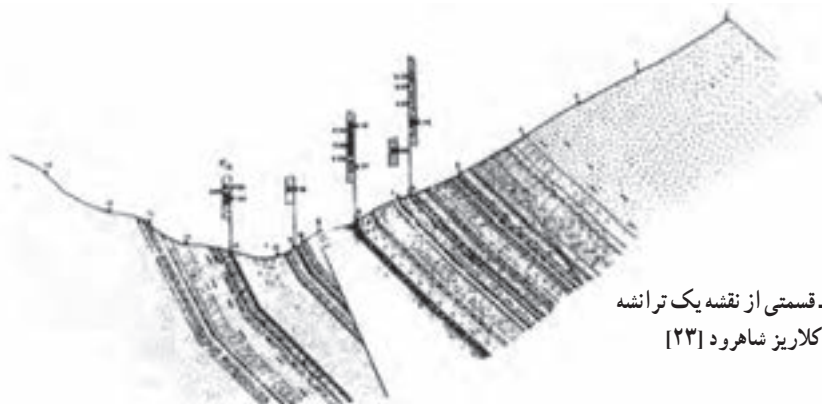


به آسانی رسم می‌شود. همچنین موقعیت سطح کمر بالای لایه به کمک دو نقطه C (با فاصله ۲/۷) و D (با فاصله ۳/۹) به دست می‌آید.

پس از این که موقعیت تمام واحدهای ماده معدنی و سنگ‌های اطراف آن‌ها رسم شد، هر واحد با شماره‌ای مشخص شده و خصوصیات فیزیکی، کانی‌شناسی، فسیل‌شناسی و سنگ‌شناسی آن در دفترچه ویژه‌ای ثبت می‌شود. بهتر است برای ثبت مشخصات واحدهای مختلف ترانسه از جدول‌هایی که از قبل آماده شده است استفاده شود. با توجه به آنکه اهمیت ماده معدنی بیش از سنگ‌های اطراف آن است، امکان دارد که با توجه به مقیاس، نتوان جزئیات مربوط به آن‌را در روی نقشه پیاده کرد. بنابراین نقشه قسمتی از ترانسه را که حاوی ماده معدنی است، با مقیاس بزرگ‌تر در بالای آن رسم می‌کنند. به‌عنوان مثال در شکل ۱۴-۱۱ که نقشه یک ترانسه حفر شده در زون زغالی را نشان می‌دهد، مشخصات لایه‌های زغال با مقیاس بزرگ‌تر رسم شده است.

جدول ۱۴-۱- نحوه ثبت مشخصات واحدهای مختلف در ترانسه [۲۳].

شماره واحد	فاصله در سطح زمین - متر از - تا	ضخامت متر	مشخصات
۱	۰ - ۱/۲۰	۱/۱۰	شیل، دانه‌ریز دارای آثار گیاهی، رنگ خاکستری تیره دارای رگچه‌هایی از زغال
۲	۱/۲۰ - ۲/۳۰	۱	ماسه‌سنگ، دانه‌ریز، رنگ خاکستری روشن، ابعاد دانه‌ها مساوی، عمدتاً کوارتز و فلدسپات



شکل ۱۴-۱۱- قسمتی از نقشه یک ترانسه در منطقه زغالی کلاریز شاهرود [۲۳]

برای اینکه بعدها بتوان از اطلاعات مندرج در نقشه ترانسه استفاده کرد، نقشه ترانسه، نظیر هر نقشه دیگر، باید شناسنامه‌ای داشته باشد که معمولاً در گوشه پایین سمت راست آن قرار دارد. در این شناسنامه اطلاعاتی از قبیل منطقه‌ای که ترانسه در آن حفر شده است، شماره ترانسه، مشخصات فرد یا افراد برداشت کننده و ترسیم کننده نقشه ترانسه همراه با مقیاس و تاریخ تهیه آن درج می‌شود.

۱۴-۵- اوکلون^۱

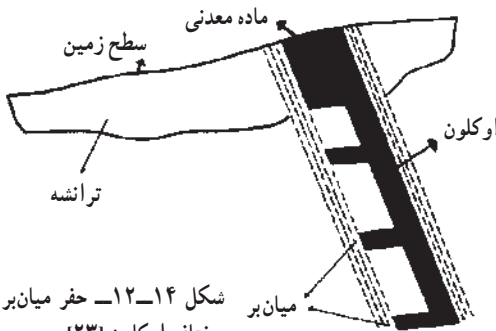
اگرچه با حفر ترانسه خاک‌های روی ماده معدنی برکنار شده و ساختار آن تا حدودی مشخص می‌شود، اما معمولاً مشخصات ماده معدنی در اعماق مختلف تغییر می‌کند و خصوصیات ثبت شده در ترانسه را نمی‌توان برای تمام گسترش ماده معدنی تعمیم داد. از سوی دیگر، کیفیت ماده معدنی نیز در قسمت‌های سطحی تا حدود زیادی با مشخصات واقعی آن متفاوت است. بنابراین برای بررسی تغییرات کمی و کیفی ماده معدنی، باید به نحوی بتوان آن را در عمق شناسایی کرد.

ساده‌ترین و ارزان‌ترین خویه اکتشافی که به کمک آن می‌توان ماده معدنی را در عمق شناسایی کرد، اوکلون است و آن در واقع خویه است که داخل ماده معدنی حفر می‌شود و به کمک آن می‌توان ماده معدنی را به طور مستقیم مشاهده کرد و از آن نمونه گرفت.

۱۴-۵-۱- انتخاب محل اوکلون: انتخاب تعداد اوکلون‌های لازم در هر ناحیه بستگی به امکانات حفر، سختی یا سستی ماده معدنی و نیز تغییر مشخصات ماده معدنی دارد. در مورد مواد معدنی نرم، مثل زغال‌سنگ، تقریباً در تمام ترانسه‌ها و در داخل لایه‌های قابل توجه، اوکلون حفر می‌شود، در صورتی که اگر ماده معدنی سخت باشد، از هر چند ترانسه فقط در داخل یکی اوکلون حفر می‌شود. اگر ماده معدنی خیلی سخت باشد، به جای حفر ترانسه مستقیماً اوکلون (و یا چاهک) حفر می‌شود.

انتخاب ابعاد سطح مقطع اوکلون تابع ضخامت ماده معدنی است. اگر ضخامت ماده معدنی زیاد نباشد، اوکلون در سرتاسر ضخامت آن حفر می‌شود و در صورتی که ضخامت زیاد باشد، می‌توان اوکلون را با ابعاد 1×1 متر حفر کرد و در اعماق مختلف، با حفر میان‌برهایی به ماده معدنی دست یافت. مثلاً در شکل ۱۴-۱۲، اوکلون در قسمت کم‌ربالای ماده معدنی حفر شده و در اعماق مختلف، میان‌برهایی احداث شده است.

^۱- Incline



شکل ۱۴-۱۲- حفر میان بر در اعماق مختلف اوکلون [۲۳]

امتداد اوکلون نیز تابع شیب ماده معدنی است و معمولاً اوکلون به گونه‌ای حفر می‌شود که سقف و کف آن به ترتیب سقف و کف لایه باشد. اگر شیب لایه خیلی کم باشد، از آنجا که امکان ریزش سقف اوکلون مورب وجود دارد لذا آن را با شیب

زیادتر حفر می‌کنند و از عمق مختلف با حفر میان برهایی به ماده معدنی دسترسی می‌یابند.

۱۴-۵-۲- حفر اوکلون: حفر اوکلون معمولاً به کمک کلنگ دستی انجام می‌شود. اما در صورتی که امکان استفاده از چکش مکانیکی موجود باشد، راندمان حفاری تا حد قابل توجهی بالا خواهد رفت.

بارگیری از داخل اوکلون به وسیله چرخ چاه انجام می‌شود.

بدیهی است کارگران باید به هنگام حفر اوکلون، مسایل ایمنی را رعایت کنند و از آن جمله حتماً کلاه ایمنی برسر داشته باشند. در مواردی که ضمن حفر ماده معدنی گازهای سمی یا قابل انفجار متصاعد شود (مثلاً لایه‌های زغالی که حاوی گاز زغال و مونواکسیدکربن‌اند)، تهویه اوکلون نیز باید مراعات شود.

یکی از مشکلات حفر اوکلون، جمع شدن آب زیرزمینی در داخل آن است. پس از اینکه عمق اوکلون از سطح ایستایی منطقه پایین‌تر رفت، آب در کف آن جمع می‌شود. آبکشی از داخل اوکلون معمولاً به کمک دلوهای لاستیکی و چرخ چاه انجام می‌گیرد. بدین ترتیب هر روز در شروع کار، ابتدا مدتی برای آبکشی صرف می‌شود و این امر از راندمان کار حفاری می‌کاهد.

در بعضی موارد میزان آب موجود در اوکلون به حدی است که دیگر به کمک دلو نمی‌توان آنها را خارج کرد. در چنین مواردی، اجباراً باید آنها را به کمک تلمبه‌های کوچک دستی یا مکانیکی خارج کرد. از آنجا که اوکلونها در نقاط دور افتاده‌ای قرار دارند، امکان استفاده از تلمبه‌های برقی نیست و تنها می‌توان از تلمبه‌هایی که موتور بنزینی یا دیزلی دارند، استفاده کرد.

در مواقعی که هوای فشرده در دسترس باشد، با استفاده از تلمبه‌هایی که با این انرژی کار می‌کنند، آبکشی بسیار آسان می‌شود.

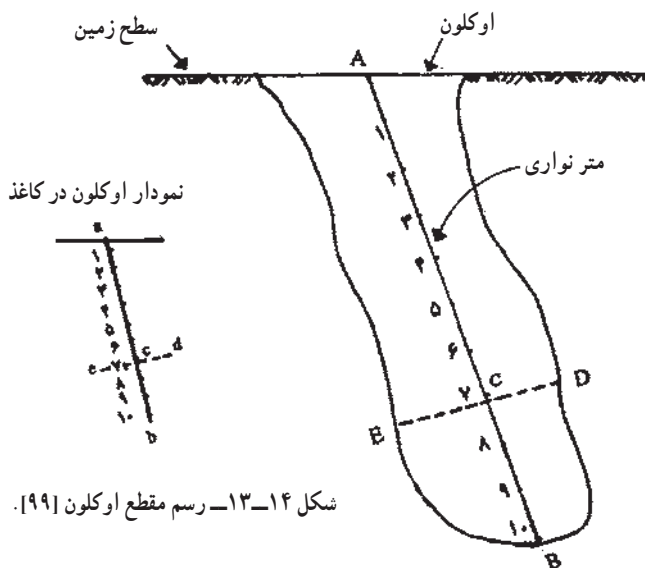
در مواقعی که جنس سنگهای طرفین ماده معدنی محکم و مقاوم باشد، اوکلون بدون نصب وسیله نگهداری حفر می‌شود اما اگر سقف یا دیواره‌های آن ریزشی باشد، باید همزمان با ادامه عملیات حفاری،

در آن چوب بست‌هایی نصب کرد. بدیهی است برداشت اوکلون باید قبل از نصب این چوب بست‌ها انجام گیرد.

مطالعه آزاد

۱۴-۵-۳- برداشت اوکلون: همان‌گونه که در مبحث ترانسه گفته شد، برای حفظ اطلاعات ناشی از اوکلون باید آن را برداشت کرد و اطلاعات حاصل از آن را به نقشه درآورد.

برای تهیه نقشه اوکلون، ابتدا مقطع آن را با مقیاس مناسب (معمولاً مقیاس $1:10$) بر روی کاغذ میلی‌متری رسم می‌کنند. برای این کار یک متر فلزی یا پارچه‌ای را از سطح زمین تا کف اوکلون می‌کشند (شکل ۱۴-۱۳). حال شیب این متر نواری را به کمک کمپاس اندازه می‌گیرند و در روی نقشه نیز خطی با همان شیب و به طول آن باتوجه به مقیاس رسم می‌کنند. به عنوان مثال اگر فاصله AB در زمین 10 متر و شیب خط AB 6° درجه باشد، در روی نقشه نیز خط ab به طول 10 سانتی‌متر و با همان شیب رسم می‌شود. حال در اعماق مختلف 1 ، 2 ، 3 و 10 متری به کمک یک متر فلزی کوچک، فاصله عمودی سقف و کف اوکلون تا این خط اندازه‌گیری و در روی نقشه با همان مقیاس رسم می‌شود. مثلاً فواصل CD و CE که از عمق 7 متری (شکل ۱۴-۱۳)



شکل ۱۴-۱۳- رسم مقطع اوکلون [۱۹۹].

اندازه‌گیری شده است با همان مقیاس در نقطه C از شکل رسم می‌شود. بدین ترتیب پس از اینکه به تعداد کافی نقطه به دست آمد. شکل مقطع اوکلون کامل می‌شود. پس از رسم مقطع اوکلون، در عمق‌های منظم، ضخامت واحدهای مختلف ماده معدنی اندازه‌گیری و به همان ترتیبی که گفته شد، در نقشه درج می‌شود تا بدین ترتیب برداشت کامل شود.

۱۴-۶- چاهک‌های اکتشافی^۱

در مواردی که کانسار در سطح زمین رخنمون نداشته باشد و ضخامت مواد پوشاننده آن چندان زیاد نباشد، برای اکتشاف آن می‌توان از شبکه چاهک‌های اکتشافی کمک گرفت. در واقع تفاوت عمده چاهک‌ها و گمانه عمق آنها است که در مورد گمانه بیشتر است. البته روش حفر این دو حفربه اکتشافی نیز تفاوت دارد. بسته به سیستم حفر چاهک، عمق آنها متفاوت است. عمق چاهک‌هایی که با دست حفر می‌شود، به ندرت از ۳۰ متر تجاوز می‌کند اما به کمک دستگاه‌های ویژه، می‌توان چاهک‌های عمیق‌تری نیز حفر کرد.

۱۴-۶-۱- شبکه چاهک‌های اکتشافی: همانند حفريات اکتشافی دیگر، موقعیت چاهک‌ها نیز براساس یک شبکه منظم تعیین می‌شود. در مورد کانسارهای کمابیش افقی، معمولاً شبکه‌های مربعی به کار می‌رود. در مورد کانسارهای شیب‌دار نیز چاهک‌ها در امتداد نیمرخ‌های اکتشافی که در جهت عمود بر گسترش کانسار توجیه شده‌اند، متمرکز می‌شود و بسته به وضعیت، بر روی هر نیمرخ ممکن است یک یا چند چاهک حفر شود.

۱۴-۶-۲- نحوه حفر چاهک: بسته به امکانات و نوع زمین، چاهک به روش‌های مختلفی حفر می‌شود که در ادامه به بررسی آنها می‌پردازیم:

الف) حفر با وسایل دستی: در مناطق دورافتاده و در شروع عملیات اکتشافی، معمولاً چاهک‌ها نیز همانند اوکلون و تراشه، با وسایل دستی حفر می‌شوند. وسایل دستی مرکب از کلنگ و بیل دسته کوتاه است و خاک‌های حفر شده را به وسیله دلو یا چرخ چاه، بیرون می‌آورند. مقطع چاهک‌های دستی معمولاً دایره و قطر آنها حدود یک متر است و در مواردی که خاک‌های روی کانسار چندان محکم نباشد، چاهک‌های تا عمق ۳۰ متر را نیز می‌توان با این روش حفر کرد.

^۱ - test pit



شکل ۱۴-۱۴- نوعی ماشین حفر چاهک

همانند حفر اوکلون‌ها، در این مورد نیز، باید مسایل ایمنی را رعایت کرد و کارگران را واداشت که حتماً کلاه ایمنی برسر داشته باشند. برای بالا و پائین رفتن کارگران و مسئول برداشت و نمونه‌برداری از چاهک، باید به فواصل نیم‌متر به نیم‌متر، در دیواره چاهک جای‌ها حفر کرد. بدیهی است در مواردی که خاک سست و مرطوب باشد، با نصب چوب‌بست باید از ریزش دیواره جلوگیری کرد.

ب) حفر چاهک به کمک ماشین‌های مخصوص:
این دستگاه‌ها در واقع همان ماشین‌هایی هستند که برای حفر پی تیرهای برق و ستون‌ها به کار می‌روند و اصول کار آن همانند دستگاه‌های حفر گمانه است که در فصل گمانه‌ها تشریح خواهد شد. در شکل ۱۴-۱۴ نمونه‌ای از این ماشین‌ها نشان داده شده است.

خودآزمایی

- ۱- نقشه‌های زمین‌شناسی بزرگ مقیاس را به چه روش‌هایی تهیه می‌کنند.
- ۲- تخته سه پایه در چه مواردی به کار می‌رود.
- ۳- چاله‌های اکتشافی را در چه مواردی حفر می‌کنند.
- ۴- طول، عرض و عمق ترانشه را چگونه تعیین می‌کنند.
- ۵- اوکلون را شرح دهید.
- ۶- روش‌های حفر چاهک‌های اکتشافی را شرح دهید.

گمانه‌های اکتشافی

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که:

۱- حفر گمانه‌های اکتشافی و کاربرد آنها را شرح دهد.

۲- شبکه‌های گمانه‌های اکتشافی را توضیح دهد.

۳- نحوه تعیین مشخصات گمانه‌ها را بیان کند.

۴- مراحل حفر گمانه را توضیح دهد.

۵- گل حفاری و وظایف آن را بیان کند.

۶- انواع سرمته و مغزه‌گیر را شرح دهد.

۱۵-۱- آشنایی

گمانه^۱ سوراخ عمیقی است که در سنگ‌ها احداث می‌شود و به کمک آن نمونه‌های استوانه‌ای شکلی از ماده معدنی و سنگ‌های اطراف آن موسوم به مغزه^۲ در اعماق مختلف به دست می‌آید. هدف اصلی از حفر گمانه، کسب اطلاعات از ماده معدنی در اعماق مختلف است و بنابراین اصولاً حفاری همراه با نمونه‌برداری است. در بعضی موارد که به عللی، مثلاً خرد بودن سنگ‌ها و مواد معدنی، نمونه‌برداری مستقیم امکان نداشته باشد، نمونه‌برداری با استفاده از دستگاه‌های ویژه‌ای انجام می‌شود. از سوی دیگر، علاوه بر دستیابی به نمونه‌های مستقیم ماده معدنی و سنگ‌ها، با استفاده از روش‌های چاه‌پیمایی نیز می‌توان سنگ‌ها و مواد داخل گمانه را شناسایی کرد.

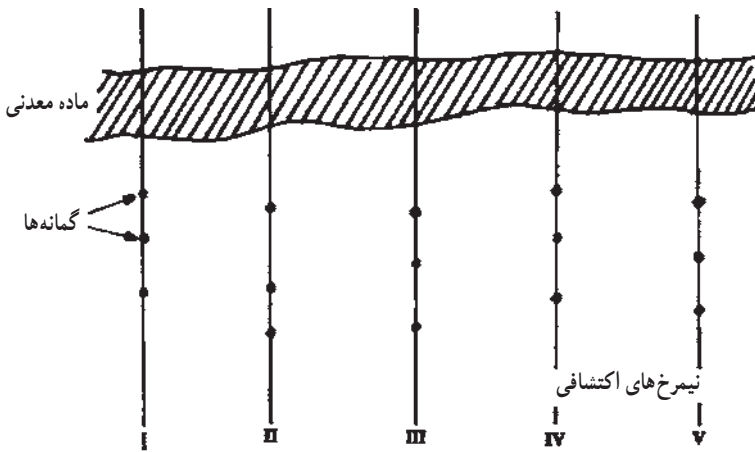
۱- bore hole

۲- core

۱۵-۲- شبکه گمانه‌های اکتشافی

معمولاً گمانه‌های اکتشافی پس از خاتمه حفریات اکتشافی سطحی حفر می‌شوند. البته در بعضی موارد ممکن است در مرحله بی‌جوئی نیز چند گمانه‌ای در نقاط مختلف منطقه حفر شود ولی حفر گمانه بر اساس یک شبکه منظم، معمولاً پس از مرحله یاد شده انجام می‌شود. برای کسب اطلاعاتی از کانسار در اعماق، حفر گمانه‌های اکتشافی یکی از متداول‌ترین روش‌های اکتشاف است که موقعیت این گمانه‌ها بر اساس یک شبکه منظم اکتشافی در نظر گرفته می‌شود. بسته به مشخصات کانسار، شبکه حفر گمانه‌ها به یکی از روش‌هایی که در ادامه خواهد آمد، طراحی می‌شود.

۱۵-۲-۱- کانسارهای با ساختار لایه‌ای: در مواردی که کانسار مرکب از یک یا چند لایه یا رگه معدنی باشد و یا در حالتی که ماده معدنی در یک زون مشخص متمرکز بوده و ساختار ورقه‌ای داشته باشد، شبکه گمانه‌های اکتشافی مرکب از تعدادی نیمرخ اکتشافی^۱ است که در امتداد عمود بر گسترش عمومی ماده معدنی، توجیه شده‌اند (شکل ۱۵-۱).



شکل ۱۵-۱- نیمرخ‌های اکتشافی [۲۳]

فاصله نیمرخ‌های اکتشافی در چندین مرحله تغییر می‌کند. در ابتدای کار، که اطلاعات چندانی از ماده معدنی در عمق در دست نیست، فاصله نیمرخ‌های اکتشافی مساوی است و فاصله آنها از ۲۵۰ تا ۱۰۰۰ متر در تغییر است. پس از حفر اولین گمانه‌ها و کسب اطلاعات از اعماق ماده معدنی، در بین

۱- نیمرخ اکتشافی خطی است که در امتداد عمود بر گسترش ماده معدنی در نظر می‌گیرند و حفریات اکتشافی را حتی المقدور بر روی آن پیاده می‌کنند.

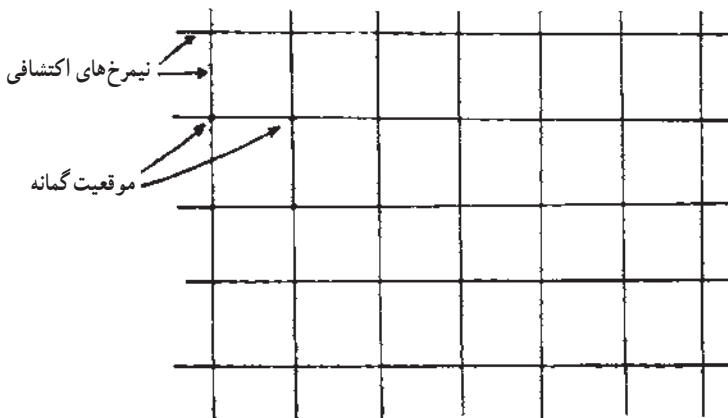
نیمرخ‌های اولیه، نیمرخ‌های جدیدی در نظر گرفته می‌شود. بدیهی است فواصل نیمرخ‌های اخیر در همه جا یکسان نیست بلکه در قسمت‌هایی که تغییرات ماده معدنی زیادتر است، فاصله آنها را کمتر در نظر می‌گیرند.

۱۵-۲-۲- کانسارهای با ساختار توده‌ای: در مورد کانسارهای توده‌ای، که شیب و امتداد مشخصی ندارند و نیز در مورد کانسارهای افقی، شبکه گمانه‌های اکتشافی مرکب از دو دسته خطوط عمود بر هم است که محل تلاقی آنها، موقعیت گمانه‌های اکتشافی است (شکل ۱۵-۲).

۱۵-۳- تعیین مشخصات گمانه‌ها

۱۵-۳-۱- تعیین موقعیت دهانه گمانه: اگر ماده معدنی به حالت توده‌ای یا لایه‌های افقی باشد، موقعیت گمانه‌ها در واقع محل برخورد دو دسته نیمرخ‌های اکتشافی است و بنابراین با تعیین موقعیت نیمرخ‌ها، موقعیت آنها نیز مشخص می‌شود.

در مورد کانسارهای لایه‌ای شیب‌دار، باید موقعیت گمانه‌ها بر روی نیمرخ‌های اکتشافی را به گونه‌ای تعیین کرد که در عمق مورد نظر، لایه را قطع کنند. معمولاً اولین گمانه‌هایی که در هر نیمرخ اکتشافی حفر می‌شود، گمانه‌های کم عمق‌اند (کمتر از ۳۰۰ متر). پس از حفر این گمانه‌ها با توجه به اطلاعاتی که از وضعیت و شیب ماده معدنی در اعماق به دست می‌آید، می‌توان موقعیت گمانه‌های عمیق‌تر را مشخص کرد. بدیهی است پس از انتخاب عمق مورد نظر، با توجه به پستی و بلندی سطح زمین و شیب ماده معدنی، می‌توان فاصله آن را تا رخنمون ماده معدنی به گونه‌ای انتخاب کرد که در عمق مورد نظر، ماده معدنی را قطع کند.



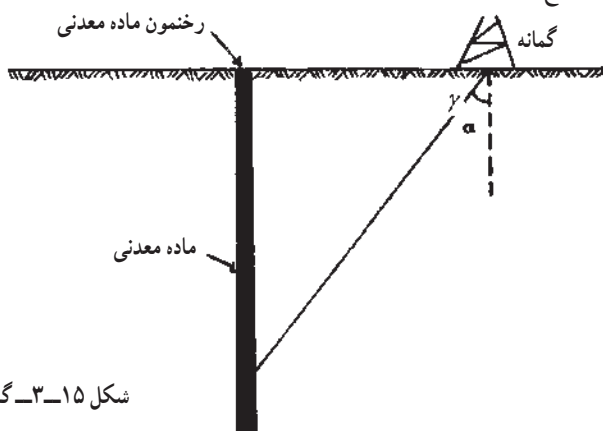
شکل ۱۵-۲- موقعیت گمانه‌ها در مورد کانسارهای توده‌ای یا افقی [۲۳]

۱۵-۳-۲- قطر گمانه: از نظر حفاری، هر چقدر قطر گمانه کم تر باشد، حفر آن آسان تر است اما از نظر کسب اطلاعات در مورد مشخصات ماده معدنی و سنگ های اطراف آن، گمانه های با قطر بیشتر و در نتیجه مغزه های قطورتر، اطلاعات بهتری را به دست می دهند. بنابراین باید حد بهینه ای را برای قطر گمانه در نظر گرفت. از سوی دیگر، همزمان با حفاری، در قسمت هایی از گمانه که احتمال ریزش وجود دارد، لوله جداری نصب می شود و ادامه حفاری باید از درون این لوله انجام گیرد. بنابراین قطر گمانه باید به اندازه ای باشد که پس از نصب لوله های جداری نیز، عمل حفاری امکان پذیر باشد. همچنین قطر آن باید آنقدر باشد که به آسانی بتوان دستگاه های «چاه پیمایی» را به داخل گمانه فرستاد و آن را برداشت کرد.

معمولاً قطر گمانه در ابتدای کار زیادتر است و با عمیق شدن گمانه، حفاری با قطرهای کم تر انجام می شود. بدیهی است قطر گمانه، تابع قطر سرته حفاری است.

۱۵-۳-۳- شیب گمانه: گمانه ها معمولاً به حالت قائم طراحی می شوند زیرا حفر گمانه های مایل مشکل است و سبب گیر کردن لوله های حفاری می شود. در بعضی موارد، اجباراً باید گمانه را به حالت مایل حفر کرد. مثلاً در مورد لایه های قائم یا پرشیب، این امر اجتناب ناپذیر است (شکل ۱۵-۳).

در مورد دستگاه های حفاری سیار، که تمام دستگاه و از آن جمله دکل، روی کامیونی سوار شده است، دکل تا چند درجه قابل انحراف است و در مورد دستگاه های حفاری عمیق، با قرار دادن زائده های مخصوص در یک طرف دکل، آن را منحرف می سازند. با معلوم بودن شیب ماده معدنی و سطح زمین، می توان زاویه انحراف γ (شکل ۱۵-۳) را به گونه ای تعیین کرد که گمانه در عمق مورد نظر، ماده معدنی را قطع کند.



شکل ۱۵-۳- گمانه مایل [۲۳]

۱۵-۴- آماده کردن سکوی حفر گمانه

بعد از اینکه مشخصات کلی گمانه در روی نقشه تعیین شد، موقعیت گمانه در روی زمین پیاده می‌شود. مقصود از پیاده کردن گمانه آن است که موقعیت دهانه آن را در روی زمین مشخص سازیم و این کار توسط نقشه بردار انجام می‌گیرد.

از آنجا که برای نصب وسایل و لوازم حفر گمانه محل مسطحی مورد نیاز است و در نقاط کوهستانی معمولاً زمین نامسطح است، لذا ابتدا باید در اطراف منطقه مورد نظر، زمین را مسطح کرد. بسته به نرمی یا سختی سنگ‌های محل، تسطیح زمین به کمک لودر^۱ یا بولدوزر انجام می‌گیرد. وسعت زمین مورد نیاز بستگی به عمق گمانه دارد و معمولاً محوطه‌ای به وسعت حدود ۱۵۰ تا ۲۰۰ مترمربع برای این منظور کافی است.

۱۵-۵- حفر گمانه

پس از آماده شدن سکوی حفر گمانه، عملیات حفاری آغاز می‌شود. اگرچه هدف اصلی از حفر گمانه به دست آوردن نمونه‌های استوانه‌ای شکل از سنگ‌ها موسوم به مغزه است اما اساس کار حفر گمانه و چاه‌های نفت و آب، یکسان است.

۱۵-۵-۱- قسمت‌های مختلف دستگاه حفاری : مهم‌ترین اجزای دستگاه حفاری به شرح

زیر است :

الف) دکل^۲ : دکل ساختمان برج مانندی است که به شکل هرم ناقص با قاعده مربع یا مثلث است و از اتصال قطعات لوله یا نبشی مخصوص ساخته می‌شود. ارتفاع دکل تابع حداکثر عمق دستگاه حفاری است.

در دستگاه‌های حفاری سیار، دکل نیز همانند سایر ابزار و لوازم حفاری، بر روی کامیونی نصب شده است (شکل ۱۵-۴). در صورتی که در مورد دستگاه‌های حفاری عمیق، دکل ساختمان مجزایی است که بسته به وضعیت سطح زمین، از نقاط دیگر حمل و یا اینکه در نقطه مورد نظر برپا می‌شود.

ب) موتور : موتور انرژی لازم را برای دوران دستگاه حفاری، حرکت تلمبه گل و سایر حرکات تأمین می‌کند. در دستگاه‌های حفاری سیار و بعضی از دستگاه‌های ثابت، موتور از نوع دیزل است اما در دستگاه‌های حفاری عمیق، انرژی لازم به وسیله الکترو موتور تأمین می‌شود و بنابراین دستگاه دارای مولد برقی است که تغذیه الکترو موتورها را به عهده دارد.

۱- loader

۲- derrick



شکل ۱۵-۴- دستگاه حفاری سیار [۲۳]

ج) جرثقیل^۱: جرثقیل برای بالا و پایین کردن لوله‌ها در داخل گمانه به کار می‌رود و به صورت

یک استوانه فلزی لبه‌دار است که به دور آن کابل فلزی پیچیده شده است.

۱-۵-۲- رشته ابزار حفر^۲: هدف اصلی از دستگاه حفاری، چرخش سرمته و حفر

نمونه‌هایی از سنگ است. همان‌گونه که دیدیم، چرخش موتور جعبه دنده، سرانجام به چرخش لوله کارگر منتهی می‌شود. حرکت لوله کارگر سبب چرخش لوله‌ها و در نتیجه چرخش سرمته، که در انتهای لوله‌ها قرار دارد، می‌شود. در بالای لوله کارگر، ته مته یا دهانه تزریق گل قرار دارد که از طریق آن گل حفاری به داخل ستون لوله‌ها تزریق می‌شود. مجموعه ته مته، لوله کارگر، لوله‌ها، مغزه‌گیر و سرمته را رشته ابزار حفر می‌گویند. از جمله مهم‌ترین اجزای رشته ابزار حفر، مغزه‌گیر و سرمته است که در ادامه تشریح شده‌اند.

الف) مغزه‌گیر^۳: مغزه‌گیر، استوانه فلزی توخالی است که نمونه در داخل آن قرار می‌گیرد.

مغزه‌گیر به انتهای ستون لوله‌ها وصل می‌شود و به انتهای آن نیز سرمته وصل است.

مغزه‌گیر ممکن است یک یا دو جداری باشد. انواع یک جداری برای نمونه‌گیری از سنگ‌های

سخت نظیر ماسه‌سنگ، آهک و شیل به کار می‌رود، در صورتی که انواع دو جداری را برای نمونه‌گیری مواد نرم، مثل زغال‌سنگ، به کار می‌برند.

مغزه‌گیر یک جداری، استوانه ساده‌ای است که از دو طرف رزوه شده و طول آن بین ۱/۵ تا ۶

متر در تغییر است.

برای اینکه مغزه از محل سنگ اصلی کنده شود و نیز به هنگام بالا کشیدن رشته ابزار حفر،

مغزه از داخل مغزه‌گیر به پایین نیفتد تمهیدات مختلفی را به کار می‌برند. در قدیم، پس از خاتمه حفاری

و قبل از بالا کشیدن لوله‌ها، مقداری خرده چدن از طریق دهانه تزریق وارد گل می‌کردند. این خرده

چدن‌ها، همراه با گل، سرتاسر ستون لوله‌ها را طی می‌کرد و در آخرین مرحله، در فضای باریک بین

جدار خارجی مغزه و جدار داخلی مغزه‌گیر، گیر می‌کرد و بدین ترتیب، اصطکاک ناشی از وجود این

خرده چدن‌ها، برای کنده شدن مغزه از سنگ و جلوگیری از سقوط مغزه کافی بود.

مغزه‌گیرهای جدید، در قسمت پایین فتری دارند که فقط از یک جهت اجازه ورود مغزه را

می‌دهد و خروج آن، قبل از باز کردن این فتر ممکن نیست و به هنگام بالا کشیدن مغزه‌گیر، مغزه را

به طور محکم می‌گیرد و ضمن کنده شدن مغزه از سنگ، مغزه نیز از داخل مغزه‌گیر به پایین نمی‌افتد.

مغزه‌گیرهای دو جداری از دو لوله متحد‌المرکز به گونه‌ای ساخته شده‌اند که لوله داخلی می‌تواند

۱- hoist

۲- drilling strings

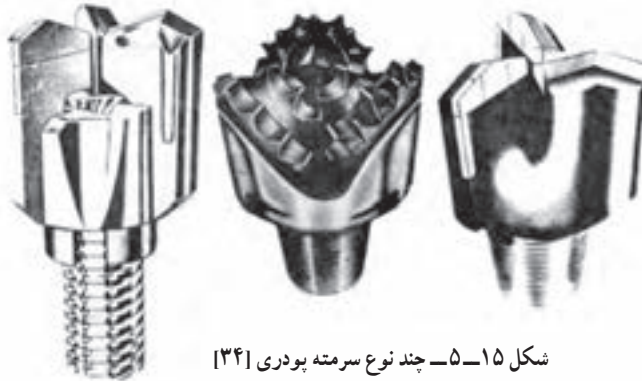
۳- core barrel

به آسانی و مستقل از لوله خارجی دوران کند. در اثر حفر مواد نرم، مغزه وارد استوانه داخلی می‌شود و چون این دو لوله به وسیله بلبرینگ به یکدیگر ارتباط دارند، لذا تنها لوله خارجی می‌چرخد و بنابراین لوله داخلی ثابت می‌ماند و نمونه داخل آن خرد نمی‌شود.

ب) سرمته^۱: سرمته آخرین قسمت رشته ابزار حفر است و در واقع هدف از وجود تمام تأسیسات و لوازم حفاری، چرخیدن آن و حفر سنگ‌هاست.

در اینجا باید اشاره کنیم که تفاوت کار دستگاه‌های حفر چاه و گمانه، تنها در نوع سرمته‌ها و نیز وجود مغزه‌گیر است.

در دستگاه حفاری چاه‌های نفت و آب، مغزه‌گیر وجود ندارد زیرا هدف، حفر خود چاه و نه نمونه‌گیری از آن است. در این دستگاه‌ها، سرمته از نوعی است که به آسانی بتواند سنگ‌ها را خرد کند و به صورت پودر دریاورد. به همین خاطر این نوع سرمته‌ها را سرمته‌های پودری می‌گویند (شکل ۱۵-۵). سرمته‌های مغزه‌گیری به شکل استوانه‌های کوچکی است که به انتهای مغزه‌گیر پیچ می‌شود.



شکل ۱۵-۵ چند نوع سرمته پودری [۳۴]



شکل ۱۵-۶ سرمته نمونه‌گیری [۳۵].

این سرمته‌ها، دندانه‌هایی دارند که جنس دانه‌های آن از آلیاژهای سخت نظیر کاربید تنگستن است (شکل ۱۵-۶).

۱- bit



شکل ۱۵-۷- سرمته نمونه گیر الماسی

برای حفر گمانه در سنگ‌های سخت، از سرمته‌های ویژه‌ای موسوم به سرمته‌های الماسی استفاده می‌شود. این سرمته‌ها نیز به شکل استوانه‌هایی هستند که در نوک آنها قطعاتی از الماس صنعتی کار گذاشته شده است و بنابراین نفوذ آنها در سنگ‌های سخت نیز به آسانی انجام می‌شود (شکل ۱۵-۷).

۱۵-۶- گل حفاری^۱

در اثر چرخش سرمته، سنگ‌ها خرد می‌شوند و به صورت تکه‌های ریز درمی‌آیند که این قطعات خرد شده را باید از گمانه خارج کرد زیرا در غیر این صورت، چرخش سرمته، عمدتاً سبب خرد شدن این ذرات خواهد شد. از سوی دیگر، اصطکاک سرمته با سنگ‌ها سبب داغ شدن آن می‌شود و اگر به وسیله‌ای خنک نشود، می‌سوزد. برای انجام این دو هدف، یعنی بیرون آوردن مواد خرد شده از گمانه و خنک شدن سرمته، از محلول حفاری استفاده می‌کنند و به اصطلاح گمانه را شستشو^۲ می‌دهند و بدین منظور از هوا، آب و یا گل استفاده می‌کنند. آنچه در حفر گمانه متداول است گل حفاری است که در اینجا به شرح آن می‌پردازیم:

الف) وظایف گل حفاری: وظایف اصلی گل حفاری به شرح زیر است [۳۶]:

- بیرون آوردن ذرات کنده شده از داخل گمانه.
 - خنک کردن سرمته.
 - معلق نگهداشتن ذرات حفر شده و جلوگیری از سقوط آنها به هنگام توقف جریان گل.
 - اندود کردن جدار داخلی گمانه و جلوگیری از ریزش طبقات سست.
 - جلوگیری از زنگ زدن ابزار حفاری با تشکیل دادن قشر نازکی از گل بر روی آنها.
- ب) مواد اولیه گل حفاری: مهم‌ترین مواد اولیه تهیه گل حفاری بتونیت^۳، آب، باریت و بعضی افزودنی‌های دیگر است که بسته به مورد، به گل اضافه می‌شود.

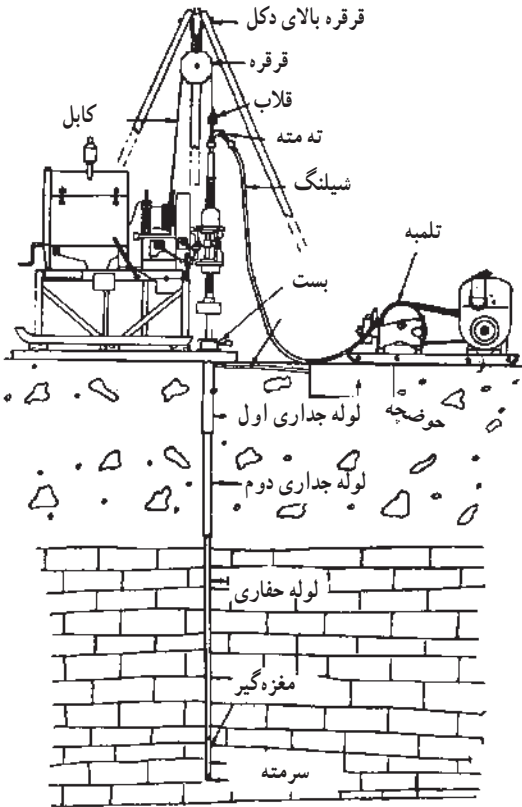
۱- mud

۲- flushing

۳- bentonite

۱۵-۷- چگونگی حفر گمانه

پس از نصب دکل و سایر لوازم و آماده شدن برای شروع حفاری، ابتدا به وسیله مته پودری، سوراخ کوتاهی^۱ در جلو دستگاه و قبل از گمانه اصلی حفر و آنگاه در محل اصلی گمانه، حفاری را آغاز می‌کنند. معمولاً طبقات سطح زمین نرم و هواخورده است و بنابراین نمی‌توان از این قسمت‌ها مغزه تهیه کرد و به علت ریزشی بودن، دیواره گمانه پایداری ندارد و به همین خاطر، قسمت‌های بالای گمانه را با سرمته‌های بزرگتر و بنابراین با قطر بیشتر حفاری می‌کنند. این قسمت‌ها به وسیله مته پودری که مستقیماً به لوله کارگر متصل است، حفر می‌شود. پس از حفر قسمت‌های سست و ریزشی، در داخل این قسمت، لوله‌های فلزی موسوم به لوله جداری نصب می‌کنند. ممکن است پس از حفر قسمت‌های بالای گمانه و نصب لوله جداری اول، مجدداً به قسمت ریزشی برخورد شود. در این حالت باید لوله جداری جدیدی، که در داخل لوله قبلی و با عمق بیشتر قرار می‌گیرد، نصب شود (شکل ۱۵-۸).



شکل ۱۵-۸- نصب لوله جداری در داخل گمانه [۱۳۸].

پس از قسمت سست و ریزشی، مغزه‌گیری آغاز می‌شود. برای این کار، سرمته مناسب به انتهای مغزه‌گیر وصل و مغزه‌گیر نیز به انتهای لوله کارگر متصل می‌شود. پس از این که به اندازه طول لوله کارگر (یا طول مغزه‌گیر) حفاری شد،

۱- در حفاری جاه‌های نفت، این جاه کوتاه را سوراخ موش می‌گویند.

لوله کارگر را از انتهای لوله‌ها باز کرده و لوله‌ای به آن پیچ می‌کنند و لوله کارگر به انتهای این لوله پیچ می‌شود و حفاری ادامه می‌یابد تا به اندازه طول مغزه‌گیر حفاری شود. پس از پرشدن مغزه‌گیر، لوله‌ها را بالا می‌کشند و پس از تخلیه مغزه‌ها از داخل مغزه‌گیر، مجدداً حفاری را ادامه می‌دهند.

در سیستم حفاری موسوم به سیم بکسلی^۱، پس از پرشدن مغزه‌گیر، آن را به وسیله کابلی که در داخل لوله‌ها قرار دارد، از طریق فضای داخل لوله‌ها بالا می‌کشند و پس از تخلیه مغزه‌ها، مجدداً آنرا به همین ترتیب به کف گمانه می‌فرستند و حفاری را ادامه می‌دهند.

۱۵-۸- برداشت گمانه

هدف اصلی از حفر گمانه به دست آوردن مغزه است و به کمک این مغزه‌ها می‌توان ساختار داخلی زمین را در منطقه مورد اکتشاف تعیین کرد.

قبلاً گفتیم که پس از پرشدن مغزه‌گیر، آن را بالا می‌کشند و مغزه‌های داخل آن را به دقت تخلیه می‌کنند. برای آنکه بعداً بتوان این مغزه را برداشت و مشخصات آنها را ثبت کرد، مغزه‌ها را به ترتیب عمق در جعبه‌های چوبی مخصوص قرار می‌دهند (شکل ۱۵-۹).

برای اینکه مشخص شود هر مغزه مربوط به چه عمقی است، عمق ابتدا و انتهای هر قطعه مغزه و طول آن را مشخص و بر روی قطعه مقوای کوچکی یادداشت می‌کنند و آن را در داخل جعبه و در کنار مغزه قرار می‌دهند. در مواردی که بخواهند مغزه را برای مدت طولانی نگهداری کنند و مشخصات آن



شکل ۱۵-۹- جعبه‌های چوبی برای نگهداری مغزه‌ها [۲۳]

در این مدت محفوظ بماند، آن را در پارافین مذاب فرو می‌کنند و دور آنرا با کاغذ ضد آب می‌پوشانند. پس از قرار دادن مغزه‌ها در جعبه‌های چوبی، باید آنها را برداشت کرد. طرز کار به این ترتیب است که مغزه را به دقت بررسی می‌کنند و تمام خصوصیات ظاهری آنها از قبیل نوع سنگ، اندازه دانه‌ها، رنگ، شکستگی‌ها، کانی‌ها و احیاناً فسیل‌های موجود در آنها را در دفترچه ویژه‌ای ثبت می‌کنند. از جمله مشخصات مهم مغزه‌ها، شیب ظاهری لایه‌هاست که می‌توان آن را به کمک نقاله اندازه گرفت زیرا آثار لایه‌بندی معمولاً به خوبی در روی مغزه مشخص است.

برای ثبت مشخصات مغزه‌ها، جداول ویژه‌ای وجود دارد که نمونه‌ای از آنها در مورد یک کانسار زغال در جدول ۱۵-۱ درج شده است.

جدول ۱۵-۱- نمونه‌ای از جدول ثبت مشخصات مغزه‌ها در یک کانسار زغال

مشخصات	شیب ظاهری لایه‌ها در مغزه	طول مغزه (متر)	مترای حفاری (متر)	تاعمق (متر)	از عمق (متر)
ماسه‌سنگ، دانه‌درشت، خاکستری روشن، دارای دانه‌های کوارتز، ابعاد دانه‌ها مساوی	۵۳	۱/۴۰	۱/۵	۱۲۳/۵	۱۲۲
شیل، دانه‌ریز، سیاه‌رنگ، دارای ذرات پیریت، دارای آثار گیاهی	۵۲	۰/۷	۰/۷	۱۲۴/۲۰	۱۲۳/۵
زغال‌سنگ، دارای خاکستر زیاد، حاوی ذرات پیریت	—	۰/۵۰	۰/۸	۱۲۵	۱۲۴/۲۰

خودآزمایی

- ۱- هدف از حفر گمانه‌های اکتشافی چیست.
- ۲- شبکه گمانه‌های اکتشافی در مورد کانسارهای لایه‌ای و توده‌ای را شرح دهید.
- ۳- در چه مواردی از گمانه‌های مایل استفاده می‌شود.
- ۴- قسمت‌های مختلف دستگاه حفاری را نام ببرید.
- ۵- وظایف اصلی گل حفاری را شرح دهید.
- ۶- در چه مواردی از مغزه‌گیرهای دو جداری استفاده می‌شود.

تونل‌های اکتشافی

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که:

- ۱- هدف‌های کلی حفر تونل‌های اکتشافی را بیان کند.
- ۲- تونل‌های عمود بر لایه، امتدادی، میان‌بر و دنباله‌رو و نحوه حفر و برداشت آنها را توضیح دهد.
- ۳- نحوه انتخاب شکل و ابعاد تونل‌های اکتشافی را شرح دهد.
- ۴- نحوه حفر دویله‌ها و استفاده از آنها را توضیح دهد.

۱۶-۱- آشنایی

اگرچه به کمک گمانه‌های اکتشافی می‌توان اطلاعات با ارزشی از ماده معدنی در اعماق به دست آورد اما برای تکمیل اکتشافات، در بسیاری موارد، چند تونل اکتشافی نیز در منطقه حفر می‌شود. با وجودی که حفر تونل نسبت به حفر گمانه پرهزینه‌تر است و به زمان بیشتری نیاز دارد، اما این تونل‌ها، مزایایی نیز دارند که مهم‌ترین آنها به شرح زیر است:

- در داخل تونل می‌توان ماده معدنی را مستقیماً مشاهده کرد و از آن نمونه گرفت.
- در مواردی که نمونه‌های کلی چند تنی برای استفاده در واحدهای پیشاهنگ مورد نیاز باشد، اجباراً باید به کمک تونل‌های اکتشافی به ماده معدنی دست یافت و از آن نمونه تهیه کرد.
- اگر محل تونل اکتشافی به نحو مناسب انتخاب شده باشد، در آینده می‌توان از آن برای استخراج ماده معدنی نیز استفاده کرد و بدین ترتیب هزینه حفر آن را مستهلک ساخت.

استفاده از تونل‌های اکتشافی هنگامی میسر است که وضعیت پستی و بلندی زمین اجازه این کار را بدهد و منطقه پستی و بلندی زیادی داشته باشد زیرا در مناطق کمابیش مسطح، به آسانی نمی‌توان از تونل استفاده کرد. معمولاً در ابتدای کار، تونل‌ها به حالت عمود بر لایه حفر می‌شوند و پس از رسیدن به ماده معدنی، تونل‌های امتدادی (موازی لایه) و دنباله‌رو (دنبال لایه) را احداث می‌کنند که در این فصل آنها را شرح می‌دهیم.

۱۶-۲- تونل‌های عمود بر لایه^۱

تونل عمود بر لایه تونلی است که امتداد آن عمود بر امتداد لایه یا زون ماده معدنی مورد اکتشاف باشد. بنابراین در حالت کلی، تونل عمود بر لایه، بر سطح لایه یا رگه عمود نیست. اگرچه عمدتاً تونل‌های عمود بر لایه را به حالت افقی^۲ حفر می‌کنند اما در مواردی که زمین کمابیش مسطح و یا کم شیب باشد، به ناچار باید از تونل‌های عمود بر لایه شیب‌دار استفاده کرد. حفر تونل‌های عمود بر لایه محدود به لایه‌ها و رگه‌ها نیست. در مورد مواد معدنی توده‌ای نیز اگر بتوان برای آن ساختار ورقه‌ای شکلی را در نظر گرفت، از این تونل‌ها استفاده می‌شود.

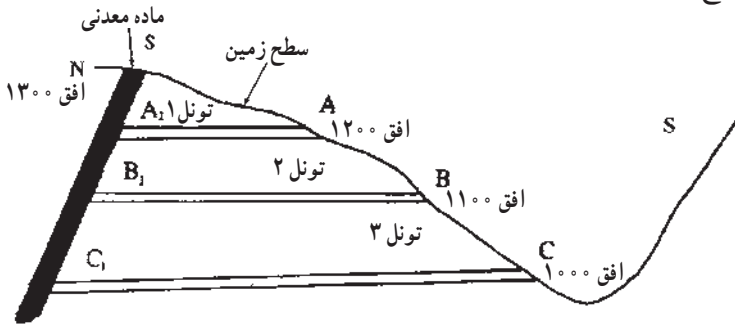
۱۶-۲-۱- تعیین موقعیت تونل: اصولاً سعی می‌شود که حفاریات اکتشافی اعم از ترانشه، چاهک، اکلون و گمانه، در امتداد نیمرخ‌های اکتشافی حفر شوند تا به کمک مجموعه آنها بتوان مقاطع اکتشافی دقیقی را رسم کرد. در مورد تونل‌ها نیز این مطلب تا حدودی صدق می‌کند. البته تعداد تونل‌های اکتشافی در مقایسه با سایر حفاریات اکتشافی خیلی کمتر است و در مورد تعیین موقعیت آنها مسایل متعددی مطرح است که به آنها خواهیم پرداخت.

الف) تعیین تراز تونل: اصولاً تونل‌های معدنی و از آن جمله تونل‌های اکتشافی را براساس تراز آنها یعنی ارتفاعشان از سطح دریا نامگذاری می‌کنند. برای تشریح مطلب، شکل ۱-۱۶ را که مقطع ماده معدنی و سطح زمین را نشان می‌دهد، در نظر می‌گیریم. مطابق شکل، افق رخنمون ماده معدنی در بلندترین قسمت آن ۱۳۰۰ متر و در سه افق ۱۲۰۰، ۱۱۰۰ و ۱۰۰۰ متر سه تونل عمود بر لایه A، B و C در نظر گرفته شده است که هر یک مزایا و معایبی دارند مثلاً اگر تونل ۱ در موقعیت نقطه A حفر شود، اگرچه ماده معدنی را در فاصله کوتاه‌تری قطع می‌کند و بنابراین هزینه حفر تونل کمتر است و در مدت زمان کوتاهی نیز حفر می‌شود ولی هنگامی که به ماده معدنی برسد (نقطه A_۱)، اولاً

۱- adit

۲- در واقع، تونل‌ها هیچ‌وقت از نظر ریاضی افقی نیستند و معمولاً ۳ تا ۵ در هزار شیب دارند.

اطلاعات حاصل از آن مربوط به اعماق کم است و از عمق‌های زیادتر اطلاعاتی به دست نمی‌دهد. ثانیاً اگر بعدها بخواهیم از این تونل به عنوان تونل استخراجی استفاده کنیم، فقط قسمت کمی از ماده معدنی (طول SA_1) را می‌توان به وسیله آن استخراج کرد، در صورتی که تونل‌هایی که از نقاط B و C حفر شود (تونل‌های ۲ و ۳)، ماده معدنی را در فاصله بیشتر و عمق زیادتر قطع می‌کنند و بدین ترتیب، هزینه حفر آنها زیادتر است و به زمان بیشتر نیاز دارد. در عوض، مقدار بیشتری از ماده معدنی به وسیله این تونل‌ها قابل استخراج است و از اعماق بیشتر اطلاعات به دست می‌دهند.

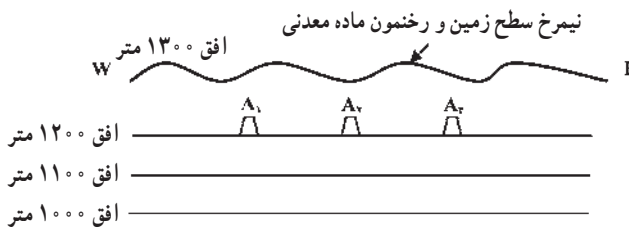


شکل ۱۶-۱- سه وضعیت مختلف برای تونل عمود بر لایه [۲۳]

قسمتی از ماده معدنی را که به وسیله هر تونل قابل استخراج است، افزاز آن تونل می‌گویند و بدین ترتیب افزاز تونل‌های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب برابر SA_1 ، SB_1 و SC_1 است. معمولاً تونل‌های اکتشافی را به گونه‌ای انتخاب می‌کنند که افزاز آنها از ۱۰۰ متر کمتر نباشد و اگر قرار باشد که در آینده قطعاً تونل برای مقاصد استخراجی استفاده شود، انتخاب افزاز، مهمترین عامل در انتخاب موقعیت دهانه تونل خواهد بود.

ترتیب حفر تونل‌های اکتشافی از بالا به پایین است. به عنوان مثال در شکل ۱۶-۱، ابتدا تونل ۱ و در پی آن تونل‌های ۲ و ۳ را حفر می‌کنند.

ب) تعیین موقعیت تونل در تراز انتخابی: پس از انتخاب تراز تونل اکتشافی عمود بر لایه، باید موقعیت آن را بر روی تراز انتخابی، تعیین کرد. به عنوان مثال در شکل ۱۶-۲ تصویر نیمرخ شکل ۱۶-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۶-۲- تصویر نیمرخ (دید از پهلو) شکل ۱۶-۱

اگر هدف در مرحله اول حفر تونل اکتشافی در تراز ۱۲۰۰ متر باشد، دهانه تونل ممکن است در هریک از نقاط این تراز مثلاً نقاط A_1 ، A_2 ، A_3 و... قرار گیرد. در انتخاب اول، دهانه تونل در تراز مورد نظر باید حتی المقدور در مرکز گسترش ماده معدنی قرار گیرد (موقعیت A_2) تا پس از برخورد تونل عمود بر لایه به ماده معدنی، بتوان از دو طرف تونل‌های امتدادی یا دنباله‌رو را به ترتیبی که خواهیم دید، حفر کرد. اما در انتخاب موقعیت دهانه عوامل دیگری نیز نقش دارند. به عنوان مثال، دهانه تونل نباید در کف دره واقع باشد، زیرا در این حالت، اولاً خطر سیل و ورود سیلاب به داخل تونل وجود دارد و ثانیاً محلی برای ریختن مواد باطله‌ای که از حفر تونل حاصل می‌شود، وجود نخواهد داشت. همچنین دهانه تونل نباید در نزدیکی گسلی که در سطح زمین مشخص است، باشد. از آنجا که برای استقرار تجهیزات مربوط به تونل، فضای مسطحی در حد چندصد متر مربع مورد نیاز است لذا دهانه باید در جایی انتخاب شود که به آسانی بتوان چنین فضای مسطحی را احداث کرد. از جمله نکات دیگری که باید مدنظر قرار گیرد آن است که در فضای مسلط بر دهانه تونل نباید آبراهه‌ای وجود داشته باشد زیرا به هنگام بارشهای شدید، ممکن است آب بارش از طریق این آبراهه‌ها، به داخل تونل راه یابد.

۱۶-۲-۲- امتداد تونل: امتداد تونل عمود بر لایه، حتی المقدور عمود بر امتداد لایه‌ها، رگه‌ها و یا زون حاوی ماده معدنی در نظر گرفته می‌شود. علت آن است که با این توجیه، تونل در فاصله کمتری به ماده معدنی می‌رسد.

۱۶-۲-۳- شیب تونل: اگر وضعیت ماده معدنی و توپوگرافی زمین مطابق شکل ۱۶-۱ باشد یعنی بتوان با حفر تونل‌های تقریباً افقی در عمق مورد نظر به ماده معدنی دست یافت، تونل عمود بر لایه به حالت افقی حفر می‌شود. اما در حقیقت تونل‌های معروف به افقی نیز به سوی دهانه خود شیب دارند. شیب تونل‌های اکتشافی عمدتاً به خاطر خروج آبهای زیرزمینی از داخل آن است زیرا تونل‌ها، همانند قنوات، معمولاً در قسمتی از طول خود در زیر سطح ایستایی محل قرار دارند و در داخل آنها آب جمع می‌شود که باید در اثر شیب تونل و به وسیله نیروی ثقل، به خارج هدایت شود.

شیب تونل‌ها را معمولاً ۳ تا ۵ در هزار انتخاب می‌کنند و این بدان معنی است که در هر ۱۰۰۰ متر از طول تونل، ۳ تا ۵ متر اختلاف ارتفاع وجود دارد.

اگر منطقه کمابیش مسطح باشد، واضح است که با تونل افقی نمی‌توان در اعماق به ماده معدنی دست یافت و بنابراین باید از تونل‌های مورب استفاده کرد. امتداد این تونل‌ها نیز به حالت عمود بر امتداد لایه در نظر گرفته می‌شود مگر آن که در اثر مسایلی نظیر آنچه که در مورد امتداد تونل‌های افقی

گفتیم، به حالت غیرعمودی نسبت به امتداد لایه حفر شود.

۱۶-۲-۴- شکل مقطع تونل: شکل مقطع تونل‌های اکتشافی عمدتاً تابع سیستم نگهداری

آنها است. اگر تونل در سنگ‌های خود نگهدار حفر می‌شود و یا حداقل بخش عمده‌ای از طول آن از این سنگها می‌گذرد، شکل نعل اسبی برای آن مناسب است.

از آنجا که در بسیاری موارد، به ویژه اکتشاف کانسارهای زغال، سنگ‌ها ریزشی‌اند و نیاز به نگهداری دارند لذا در این گونه موارد، از شکل دوزنقه استفاده می‌کنند زیرا معمولاً تونل‌های اکتشافی را با قاب‌های چوبی نگهداری می‌کنند.

اگر تونل اکتشافی در همان مرحله اکتشاف برای مقاصد بهره‌برداری آینده نیز در نظر گرفته شده باشد، بدیهی است ابعاد مقاطع آن بزرگتر است و در چنین مواردی نمی‌توان از چوب بست به عنوان سیستم نگهداری استفاده کرد. در این موارد معمولاً تونل‌ها را با قاب‌های فولادی نگهداری می‌کنند و لذا مقطع تونل به حالت هلالی انتخاب می‌شود.

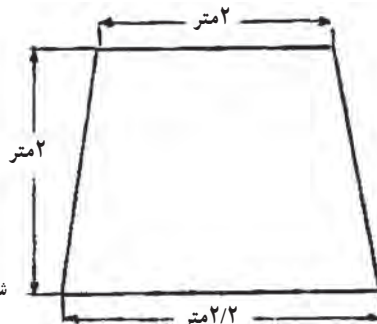
۱۶-۲-۵- ابعاد مقطع تونل: هر چقدر سطح مقطع تونل کمتر باشد، به همان نسبت حفر آن

ارزان‌تر است و هزینه کمتری دارد. از سوی دیگر، ابعاد آن باید به اندازه‌ای باشد که رفت و آمد در آن به آسانی انجام گیرد و نیز در صورت لزوم، در آینده بتوان از آن برای مقاصد استخراجی استفاده کرد.

مسائل مربوط به حفاری و حمل و نقل سنگها و مواد حفر شده در تونل‌ها را باید در کتاب‌های استخراج معادن مطالعه کرد و در این جا به ذکر این مطلب اکتفا می‌کنیم که اگر بخواهند به هنگام حفر تونل از وسایل چالزنی و بارگیری مکانیکی استفاده کنند، ابعاد تونل نباید از حد معینی، که به نوع این دستگاه‌ها بستگی دارد، کمتر باشد.

در معادن ایران، سطح مقطع تونل‌های اکتشافی معمولاً ۴ تا ۸ متر مربع است. یکی از مقاطع

متداول تونل‌های اکتشافی در ایران در شکل ۱۶-۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۶-۳- مقطع تونل‌های اکتشافی

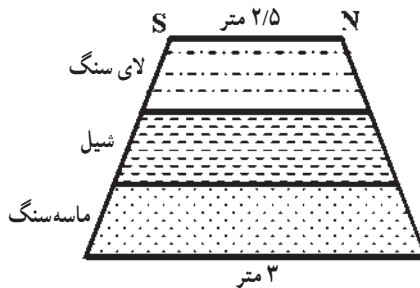
۱۶-۲-۶- برداشت تونل: اطلاعات حاصل از تونل‌های اکتشافی، به علت آنکه مستقیماً

قابل مشاهده‌اند، بسیار ارزشمند است و برای ارتباط دادن مقاطع اکتشافی به کار می‌آید لذا کلیه جبهه کارها، سقف و دیواره تونل‌های عمود بر لایه اعم از افقی و یا شیب‌دار باید برداشت شوند.

از آنجا که همزمان با حفر تونل‌ها، به ویژه در مناطق با سنگ‌های سست نظیر شیپل و لای سنگ، بلافاصله باید سیستم نگهداری تونل را نصب کرد لذا برداشت تونل‌ها باید روزانه و قبل از نصب سیستم نگهداری انجام گیرد.

مقیاس برداشت تونل‌ها به پیچیدگی وضعیت سنگ‌ها و ماده معدنی بستگی دارد و معمولاً ۱:۱۰۰ است.

الف) برداشت جبهه کار تونل: برای برداشت جبهه کار تونل، ابتدا باید شکل مقطع تونل را با مقیاس ۱:۱۰۰ رسم و در پی آن، وضعیت سنگ‌ها، شکستگی‌ها و هرگونه اطلاعات دیگر را در نقشه پیاده کرد. در حالتی که تونل دقیقاً عمود بر امتداد لایه‌ها باشد (صرف نظر از آنکه تونل افقی یا شیب‌دار باشد)، وضعیت لایه‌ها به موازات هم در نقشه جبهه کار تونل به نقشه درمی‌آیند. به عنوان مثال اگر در جبهه کار تونل سه سنگ شیپل، لای سنگ و ماسه سنگ با امتداد شمالی، جنوبی و شیب به سوی شرق (به ترتیب از قدیم به جدید) دیده شود، نقشه جبهه کار تونل مشابه شکل ۱۶-۴ خواهد بود.



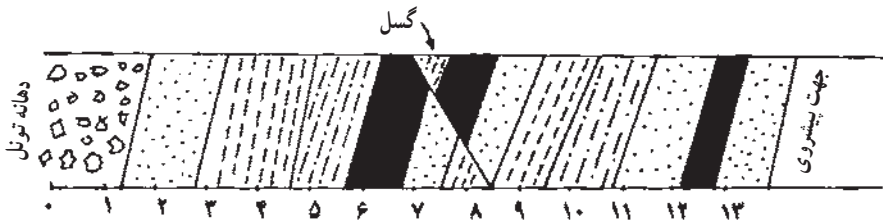
شکل ۱۶-۴- تصویر جبهه کار تونل عمود بر لایه که در آن سه لایه مشاهده می‌شود.

اگر امتداد تونل نسبت به امتداد عمود بر لایه منحرف شده باشد، در آن صورت رخنمون لایه‌ها در جبهه کار به صورت نوارهای افقی نخواهد بود بلکه بسته به مورد انحراف، به یک سمت متمایل خواهند شد.

ب) برداشت دیواره‌های تونل: همزمان با پیشروی تونل، تصویر دیواره‌های آن نیز باید به طور روزانه و قبل از نصب سیستم نگهداری برداشت شود و به نقشه درآید. اگر تغییرات سنگ‌شناسی در

دو دیواره تونل شدید نباشد، برداشت یکی از آنها کافی است اما اگر تغییرات به حدی باشد که حتی در دو دیواره تونل نیز تفاوت چشمگیر باشد، در آن صورت باید هر دو دیواره را برداشت کرد. در مواردی که تنها یک دیواره تونل برداشت می‌شود، برای این که بتوان برداشت‌های مختلف را با هم مقایسه کرد، بهتر است در تمام تونل‌ها و میان‌برها، دیواره ثابتی برداشت شود.

برای برداشت تونل، یک کاغذ میلیمتری را روی یک قطعه مقوار یا تخته یا لوحه‌های مخصوص آلومینیومی نصب می‌کنند. با توجه به آنکه ارتفاع تونل‌های اکتشافی ۲ تا ۲/۵ متر است لذا با توجه به مقیاس ۱:۱۰۰ برداشت، دو خط افقی که به فاصله ۲ یا ۲/۵ سانتیمتر از یکدیگر رسم شود، تصویر قائم دیواره تونل را به دست خواهد داد. حال، یک متر نواری چند ده متری را در کف تونل و در کنار آن روی زمین پهن کرده و برداشت را آغاز می‌کنند. برداشت دیواره تونل همانند برداشت دیواره ترانشه است که در فصل اکتشافات سطحی آن را شرح دادیم. شکل ۱۶-۵ نمونه‌ای از برداشت دیواره تونل را نشان می‌دهد.

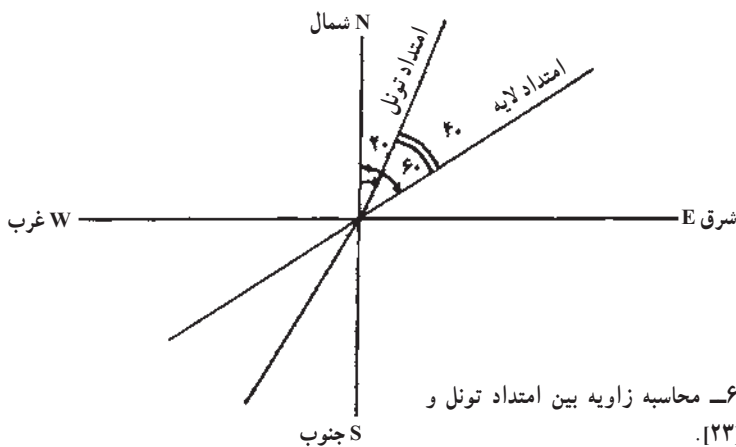


شکل ۱۶-۵ - نمونه‌ای از نقشه دیواره تونل [۲۳].

پس از برداشت لایه‌ها و طبقات، هر کدام با شماره‌ای مشخص شده و مشخصات سنگ‌شناسی، ساختاری و فسیل‌شناسی آنها در دفتر ویژه‌ای ثبت می‌شود. به این نکته نیز باید توجه داشت که به علت تاریکی فضای تونل تشخیص سنگ‌های مختلف و نیز تعیین خصوصیات آنها، مشکل‌تر از سطح زمین است.

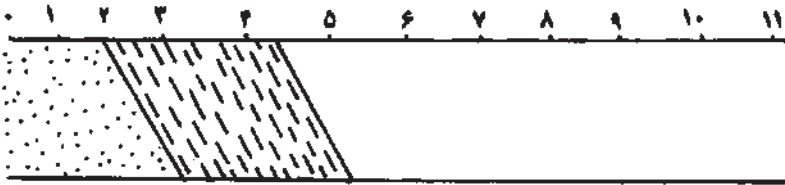
ج) برداشت سقف تونل: برای برداشت سقف تونل نیز در حالتی که متر یاد شده روی زمین پهن است، برداشت را از ابتدای تونل آغاز می‌کنند. طرز کار بدین ترتیب است که از محل مرز لایه‌های مختلف در سقف تونل، سنگ ریزه‌ای به زمین می‌اندازند و فاصله مربوطه را در روی متر قرائت می‌کنند. حال امتداد لایه را به کمک کمپاس اندازه می‌گیرند و با توجه به امتداد تونل، امتداد لایه را در سقف تونل رسم می‌کنند. در واقع در این حالت، تصویر لایه‌ها و سنگ‌های مختلف، در سطح افقی هم ارتفاع با سقف تونل رسم می‌شود.

برای روشن شدن مطلب، فرض می‌کنیم بخواهیم تصویر سقف تونل عمود بر لایه‌ای را که مقطع آن دوزنقه‌ای به ابعاد شکل ۱۶-۳ است، رسم کنیم. در این مورد نیز ابتدا باید مقیاس مناسبی انتخاب کرد که معمولاً این مقیاس $1:100$ است. حال آزیموت تونل را اندازه می‌گیریم و فرض می‌کنیم که آزیموت آن $AZ 20^\circ$ باشد. همان‌گونه که می‌دانیم، معنی این عدد آن است که امتداد تونل از شمال، 20° درجه به سمت شرق منحرف شده است. حال امتداد لایه را که مرز آن مثلاً از حوالی $1/2$ متری کف تونل شروع می‌شود، اندازه می‌گیریم و فرض می‌کنیم که امتداد آن $N 6^\circ E$ باشد. با توجه به شکل ۱۶-۶، زاویه بین امتداد لایه در سقف تونل و امتداد تونل، برابر 4° درجه به دست می‌آید. فرض می‌کنیم که ضخامت ظاهری این لایه در امتداد تونل ۲ متر باشد. برای رسم تصویر سقف تونل، ابتدا دو خط موازی افقی را به فاصله $2/5$ سانتیمتر از هم رسم می‌کنیم (چون عرض سقف تونل $2/5$ متر است بنابراین تصویر آن با مقیاس $1:100$ برابر $2/5$ سانتیمتر خواهد شد). حال، اولین لایه را به گونه‌ای رسم می‌کنیم که از فاصله $1/2$ متری شروع شود و با امتداد تونل زاویه 4° درجه تشکیل دهد (شکل ۱۶-۶).



با توجه به آنکه ضخامت ظاهری لایه در امتداد تونل ۲ متر است، بنابراین لایه تا فاصله $1/2 + 2 = 3/2$ متری ادامه خواهد داشت و از این فاصله به بعد، لایه بعدی شروع خواهد شد. بدین ترتیب تصویر بقیه لایه‌ها نیز در سقف تونل رسم شده و تصویر آن تکمیل می‌شود. بدیهی است اگر در سقف تونل گسلی دیده شود که باعث جابه‌جایی لایه‌ها شده باشد، باید تصویر آن را نیز رسم کرد زیرا آگاهی از وجود این گسل‌ها برای تعبیر و تفسیر وضعیت لایه‌ها ضروری است.

باید توجه داشت که آنچه در شکل ۱۶-۷ نشان داده شده است حالت ایده‌آل و آرمانی دارد و در حالت کلی ممکن است امتداد تونل به صورت خط مستقیم نباشد. در چنین حالتی، ابتدا باید تصویر افقی تونل را به کمک ایستگاه‌های نقشه‌برداری در روی نقشه رسم و آنگاه مشخصات سنگ‌ها را روی آن پیاده کرد.



شکل ۱۶-۷- رسم تصویر سقف تونل [۲۳]

۱۶-۲-۷- حفر دوپیل^۱: از نقطه نظر ایمنی، هیچگاه نباید طول قسمت کور تونل‌ها از ۲۰۰ متر بیشتر باشد و حداکثر به فواصل ۲۰۰ متری، باید تونل‌ها با حفر دوپیل به سطح زمین (و در مورد طبقات پائین‌تر معدنی به طبقه بالاتر) ارتباط داشته باشند. دوپیل، حفریه‌ای است که از پائین به بالا حفر می‌شود و تا سطح زمین یا طبقه بالایی ادامه می‌یابد. پس از برخورد تونل عمود بر لایه به ماده معدنی نیز در داخل ماده معدنی دوپیلی حفر می‌شود و این دوپیل‌ها علاوه بر آنکه از نظر ایمنی و برقراری جریان هوا ضرورت دارند، در واقع نوعی حفریه اکتشافی نیز هستند و به ویژه اگر در داخل ماده معدنی حفر شوند، اطلاعات دقیقی از وضعیت ماده معدنی در طول دوپیل به دست می‌دهند. همانگونه که خواهیم دید، پس از برخورد تونل عمود بر لایه به لایه یا زون حاوی ماده معدنی، از طرفین تونل‌های امتدادی یا دنباله رو حفر می‌شوند و در داخل این تونل‌ها نیز باید به فواصل ۲۰۰ متر، دوپیل حفر شود.

۱۶-۳- تونل‌های امتدادی^۲ (موازی لایه)

۱۶-۳-۱- کلیات: حفر تونل‌های عمود بر لایه هزینه زیادی در بردارد و مدت زمان لازم برای حفر نیز زیاد و به عنوان مثال، برای حفر ۵۰۰ متر تونل، بیش از یکسال وقت لازم است. از سوی دیگر، تونل عمود بر لایه ماده یا مواد معدنی را تنها در یک مقطع قطع می‌کند و یک مقطع اطلاعاتی، ارزش صرف این همه مخارج و زمان را ندارد. بنابراین باید به گونه‌ای بتوان با استفاده از

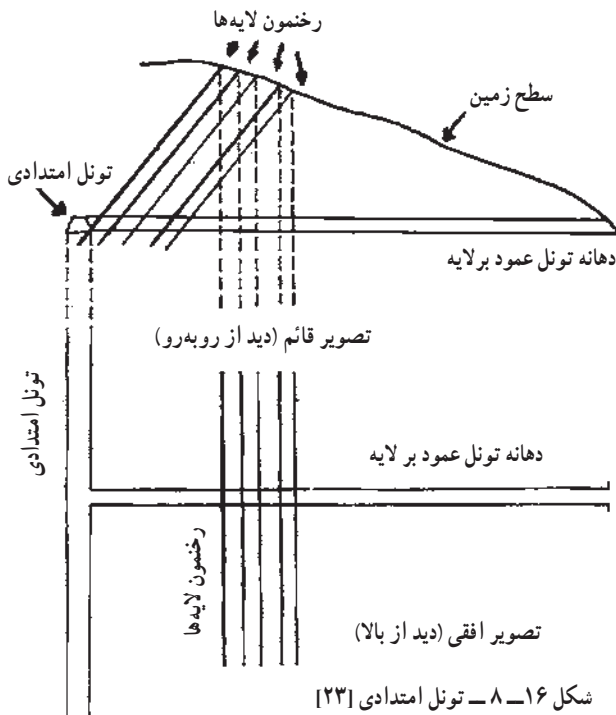
۱-raise

۲-strike

تونل حفر شده، در نقاط متعددی به ماده معدنی دسترسی یافت و از آن نمونه برداری کرد. اگر ماده معدنی به صورت یک رگه یا لایه مجزا باشد، پس از قطع آن به وسیله تونل عمود بر لایه، در دنباله لایه یا رگه، تونل دنباله‌رو حفر می‌شود که چگونگی آن را در مبحث بعدی بررسی خواهیم کرد. اما اگر ماده معدنی به صورت مجموعه‌ای از چند لایه یا رگه و یا به صورت زون حاوی ماده معدنی باشد، در آن صورت نمی‌توان در داخل تمامی آنها تونل‌های دنباله‌رو حفر کرد. در چنین مواردی، از تونل‌های امتدادی (موازی لایه) استفاده می‌کنند.

تونل امتدادی یا موازی لایه، تونلی است که معمولاً از تونل عمود بر لایه منشعب شده و به موازات امتداد عمومی لایه‌ها و مواد معدنی حفر می‌شود. برای دستیابی به ماده معدنی، همانگونه که خواهیم دید، به فواصل مناسب، مجدداً تونل‌هایی به حالت عمودی نسبت به امتداد لایه‌ها حفر می‌شود و لایه‌ها را قطع می‌کند.

برای تشریح مسئله، فرض می‌کنیم که در منطقه‌ای یک زون زغالی مرکب از مثلاً ۵ لایه زغال وجود داشته باشد (شکل ۱۶-۸). پس از اینکه حفر تونل عمود بر لایه به اتمام رسید، در محل مناسبی، قبل یا بعد از زون ماده معدنی، حفر تونل امتدادی را آغاز می‌کنند. محلی که برای حفر تونل امتدادی در نظر گرفته می‌شود، باید شرایط ویژه‌ای داشته باشد از جمله آنکه نه آنقدر محکم و سخت باشد که مشکلاتی را برای



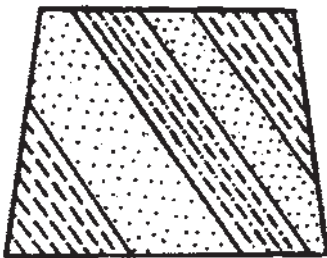
حفاری به وجود آورد و نه آنقدر سست و ریزشی که نگهداری تونل را با مشکل مواجه سازد.
۱۶-۳-۲- مشخصات تونل‌های امتدادی: از جمله مهمترین مشخصات تونل‌های

امتدادی، سطح مقطع و امتداد آنهاست که در ادامه به شرح آنها می‌پردازیم:
الف) سطح مقطع: در بسیاری موارد سطح مقطع تونل‌های امتدادی نیز معادل سطح مقطع تونل عمود بر لایه است. در بعضی موارد، که از همان ابتدای کار، تونل اکتشافی برای مقاصد استخراجی نیز در نظر گرفته می‌شود، سطح مقطع تونل عمود بر لایه را بیش از سطح مقطع تونل‌های امتدادی در نظر می‌گیرند. علت آن است که اولاً میزان هوایی که از هر دو تونل امتدادی عبور می‌کند باید از تونل عمود بر لایه عبور کند و بنابراین سطح مقطع آن باید بیشتر باشد ثانیاً در بسیاری موارد، در تونل عمود بر لایه، دو رشته خط آهن احداث می‌کنند تا حمل و نقل در آن آسان‌تر و سریع‌تر انجام گیرد در صورتی که برای تونل‌های امتدادی، معمولاً یک رشته خط کافی است و بنابراین ابعاد مقطع آن نیز کمتر است.

ب) امتداد: در حالت کلی امتداد این تونل‌ها، موازی امتداد لایه‌ها و مواد معدنی است. بدیهی است در عمل، امتداد این تونل‌ها ثابت نیست زیرا از سویی، امتداد لایه‌ها در قسمت‌های مختلف منطقه تغییر می‌کند و از سوی دیگر، برای عبور از قسمت‌هایی که شکستگی‌های زیاد دارد، باید انحنایی به این تونل‌ها داد. مجموعه این عوامل سبب می‌شود که تونل‌های امتدادی امتداد ثابتی نداشته و اغلب پریچ و خم باشند.

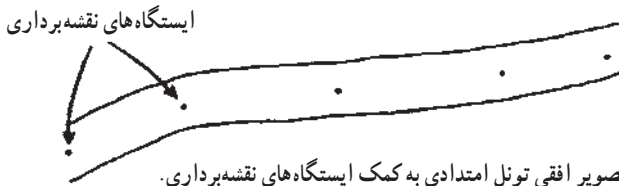
۱۶-۳-۳- برداشت تونل‌های امتدادی: برای آنکه اطلاعات حاصل از تونل‌های امتدادی را بتوان برای مطالعات آینده ثبت کرد، برداشت این تونل‌ها، هم از جبهه کار و هم از سقف انجام می‌گیرد.

الف) جبهه کار: برای برداشت جبهه کار این تونل‌ها، در هر شیفت کار، مسئول برداشت باید به محل جبهه کار مراجعه و نقشه آنرا برداشت کند. اگر لایه‌ها مرتب و موازی باشند، نقشه جبهه کار پیشروی تونل مطابق شکل ۱۶-۹ خواهد بود. برای برداشت جبهه کار، باید ابتدا مقطع تونل را با مقیاس مناسب رسم کرد و آنگاه وضعیت مرز لایه‌ها را نسبت به سقف یا کف تونل اندازه گرفت و براساس آن نقشه جبهه کار تونل را رسم کرد.



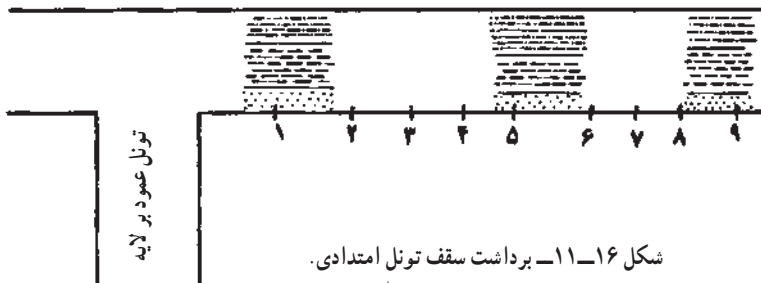
شکل ۱۶-۹- جبهه کار تونل امتدادی [۲۳].

ب) **سقف**: برای برداشت سقف تونل‌های امتدادی نیز ابتدا باید تصویر افقی (دید از بالا) تونل را رسم کرد. اگر امتداد تونل مستقیم باشد، دو خط موازی که به فاصله متناسب با مقیاس نقشه از یکدیگر رسم شوند، امتداد تونل را به دست خواهند داد، اما اگر تونل پیچ و خم داشته باشد، ابتدا باید سیستم مختصاتی در روی کاغذ انتخاب کرد و آنگاه به کمک مختصات ایستگاه‌های نقشه‌برداری، که معمولاً در سقف تونل نصب می‌شود، این تصویر را به دست آورد (شکل ۱۶-۱).



شکل ۱۶-۱- رسم تصویر افقی تونل امتدادی به کمک ایستگاه‌های نقشه‌برداری.

پس از رسم تصویر افقی این تونل‌ها، بسته به تغییر مشخصات لایه‌ها، به فاصله هر چند متر یکبار، وضعیت لایه‌ها را بررسی کرده و آن را روی تصویر افقی پیاده می‌کنند. برای روشن شدن مطلب، حالت ساده‌ای را در نظر می‌گیریم که مقطع تونل دوزنقه‌ای به ابعاد شکل ۱۶-۳ و امتداد آن مستقیم باشد. در این حالت، اگر مقیاس نقشه مطابق معمول $1:100$ در نظر گرفته شود تصویر افقی این تونل، دو خط موازی به فاصله $2/5$ سانتیمتر از یکدیگر خواهد بود (شکل ۱۶-۱۱).

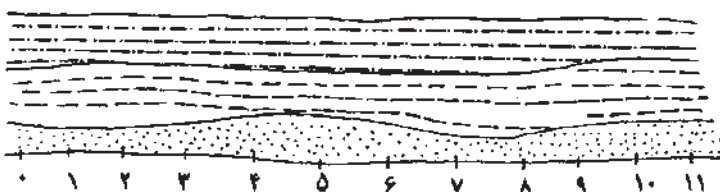


برای برداشت تونل، در این مورد نیز یک متر نواری چند ده متری را در کف تونل و در کنار آن روی زمین پهن می‌کنند. حال مثلاً از فاصله ۱ متری، برداشت سقف تونل را آغاز کرده و برای این کار از کنار تونل، سنگ‌ها را بررسی می‌کنند. اگر به عنوان مثال، سنگ‌ها در این فاصله به ترتیب عبارت از 50 سانتیمتر ماسه‌سنگ، 120 سانتیمتر شیل و 80 سانتیمتر لای سنگ باشد، وضعیت این سنگ‌ها را در محل مورد نظر مطابق شکل نشان می‌دهند. حال مثلاً در فواصل ۵ و ۹ متری نیز وضعیت لایه‌ها

را تعیین کرده و نتیجه را روی نقشه پیاده می‌کنند (شکل ۱۶-۱۲). با توجه به برداشت‌های انجام شده، می‌توان مرز لایه‌ها را در مقاطع مختلف اندازه‌گیری به هم وصل کرد و تصویر سقف تونل یاد شده را مطابق شکل ۱۶-۱۲ به دست آورد.

بدیهی است آنچه که در شکل ۱۶-۱۲ نشان داده شده حالت ساده مسئله است و در حالت کلی، به علت پیچ و خم‌های موجود در مسیر تونل، وجود گسل‌ها و نیز تغییرات لایه‌ها، برداشت این تونل‌ها پیچیده‌تر است.

همزمان با پیشروی تونل، در آن وسایل نگهداری نصب می‌شود، لذا برداشت تونل همیشه باید قبل از نصب این وسایل انجام گیرد.



شکل ۱۶-۱۲- تصویر تکمیل شده سقف تونل امتدادی

۱۶-۳-۴- حفر دوپیل: از آنجا که طول تونل‌های امتدادی زیاد است و گاه به چند کیلومتر می‌رسد لذا باید به فواصل ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر (که تابع مقررات ایمنی است) دوپیل‌هایی احداث کرد. برای آنکه حفر دوپیل آسان‌تر باشد و نیز از اطلاعات آن به عنوان یک حفریه اکتشافی استفاده شود، در محل احداث دوپیل، میان بر کوچکی حفر می‌کنند تا به لایه یا رگه مورد اکتشاف دست یابند و دوپیل را در داخل لایه احداث می‌کنند و حفر آن را تا سطح زمین ادامه می‌دهند.

نحوه برداشت دوپیل‌ها مانند تونل‌های دنباله‌رو است که در مبحث بعدی تشریح خواهد شد. مسایل مربوط به نمونه‌برداری از حفریات اکتشافی و از آن جمله دوپیل‌ها، در فصل نمونه‌برداری تشریح خواهد شد.

۱۶-۴- میان‌برها^۱

همان‌گونه که گفتیم، در مواردی که ماده معدنی از چندین لایه یا رگه تشکیل شده باشد، پس از خاتمه حفر تونل عمود بر لایه و هنگامی که تمام لایه‌ها یا رگه‌ها به وسیله این تونل قطع شد، در

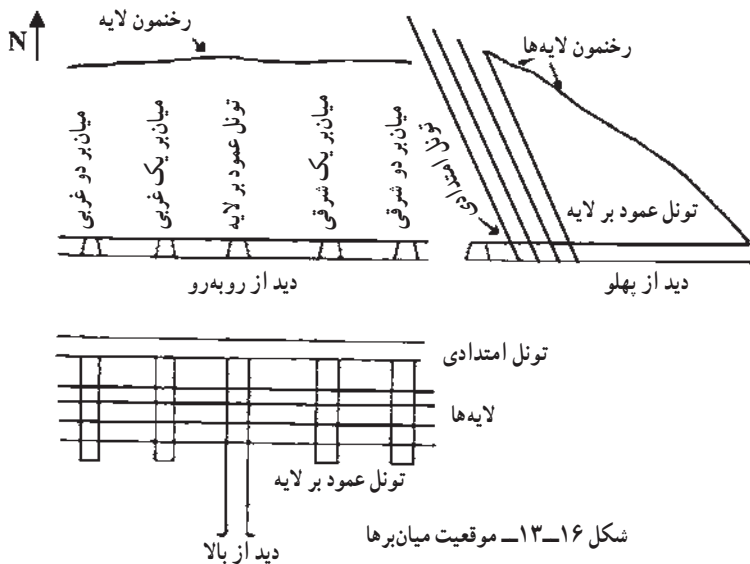
^۱- cross cut

محل مناسبی، تونل امتدادی حفر می‌شود. تونل امتدادی، اطلاعات چندانی در مورد ماده معدنی به دست نمی‌دهد زیرا آنرا قطع نمی‌کند. برای اینکه بتوان در نقاط متعددی در اعماق زمین به ماده معدنی دسترسی یافت و اطلاعاتی از آن به دست آورد، به فواصل مناسب، از درون تونل‌های امتدادی، تونل‌هایی به حالت عمود بر لایه‌ها حفر می‌شود که آنها را میان‌بر^۱ می‌گویند.

میان‌برها در واقع تونل‌های عمود بر لایه کوچکی هستند که از داخل تونل‌های امتدادی حفر می‌شوند و تفاوت آنها با تونل‌های عمود بر لایه آن است که اولاً طول آنها کوتاه‌تر و سطح مقطعشان کمتر است و ثانیاً به سطح زمین و هوای آزاد راه ندارند. حفر میان‌برها تا جایی ادامه می‌یابد که تمام رگه‌ها و لایه‌ها را قطع کند. میان‌برها را می‌توان به‌عنوان ترانشه‌های زیرزمینی در نظر گرفت و فاصله آنها بستگی به وضعیت ماده معدنی و پیچیدگی یا منظم بودن آنها دارد و به‌طور متوسط ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر است. بهتر است میان‌برها نیز حتی‌المقدور در امتداد نیم‌رخ‌های اکتشافی حفر شوند زیرا در این حالت، تهیه مقاطع اکتشافی نهایی، که با استفاده از کلیه اطلاعات یعنی اطلاعات ناشی از ترانشه‌ها، اوکلون‌ها، گمانه‌ها و میان‌برها تهیه می‌شود، آسان‌تر است.

در شکل ۱۶-۱۳ تونل عمود بر لایه و تونل‌های امتدادی منشعب از آن نشان داده شده است.

همزمان با ادامه حفر تونل‌های امتدادی، به فواصل مناسب، میان‌برها نیز حفر می‌شوند.



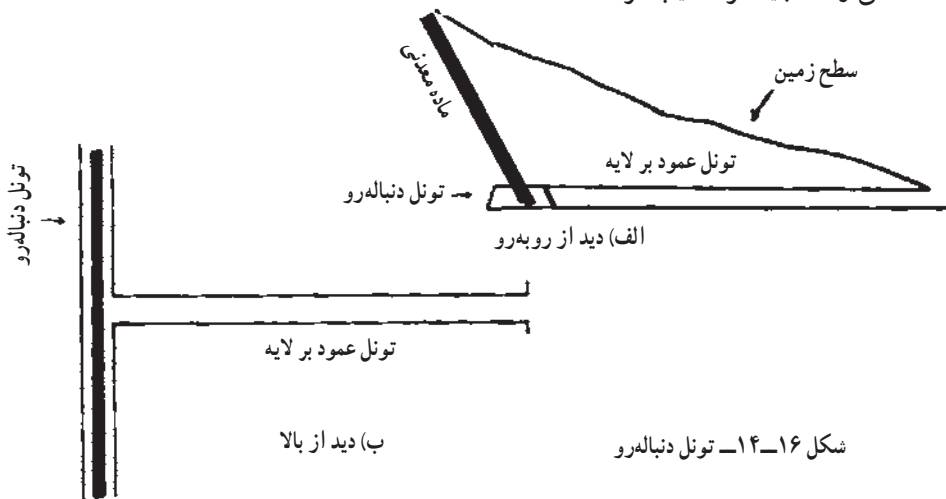
۱- در ایران غالباً از واژه فرانسوی رکوب و در باره‌ای موارد نیز از واژه روسی کورشلاک به جای میان‌بر استفاده می‌شود.

سطح مقطع میان‌برها معمولاً کمتر از تونل‌های امتدادی است و فقط باید به اندازه‌ای باشد که بتوان به آسانی آنها را برداشت و نمونه‌برداری کرد. امتداد آنها نیز حتی المقدور عمود بر امتداد عمومی لایه‌ها و بدین ترتیب، موازی تونل عمود بر لایه است.

نحوه برداشت میان‌برها نیز همانند تونل‌های عمود بر لایه است که از شرح آنها صرف‌نظر می‌کنیم. برای اینکه بتوان لایه‌ها و رگه‌هایی را که در داخل میان‌برهای مختلف دیده شده‌اند به یکدیگر ربط داد، در این مورد نیز نقشه ارتباطی میان‌برها تهیه شده و لایه‌های مختلف به یکدیگر ربط داده می‌شوند. تهیه نقشه ارتباطی میان‌برها نیز مشابه سایر نقشه‌های ارتباطی است که قبلاً گفته شد و بنابراین از شرح مجدد آنها خودداری می‌کنیم.

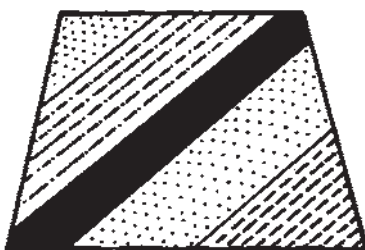
۱۶-۵- تونل‌های دنباله‌رو^۱ (دنبال لایه)

در مواردی که ماده معدنی تنها از یک لایه یا رگه تشکیل شده باشد، پس از آنکه این لایه یا رگه به وسیله تونل عمود بر لایه قطع شد، از دو طرف، تونل دنباله‌رو در داخل خود ماده معدنی حفر می‌شود (شکل ۱۶-۱۴). تونل دنباله‌رو مشابه تونل امتدادی است با این تفاوت که در داخل این تونل‌ها، ماده معدنی مستقیماً دیده می‌شود و بنابراین نیازی به حفر میان‌برها نیست. از سوی دیگر، امتداد این تونل‌ها تابع امتداد ماده معدنی است و در مواردی که امتداد ماده معدنی متغیر باشد، این تونل‌ها بسیار پریپیچ و خم‌اند. در واقع علت نامگذاری این تونل‌ها هم به همین خاطر است زیرا به اصطلاح هر جا که ماده معدنی رفت، باید آنرا تعقیب کرد.



شکل ۱۶-۱۴- تونل دنباله‌رو

برداشت تونل‌های دنباله‌رو نیز همانند تونل‌های امتدادی است و در آن، هم تصویر جبهه کار پیشروی و هم تصویر سقف تونل برداشت می‌شود. اگر ماده معدنی و سنگ‌های اطراف آن منظم باشد، تصویر جبهه کار نیز حالت منظمی دارد (شکل ۱۶-۱۵). معمولاً سطح مقطع تونل نسبت به موقعیت ماده معدنی را به گونه‌ای در نظر می‌گیرند که ماده معدنی در گوشه بالای تونل قرار گیرد. علت این امر آن است که اگر در آینده از تونل دنباله‌رو برای عملیات استخراجی استفاده شود، واگون‌ها بتوانند در زیر ماده معدنی قرار گیرند و ماده معدنی استخراج شده به داخل آنها تخلیه شود. تصویر سقف تونل دنباله‌رو نیز همانند سقف تونل امتدادی برداشت می‌شود.



شکل ۱۶-۱۵- تصویر جبهه کار تونل دنباله‌رو [۹۹]

خودآزمایی

- ۱- تونل عمود بر لایه را تعریف کنید.
- ۲- تراز تونل عمود بر لایه را چگونه تعیین می‌کنند.
- ۳- شکل مقطع تونل‌های اکتشافی چگونه است.
- ۴- نحوه برداشت دیواره تونل‌های عمود بر لایه را شرح دهید.
- ۵- دویل چیست و در چه مواردی حفر می‌شود.
- ۶- تونل‌های امتدادی را شرح دهید.

نمونه برداری

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که:

- ۱ - مراحل کلی نمونه‌برداری از حفریات اکتشافی را شرح دهد.
- ۲ - روش‌های مختلف نمونه‌برداری، را نام ببرد.
- ۳ - روش‌های مختلف نمونه‌برداری از گمانه‌ها را شرح دهد.
- ۴ - مراحل آماده‌سازی نمونه را توضیح دهد.

۱۷-۱- آشنایی

برای تعیین خواص ماده معدنی، باید از قسمت‌های مختلف از آن نمونه‌برداری^۱ کرد و با مطالعه و تجزیه نمونه‌ها، خواص آن را به دست آورد.

نکته مهمی که در مورد نمونه‌برداری باید مورد توجه قرار گیرد آن است که نمونه‌های تهیه شده باید نماینده تمام یا حداقل قسمتی از کانسار باشند تا بتوان براساس اطلاعات حاصل از آنها در مورد کمیت و کیفیت ماده معدنی قضاوت کرد. اگر تنها براساس نمونه‌های تهیه شده از یک قسمت، یا عمق خاصی از گستره ماده معدنی در مورد آن قضاوت شود، در حالت کلی این قضاوت نادرست خواهد بود. بدیهی است هر چقدر تعداد نمونه‌ها که براساس یک طرح معین از ماده معدنی گرفته می‌شود، زیادتر باشد، به همان نسبت، داده‌ها دربارهٔ ماده معدنی دقیق‌تر خواهد بود. در حالت کلی از تمام حفریات اکتشافی اعم از ترانشه، چاهک، گمانه و تونل نمونه‌برداری می‌شود.

^۱ - sampling

صرف نظر از نوع نمونه برداری که در ادامه به شرح آن خواهیم پرداخت، در مورد تمام روش های نمونه برداری مراحل مشابهی به شرح زیر وجود دارد :

الف) تهیه نمونه اولیه که حتی المقدور باید نمونه معرف^۱ باشد.

ب) خلاصه کردن نمونه و کاهش حجم و وزن آن به گونه ای که حالت معرف بودن آن حفظ شود.

ج) آزمایش و تجزیه نمونه.

د) تجزیه و تحلیل نتایج تجزیه.

نکته مهمی که باید به آن توجه کرد، تفاوت بین نمونه شاخص^۲ و نمونه معرف است. به عنوان مثال اگر هدف بررسی دگرسانی یک محلول گرمایی بر سنگ میزبان خود باشد، باید کاملترین نمونه ای که چنین ویژگی را داشته باشد تهیه کرد و مورد مطالعه قرار داد. همچنین اگر مطالعه سیستم تبلور بلورهای ماده معدنی مدنظر باشد، طبیعتاً زیباترین و کاملترین نمونه انتخاب می شود. بدیهی است چنین نمونه هایی، معرف کل کانسار نیستند بلکه نمونه شاخص آنند که برای مطالعات ویژه به کار می آیند. در این فصل هدف از نمونه، همان نمونه معرف است و برای سادگی از تکرار کلمه معرف خودداری می کنیم.

۱۷-۲- نمونه برداری شیاری^۳

این روش یکی از متداول ترین روش های نمونه برداری از مواد معدنی است، و طی آن شیاری به عرض ۵ تا ۱۲ سانتیمتر و عمق ۲ تا ۵ سانتیمتر، از سرتاسر سطحی از ماده معدنی که در داخل حفریه اکتشافی رخنمون دارد، گرفته می شود. بسته به وضعیت ماده معدنی، امتداد شیار نمونه برداری ممکن است قائم، افقی و یا مایل باشد (شکل ۱۷-۱). نکته مهم آن است که باید عرض و عمق شیار در سرتاسر طول آن ثابت باشد تا نمونه یکنواختی از ماده معدنی به دست آید.

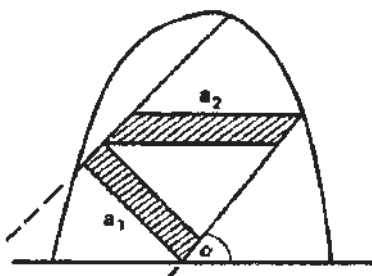


۱- representative sample

۲- specimen

۳- channel sampling

الف) امتداد نمونه برداری: در حالت کلی، امتداد شیار به موازات امتداد بیشترین تغییرات ماده معدنی در نظر گرفته می‌شود و این امتداد معمولاً عمود بر امتداد لایه، یعنی امتداد اندازه‌گیری ضخامت ماده معدنی است. به همین خاطر است که اصولاً توصیه می‌شود که حتی المقدور، شیار نمونه برداری در راستای ضخامت واقعی ماده معدنی توجیه شود، اما از آنجا که در بسیاری موارد، امتداد حفزیه اکتشافی عمود بر امتداد ماده معدنی نیست، لذا تعیین راستای ضخامت واقعی مشکل است و به همین خاطر، معمولاً امتداد شیار را در مورد مواد معدنی کم شیب، قائم و در مورد انواع پرشیب، افقی در نظر می‌گیرند (شکل‌های ۱۷-۱ و ۱۷-۲).

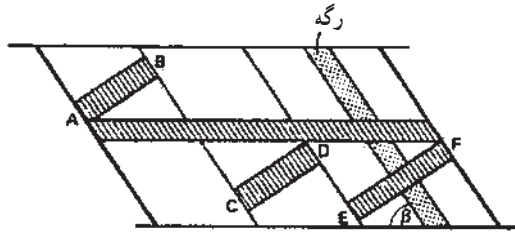


شکل ۱۷-۲- نمونه برداری شیاری از یک تونل دنباله‌رو [۳۷]

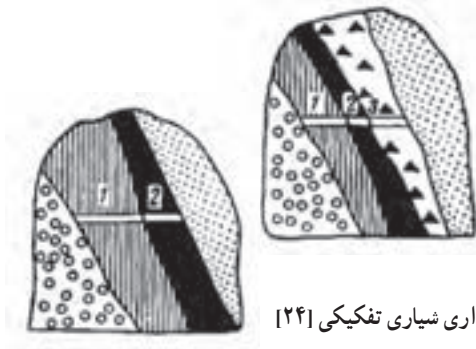
ب) محل نمونه برداری: در تونل‌های دنباله‌رو بهتر است شیار در جبهه کار پیشروی حفز شود. در مواردی که به علت مسائل ایمنی یا علل دیگر نتوان از جبهه کار پیشروی نمونه‌گیری کرد، شیار نمونه برداری را در سقف تونل دنباله‌رو حفز می‌کنند. در ترانشه‌ها، تونل‌های عمود بر لایه و میان‌برها، شیار نمونه برداری در دیواره آنها حفز می‌شود. اگر وضعیت ماده معدنی در دو دیواره این قبیل حفزیهات یکسان باشد، یک نمونه از یکی از دو دیواره کافی است اما اگر وضعیت ماده معدنی در این دو دیواره متفاوت باشد، باید از هر دو دیواره، نمونه شیاری تهیه شود.

در چاهک‌ها و تونل‌های مورب نیز، شیار در دو دیواره حفز می‌شود و امتداد آن بسته به کم شیب یا پرشیب بودن، به حالت قائم یا افقی است.

ج) تعداد نمونه شیاری: در مواردی که ماده معدنی از چند لایه یا رگه با مشخصات مختلف تشکیل شده باشد، از هر کدام از آنها یک نمونه شیاری مجزا گرفته شده و از مجموعه آنها نیز معمولاً یک نمونه شیاری کلی گرفته می‌شود (شکل ۱۷-۳ و ۱۷-۴).



شکل ۱۷-۳- نمونه برداری شیاری تفکیکی از دیواره یک تونل دنباله‌رو [۳۷].



شکل ۱۷-۴- نمونه برداری شیاری تفکیکی [۲۴]

(د) ابعاد نمونه شیاری: ابعاد شیار نمونه برداری به وضعیت ماده معدنی و ضخامت آن بستگی دارد. در جدول ۱۷-۱ ابعاد مناسب شیار، درج شده است.

جدول ۱۷-۱- ابعاد شیار نمونه برداری در حالات مختلف [۲۴]

ضخامت ماده معدنی - متر			وضعیت کانی سازی
کمتر از ۰/۵ متر	۰/۵ تا ۲/۵ متر	بیشتر از ۲/۵ متر	
۱۰×۲ سانتیمتر	۶×۲ سانتیمتر	۵×۲ سانتیمتر	خیلی منظم
۱۰×۲/۵ سانتیمتر	۹×۲/۵ سانتیمتر	۵×۲/۵ سانتیمتر	نامنظم
۱۲×۳ سانتیمتر	۱۰×۳ سانتیمتر	۸×۳ سانتیمتر	خیلی نامنظم

۱۷-۳- نمونه برداری لایه‌ای^۱

در بعضی موارد، در دیواره ترانشه یا جبهه کار تونل، ماده معدنی به صورت نامنظمی دیده می‌شود که تهیه نمونه شیاری از آن امکان پذیر نیست. در چنین مواردی می‌توان از روش نمونه برداری

^۱ layer sampling

لایه‌ای استفاده کرد. در این روش، یک لایه نازک با ضخامت ثابتی برابر ۵ تا ۱۰ سانتیمتر، از تمام ماده معدنی که رخنمون دارد، کنده می‌شود. نمونه را می‌توان از جبهه کار، سقف و یا دیواره حفریه اکتشافی تهیه کرد. در مورد ترانسه‌ها، اگر ماده معدنی به حالت منظم در کف ترانسه دیده شود، نمونه لایه‌ای را می‌توان از کف ترانسه تهیه کرد. بدیهی است در این حالت، ابتدا باید یک قشر ماده معدنی را از روی آن برداشت و آن را تمیز کرد و در مرحله بعد نمونه‌برداری را انجام داد.

مهمترین نکته در مورد نمونه‌های لایه‌ای، ثابت بودن ضخامت لایه است زیرا اگر در این مورد دقت نشود، ممکن است ضخامت لایه در قسمت‌های نرم از قسمت‌های سخت بیشتر شده و این امر سبب شود که نمونه، نماینده واقعی ماده معدنی نباشد. روش نمونه‌برداری لایه‌ای را معمولاً در مواردی که ضخامت ماده معدنی کم و گسترش آن نامنظم است، به کار می‌برند.

اگرچه دقت نمونه‌برداری لایه‌ای زیاد و نمونه تهیه شده نمونه معرف محسوب می‌شود اما بسیار وقتگیر است و لذا تهیه آن هزینه زیادی را تحمیل می‌کند و نیز در مورد حفریات در حال کار، مانع انجام کار حفاری می‌شود. به همین علت، این روش را به جز در مواردی که به ناچار باید از آن استفاده کرد، به کار نمی‌برند.

۱۷-۴- نمونه‌برداری نقطه‌ای^۱ یا لب‌پیری^۲

این روش که یکی از ساده‌ترین روش‌های نمونه‌برداری است، در مواردی به کار می‌رود که ماده معدنی سخت و تهیه نمونه شیاری از آن به آسانی مقدور نباشد. در این روش تکه‌هایی از ماده معدنی به وزن حدود ۱۰۰ گرم با استفاده از چکش زمین‌شناسی کنده می‌شود و مجموعه آنها نمونه موقعیت مورد نظر را تشکیل می‌دهد و دقت روش شیاری را ندارد. تکه‌های نمونه را می‌توان از جبهه کار پیشروی حفریات، از داخل واگونها‌های حمل مواد معدنی و یا از نقاط مختلف یک توده ماده معدنی برداشت کرد.

در مواردی که رخنمون ماده معدنی در سطح و یا حفریات اکتشافی وسیع باشد، نمونه‌برداری در امتداد خطوطی به فواصل ۱۵ سانتیمتری گرفته می‌شود. خط برداشت نمونه را معمولاً افقی در نظر می‌گیرند [۳۸].

یکی از موارد استفاده از این روش، نمونه‌برداری از جبهه کار تونل‌های اکتشافی دنباله‌رو است که امکان دارد تمام یا بخش عمده‌ای از سطح مقطع تونل در داخل ماده معدنی حفر شود. بدیهی است

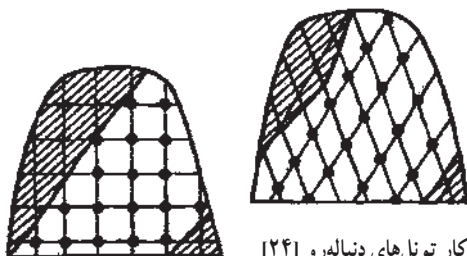
^۱- point sampling

^۲- chip sampling

در چنین مواردی، استفاده از روش لایه‌ای مقدور نیست زیرا زمان زیادی را می‌طلبد و باعث توقف عملیات حفاری می‌شود. در چنین مواردی، بهتر است ابتدا یک شبکه مربعی یا لوزی با استفاده از شابلون در جبهه کار رسم و سپس از مرکز چهارخانه‌ها و یا رئوس شبکه، نمونه هم اندازه تهیه شود (شکل ۱۷-۵). همچنین می‌توان در مقطع تونل خطوطی به موازات هم رسم کرد و از آنها به فواصل مساوی نمونه گرفت. اگرچه فاصله نقاط نمونه‌برداری و تعداد نمونه‌ها در هر حالت متفاوت است اما به عنوان یک راهنمای اولیه می‌توان از اعداد مندرج در جدول ۱۷-۲ استفاده کرد [۲].

جدول ۱۷-۲- تعداد و وزن قطعات نمونه در حالات مختلف [۲۴]

وزن کلی نمونه کیلوگرم	وزن تکه‌ها گرم	تعداد تکه‌ها	وضعیت کانی سازی
۲-۱/۵	۱۲۰	۱۶-۱۲	خیلی منظم و منظم
۶-۵	۲۵۰	۲۵-۲۰	نامنظم
۲۵-۱۸	۵۰۰	۵۰-۳۶	خیلی نامنظم



شکل ۱۷-۵- نمونه‌برداری نقطه‌ای در جبهه کار تونل‌های دنباله‌رو [۲۴]

ضرورت جمع‌آوری تکه‌های کوچک و هم‌اندازه از ماده معدنی، از جمله مشکلات این شیوه نمونه‌برداری است که هرچقدر هم که دقت شود، باز هم ایده‌آل نخواهد بود و این خود یکی از منابع خطا در این روش است. نمونه‌برداری بیشتر از زون‌هایی که عیار بالاتری دارند، یکی دیگر از منابع خطا است.

۱۷-۵- نمونه‌برداری کلوخه‌ای^۱

یکی از موارد کاربرد این روش، نمونه‌برداری سریع از تونل‌های اکتشافی است. بدین منظور،

^۱- grab sampling

قبل از آتشباری در جبهه کار، در کف تونل بسته به وسعت آن، چند ورق آهن پهن می‌کنند تا مواد حاصل از آتشباری با مواد کف تونل مخلوط نشود. پس از انجام آتشباری، مواد حفر شده را به کمک لودر یا بیل دستی پهن می‌کنند تا به‌طور یکنواخت در کف تونل پخش شود. سپس یک توری چهارخانه را روی مواد حفر شده پهن می‌کنند، از وسط هریک از چهارخانه‌های توری، قطعه‌ای از ماده معدنی را جدا می‌کنند و مجموعه آنها را به عنوان نمونه ماده معدنی در آن قسمت از تونل در نظر می‌گیرند. در این مورد نیز تکه‌ها باید حتی‌المقدور ابعاد و وزن مساوی داشته باشند.

نمونه‌برداری کلوخه‌ای را می‌توان از بیل لودر در جبهه کار، واگون‌های حاوی ماده معدنی و یا نوار نقاله‌ای که مواد معدنی را حمل می‌کند نیز تهیه کرد. البته نمونه‌برداری به این شیوه، دقت روش نمونه‌برداری کلوخه‌ای کلاسیک را ندارد. یکی از علت‌های این خطا، آن است که مواد داخل واگون‌ها یا نوار نقاله، به اندازه کافی مخلوط نشده‌اند که بتوان آنها را به عنوان نمونه معرف تلقی کرد [۳۸].

حجم نمونه لازم در این روش نمونه‌برداری به ابعاد قطعات ماده معدنی و طبیعت کانی‌سازی درون این قطعات بستگی دارد. به بیان دیگر، نحوه توزیع کانی در کانسنگ حائز اهمیت است و بسته به اینکه کانی به‌طور یکنواخت در داخل کانسنگ پراکنده و یا به صورت قطعات منفرد در قسمت‌هایی از آنها متمرکز باشد، حجم لازم برای معرف بودن نمونه، متفاوت خواهد بود. در حالت کلی می‌توان گفت که هرچه قدر قطعات سنگ درشت‌تر و قطعات کانی یا کانه نیز بزرگ‌تر باشد، به همان نسبت وزن بیشتری از کانسنگ به عنوان نمونه معرف مورد نیاز است [۳۸].

۱۷-۶- نمونه‌برداری از گمانه‌ها

همان‌گونه که دیدیم، گمانه‌ها جزو مهم‌ترین حفاریات اکتشافی هستند و هدف اصلی از حفر آنها، تهیه مغزه از ماده معدنی و سنگ‌های اطراف آن است. بسته به اینکه از چه نوع مته‌ای استفاده می‌شود و راندمان مغزه‌گیری چگونه باشد، از گمانه‌ها نمونه‌های مختلفی گرفته می‌شود که مهم‌ترین آنها نمونه‌برداری از مغزه‌ها است.

در مواردی که راندمان مغزه‌گیری^۱ از ماده معدنی بالا باشد، مغزه تهیه شده را می‌توان به عنوان نمونه ماده معدنی در عمق مربوطه، در نظر گرفت. اگر مغزه حاصل، از قسمت‌های مجزا و قابل تشخیص تشکیل شده باشد، می‌توان این قسمت‌ها را تفکیک کرد و به عنوان نمونه‌های مجزا منظور کرد.

۱- درصد مغزه حاصله به ازای واحد حفاری را راندمان مغزه‌گیری می‌گویند. به‌عنوان مثال اگر در اثر ۱۰ متر حفاری، ۸ متر مغزه به‌دست آمده باشد، راندمان مغزه‌گیری ۸۰ درصد خواهد بود.

مغزه‌های حفاری، علاوه بر کاربری برای تعیین عیار ماده معدنی، در سایر مطالعات مهندسی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند که از جمله آنها می‌توان مطالعات گازخیزی، مطالعات آبخیزی، مطالعات ژئومکانیکی را نام برد.

۱۷-۷- نمونه‌برداری از کانسارهای سطحی

تفاوت اصلی نمونه‌برداری از کانسارهای سطحی نظیر کانسارهای شن و ماسه و پلاسرها با سایر کانسارها یکی ضخامت زیاد این کانسارها و دیگری ریزشی بودن آنها است. این امر سبب می‌شود که نمونه‌برداری از آنها دقت سایر روش‌های نمونه‌برداری را نداشته باشد.

ساده‌ترین روش نمونه‌برداری از کانسارهای شن و ماسه و سایر کانسارهای سطحی نامتبحر، حفر چاله‌های اکتشافی و نمونه‌برداری از آنها است. بسته به مورد و امکانات موجود، حفاری را می‌توان به روش دستی و یا با استفاده از ماشین‌های حفار انجام داد. امتیاز این روش نسبت به حفر گمانه آن است که اولاً در بسیاری موارد حفر گمانه به علت ریزشی بودن مواد ممکن نیست و ثانیاً در چاله‌های اکتشافی می‌توان وضعیت مواد را مستقیماً مشاهده کرد و قطعات بزرگ سنگ موجود در آنها را مورد بررسی قرار داد. در عوض، این روش دو عیب عمده نیز دارد. یکی آنکه عمق چاله محدود به سطح ایستایی است و دیگر آنکه از جنبه مسایل زیست محیطی، منظره ناحیه را به هم می‌زند. این شیوه نمونه‌برداری معمولاً در اعماق کمتر از ۳ متر و در قسمت‌های خشک کانسار انجام می‌گیرد و به کمک آن می‌توان نمونه کلی مورد نیاز واحد پیشاهنگ را تهیه کرد. در موارد استثنایی، حفر چاله‌های اکتشافی تا عمق ۷ الی ۸ متر نیز گزارش شده است [۳۸].

۱۷-۸- نمونه‌برداری از کپه‌ها و تل‌ها

در بعضی موارد، کپه‌هایی از ماده معدنی روی هم انبار شده است که باید از آنها نمونه‌برداری شود. تجمع ماده معدنی در یک محل ممکن است ناشی از حفر تونل‌های دنباله‌رو در داخل ماده معدنی باشد و یا اینکه به دلایل دیگر مثلاً از مشکل بودن حمل آنها در فصول سرد ناشی شود.

یکی از دقیق‌ترین روش‌های نمونه‌برداری از کپه‌های ماده معدنی، نمونه‌برداری تدریجی و مداوم به هنگام تجمع آنهاست. به عنوان مثال می‌توان از هر واگونی که به محل انبار کردن ماده معدنی می‌رسد، مقداری نمونه گرفت. مجموعه این نمونه‌ها، نمونه معرف تل ماده معدنی خواهد بود.

نمونه‌برداری از کپه‌های ماده معدنی، که از قبل روی هم انبار شده است، به روش‌های مختلف

انجام می‌گیرد. بدیهی است تهیه نمونه سطحی از این توده‌ها، نمونه معرف نیست زیرا عواملی مثل باد و باران باعث می‌شود که ترکیب آنها با سایر قسمت‌ها متفاوت باشد.

در مواردی که از اندازه قطعات ماده معدنی که بر روی هم انبار شده از ۵ سانتیمتر بیشتر نباشد، لوله‌ای را به داخل توده ماده معدنی فرو می‌کنند و مواد داخل آن را به‌عنوان نمونه در نظر می‌گیرند. این روش نمونه‌برداری را نمونه‌برداری لوله‌ای^۱ و در بعضی موارد نمونه‌گیری تفنگی^۲ می‌گویند [۴۰]. برای اینکه راندن لوله نمونه‌گیر به داخل ماده معدنی آسان شود، لبه ابتدای لوله را تیز می‌کنند و نیز مقطع این قسمت را کمی مخروطی می‌سازند تا به هنگام بیرون کشیدن لوله، مواد داخل آن بیرون نریزد. اگر ابعاد ماده معدنی زیاد باشد و یا اینکه ضخامت توده از هفت متر تجاوز کند، برای نمونه‌برداری باید چاهکها یا تراشه‌هایی در داخل کپه حفر کرد.

اگر بخواهند وزن کپه ماده معدنی را حساب کنند، در نقاط مختلف ضخامت آن را با استفاده از لوله‌ها و یا حفر چاهک و تراشه به دست می‌آورند و بنابراین شکل کپه به دست می‌آید که می‌توان حجم و وزن آن را به روش‌های هندسی محاسبه کرد.

۱۷-۹- آماده‌سازی نمونه

نمونه‌هایی را که به آزمایشگاه می‌رسد، قبل از بررسی و تجزیه، باید آماده‌سازی کرد. به‌جز در مواردی که قطعات نمونه باید درشت باشد (مثل مطالعات کانی‌شناسی)، ابتدا آن را خرد کرده و آنگاه آن را خلاصه می‌کنند.

گاه نیز چند نمونه مشابه را به نسبت‌های مساوی با یکدیگر مخلوط می‌کنند و از مجموع آنها یک نمونه مرکب به دست می‌آورند و این امر سبب صرفه‌جویی در وقت و هزینه‌ها می‌شود. به هر حال، چه برای خلاصه کردن و چه برای مخلوط کردن نمونه‌ها، ابتدا باید آنها را خرد کرد که در ادامه به شرح آن می‌پردازیم.

۱۷-۹-۱ خرد کردن نمونه: اولین قدم در آماده‌سازی نمونه، خرد کردن آن است. معمولاً نمونه در چند مرحله به قطعات درشت (۱۰۰ تا ۳۰۰ میلیمتر)، متوسط (۱۲ تا ۵ میلیمتر) کوچک (۳ تا ۷/۰ میلیمتر) و ریز (۱۵/۰ تا ۷/۰ میلیمتر) خرد می‌شود.

۱۷-۹-۲ خلاصه کردن نمونه: دیدیم که برای آنکه نمونه، نماینده واقعی ماده معدنی از محل نمونه‌گیری باشد، باید از تمام ماده معدنی به‌طور یکنواخت نمونه گرفته شود و بدین ترتیب، در

۱- pipe sampling

۲- gun sampling

بسیاری موارد، چندین کیلوگرم نمونه گرفته می‌شود، حال آن که برای تجزیه، معمولاً چند ده گرم کافی است. بنابراین باید وزن نمونه را به گونه‌ای کاهش داد که همواره حالت معرف بودن خود را حفظ کند و این عمل را خلاصه کردن^۱ نمونه می‌گویند. خلاصه کردن نمونه به روش‌های مختلف انجام می‌گیرد که در ادامه به شرح آنها می‌پردازیم:

الف) خلاصه کردن به روش جمع‌آوری^۲: این روش برای خلاصه کردن نمونه‌های خیلی بزرگ مثل نمونه‌های کلی، به کار می‌رود. طرز کار بدین ترتیب است که ضمن حمل نمونه کلی به وسیله واگون‌های معدنی به خارج معدن، بسته به تعداد واگون‌ها، از تمامی آنها یا از هر چند تا یکی، مقداری نمونه برداشته می‌شود که مجموعه آنها خلاصه شده نمونه کلی خواهد بود.

ب) خلاصه کردن به روش چهار قسمتی^۳: در این روش، نمونه خرد شده را روی یک صفحه فلزی صاف می‌ریزند و آن را به شکل مخروطی درمی‌آورند (شکل ۱۷-۶-الف). سپس تقسیم‌کننده‌ای را که از دو تکه تخته یا دو ورق فلزی عمود برهم تشکیل شده است، از رأس مخروط به داخل نمونه فرومی‌برند و بدین ترتیب آن را به چهار قسمت تقسیم می‌کنند (شکل ۱۷-۶-ب). حال، دو قسمت روبروی هم (مثلاً قسمت‌های ۱ و ۳ در شکل ج) را برمی‌دارند و بقیه را کنار می‌گذارند. دو قسمت اخیر را روی صفحه پهن و مجدداً مخلوط کرده و آن را به چهار قسمت تقسیم می‌کنند. این بار، دو قسمت روبه‌روی دیگر (مثلاً قسمت ۲ و ۴) را برمی‌دارند و این عمل را آنقدر ادامه می‌دهند تا حجم نمونه باقیمانده، به حد مورد نظر برسد.

ج) خلاصه کردن به کمک تقسیم‌کننده^۴: در این روش، از جعبه پایه‌دار مخصوصی استفاده می‌شود که دو ردیف سوراخ در طرفین حفره دارد (شکل ۱۷-۷). در دو طرف سوراخ‌های جعبه، دو ظرف قرار می‌دهند و نمونه بود شده را به داخل جعبه می‌ریزند و نیمی از نمونه به داخل هر یک از ظرف‌ها می‌ریزد و بنابراین، اگر این عمل به دفعات انجام شود، حجم نمونه به میزان مورد نظر کاهش می‌یابد.

د) خلاصه کردن به کمک توری: این روش برای خلاصه کردن نمونه‌های پودر شده در آزمایشگاه به کار می‌رود و طی آن، نمونه را روی یک سطح صاف پهن می‌کنند و یک توری به ابعاد ۲×۲ سانتیمتر را روی آن می‌اندازند. سپس به کمک قاشق، از وسط هر یک از مربع‌های توری، مقداری نمونه برمی‌دارند. مجموعه این نمونه‌ها، خلاصه شده نمونه اصلی را تشکیل می‌دهد.

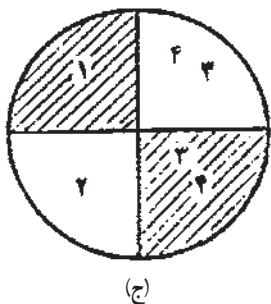
باید توجه داشت که عمل خلاصه کردن نمونه در چندین مرحله مختلف انجام می‌گیرد و هر بار نمونه خلاصه شده مجدداً خرد و خلاصه می‌شود.

۱- reduction of sample

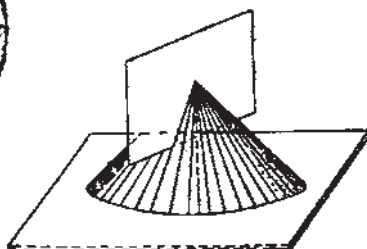
۲- integral multiple reduction

۳- quartering

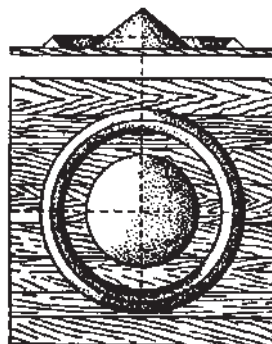
۴- splitter



(ج)

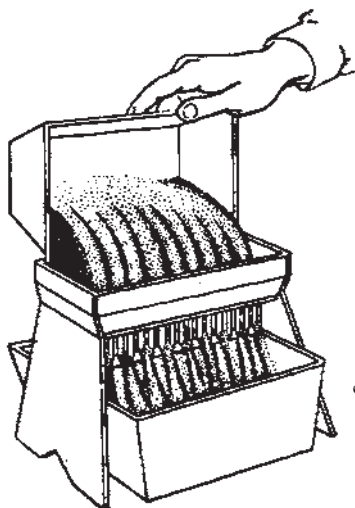


(ب)



(الف)

شکل ۱۷-۶- خلاصه کردن نمونه به روش چهار قسمتی [۲۴]



شکل ۱۷-۷- خلاصه کردن به کمک تقسیم کننده [۲۴]

۱۷-۱۰- بررسی و تجزیه و تحلیل نمونه‌ها

نمونه خلاصه شده و آماده را در آزمایشگاه بررسی و تجزیه می‌کنند. گرچه نوع تجزیه و عملیاتی که در آزمایشگاه انجام می‌شود، در مورد نمونه‌های مختلف متفاوت است، اما می‌توان بررسی‌های مختلف را به شرح زیر طبقه‌بندی کرد:

(الف) تجزیه نیمه کمی و سایر روش‌های سریع برای تعیین عناصر مختلف موجود در نمونه.

(ب) تعیین عبار عناصر و یا ترکیبات مفید و درصد ناخالصی‌های مضر

(ج) بررسی‌های کانی‌شناسی به منظور تعیین ترکیب کانی‌شناسی، ابعاد کانی‌ها، ساخت و بافت

نمونه.

د) بررسی‌های تکنولوژی به منظور تعیین خواص فنی نمونه.
ه) تعیین خواص فیزیکی و شیمیایی مورد نظر.

خودآزمایی

- ۱- مراحل کلی نمونه‌برداری را نام ببرید.
- ۲- نمونه‌برداری شیاری در چه مواردی به کار می‌رود؟
- ۳- مشخصات روش نمونه‌برداری شیاری را شرح دهید.
- ۴- امتیاز و عیب روش نمونه‌برداری لایه‌ای را شرح دهید.
- ۵- مراحل آماده‌سازی نمونه را نام ببرید.
- ۶- روش‌های خلاصه کردن نمونه را شرح دهید.

محاسبه ذخیره

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که:

- ۱- مشخصه‌های اصلی محاسبه ذخیره را نام ببرد.
- ۲- روش‌های مختلف محاسبه ذخیره را توضیح دهد.
- ۳- رده‌بندی ذخایر محاسبه شده را نام ببرد.

۱۸-۱- آشنایی

محاسبه ذخیره یکی از هدف‌های مهم عملیات اکتشافی است و تنها پس از این مرحله است که می‌توان در مورد کانسار قضاوت و امکان استخراج اقتصادی آن را بررسی کرد. نکته مهمی که در مورد محاسبه ذخیره باید در نظر داشت آن است که چون ذخیره ماده معدنی براساس اطلاعات محدود انجام می‌گیرد، لذا به هر حال، توأم با خطا خواهد بود. البته بسته به میزان و دقت اطلاعات موجود، اعتبار ذخایر مختلف متفاوت است و همان‌گونه که خواهیم دید، ذخایر محاسبه شده را براین اساس، به گروه‌های مختلف تقسیم می‌کنند. در واقع می‌توان گفت که ذخیره حقیقی ماده معدنی هنگامی به دست می‌آید که آخرین ذرات ماده معدنی استخراج شده باشد.

نکته مهم دیگر آنکه در پایان مراحل مختلف اکتشاف یک کانسار، ذخیره آن مرحله محاسبه می‌شود و بدیهی است هر مرحله، اعتبار ویژه خود را دارد و همزمان با تکمیل اکتشافات، ذخایر محاسبه شده نیز در مراحل بعدی چه از نظر کمیت و چه از نظر کیفیت تغییر می‌کند و دقیق‌تر می‌شود. به عبارت دیگر، در پایان مراحل بی‌جویی، اکتشافات عمومی و اکتشاف تفصیلی اعدادی به عنوان ذخیره آن مرحله ارائه می‌شود که

در حالت کلی با هم متفاوت اند و نیز حدود تغییرات آنها با هم تفاوت دارد.

۱۸-۲- مشخصه‌های اصلی محاسبه ذخیره

برای محاسبه ذخیره کانسار به روشهای کلاسیک، ابتدا باید آن را به قسمت‌هایی که مشخصات ماده معدنی در آنها کمابیش یکنواخت باشد تقسیم کرد و در مورد هر منطقه، ابتدا وزن کانسنگ را به دست آورد و از حاصل ضرب آن در عیار، ذخیره فلز را محاسبه کرد. ذخیره کلی کانسار از حاصل جمع ذخایر این مناطق به دست می‌آید. در مورد هریک از مناطق روابط ساده زیر را می‌توان نوشت:

$$P = WG \quad (1-18)$$

که در آن P وزن فلز، W وزن کانسنگ و G عیار ماده معدنی است. وزن کانسنگ (و در مورد مواد معدنی‌ای مثل زغال، که عیار در مورد آن به کار نمی‌رود، ذخیره کانسار)، از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$W = V\gamma \quad (2-18)$$

که در آن V حجم و γ وزن مخصوص ماده معدنی است. حجم ماده معدنی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$V = At \quad (3-18)$$

که در آن A سطح مقطع ماده معدنی و t ضخامت واقعی آنست. بدین ترتیب، برای محاسبه ذخیره، باید عناصر اصلی کانسار را که عبارت از ضخامت، سطح، وزن مخصوص و عیار است در دست داشت و از حاصل ضرب آنها، ذخیره را به دست آورد. در ادامه چگونگی تعیین این عناصر تشریح شده است.

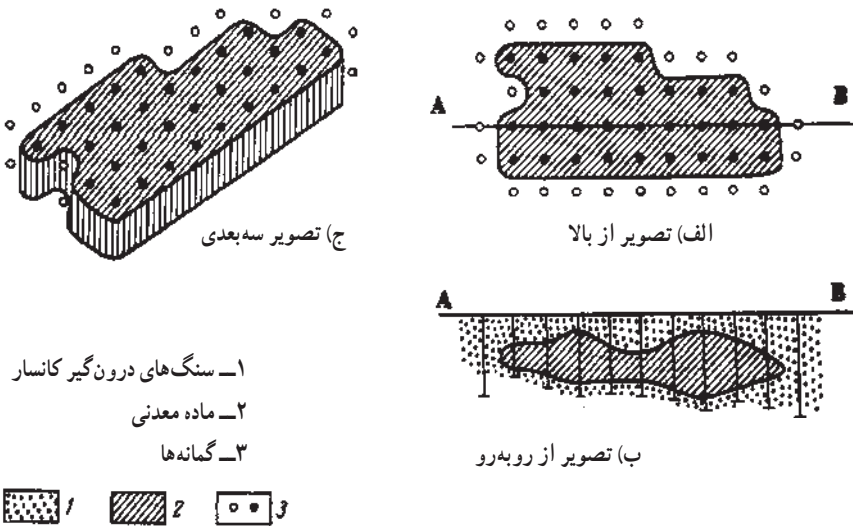
۱۸-۳- محاسبه ذخیره به روش میانگین حسابی

روش میانگین حسابی^۱، ساده‌ترین روش محاسبه ذخیره است و هنگامی به کار می‌رود که مشخصات کانسار در قسمت‌های اکتشاف شده، کمابیش یکسان و عاملی برای تفکیک آن به قطعه‌های مختلف در دست نباشد.

در این روش، میانگین حسابی مشخصات کانسار در حفاریات اکتشافی موجود محاسبه شده و نتایج حاصله به عنوان مشخصات کلی کانسار در نظر گرفته می‌شود (شکل ۱-۱۸).

^۱- arithmetic mean

اگرچه مشخصات ماده معدنی (مثلاً ضخامت آن) در گمانه‌های مختلف متفاوت است و به عنوان مثال مقطع ماده معدنی در امتداد خط AB به صورت شکل ۱۸-۱ ب است، اما آن را با لایه‌ای با ضخامت ثابت مانند شکل ۱۸-۱ ج جایگزین می‌کنند که حجم آن برابر حجم ماده معدنی است. این روش بسیار تقریبی و در واقع سرانگشتی است و برای محاسبه ذخیره در مراحل شناسایی و پی‌جویی که اطلاعات دقیقی از وضعیت ماده معدنی در دست نیست، به کار می‌رود و خطای زیادی دارد.

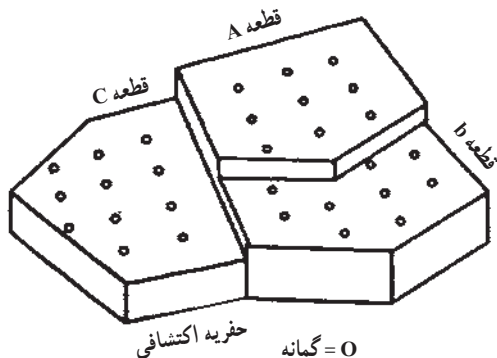


شکل ۱۸-۱- روش میانگین حسابی [۲۴]

۱۸-۴- محاسبه ذخیره روش قطعه‌های زمین‌شناسی

در مواردی که اطلاعات زمین‌شناسی کافی باشد به طوری که بتوان کانسار را به قطعه‌هایی تقسیم کرد که از نظر زمین‌شناسی وضعیت مشابهی داشته باشند، روش قطعه‌های زمین‌شناسی^۱ به کار می‌رود. از آنجا که برخلاف روش میانگین حسابی، در این روش، جامعه کلی کانسار به جوامع کوچک‌تری تقسیم شده است که هر کدام در محدوده خود یکنواخت‌تراند و تغییرپذیری کمتری دارند، لذا دقت این روش بیشتر از روش میانگین حسابی است اما به هر حال، جزو روش‌های دقیق نیست و تنها در مراحل شناسایی و پی‌جویی که اطلاعات عمدتاً داده‌های زمین‌شناسی است، به کار می‌رود (شکل ۱۸-۲).

۱- geological blocks



شکل ۱۸-۲- روش قطعه‌های زمین‌شناسی [۴۱]

در شکل ۱۸-۲، محدوده کلی کانسار براساس اطلاعات حاصل از حفريات اکتشافی، به سه قطعه A، B و C تقسیم شده است. بدیهی است شکل واقعی کانسار این چنین نیست و شکل ۱۸-۲، در واقع وضعیت شبیه‌سازی شده کانسار را نشان می‌دهد. پس از تقسیم کانسار به قطعه‌های مختلف، در مورد هر قطعه، به روش میانگین حسابی عمل می‌شود.

۱۸-۵- محاسبه ذخیره به روش قطعه‌های معدنی

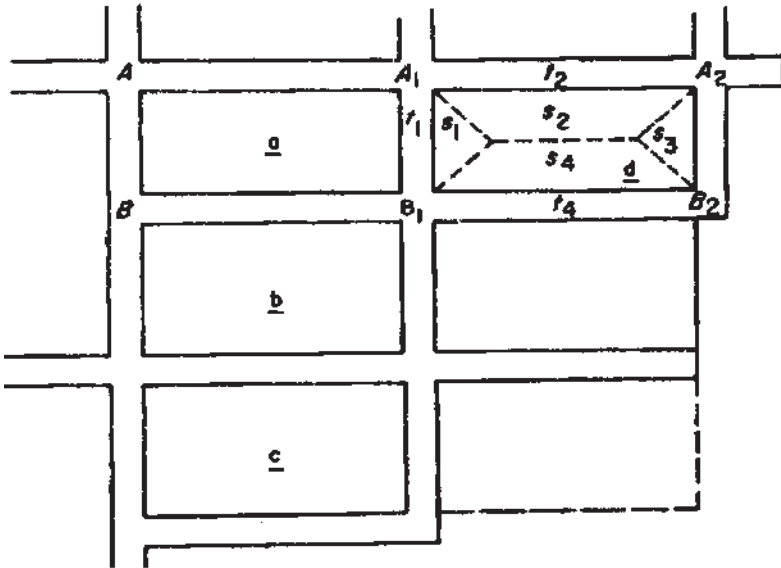
اگرچه روش‌های قطعه‌های معدنی^۱ از جمله دقیق‌ترین روش‌های محاسبه ذخیره است، اما در عین حال، در تمام موارد قابل استفاده نیست. این روش در مواردی به کار می‌رود که ماده معدنی با استفاده از تونل‌های اکتشافی، اکتشاف شده باشد و بنابراین فقط در اواخر مرحله اکتشاف تفصیلی قابل استفاده است. همچنین، این روش را می‌توان در مرحله اکتشاف حین استخراج، برای محاسبه ذخیره پهنه‌های آماده استخراج به کار برد.

۱۸-۵-۱- حالتی که قطعات از چهار طرف اکتشاف شده باشند: مطابق شکل ۱۸-۳، با حفر تعدادی تونل دنباله‌رو و دوپل، ماده معدنی به قطعاتی تقسیم شده است. در مورد هر قطعه مثلاً قطعه $A_1 A_2 B_1 B_2$ ، با رسم نیمساز حفريات اکتشافی متقاطع، منطقه تأثیر^۲ هر یک از حفريات به دست می‌آید.

۱- mining blocks

۲- منطقه تأثیر هر حفیره اکتشافی محدوده‌ای است که مشخصات ماده معدنی حفیره را به آن محدوده تعمیم می‌دهند. به عنوان مثال در شکل ۱۸-۳، منطقه تأثیر دوپل t_1 مثلث به مساحت s_1 است.

الف) محاسبه مساحت: از آنجا که در این روش، قطعات معمولاً شکل منظم و چهارگوش دارند لذا محاسبه مساحت آنها ساده است. پس از تعیین مساحت هر یک از مناطق تأثیر قطعه در روی نقشه، با توجه به مقیاس و شیب ماده معدنی، مساحت واقعی آن به دست می آید. به عنوان مثال، در شکل ۳-۱۸، قطعه $A_1A_2B_1B_2$ مرکب از دو مثلث S_1 و S_2 و دو دوزنقه S_3 و S_4 است که مساحت آنها را به سادگی می توان محاسبه کرد.



شکل ۳-۱۸- روش قطعه‌های معدنی [۴۱]

ب) محاسبه ضخامت، وزن مخصوص و عیار: در این حالت، میانگین حسابی مشخصات ماده معدنی در حفزیه مجاور هر قطعه، برای آن قطعه تعمیم داده می شود. به عنوان مثال در شکل ۳-۱۸، میانگین حسابی ضخامت، وزن مخصوص و عیار در دوپل A_1B_1 برای قطعه S_1 و میانگین حسابی این مشخصات در تونل دنباله‌رو B_1B_2 به قطعه S_2 نسبت داده می شود. بدیهی است اگر در مورد هر یک از جزء قطعات، گمانه‌هایی نیز ماده معدنی را قطعه کرده باشند، از اطلاعات آنها نیز در محاسبه میانگین حسابی استفاده می کنند.

ج) محاسبه ذخیره: ذخیره هر یک از جزء قطعات تفکیک شده از حاصل ضرب عناصر هر قطعه محاسبه شده و از جمع آنها، ذخیره قطعات به دست می آید. ذخیره کلی بخش اکتشاف شده کانسار نیز از مجموع ذخایر قطعات حاصل می شود.

۱۸-۶- رده بندی ذخایر

اگرچه همواره سعی می‌شود که ذخیره محاسبه شده حتی المقدور به واقعیت نزدیک و اعتبار بالایی داشته باشد اما به هر حال، محاسبه ذخیره با خطا همراه است و هیچ‌گاه ذخیره محاسبه شده، ذخیره واقعی ماده معدنی نیست و با آن تفاوت دارد.

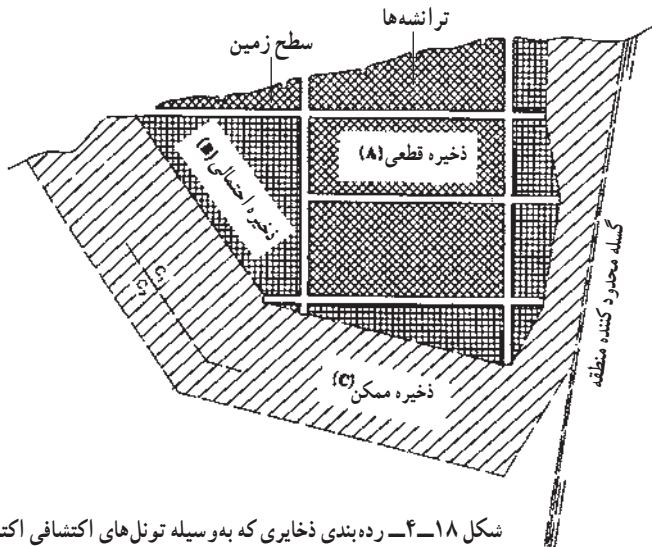
برای رده بندی ذخایر روشهای مختلفی وجود دارد. در ایران از دو روش یکی روش موسوم به قدیمی و دیگری روش جدید استفاده می‌شود که شرح آنها در ادامه آمده است.

۱۸-۶-۱- تقسیم بندی قدیم: این تقسیم بندی که تا سال ۱۳۸۷ در ایران متداول بود و هم‌اکنون نیز بسیاری از افراد آن را به کار می‌برند، بسته به نوع حفريات اکتشافی و خطای محاسبه ذخیره، ذخایر محاسبه شده را به سه رده قطعی (A)، احتمالی (B) و ممکن (C) تقسیم می‌کند. بسته به نوع حفريات اکتشافی مبنای رده بندی تا حدودی متفاوت است:

الف) هنگامی که کانسار به وسیله تونل های اکتشافی اکتشاف شده باشد.

در این موارد، بسته به وضعیت تونل های اکتشافی، ذخایر را به رده های زیر تقسیم می‌کنند

(شکل ۱۸-۴).



شکل ۱۸-۴- رده بندی ذخایری که به وسیله تونل های اکتشافی اکتشاف شده اند [۹۹]

— ذخایر قطعی یا ذخایر گروه A: آن قسمت از ماده معدنی که از چهار طرف به وسیله

تونل های دنباله رو و دوپل اکتشاف شده باشد، در این رده جای می‌گیرد.

۱- proved (measured) reserves

— ذخایر احتمالی^۱ یا ذخایر گروه B: قسمت‌هایی از ماده معدنی که از دو طرف به وسیله تونل‌های اکتشافی، اکتشاف شده باشد، تحت این رده تلقی می‌شوند.

— ذخایر ممکن^۲ یا ذخایر گروه C: این نام به قسمت‌هایی از ماده معدنی گفته می‌شود که در مورد آنها تونل‌های اکتشافی حفر نشده و تنها به وسیله گمانه‌ها اکتشاف شده باشد. قسمت‌های کم عمق‌تر، که به وسیله شبکه انبوه‌تری از گمانه‌ها اکتشاف شده‌اند، در گروه فرعی C_۱ و بخش‌های عمیق، در گروه C_۲ جای می‌گیرند (شکل ۱۸-۴).

(ب) هنگامی که کانسار به وسیله گمانه‌ها اکتشاف شده باشد.

در این موارد، با محاسبه خطای محاسبه ذخیره (که با روش‌های مختلف انجام می‌گیرد)، بسته به میزان خطا، ذخایر محاسبه شده را به رده‌هایی به شرح جدول ۱۸-۱ تقسیم می‌کنند [۹۹]:

جدول ۱۸-۱- رده‌بندی ذخایری که به وسیله گمانه اکتشاف شده‌اند [۹۹].

درصد خطا	رده ذخیره
۱۵ تا ۲۰	قطعی (A)
۲۰ تا ۳۰	احتمالی (B)
۳۰ تا ۶۰	ممکن (C _۱)
۶۰ تا ۹۰	ممکن (C _۲)

۱۸-۶-۲- تقسیم‌بندی جدید: در سال ۱۳۸۷ رده‌بندی جدیدی از سوی وزارت صنعت، معدن و تجارت ابلاغ شد که از آن پس، ذخایر محاسبه شده باید براساس آن رده‌بندی شوند. در رده‌بندی جدید مواردی مطابق جدول ۱۸-۲ مبنای رده‌بندی قرار می‌گیرد [۴۳].

جدول ۱۸-۲- مبنای رده‌بندی ذخایر معدنی براساس قوانین جدید [۴۳].

مطالعات اقتصادی		مطالعات امکان‌سنجی		مطالعات اکتشافی	
کد	مرحله	کد	مرحله	کد	مرحله
۱	اقتصادی	۱	امکان‌سنجی	۱	اکتشاف تفصیلی
۲	دارای پتانسیل اقتصادی	۲	پیش امکان‌سنجی	۲	اکتشاف عمومی
۳	بالقوه اقتصادی	۳	فرصت‌سنجی	۳	بی‌جویی
				۴	شناسایی

۱- Probable (indicated) reserves

۲- Possible (inferred) reserves

مطابق جدول ۱۸-۲، بسته به مطالعات انجام شده، به ذخیره محاسبه شده کدی سه رقمی تعلق می‌گیرد که ارقام آن به ترتیب از چپ به راست نشانگر مطالعات اقتصادی، مطالعات امکان‌سنجی و مطالعات اکتشافی است. به عنوان مثال ذخیره‌ای که در مورد آن مطالعات هر سه مرحله به طور کامل انجام شده باشد دارای کد ۱۱۱ و ذخیره‌ای که مراحل اکتشاف عمومی و امکان‌سنجی را گذرانده و بالقوه اقتصادی تشخیص داده شده باشد، دارای کد ۳۱۲ خواهد بود.

خودآزمایی

- ۱- مشخصه‌های اصلی محاسبه ذخیره را شرح دهید.
- ۲- روش میانگین حسابی در چه مواردی به کار می‌رود؟
- ۳- در مواردی که کانسار به وسیله تونل‌های اکتشافی اکتشاف شده باشد از چه روشی استفاده می‌شود؟
- ۴- روش‌های مختلف محاسبه ذخیره را نام ببرید.
- ۵- روش مقاطع قائم در چه مواردی به کار می‌رود؟
- ۶- مبنای رده‌بندی ذخایر در روش جدید چیست؟

فهرست منابع

- [۱] - یعقوب پور، عبدالمجید (۱۳۸۰)، مبانی زمین‌شناسی اقتصادی (چاپ پنجم)، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی
- [2] - Dorokhin I.V. - Bogacheva E.N. (1969), Economic Mineral Deposits, Higher School Publication House Moscow.
- [۳] - عرفانی، حسین (۱۳۵۲)، زمین‌شناسی اقتصادی کانسارها، انتشارات دانشگاه تهران
- [4] - Smirnov (1976), Geology of Mineral Deposits, Mir Publishers, Moscow.
- [۵] - مدنی، حسن (۱۳۸۸) - عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر زغال‌سنگ، انتشارات کانون پرورش فکری کودکان و نوجوانان
- [6] - Crickmer, Douglas F. - Zegeer David A. (1981), Elements of Practical Coal Mining, S.M.E. Inc. New york.
- [۷] - معاریان، حسین (۱۳۸۶)، سفرنفت، انتشارات کانون پرورش فکری کودکان و نوجوانان
- [۸] - معاریان، حسین (۱۳۵۹)، فرآیندهای درونی تغییر دهنده پوسته زمین (۱)، انتشارات دانشگاه آزاد ایران
- [۹] - مدنی، حسن - شفیقی، سرویس (۱۳۹۰)، زمین‌شناسی عمومی (چاپ سی‌ام)، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
- [10] - Bryan, Sir Andrew - Bulger, Jermy (1989), Coal Technology for Britaine's Future, Mcmilillan, London Limited.
- [۱۱] - راهنمای تهیه گزارش‌های طراحی معدن (۱۳۸۸)، برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن، وزارت صنایع و معادن، معاونت امور معادن و صنایع معدنی
- [۱۲] - مدنی، حسن - یعقوب پور، عبدالمجید (۱۳۸۸)، تخمین و ارزیابی ذخایر معدنی - چاپ سوم، انتشارات دانشگاه پیام نور

[۱۳]– حسینی، علیرضا– رشیدی یزد، سعید – شهریاری، محمد – مدنی، حسن – معماریان، حسین (۱۳۶۰)، بررسی صنعت آلومینیوم، انتشارات شرکت آلومیران – سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران

[14]– Lewis, S. Robert, EM. (1964), Elements of Mining, John Wiley and Sons, Inc.

[۱۵]– قانون معادن (۱۳۷۷)، وزارت معادن و فلزات

[۱۶]– مدیری، مهدی (۱۳۷۵)، اشاره‌ای به مبانی و اصول دورکاوی، انتشارات سازمان

جغرافیایی وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح

[۱۷]– جاهد، فرشید (۱۳۷۴)، چشمی در آسمان، مقاله مندرج در روزنامه همشهری شماره

۸۹۱

[18]– Curran, Paul J. (1988), Principles of Remote Sensing, Longman Scientific and Technical.

[19]– Wikipedia (2010), The Free Encyclopedia.

[20]– Lo, C. P. (1987), Applied Remote Sensing, Longman Scientific and Technical.

[21]– Dobrin, Milton B., (1988), Introduction to Geophysical Prospecting, 4th. ed. McGraw-Hill.

[22]– Compton, Robert R. (1962), Manual of Field Geology, John Wiley & Sons, Inc.

[۲۳]– مدنی، حسن (۱۳۷۶)، اصول بی‌جوئی، اکتشاف و ارزیابی ذخایر معدنی، چاپ چهارم

[24]– Kreiter, V. M (2004), Geological Prospecting and Exploration, Mir Publisher.

[۲۵]– ورشوچی‌فرد، وحید – محمدزاده، محمد جعفر– فلاحت، رضا (۱۳۸۵)، ثبت

آلتراسیون‌های هیدروترمال با استفاده از تصاویر آستر در منطقه ورزقان، مجموعه مقالات بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین

[۲۶]– دورتی، هاریر (۱۹۷۶)، چشمی در آسمان، ترجمه احمد اکیلی – مرتضی قادری (۱۳۶۳)،

انتشارات مرکز نشر دانشگاهی

[27]– Solove, A. P. (2004), Geochemical Prospecting, Mir Publishers.

[۲۸]– حسینی پاک، علی اصغر (۱۳۸۵)، اصول اکتشافات ژئوشیمیایی، انتشارات دانشگاه

تهران

[۲۹]– دستورالعمل اکتشاف ژئوشیمیایی بزرگ مقیاس رسوبات آبراهه‌ای (۱۳۸۹)، برنامه تهیه

ضوابط و معیارهای معدن، وزارت صنایع و معادن، معاونت امور معادن و صنایع معدنی

[30]– Reedman, J. H., (1979), Techniques in Mineral Exploration, Applied Science Publication Ltd.

[31]– Peters, Willam C. (1987), Exploration and Mining Geology, 2nd ed. John Wiley & Sons Inc.

[32]– Compton, Robert R. (1985), John Wiley & Sons Inc.

[۳۳]– معیارهای طراحی و دستورالعمل اجرای حفريات اکتشافی سطحی (۱۳۸۹)، برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن، وزارت صنایع و معادن، معاونت امور معادن و صنایع معدنی

[۳۴]– میرافضلی، ابوالقاسم (۱۳۴۵)، زمین‌شناسی زیرزمینی، انتشارات گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی دانشگاه تهران (جزوه درس)

[۳۵]– جواهریان، عبدالرحیم (۱۳۵۰)، گزارش ژئوفیزیک منطقه سراپرده، انتشارات شرکت زغال‌سنگ کرمان (گزارش تایپ شده)

[36]– Beckman, Heinz (1976), Geological Prospecting of Petroleum, Georg Thieme Publishing Co.

[37]– International Atomic Energy Agency (1985), Methods for the Estimation of Uranium Ore Reserve, Thechnical Report No255.

[38]– Annel, Alwyn E. (1991), Mineral Deposit Evaluation, A Practical Approach, Chapman & Hall.

[۳۹]– جواهریان، عبدالرحیم (۱۳۵۴)، عملیات و پژوهشهای ژئوفیزیکی در اکتشاف منابع زغال‌سنگ کرمان، انتشارات شرکت زغال‌سنگ کرمان (گزارش تایپ شده)

[40]– Truscott, S. J. (1968), Mine Economics, Mining Publication Ltd.

[41]– Popoff, Constantine, c. (1966), Computing Reserves of Mineral Deposit, Principles and Conventional Methods, United States Department of Interior Bureau of Mines.

[42]– Maximov, A.–Miloserdina, G.–Eremin, N. (1973), Short Course of Geological Prospecting and Exploration, Mir Publishers–Moscow

[۴۳]– دستورالعمل رده‌بندی ذخایر معدنی (۱۳۸۷)، معاونت برنامه‌ریزی و راهبردی رئیس‌جمهور، نشریه شماره ۳۷۹

