بسم الله الرحمن الرحیم

اکتشاف معدن

رشتهٔ معدن

زمینهٔ صنعت

شاخهٔ آموزش فنی و حرفه‌ای

شمارهٔ درس ۲۵۸۸

۶۲۲ مدنی، سیدحسن
۶۷۷الف / اکتشاف معدن / مؤلف : سیدحسن مدنی ــ تهران : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی
۱۳۹۴ ایران، ۱۳۹۴.
۱۷۲ ص. : مصور. ــ (آموزش فنی و حرفه‌ای؛ شمارهٔ درس ۲۵۸۸)
متون درسی رشتهٔ معدن، زمینهٔ صنعت.
برنامه‌ریزی و نظارت، بررسی و تصویب محتوا : کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی رشتهٔ معدن دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش وزارت آموزش و پرورش.
۱. اکتشاف‌های زیرزمینی. ۲. معدن و ذخایر معدنی. الف. ایران. وزارت آموزش و پرورش. کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی رشتهٔ معدن. ب. عنوان. ج. فروست.

۱۳۹۴

همکاران محترم و دانش‌آموزان عزیز :
پیشنهادها و نظرهای خود را دربارهٔ محتوای این کتاب به نشانی تهران ـ صندوق پستی شمارهٔ ۴۸۷۴/۱۵ دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ارسال فرمایند.

پیام‌نگار (ایمیل) **tvoccd@medu.ir**

وب‌گاه (وب‌سایت) **www.tvoccd.medu.ir**

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 ـ ۴۵۸/۳**

مؤلّف : سیدحسن مدنی

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

آماده‌سازی و نظارت بر چاپ و توزیع : **ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی**

تهران : خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)

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

وب سایت : www.chap.sch.ir

مدیر امور فنی و چاپ : **سیّد احمد حسینی**

طراح جلد : **طاهره حسن‌زاده**

صفحه‌آرا : **شهرزاد قنبری**

حروفچین : **کبری اجابتی**

مصحح : مریم اشرفی ، سمیه صائمیان

امور آماده‌سازی خبر : **سپیده ملک‌ایزدی**

امور فنی رایانه‌ای : **حمید ثابت کلاچاهی، پیمان حبیب‌پور**

ناشر : **شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران : تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادّهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (داروپخش)**

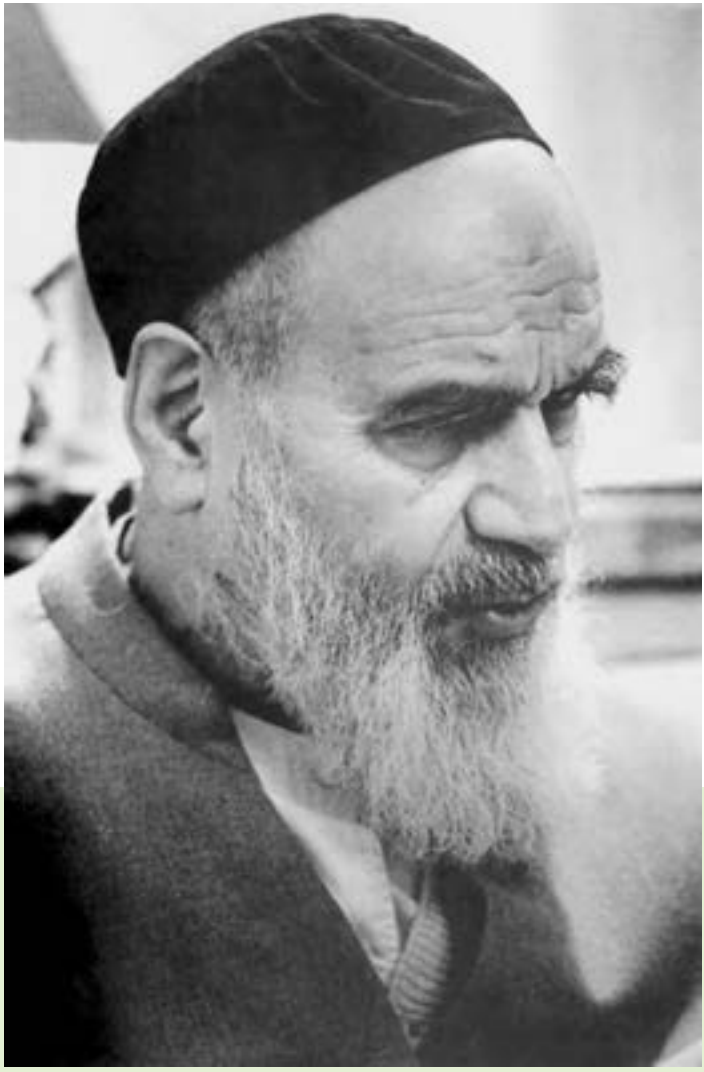
تلفن : ۵ ـ ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار : ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی : ۱۳۹ـ ۳۷۵۱۵

چاپخانه : **نادر**

سال انتشار : **۱۳۹۴**

حقّ چاپ محفوظ است.

شابک ۴-۲۰۳۱-۰۵-۹۶۴-۹۷۸ ISBN 978-964-05-2031-4



شما عزیزان کوشش کنید که از این وابستگی بیرون آیید 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»

فهرست

فصل ۱ ــ تعاریف و اصطلاحات ۱

۱ــ۱ــ آشنایی ۱

۱ــ۲ــ کانی ۱

۱ــ۳ــ کانسنگ ۲

۱ــ۴ــ کانه ۲

۱ــ۵ــ باطله یا گانگ ۲

۱ــ۶ــ کانسار ۲

۱ــ۷ــ منبع معدنی ۳

۱ــ۸ــ ذخیره معدنی ۳

۱ــ۹ــ کان‌تن ۳

فصل ۲ ــ کانسارهای درون‌زاد یا اولیه ۴

۲ــ۱ــ آشنایی ۴

۲ــ۲ــ کانسارهای ماگمایی اولیه ۵

۲ــ۳ــ کانسارهای پگماتیتی ۶

۲ــ۴ــ کانسارهای گازی یا پنوماتولیتیکی ۶

۲ــ۵ــ کانسارهای گرمابی ۷

فصل ۳ ــ کانسارهای برون‌زاد یا ثانوی **۹**
۳ـ۱ـ آشنایی ۹
۳ـ۲ـ کانسارهای ناشی از هوازدگی ۱۰
۳ـ۳ـ کانسارهای رسوبی ۱۳
۳ـ۴ـ زغال‌سنگ ۱۶
۳ـ۵ـ نفت ۲۰

فصل ۴ ــ کانسارهای دگرگونی **۲۴**
۴ـ۱ـ آشنایی ۲۴
۴ـ۲ـ انواع دگرگونی ۲۵
۴ـ۳ـ کانسارهای دگرگون شده ۲۶
۴ـ۴ـ کانسارهای دگرگونی ۲۶

فصل ۵ ــ از کانسار تا معدن **۲۸**
۵ـ۱ـ آشنایی ۲۸
۵ـ۲ـ فازهای مختلف عملیات معدنکاری ۲۸
۵ـ۳ـ اهداف کلی اکتشاف ۳۰

فصل ۶ ــ معیارهای اکتشاف **۳۲**
۶ـ۱ـ آشنایی ۳۲
۶ـ۲ـ معیارهای آب و هوایی ۳۳
۶ـ۳ـ معیارهای چینه‌شناسی ۳۴
۶ـ۴ـ معیارهای رخساره‌ای و سنگ‌شناسی ۳۵
۶ـ۵ـ معیارهای ساختاری ۳۵
۶ـ۶ـ معیارهای ماگمایی ۳۶

فصل ۷ ــ راهنماها و نشانه‌های اکتشاف ۳۷
۷ــ۱ــ آشنایی ۳۷
۷ــ۲ــ نشانه‌های محلّی ۳۷
۷ــ۳ــ قسمت‌های دگرسان شده سنگ‌ها ۳۹
۷ــ۴ــ تمرکز مواد معدنی ۳۹
۷ــ۵ــ قطعات کانسنگ ۴۰
۷ــ۶ــ هاله‌های تفرقی ۴۰
۷ــ۷ــ نشانه‌های گیاهی ۴۱

فصل ۸ ــ مراحل مقدماتی اکتشاف ۴۲
۸ــ۱ــ آشنایی ۴۲
۸ــ۲ــ انتخاب محدوده ناحیه ۴۳
۸ــ۳ــ انجام کارهای اداری ۴۳
۸ــ۴ــ جمع‌آوری و مطالعه نقشه‌ها و گزارش‌های موجود ۴۹
۸ــ۵ــ بازدید مقدماتی از ناحیه ۴۹
۸ــ۶ــ استقرار مرکز عملیات ۵۰

فصل ۹ ــ اکتشافات ماهواره‌ای (دورسنجی) ۵۱
۹ــ۱ــ آشنایی ۵۱
۹ــ۲ــ ماهواره‌های ویژه بررسی منابع زمین ۵۴
۹ــ۳ــ سنجنده‌ها ۵۵
۹ــ۴ــ نحوه ارسال اطلاعات از ماهواره به ایستگاه‌های زمینی ۵۵
۹ــ۵ــ کاربرد داده‌های ماهواره‌ای در مطالعات اکتشافی ۵۶

فصل ۱۰ ــ اکتشافات هوابردی ۶۱
۱۰ــ۱ــ آشنایی ۶۱

۱۰ـ۲ـ عکس‌های هوایی ۶۱
۱۰ـ۳ـ مطالعه عکس‌های هوایی ۶۳
۱۰ـ۴ـ اکتشافات ژئوفیزیکی هوابردی ۶۵

فصل ۱۱ ــ اکتشافات زمین‌شناسی ۶۶
۱۱ـ۱ـ آشنایی ۶۶
۱۱ـ۲ـ بازدید و برداشت مقاطع زمین‌شناسی ۶۷
۱۱ـ۳ـ تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی ۷۱
۱۱ـ۴ـ جستجو و تعقیب رودخانه‌ها و خاک‌شویی ۷۲

فصل ۱۲ ــ اکتشافات ژئوفیزیکی ۷۷
۱۲ـ۱ـ آشنایی ۷۷
۱۲ـ۲ـ روش گرانی‌سنجی ۸۰
۱۲ـ۳ـ روش مغناطیس‌سنجی ۸۳
۱۲ـ۴ـ روش‌های الکتریکی ۸۴

فصل ۱۳ ــ اکتشافات ژئوشیمیایی ۹۰
۱۳ـ۱ـ آشنایی ۹۰
۱۳ـ۲ـ هاله‌های ژئوشیمیایی ۹۱
۱۳ـ۳ـ عناصر ردیاب و نشانه ۹۲
۱۳ـ۴ـ مراحل مختلف اکتشافات ژئوشیمیایی ۹۴
۱۳ـ۵ـ روش‌های ژئوشیمیایی ۹۴

فصل ۱۴ ــ حفریات اکتشافی سطحی ۱۰۴
۱۴ـ۱ـ آشنایی ۱۰۴
۱۴ـ۲ـ تهیه نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس ۱۰۵

۱۴ـ۳ـ چاله‌های اکتشافی ۱۰۸
۱۴ـ۴ـ ترانشه ۱۰۹
۱۴ـ۵ـ اوکلون ۱۱۷
۱۴ـ۶ـ چاهک‌های اکتشافی ۱۲۰

فصل ۱۵ ــ گمانه‌های اکتشافی ۱۲۲
۱۵ـ۱ـ آشنایی ۱۲۲
۱۵ـ۲ـ شبکه گمانه‌های اکتشافی ۱۲۳
۱۵ـ۳ـ تعیین مشخصات گمانه‌ها ۱۲۴
۱۵ـ۴ـ آماده کردن سکوی حفر گمانه ۱۲۶
۱۵ـ۵ـ حفر گمانه ۱۲۶
۱۵ـ۶ـ گل حفاری ۱۳۰
۱۵ـ۷ـ چگونگی حفر گمانه ۱۳۱
۱۵ـ۸ـ برداشت گمانه ۱۳۲

فصل ۱۶ ــ تونل‌های اکتشافی ۱۳۴
۱۶ـ۱ـ آشنایی ۱۳۴
۱۶ـ۲ـ تونل‌های عمود بر لایه ۱۳۵
۱۶ـ۳ـ تونل‌های امتدادی (موازی لایه) ۱۴۲
۱۶ـ۴ـ میان‌برها ۱۴۶
۱۶ـ۵ـ تونل‌های دنباله‌رو (دنبال لایه) ۱۴۸

فصل ۱۷ ــ نمونه‌برداری ۱۵۰
۱۷ـ۱ـ آشنایی ۱۵۰
۱۷ـ۲ـ نمونه‌برداری شیاری ۱۵۱
۱۷ـ۳ـ نمونه‌برداری لایه‌ای ۱۵۳

۱۷ـ۴ـ نمونه‌برداری نقطه‌ای یا لب‌پری ۱۵۴
۱۷ـ۵ـ نمونه‌برداری کلوخه‌ای ۱۵۵
۱۷ـ۶ـ نمونه‌برداری از گمانه‌ها ۱۵۶
۱۷ـ۷ـ نمونه‌برداری از کانسارهای سطحی ۱۵۷
۱۷ـ۸ـ نمونه‌برداری از کپه‌ها و تل‌ها ۱۵۷
۱۷ـ۹ـ آماده‌سازی نمونه ۱۵۸
۱۷ـ۱۰ـ بررسی و تجزیه و تحلیل نمونه‌ها ۱۶۰

فصل ۱۸ ــ محاسبه ذخیره ۱۶۲
۱۸ـ۱ـ آشنایی ۱۶۲
۱۸ـ۲ـ مشخصه‌های اصلی محاسبه ذخیره ۱۶۳
۱۸ـ۳ـ محاسبه ذخیره به روش میانگین حسابی ۱۶۳
۱۸ـ۴ـ محاسبه ذخیره روش قطعه‌های زمین‌شناسی ۱۶۴
۱۸ـ۵ـ محاسبه ذخیره به روش قطعه‌های معدنی ۱۶۵
۱۸ـ۶ـ رده‌بندی ذخائر ۱۶۷

فهرست منابع ۱۷۲

مقدمه

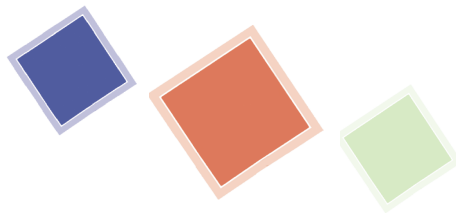
کتابی که با عنوان «اکتشاف معدن» از نظر شما می‌گذرد برای تدریس در رشتهٔ معدن در هنرستان کشور تألیف شده است. این کتاب حاصل بازسازی کتاب اکتشاف معدن است که در آن از نظرات ارزشمند هنرآموزان و دبیران هنرستان‌ها نیز استفاده شده است. در این کتاب، با توجه به مشکلاتی که به لحاظ محتوایی در کتاب‌های قبلی وجود داشت،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

دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش

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.



فصل ۱

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.

۱ــ۱ــ 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.

۱ــ۲ــ 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 تشکیل‌دهنده پوسته زمین را تنها تعداد معدودی از کانی‌ها تشکیل می‌دهند، در صورتی که تعداد زیادی از کانی‌ها نادرند و به‌صورت آثاری در بعضی از سنگ‌ها مشاهده می‌شوند.

۱ــ mineral

۱ــ۳ــ 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 نه‌تنها شامل کانه‌ها و کانی‌های موجود در کانسار می‌شود، بلکه باطله‌های دور ریخته شدهٔ قبلی و پس‌ماند کارخانه کانه‌آرایی و نظایر آنها نیز در صورتی که با انجام عملیات جدید از نظر اقتصادی با ارزش باشند، کانسنگ تلقی می‌شوند.

۱ــ۴ــ کانه[۲]

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

۱ــ۵ــ 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 به شمار می‌رود و در ایران، معادن متعددی تنها به خاطر استخراج باریت احداث شده‌اند.

۱ــ۶ــ 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.

۱ــ ore ۲ــ ore mineral ۳ــ gangue ۴ــ baryte ۵ــ mineral deposit (ore deposit)

۱ــ۷ــ 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 دربرمی‌گیرد.

۱ــ۸ــ 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.

۱ــ۹ــ کان تن[۳]

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

خودآزمایی

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

۱ــ mineral resources ۲ــ ore reserve ۳ــ ore body

فصل ۲

کانسارهای درون‌زاد[1] یا اولیه

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که:
۱ـ کانسارهای ماگمایی را شرح دهد.
۲ـ کانسارهای پگماتیتی را توضیح بدهد.
۳ـ کانسارهای پنوماتولیتیکی را شرح دهد.
۴ـ کانسارهای گرمابی را توضیح بدهد.

۲ــ۱ــ 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[2] 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 به‌تدریج از

۱ــ endogenous ۲ــ 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 وکانی‌های 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 به‌وجود می‌آید. از جمله این که به علّت 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 به‌صورت آتشفشان در سطح زمین ظاهر می‌شود و سنگ‌های آتشفشانی را به‌وجود 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 :

۲ــ۲ــ کانسارهای ماگمایی اولیه

ماگما پس از تشکیل، به‌تدریج سرد می‌شود و کانی‌هایی که نقطه ذوبشان بالاست، در اولین مراحل سرد شدن، از آن جدا می‌شوند و از تجمع آنها کانسارهای مهمی به‌وجود 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. به‌عنوان مثال می‌توان کانسار طلای ناحیه آستانه در حوالی شاه‌زند اراک را نام برد که در آنجا طلا به‌صورت دانه‌های پراکنده‌ای در داخل سنگ‌های گرانیت دیده می‌شود [۳].

۲ــ۳ــ 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 بدین‌ترتیب، ترکیب خود و سنگ‌ها را تغییر می‌دهد. بسیاری از کانی‌هایی که قطعات درشت آنها در صنایع مختلف مصرف دارد، بدین‌نحو 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.

۲ــ۴ــ کانسارهای گازی یا پنوماتولیتیکی[۲]

پس از جدا شدن کانی‌های مربوط به مرحله‌های ماگمایی اولیه و پگماتیتی، آنچه که از ماگما باقی‌مانده، مخلوط مذاب و درهمی از مواد مختلف است که بخش عمده‌ای از آن‌را گازها و بخارات تشکیل می‌دهند. بدین‌ترتیب، ابتدا بخش گازی این مخلوط جدا می‌شود و کانسارهای گازی یا پنوماتولیتیکی را تشکیل می‌دهد و محلول باقی‌مانده، 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 به‌ترتیب 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].

۱ــ pegmatite ۲ــ penumatolytic

از فرآیندهای مهمی که در این مرحله اتفاق می‌افتد، پدیده جایگزینی[1] 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 به‌جای 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 بدین‌ترتیب از تأثیر گازها و مواد فرار ماگما بر سنگ‌های کربناته به‌وجود می‌آید، اسکارن[2] می‌گویند.

۲ــ۵ــ کانسارهای گرمابی

در آخرین مراحل انجماد ماگما، آنچه که باقی مانده محلول کمابیش داغی است که تعداد زیادی کانی دارد و به آن محلول گرمابی[3] می‌گویند. این محلول، ضمن عبور از فضای خالی و شکاف‌سنگ‌ها، کانی‌های خود را برجای می‌گذارد و بدین‌ترتیب، رگه‌های‌معدنی را به‌وجود می‌آورد.

از جمله خصوصیات مهم کانسارهای گرمابی، شکل رگه‌ای آنهاست که این امر از نظر اکتشاف و ارزیابی آنها بسیار مهم است.

بسته به دمای محلول‌های گرمابی، 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 گرمابی نیز ممکن است ضمن تماس با سنگها، تغییراتی در آنها به‌وجود آورد و انواع کانسارهای جانشینی را تشکیل دهد.

۱ــ metasomatism ۲ــ skarn ۳ــ Hydrothermal

خودآزمایی

۱ـ کانسار را تعریف کنید.

۲ـ ماگما چیست؟

۳ـ مراحل مختلف تشکیل کانسار از ماگما را شرح دهید.

۴ـ کانسارهای پگماتیتی چگونه تشکیل می‌شوند؟

۵ـ شکل کانسارهای گرمابی چگونه است؟

۶ـ کانسارهای اسکارن چگونه تشکیل می‌شوند؟

فصل ۳

کانسارهای برون‌زاد[۱] یا ثانوی

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

۱ـ کانسارهای ناشی از هوازدگی را تشریح کند.

۲ـ کانسارهای رسوبی را شرح بدهد.

۳ـ کانسارهای آواری، رسوبی تبخیری وکانسارهای ناشی از فعالیت‌های زیستی را توضیح بدهد.

۴ـ زغال‌سنگ را تعریف کند.

۵ـ مراحل مختلف تشکیل نفت را شرح بدهد.

۳ـ۱ـ آشنایی

همان‌طوری که دیدیم، کانسارهای درون‌زاد یا اولیه، عمدتاً در اعماق زمین یعنی جایی که فشار و دما بالاست، تشکیل می‌شوند، امّا عوامل مختلفی از قبیل حرکات پوسته زمین و فرسایش، سبب می‌شوند که در حوالی سطح زمین ظاهر شوند. بدین‌ترتیب، شرایط امروزی آنها، با شرایط اولیه تشکیل‌شان 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 برون‌زاد

۱ـ exogenous

یا ثانوی می‌گوییم. علّت این نام‌گذاری آن است که از سویی، این کانسارها معمولاً محصول تغییرات دسته اول‌اند (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 :

۳ــ۲ــ 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.

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

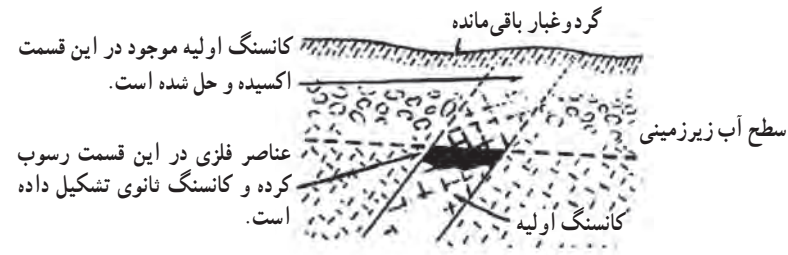
۳ــ۲ــ۱ــ تمرکز برجا[۲] : به‌طوری که می‌دانیم، در حالت کلی سنگ‌ها، حاوی کانی‌های مختلفی هستند که خود عناصر گوناگونی دارند. در بسیاری موارد، غلظت این عناصر آنقدرها زیاد نیست که بتوان به آن کانسار گفت امّا به مرور، ممکن است مواد محلول در سنگ حل شده و از آن خارج شوند و بدین‌ترتیب، درصد مواد نامحلول بالا می‌رود و این امر ممکن است به تشکیل یک کانسار منجر شود.

۱ــ weathering ۲ــ residual concentration

بهترین مثال در این مورد بوکسیت[1] (مخلوطی از هیدروکسیدهای آلومینیوم) است. اگر سنگی که دارای سیلیکات‌های مختلف از جمله سیلیکات‌های آلومینیوم است خرد شود، تحت‌تأثیر 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 برجای باقی می‌مانند و غلظت آنها به‌تدریج اضافه می‌شود. نتیجه این امر، تشکیل بوکسیت است که یکی از مواد اولیه اصلی تهیه فلز آلومینیوم به‌شمار می‌آید.

۳ــ۲ــ۲ــ تمرکز ثانوی[2] : 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 تحت‌تأثیر آب‌های زیرزمینی به H_2SO_4 تبدیل می‌شود و بقایای آن به‌صورت اکسید آهن برجای 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. بدین‌ترتیب، طی زمان طولانی، ممکن است مقدار سولفید مس آنقدر زیاد شود که از نظر اقتصادی قابل توجه باشد (شکل ۳ــ۱).



شکل ۳ــ۱ــ تمرکز کانسنگ در اثر انحلال و رسوب مجدد [۱].

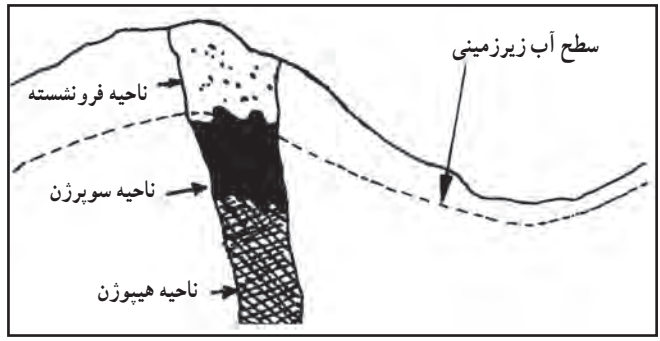
یکی از بزرگ‌ترین معادن مس دنیا به نام معدن مس یوتا[3] واقع در ایالات متحده آمریکا طی همین فرآیند تشکیل شده است (شکل ۳ــ۲).

۱ــ bauxite ۲ــ secondary enrichment ۳ــ Utah

شکل ۳ــ۲ــ تمرکز کانسنگ در اثر انحلال و رسوب مجدد در معدن یوتا [۱].

فرآیند تمرکز ثانوی را تقریباً در تمام کانسارها می‌توان مشاهده کرد. هرگاه مطابق شکل۳ــ۳ یک رگه سولفید را درنظر 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 به‌وجود می‌آورند که به نام کلاهک آهنی خوانده می‌شود و از آنجا که این کلاهک آهنی با رنگ قهوه‌ای متمایل به قرمز خود مشخص است، لذا نشانه خوبی برای اکتشاف کانسارهای سولفیدی به‌شمار 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 ۳ــ۳ــ تأثیر هوازدگی در تشکیل کانی‌های جدید [۴].

۱ــ 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[1] می‌خوانند. در زیر این قسمت، سنگ‌های اولیه و بکر قرار دارند که به آن ناحیه هیپوژن[2] گفته می‌شود.

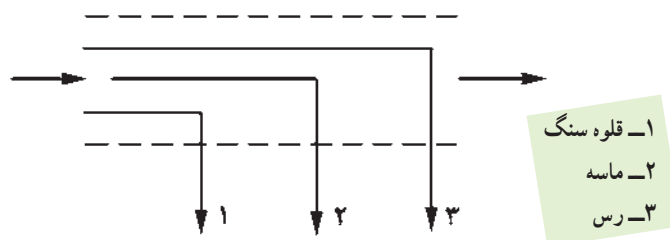
۳ــ۳ــ کانسارهای رسوبی

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.

۳ــ۳ــ۱ــ کانسارهای آواری یا مکانیکی[3] : 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 به‌ترتیب ماسه و رس رسوب خواهند کرد (شکل ۳ــ۴).

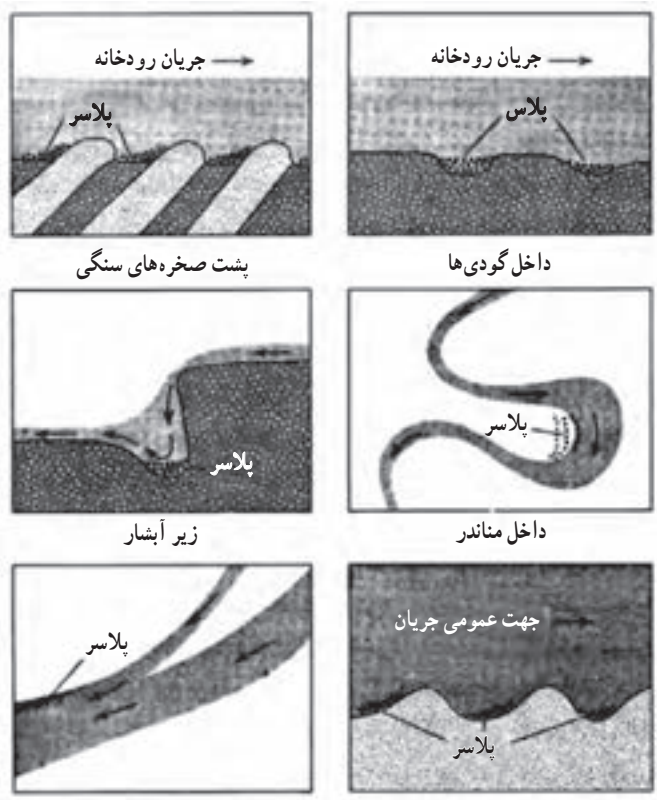
همچنین اگر در ابتدای رودخانه مخلوطی از کانی‌های با وزن مخصوص متفاوت موجود باشد، پس از مدتی این مواد به ترتیب وزن مخصوص خود رسوب خواهند کرد.



شکل ۳ــ۴ــ رسوب مواد براساس اندازه ذرات [۲].

۱ــ supergene zone ۲ــ hypogene zone ۳ــ mechanical (detrital)

از جمله مهم‌ترین کانسارهای مکانیکی می‌توان کانسارهای جامانده[1] (پلاسر) را نام برد. مواد مختلفی که به‌وسیله 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 به‌وجود می‌آید. کانسارهای فلزات سنگین مثلاً طلا و پلاتین و نیز بعضی از کانسارهای الماس، بدین‌نحو تشکیل می‌شوند (شکل ۳ــ۵).



شکل ۳ــ۵ــ چگونگی تشکیل کانسارهای پلاسر [۴]

۳ــ۳ــ۲ــ کانسارهای رسوبی تبخیری و شیمیایی : محصولات خرد شدن سنگ‌ها، تنها به‌صورت ذرات آواری به‌وسیله عوامل حمل و نقل حمل نمی‌شوند بلکه مقداری از آنها به‌صورت محلول یا به‌حالت کلوئیدی انتقال می‌یابند. از آنجا که قابلیت انحلال مواد مختلف در آب متفاوت است و از سویی

۱ــ Placer

شرایط محیط آب نیز از نقطه‌ای به نقطه‌ی دیگر تغییر می‌کند، لذا موادی که بدین نحو حمل می‌شوند، در قسمت‌های مختلف مسیر ممکن است رسوب کنند و کانسار به‌وجود 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 به‌تدریج 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 به‌وجود می‌آورند. در بسیاری موارد، رسوب شیمیایی مواد بدین‌ترتیب 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 بدین‌نحو به‌وجود می‌آیند.

رسوب مواد ممکن است به علّت 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 به‌تدریج رسوب کنند و بدین‌ترتیب، کانساری را به‌وجود آورند. بعضی از کانسارهای آهن و منگنز به این نحو تشکیل می‌شوند.

۳ــ۳ــ۳ــ کانسارهای ناشی از فعالیت‌های حیاتی : بعضی از کانسارها در نتیجه فعالیت‌های گیاهان یا موجودات به‌وجود می‌آیند که از آن جمله می‌توان کانسارهای آهک، سیلیس، فسفات، گوگردو سوخت‌های فسیل (زغال‌سنگ و نفت) را نام برد. به‌عنوان مثال در این مورد می‌توان رسوب طبقات ضخیم آهک را ذکر کرد. معمولاً در آب دریا همیشه مقداری کربنات کلسیم وجود دارد، امّا میزان آن به‌حدی نیست که به حالت طبیعی رسوب کند و طبقات آهک را به‌وجود آورد. طرز تشکیل این لایه‌های آهکی معمولاً بدین‌ترتیب 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 به‌وجود می‌آورد.

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

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

۳ــ۴ــ زغال‌سنگ

زغال‌سنگ در بین مواد معدنی اهمیت ویژه‌ای دارد و می‌توان آن‌را به‌عنوان 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.

۳ــ۴ــ۱ــ چگونگی تجمع مواد گیاهی : اگرچه منشأ گیاهی زغال‌سنگ مورد قبول تمام متخصصین زغال است، امّا 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 به‌وجود 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. توجیه این مطلب بدین‌ترتیب 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 ترتیبی که بعداً خواهیم دید، این مواد به زغال تبدیل شده‌اند.

وجود لایه‌های متعدد زغال را که به فاصله کم از هم قرار دارند، بدین‌ترتیب 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. بدین‌ترتیب 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

۱ــ autochthonous ۲ــ Allochthonous

یا باتلاق‌ها 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 حمل‌ونقل 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.

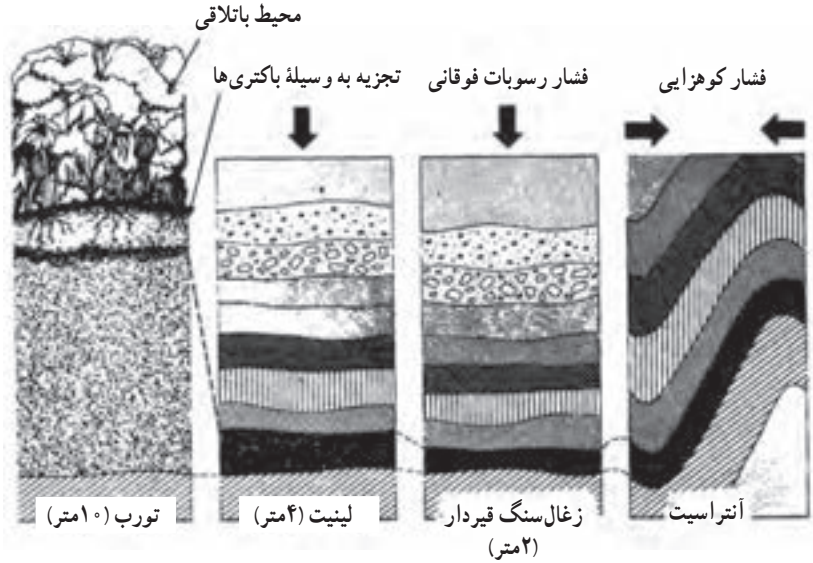
در حوضه‌های زغالی مختلف دلایلی در تأیید هریک از دو نظریه می‌توان مشاهده کرد و نیز در بعضی از حوضه‌های زغالی، به نظر می‌رسد هر دو نظریه صادق باشند. یعنی در عین اینکه پیشروی دریا در جنگل سبب تشکیل بعضی از لایه‌ها شده است، رودخانه‌ها نیز مقدار زیادی مواد گیاهی حمل کرده و مواد اولیه سایر لایه‌ها را فراهم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

۳ــ۴ــ۲ــ 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 به‌تدریج 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، به‌علّت دخالت باکتری‌ها به نام مرحله زیست‌ــ‌شیمیایی[۲] نیز نامیده می‌شود. در این مرحله، به‌تدریج مواد گیاهی تجزیه شده، با قشری از رسوبات گل و لای پوشیده شده و بدین‌ترتیب 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 لای‌رویی، آب موجود در مواد گیاهی از محیط خارج می‌شود و این مواد بازهم متراکم‌تر می‌شود.

۱ــ peat ۲ــ biochemical

با پایان گرفتن مرحله زیست شیمیایی و فعالیت باکتری‌ها، مرحله کند فیزیکی ــ شیمیایی، یا دینامیکی ــ 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 ۳ــ۶).



شکل ۳ــ۶ــ مراحل مختلف تبدیل مواد گیاهی به انواع مختلف زغال [۶]

۳ــ۴ــ۳ــ مشخصات زغال : اگرچه شرح مشخصات زغال‌سنگ از حوصله این کتاب به دور است امّا 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 آن‌را 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 به‌صورت 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 زغال‌سنگ در دمای بالا و فضای بسته، جسم متخلخلی به‌نام 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، آن‌را در دستگاه مخصوصی به‌نام پلاستومتر، آزمایش می‌کنند. ضخامت قشر پلاستیک حاصله که به حرف Y و به واحد میلی‌متر نموده می‌شود، مشخص کننده خواص کک‌دهی زغال است و هرچقدر این ضریب زیادتر باشد، قابلیت کک‌شدن زغال بهتر است.

۳ــ۴ــ۴ــ انواع زغال‌سنگ : زغال‌سنگ‌ها را براساس مشخصات مختلف از قبیل مواد فرار، خاصیت کک‌دهی، ارزش حرارتی و درجه زغال شدگی به انواع مختلف تقسیم می‌کنند. تقسیم‌بندی زغال در کشورهای مختلف متفاوت است و تقسیم‌بندی متداول در ایران، در جدول ۳ــ۱ نشان داده شده است[۱].

جدول ۳ــ۱ــ تقسیم‌بندی زغال‌سنگ 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	ــــ	۶۹۰۰ تا ۷۵۰۰	۰
۲	زغال شعله دراز	کمتر از ۷۷	بیشتر از ۳۷	ــــ	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	ــــ	۷۳۰۰ تا ۸۷۵۰	۶
۸	نیمه آنتراسیت			ــــ	بیشتر از ۸۲۰۰	۷
۹	آنتراسیت	بیشتر از ۹۳	۷	ــــ	بیشتر از ۸۲۰۰	۷

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

۳ــ۵ــ نفت

اگرچه در اصطلاح رایج فارسی، نفت را برای مایع سفیدرنگی به کار می‌برند که از آن در چراغ‌ها و بخاری‌های نفت‌سوز استفاده می‌شود، امّا 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.

۳ــ۵ــ۱ــ مواد اولیه نفت : مواد اولیه نفت، موجودات دریایی به نام پلانکتون‌ها[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 ریز دانه‌ای 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.

۳ــ۵ــ۲ــ 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 ازاین نوع شمارش شده است [۷].

۱ــ plankton ۲ــ diatom

به هر حال، ترکیبات آلی لاشه موجودات نفت‌ساز در اثر فعالیت باکتری‌های بی‌هوازی به ماده‌ای به‌نام ساپروپل[1] تبدیل شده که در اثر تغییرات فیزیکی و شیمیایی و طی چندین هزار سال، به نفت و گاز تبدیل می‌شود.

۳ــ۵ــ۳ــ 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 به‌نام سنگ مادر[2] 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[3] 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.

۳ــ۵ــ۴ــ نفتگیر[4] : مهاجرت اولیه نفت آن‌قدر ادامه می‌یابد تا سرانجام در سنگ مناسبی به دام افتد و در آن تجمع یابد. این سنگ که به نام سنگ مخزن[5] نامیده می‌شود، باید ساختار مناسبی داشته باشد. یکی اینکه خلل و فرج و تخلخل مناسبی داشته و دیگر آنکه در بالای آن سنگ‌های غیرقابل نفوذی وجود داشته باشند که از فرار نفت و گاز به سمت بالا جلوگیری کنند. چنین ساختاری به‌نام نفتگیر خوانده می‌شود.

نفتگیرها انواع مختلفی دارند که از جمله مهم‌ترین آنها انواع تاقدیس هستند. به‌عنوان مثال اگر یک سازند آهکی دارای تخلخل به صورت یک تاقدیس چین بخورد و در قسمت بالای آن یک سازند غیرقابل نفوذ قرار داشته باشد، نفتگیر مناسبی را تشکیل می‌دهد (شکل ۳ــ۷). بسیاری از نفتگیرهای ایران از این نوع هستند و سنگ مخزن آنها را نوعی سنگ آهک به نام آهک آسماری تشکیل می‌دهد.

۳ــ۵ــ۵ــ 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

۱ــ sapropel ۲ــ source rock ۳ــ primery migration
۴ــ oil trap ۵ــ reservoir rock

گاز، در زیر آن نفت و در بخش پایین آن آب وجود خواهد داشت (شکل ۳ــ۷). تفکیک سه سیال آب، نفت و گاز در نفتگیر، به نام مهاجرت ثانویه نفت خوانده می‌شود.

شکل ۳ــ۷ــ نفتگیر تاقدیسی [۷]

۳ــ۵ــ۶ــ انواع نفت: نفت طبیعی از هیدروکربن‌های مختلف یعنی ترکیبات کربن و هیدروژن تشکیل شده است به گونه‌ای که بیش از ۹۵ درصد آنرا هیدروژن وکربن و بقیه را اکسیژن، نیتروژن و گوگرد تشکیل می‌دهند[۷]. معدودی از نفت‌های طبیعی بی‌رنگ و بی‌بواند امّا 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 کدام‌یک از هیدروکربن‌های یاد شده درصد بیشتری داشته باشند، نفت خام را نیز به همان نام می‌خوانند. به‌عنوان 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 غیراین 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 ۰/۷ باشد آن‌را نفت سبک و اگر بیشتر باشد، نفت سنگین می‌گویند.

خودآزمایی

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

فصل ۴

کانسارهای دگرگونی

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که:
۱ـ دگرگونی همبری را توضیح بدهد.
۲ـ دگرگونی عمومی را شرح بدهد.
۳ـ کانسارهای دگرگونی را شرح بدهد.
۴ـ کانسارهای دگرگون شده را تعریف نماید.

۴ـ۱ـ آشنایی

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

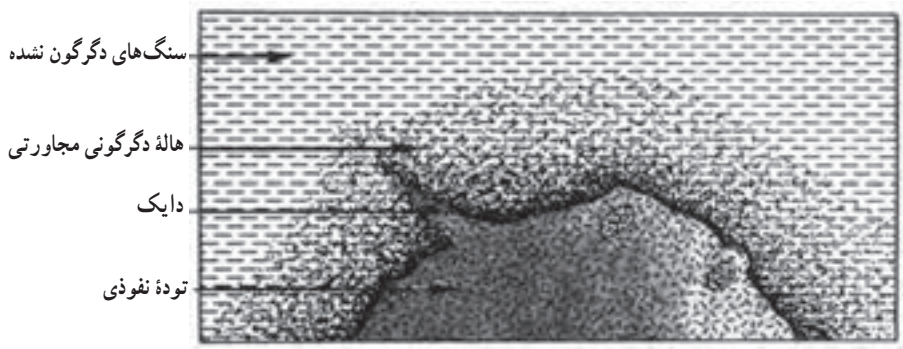
اگرچه دگرگونی خود به‌طور مستقیم مولد کانسار نیست ولی در بعضی موارد، سبب تمرکز مواد پراکنده می‌شود و ممکن است کانساری را به‌وجود آورد [۳].

۱ـ metamorphism

۴ــ۲ــ انواع دگرگونی

دگرگونی را به انواع مختلفی به شرح زیر تقسیم می‌کنند :

۴ــ۲ــ۱ــ 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 ۴ــ۱).



شکل ۴ــ۱ــ 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 صدمتر و بیشتر نیز برسد.

۴ــ۲ــ۲ــ 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.

۱ــ 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 به‌وجود می‌آید.

۴ــ۲ــ۳ــ 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 به‌وجود می‌آورند.

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

صرف‌نظر 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 :

۴ــ۳ــ 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 به‌وجود می‌آورد.

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

۴ــ۴ــ کانسارهای دگرگونی

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

۱ــ dynamic metamorphism ۲ــ metamorphosed

است کانسار قابل توجه کروندوم[1] (یاقوت) به‌وجود 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

۱ـ دگرگونی را تعریف کنید.

۲ـ دگرگونی همبری را شرح دهید.

۳ـ شعاع تأثیر دگرگونی را تشریح کنید.

۴ـ دگرگونی عمومی را شرح دهید.

۵ـ تفاوت کانسارهای دگرگون شده و دگرگونی را شرح دهید.

۱ـ corundum

فصل ۵

از کانسار تا معدن

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

۱ـ فازهای مختلف عملیات معدنکاری را نام ببرد.

۲ـ فاز پیش از استخراج را توضیح بدهد.

۳ـ فاز استخراج را شرح بدهد.

۴ـ فاز پس از استخراج را توضیح بدهد.

۵ــ۱ــ 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 به‌عنوان اکتشاف و گاه نیز تحت عنوان یافتن معدن تلقی می‌شود. اگرچه واژه کلی اکتشاف را به‌عنوان یک واژه عام می‌توان برای مجموعه عملیاتی که منجر به شناسایی کامل ذخایر معدنی می‌شود به کار برد، اما همان‌گونه که خواهیم دید، این واژه، معانی تخصصی نیز دارد که به آن خواهیم پرداخت.

۵ــ۲ــ فازهای مختلف عملیات معدنکاری

مقصود از اصطلاح عام معدن‌کاری[۱] طیف گسترده‌ای از عملیاتی است که مراحل اکتشاف،

۱ــ mining

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

۵ــ۲ــ۱ــ 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]

هـ) مرحله اکتشاف تفصیلی[۴]

مراحل ب، ج، د و هـ 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.

۵ــ۲ــ۲ــ 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]

هـ) مرحله فرآوری[۱۱]

۵ــ۲ــ۳ــ 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 ۵ــ۱ نشان داده شده است.

باید توجه داشت که نمودار جدول۵ــ۱، نشانگر وضعیت کلی ارتباط مراحل مختلف معدن‌کاری

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

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

جدول ۵ــ۱ــ ارتباط مراحل مختلف اکتشاف با مراحل مختلف استخراج[1] [۱۱].

مراحل	
اکتشاف	شناسایی ← پی‌جویی ← اکتشاف عمومی ← اکتشاف تفصیلی ← اکتشاف حین استخراج
طراحی	طراحی مفهومی ← طراحی پایه ← طراحی تفصیلی
امکان‌سنجی	فرصت سنجی ← پیش‌امکان سنجی ← امکان‌سنجی
تجهیز و آماده‌سازی	تجهیز و آماده‌سازی
استخراج	استخراج
بستن معدن	
بازسازی معدن	

در حالت کلی، برای کم کردن زمان و هزینه عملیات معدن‌کاری، 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 به‌صورت اکتشاف، تجهیز و آماده‌سازی متمرکز می‌شود و امکان دارد که در بخش‌های مختلف کانسار فعالیت‌های اکتشاف، تجهیز، آماده‌سازی و تولید به‌طور هم‌زمان انجام گیرد. همچنین ممکن است در قسمت‌های کم‌عمق کانسار که اکتشاف آن به پایان رسیده است، عملیات استخراجی آغاز شود و در عین حال، در بخش‌های عمیق‌تر آن، اکتشاف ادامه یابد.

۵ــ۳ــ 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 ۱ــ۱، اطلاعات حاصل از مراحل پی‌جویی و اکتشاف عمومی نیز باید به گونه‌ای باشد که بر اساس آنها بتوان به ترتیب

۱ــ جدول ۵ــ۱ 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

۱ـ مراحل مختلف فاز پیش از استخراج را شرح دهید.

۲ـ ترتیب انجام مراحل مختلف در فاز پیش از استخراج را شرح دهید.

۳ـ مرحله طراحی معدن جزو کدام فاز است؟

۴ـ طراحی مفهومی، پایه و تفضیلی هر کدام پس از کدام مرحله اکتشاف انجام می‌شود؟

فصل ۶

معیارهای اکتشاف

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

۱ـ معیارهای آب و هوایی را توضیح دهد.

۲ـ معیارهای چینه‌شناسی را شرح دهد.

۳ـ معیارهای رخساره‌ای و سنگ‌شناسی را شرح دهد.

۴ـ معیارهای ساختاری را شرح دهد.

۵ـ معیارهای ماگمایی را توضیح بدهد.

۶ــ۱ــ آشنایی

بسیاری از کانسارها در سطح زمین رخنمون ندارند یا در محلی دور از چشم زمین‌شناسان و مهندسین 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 خصوصیاتی اطلاق می‌شود که به‌طور 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 به‌عنوان 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 وهوایی، چینه‌شناسی، رخساره‌ای و سنگ‌شناسی، زمین‌ساختی و ماگمایی را نام برد.

۶ــ۲ــ 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

۱ــ 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 دراین دوره زغال‌سنگ 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.

۶ــ۳ــ 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 زغال‌سنگ، 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 پرمین و تریاس متمرکز شده‌اند [۱۳].

۱ــ stratigraphic criteria

۶ــ۴ــ 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 به‌صورت مستقیم و به شکل وجود علایمی از ماده معدنی در این سنگ‌ها باشد و یا این که امکان دارد غیرمستقیم باشد یعنی وجود ماده معدنی سبب تغییرات خاصی در سنگ‌های درونگیر شود.

به‌عنوان 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 درجازا را تشکیل می‌دهند و بنابراین وجود سنگ‌های آذرین یاد شده، معیار مناسبی برای جستجوی بوکسیت در آنها است.

۶ــ۵ــ 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. به‌عنوان 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 پرشده‌اند. 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.

۱ــ facies, lithological criteria

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

۳ــ structural criteria

۴ــ oil trap

۶ــ۶ــ معیارهای ماگمایی[۱]

ارتباط ماگما با تشکیل مواد معدنی مختلف به خوبی شناخته شده است و بر این اساس می‌توان گفت که بخش قابل‌توجهی از مواد معدنی، به‌طور 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 کردو 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

۱ـ مفهوم معیارهای اکتشافی را شرح دهید.

۲ـ معیارهای آب و هوایی را شرح دهید.

۳ـ برای اکتشاف زغال از چه معیارهایی استفاده می‌شود؟

۴ـ معیارهای ماگمایی در اکتشاف کدام منابع معدنی کاربرد دارند؟

۵ـ چگونه می‌توان از معیارهای ساختاری در اکتشاف نفت استفاده کرد؟

۱ــ magmagenic criteria

فصل ۷

راهنماها و نشانه‌های اکتشاف

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

۱ـ مفهوم راهنما را توضیح بدهد.

۲ـ نشانه‌های محلی را شرح دهد.

۳ـ بخش‌های دگرسان شده را توضیح دهد.

۴ـ قطعات کانسنگ را توضیح بدهد.

۵ـ هاله‌های تفرقی را شرح بدهد.

۷ــ۱ــ 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.

۷ــ۲ــ 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:

۷ــ۲ــ۱ــ 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. به‌هرحال، استفاده از این اطلاعات بسیار سودمند است.

۷ــ۲ــ۲ــ اثرات معادن قدیمی : آثار حفریات قدیمی معدنکاری، که به‌نام کارهای شدادی معروف است، در بسیاری از معادن امروزه کشور ما به‌چشم می‌خورد که از جمله آن می‌توان معدن سرب آهنگران، معدن سرب و روی نمار، معدن مس عباس‌آباد، آثار استخراج سنگ در کوه رحمت تخت جمشید، معدن آهن قدیمی شاهبولاغ در زنجان، معدن سرب قدیمی کلونگاه در الیکا، معدن قلعه‌زری در بیرجند و معدن سبرز در انارک را نام برد. این آثار همیشه قابل رؤیت نیستند بلکه در این مورد نیز می‌توان از اطلاعات مردم محلی استفاده کرد.

۷ــ۲ــ۳ــ اثرات کوره‌های ذوب قدیمی : از آنجا که در قدیم وسایل حمل و نقل محدود بوده است و مواد معدنی استخراج شده را نمی‌توانستند تا فاصله زیاد حمل کنند، لذا در بسیاری از موارد، در حوالی معدن قدیمی، ماده معدنی را ذوب می‌کرده و به مصرف می‌رسانده‌اند که بقایای آن به‌صورت سنگ‌های ذوب شده، کمابیش امروزه نیز در حوالی معادن قدیمی دیده می‌شود. در بسیاری نقاط ایران از جمله کرمان، شاهرود و ملایر این آثار دیده می‌شود.

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

۷ــ۲ــ۴ــ توجه به اسامی محلی : بسیاری از نام‌های قدیمی روستاها و آبادی‌های ایران وجه تسمیه معینی دارند که در پاره‌ای موارد ممکن است گویای وجود مواد معدنی یا ساختار مناسب برای تشکیل این مواد در اطراف روستا باشد.

در حوالی ده سرچشمه که بزرگ‌ترین کانسار شناخته‌شده مس ایران در حوالی آن واقع است، آبگیری موسوم به زنگار وجود دارد و علاوه بر این، ده نزدیک آن به‌نام زنگالو نامیده می‌شود که خود مؤید وجود مس در این ناحیه است. در حوالی معدن سرب آهنگران که حاوی مقدار قابل‌توجهی آهن نیز هست، ده قدیمی آهنگران وجود دارد. در حوالی دهکده زاج‌کان (معدن زاج) قزوین کانسار مهم آلونیت یافت می‌شود. معدن تالمسی (تل= توده) در مجاورت دهی به همین نام قرار دارد که مؤید وجود مس است.

معدن زغال‌سنگ تزره (البرز شرقی) در مجاورت دهی به همین نام قرار دارد که وجه تسمیه ده مزبور را افراد قدیمی محل به‌صورت «ته‌زره» یعنی محلی که ته آن حاوی زر و مواد گرانبها است، می‌دانند.

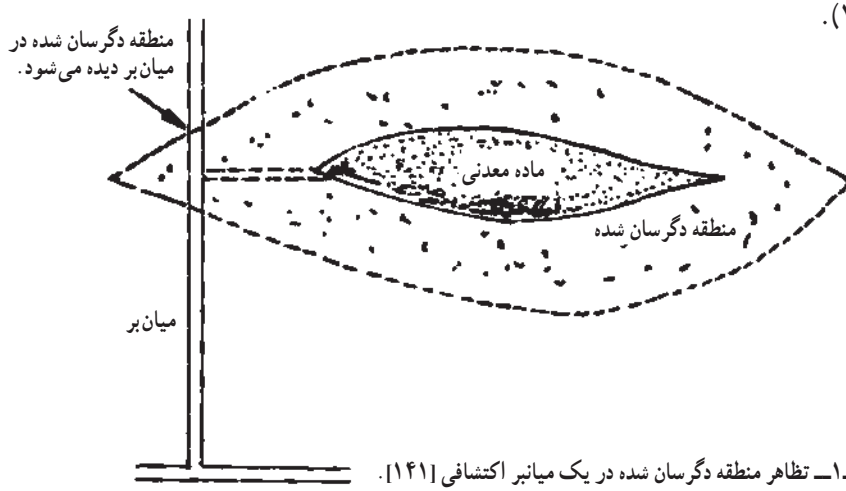
در حوالی اردبیل چشمه معدنی مهمی وجود دارد که به‌نام سردابه معروف است و افراد قدیمی محل معتقدند که نام اصلی آن «ساری داوا» (واژه آذری به معنی داروی مرض زردی یا یرقان) بوده که به مرور به این شکل درآمده است.

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

۷ــ۳ــ قسمت‌های دگرسان‌شده 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 حفریات اکتشافی اعم از ترانشه، گمانه یا تونل، این قسمت‌های دگرسان شده رؤیت و به کمک آن توده ماده معدنی اصلی کشف شود (شکل ۷ــ۱).



شکل ۷ــ۱ــ تظاهر منطقه دگرسان شده در یک میانبر اکتشافی [۱۴۱].

۷ــ۴ــ 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.

۷ــ۵ــ قطعات کانسنگ

قطعات کانسنگ یا قطعات حاوی کانسنگ که در رسوبات یخچالی یا واریزه‌ها و آبرفت‌ها دیده می‌شود، راهنمای با ارزشی در پی‌بردن به‌وجود 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.

۷ــ۶ــ 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. بدین‌ترتیب، در اطراف ماده معدنی در داخل سنگ‌های درونگیر، هاله‌ای وجود دارد که محتوی درصد قابل‌توجهی 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.

۱ــ dispersion haloes

۷ــ۷ــ نشانه‌های گیاهی

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

۱ـ نام سه محل را که در ارتباط با مواد معدنی نامگذاری شده‌اند، ذکر کنید.

۲ـ اثرات معادن قدیمی چگونه به‌عنوان راهنمای اکتشاف قابل استفاده‌اند؟

۳ـ چگونه می‌توان از قسمت‌های دگرسان شده سنگ‌ها در اکتشاف استفاده کرد؟

۴ـ اگر یک قطعه کانسنگ صاف و گرد در کف یک دره دیده شود، نشانگر چیست؟

۵ـ هاله‌های تفرقی اولیه و ثانویه را شرح دهید.

فصل ۸

مراحل مقدماتی اکتشاف

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

۱ـ نحوه انتخاب محدوده برای اکتشاف را شرح دهد.

۲ـ مراحل صدور پروانه اکتشاف را شرح دهد.

۳ ـ تهیه طرح اکتشاف را توضیح دهد.

۴ ـ دریافت گواهی کشف را توضیح بدهد.

۵ ـ نحوه جمع‌آوری نقشه‌ها و گزارش‌های موجود را شرح دهد.

۶ ـ استقرار مرکز عملیات را شرح دهد.

۸ــ۱ــ 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 ازآغاز عملیات اکتشافی از قبیل اکتشافات ماهواره‌ای، زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی، بعضی کارهای مقدماتی را باید انجام داد که در این فصل به‌شرح آنها می‌پردازیم.

۸ــ۲ــ 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.

۸ــ۳ــ 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 به‌نام 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 ۸ــ۱، 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 ۸ــ۲ تقسیم‌بندی می‌کنند که برای هر درجه، مسئول تهیه طرح اکتشاف و مسئول فنی عملیات اکتشافی خاصی باید انتخاب شود.

جدول ۸ــ۱ــ طبقه‌بندی مواد معدنی براساس قانون معادن [۱۵]

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

۸ــ۳ــ۱ــ مراحل صدور پروانه اکتشاف : مراحل صدور پروانه اکتشاف طی مواد ۱ تا ۲۱ آئین‌نامه اجرایی قانون معادن آمده که به اختصار در جدول ۸ــ۳ درج شده است.

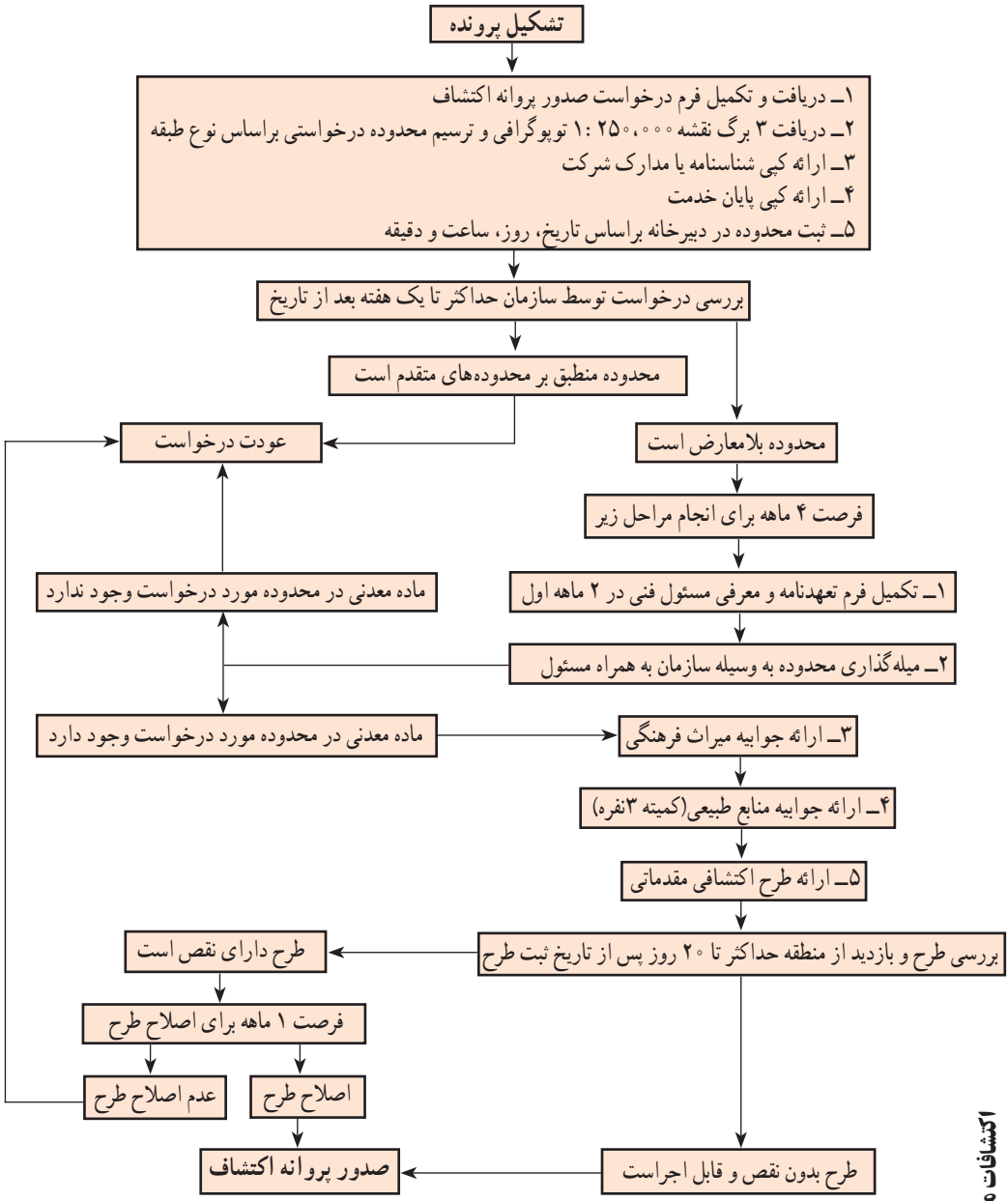
جدول ۸ ــ۲ــ درجه‌بندی طرح‌های اکتشافی به منظور تعیین امتیاز سابقه کار در فعالیت‌های اکتشافی، تعیین مسئول فنی عملیات اکتشافی و تهیه گزارش پایان عملیات اکتشافی [۱۵].

درجه	نوع ماده معدنی	طبقه ماده معدنی	مساحت محدوده (کیلومترمربع)	مرحله فعالیت
یک	طرح‌های بزرگ دولتی برای همه مواد معدنی	ــ	>۲۵	عمومی و تفصیلی
	زغال‌سنگ	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
	زغالسنگ	دو (بند پ ۵)	≤۲۵	عمومی و تفصیلی
	اکتشاف تکمیلی در معادن درجه ۱	ــ	ــ	تکمیلی
سه	مواد معدنی فلزی	دو (بند پ ۱)	≤۲۵	عمومی و تفصیلی
	مواد معدنی غیرفلزی ــ شیل‌های غیرنفتی ــ قیر ــ آسفالت طبیعی ــ پلمه سنگ‌ها و ماسه‌های آغشته به نفت و امثال آنها	دو (بند ب ردیف‌های 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	پی‌جویی
	مواد معدنی طبقه یک برای کارخانه‌های سیمان و در مقیاس بزرگ برای مصارف خاص	یک	>۲۵	عمومی و تفصیلی
	اکتشاف تکمیلی در معادن درجه ۲	ــ	ــ	تکمیلی
چهار	سنگ‌های تزئینی و سایر فعالیت‌های اکتشافی و پی‌جویی غیر از موارد مندرج در درجه‌های ۱و۲و۳	دو (بند ۵)	ــ	عمومی و تفصیلی

تبصره ۱ــ چنانچه فعالیت اکتشاف تفصیلی با صدور پروانه‌ای جدا از پروانه اکتشاف عمومی انجام می‌شود، درجه فعالیت در کلیه موارد یک درجه افزایش می‌یابد.

۸ــ۳ــ۲ــ 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 ۸ــ۳ــ 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 ممهور کردن گزارش طرح، مسئولیت تهیه آن را به عهده گیرد. طبق آیین‌نامه اجرایی قانون نظام مهندسی معدن، علاوه بر تهیه کننده 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 ومهر شود. مجموع گزارش نیزباید توسط مسئول طرح‌امضاء ومهر 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.

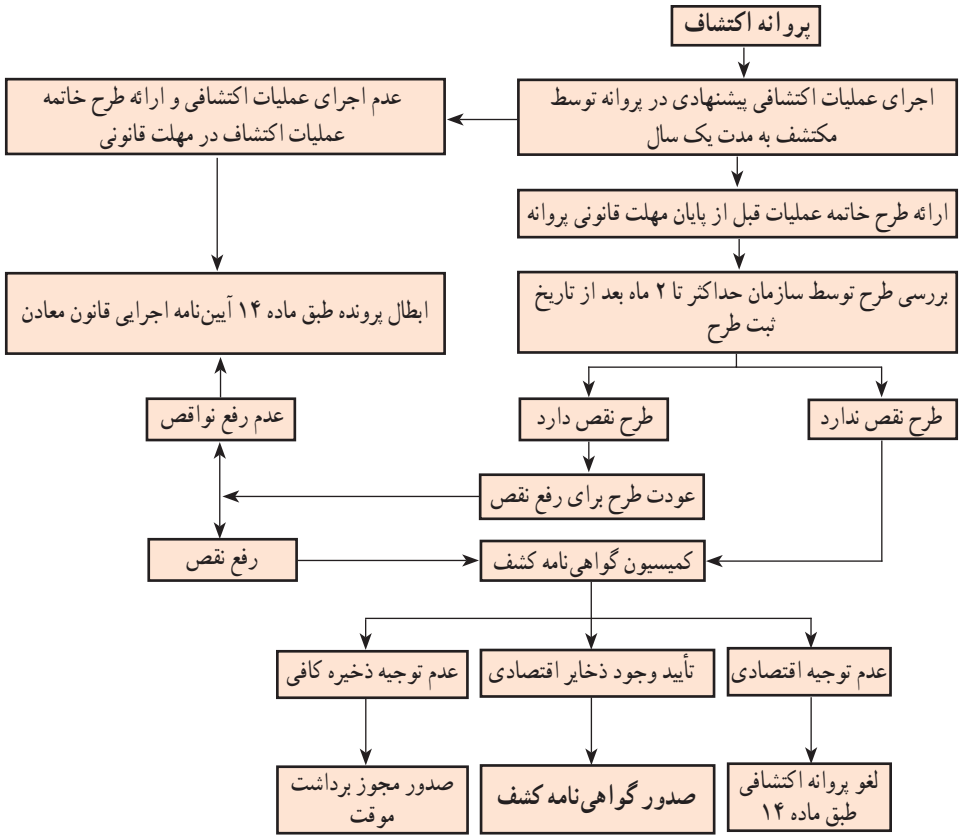
۸ــ۳ــ۳ــ انتخاب و معرفی مسئول فنی عملیات اکتشاف : متقاضی اکتشاف مکلّف است همراه با ارائه سایر مدارک، یک فرد ذیصلاح را نیز به عنوان مسئول فنی عملیات اکتشاف به سازمان صنعت، معدن و تجارت استان معرفی کند.

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.

۸ــ۳ــ۴ــ 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 ۸ــ۴ آمده است.

جدول ۸ــ۴ــ مراحل گردش کار برای دریافت گواهی‌نامه کشف



۸ــ۳ــ۵ــ سایر کارهای اداری: علاوه بر کارهای مربوط به تهیه پروانه اکتشافی، باید از مؤسسات و نهادهای زیر نیز مجوزهای لازم را کسب کرد. به‌طوری که در نمودار گردش کار تهیه پروانه اکتشاف آمده است (جدول ۸ــ۳)، بعضی از مجوزها برای تهیه پروانه اکتشاف نیز ضروری است. این مؤسسات عبارتند از:

الف) سازمان میراث فرهنگی.

ب) اداره منابع طبیعی محل.

ج) سازمان حفاظت محیط زیست.

د) نیروی انتظامی محل.

هـ) فرمانداری محل.

۸ــ۴ــ 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، هرچندهم 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

هـ) سازمان انرژی اتمی

و) سازمان صنعت، معدن و تجارت استان‌ها

۸ــ۵ــ 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 درنظر 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 مقاطعی 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.

۸ـ۶ـ 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 دوردست 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

۱ـ مراحل صدور پروانه اکتشاف را نام ببرید.

۲ـ مراحل تهیه طرح اکتشاف را شرح دهید.

۳ـ تقسیم‌بندی مواد معدنی براساس قانون معادن را شرح دهید.

۴ـ گواهی‌نامه کشف را شرح دهید.

۵ـ نام سه سازمان را که باید برای تهیه نقشه‌ها و گزارش‌ها به آنها مراجعه کرد، نام ببرید.

فصل 9

اکتشافات ماهواره‌ای (دورسنجی)

هدف‌های رفتاری : در پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که :
۱ـ مؤلفه‌های دورسنجی را توضیح دهد.
۲ـ ماهواره‌های ویژه بررسی منابع زمینی را توضیح دهد.
۳ـ چگونگی ارسال اطلاعات از ماهواره به ایستگاه‌های زمین را شرح دهد.
۴ـ کاربرد داده‌های ماهواره در اکتشاف منابع معدنی را توضیح دهد.

۹ــ۱ــ آشنایی

از نظر کلی دورسنجی[۱]* نوعی فنّاوری 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.

---

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

۱ــ remote sensing

در برخورد امواج الکترومغناطیسی با هر پدیده، سه فرآیند انعکاس، جذب و عبور انجام می‌گیرد که میزان هریک، به طول موج انرژی تابیده و نیز خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن پدیده بستگی دارد. میزان انعکاس انرژی از هر پدیدهٔ واقع بر سطح زمین، تابعی از طول موج، خواص ملکولی و درون سلولی پدیده و سایر خصوصیّات 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] :

ــ 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.

ــ قدرت دید چشم انسان ۳ تا ۰/۷ میکرون است در حالی‌که فنّاوری دورسنجی ۱ تا ۱۶ میکرون قدرت دید دارد.

ــ انسان یک جفت چشم دارد امّا 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

هـ) ارائه نتیجه به صورت نقشه یا داده‌های رقومی

فنّاوری 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 فنّاوری دورسنجی است. تکنیک‌های دورسنجی به‌طور گسترده‌ای در جمع‌آوری اطلاعات و اندازه‌گیری‌ها به‌کار 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 متغیّر 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 صعب العبور 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 جوّی و موقعیّت مناطق پرفشار و کم فشار را مشخص می‌سازند و براساس آن، وضعیت آب وهوا 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 منظّم 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 میسّر نیست.

به طور کلی یک سیستم دورسنجی مرکب از ۴ مؤلفه به شرح زیر است (شکل ۹ــ۱) :

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)

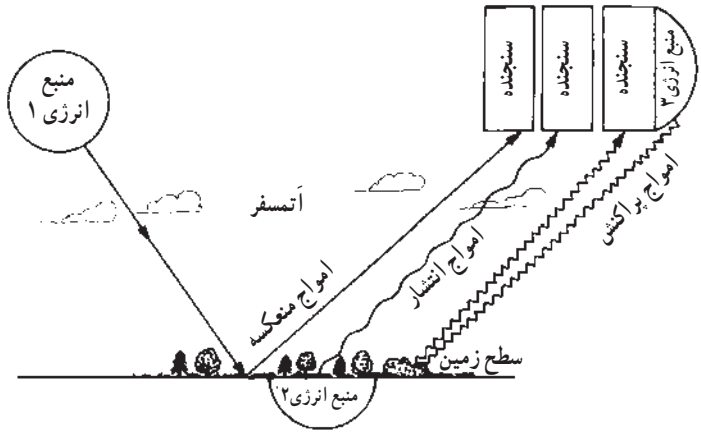
ب) رفتار متقابل سطح زمین[1] : مقدار و ویژگی‌های تشعشعی که از زمین خارج و یا در سطح آن منعکس می‌شود، به مشخصات اجسامی که در سطح زمین قرار دارند، وابسته است.

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

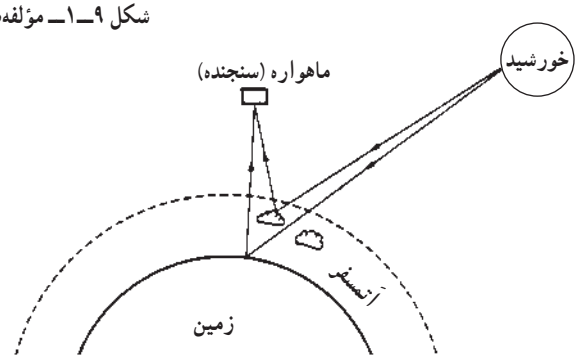
د) سنجنده[2] : تشعشعات الکترومغناطیسی که تحت تأثیر رفتار متقابل سطح زمین و آتمسفر قرار گرفته‌اند، به وسیله سنجنده‌ها ثبت می‌شوند. سنجنده ممکن است یک رادیومتر و یا یک دوربین عکاسی باشد. از آنجا که نتیجه ثبت شده به وسیله سنجنده‌ها تابع خواص مواد موجود در سطح زمین است لذا با تعبیر و تفسیر نتایج می‌توان دریافت که چه نوع موادی باعث بروز این واکنش‌ها شده‌اند.

نحوه عملکرد یک سیستم دورسنجی به طور ساده در شکل ۹ــ۲ نشان داده شده است.

۱ــ earth surface interaction ۲ــ sensor



شکل ۹ــ۱ــ مؤلفه‌های مختلف سیستم دورسنجی [۸۲]

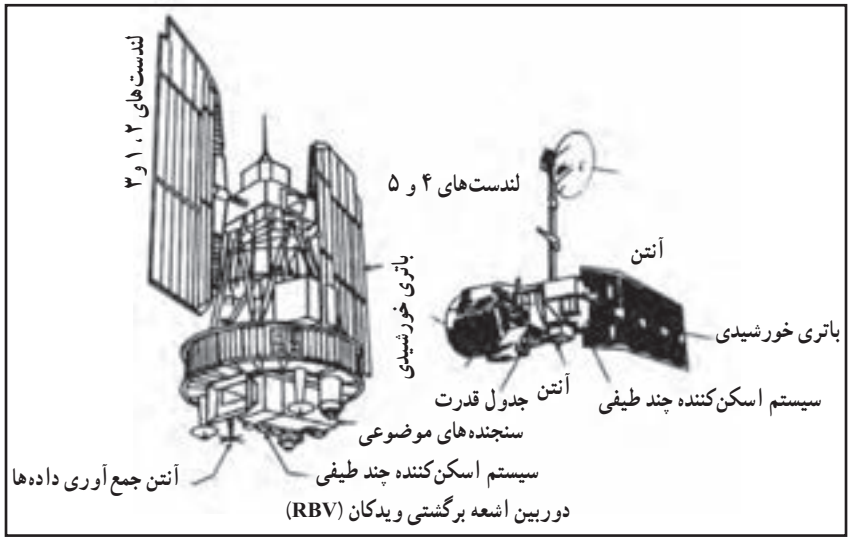


شکل ۹ــ۲ــ نمودار ساده یک سیستم دورسنجی [۱۶].

۹ــ۲ــ ماهواره‌های ویژه بررسی منابع زمین

ماهواره‌های ایالات متحده امریکا تحت عنوان لندست شناخته می‌شوند و تاکنون ۷ ماهواره از این گروه به فضا پرتاب شده است که هریک 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 ۹ــ۳).

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 ۹ــ۳ــ لندست نسل اول [۱۸].

۹ــ۳ــ 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 رقومی 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 علایم رادیویی به زمین مخابره شده و به‌وسیله ایستگاه‌های زمینی مستقر در نقاط مختلف زمین، ضبط می‌شود.

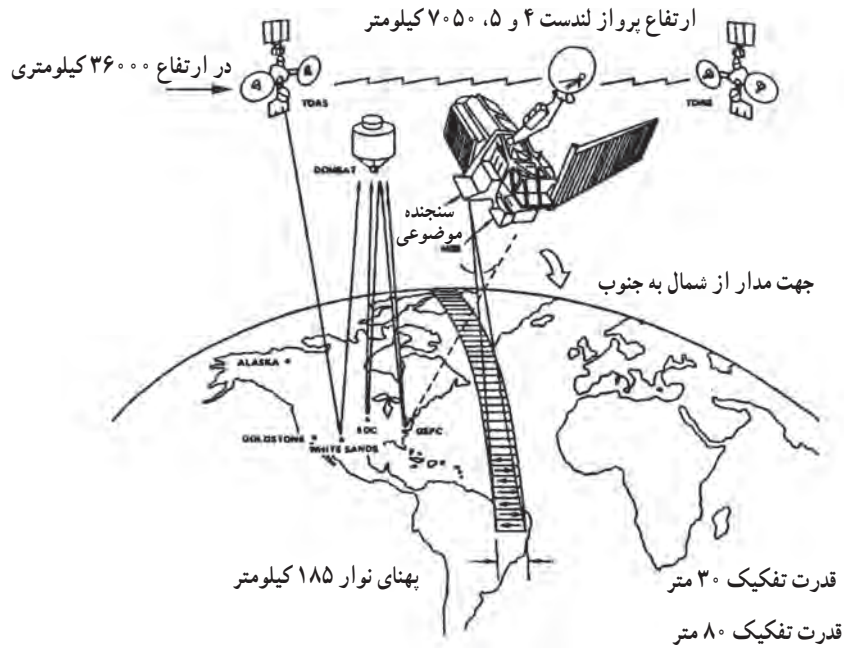
۹ــ۴ــ نحوه ارسال اطلاعات از ماهواره به ایستگاه‌های زمینی

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 و۳، 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 رقومی در سیستم ضبط ماهواره ثبت می‌شد. ظرفیت دستگاه ضبط برای اطلاعات حدود ۲۴ دقیقه بود و هنگامی

۱ــ 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 ۹ــ۴).



شکل ۹ــ۴ــ نحوه ارسال اطلاعات ماهواره‌های لندست نسل۲ [۸۸].

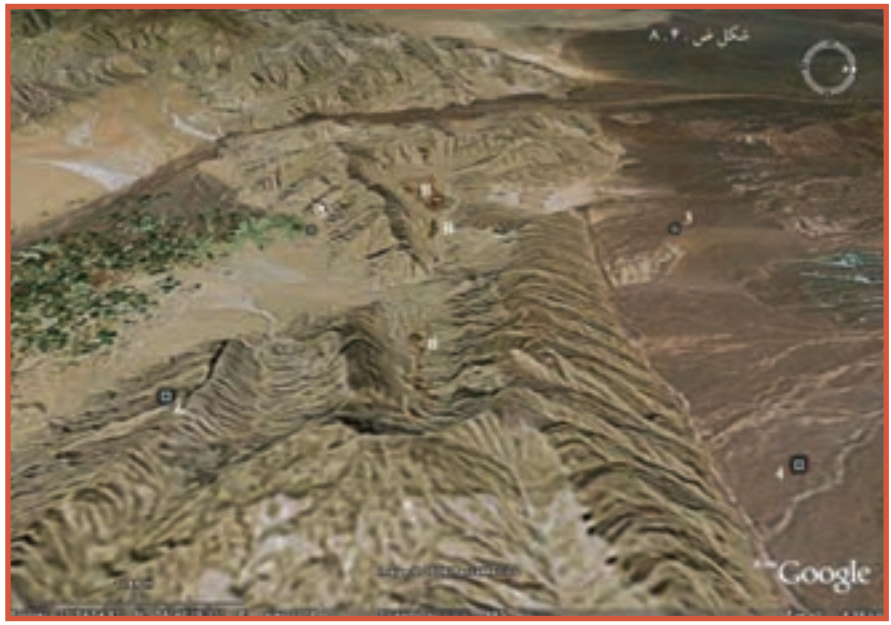
۹ــ۵ــ کاربرد داده‌های ماهواره‌ای در مطالعات اکتشافی

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.

۱ــ Tracking and Data Relay Satellite System (TDRSS)

۹ــ۵ــ۱ــ 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. شکل۹ــ۵ تصویر ماهواره‌ای ناحیه‌ای در جنوب غرب ایران را که به‌وسیله 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 ۹ــ۵ــ تصویر ماهواره‌ای سنجنده MSS لندست از جنوب غرب ایران

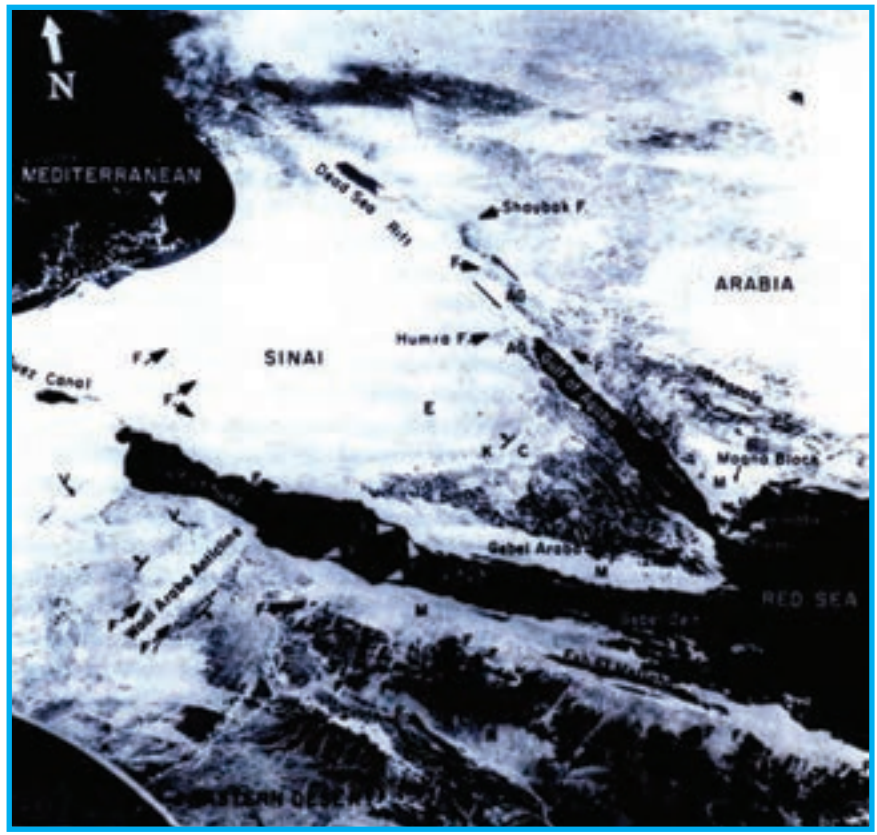
۹ــ۵ــ۲ــ سنگ‌شناسی: در اکثر تصاویر ماهواره‌های لندست، انواع مختلف سنگ‌های رسوبی، آذرین و دگرگونی را می‌توان شناسایی کرد. البته تشخیص نوع سنگ‌ها (به‌ویژه سنگ‌های رسوبی مثل

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.

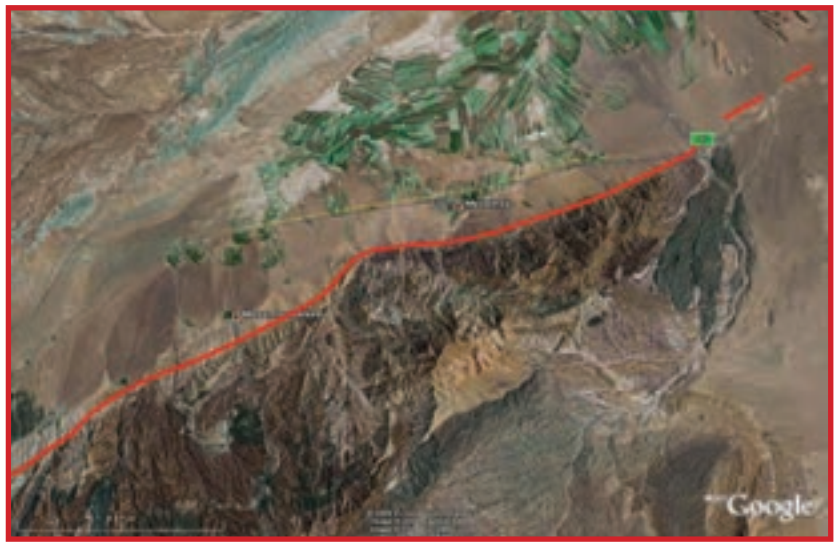
سنگ‌هایی را که دگرسان شده‌اند، در تصاویر ماهواره‌ای می‌توان به خوبی تشخیص داد.

۹ــ۵ــ۳ــ 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 ۹ــ۶)، 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 ۹ــ۶ــ تصویر ماهواره‌ای از ناحیه خلیج سوئز، دریای سرخ و خلیج عقبه [۲۰].

به‌عنوان مثالی دیگر در این مورد، می‌توان از تصویر ماهواره لندست از محدوده شهر لس‌آنجلس ایالات متحده آمریکا نام برد (شکل ۹ــ۷). با بررسی این تصویر، مجموعه‌ای از گسل‌های فعال به‌خوبی قابل مشاهده است.



شکل ۹ــ۷ــ تصویر ماهواره لندست از محدوده شهرستان میامی که گسل میامی در آن مشخص است.

۹ــ۵ــ۴ــ اکتشاف به کمک گیاهان (ژئوبوتانی[1]) : در بعضی موارد، انواع ویژه‌ای از گیاهان در مناطقی سبز می‌شوند که خاک آنها حاوی کانی‌ها و یا عناصر مشخصی باشد و گاه نیز، وجود کانی‌ها و عناصر خاص، تأثیر وارونه‌ای در رویش گیاهان دارد، یعنی باعث رشد ضعیف گیاه نسبت به سایر مناطق می‌شوند. آگاهی از ارتباط متقابل گیاهان و نوع عناصر و یا کانی‌ها، موضوع یک روش اکتشاف ژئوشیمیایی موسوم به ژئوبوتانی است که در فصل اکتشافات ژئوشیمیایی به آن خواهیم پرداخت. اگر چنین رابطه‌ای وجود داشته باشد، آنگاه با تعیین نوع گیاهان منطقه، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، به ویژه در مناطق صعب العبور جنگلی، می‌توان ناحیه را اکتشاف کرد.

۱ــ geobotany

خودآزمایی

۱ـ مؤلفه‌های یک سیستم دورسنجی را شرح دهید.

۲ـ وظیفه سنجنده‌ها چیست؟

۳ـ تفاوت لندست‌های نسل اول و دوم چیست؟

۴ـ سنجنده‌ها چه وظیفه‌ای دارند؟

۵ـ اطلاعات چگونه از ماهواره به ایستگاه‌های زمین می‌رسد؟

۶ـ کاربرد داده‌های ماهواره‌ای در زمین‌شناسی فیزیکی را شرح دهید.

۷ـ موارد استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در سنگ‌شناسی چیست؟

فصل ۱۰

اکتشافات هوابردی

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که:
۱ـ عکس‌های هوایی و انواع آنها را نام ببرد.
۲ـ موارد کاربرد عکس‌های هوایی مختلف را توضیح دهد.
۳ـ نحوه مطالعه عکس‌های هوایی را بیان کند.
۴ـ اکتشافات ژئوفیزیکی هوابردی را تعریف کند.

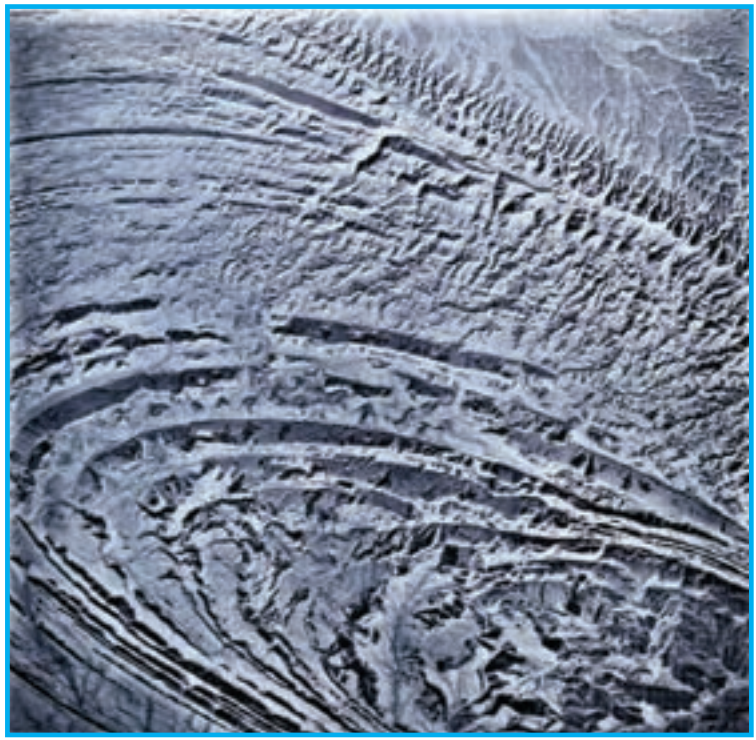
۱۰ــ۱ــ آشنایی

مقصود از اکتشافات هوابردی[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.

۱۰ــ۲ــ 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 ۱۰ــ۱).

۱ــ airborne



شکل ۱۰ــ۱ــ 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 پانکروماتیک[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.

۱ــ 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 ۲۰,۰۰۰ رنگ و سایه را در اشیاء رنگی مشاهده کند در صورتی که این امر در مورد اشیاء خاکستری به حدود ۲۰۰ مورد کاهش می‌یابد. بنابراین واضح است که عکس‌های هوایی رنگی، اطلاعاتی به مراتب بیشتر از عکس‌های هوایی سیاه و سفید، به دست می‌دهند.

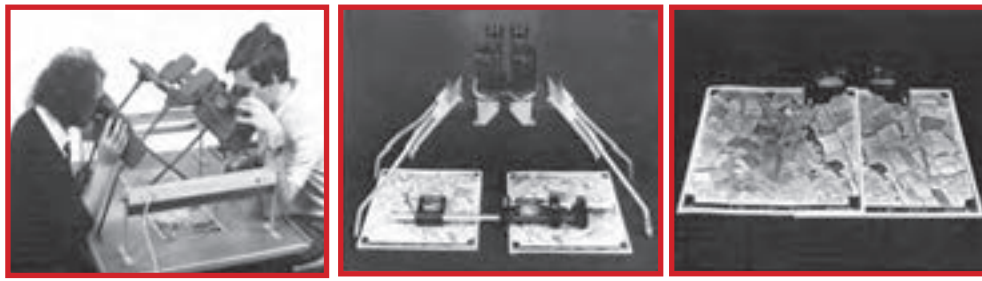
اگرچه هزینه عکسبرداری هوایی رنگی و متعاقب آن ظهور و ثبوت این عکس‌ها در مقایسه با انواع سیاه و سفید زیاد است، با این وجود، این عکس‌ها آنچنان کاربرد گسترده‌ای در کشاورزی، جنگل شناسی، زیست بوم‌شناسی، آب‌شناسی، زمین ریخت‌شناسی و زمین‌شناسی دارند که تهیه آنها کاملاً از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر است. این عکس‌ها،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

۱۰ــ۳ــ مطالعه عکس‌های هوایی

با استفاده از استریوسکوپ[۱] و یک زوج عکس که ۶۰ درصد همپوشانی دارند، می‌توان منطقه‌ای را که از آن عکس گرفته شده است به صورت سه بعدی و برجسته مشاهده کرد. ساده‌ترین استریوسکوپ، نوع صحرایی آن است (شکل ۱۰ــ۲ــ الف) برای مطالعات دفتری از استریوسکوپ آینه‌دار (شکل ۱۰ــ۲ــ ب) و برای بررسی دقیق‌تر و گرفتن عکس، از استریوسکوپ دوربین‌دار (شکل ۱۰ــ۲ــ ج) استفاده می‌کنند. در شکل ۱۰ــ۲ــ 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 ۱۰ــ۳ که مربوط به منطقه‌ای در مکزیک است، اطلاعاتی در مورد سن گدازه‌های خروجی به دست نمی‌دهد، امّا با مطالعه استریوسکوپی، رابطه سنی گدازه‌ها و ارتفاعات به خوبی مشخص می‌شود.

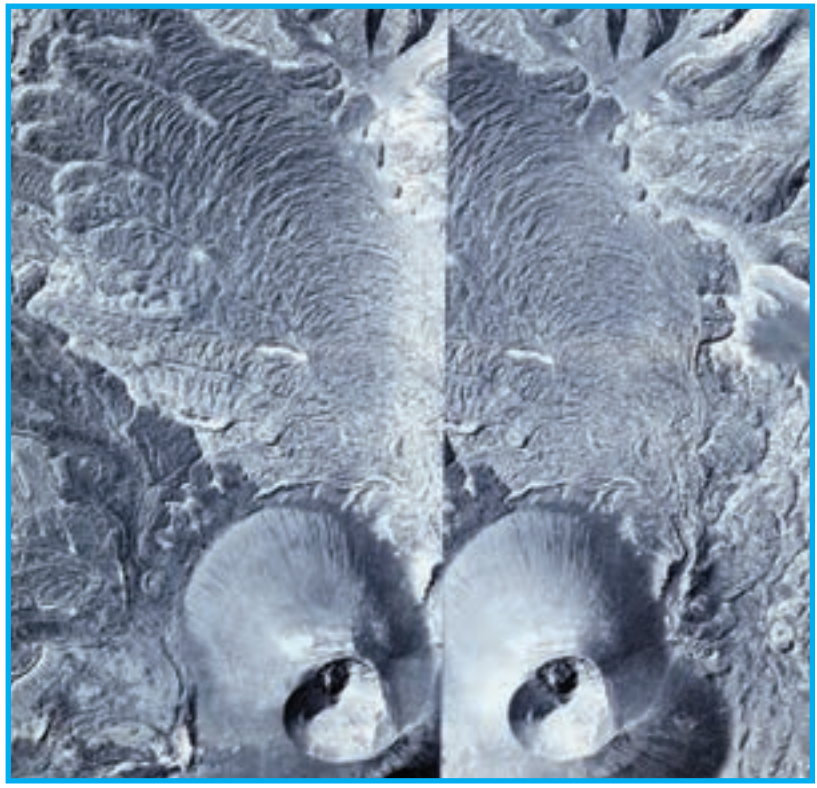
۱ــ stereoscope



(الف) (ب) (ج)

(د)

شکل ۱۰ــ۲ــ انواع استریوسکوپ برای بررسی عکس‌های هوایی [۱۸].



شکل ۱۰ــ۳ــ زوج عکس‌های استریوسکوپی منطقه‌ای در مکزیک [۱۸].

۱۰ـ۴ـ اکتشافات ژئوفیزیکی هوابردی[1]*

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 کاربرد. 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 قلل 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

۱ـ اکتشافات هوابردی را شرح دهید.

۲ـ انواع عکس‌های هوایی را شرح دهید.

۳ـ عکس‌های هوایی را چگونه مطالعه می‌کنند؟

۱ـ airborne geophysics

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

فصل ۱۱

اکتشافات زمین‌شناسی

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

۱ـ نحوه برداشت مقاطع زمین‌شناسی را بیان کند.

۲ـ تعیین شیب و امتداد طبقات را توضیح دهد.

۳ـ نحوه برداشت طبقات را شرح دهد.

۴ـ مبانی تهیه نقشهٔ زمین‌شناسی را بیان کند.

۵ـ جستجو و تعقیب رودخانه‌ها و خاک‌شویی را توضیح دهد.

۶ـ نحوه نمایش نتایج را بیان کند.

۱۱ــ۱ــ آشنایی

پس از آنکه با استفاده از معیارهای اکتشاف و نیز استفاده از نتایج اکتشافات ماهواره‌ای و هوابردی 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، امّا 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.

۱۱ــ۲ــ بازدید و 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.

۱۱ــ۲ــ۱ــ 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 ۵۰۰ و یا حتی ۲۵۰ متر برسد. در حالت کلی می‌توان فاصله مقاطع را ۱ تا ۱/۵ 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، درنظر گرفت و آنگاه آنها را برداشت کرد.

۱۱ــ۲ــ۲ــ 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 آن‌را با امتداد شمال مغناطیسی محل اندازه می‌گیرند و آن‌را زاویه امتداد، یا به طور ساده، امتداد لایه[1] می‌نامند. بدین ترتیب، لایه‌هایی که امتداد شرقی غربی داشته باشند زاویه امتدادشان ۹۰ درجه است و آنهایی که امتداد شمالی جنوبی دارند، زاویه صفردرجه 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، آن‌را به‌صورت زیر نشان می‌دهند :

$$N۳۰E \qquad (۱_۱۱)$$

زاویه خط بزرگ‌ترین شیب هر لایه با صفحه افقی را شیب[2] آن صفحه می‌گویند. برای مشخص کردن صفحه، علاوه بر زاویه شیب، جهت شیب آن‌را نیز باید تعیین کرد. مثلاً اگر لایه‌ای در جهت شمال غرب، ۴۰ درجه شیب داشته باشد، زاویه شیب آن‌را به‌صورت زیر نشان می‌دهند :

$$< ۴۰NW \qquad (۲_۱۱)$$

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

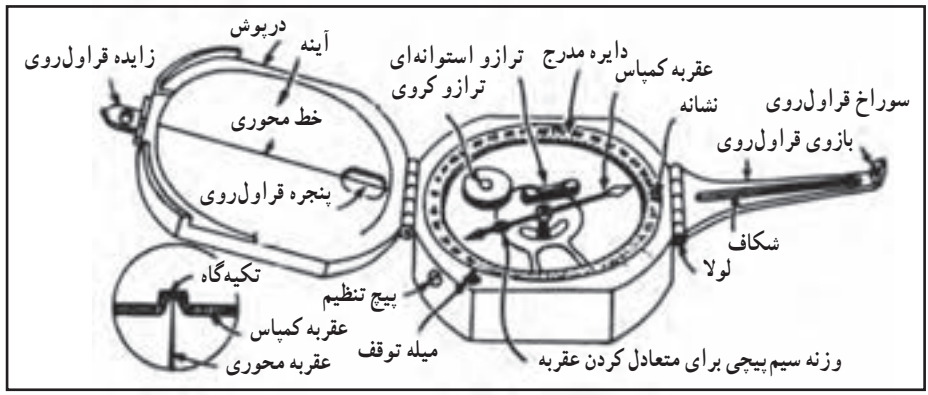
$$N۳۰E < ۴۰NW \qquad (۳_۱۱)$$

برای اندازه‌گیری شیب و امتداد طبقات، از قطب‌نما یا کمپاس استفاده می‌کنند که قسمت‌های مختلف آن در شکل ۱۱ــ۱ نشان داده شده است.

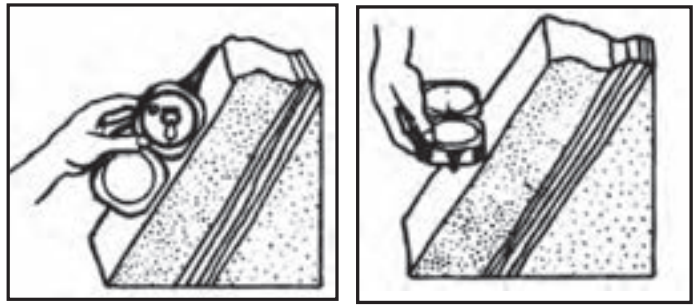
برای اندازه‌گیری امتداد لایه، کمپاس را مطابق شکل ۱۱ــ۲ــ الف در سطح لایه قرار می‌دهند و آنقدر آن‌را بالا و پائین می‌برند تا تراز دستگاه، حالت افقی را نشان دهد و در این حالت، زاویه‌ای را که عقربه شمال کمپاس در روی صفحه مدرج آن نشان می‌دهد، قرائت می‌کنند. این زاویه، امتداد لایه را به دست می‌دهد.

نحوه اندازه‌گیری شیب لایه به وسیله کمپاس، در شکل ۱۱ــ۲ــ ب نشان داده شده است. مطابق شکل، لبه کمپاس را در امتداد خط بزرگترین شیب صفحه قرار می‌دهند و شیب سنج دستگاه را آن‌قدر می‌چرخانند تا تراز استوانه‌ای آن، حالت افقی را نشان دهد. عددی که به وسیله ورنیه شیب‌سنج قرائت می‌شود، شیب لایه را به دست می‌دهد.

۱ــ strike ۲ــ dip



شکل ۱۱ــ۱ــ کمپاس برای اندازه‌گیری شیب و امتداد طبقات [۲۲]



الف ــ اندازه‌گیری امتداد طبقه **ب ــ اندازه‌گیری شیب طبقه**

شکل ۱۱ــ۲ــ اندازه‌گیری شیب و امتداد لایه‌ها به وسیله کمپاس [۲۲].

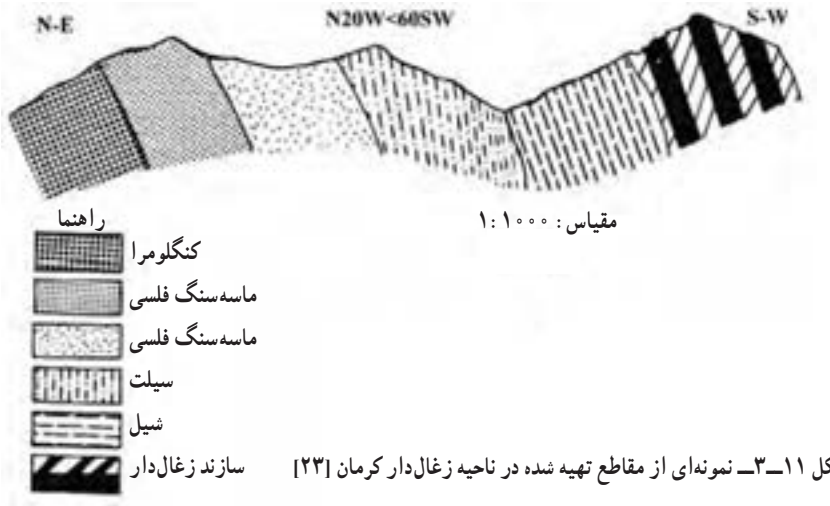
۱۱ــ۲ــ۳ــ برداشت طبقات : مشخصات ظاهری طبقات از قبیل جنس، اندازه دانه‌ها، فرم دانه‌بندی، شکل دانه‌ها، رنگ در مقطع هوا خورده و در شکست تازه، وجود فسیل و آثار گیاهی و بالاخره تمام آنچه را که به وسیله چشم و ذره‌بین می‌توان تشخیص داد، مطالعه و یادداشت می‌شود. همچنین پدیده‌هایی از قبیل، گسل، درزه، چین‌خوردگی و نظایر آنها نیز در صورت وجود ثبت می‌شود.

برای درج اطلاعات یاد شده می‌توان از دفاتر جدول‌بندی شده، مطابق آنچه در جدول ۱۲ــ۱ نشان داده شده است استفاده کرد.

جدول ۱۱ــ۱ــ فرم یادداشت مشخصات طبقات در سرزمین [۲۳].

ردیف	فاصله روی متر		ضخامت ظاهری متر	شیب و امتداد طبقات	شیب سطح زمین	ضخامت واقعی	مشخصات
	از	تا					
۱	۰	۳/۲۵	۳/۲۵	N۵۰W<۴۰NE	۱۵NE		ماسه‌سنگ دارای کوارتز و میکا،دانه‌ریز، اندازه دانه‌ها مساوی، دارای شکستگی‌های زیاد، رنگ در مقطع هواخورده خاکستری
۲	۳/۲۵	۴	۰/۷۵	N۵۱W<۴۲NE	۱۵NE		شیل دارای شکستگی‌های زیاد، رنگ در مقطع هواخورده خاکستری روشن، در مقطع تازه تیره، دارای لایه‌بندی نازک، حاوی کنکرسیون‌های به قطر تا ۵ سانتی‌متر و به شکل بیضوی

۱۱ــ۲ــ۴ــ 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 ۱۱ــ۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۱ــ۳ــ نمونه‌ای از مقاطع تهیه شده در ناحیه زغال‌دار کرمان [۲۳]

۱۱ــ۲ــ۵ــ تفکیک و نامگذاری سازندها[1]* 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 بخش[2]های مجزا تفکیک و نامگذاری کرد. البته سازند[3]های مختلف در سطح کشور تقسیم‌بندی و نامگذاری شده است. به عنوان مثال سازند شمشک که زغال‌سنگ‌های ایران عمدتاً در آن متمرکزاند، درسطح کشور به خوبی مشخص شده است، امّا 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. به‌عنوان مثال در مراحل شناسایی و پی‌جوئی 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.

۱۱ــ۳ــ 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 فسیل شناسی مشترکی داشته باشند، به نام سازند می‌نامند.

۲ــ suite ۳ــ formation

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، آن‌را 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 به‌عنوان 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.

۱۱ــ۴ــ 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.

۱۱ــ۴ــ۱ــ 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 پی‌سنگ‌ها[۳]، کانی‌های مختلف از جمله سولفیدهای ناپایدار را می‌توان در محصولات خاک‌شویی شده وتغلیظ 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.

۱ــ river float tracing ۲ــ panning ۳ــ bed rock

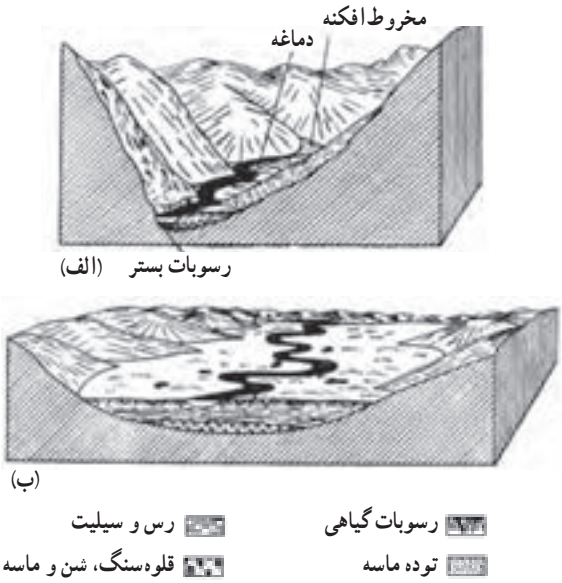
۱۱ــ۴ــ۲ــ موارد کاربرد : جستجوی رودخانه‌ها را در مراحل مختلف اکتشاف از مرحله شناسایی و در مقیاس‌های کوچک تا مرحله اکتشاف تفضیلی می‌توان به کار برد ولی طبیعی است که مسایل مطروحه در هر مرحله متفاوت است [۲۴].

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].

۱۱ــ۴ــ۳ــ نمونه‌برداری : به هنگام کار در مقیاس دقیق، نه تنها از تمام جویبارها و رودخانه‌های ناحیه نمونه‌برداری می‌شود، بلکه تمام گودال‌ها، قنوات 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.

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 ۱۱ــ۴ــ الف) در صورتی که در مرحله بلوغ[۱] وضعیت نسبتاً ثابتی پیدا می‌کند (شکل ۱۱ــ۴ــ ب).



شکل ۱۱ــ۴ــ مراحل اولیه و بلوغ بستر رودخانه [۲۴].

۱ــ maturity

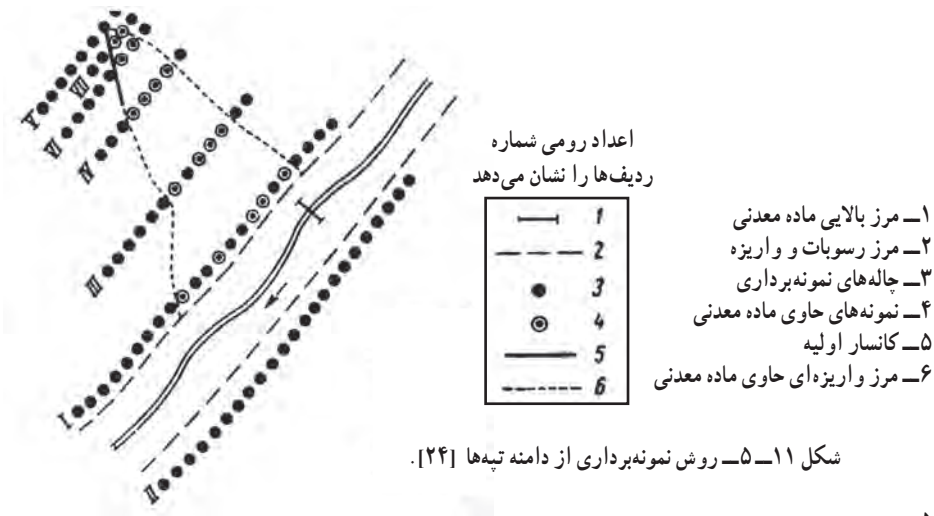
مهم‌ترین عامل در مورد نمونه‌برداری از رودخانه‌های نوع اول، فصل نمونه‌گیری و میزان و طبیعت بارش است. مثلاً فصل سیلابی از این نقطه‌نظر بی‌فایده است و نمونه‌گیری را در مواقعی باید انجام داد که پس از کاهش سریع آب رودخانه، آب آن افزایش یافته باشد زیرا در این حالت رسوبات بستر رودخانه غنی از کانی‌های سنگین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

در مورد رودخانه‌های نوع دوم، از کف گودال‌ها وجوی‌های 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 درمورد 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.

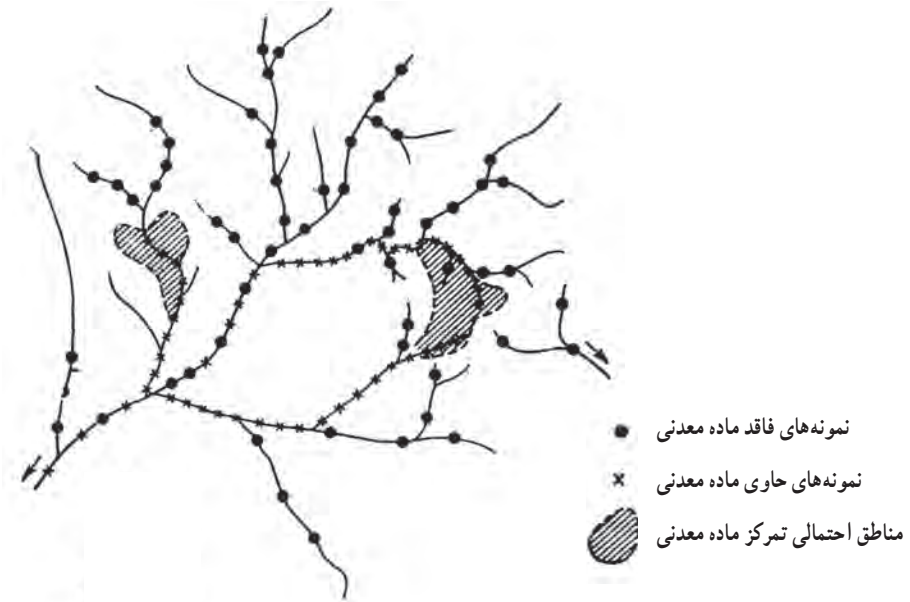
هنگامی که اکتشاف در مقیاس دقیق انجام می‌گیرد، باید واریزه‌های دامنه تپه‌ها را نیز مورد مطالعه و بررسی دقیق قرار داد و به ویژه قسمت‌هایی را که امید تمرکز مواد معدنی می‌رود، دقیق‌تر مطالعه کرد.

به هنگام نمونه‌برداری از دامنه تپه‌ها، باید به فواصل ۵۰ تا ۲۰۰ متر درطول 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 (شکل۱۱ــ۵). بدین ترتیب، با مطالعه و بررسی نمونه‌ها، می‌توان محدوده کانسار را مشخص ساخت. عمق چاله‌های نمونه‌برداری‌حدود۶۰ تا۸۰ سانتیمتر است [۲۴].



شکل ۱۱ــ۵ــ روش نمونه‌برداری از دامنه تپه‌ها [۲۴].

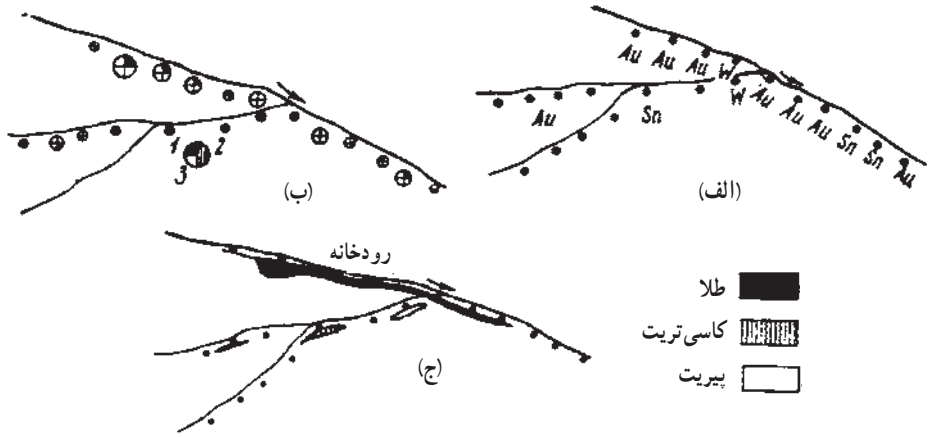
۱۱ــ۴ــ۴ــ نحوه نمایش و تعبیر و تفسیر داده‌ها : پس از بررسی نمونه‌ها و تعیین نوع و میزان کانی یا عناصر آنها، باید داده‌ها را بر روی نقشه پیاده کرد و با تحلیل آنها، موقعیت کانسار را مشخص ساخت. در این مورد به عنوان نقشه مبنا، می‌توان از نقشه‌های توپوگرافی و در صورت امکان، نقشه‌های زمین‌شناسی محل استفاده 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 ۱۱ــ۶ نمونه‌های فاقد و حاوی ماده معدنی به ترتیب با شماره‌های ۱ و۲ نشان داده شده و به کمک آنها، مناطقی که احتمال وجود ماده معدنی در آنجا می‌رود، با علامت هاشور مشخص شده است.



شکل ۱۱ــ۶ــ نحوه نمایش داده‌ها در روی نقشه [۲۴]

ممکن است مستقیماً ماده معدنی یا عناصر مورد نظر در روی نقشه نوشته شود(شکل۱۱ــ۷ــ الف). روش دیگر، استفاده از دایره‌های کوچکی است که قطر آنها متناسب با میزان ماده معدنی موجود در نمونه است (شکل ۱۱ــ۷ــ 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 عرض‌متفاوت (بسته به‌مقدار آنها) است که درمحل‌های‌نمونه‌برداری‌رسم‌می‌شود (شکل۱۱ــ۷ــ ج).



شکل ۱۱ــ۷ــ روش‌های مختلف نمایش داده‌ها در روی نقشه [۶]

در پی‌جویی 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 می‌غلتند. 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 کاسی‌تریت، خرد می‌شوند و شکل بلورین خود را از دست می‌دهند. همچنین قطعات کاسی‌تریت 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

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

فصل ۱۲

اکتشافات ژئوفیزیکی

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

۱ـ روش‌های مختلف ژئوفیزیکی را توضیح دهد.

۲ـ روش گرانی‌سنجی و کاربرد آن را شرح دهد.

۳ـ روش مغناطیس‌سنجی و کاربرد آن را شرح دهد.

۴ـ روش‌های الکتریکی شامل روش‌های پتانسیل خودزاد، مقاومت مخصوص و پلاریزاسیون القایی را بیان کند.

۱۲ــ۱ــ 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.

۱ــ 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 :

۱۲ــ۱ــ۱ــ روش لرزه‌ای انکساری[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 انکسار و انعکاس، مجدداً به سطح زمین برمی‌گردند و به‌وسیله 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 به‌دست آورد.

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

۱۲ــ۱ــ۲ــ روش لرزه‌ای انعکاسی[۲] : در این روش نیز، همانند روش انکساری، 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.

۱۲ــ۱ــ۳ــ 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

۱ــ seismic refraction method ۲ــ seismic reflection method ۳ــ 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 زیرزمین موجود باشد، شتاب جاذبه، زیادتر از حد عادی خواهد بود.

۱۲ــ۱ــ۴ــ 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.

۱۲ــ۱ــ۵ــ 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.

۱۲ــ۱ــ۶ــ 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.

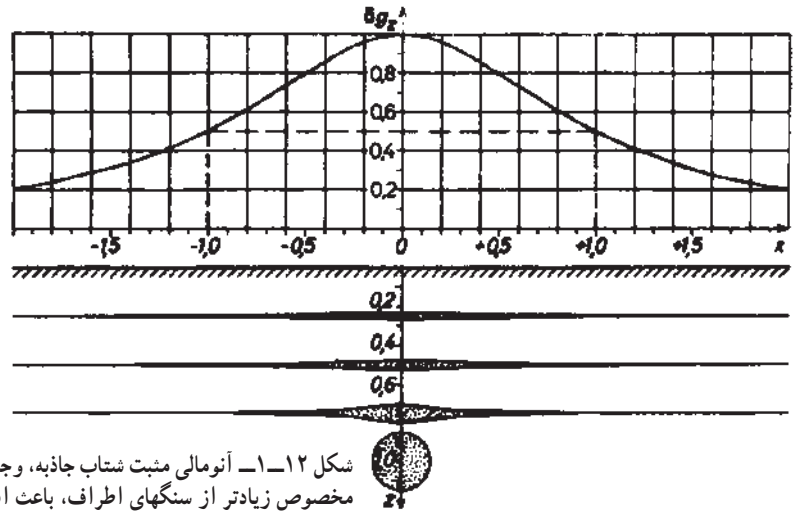
۱۲ــ۱ــ۷ــ روش‌های چاه‌پیمایی[۴] : در بسیاری موارد، برای اکتشاف منابع معدنی مختلف، گمانه‌هایی حفر می‌شود. اگرچه غالباً از این گمانه‌ها نمونه‌گیری می‌کنند و بنابراین با مطالعه آنها می‌توان خصوصیات سنگ‌های زمین را در ناحیه‌ای که گمانه حفر شده است شناسایی کرد، امّا به کمک روش‌هایی که به نام چاه‌پیمایی معروف است، می‌توان اطلاعات زیادتری از این گمانه‌ها به دست آورد. از آنجا که از بین روش‌های مختلف، روش‌های گرانی‌سنجی، مغناطیس‌سنجی و الکتریکی در اکتشاف موادمعدنی کاربرد بیشتری دارند لذا به شرح این روش‌ها اکتفا می‌شود.

۱ــ magnetic method ۲ــ electrical method ۳ــ radioactivity method ۴ــ well logging

۱۲ــ۲ــ روش گرانی‌سنجی

۱۲ــ۲ــ۱ــ مبانی روش : مبنای روش گرانی سنجی[۱]، اختلاف جرم مخصوص مواد معدنی و سنگ‌های اطراف است که سبب می‌شود، شتاب جاذبهٔ 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 ۱۲ــ۱، 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 علّت تغییر عرض جغرافیایی، وجود پستی و بلندی و عوامل دیگر، کمی متغیر است. هرگاه شتاب جاذبه را از بابت‌های



شکل ۱۲ــ۱ــ آنومالی مثبت شتاب جاذبه، وجود یک توده با جرم مخصوص زیادتر از سنگهای اطراف، باعث افزایش شتاب جاذبه در سطح زمین شده است [۲۱].

۱ــ gravity method ۲ــ 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، به‌علّت تفاوت جرم مخصوص مواد موجود در زیر سطح زمین است. در حقیقت، همین تفاوت شتاب است که مبنای روش گرانی سنجی را تشکیل می‌دهد.

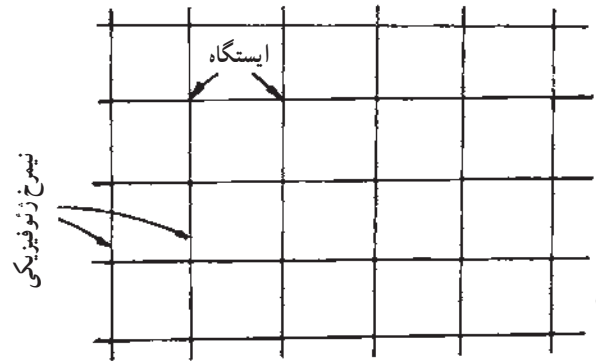
واحد شتاب جاذبه در دستگاه G.G.S برابر یک سانتیمتر بر مجذور ثانیه و به نام گال[1] موسوم است. از آنجا که گال در کاوش‌های گرانی سنجی واحد نسبتاً بزرگی است، لذا در عمل، از میلی گال که $\frac{1}{1000}$ گال است استفاده می‌کنند.

۱۲ــ۲ــ۲ــ 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[2]، متداول‌ترین وسایل اندازه‌گیری شتاب جاذبه‌اند. این دستگاه‌ها انواع متنوعی دارند، که در ادامه به شرح چند نوع از آنها می‌پردازیم.

۱۲ــ۲ــ۳ــ 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 ۱۲ــ۲). هریک 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.



شکل ۱۲ــ۲ــ شبکه ایستگاه‌های گرانی‌سنجی

۱ــ Gal ۲ــ 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 فنر 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 شتاب جاذبه 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.

مطالعه آزاد

۱۲ــ۲ــ۴ــ 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.

۱۲ــ۲ــ۵ــ 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 امّا به علّت 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.

۱۲ــ۳ــ روش مغناطیس‌سنجی

۱۲ــ۳ــ۱ــ 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، امّا به علّت 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.

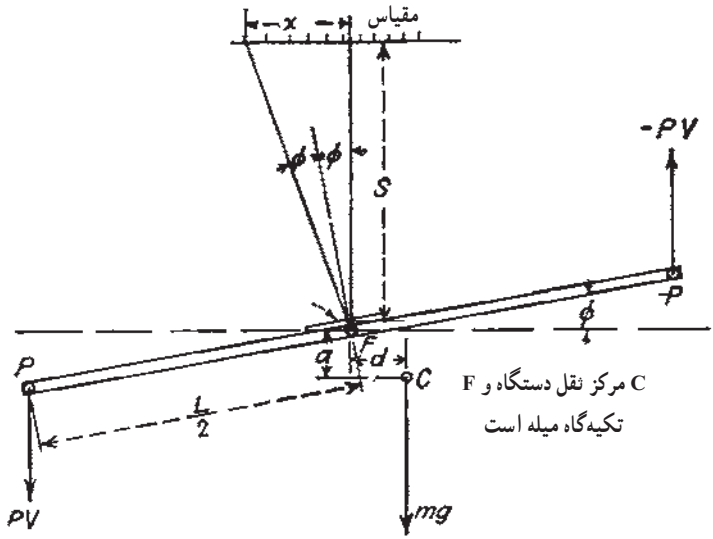
۱۲ــ۳ــ۲ــ مشخصات میدان مغناطیسی زمین: هرگاه یک عقربه مغناطیسی را روی پایه بدون اصطکاکی قرار دهیم، پس از نوسانات متعدد، در امتدادی خواهد ایستاد که آن‌را امتداد شمال ــ جنوب مغناطیسی می‌گویند. این امتداد، عموماً با امتداد شمال ــ جنوب جغرافیایی محل منطبق نیست بلکه با آن زاویه‌ای می‌سازد که آن‌را زاویه 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.

۱۲ــ۳ــ۳ــ 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 ۱۲ــ۳ 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 c مرکز ثقل آن واقع شده است لولا 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 آن‌را می‌توان به وسیله انعکاس یک‌دسته 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 آن‌را برای کاوش‌های مغناطیسی به کار می‌برند.

۱۲ــ۳ــ۴ــ 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

۱ــ magnetic method ۲ــ declination ۳ــ inclination ۴ــ Schmidt balance



شکل ۱۲ــ۳ــ اصول کار ترازوی اشمیت[۲۶].

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 نظرگرفته 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، پی‌برد.

۱۲ــ۴ــ روش‌های الکتریکی

۱۲ــ۴ــ۱ــ 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].

۱۲ــ۴ــ۲ــ 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.

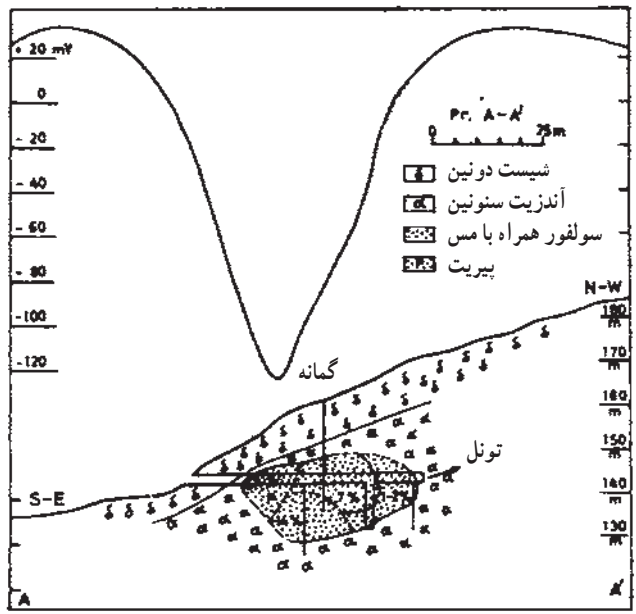
اندازه‌گیری پتانسیل خودزاد در سطح زمین، بسیار ساده است و به کمک یک میلی ولت متر حساس متصل به دو الکترود، انجام می‌گیرد. الکترودها باید غیرقابل قطبی شدن (پلاریزه شدن) باشند زیرا در غیر این صورت، فعالیت الکتروشیمیایی ناشی از تماس آنها با زمین نیز، در اندازه‌گیری دخالت می‌کند و سبب به هم خوردن نتایج اندازه‌گیری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

در عمل، برداشت به دو روش مختلف انجام می‌گیرد. در یک روش الکترودها که به فاصله ثابت حدود ۲۰ متر قرار دارند، در طول نیمرخ مورد کاوش، تواماً جابه‌جا شده و در هر نوبت اختلاف پتانسیل بین آنها اندازه‌گیری می‌شود. در روش دیگر، دو الکترود به دو انتهای یک کابل بلند که به دور قرقره پیچیده شده است و نیز به یک میلی‌ولت متر، متصل‌اند. ضمن کار، یکی از الکترودها در یک نقطه ثابت باقی می‌ماند و الکترود دیگر به همراه قرقره و میلی‌ولت متر، 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، الکترود ثابت به نقطه جدیدی منتقل می‌شود و این عمل ادامه می‌یابد.

در شکل۱۲ــ۴ 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.

۱ــ self_potential (S.P.)

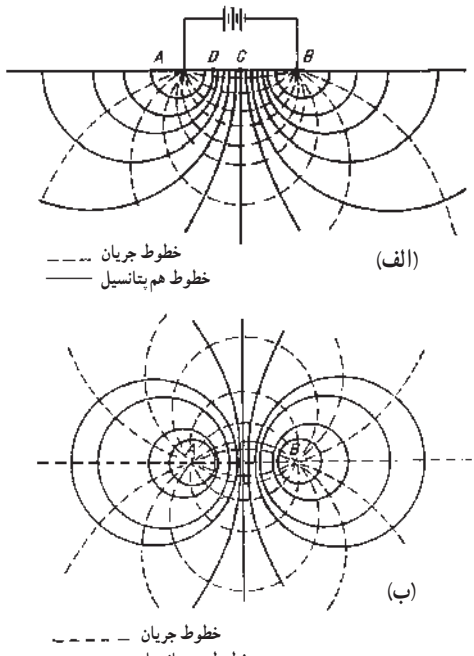


شکل ۱۲ــ۴ــ نتیجه پیمایش SP در بالای یک توده پیریت [۹]

۱۲ــ۴ــ۳ــ 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، برمنحنی‌های هم پتانسیل، که پتانسیل نقاط مختلف آنها یکسان است، عمود‌اند.

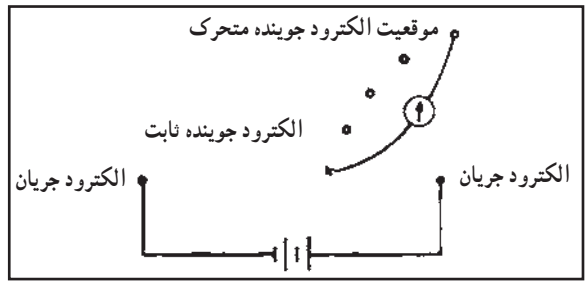
در شکل ۱۲ــ۵، خطوط جریان و منحنی‌های هم پتانسیل عمود بر آنها، در مقاطع قائم و افقی نشان داده شده است.



شکل ۱۲ــ۵ ــ خطوط جریان و منحنی هم پتانسیل در مقطع (الف) و نقشه (ب) [۲۶] .

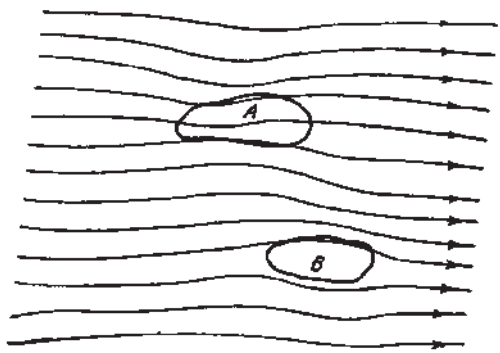
اگر مواد موجود در زیر سطح زمین متجانس باشند، منحنی‌های هم پتانسیل نیز مطابق شکل اشکال منظمی خواهند داشت. در چنین حالتی، اختلاف پتانسیل بین نقطه A و نقطه C که در وسط الکترودهای A و B قرار داد، نصف اختلاف پتانسیل نقاط A و B است.

اگرچه وضعیت منحنی‌های هم پتانسیل در سطح زمین از نظر ظاهری مشخص نیست، ولی به‌سهولت 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 ۶۰۰ متر از یکدیگر قرار می‌دهند و جریان برق را برقرار می‌کنند. طرز عمل بدین‌ترتیب است که یکی از الکترودهای جوینده را (که معمولاً از جنس میله‌های فولادی‌ای است که به وسیله یک لایه مس پوشیده شده است) دریک نقطه ثابت نگه‌می‌دارند و الکترود دیگر را آنقدر تغییر می‌دهند تا جریانی از گالوانمتر متصل به آن دو، عبور نکند. در این حالت، هر دو الکترود روی منحنی هم پتانسیل واحدی قرار دارند (شکل ۱۲ــ۶).



شکل ۱۲ــ۶ ــ طرز عمل در روش منحنی‌های هم پتانسیل [۲۶]

اگر سنگ‌های زیرین در ناحیه مورد اندازه‌گیری، از نقطه نظر هدایت الکتریکی یکسان باشند، درآن صورت منحنی‌های هم پتانسیلی که به دست می‌آید نیز شکل منظمی مطابق شکل۱۲ــ۷ خواهند داشت. امّا اگر در ناحیه، توده‌ای وجود داشته باشد که هدایت الکتریکی آن نسبت به سنگ‌های اطراف بیشتر یا کمتر باشد، اغتشاشاتی در



شکل ۱۲ــ۷ــ تأثیر وجود توده‌های با هدایت بالا و پایین در شکل منحنی‌های هم پتانسیل [۲۶].

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 ۱۲ــ۷). به کمک اغتشاشات موجود در این منحنی‌ها، می‌توان موادی را که آنومالی الکتریکی دارند، مشخص ساخت.

۱۲ــ۴ــ۴ــ 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 به‌کار می‌برند که در اکثر آنها، هر چهار الکترود، در امتداد یک خط مستقیم قرار دارند.

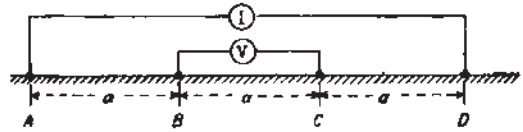
آرایه ونر که در شکل ۱۲ــ ۸ نشان داده شده، یکی از متداول‌ترین آرایه‌های روش مقاومت مخصوص است. به‌طوری که دیده می‌شود، الکترودهای فرستنده، در طرفین الکترودهای گیرنده به‌گونه‌ای قرار دارند، که فاصله الکترودهای متوالی از هم ثابت و برابر a است. در این مورد، مقاومت مخصوص الکتریکی زمین از رابطه زیر به دست می‌آید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

$$\rho_a = 2\pi a \frac{V}{I} \qquad (۱ــ۱۲)$$

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 ترانشه‌زنی[۲] یا نقشه‌برداری الکتریکی خوانده می‌شود، فاصله a ثابت است



شکل ۱۲ــ ۸ ــ آرایه ونر [۲۶].

۱ــ vertical electrical sounding

۲ــ 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

۱ـ کدام روش‌های ژئوفیزیکی از نظر اصول کار، با هم شباهت دارند.

۲ـ درچه موارد یک آنومالی گرانی وجود دارد.

۳ـ چه عاملی باعث ایجاد آنومالی گرانی می‌شود.

۴ـ روش مغناطیس سنجی در چه مواردی به کار می‌آید.

۵ـ ترانشه‌زنی و گمانه‌زنی الکتریکی را شرح دهید.

۶ـ روش پلاریزاسیون القایی در مورد کدام مواد معدنی کاربرد بیشتری دارد.

فصل ۱۳

اکتشافات ژئوشیمیایی

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

۱ـ مبانی روش‌های ژئوشیمیایی را شرح دهد.

۲ـ هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه و ثانویه را شرح دهد.

۳ـ عناصر ردیاب و نشانه را توضیح دهد.

۴ـ مراحل مختلف اکتشافات ژئوشیمیایی را شرح دهد.

۵ـ روش نمونه‌برداری از خاک را بیان کند.

۶ـ روش نمونه‌برداری از رسوبات آبراهه‌ای را بیان کند.

۷ـ روش نمونه‌برداری از آب را توضیح دهد.

۸ـ روش‌های ژئوبوتانی و بیوژئوشیمیایی را توضیح دهد.

۱۳ــ۱ــ آشنایی

روش‌های ژئوشیمیایی[۱] را در مراحل مختلف اکتشاف منابع معدنی می‌توان به‌کار 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.

۱ــ 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، علایم و نشانه‌هایی مورد بررسی قرار می‌گیرد که آنها را می‌توان ناشی از وجود ماده معدنی یا 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[1]» 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[2] خوانده می‌شود، در حد قابل توجهی متفاوت باشد. در این صورت یک آنومالی[3] 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 نقطه‌نظر 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 قابل‌توجهی در نتیجه این بررسی یافت شده است.

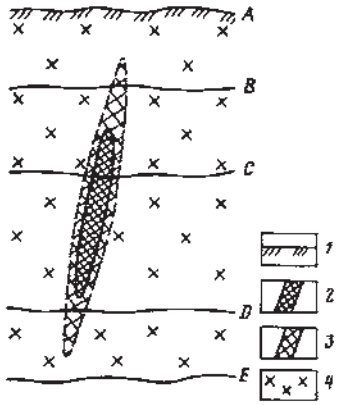
۱۳ــ۲ــ هاله‌های ژئوشیمیایی

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 موردنظر بیش از حد زمینه است، هاله ژئوشیمیایی[4] آن توده می‌گویند. هاله‌ها ممکن است اولیه و یا ثانویه باشند.

۱۳ــ۲ــ۱ــ هاله ژئوشیمیایی اولیه[5] : مقصود از هاله اولیه، محدوده‌ای از سنگ‌های

۱ــ signal
۲ــ back ــ ground
۳ــ geochemical anomaly
۴ــ geochemical halo
۵ــ 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 ۱۳ــ۱). 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 علّت 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 ۱۳ــ۱ــ 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].

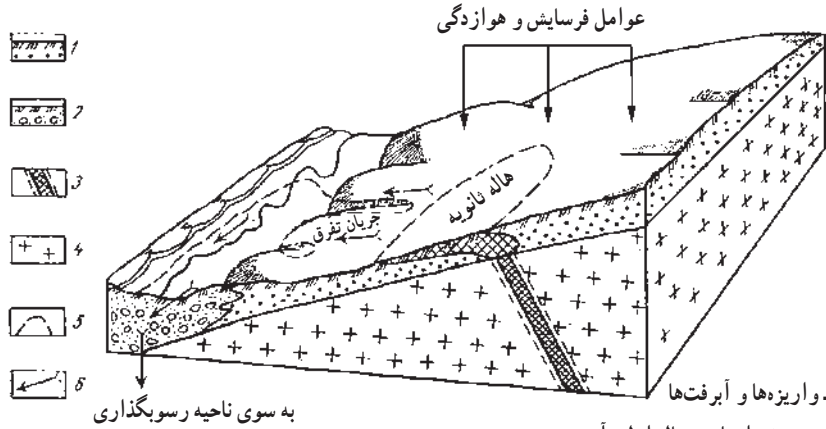
۱۳ــ۲ــ۲ــ هاله ژئوشیمیایی ثانویه[1] : پس از تشکیل ماده معدنی و برونزد آن در سطح زمین، عوامل مختلف حمل‌ونقل مثل نیروی جاذبه، باد، آب و نظایر آنها ممکن است آثار ماده معدنی را تا دوردست‌ها حمل کنند. بنابراین، اگرچه توده معدنی اصلی ممکن است گسترش وسیعی در سطح زمین نداشته باشد امّا گسترش هاله ثانویه آن ممکن است تا فواصل دوردست از توده اصلی گسترش یابد و به کمک آن بتوان توده معدنی اصلی را شناسایی کرد (شکل ۱۳ــ۲).

۱۳ــ۳ــ عناصر ردیاب و نشانه

در اکتشافات ژئوشیمیایی از دو تعریف عناصر ردیاب[2] و نشانه[3] استفاده می‌شود، که در ادامه به شرح آنها می‌پردازیم :

۱۳ــ۳ــ۱ــ عناصر ردیاب : عناصر ردیاب عناصری هستند که با توده ماده معدنی اصلی

۱ــ secondary halo ۲ــ pathfinder elements ۳ــ indicator elements



۱و۲ــ واریزه‌ها و آبرفت‌ها
۳ــ توده معدنی اصلی و هاله اولیه آن
۴ــ سنگ‌های دورنگیر ۵ــ محدوده آنومالی ۶ــ جهت حرکت مواد [۱۵].

شکل ۱۳ــ۲ــ هاله ثانویه و گسترش آن

همراه‌اند ولی از عناصر نشانه آسان‌تر قابل تشخیص‌اند و گسترش آنها نیز بیش از عناصر نشانه است. علّت 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. به طور 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.

۱۳ــ۳ــ۲ــ عناصر نشانه : عناصر نشانه یا معرف به عناصری 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.

۱۳ــ۴ــ مراحل مختلف اکتشافات ژئوشیمیایی

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

الف) انتخاب روش‌ها وعناصری که باید مورد کاوش قرار گیرد، تعیین حساسیت و دقتی که باید درعمل 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 سرِ زمین، به همراه چند نمونه کنترلی و عمیق به منظور تعیین میزان تغییرات و ارزیابی علایم ژئوشیمیایی موجود.

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

د) کنترل کیفیت نتایج تجزیه‌ها.

هـ) 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.

۱۳ــ۵ــ روش‌های ژئوشیمیایی

روش‌های ژئوشیمیایی را می‌توان براساس نحوه عمل و یا برمبنای 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
هـ) روش بیوژئوشیمیایی
ز) روش ژئوبوتانی
در ادامه به شرح چند روش متداول در ایران می‌پردازیم.

۱۳ــ۵ــ۱ــ روش فلزسنجی با نمونه‌گیری از خاک[۱] : دراین روش که معمولاً در مراحل اولیه اکتشاف به‌کار می‌رود، براساس 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 گرانبهایی 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 درعمق ۲تا ۳ متری، و ندرتاً ۵ تا ۱۰متری قرار دارند.

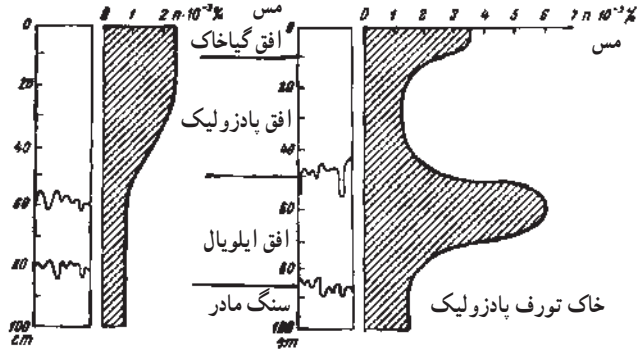
الف) شبکه نمونه‌برداری: شبکه نمونه‌برداری باید به گونه‌ای طراحی شود که تمام منطقه‌ای را که گمان کانسار در آن می‌رود، همراه با هاله‌های ژئوشیمیایی آن، بپوشاند. اگرچه در بعضی موارد گسترش هاله‌های کانسار در طرفین آن یکنواخت است امّا اکثراً، گسترش آن قرینه نیست بلکه در امتدادهای خاصی، گسترش زیادتری دارد. 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 ۱۰۰۰متر 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 یاهاله 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.

۱ــ metallometric surveying

ب) نمونه‌برداری: برای نمونه‌برداری 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، نمونه‌برداری سطحی، فایده‌ای ندارد و برای این منظور باید گمانه‌های خاصی حفر کرد. در بعضی مواد، مثل اکتشاف مواد طلادار ممکن است مقدار نمونه لازم به ۵۰۰ و حتی ۱۰۰۰ گرم برسد [۲۴].

معمولاً نمونه‌برداری از عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتر، یعنی بلافاصله زیر قشر خاک‌نما[1] کافی است. عمق بهینه نمونه‌برداری 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 گیاخاک[2]* 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 ۱۳ــ۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۳ــ۳ــ تغییرات درصد مس در اعماق مختلف خاک [۲۴]

برای این که افق غنی خاک برای نمونه‌برداری مشخص شود، ابتدا در چندین نقطه، محتوای فلزی خاک را در اعماق مختلف (به فواصل ۱۵ تا ۲۰ سانتیمتری)، به کمک نمونه‌برداری و تجزیه شیمیایی مشخص می‌کنند و از روی آنها منحنی‌هایی شبیه به آنچه که در شکل ۱۳ــ۳ 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 نمونه‌برداری را در این عمق، انجام داد.

۱ــ top soil ۲ــ humus

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

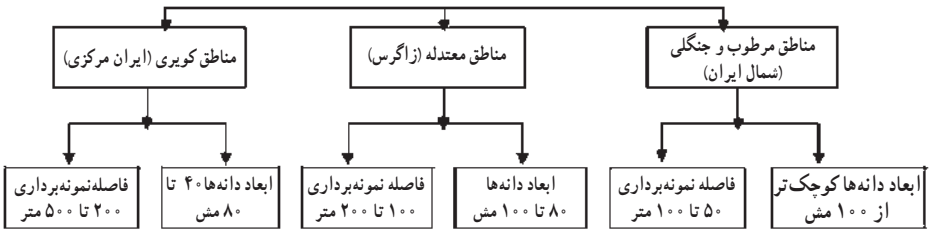
ذکر این نکته ضروری است که هرگاه ضخامت خاک ناحیه بیش از ۳ متر باشد، اثر هاله‌های ژئوشیمیایی در قسمت‌های سطحی ظاهر نمی‌شود و در چنین مواردی، باید نمونه‌برداری را به کمک گمانه انجام داد [۲۴]. بدیهی است در صورتی که منطقه موئین آب‌های زیرزمینی وسیع و یا فعالیت‌های گیاهی منطقه زیاد باشد، ممکن است آثار کانسارهای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

۱۳ــ۵ــ۲ــ 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 کیلومترمربع 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 درطول مسیر ۵۰ تا ۱۰۰ متر است.

براساس بررسی‌های انجام شده در ایران، شبکه نمونه‌برداری در مورد اکتشافات آبراهه‌ای بزرگ مقیاس را می‌توان مطابق شکل ۱۳ــ۴ در نظر گرفت [۲۹].



شکل ۱۳ــ۴ــ نمودار اندازه دانه‌ها و فواصل نمونه‌برداری در اکتشافات آبراهه‌ای بزرگ مقیاس در مناطق مختلف ایران [۲۹]

۱ــ stream sediments sampling

ب) نمونه‌برداری: اگرچه نمونه‌برداری 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.

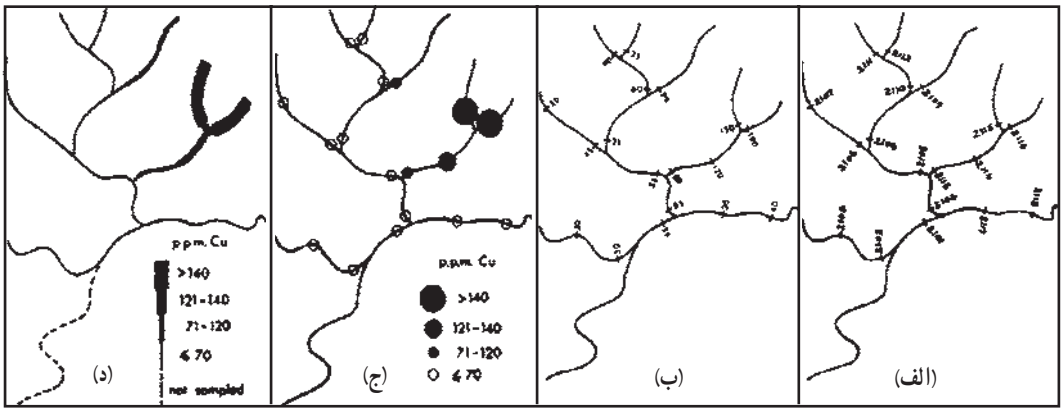
ج) بررسی نمونه‌ها: اگرچه در بسیاری موارد، نمونه‌های گرفته شده از بستر آبراهه‌ها مستقیماً آزمایش می‌شود ولی اگر این رسوبات حاوی مواد سنگین و مقاوم باشند، ابتدا آنها را خاک‌شویی کرده و آنگاه محصول خاک‌شویی شده را تجزیه می‌کنند. در بعضی موارد نیز اکسیدهای منگنز و آهن را، که به صورت قشری ذرات نمونه را احاطه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

در شکل ۱۳ــ۵ نمونه‌ای از نتایج حاصل از روش نمونه‌گیری از رسوبات آبراهه‌ای نشان داده شده است.

۱۳ــ۵ــ۳ــ 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 امّا 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 نمونه‌برداری 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 مبنا همراه با شماره نمونه‌ها ب) نقشه نشان‌دهنده عیار مس در نمونه‌ها ج و د) دو سیستم نمایش داده‌ها

شکل ۱۳ــ۵ــ نمونه‌ای از نقشه‌های بررسی رسوبات بستر آبراهه‌ای [۳۰]

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 وانادیم، 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 و 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، امّا 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.

۱۳ــ۵ــ۴ــ روش بررسی بخارات و گازها[1] : 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 کانساراصلی 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 گوگرددار است. در جدول ۱۳ــ۳ گازهایی که معمولاً در اطراف کانسارهای مختلف پراکنده‌اند، درج شده است.

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

ــ هاله‌های گازی با منشأ رادیواکتیو

ــ هاله‌های گازی با منشأ غیررادیواکتیو

ــ هاله‌های گازی ترکیبات شیمیایی

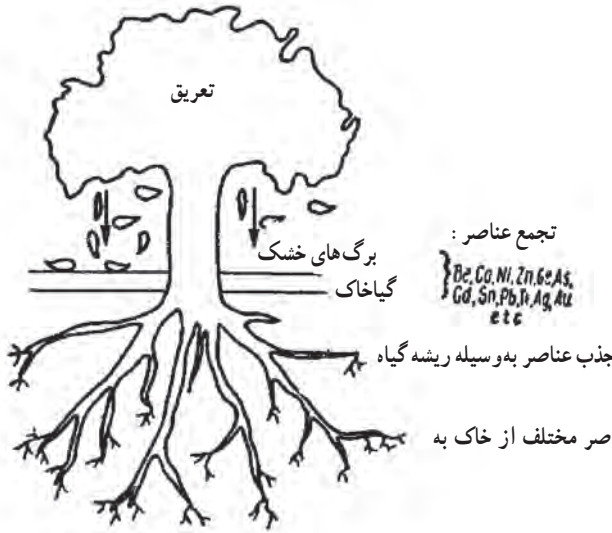
جدول ۱۳ــ۱ــ گازها و بخارات موجود در اطراف کانسارهای مختلف [۳۱]

ردیف	نوع گاز یا بخار	عامل مربوطه
۱	Hg	کانسارهای جیوه ــ کانسارهای اورانیوم ــ سولفیدهای مختلف
۲	He	کانسارهای اورانیوم ــ سولفیدهای مختلف ــ شکستگی‌های عمیق
۳	CO_2	کانسارهای جیوه ــ شکستگی‌های عمیق ــ 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 ــ گرایزن ــ کانسارهای مس پرفیری
۸	ترکیبات آلی ــ فلزی عناصر : Ag, Zn, Ca, Hg, Ni	کانی‌های سولفیدی

۱ــ vapor and gas prospecting

۱۳ــ۵ــ۵ــ روش بیوژئوشیمیایی[1] : 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 ۱۳ــ۶).



شکل ۱۳ــ۶ــ مهاجرت عناصر مختلف از خاک به اندام‌های گیاهی [۲۴].

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.

۱ــ biogeochemical prospecting

در نقاط نمونه‌برداری، 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 نمونه‌برداری مربع یا مستطیل با اضلاع ۵ تا ۳۰۰متر استفاده می‌شود [۲۴].

پس از اینکه در نقاط مورد نظر نمونه‌برداری 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.

۱۳ــ۵ــ۶ــ روش ژئوبوتانی[۱] : این روش را ممکن است به طور مستقل و یا همراه با روش بیوژئوشیمیایی به کار برد. از مدت‌ها پیش، معدنکاران به رابطه بین مواد معدنی و پوشش گیاهی روی آنها پی‌برده و متوجه شده بودند که در مناطقی که عناصر خاصی وجود دارد، گیاهان خاصی می‌رویند و یا رشد آنها زیادتر 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 به‌عنوان نشانه‌ای، دال بر بالابودن میزان این عناصر دانست و بدین‌ترتیب، 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 هوائی 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.

۱ــ geobotanical prospecting

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 درنظر 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 وجابه‌جایی تکتونیکی جدید.

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

هـ) 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. به‌عنوان مثال می‌توان از، باکتری‌هایی نام برد که در میدان‌های نفت و گاز یافت شده و سبب اکسیداسیون هیدروکربن‌ها می‌شوند.

خودآزمایی

۱ـ تفاوت هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه و ثانویه را شرح دهید.

۲ـ عناصر ردیاب و نشانه را شرح دهید.

۳ـ مراحل مختلف اکتشافات ژئوشیمیایی را نام ببرید.

۴ـ روش‌های ژئوشیمیایی را نام ببرید.

۵ـ نحوه تعیین عمق بهینه نمونه‌برداری در روش نمونه‌برداری از خاک را شرح دهید.

۶ـ مکان‌های نمونه‌برداری در روش رسوبات آبراهه‌ای را شرح دهید.

۷ـ روش نمونه‌برداری آب در چه مواردی کاربرد دارد.

۸ـ یک مثال از کاربرد روش بررسی بخارات و گازها را ذکر کنید.

۹ـ روش‌های بیوژئوشیمیایی و ژئوبوتانی را شرح دهید.

فصل ۱۴

حفریات اکتشافی سطحی

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

۱۴ــ۱ــ 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.

۱۴ــ۲ــ 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.

۱۴ــ۲ــ۱ــ 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، امّا 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.

۱۴ــ ۲ــ۲ــ 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 حفریات 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 مبنا است. موقعیت، ایستگاه‌های مبنا 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 مبنا 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 علّت پستی و بلندی و یا وجود درختان بلند، نقاط به‌فواصل طولانی نسبت به هم دید نداشته باشند، فواصل ایستگاه‌ها کمتر انتخاب می‌شود ولو آن‌که 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 × 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.

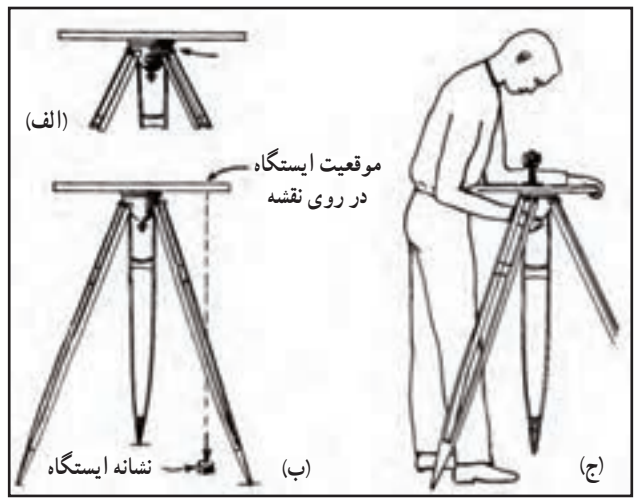
اگر در نزدیکی منطقه نقطه نقشه‌برداری کشوری وجود نداشته باشد،باید برای ایستگاه مادر، مختصات محلی درنظر گرفت.بدین منظور می‌توان با قراول روی به ستاره قطبی،امتداد

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 سه‌گانه عدد ۱۰۰۰ درنظر گرفته می‌شود)، مختصات سایر ایستگاه‌های مبنا تعیین می‌شود.

به هرحال، پس از مشخص شدن مختصات ایستگاه‌ها، با استقرار دوربین در هریک از آنها، مختصات تمام پدیده‌های زمین‌شناسی از قبیل مرز واحدهای سنگی، گسل‌ها، شکستگی‌های مهم و نظایر آنها محاسبه و بر روی نقشه پیاده می‌شود و بدین‌ترتیب، با تکمیل برداشت‌ها، نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس نیز تکمیل می‌شود.

ج) استفاده از تخته سه‌پایه[1]: در بعضی موارد، می‌توان به کمک تخته سه‌پایه، نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس را تهیه کرد. اگرچه این روش قدیمی و سنتی است امّا در مواردی که امکانات دیگر در دسترس نباشد، می‌توان از آن استفاده کرد. بدیهی است در این مورد نیز ابتدا باید ایستگاه‌های مبنای مورد نیاز را به شرحی که گفتیم احداث و مختصات آنها را محاسبه کرد.

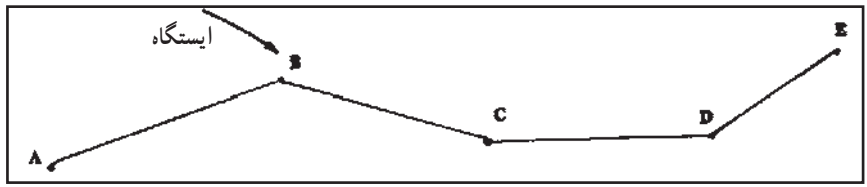
تخته سه‌پایه از یک تخته صاف و محکم تشکیل شده است که در زیر آن یک صفحه برنجی قرار دارد و تخته به وسیله آن به سه‌پایه وصل می‌شود. در شروع کار، تخته سه‌پایه را در یک ایستگاه مبنا مستقر می‌کنند یعنی آن را طوری قرار می‌دهند که شاقول زیر آن، که در موقعیت ایستگاه تنظیم شده است، درست در بالای میلگرد ایستگاه قرار گیرد و آنگاه دستگاه را تراز می‌کنند (شکل ۱۴ــ۱).



شکل ۱۴ــ۱ــ استقرار تخته سه‌پایه در ایستگاه [۳۲]

۱ــ plane table

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 ۱۴ــ۲، 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 ۱۴ــ۲ــ 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 به‌وسیله 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 بدین‌ترتیب موقعیت نقطه مورد نظر را در روی نقشه به دست می‌آورند.

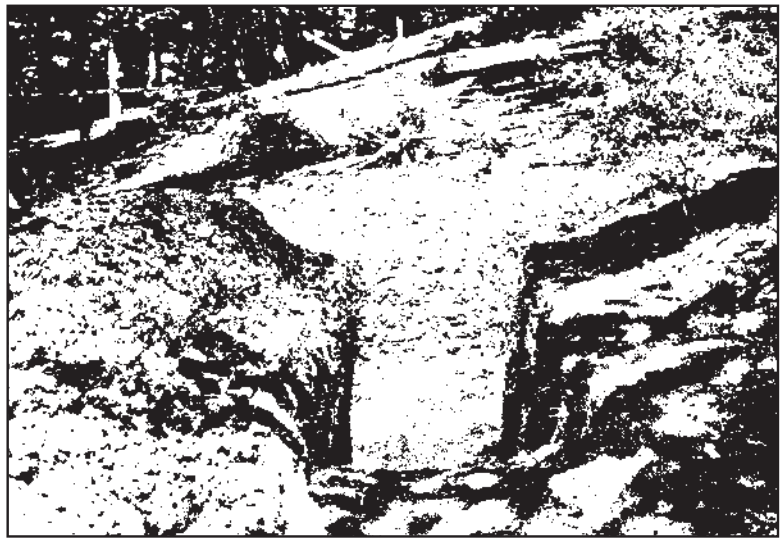
نقاطی که در روی نقشه مشخص می‌شوند ممکن است مرز دولایه یا دو بخش و یا هر پدیده دیگر زمین‌شناسی نظیر نقطه‌ای از یک گسل باشد.

پس از اینکه به تعداد کافی نقطه به دست آمد، با وصل کردن آنها به هم، نقشه زمین‌شناسی منطقه به‌دست می‌آید.

۱۴ــ۳ــ 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 آن‌را 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 ۱۴ــ۳).



شکل ۱۴ــ۳ــ 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 ۲۵متر است، امّا 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.

۱۴ــ۴ــ ترانشه[۱]

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

۱ــ trenche

واریزه پوشیده شده است. هر چقدر ماده معدنی نرم‌تر 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 درسطح زمین به خوبی مشخص است، مواد معدنی نرم مثل زغال‌سنگ، معمولاً با قشری از خاک پوشیده شده‌اند که ضخامت این قشرخاک 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 ۱۴ــ۴).

(الف)

(ب)

شکل ۱۴ــ۴ 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 چالهٔ 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 دربرمی‌گیرد و عمق آن نیز بیشتر است به طوری که پس از حفر، می‌توان مشخصات ماده معدنی را به خوبی مشاهده و اندازه‌گیری کرد.

۱۴ــ۴ــ۱ــ 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. بدین‌ترتیب 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 ۲۵۰متر بماند در صورتی که اگر به علّت وجود پدیده‌هایی نظیر گسل‌ها و چین‌خوردگی‌ها، منطقه ساختار پیچیده‌ای داشته باشد، ممکن است فواصل آنها به ۵۰ متر نیز برسد.

۱۴ــ۴ــ۲ــ 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 علّت پاره‌ای مشکلات، ترانشه در همه‌جا 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 علّت 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.

۱۴ــ۴ــ۳ــ حفر ترانشه : معمولاً حفر ترانشه با ابزار دستی و به وسیله کارگر انجام می‌گیرد. علّت این امر آن است که معمولاً هنگامی که ترانشه‌ها حفر می‌شود، هنوز جاده‌ای احداث نشده است و بنابراین حمل‌ونقل 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 امّا 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 ۲۶کیلوگرم تجاوز نمی‌کند و بنابراین وسیله بسیار مناسبی برای حفر ترانشه در نقاط دور افتاده است (شکل۱۴ــ۵).

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 خاک‌برداری کرد و

۱ــ back ho

معمولاً از آنها برای حفر گودال به منظور عملیات لوله‌گذاری استفاده می‌شود. در شکل ۱۴ــ۶ نوعی از این ماشین‌ها نشان داده شده است.

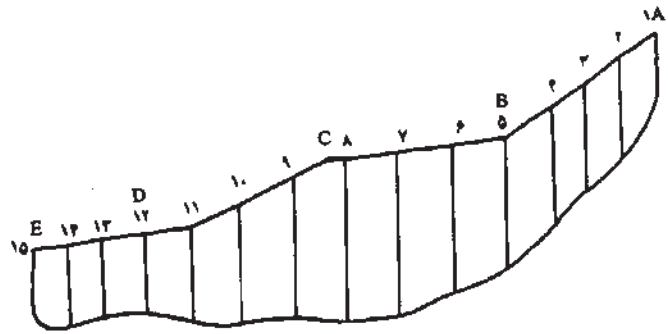
شکل ۱۴ــ۵ــ نحوه حفر ترانشه به کمک چکش مکانیکی سیار

شکل ۱۴ــ۶ــ نوعی ماشین ترانشه‌زنی

مطالعه آزاد

۱۴ــ۴ــ۴ــ 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.

بدین‌ترتیب، با این اطلاعات می‌توان نیمرخ سطح زمین را در امتداد ترانشه رسم کرد. مثلاً در شکل ۱۴ــ۷، 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 ۱۴ــ۷) اندازه می‌گیرند. اکنون با انتخاب مقیاس مناسب (معمولاً مقیاس ۱۰۰ :۱) می‌توان به کمک این اطلاعات، سطح مقطع دیواره ترانشه را مطابق شکل روی کاغذ میلیمتری رسم کرد.



شکل ۱۴ــ۷ــ رسم مقطع ترانشه

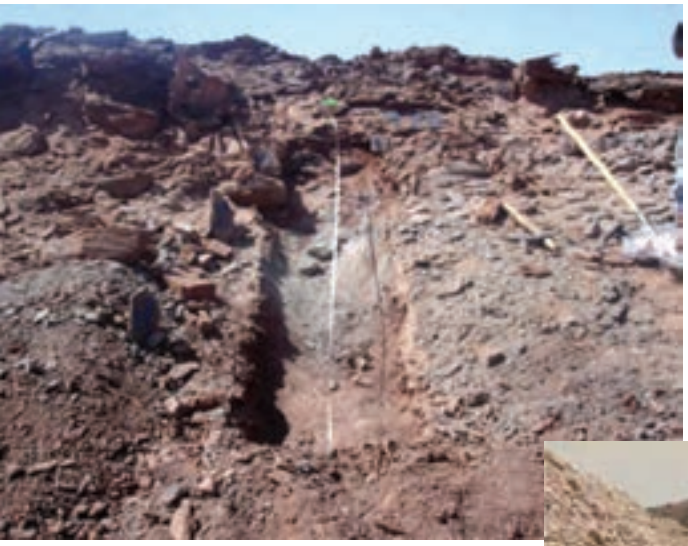
برداشت ترانشه باید بلافاصله پس از خاتمه حفر انجام گیرد زیرا مدتی که از حفر ترانشه گذشت، دیواره‌های آن ریزش می‌کند و دیگر مشاهده مستقیم مواد معدنی در کف ترانشه ممکن نخواهد شد.

برای برداشت ترانشه، ابتدا سطح مقطع ترانشه را به‌ترتیبی 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 به‌دست آورد. در مواردی که ترانشه به‌صورت 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

یک سر ترانشه برداشت را شروع می‌کنند (شکل ۱۴ــ۸). مقیاس برداشت معمولاً ۱۰۰ :۱ است و اگر این عمل به خوبی انجام گیرد، در واقع تمام اطلاعات حاصل از ترانشه در آن ثبت می‌شود (شکل ۱۴ــ۹).



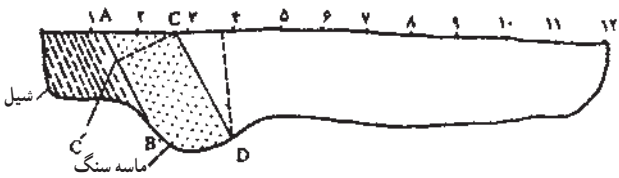
شکل ۱۴ــ۸ــ نحوه برداشت ترانشه [۳۳]

شکل ۱۴ــ۹ــ ثبت اطلاعات ترانشه [۳۳]

در مواردی که مواد معدنی و سنگ‌های اطراف آن لایه‌ای شکل‌اَند، 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 ۱۴ــ۱۰، 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.

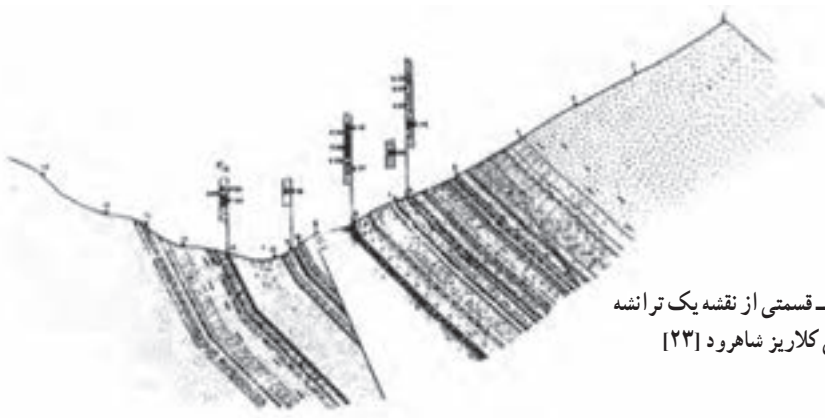


شکل ۱۴ــ۱۰ــ برداشت لایه‌ها با تعیین دو نقطه بالا و پائین آنها در ترانشه [۲۳]

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 ترانشه 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 ترانشه را که حاوی ماده معدنی است، با مقیاس بزرگ‌تر در بالای آن رسم می‌کنند. به‌عنوان مثال در شکل ۱۴ــ۱۱ که نقشه یک ترانشه حفر شده در زون زغالی را نشان می‌دهد، مشخصات لایه‌های زغال با مقیاس بزرگ‌تر رسم شده است.

جدول ۱۴ــ۱ــ نحوه ثبت مشخصات واحدهای مختلف در ترانشه [۲۳].

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



شکل ۱۴ــ۱۱ــ قسمتی از نقشه یک ترانشه در منطقه زغالی کلاریز شاهرود [۲۳]

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

۱۴ــ۵ــ اوکلون[۱]

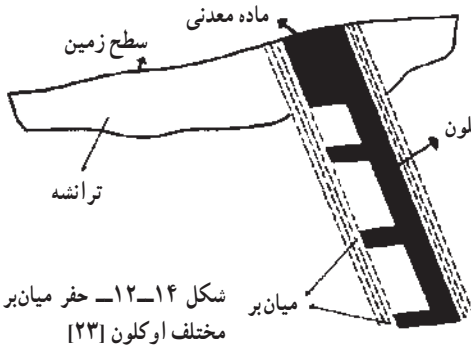
اگرچه با حفر ترانشه خاک‌های روی ماده معدنی برکنار شده و ساختار آن تا حدودی مشخص می‌شود، امّا معمولاً مشخصات ماده معدنی در اعماق مختلف تغییر می‌کند و خصوصیات ثبت شده در ترانشه را نمی‌توان برای تمام گسترش ماده معدنی تعمیم داد. از سوی دیگر، کیفیت ماده معدنی نیز در قسمت‌های سطحی تا حدود زیادی با مشخصات واقعی 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 شناسائی 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.

۱۴ــ۵ــ۱ــ 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 ترانشه‌ها و در داخل لایه‌های قابل توجه، اوکلون حفر می‌شود، در صورتی که اگر ماده معدنی سخت باشد، از هرچند ترانشه فقط در داخل‌یکی اوکلون حفرمی‌شود. اگر ماده معدنی خیلی سخت باشد، به جای حفر ترانشه 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 ۱×۱ متر حفر کرد و در اعماق مختلف، با حفر میان‌برهایی به ماده معدنی دست یافت. مثلاً در شکل ۱۴ــ۱۲، اوکلون در قسمت کمربالای ماده معدنی حفر شده و در اعماق مختلف، میان‌برهایی احداث شده است.

۱ــ Incline



شکل ۱۴ــ۱۲ــ حفر میان‌بر 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 آن‌را با شیب زیادتر حفر می‌کنند و از عماق مختلف با حفر میان‌برهایی به ماده معدنی دسترسی می‌یابند.

۱۴ــ۵ــ۲ــ حفر اوکلون : حفر اوکلون معمولاً به کمک کلنگ دستی انجام می‌شود. امّا در صورتی که امکان استفاده از چکش مکانیکی موجود باشد، راندمان حفاری تا حد قابل‌توجهی 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 برسرداشته 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 ایستابی 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 آبها را خارج کرد. در چنین مواردی، اجباراً باید آبها 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.

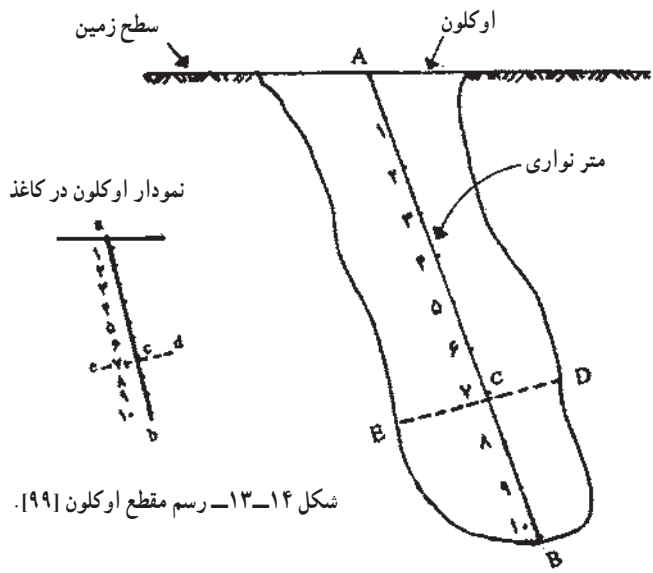
در مواقعی که جنس سنگهای طرفین ماده معدنی محکم و مقاوم باشد، اوکلون بدون نصب وسیله نگهداری حفر می‌شود امّا اگر سقف یا دیواره‌های آن ریزشی باشد، باید همزمان با ادامه عملیات حفاری،

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

مطالعه آزاد

۱۴ــ۵ــ۳ــ برداشت اوکلون : همان‌گونه که در مبحث ترانشه گفته شد، برای حفظ اطلاعات ناشی از اوکلون باید آن‌را برداشت کرد و اطلاعات حاصل از آنرا به نقشه درآورد.

برای تهیه نقشه اوکلون، ابتدا مقطع آن را با مقیاس مناسب (معمولاً مقیاس ۱۰۰ : ۱) بر روی کاغذ میلی‌متری رسم می‌کنند. برای این کار یک‌متر فلزی یا پارچه‌ای را از سطح زمین تا کف اوکلون می‌کشند (شکل ۱۴ــ۱۳). 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 ۱۰متر و شیب خط AB ۶۰ درجه باشد، در روی نقشه نیز خط ab به طول ۱۰ سانتی‌متر و با همان شیب رسم می‌شود. حال در اعماق مختلف ۱، ۲، ۳ و... و ۱۰ متری به کمک یک متر فلزی کوچک، فاصله عمودی سقف وکف اوکلون تا این خط اندازه‌گیری و در روی نقشه با همان مقیاس رسم می‌شود. مثلاً فواصل CD و CE که از عمق ۷متری (شکل ۱۴ــ۱۳)



شکل ۱۴ــ۱۳ــ رسم مقطع اوکلون [۹۹].

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.

۱۴ــ۶ــ 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 حفریه 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 امّا به کمک دستگاه‌های ویژه، می‌توان چاهک‌های عمیق‌تری نیز حفر کرد.

۱۴ــ۶ــ۱ــ شبکه چاهک‌های اکتشافی: همانند حفریات 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.

۱۴ــ۶ــ۲ــ 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 ترانشه، 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 یک‌متر است و در مواردی که خاک‌های روی کانسار چندان محکم نباشد، چاهک‌های تا عمق ۳۰متر را نیز می‌توان با این روش حفر کرد.

۱ــ test pit

همانند حفر اوکلون‌ها، در این مورد نیز، باید مسایل ایمنی را رعایت کرد و کارگران را واداشت که حتماً کلاه ایمنی برسرداشته باشند. برای بالا و پائین رفتن کارگران و مسئول برداشت و نمونه‌برداری از چاهک، باید به فواصل نیم‌متر به نیم‌متر، در دیواره چاهک جای‌پا 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 به‌کار می‌روند و اصول کار آن همانند دستگاه‌های حفر گمانه است که در فصل گمانه‌ها تشریح خواهد شد. در شکل ۱۴ــ۱۴ نمونه‌ای از این ماشین‌ها نشان داده شده است.

شکل ۱۴ــ۱۴ــ نوعی ماشین حفر چاهک

خودآزمایی

۱ـ نقشه‌های زمین‌شناسی بزرگ مقیاس را به چه روش‌هایی تهیه می‌کنند.

۲ـ تخته سه پایه در چه مواردی به کار می‌رود.

۳ـ چاله‌های اکتشافی را در چه مواردی حفر می‌کنند.

۴ـ طول، عرض و عمق ترانشه را چگونه تعیین می‌کنند.

۵ـ اوکلون را شرح دهید.

۶ـ روش‌های حفر چاهک‌های اکتشافی را شرح دهید.

فصل ۱۵

گمانه‌های اکتشافی

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

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

۲ـ شبکه‌های گمانه‌های اکتشافی را توضیح دهد.

۳ـ نحوهٔ تعیین مشخصات گمانه‌ها را بیان کند.

۴ـ مراحل حفر گمانه را توضیح دهد.

۵ـ گل حفاری و وظایف آن را بیان کند.

۶ـ انواع سرمته و مغزه‌گیر را شرح دهد.

۱۵ــ۱ــ 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.

۱ــ bore hole ۲ــ core

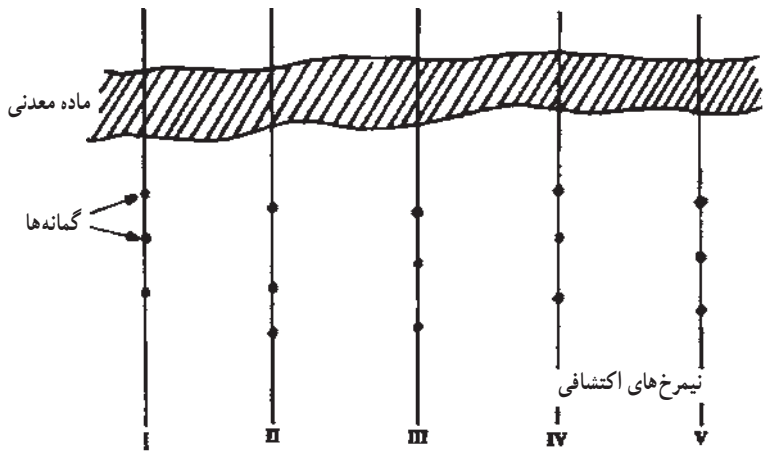
۱۵ــ۲ــ شبکه گمانه‌های اکتشافی

معمولاً گمانه‌های اکتشافی پس از خاتمه حفریات اکتشافی سطحی حفر می‌شوند. البته در بعضی موارد ممکن است در مرحله پی‌جوئی نیز چند گمانه‌ای در نقاط مختلف منطقه حفر شود ولی حفر گمانه براساس 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 براساس یک شبکه منظم اکتشافی درنظر گرفته می‌شود.

بسته به مشخصات کانسار، شبکه حفر گمانه‌ها به یکی از روش‌هایی که در ادامه خواهد آمد، طراحی می‌شود.

۱۵ــ۲ــ۱ــ 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[1] است که در امتداد عمود بر گسترش عمومی ماده معدنی، توجیه شده‌اند (شکل ۱۵ــ۱).



شکل ۱۵ــ۱ــ نیمرخ‌های اکتشافی [۲۳]

فاصله نیمرخ‌های اکتشافی در چندین مرحله تغییر می‌کند. در ابتدای کار، که اطلاعات چندانی از ماده معدنی درعمق 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

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

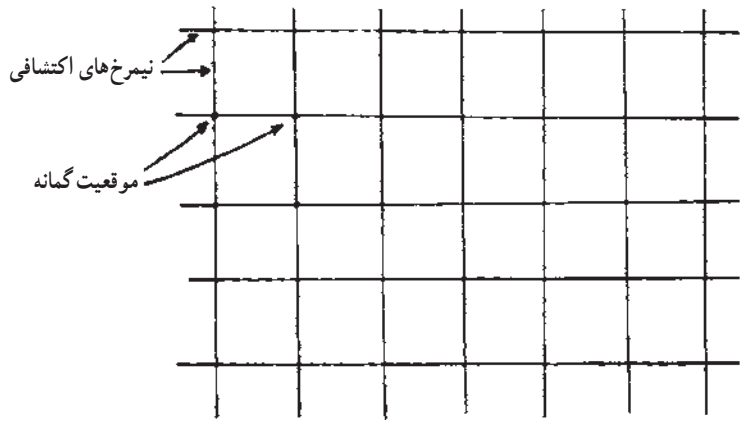
نیمرخ‌های اولیه، نیمرخ‌های جدیدی در نظر گرفته می‌شود. بدیهی است فواصل نیمرخ‌های اخیر در همه جا یکسان نیست بلکه در قسمت‌هایی که تغییرات ماده معدنی زیادتر است، فاصله آنها را کمتر در نظر می‌گیرند.

۱۵ــ۲ــ۲ــ 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 ۱۵ــ۲).

۱۵ــ۳ــ تعیین مشخصات گمانه‌ها

۱۵ــ۳ــ۱ــ 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 به‌گونه‌ای تعیین کرد که در عمق مورد نظر، لایه را قطع کنند. معمولاً اولین گمانه‌هایی که در هر نیمرخ اکتشافی حفر می‌شود، گمانه‌های کم‌عمق‌اند (کمتر از ۳۰۰ متر). پس از حفر این گمانه‌ها با توجه به اطلاعاتی که از وضعیت و شیب ماده معدنی در اعماق به‌دست 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 به‌گونه‌ای انتخاب کرد که در عمق مورد نظر، ماده معدنی را قطع کند.



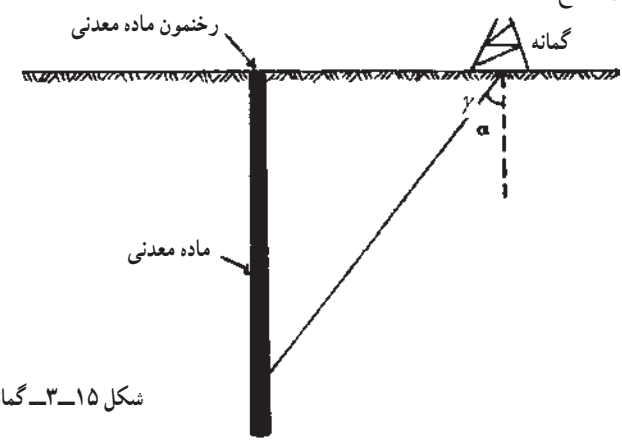
شکل ۱۵ــ۲ــ موقعیت گمانه‌ها در مورد کانسارهای توده‌ای یا افقی [۲۳]

۱۵ــ۳ــ۲ــ قطر گمانه : از نظر حفاری، هر چقدر قطر گمانه کم‌تر باشد، حفر آن آسان‌تر است امّا از نظر کسب اطلاعات در مورد مشخصات ماده معدنی و سنگ‌های اطراف آن، گمانه‌های با قطر بیشتر و در نتیجه مغزه‌های قطورتر، اطلاعات بهتری را به دست می‌دهند. بنابراین باید حد بهینه‌ای را برای قطر گمانه درنظر گرفت. از سوی دیگر، همزمان با حفاری، در قسمت‌هایی از گمانه که احتمال ریزش وجود دارد، لوله جداری نصب می‌شود و ادامه حفاری باید از درون این لوله انجام گیرد. بنابراین قطر گمانه باید به اندازه‌ای باشد که پس از نصب لوله‌های جداری نیز، عمل حفاری امکان‌پذیر باشد. همچنین قطر آن باید آنقدر باشد که به آسانی بتوان دستگاه‌های «چاه‌پیمایی» 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 کم‌تر انجام می‌شود. بدیهی است قطر گمانه، تابع قطر سرمته حفاری است.

۱۵ــ۳ــ۳ــ شیب گمانه : گمانه‌ها معمولاً به حالت قائم طراحی می‌شوند زیرا حفر گمانه‌های مایل مشکل است و سبب گیرکردن لوله‌های حفاری می‌شود. در بعضی موارد، اجباراً باید گمانه را به حالت مایل حفر کرد. مثلاً در مورد لایه‌های قائم یا پرشیب، این امر اجتناب‌ناپذیر است (شکل ۱۵ــ۳).

در مورد دستگاه‌های 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 دستگاه‌های حفاری عمیق، با قرار دادن زائده‌های مخصوص در یک طرف دکل، آن را منحرف می‌سازند. با معلوم بودن شیب ماده معدنی و سطح زمین، می‌توان زاویه انحرافY (شکل ۱۵ــ۳) را به گونه‌ای تعیین کرد که گمانه در عمق مورد نظر، ماده معدنی را قطع کند.



شکل ۱۵ــ۳ــ گمانه مایل [۲۳]

۱۵ــ۴ــ 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 نقشه‌بردار 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.

۱۵ــ۵ــ 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 امّا اساس کار حفر گمانه و چاههای نفت و آب، یکسان است.

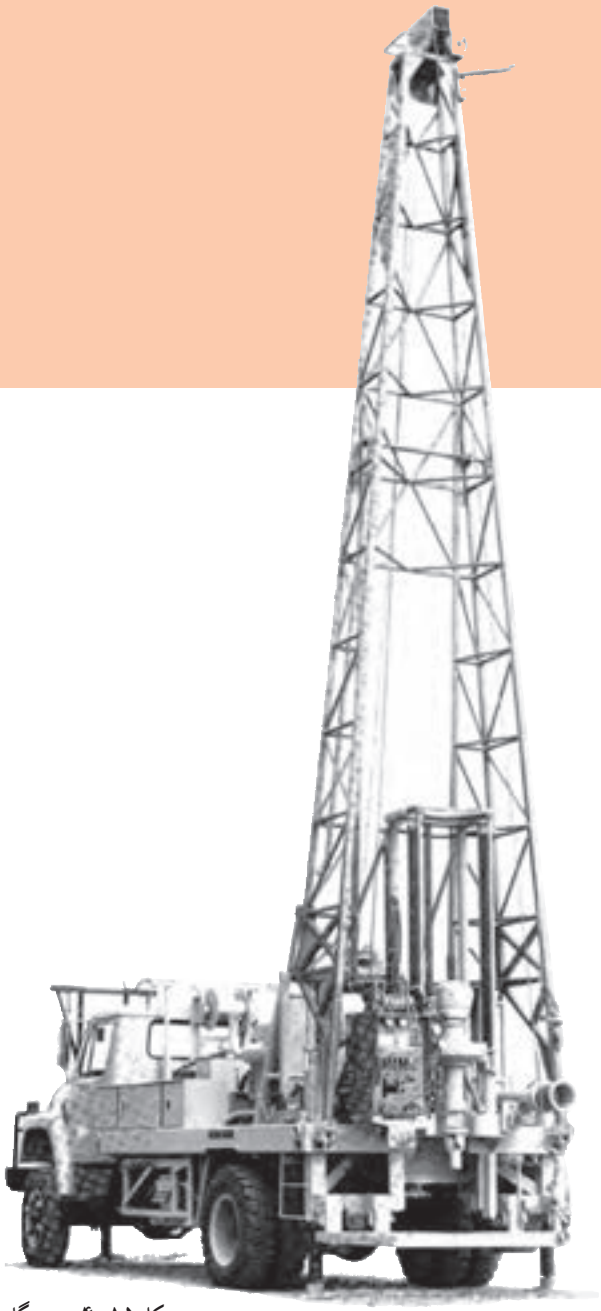
۱۵ــ۵ــ۱ــ قسمت‌های مختلف دستگاه حفاری : مهم‌ترین اجزای دستگاه حفاری به شرح زیر است :

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 ۱۵ــ۴). 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 امّا در دستگاه‌های حفاری عمیق، انرژی لازم به‌وسیله الکترو موتور تأمین می‌شود و بنابراین دستگاه دارای مولد برقی است که تغذیه الکتروموتورها را به عهده دارد.

۱ــ loader ۲ــ derrick



شکل ۱۵ــ۴ــ دستگاه حفاری سیار [۲۳]

ج) جرثقیل[1] : جرثقیل برای بالا و پایین کردن لوله‌ها در داخل گمانه به کار می‌رود و به‌صورت یک استوانه فلزی لبه‌دار است که به دور آن کابل فلزی پیچیده شده است.

۱۵ــ۵ــ۲ــ رشته ابزار حفر[2] : 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[3] : 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 دوجداری را برای نمونه‌گیری مواد نرم، مثل زغال‌سنگ، به‌کار می‌برند.

مغزه‌گیر یک جداری، استوانه ساده‌ای است که از دو طرف رزوه شده و طول آن بین ۱/۵ تا ۶ متر درتغییر 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 به‌کار 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 فنری دارند که فقط از یک جهت اجازه ورود مغزه را می‌دهد و خروج آن، قبل از باز کردن این فنر ممکن نیست و به هنگام بالا کشیدن مغزه‌گیر، مغزه را به‌طور محکم می‌گیرد و ضمن کنده شدن مغزه از سنگ، مغزه نیز از داخل مغزه‌گیر به پایین نمی‌افتد.

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

۱ــ hoist ۲ــ drilling strings ۳ــ core barrel

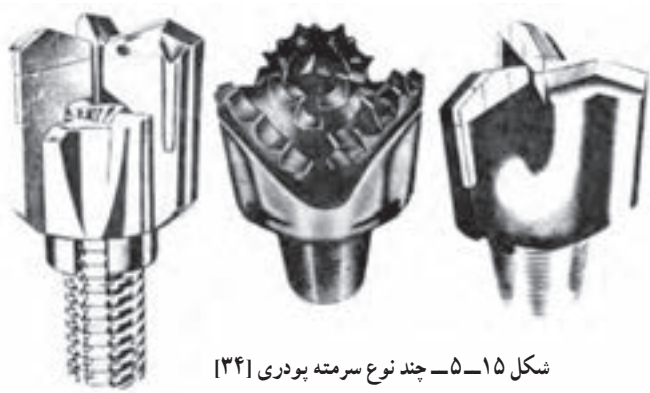
به آسانی و مستقل از لوله خارجی دوران کند. در اثر حفر مواد نرم، مغزه وارد استوانه داخلی می‌شود و چون این دو لوله به وسیله بلبرینگ به یکدیگر ارتباط دارند، لذا تنها لوله خارجی می‌چرخد و بنابراین لوله داخلی ثابت می‌ماند و نمونه داخل آن خرد نمی‌شود.

ب) سرمته[1]: 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 دربیاورد. به همین خاطر این نوع سرمته‌ها را سرمته‌های پودری می‌گویند (شکل ۱۵ــ۵).

سرمته‌های مغزه‌گیری به شکل استوانه‌های کوچکی است که به انتهای مغزه‌گیر پیچ می‌شود.



شکل ۱۵ــ۵ــ چند نوع سرمته پودری [۳۴]

شکل ۱۵ــ۶ــ سرمته نمونه‌گیری [۳۵].

این سرمته‌ها، دندانه‌هایی دارند که جنس دانه‌های آن ازآلیاژهای سخت نظیر کاربید تنگستن است (شکل ۱۵ــ۶).

۱ــ bit

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 ۱۵ــ۷).

شکل ۱۵ــ۷ــ سرمته نمونه‌گیر الماسی

۱۵ــ۶ــ گل حفاری[1]

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[2] 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] :

ــ بیرون آوردن ذرات کنده شده از داخل گمانه.

ــ خنک کردن سرمته.

ــ معلق نگهداشتن ذرات حفر شده و جلوگیری از سقوط آنها به هنگام توقف جریان گل.

ــ اندود کردن جدار داخلی گمانه و جلوگیری از ریزش طبقات سست.

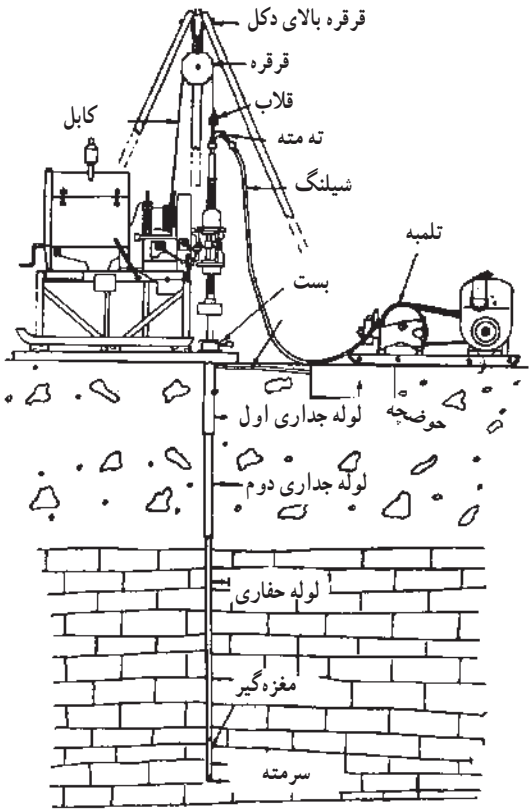
ــ جلوگیری از زنگ زدن ابزار حفاری با تشکیل دادن قشر نازکی از گل بر روی آنها.

ب) مواد اولیه گل حفاری : مهم‌ترین مواد اولیه تهیه گل حفاری بنتونیت[3]، آب، باریت و بعضی افزودنی‌های دیگر است که بسته به مورد، به گل اضافه می‌شود.

۱ــ mud ۲ــ flushing ۳ــ bentonite

۱۵ــ۷ــ چگونگی حفر گمانه

پس از نصب دکل و سایر لوازم و آماده شدن برای شروع حفاری، ابتدا به وسیله مته پودری، سوراخ کوتاهی[1] 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 علّت 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 ۱۵ــ۸).



شکل ۱۵ــ۸ــ 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،

۱ــ در حفاری چاه‌های نفت، این چاه 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[1]، پس از پرشدن مغزه‌گیر، آن‌را 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.

۱۵ــ۸ــ 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 پر شدن 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 ۱۵ــ۹).

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 ۱۵ــ۹ــ جعبه‌های چوبی برای نگهداری مغزه‌ها [۲۳]

۱ــ wireline

در این مدت محفوظ بماند، آن را در پارافین مذاب فرو می‌کنند و دور آنرا با کاغذ ضد آب می‌پیچند.

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 به‌خوبی در روی مغزه مشخص است.

برای ثبت مشخصات مغزه‌ها، جداول ویژه‌ای وجود دارد که نمونه‌ای از آنها در مورد یک کانسار زغال در جدول ۱۵ــ۱ درج شده است.

جدول ۱۵ــ۱ــ نمونه‌ای از جدول ثبت مشخصات مغزه‌ها در یک کانسار زغال

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

خودآزمایی

۱ـ هدف از حفر گمانه‌های اکتشافی چیست.

۲ـ شبکه گمانه‌های اکتشافی در مورد کانسارهای لایه‌ای و توده‌ای را شرح دهید.

۳ـ در چه مواردی از گمانه‌های مایل استفاده می‌شود.

۴ـ قسمت‌های مختلف دستگاه حفاری را نام ببرید.

۵ـ وظایف اصلی گل حفاری را شرح دهید.

۶ـ در چه مواردی از مغزه‌گیرهای دو جداری استفاده می‌شود.

فصل ۱۶

تونل‌های اکتشافی

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که:
۱ـ هدف‌های کلی حفر تونل‌های اکتشافی را بیان کند.
۲ـ تونل‌های عمود بر لایه، امتدادی، میان‌بر و دنباله‌رو و نحوه حفر و برداشت آنها را توضیح دهد.
۳ـ نحوه انتخاب شکل و ابعاد تونل‌های اکتشافی را شرح دهد.
۴ـ نحوه حفر دویلها و استفاده از آنها را توضیح دهد.

۱۶ــ۱ــ آشنایی

اگرچه به کمک گمانه‌های اکتشافی می‌توان اطلاعات با ارزشی از ماده معدنی در اعماق به دست آورد امّا 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، امّا این تونل‌ها، مزایایی نیز دارند که مهم‌ترین آنها به شرح زیر است:

ــ در داخل تونل می‌توان ماده معدنی را مستقیماً مشاهده کرد و از آن نمونه گرفت.

ــ 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.

ــ 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.

۱۶ــ۲ــ تونل‌های عمود برلایه[1]

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[2] حفر می‌کنند امّا 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.

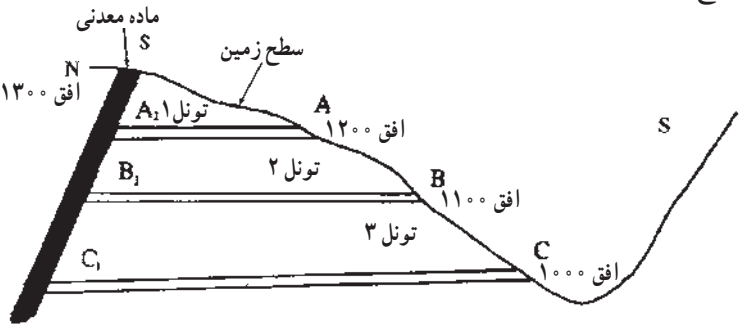
۱۶ــ۲ــ۱ــ تعیین موقعیت تونل: اصولاً سعی می‌شود که حفریات اکتشافی اعم از ترانشه، چاهک، اکلون و گمانه، در امتداد نیمرخ‌های اکتشافی حفر شوند تا به کمک مجموعه آنها بتوان مقاطع اکتشافی دقیقی را رسم کرد. در مورد تونل‌ها نیز این مطلب تا حدودی صدق می‌کند. البته تعداد تونل‌های اکتشافی در مقایسه با سایر حفریات 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 ۱۶ــ۱ 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 هریک مزایا و معایبی دارند مثلاً اگر تونل۱ 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_1)، اولاً

۱ــ adit

۲ــ 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 اطلاعی 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 به‌وسیله آن استخراج کرد، درصورتی که تونل‌هایی‌که از نقاط B و C حفر شود (تونل‌های ۲و۳)، 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.

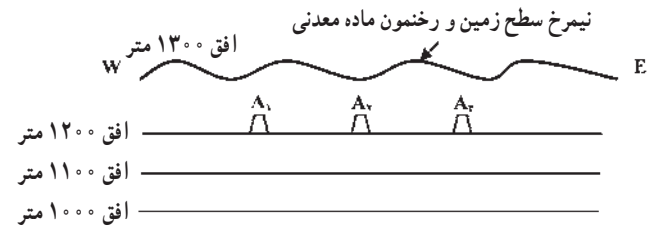


شکل ۱۶ــ۱ــ سه وضعیت مختلف برای تونل عمود بر لایه [۲۳]

قسمتی از ماده معدنی را که به وسیله هر تونل قابل استخراج است، افراز آن تونل می‌گویند و بدین ترتیب افراز تونل‌های ۱، ۲و۳ به ترتیب برابر SA_1، SB_1 و SC_1 است. معمولاً تونل‌های اکتشافی را به‌گونه‌ای انتخاب می‌کنند که افراز آنها از ۱۰۰ متر کمتر نباشد و اگر قرار باشد که در آینده قطعاً تونل برای مقاصد استخراجی استفاده شود، انتخاب افراز، مهمترین عامل در انتخاب موقعیت دهانه تونل خواهد بود.

ترتیب حفر تونل‌های اکتشافی از بالا به پایین است. به عنوان مثال در شکل ۱۶ــ۱، ابتدا تونل ۱ و در پی آن تونل‌های ۲و۳ 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 ۱۶ــ۲ تصویر نیمرخ شکل ۱۶ــ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۶ــ۲ــ تصویر نیمرخ (دید از پهلو) شکل ۱۶ــ۱

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. امّا 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.

۱۶ــ۲ــ۲ــ امتداد تونل : امتداد تونل عمود بر لایه، حتی المقدور عمود بر امتداد لایه‌ها، رگه‌ها و یا زون حاوی ماده معدنی در نظر گرفته می‌شود. علّت آن است که با این توجیه، تونل در فاصله کمتری به ماده معدنی می‌رسد.

۱۶ــ۲ــ۳ــ شیب تونل : اگر وضعیت ماده معدنی و توپوگرافی زمین مطابق شکل ۱۶ــ۱ 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. امّا 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 ایستابی 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 ۱۰۰۰متر 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.

۱۶ــ۲ــ۴ــ 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.

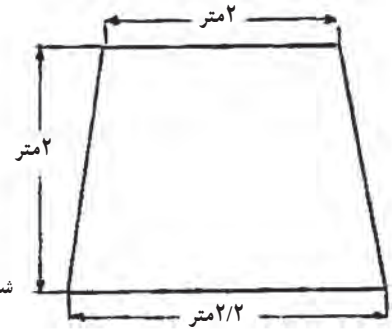
از آنجا که در بسیاری موارد، به ویژه اکتشاف کانسارهای زغال، سنگ‌ها ریزشی‌اند و نیاز به نگهداری دارند لذا در این گونه موارد، از شکل ذوزنقه استفاده می‌کنند زیرا معمولاً تونل‌های اکتشافی را با قاب‌های چوبی نگهداری می‌کنند.

اگر تونل اکتشافی در همان مرحله اکتشاف برای مقاصد بهره‌برداری آینده نیز درنظر 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.

۱۶ــ۲ــ۵ــ 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 به‌آسانی انجام گیرد و نیز در صورت لزوم، در آینده بتوان از آن برای مقاصد استخراجی استفاده کرد.

مسایل 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 مترمربع است. یکی از مقاطع متداول تونل‌های اکتشافی در ایران در شکل ۱۶ــ۳ نشان داده شده است.



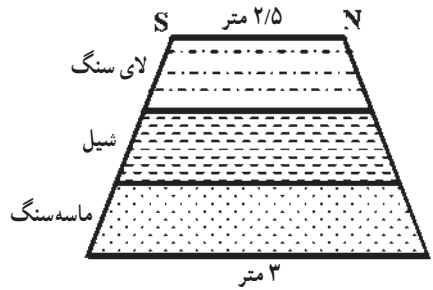
شکل ۱۶ــ۳ــ مقطع تونل‌های اکتشافی

۱۶ــ۲ــ۶ــ برداشت تونل : اطلاعات حاصل از تونل‌های اکتشافی، به علّت 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 شیل و لای‌سنگ، 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 (صرف‌نظر 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 شیل، لای‌سنگ و ماسه‌سنگ با امتداد شمالی، جنوبی و شیب به سوی شرق (به ترتیب از قدیم به جدید) دیده شود، نقشه جبهه کار تونل مشابه شکل **۱۶ــ۴** خواهد بود.



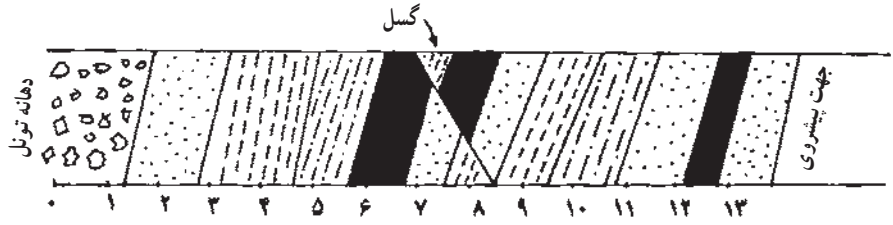
شکل ۱۶ــ۴ــ تصویر جبهه کار تونل عمود بر لایه که در آن سه لایه مشاهده می‌شود.

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 امّا 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 ۱۶ــ۵ نمونه‌ای از برداشت دیواره تونل را نشان می‌دهد.

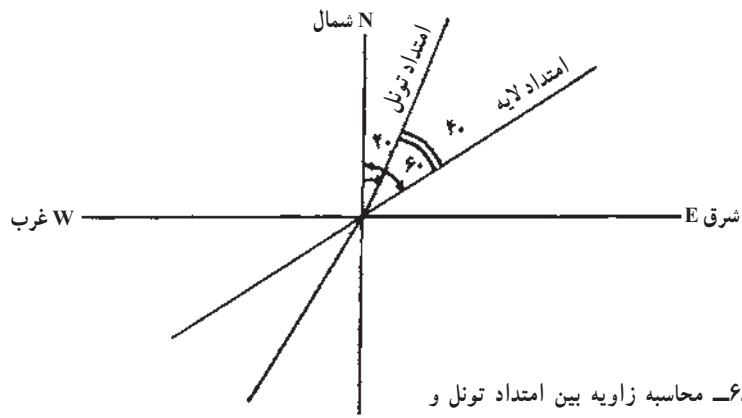


شکل ۱۶ــ ۵ ــ نمونه‌ای از نقشه دیواره تونل [۲۳].

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 علّت 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 ذوزنقه‌ای به ابعاد شکل ۱۶ــ۳ است، رسم کنیم. در این مورد نیز ابتدا باید مقیاس مناسبی انتخاب کرد که معمولاً این مقیاس ۱:۱۰۰ است. حال آزیموت تونل را اندازه می‌گیریم و فرض می‌کنیم که آزیموت آن Az۲۰ باشد. همان‌گونه که می‌دانیم، معنی این عدد آن است که امتداد تونل از شمال، ۲۰ درجه به سمت شرق منحرف شده است. حال امتداد لایه را که مرز آن مثلاً از حوالی ۱/۲ متری کف تونل شروع می‌شود، اندازه می‌گیریم و فرض می‌کنیم که امتداد آن N۶۰E باشد. با توجه به شکل ۱۶ــ۶، زاویه بین امتداد لایه در سقف تونل و امتداد تونل، برابر ۴۰ 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 ۲/۵ سانتیمتر از هم رسم می‌کنیم (چون عرض سقف تونل ۲/۵ متر است بنابراین تصویر آن با مقیاس ۱:۱۰۰ برابر ۲/۵ سانتیمتر خواهد شد). حال، اولین لایه را به‌گونه‌ای رسم می‌کنیم که از فاصله ۱/۲ متری شروع شود و با امتداد تونل زاویه ۴۰ درجه تشکیل دهد (شکل ۱۶ــ۶).

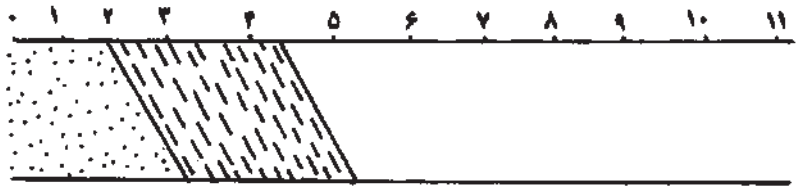


شکل ۱۶ــ۶ــ محاسبه زاویه بین امتداد تونل و امتداد لایه [۲۳].

با توجه به آنکه ضخامت ظاهری لایه در امتداد تونل ۲ متر است، بنابراین لایه تا فاصله ۳/۲=۲+۱/۲ 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 ۱۶ــ۷ نشان داده شده است حالت ایده‌آل و آرمانی دارد و در حالت کلی ممکن است امتداد تونل به صورت خط مستقیم نباشد. در چنین حالاتی، ابتدا باید تصویر افقی تونل را به کمک ایستگاه‌های نقشه‌برداری در روی نقشه رسم و آنگاه مشخصات سنگ‌ها را روی آن پیاده کرد.



شکل ۱۶ــ۷ــ رسم تصویر سقف تونل [۲۳]

۱۶ــ۲ــ۷ــ حفر دویل[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 دویل به سطح زمین (و در مورد طبقات پائین‌تر معدنی به طبقه بالاتر) ارتباط داشته باشند. دویل، 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 دویلی حفر می‌شود و این دویل‌ها 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 دویل 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، دویل حفر شود.

۱۶ــ۳ــ تونل‌های امتدادی[۲](موازی لایه)

۱۶ــ۳ــ۱ــ 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

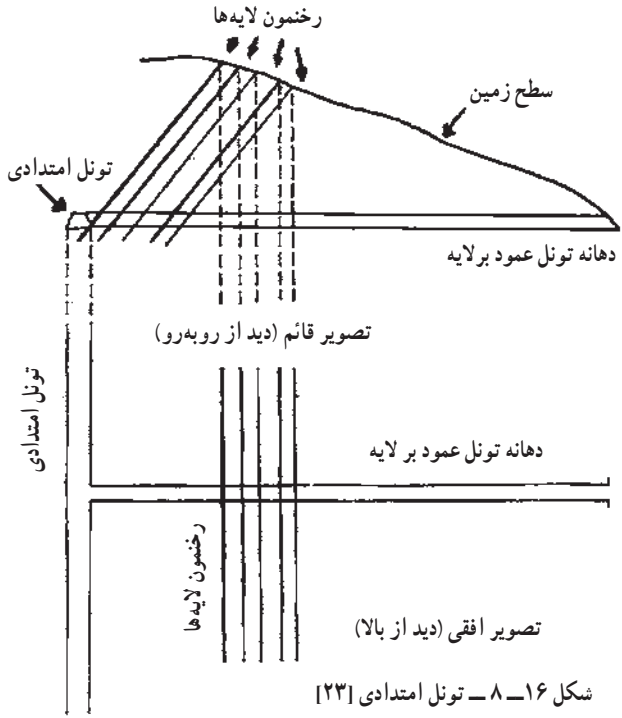
۱ــ raize ۲ــ strike

تونل حفر شده، در نقاط متعددی به ماده معدنی دسترسی یافت و از آن نمونه‌برداری 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. امّا 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 (شکل۱۶ــ۸). 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



شکل ۱۶ــ ۸ ــ تونل امتدادی [۲۳]

حفاری به وجود آورد و نه آنقدر سست و ریزشی که نگهداری تونل را با مشکل مواجه سازد.

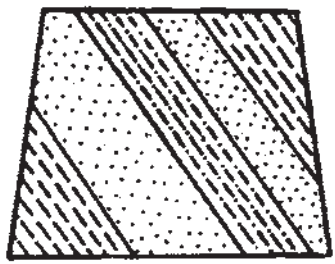
۱۶ــ۳ــ۲ــ مشخصات تونل‌های امتدادی: از جمله مهمترین مشخصات تونل‌های امتدادی، سطح مقطع و امتداد آنهاست که در ادامه به شرح آنها می‌پردازیم:

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 درنظر می‌گیرند. علّت 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 انحناهایی به این تونل‌ها داد. مجموعه این عوامل سبب می‌شود که تونل‌های امتدادی امتداد ثابتی نداشته و اغلب پرپیچ و خم باشند.

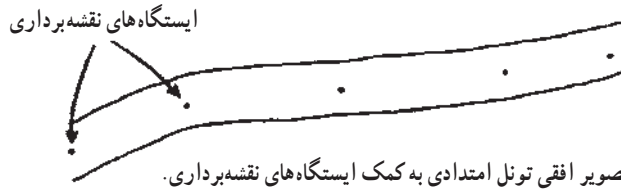
۱۶ــ۳ــ۳ــ برداشت تونل‌های امتدادی: برای آنکه اطلاعات حاصل از تونل‌های امتدادی را بتوان برای مطالعات آینده ثبت کرد، برداشت این تونل‌ها، هم از جبهه کار و هم از سقف انجام می‌گیرد.

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 ۱۶ــ۹ 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.



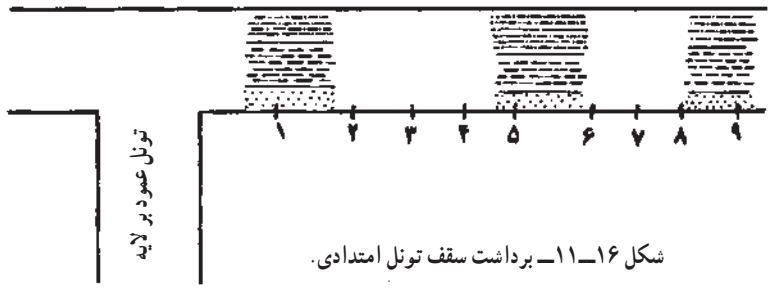
شکل ۱۶ــ۹ــ جبهه کار تونل امتدادی [۲۳].

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، امّا 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 درسقف تونل نصب می‌شود، این‌تصویر را به دست آورد (شکل ۱۶ــ۱۰).



شکل ۱۶ــ۱۰ــ 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 ذوزنقه‌ای به ابعاد شکل ۱۶ــ۳ و امتداد آن مستقیم باشد. در این حالت، اگر مقیاس نقشه مطابق معمول ۱۰۰ :۱ در نظر گرفته شود تصویر افقی این تونل، دو خط موازی به فاصله ۲/۵ سانتیمتر از یکدیگر خواهد بود (شکل ۱۶ــ۱۱).



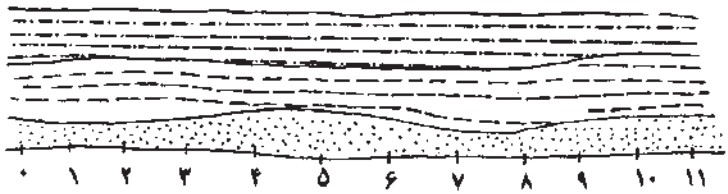
شکل ۱۶ــ۱۱ــ برداشت سقف تونل امتدادی.

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 ۵۰ سانتیمتر ماسه‌سنگ، ۱۲۰ سانتیمتر شیل و ۸۰ سانتیمتر لای‌سنگ 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 ۱۶ــ۱۲). 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 ۱۶ــ۱۲ به دست آورد.

بدیهی است آنچه که در شکل ۱۶ــ۱۲ نشان داده شده حالت ساده مسئله است و در حالت کلی، به علّت 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 ۱۶ــ۱۲ــ تصویر تکمیل شده سقف تونل امتدادی

۱۶ــ۳ــ۴ــ حفر دویل : 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) دویل‌هایی احداث کرد. برای آنکه حفر دویل آسان‌تر باشد و نیز از اطلاعات آن به عنوان یک حفریه اکتشافی استفاده شود، در محل احداث دویل، میان بر کوچکی حفر می‌کنند تا به لایه یا رگه مورد اکتشاف دست یابند و دویل را در داخل لایه احداث می‌کنند و حفر آن‌را تا سطح زمین ادامه می‌دهند.

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

۱۶ــ۴ــ میان‌برها[1]

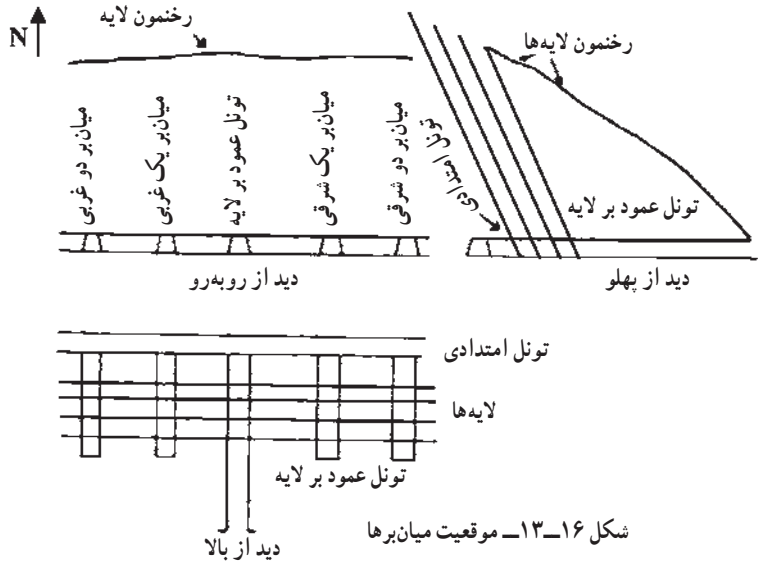
همان‌گونه که گفتیم، در مواردی که ماده معدنی از چندین لایه یا رگه تشکیل شده باشد، پس از خاتمه حفر تونل عمود بر لایه و هنگامی که تمام لایه‌ها یا رگه‌ها به وسیله این تونل قطع شد، در

۱ــ 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[1] 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 به طور متوسط ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر است. بهتر است میان‌برها نیز حتی‌المقدور در امتداد نیمرخ‌های اکتشافی حفر شوند زیرا دراین 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 ۱۶ــ۱۳ 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.



شکل ۱۶ــ۱۳ــ موقعیت میان‌برها

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

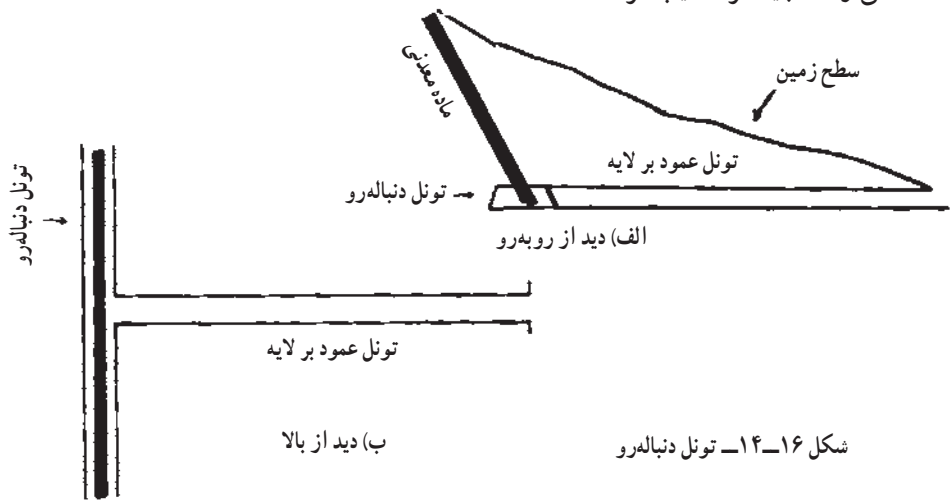
سطح مقطع میان‌برها معمولاً کمتر از تونل‌های امتدادی است و فقط باید به اندازه‌ای باشد که بتوان به آسانی آنها را برداشت و نمونه‌برداری کرد. امتداد آنها نیز حتی‌المقدور عمود بر امتداد عمومی لایه‌ها و بدین ترتیب، موازی تونل عمود بر لایه است.

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.

۱۶ــ۵ــ 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 ماده‌معدنی حفر می‌شود (شکل ۱۶ــ۱۴). 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 پرپیچ و خم‌اند. در واقع علّت نامگذاری این تونل‌ها هم به همین خاطر است زیرا به اصطلاح هرجا که ماده معدنی رفت، باید آنرا تعقیب کرد.

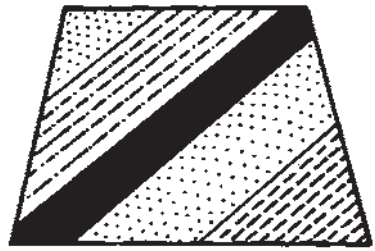


شکل ۱۶ــ۱۴ــ تونل دنباله‌رو

۱ــ drift

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 ۱۶ـ۱۵). معمولاً سطح مقطع تونل نسبت به موقعیت ماده معدنی را به‌گونه‌ای در نظر می‌گیرند که ماده معدنی در گوشه بالای تونل قرار گیرد. علّت 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 ۱۶ـ۱۵ـ تصویر جبهه کار تونل دنباله رو [۹۹]

خودآزمایی

۱ـ تونل عمود برلایه را تعریف کنید.

۲ـ تراز تونل عمود بر لایه را چگونه تعیین می‌کنند.

۳ـ شکل مقطع تونل‌های اکتشافی چگونه است.

۴ـ نحوه برداشت دیواره تونل‌های عمود بر لایه را شرح دهید.

۵ـ دویل چیست و در چه مواردی حفر می‌شود.

۶ـ تونل‌های امتدادی را شرح دهید.

فصل ۱۷

نمونه برداری

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که:
۱ ـ مراحل کلی نمونه‌برداری از حفریات اکتشافی را شرح دهد.
۲ ـ روش‌های مختلف نمونه‌برداری، را نام ببرد.
۳ ـ روش‌های مختلف نمونه‌برداری از گمانه‌ها را شرح دهد.
۴ـ مراحل آماده‌سازی نمونه را توضیح دهد.

۱۷ــ۱ــ 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.

۱ــ sampling

صرف‌نظر از نوع نمونه‌برداری که در ادامه به شرح آن خواهیم پرداخت، در مورد تمام روش‌های نمونه‌برداری مراحل مشابهی به شرح زیر وجود دارد :

الف) تهیه نمونه اولیه که حتی المقدور باید نمونه معرف[1] باشد.

ب) خلاصه کردن نمونه و کاهش حجم و وزن آن به گونه‌ای 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[2] و نمونه معرف است. به‌عنوان مثال اگر هدف بررسی دگرسانی یک محلول گرمابی بر سنگ میزبان خود باشد، باید کاملترین نمونه‌ای 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 می‌شود. بدیهی است چنین نمونه‌هایی، معرف کل کانسار نیستند بلکه نمونه شاخص آنند که برای مطالعات ویژه به کار می‌آیند. در این فصل هدف از نمونه، همان نمونه معرف است و برای سادگی از تکرار کلمه معرف خودداری می‌کنیم.

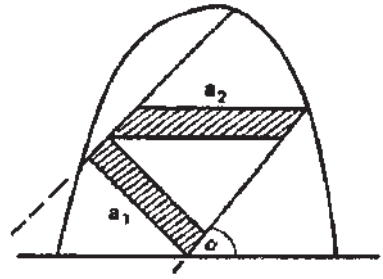
۱۷ــ۲ــ نمونه‌برداری شیاری[3]

این روش یکی از متداول‌ترین روش‌های نمونه‌برداری 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 می‌شود. بسته به وضعیت ماده معدنی، امتداد شیار نمونه‌برداری ممکن است قائم، افقی و یا مایل باشد (شکل ۱۷ــ۱). 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.

شکل ۱۷ــ۱ــ نمونه‌برداری شیاری [۲۴]

۱ــ representative sample ۲ــ specimen ۳ــ channel sampling

الف) امتداد نمونه‌برداری : 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 نمونه‌برداری در راستای ضخامت واقعی ماده معدنی توجیه شود، امّا از آنجا که در بسیاری موارد، امتداد حفریه 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 درنظر می‌گیرند (شکل‌های ۱۷ــ۱ و ۱۷ــ۲).



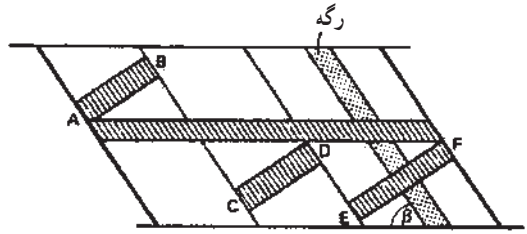
شکل ۱۷ــ۲ــ نمونه‌برداری شیاری از یک تونل دنباله‌رو [۳۷]

ب) محل نمونه‌برداری : در تونل‌های دنباله‌رو بهتر است شیار در جبهه کار پیشروی حفر شود. در مواردی که به علّت مسائل ایمنی یا علل دیگر نتوان از جبهه کار پیشروی نمونه‌گیری کرد، شیار نمونه‌برداری را در سقف تونل دنباله‌رو حفر می‌کنند.

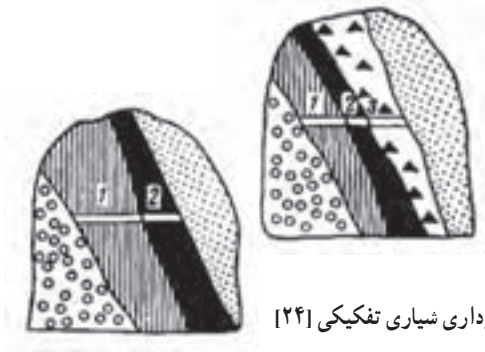
در ترانشه‌ها، تونل‌های عمود بر لایه و میان‌برها، شیار نمونه‌برداری در دیواره آنها حفر می‌شود. اگر وضعیت ماده معدنی در دو دیواره این قبیل حفریات یکسان باشد، یک نمونه از یکی از دو دیواره کافی است امّا اگر وضعیت ماده معدنی در این دو دیواره متفاوت باشد، باید از هر دو دیواره، نمونه شیاری تهیه شود.

در چاهک‌ها و تونل‌های مورب نیز، شیار در دو دیواره حفر 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 ۱۷ــ۳ و ۱۷ــ۴).



شکل ۱۷ــ۳ــ نمونه‌برداری شیاری تفکیکی از دیواره یک تونل دنباله‌رو [۳۷].



شکل ۱۷ــ۴ــ نمونه‌برداری شیاری تفکیکی [۲۴]

د) ابعاد نمونه شیاری : ابعاد شیار نمونه‌برداری به وضعیت ماده معدنی و ضخامت آن بستگی دارد. درجدول ۱۷ــ۱ ابعاد مناسب شیار، درج شده است.

جدول ۱۷ــ۱ــ ابعاد شیار نمونه‌برداری در حالات مختلف [۲۴]

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

۱۷ــ۳ــ نمونه‌برداری 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 امکان‌پذیر نیست. در چنین مواردی می‌توان از روش نمونه‌برداری

۱ــ 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 ترانشه‌ها، اگر ماده معدنی به حالت منظم در کف ترانشه دیده شود، نمونه لایه‌ای را می‌توان از کف ترانشه 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 امّا 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 علّت، این روش را به جز در مواردی که به ناچار باید از آن استفاده کرد، به کار نمی‌برند.

۱۷ــ۴ــ نمونه‌برداری نقطه‌ای[۱] یا لب‌پری[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 واگونهای 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].

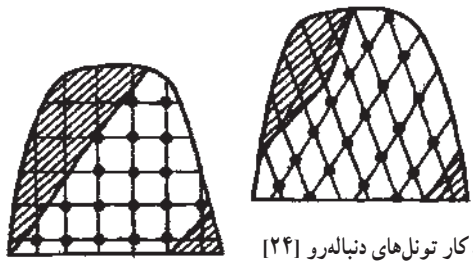
یکی از موارد استفاده از این روش، نمونه‌برداری از جبهه کار تونل‌های اکتشافی دنباله‌رو است که امکان دارد تمام یا بخش عمده‌ای از سطح مقطع تونل در داخل ماده معدنی حفر شود. بدیهی است

۱ــ point sampling ۲ــ 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 ۱۷ــ۵). 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 امّا به عنوان یک راهنمای اولیه می‌توان از اعداد مندرج در جدول ۱۷ــ۲ استفاده کرد [۲].

جدول ۱۷ــ۲ــ تعداد و وزن قطعات نمونه در حالات مختلف [۲۴]

وضعیت کانی سازی	تعداد تکه‌ها	وزن تکه‌ها گرم	وزن کلی نمونه کیلوگرم
خیلی منظم و منظم	۱۶ــ۱۲	۱۲۰	۲ــ۱/۵
نامنظم	۲۵ــ۲۰	۲۵۰	۶ــ۵
خیلی نامنظم	۵۰ــ۳۶	۵۰۰	۲۵ــ۱۸



شکل ۱۷ــ۵ ــ 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.

۱۷ــ۵ــ نمونه‌برداری کلوخه‌ای[۱]

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

۱ــ 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 درنظر 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 علّت‌های 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 به طور 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 هرچقدر قطعات سنگ درشتر و قطعات کانی یا کانه نیز بزرگتر باشد، به همان نسبت وزن بیشتری از کانسنگ به عنوان نمونه معرف مورد نیاز است [۳۸].

۱۷ــ۶ــ نمونه‌برداری از گمانه‌ها

همان‌گونه که دیدیم، گمانه‌ها جزو مهم‌ترین حفریات 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[1] 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.

۱ــ 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.

۱۷ــ۷ــ 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 علّت 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 ایستابی 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].

۱۷ــ۸ــ 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 نمونهٔ 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 ترانشه‌هایی 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 ترانشه به‌دست می‌آورند و بنابراین شکل کپه به‌دست می‌آید که می‌توان حجم و وزن آن را به روش‌های هندسی محاسبه کرد.

۱۷ــ۹ــ 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.

۱۷ــ۹ــ۱ــ خرد کردن نمونه : اولین قدم در آماده‌سازی نمونه، خرد کردن آن است. معمولاً نمونه در چند مرحله به قطعات درشت (۱۰۰ تا ۳۰ میلیمتر)، متوسط (۱۲ تا ۵ میلیمتر) کوچک (۳ تا ۰/۷ میلیمتر) و ریز (۰/۱۵ تا ۰/۰۷ میلیمتر) خرد می‌شود.

۱۷ــ۹ــ۲ــ 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

۱ــ pipe sampling ۲ــ 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 به‌گونه‌ای کاهش داد که همواره حالت معرف بودن خود را حفظ کند و این عمل را خلاصه کردن[1] نمونه می‌گویند. خلاصه کردن نمونه به روش‌های مختلف انجام می‌گیرد که در ادامه به شرح آنها می‌پردازیم :

الف) خلاصه کردن به روش جمع‌آوری[2] : این روش برای خلاصه کردن نمونه‌های خیلی بزرگ مثل نمونه‌های کلی، به کار می‌رود. طرز کار بدین ترتیب است که ضمن حمل نمونه کلی به‌وسیله 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.

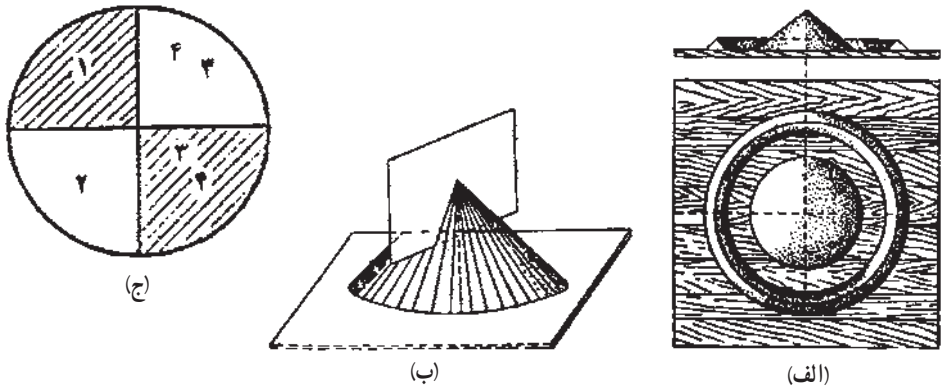
ب) خلاصه کردن به روش چهارقسمتی[3] : در این روش، نمونه خرد شده را روی یک صفحه فلزی صاف می‌ریزند و آن را به شکل مخروطی درمی‌آورند (شکل ۱۷ــ۶ــ الف). سپس تقسیم کننده‌ای را که از دو تکه تخته یا دو ورق فلزی عمود برهم تشکیل شده است، از رأس مخروط به داخل نمونه فرومی‌برند و بدین‌ترتیب آن را به چهار قسمت تقسیم می‌کنند (شکل ۱۷ــ۶ــ ب). حال، دو قسمت روبروی هم (مثلاً قسمت‌های ۱ و۳ 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 و۴) را برمی‌دارند و این عمل را آنقدر ادامه می‌دهند تا حجم نمونه باقیمانده، به حد مورد نظر برسد.

ج) خلاصه کردن به کمک تقسیم کننده[4] : در این روش، از جعبه پایه‌دار مخصوصی استفاده می‌شود که دو ردیف سوراخ در طرفین حفره دارد (شکل ۱۷ــ۷). در دو طرف سوراخ‌های جعبه، دو ظرف قرار می‌دهند و نمونه پودر شده را به داخل جعبه می‌ریزند و نیمی از نمونه به داخل هریک از ظرف‌ها می‌ریزد و بنابراین، اگر این عمل به دفعات انجام شود، حجم نمونه به میزان مورد نظر کاهش می‌یابد.

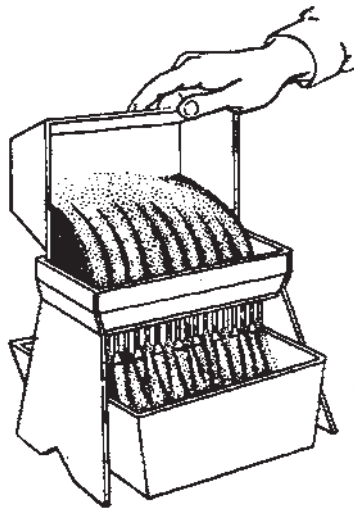
د) خلاصه کردن به کمک توری: این روش برای خلاصه کردن نمونه‌های پودر شده در آزمایشگاه به کار می‌رود و طی آن، نمونه را روی یک سطح صاف پهن می‌کنند و یک توری به ابعاد ۲×۲ سانتیمتر را روی آن می‌اندازند. سپس به کمک قاشق، از وسط هریک از مربع‌های توری، مقداری نمونه برمی‌دارند. مجموعه این نمونه‌ها، خلاصه شده نمونه اصلی را تشکیل می‌دهد.

باید توجه داشت که عمل خلاصه کردن نمونه در چندین مرحله مختلف انجام می‌گیرد و هربار نمونه خلاصه شده مجدداً خرد و خلاصه می‌شود.

۱ــ reduction of sample ۲ــ integral multiple reduction ۳ــ quartering ۴ــ splitter



شکل ۱۷ــ۶ــ خلاصه کردن نمونه به روش چهارقسمتی [۲۴]



شکل ۱۷ــ۷ــ خلاصه کردن به کمک تقسیم کننده[۲۴]

۱۷ــ۱۰ــ 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، امّا 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 عیار 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.
هـ) تعیین خواص فیزیکی و شیمیایی مورد نظر.

خودآزمایی

۱ـ مراحل کلی نمونه‌برداری را نام ببرید.
۲ـ نمونه‌برداری شیاری در چه مواردی به کار می‌رود؟
۳ـ مشخصات روش نمونه‌برداری شیاری را شرح دهید.
۴ـ امتیاز و عیب روش نمونه‌برداری لایه‌ای را شرح دهید.
۵ـ مراحل آماده‌سازی نمونه را نام ببرید.
۶ـ روش‌های خلاصه کردن نمونه را شرح دهید.

فصل ۱۸

محاسبه ذخیره

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که:
۱ـ مشخصه‌های اصلی محاسبه ذخیره را نام ببرد.
۲ـ روش‌های مختلف محاسبه ذخیره را توضیح دهد.
۳ـ رده‌بندی ذخایر محاسبه شده را نام ببرد.

۱۸ــ۱ــ 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 معدنی‌هنگامی به‌دست می‌آید که آخرین ذرات ماده‌معدنی 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 پی‌جویی، اکتشافات عمومی و اکتشاف تفصیلی اعدادی به عنوان ذخیره آن مرحله ارائه می‌شود که

در حالت کلی با هم متفاوت‌اند و نیز حدود تغییرات آنها با هم تفاوت دارد.

۱۸ــ۲ــ مشخصه‌های اصلی محاسبه ذخیره

برای محاسبه ذخیره کانسار به روشهای کلاسیک، ابتدا باید آن‌را به قسمت‌هایی که مشخصات ماده معدنی در آنها کمابیش یکنواخت باشد تقسیم کرد و در مورد هر منطقه، ابتدا وزن کانسنگ را به‌دست آورد و از حاصل‌ضرب 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 :

$$P = WG \qquad (۱ــ۱۸)$$

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 به‌کار نمی‌رود، ذخیره کانسار)، از رابطه زیر حاصل می‌شود :

$$W = V\gamma \qquad (۲ــ۱۸)$$

که در آن V حجم و γ وزن مخصوص ماده معدنی است.

حجم ماده معدنی از رابطه زیر به‌دست می‌آید :

$$V = At \qquad (۳ــ۱۸)$$

که در آن A سطح مقطع ماده معدنی و t ضخامت واقعی آنست.

بدین‌ترتیب، برای محاسبه ذخیره، باید عناصراصلی کانسار را که عبارت از ضخامت، سطح، وزن مخصوص و عیار است در دست داشت و از حاصل‌ضرب آنها، ذخیره را به دست آورد. در ادامه چگونگی تعیین این عناصر تشریح شده است.

۱۸ــ۳ــ محاسبه ذخیره به روش میانگین حسابی

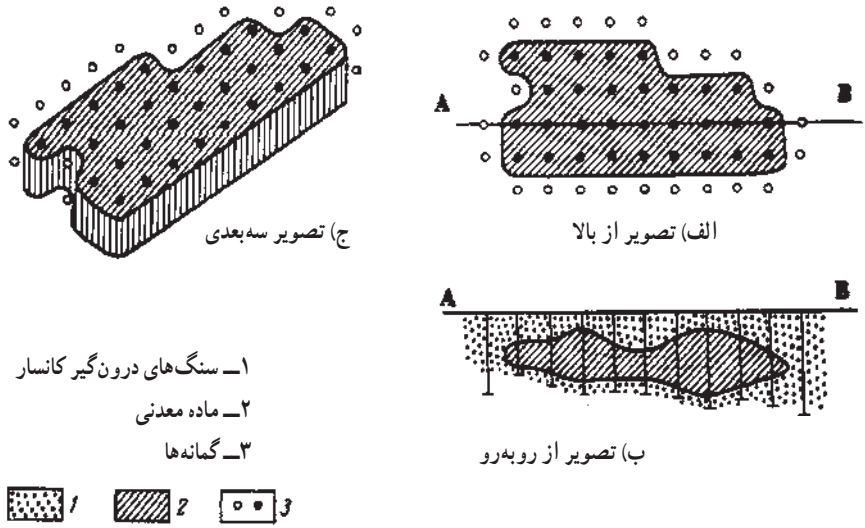
روش میانگین حسابی[۱]، ساده‌ترین روش محاسبه ذخیره است و هنگامی به‌کار می‌رود که مشخصات کانسار در قسمت‌های اکتشاف شده، کمابیش یکسان و عاملی برای تفکیک آن به قطعه‌های مختلف در دست نباشد.

در این روش، میانگین حسابی مشخصات کانسار در حفریات اکتشافی موجود محاسبه شده و نتایج حاصله به عنوان مشخصات کلی کانسار در نظر گرفته می‌شود (شکل ۱۸ــ۱).

۱ــ arithmatic 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 ۱۸ــ۱ــ ب است، امّا آن را با لایه‌ای با ضخامت ثابت مانند شکل ۱۸ــ۱ــ 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، به‌کار می‌رود و خطای زیادی دارد.

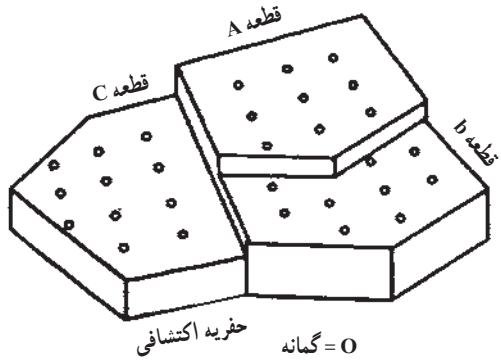


شکل ۱۸ــ۱ــ روش میانگین حسابی [۲۴]

۱۸ــ۴ــ محاسبه ذخیره روش قطعه‌های زمین‌شناسی

در مواردی که اطلاعات زمین‌شناسی کافی باشد به‌طوری که بتوان کانسار را به قطعه‌هایی تقسیم کرد که از نظر زمین‌شناسی وضعیت مشابهی داشته باشند، روش قطعه‌های زمین‌شناسی[۱] به‌کار می‌رود. از آنجا که برخلاف روش میانگین حسابی، در این روش، جامعه کلی کانسار به جوامع کوچک‌تری تقسیم شده است که هرکدام در محدوده خود یکنواخت‌تراند و تغییرپذیری کمتری دارند، لذا دقت این روش بیشتر از روش میانگین حسابی است امّا به هر حال، جزو روش‌های دقیق نیست و تنها در مراحل شناسایی و پی‌جویی که اطلاعات عمدتاً داده‌های زمین‌شناسی است، به‌کار می‌رود (شکل ۱۸ــ۲).

۱ــ geological blocks



شکل ۱۸ــ۲ــ روش قطعه‌های زمین‌شناسی [۴۱]

درشکل ۱۸ــ۲، محدوده کلی کانسار براساس اطلاعات حاصل از حفریات اکتشافی، به سه قطعه A، B و C تقسیم شده است. بدیهی است شکل واقعی کانسار این چنین نیست و شکل ۱۸ــ۲، 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.

۱۸ــ۵ــ محاسبه ذخیره به روش قطعه‌های معدنی

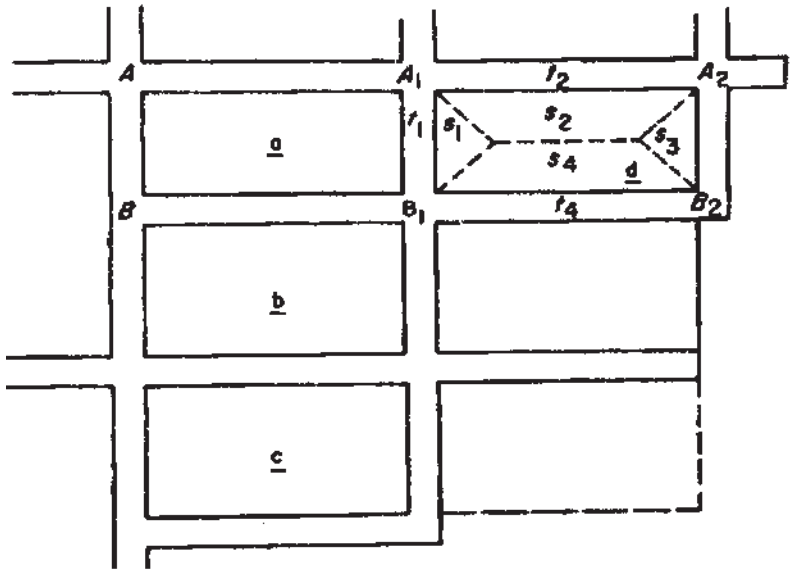
اگرچه روش‌های قطعه‌های معدنی[۱] از جمله دقیق‌ترین روش‌های محاسبه ذخیره است، امّا در عین حال، در تمام موارد قابل استفاده نیست. این روش در مواردی به کار می‌رود که ماده معدنی با استفاده از تونل‌های اکتشافی، اکتشاف شده باشد و بنابراین فقط در اواخر مرحله اکتشاف تفصیلی قابل استفاده است. همچنین، این روش را می‌توان در مرحله اکتشاف حین استخراج، برای محاسبه ذخیره پهنه‌های آماده استخراج به‌کار برد.

۱۸ــ۵ــ۱ــ حالتی که قطعات از چهار طرف اکتشاف شده باشند : مطابق شکل ۱۸ــ۳، با حفر تعدادی تونل دنباله‌رو و دویل، ماده معدنی به قطعاتی تقسیم شده است. در مورد هر قطعه مثلاً قطعه $A_1A_2B_1B_2$، با رسم نیمساز حفریات اکتشافی متقاطع، منطقه تأثیر[۲] هریک از حفریات به‌دست می‌آید.

۱ــ mining blocks

۲ــ منطقه تأثیر هر حفریه اکتشافی محدوده‌ای است که مشخصات ماده معدنی حفریه را به آن محدوده تعمیم می‌دهند. به‌عنوان مثال در شکل ۱۸ــ۳، منطقه تأثیر دویل 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 به‌دست می‌آید. به عنوان مثال، در شکل ۱۸ــ۳، قطعه $A_1A_2B_1B_2$ مرکب از دو مثلث S_1 و S_3 و دو ذوزنقه S_2 و S_4 است که مساحت آنها را به سادگی می‌توان محاسبه کرد.



شکل ۱۸ــ۳ــ روش قطعه‌های معدنی [۴۱]

ب) محاسبه ضخامت، وزن مخصوص و عیار: در این حالت، میانگین حسابی مشخصات ماده معدنی در حفریه مجاور هر قطعه، برای آن قطعه تعمیم داده می‌شود. به عنوان مثال در شکل ۱۸ــ۳، میانگین حسابی ضخامت، وزن مخصوص و عیار در دویل A_1B_1 برای قطعه S_1 و میانگین حسابی این مشخصات در تونل دنباله‌رو B_1B_2 به قطعه S_4 نسبت داده می‌شود. بدیهی است اگر در مورد هریک از جزء قطعات، گمانه‌هایی نیز ماده معدنی را قطعه کرده باشند، از اطلاعات آنها نیز در محاسبه میانگین حسابی استفاده می‌کنند.

ج) محاسبه ذخیره: ذخیره هریک از جزء قطعات تفکیک شده از حاصل‌ضرب عناصر هر قطعه محاسبه شده و از جمع آنها، ذخیره قطعات به دست می‌آید. ذخیره کلی بخش اکتشاف شده کانسار نیز از مجموع ذخایر قطعات حاصل می‌شود.

۱۸ــ۶ــ رده‌بندی ذخایر

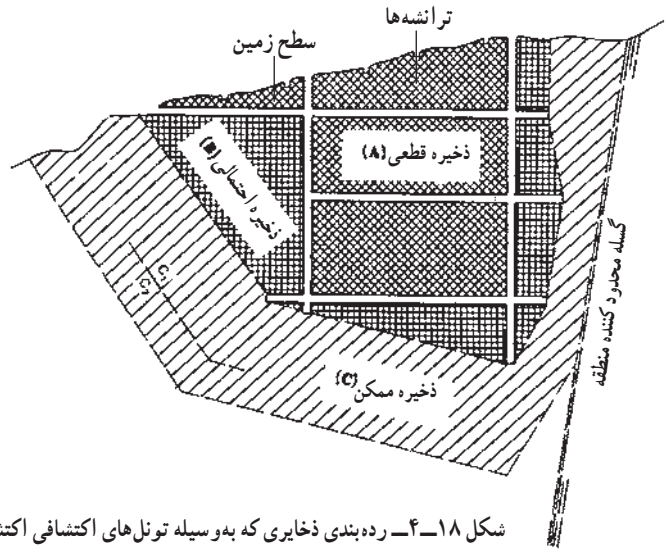
اگرچه همواره سعی می‌شود که ذخیره محاسبه شده حتی‌المقدور به واقعیت نزدیک و اعتبار بالایی داشته باشد امّا به هر حال، محاسبه ذخیره با خطا همراه است و هیچ‌گاه ذخیره محاسبه شده، ذخیره واقعی ماده معدنی نیست و با آن تفاوت دارد.

برای رده‌بندی 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.

۱۸ــ۶ــ۱ــ تقسیم‌بندی قدیم : این تقسیم‌بندی که تا سال ۱۳۸۷ در ایران متداول بود و هم‌اکنون نیز بسیاری از افراد آن را به‌کار می‌برند، بسته به نوع حفریات اکتشافی و خطای محاسبه ذخیره، ذخایر محاسبه شده را به سه رده قطعی (A)، احتمالی (B) و ممکن (C) تقسیم می‌کند. بسته به نوع حفریات اکتشافی مبنای رده‌بندی تا حدودی متفاوت است :

الف) هنگامی که کانسار به وسیله تونل‌های اکتشافی اکتشاف شده باشد.

در این موارد، بسته به وضعیت تونل‌های اکتشافی، ذخایر را به رده‌های زیر تقسیم می‌کنند (شکل ۱۸ــ۴).



شکل ۱۸ــ۴ــ رده‌بندی ذخایری که به‌وسیله تونل‌های اکتشافی اکتشاف شده‌اند [۹۹]

ــ ذخایر قطعی[۱] یا ذخایر گروه A : آن قسمت از ماده‌معدنی که از چهار طرف به وسیله تونل‌های دنباله‌رو و دویل اکتشاف شده باشد، در این رده جای می‌گیرد.

۱ــ proved (measured) reserves

ـ ***ذخایر احتمالی[1] یا ذخایر گروه B :*** قسمت‌هایی از ماده معدنی که از دو طرف به وسیله تونل‌های اکتشافی، اکتشاف شده باشد، تحت این رده تلقی می‌شوند.

ـ ***ذخایر ممکن[2] 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 کم‌عمق‌تر، که به وسیله شبکه انبوه‌تری از گمانه‌ها اکتشاف شده‌اند، در گروه فرعی C_1 و بخش‌های عمیق، در گروه C_2 جای می‌گیرند (شکل ۱۸ـ۴).

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 ۱۸ـ۱ تقسیم می‌کنند [۹۹] :

جدول ۱۸ـ۱ـ رده‌بندی ذخایری که به وسیله گمانه اکتشاف شده‌اند [۹۹].

رده ذخیره	درصد خطا
قطعی (A)	۱۵ تا ۲۰
احتمالی (B)	۲۰ تا ۳۰
ممکن (C_1)	۳۰ تا ۶۰
ممکن (C_2)	۶۰ تا ۹۰

۱۸ـ۶ـ۲ـ 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 ۱۸ـ۲ مبنای رده‌بندی قرار می‌گیرد [۴۳].

جدول ۱۸ـ۲ـ مبانی رده‌بندی ذخایر معدنی براساس قوانین جدید [۴۳].

مطالعات اکتشافی		مطالعات امکان‌سنجی		مطالعات اقتصادی	
مرحله	کد	مرحله	کد	مرحله	کد
اکتشاف تفصیلی	۱	امکان‌سنجی	۱	اقتصادی	۱
اکتشاف عمومی	۲	پیش امکان‌سنجی	۲	دارای پتانسیل اقتصادی	۲
پی‌جویی	۳	فرصت‌سنجی	۳	بالقوه اقتصادی	۳
شناسایی	۴				

۱ـ Probable (indicated) reserves

۲ـ Possible (inferred) reserves

مطابق جدول ۱۸ــ۲، 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

۱ـ مشخصه‌های اصلی محاسبه ذخیره را شرح دهید.

۲ـ روش میانگین حسابی در چه مواردی به‌کار می‌رود؟

۳ـ در مواردی که کانسار به وسیله تونل‌های اکتشافی اکتشاف شده باشد از چه روشی استفاده می‌شود؟

۴ـ روش‌های مختلف محاسبه ذخیره را نام ببرید.

۵ـ روش مقاطع قائم در چه مواردی به کار می‌رود؟

۶ـ مبنای رده‌بندی ذخایر در روش جدید چیست؟

فهرست منابع

[۱]ـ یعقوب‌پور، عبدالمجید (۱۳۸۰)، مبانی زمین‌شناسی اقتصادی (چاپ پنجم)، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی

[2]ـ Dorokhin I.V.ـ Bogacheva E.N. (1969), Economic Mineral Deposits, Higher School Publication House Moscow.

[۳]ـ عرفانی، حسین (۱۳۵۲)، زمین‌شناسی اقتصادی کانسارها، انتشارات دانشگاه تهران

[4]ـ Smirnov (1976), Geology of Mineral Deposits, Mir Publishers, Moscow.

[۵]ـ مدنی،حسن (۱۳۸۸)ـ عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر زغال‌سنگ، انتشارات کانون پرورش فکری کودکان ونوجوانان

[6]ـ Crickmer, Douglas F.ـ Zegeer David A. (1981), Elements of Practical Coal Mining, S.M.E. Inc. New york.

[۷]ـ معماریان،حسین(۱۳۸۶)،سفرنفت،انتشارات کانون پرورش فکری کودکان و نوجوانان

[۸]ـ معماریان، حسین (۱۳۵۹)، فرآیندهای درونی تغییر دهنده پوسته زمین (۱)، انتشارات دانشگاه آزاد ایران

[۹]ـ مدنی، حسن ـ شفیقی، سرویس (۱۳۹۰)، زمین‌شناسی عمومی (چاپ سی‌ام)، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر

[10]ـ Bryan, Sir Andrewـ Bulger, Jermy (1989), Coal Technology for Britaine's Future, Mcmilillan, London Limited.

[۱۱]ـ راهنمای تهیه گزارش‌های طراحی معدن (۱۳۸۸)، برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن، وزارت صنایع و معادن، معاونت امور معادن و صنایع معدنی

[۱۲]ـ مدنی، حسن ـ یعقوب‌پور، عبدالمجید (۱۳۸۸)، تخمین و ارزیابی ذخایر معدنی ـ چاپ سوم، انتشارات دانشگاه پیام نور

[۱۳]ـ حسینی، علیرضاـ رشیدی یزد، سعید ـ شهریاری، محمد ـ مدنی، حسن ـ معماریان، حسین (۱۳۶۰)، بررسی صنعت آلومینیوم، انتشارات شرکت آلومیران ـ سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران

[14]ـ Lewis, S. Robert, EM. (1964), Elements of Mining, John Wiley and Sons, Inc.

[۱۵]ـ قانون معادن (۱۳۷۷)، وزارت معادن و فلزات

[۱۶]ـ مدیری، مهدی (۱۳۷۵)، اشاره‌ای به مبانی و اصول دورکاوی، انتشارات سازمان جغرافیایی وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح

[۱۷]ـ جاهد، فرشید (۱۳۷۴)، چشمی در آسمان، مقاله مندرج در روزنامه همشهری شماره ۸۹۱

[18]ـ Curran, Paul J.(1988), Principles of Remote Sensing, Longman Scientific and Technical.

[19]ـ Wikipedia (2010), The Free Encyclopedia.

[20]ـ Lo,C.P. (1987), Applied Remote Sensing, Longman Scientific and Technical.

[21]ـ Dobrin, Milton B., (1988), Introduction to Geophysical Prospecting, 4th.ed. Mc Graw_Hill.

[22]ـ Compton, Robert R. (1962), Manual of Field Geoloy, John Wiley & Sons, Inc.

[۲۳]ـ مدنی،حسن(۱۳۷۶)، اصول پی‌جوئی، اکتشاف و ارزیابی ذخایر معدنی، چاپ چهارم

[24]ـ Kreiter, V. M (2004), Geological Prospecting and Exploration, Mir Publisher.

[۲۵]ـ ورشوچی‌فرد، وحید ـ محمدزاده، محمد جعفرـ فلاحت، رضا (۱۳۸۵)، ثبت آلتراسیون‌های هیدروترمال با استفاده از تصاویر آستر در منطقه ورزقان، مجموعه مقالات بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین

[۲۶]ـ دورتی،هارپر (۱۹۷۶)، چشمی در آسمان، ترجمه احمد اکلیـ مرتضی قادری (۱۳۶۳)، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی

[27]ـ Solove, A. P. (2004), Geochemical Prospecting, Mir Publishers.

[۲۸]ـ حسنی پاک، علی‌اصغر (۱۳۸۵)، اصول اکتشافات ژئوشیمیایی، انتشارات دانشگاه تهران

[۲۹]ـ 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]ـ 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 حفریات 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 Approch, 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 Bureaue 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