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)

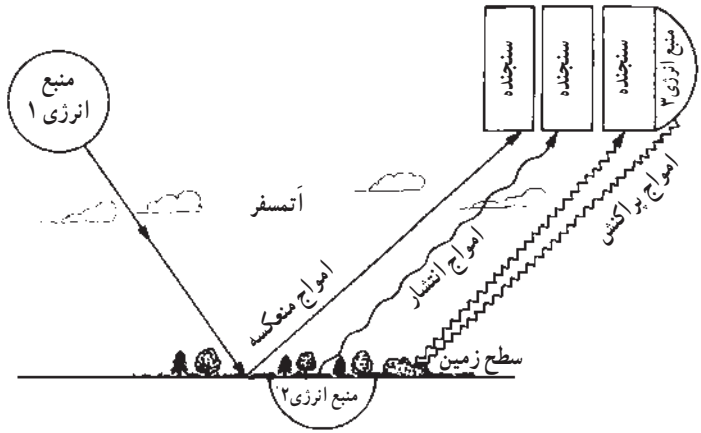
ب) رفتار متقابل سطح زمین[1] : مقدار و ویژگی‌های تشعشعی که از زمین خارج و یا در سطح آن منعکس می‌شود، به مشخصات اجسامی که در سطح زمین قرار دارند، وابسته است.

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

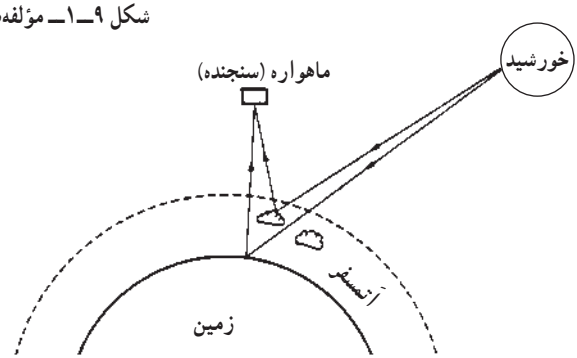
د) سنجنده[2] : تشعشعات الکترومغناطیسی که تحت تأثیر رفتار متقابل سطح زمین و آتمسفر قرار گرفته‌اند، به وسیله سنجنده‌ها ثبت می‌شوند. سنجنده ممکن است یک رادیومتر و یا یک دوربین عکاسی باشد. از آنجا که نتیجه ثبت شده به وسیله سنجنده‌ها تابع خواص مواد موجود در سطح زمین است لذا با تعبیر و تفسیر نتایج می‌توان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

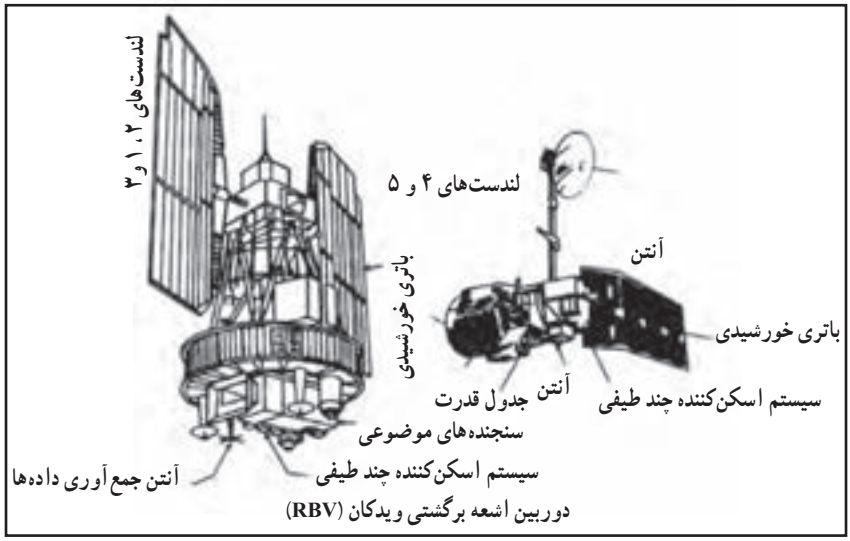


شکل ۹ــ۲ــ نمودار ساده یک سیستم دورسنجی [۱۶].

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.

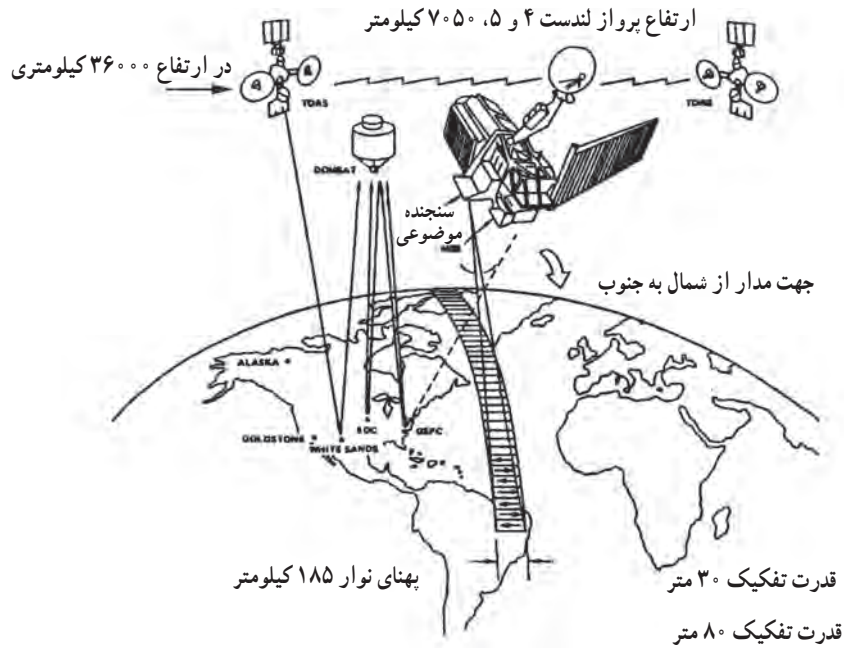
۹ــ۴ــ نحوه ارسال اطلاعات از ماهواره به ایستگاه‌های زمینی

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].

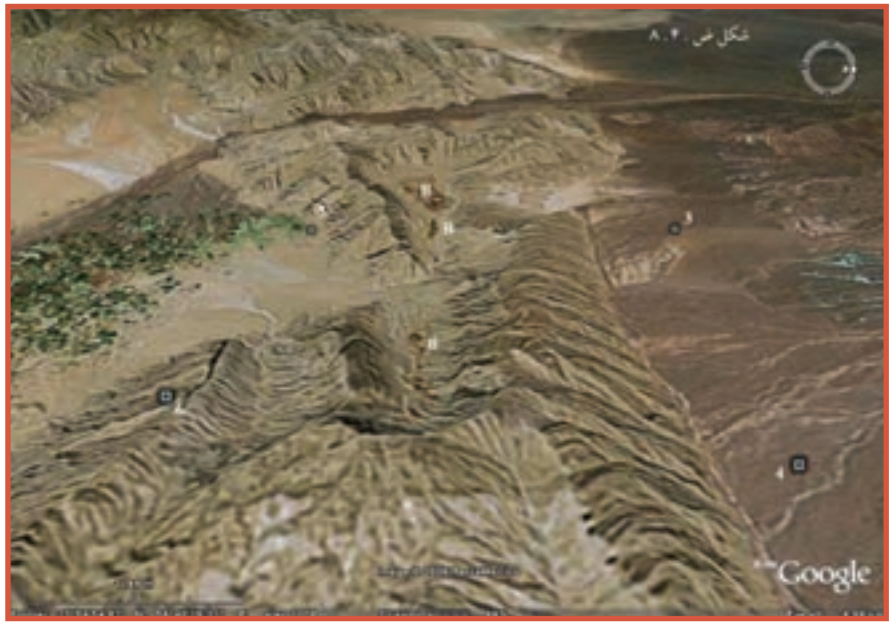
۹ــ۵ــ کاربرد داده‌های ماهواره‌ای در مطالعات اکتشافی

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

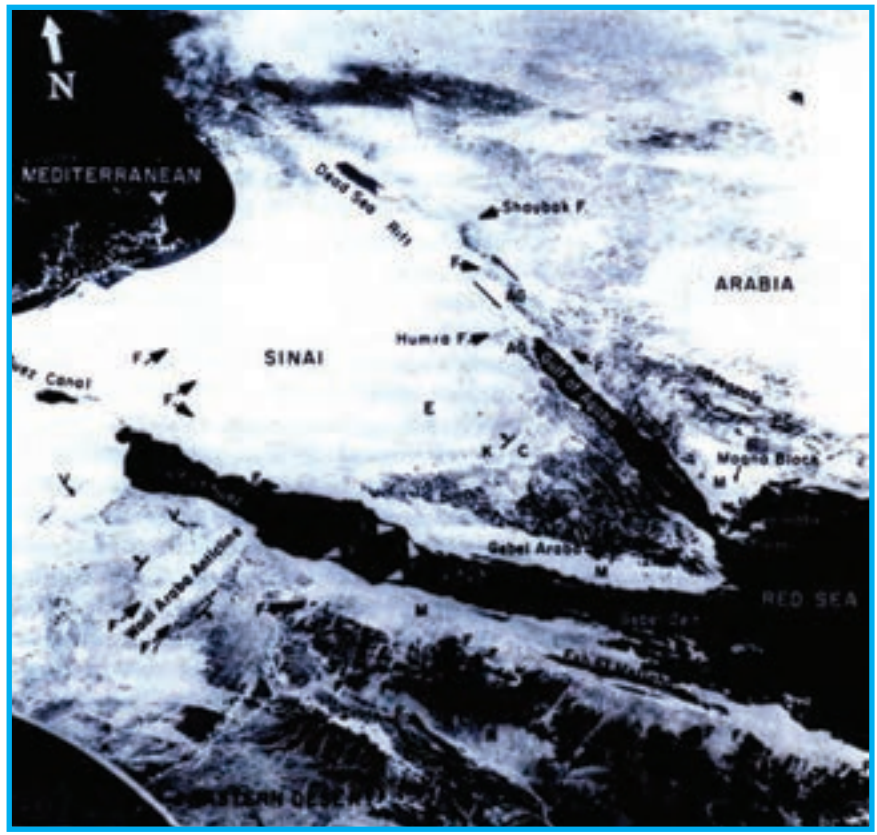
۹ــ۵ــ۲ــ سنگ‌شناسی: در اکثر تصاویر ماهواره‌های لندست، انواع مختلف سنگ‌های رسوبی، آذرین و دگرگونی را می‌توان شناسایی کرد. البته تشخیص نوع سنگ‌ها (به‌ویژه سنگ‌های رسوبی مثل

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.

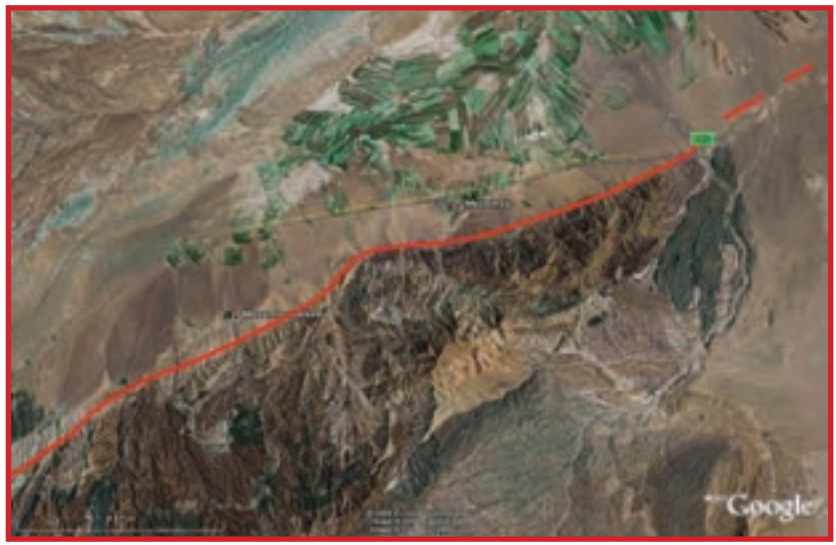
سنگ‌هایی را که دگرسان شده‌اند، در تصاویر ماهواره‌ای می‌توان به خوبی تشخیص داد.

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.

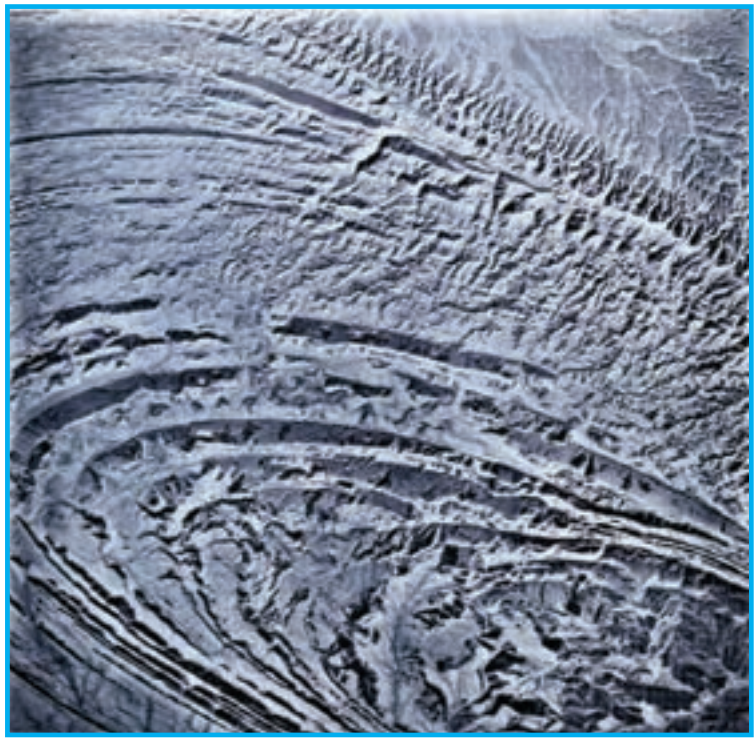
۱۰ــ۱ــ آشنایی

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.

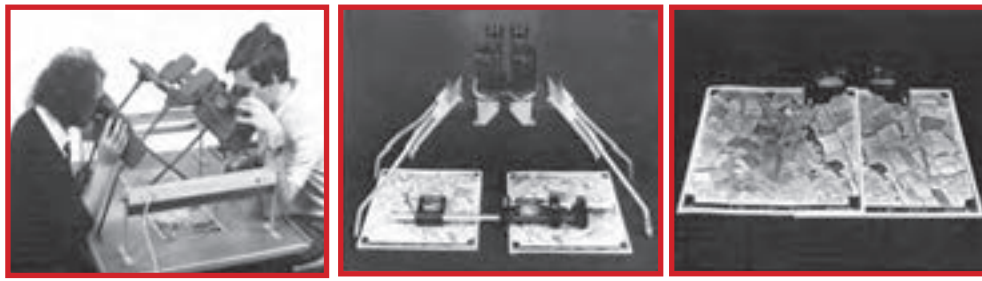
اگرچه هزینه عکسبرداری هوایی رنگی و متعاقب آن ظهور و ثبوت این عکس‌ها در مقایسه با انواع سیاه و سفید زیاد است، با این وجود، این عکس‌ها آنچنان کاربرد گسترده‌ای در کشاورزی، جنگل شناسی، زیست بوم‌شناسی، آب‌شناسی، زمین ریخت‌شناسی و زمین‌شناسی دارند که تهیه آنها کاملاً از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر است. این عکس‌ها،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

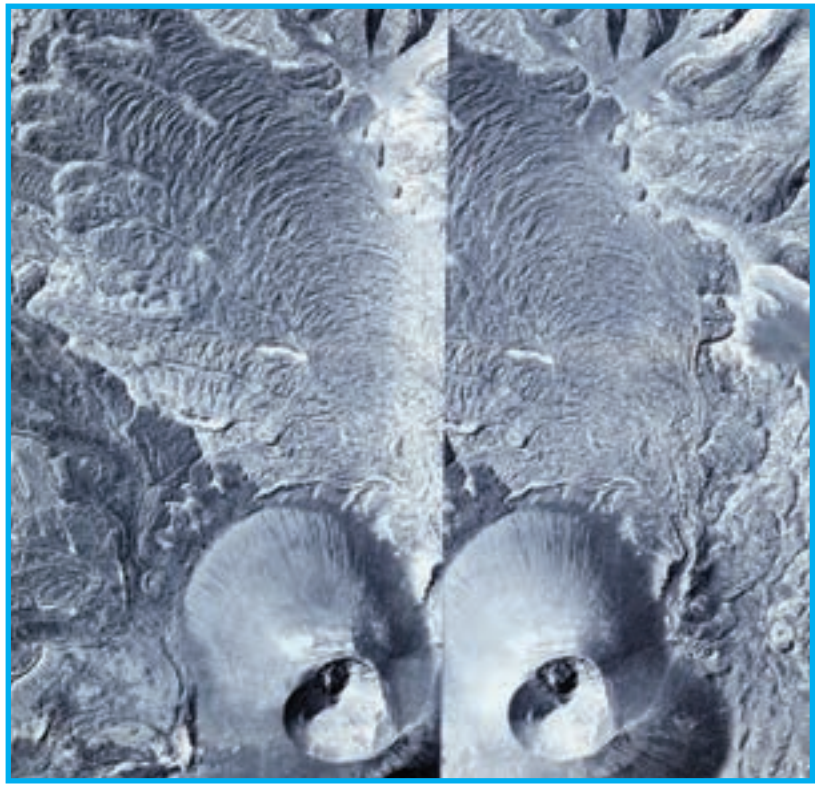
۱ــ stereoscope



(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 :

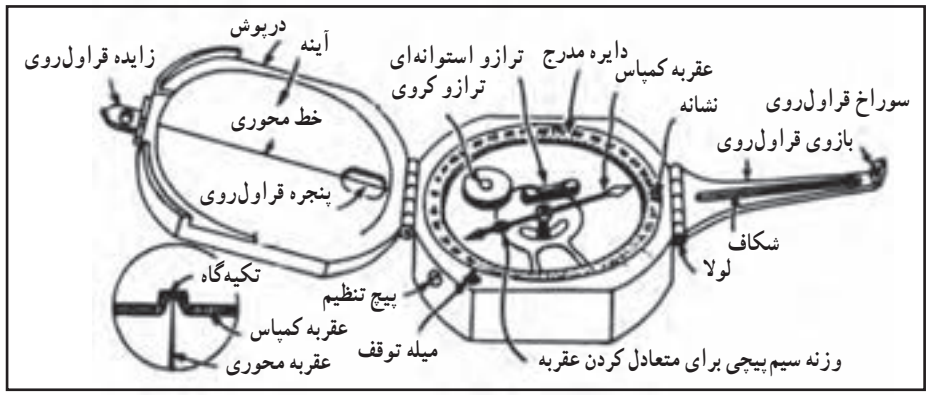
$$N۳۰E < ۴۰NW \qquad (۳_۱۱)$$

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

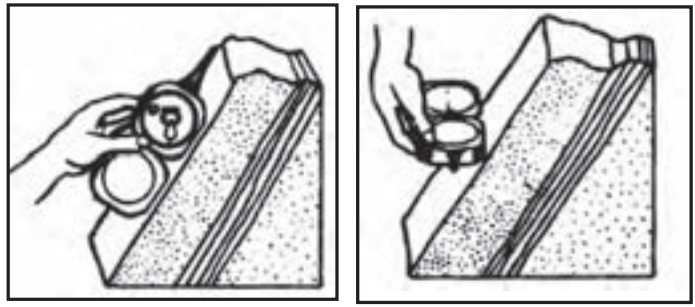
برای اندازه‌گیری امتداد لایه، کمپاس را مطابق شکل ۱۱ــ۲ــ الف در سطح لایه قرار می‌دهند و آنقدر آن‌را بالا و پائین می‌برند تا تراز دستگاه، حالت افقی را نشان دهد و در این حالت، زاویه‌ای را که عقربه شمال کمپاس در روی صفحه مدرج آن نشان می‌دهد، قرائت می‌کنند. این زاویه، امتداد لایه را به دست می‌دهد.

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].

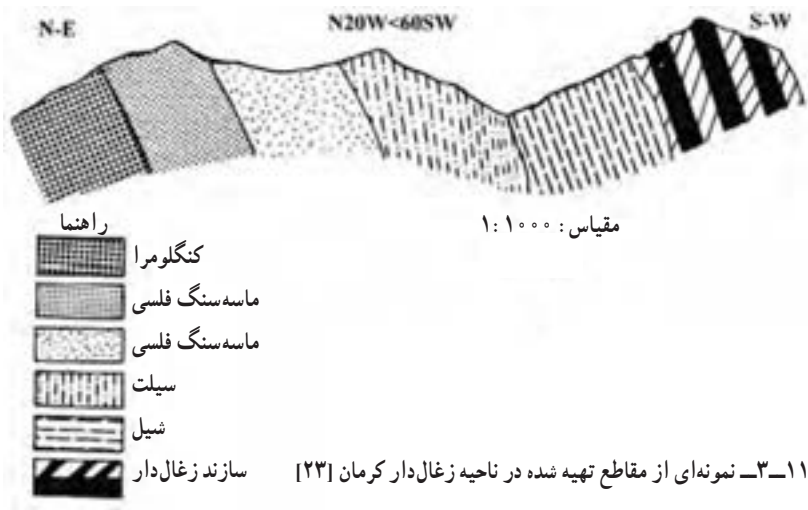
۱۱ــ۲ــ۳ــ برداشت طبقات : مشخصات ظاهری طبقات از قبیل جنس، اندازه دانه‌ها، فرم دانه‌بندی، شکل دانه‌ها، رنگ در مقطع هوا خورده و در شکست تازه، وجود فسیل و آثار گیاهی و بالاخره تمام آنچه را که به وسیله چشم و ذره‌بین می‌توان تشخیص داد، مطالعه و یادداشت می‌شود. همچنین پدیده‌هایی از قبیل، گسل، درزه، چین‌خوردگی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

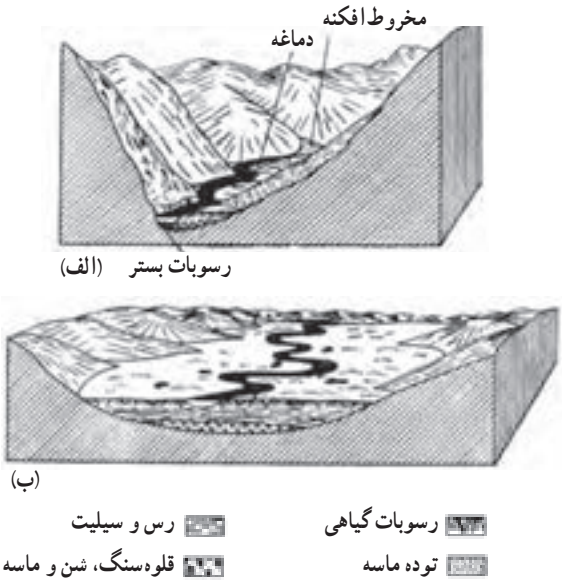
۱۱ــ۴ــ۲ــ موارد کاربرد : جستجوی رودخانه‌ها را در مراحل مختلف اکتشاف از مرحله شناسایی و در مقیاس‌های کوچک تا مرحله اکتشاف تفضیلی می‌توان به کار برد ولی طبیعی است که مسایل مطروحه در هر مرحله متفاوت است [۲۴].

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

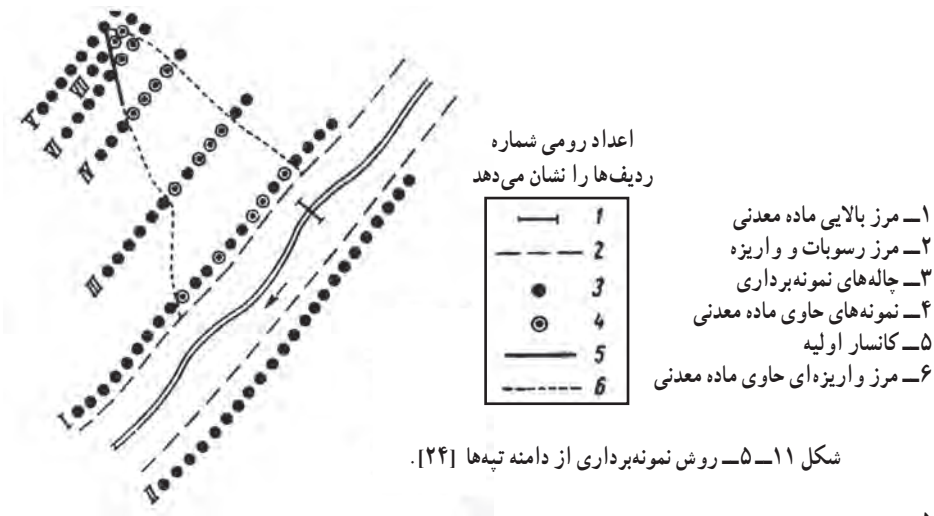
مهم‌ترین عامل در مورد نمونه‌برداری از رودخانه‌های نوع اول، فصل نمونه‌گیری و میزان و طبیعت بارش است. مثلاً فصل سیلابی از این نقطه‌نظر بی‌فایده است و نمونه‌گیری را در مواقعی باید انجام داد که پس از کاهش سریع آب رودخانه، آب آن افزایش یافته باشد زیرا در این حالت رسوبات بستر رودخانه غنی از کانی‌های سنگین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

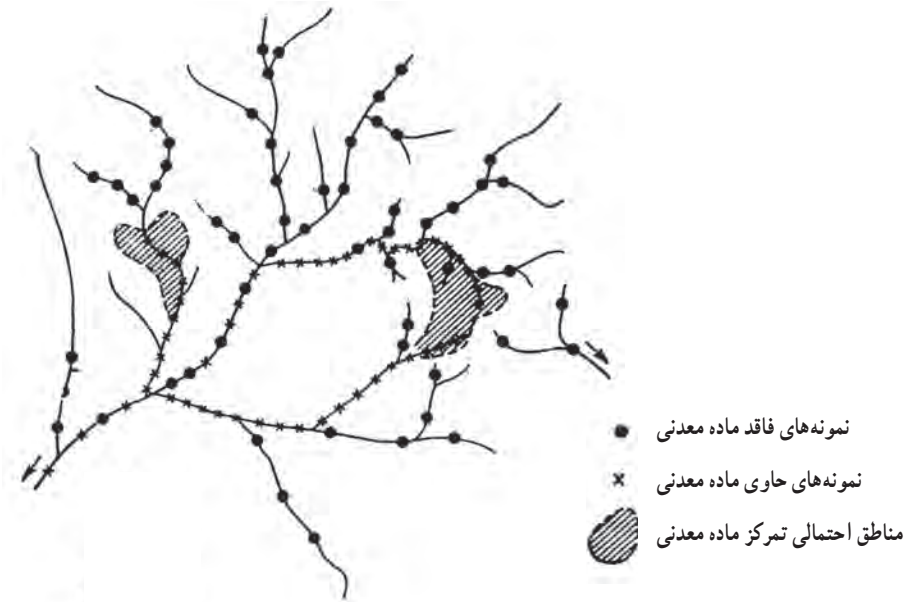
هنگامی که اکتشاف در مقیاس دقیق انجام می‌گیرد، باید واریزه‌های دامنه تپه‌ها را نیز مورد مطالعه و بررسی دقیق قرار داد و به ویژه قسمت‌هایی را که امید تمرکز مواد معدنی می‌رود، دقیق‌تر مطالعه کرد.

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].

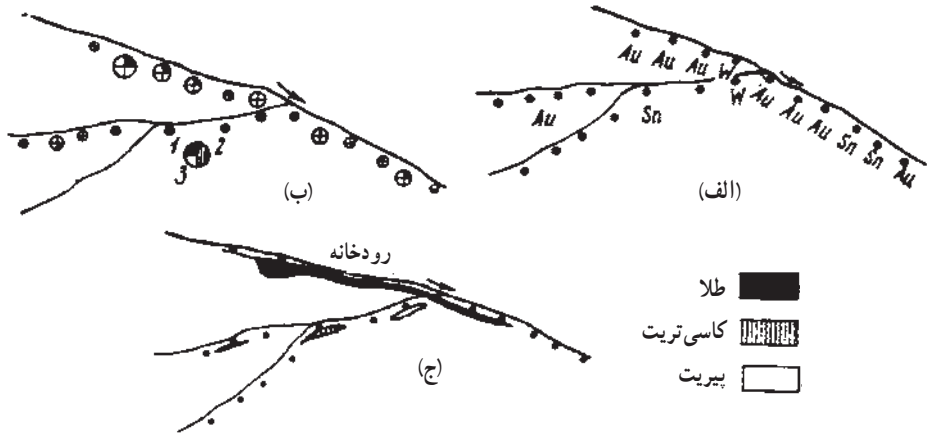
۱۱ــ۴ــ۴ــ نحوه نمایش و تعبیر و تفسیر داده‌ها : پس از بررسی نمونه‌ها و تعیین نوع و میزان کانی یا عناصر آنها، باید داده‌ها را بر روی نقشه پیاده کرد و با تحلیل آنها، موقعیت کانسار را مشخص ساخت. در این مورد به عنوان نقشه مبنا، می‌توان از نقشه‌های توپوگرافی و در صورت امکان، نقشه‌های زمین‌شناسی محل استفاده 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.

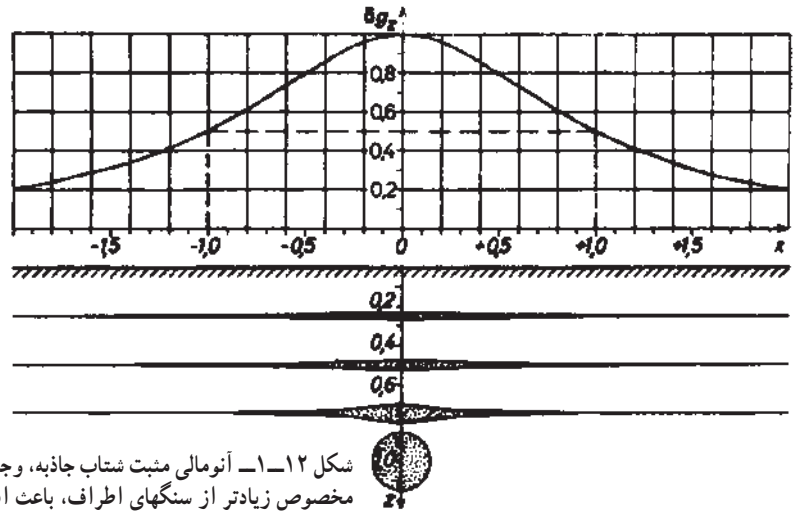
۱۲ــ۱ــ۷ــ روش‌های چاه‌پیمایی[۴] : در بسیاری موارد، برای اکتشاف منابع معدنی مختلف، گمانه‌هایی حفر می‌شود. اگرچه غالباً از این گمانه‌ها نمونه‌گیری می‌کنند و بنابراین با مطالعه آنها می‌توان خصوصیات سنگ‌های زمین را در ناحیه‌ای که گمانه حفر شده است شناسایی کرد، امّا به کمک روش‌هایی که به نام چاه‌پیمایی معروف 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.

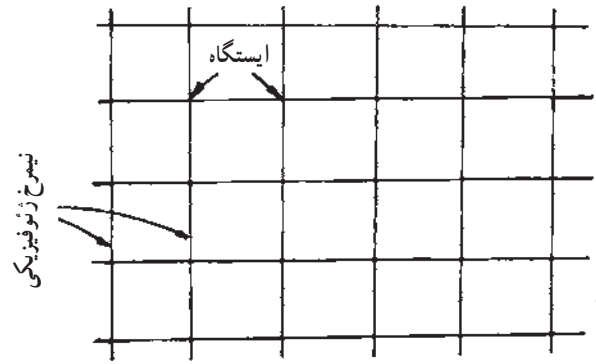
واحد شتاب جاذبه در دستگاه G.G.S برابر یک سانتیمتر بر مجذور ثانیه و به نام گال[1] موسوم است. از آنجا که گال در کاوش‌های گرانی سنجی واحد نسبتاً بزرگی است، لذا در عمل، از میلی گال که $\frac{1}{1000}$ گال است استفاده می‌کنند.

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.

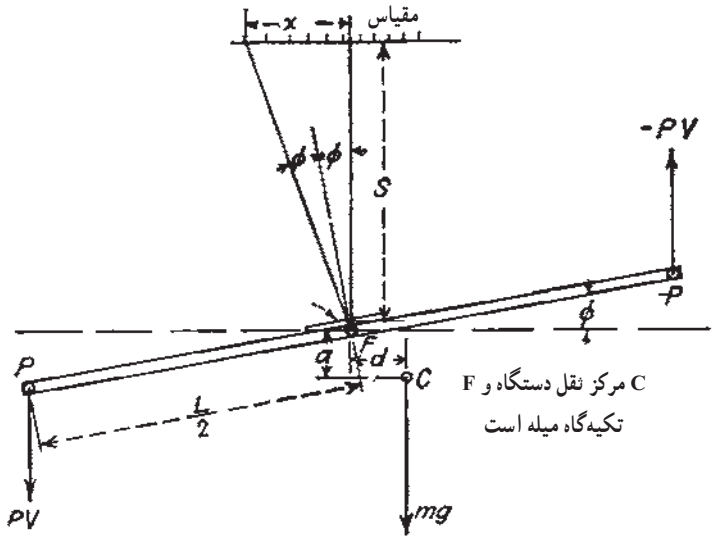
۱۲ــ۳ــ۲ــ مشخصات میدان مغناطیسی زمین: هرگاه یک عقربه مغناطیسی را روی پایه بدون اصطکاکی قرار دهیم، پس از نوسانات متعدد، در امتدادی خواهد ایستاد که آن‌را امتداد شمال ــ جنوب مغناطیسی می‌گویند. این امتداد، عموماً با امتداد شمال ــ جنوب جغرافیایی محل منطبق نیست بلکه با آن زاویه‌ای می‌سازد که آن‌را زاویه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

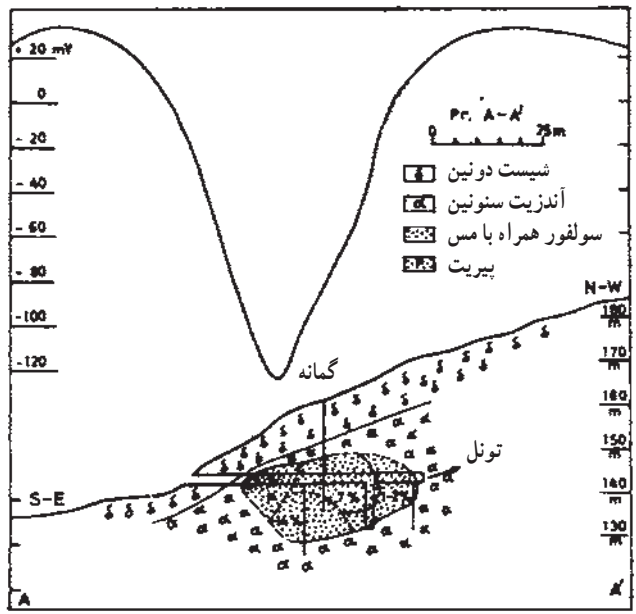
اندازه‌گیری پتانسیل خودزاد در سطح زمین، بسیار ساده است و به کمک یک میلی ولت متر حساس متصل به دو الکترود، انجام می‌گیرد. الکترودها باید غیرقابل قطبی شدن (پلاریزه شدن) باشند زیرا در غیر این صورت، فعالیت الکتروشیمیایی ناشی از تماس آنها با زمین نیز، در اندازه‌گیری دخالت می‌کند و سبب به هم خوردن نتایج اندازه‌گیری 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.)

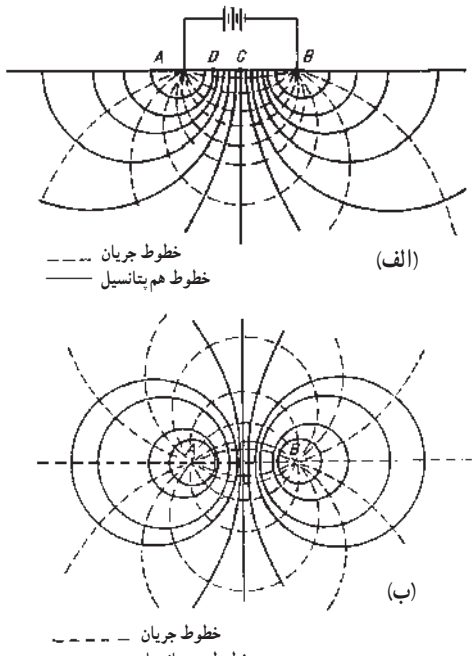


شکل ۱۲ــ۴ــ نتیجه پیمایش SP در بالای یک توده پیریت [۹]

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.

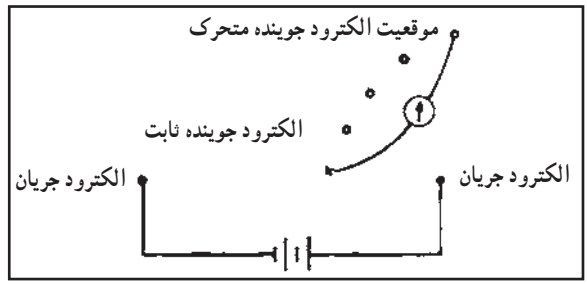
در شکل ۱۲ــ۵، خطوط جریان و منحنی‌های هم پتانسیل عمود بر آنها، در مقاطع قائم و افقی نشان داده شده است.



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

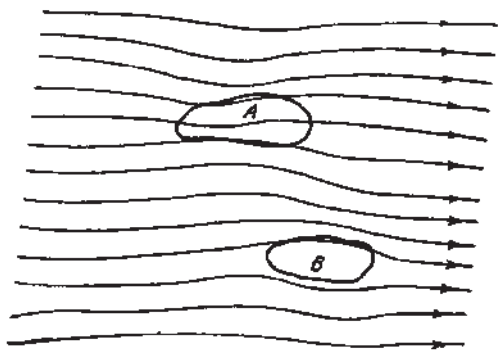
اگر مواد موجود در زیر سطح زمین متجانس باشند، منحنی‌های هم پتانسیل نیز مطابق شکل اشکال منظمی خواهند داشت. در چنین حالتی، اختلاف پتانسیل بین نقطه A و نقطه C که در وسط الکترودهای A و B قرار داد، نصف اختلاف پتانسیل نقاط A و B است.

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.

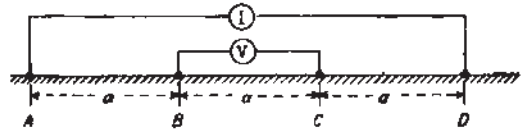
آرایه ونر که در شکل ۱۲ــ ۸ نشان داده شده، یکی از متداول‌ترین آرایه‌های روش مقاومت مخصوص است. به‌طوری که دیده می‌شود، الکترودهای فرستنده، در طرفین الکترودهای گیرنده به‌گونه‌ای قرار دارند، که فاصله الکترودهای متوالی از هم ثابت و برابر a است. در این مورد، مقاومت مخصوص الکتریکی زمین از رابطه زیر به دست می‌آید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

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

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 ژئو شیمیایی

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.

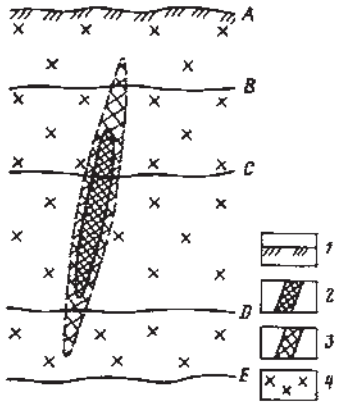
۱۳ــ۲ــ هاله‌های ژئوشیمیایی

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].

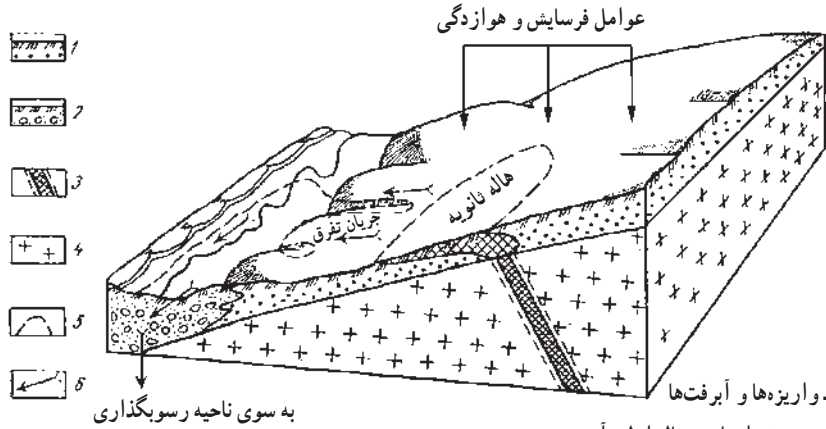
۱۳ــ۲ــ۲ــ هاله ژئوشیمیایی ثانویه[1] : پس از تشکیل ماده معدنی و برونزد آن در سطح زمین، عوامل مختلف حمل‌ونقل مثل نیروی جاذبه، باد، آب و نظایر آنها ممکن است آثار ماده معدنی را تا دوردست‌ها حمل کنند. بنابراین، اگرچه توده معدنی اصلی ممکن است گسترش وسیعی در سطح زمین نداشته باشد امّا گسترش هاله ثانویه آن ممکن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

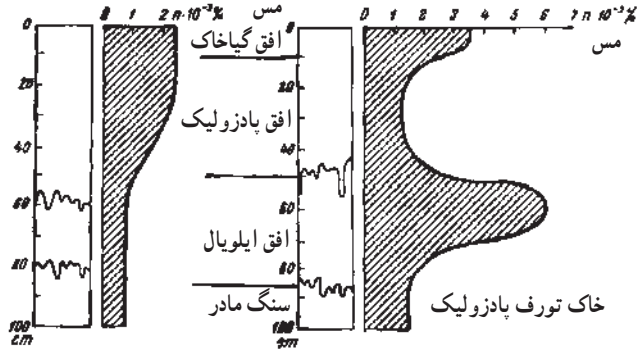
الف) شبکه نمونه‌برداری: شبکه نمونه‌برداری باید به گونه‌ای طراحی شود که تمام منطقه‌ای را که گمان کانسار در آن می‌رود، همراه با هاله‌های ژئوشیمیایی آن، بپوشاند. اگرچه در بعضی موارد گسترش هاله‌های کانسار در طرفین آن یکنواخت است امّا اکثراً، گسترش آن قرینه نیست بلکه در امتدادهای خاصی، گسترش زیادتری دارد.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

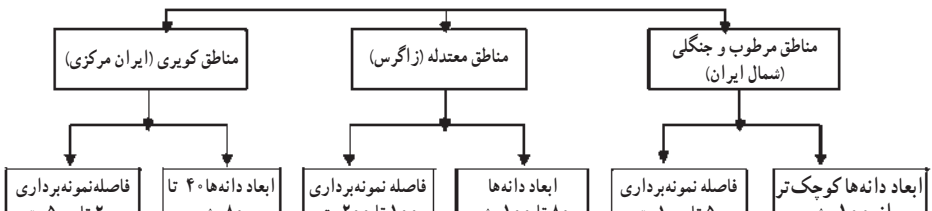
ذکر این نکته ضروری است که هرگاه ضخامت خاک ناحیه بیش از ۳ متر باشد، اثر هاله‌های ژئوشیمیایی در قسمت‌های سطحی ظاهر نمی‌شود و در چنین مواردی، باید نمونه‌برداری را به کمک گمانه انجام داد [۲۴]. بدیهی است در صورتی که منطقه موئین آب‌های زیرزمینی وسیع و یا فعالیت‌های گیاهی منطقه زیاد باشد، ممکن است آثار کانسارهای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

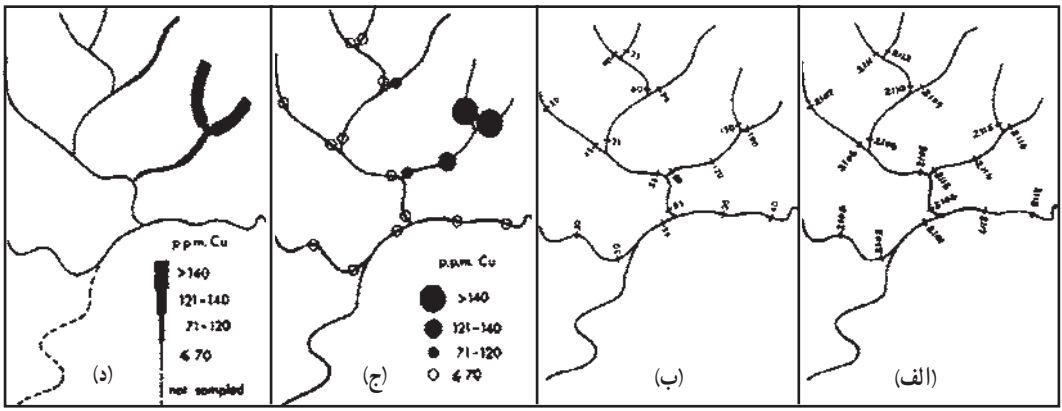
ج) بررسی نمونه‌ها: اگرچه در بسیاری موارد، نمونه‌های گرفته شده از بستر آبراهه‌ها مستقیماً آزمایش می‌شود ولی اگر این رسوبات حاوی مواد سنگین و مقاوم باشند، ابتدا آنها را خاک‌شویی کرده و آنگاه محصول خاک‌شویی شده را تجزیه می‌کنند. در بعضی موارد نیز اکسیدهای منگنز و آهن را، که به صورت قشری ذرات نمونه را احاطه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

در شکل ۱۳ـ۵ نمونه‌ای از نتایج حاصل از روش نمونه‌گیری از رسوبات آبراهه‌ای نشان داده شده است.

۱۳ـ۵ـ۳ـ 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

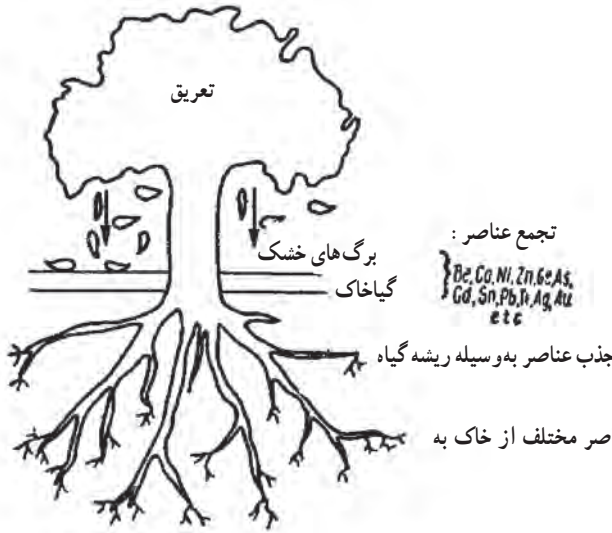
جدول ۱۳ــ۱ــ گازها و بخارات موجود در اطراف کانسارهای مختلف [۳۱]

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.