مدرسان شریف

فصل اول

«مسائل عمومی ارزیابی ذخایر»

مقدمه

به هنگام اکتشاف کانسارهای مختلف و در مراحل متفاوت، بعضی مسائل کلی‌که باید در نظر گرفته شود در این فصل بررسی شده‌اند. اگرچه بسیاری از این مسائل در مورد اکثر کانسارها مصداق دارد، ولی ممکن است لزوماً و در مورد تمام کانسارها و در همه مراحل، با این مسائل برخورد نشود. با وجود این، آگاهی از چنین مسائلی قبل از انجام عملیات اکتشافی ضروری است.

تغییر مشخصات ماده معدنی

آگاهی از تغییر مشخصات کمّی و کیفی ماده معدنی، از جمله مهم‌ترین مسائل اکتشاف است؛ زیرا در تمام مراحل اکتشاف باید براساس داده‌های محدودی که از کانسار در دست است، در مورد کل آن قضاوت کرد. بدیهی است با تکامل مراحل اکتشاف از مرحله شناسایی تا اکتشاف تفضیلی، داده‌ها بیشتر و انبوه‌تر می‌شوند، اما همواره حجم داده‌ها در مقایسه با حجم کانسار ناچیز است و باید براساس قوانین آمار و احتمال، بهترین برآورد را براساس داده‌های موجود انجام داد. بدیهی است هرچقدر تغییر مشخصات ماده معدنی بیشتر باشد، قضاوت درباره آن مشکل‌تر و عدم قطعیت آن بیشتر خواهد بود.

ـ شاخص‌های تغییرپذیری کانسار

برای پیش‌بینی تغییرپذیری کانسار شاخص‌های زیر به کار می‌رود:

الف ـ ضریب تغییرات

$$V = \frac{s}{\bar{x}} \times ۱۰۰$$

V = ضریب تغییرات برحسب درصد، s = انحراف استاندارد، $\bar{x}$ = میانگین

ضریب تغییرات که آن را طبق رابطه فوق تعریف کردیم، از جمله شاخص‌هایی است که برای برآورد تغییرپذیری کانسار به‌کار می‌رود. باید توجه داشت که ضریب تغییرات به‌تنهایی و بدون در نظر گرفتن ویژگی‌های زمین‌شناسی قادر به نشان‌دادن تغییرپذیری کانسار نیست. به عنوان مثال در شکل زیر، اگر اعداد مندرج در شکل نشانگر ویژگی ماده معدنی (مثلاً ضخامت یا عیار) باشد، در هر دو حالت الف و ب، ضریب تغییرات کانسار یکسان است، حال آنکه این دو وضعیت از نظر تغییرپذیری بسیار متفاوت هستند.

(الف) (ب)

ضریب تغییرات واحد برای دو تغییرپذیری متفاوت

بسته به اندازه ضریب تغییرات، کانسارها را به شرح جدول زیر طبقه‌بندی می‌کنند:

تقسیم‌بندی کانسارها برمبنای ضریب تغییرات

ردیف	ضریب تغییرات- درصد	رده کانسار
۱	۰ تا ۲۵	ساده، توزیع عیاری متقارن، تخمین ذخیره ساده است، بسیاری از روش‌ها کارا هستند.
۲	۲۵ تا ۱۰۰	توزیع اریب، تخمین ذخیره سخت تا متوسط
۳	۱۰۰ تا ۲۰۰	توزیع اریب شدید با دامنه عیاری بزرگ، تخمین ذخیره سخت
۴	بیش از ۲۰۰	شدیداً غیرقابل پیش‌بینی، اریب‌بودن داده‌ها یا چندجامعه‌ای، تخمین عیار منطقه‌ای سخت یا غیرممکن است.

ب ـ ضریب کانی‌سازی

این ضریب با رابطه روبه‌رو تعریف می‌شود: $\gamma = \frac{\sum s}{S} = \frac{\sum l}{L}$

که در رابطه فوق:

$\sum s$ = مجموع مساحتی از کانسار که حاوی کانی‌های اقتصادی است. S = کل مساحت کانسار

$\sum l$ = مجموع طول حفریات اکتشافی که در محدوده حاوی کانی‌های اقتصادی حفر شده است. L = کل طول حفریات اکتشافی

با استفاده از این ضریب می‌توان در مورد توزیع بخش‌های حاوی کانی‌های اقتصادی در محدوده کانسار قضاوت کرد.

مثال۱: در کانسار مس بوشفلد، کل مساحت کانسار ۴۰۰ هزار مترمربع و مجموع مساحتی از کانسار که حاوی کانی‌های اقتصادی است برابر ۲۵۰ هزار مترمربع است. در صورتی که مجموع طول حفریات اکتشافی ۱۰ هزار متر باشد، مجموع طول حفریات اکتشافی که در محدوده حاوی کانی‌های اقتصادی حفر شده است، چند هزار متر است؟

۱) ۶۲/۵ ۲) ۶/۲۵ ۳) ۱/۶ ۴) ۱۶

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» طبق رابطه‌ی ضریب کانی‌سازی: $\gamma = \frac{\sum s}{S} = \frac{\sum l}{L}$

(S): کل مساحت کانسار برابر ۴۰۰ هزار مترمربع، $\sum s$: مجموع مساحتی از کانسار حاوی کانی‌های اقتصادی برابر ۲۵۰ هزار مترمربع، L: کل طول حفریات اکتشافی ۱۰ هزار متر است.

بنابراین ضریب کانی‌سازی این کانسار برابر است با:

$\gamma = \frac{\sum s}{S} = \frac{۲۵۰۰۰۰}{۴۰۰۰۰۰} = ۰/۶۲۵$ $\qquad \gamma = \frac{\sum l}{L} \Rightarrow L = ۰/۶۲۵ \times ۱۰۰۰۰ = ۶۲۵۰$ متر

ریخت‌شناسی و تغییرات ماده معدنی

ریخت‌شناسی توده ماده معدنی از جمله نکاتی است که برای برآورد تغییرپذیری کانسار باید آن را مدنظر قرار داد. بدیهی است تغییرات قابل انتظار در مورد توده‌های ریخت‌شناسی مختلف، متفاوت است. از نظر ریخت‌شناسی، کانسارها را به انواع زیر تقسیم می‌کنند:

الف ـ کانسارهای ورقه‌ای

این گروه، کانسارهایی را شامل می‌شود که یک بُعد کوچک و دوبُعد بزرگ دارند که از جمله آن‌ها می‌توان کانسارهای لایه‌ای، رگه‌ها، عدسی‌ها و سایر توده‌های پهن را نام برد. این گروه، معمولی‌ترین حالت کانسارها هستند.

ب ـ کانسارهای میله‌ای

این گروه شامل کانسارهایی است که دارای دوبُعد کوچک و یک‌بُعد بزرگ هستند و از آن جمله می‌توان دودکش‌ها را نام برد.

ج ـ کانسارهای با بُعد مساوی

این گروه شامل کانسارهایی است که کمابیش از نظر بُعد یکسان هستند. به عنوان مثال می‌توان کانسارهای توده‌ای، رگه‌های مرکب (Stock Works) و نظایر آن‌ها را نام برد. یکی از نکات مهم، تغییرات مشخصات کمّی و کیفی ماده معدنی است. اغلب توده‌های کانی، دوبُعد طویل و یک‌بُعد کوتاه دارند و مشخصات ریخت‌شناسی آن‌ها به‌تدریج و به‌طور مداوم تغییر می‌کند. در چنین مواردی که تغییرات منظم است، تغییرپذیری شدید نیست و تخمین‌هایی که در مورد کیفیت و کمّیت ماده معدنی انجام می‌گیرد، اعتبار بیشتری دارد.

مثال۲: کدام‌یک از عبارت‌های زیر در مورد ریخت‌شناسی و تغییرات ماده معدنی به‌درستی بیان شده است؟

۱) از نظر ریخت‌شناسی، رگه‌های مرکب (Stock works) جزء کانسارهای ورقه‌ای است.

۲) هرگاه مشخصات ریخت‌شناسی به‌تدریج و به‌طور مداوم تغییر کند، تخمین‌هایی که در مورد کیفیت و کمّیت ماده معدنی انجام می‌گیرد، اعتبار بیشتری دارد.

۳) تعیین وضعیت کلی ماده معدنی در مرحله اکتشاف مقدماتی صورت می‌گیرد.

۴) از نظر ریخت‌شناسی، کانسارهای عدسی‌شکل جزء کانسارهایی هستند که دارای دو بُعد کوچک و یک‌بُعد بزرگ است.

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» گزینه (۱) نادرست است، رگه‌های مرکب جزء کانسارهای با بُعد مساوی هستند. گزینه (۳) نادرست است؛ زیرا تعیین وضعیت کلی ماده معدنی در مرحله اکتشاف تفصیلی صورت می‌گیرد. گزینه (۴) نادرست است؛ زیرا کانسارهای عدسی‌شکل جزء کانسارهای ورقه‌ای هستند که دارای یک بُعد کوچک و دوبُعد بزرگ هستند.

کیفیت ماده معدنی و تغییرات آن

کیفیت ماده معدنی از جمله مشخصاتی است که موارد استعمال صنعتی آن را کنترل می‌کند. هرچقدر تقاضا زیادتر باشد، از ماده معدنی با عیار کم‌تر استفاده می‌شود و در حالت عکس، فقط عیارهای خیلی بالا اقتصادی است. عامل دیگر، کیفیت و قیمت کانی در بازارهای بین‌المللی است.

کیفیت ماده معدنی استخراجی به پیشرفت‌های فناوری، به‌ویژه پیشرفت‌های کانه‌آرایی بستگی دارد. در بعضی موارد، یک ماده معدنی که در صنعت نیز اهمیت دارد، در شرایط معدنی و زمین‌شناسی قرار دارد که تحت شرایط فناوری موجود، استخراج آن مقرون به‌صرفه نیست (مثل آلومینیوم موجود در کانی‌های رسی و یا آنتیموان، مولیبدن و روی موجود در کانی‌های اکسیده) ولی با پیشرفت فنون کانه‌آرایی و متالورژی استخراجی، می‌توان مواد معدنی را که قبلاً غیراقتصادی محسوب می‌شد، به عنوان اقتصادی در نظر گرفت (مثلاً استخراج نیکل از کانی‌های سیلیکاته و آلومینیوم از آلونیت و نفلین سینیت).

کیفیت کانی، ویژگی متغیری است که در حالت کلی می‌توان آن را به وسیله چند پارامتر مشخص کرد که آن‌ها را به دو دسته عمده تقسیم می‌کنند:

دسته اول پارامترهایی هستند که درصد اجزاء مفید و ناخالصی‌های مضر را بیان می‌کنند و آن‌ها را می‌توان به صورت درصد ترکیبات مختلف (محتوی عناصر، اکسیدها یا کانی موجود) مثلاً به شکل گرم در تن، گرم در مترمکعب، ppm یا درصد بیان کرد.

دسته دوم شامل خواص فیزیکی ماده معدنی نظیر اندازه بلورها، سختی، درخشندگی، قابلیت چکش‌خواری، خواص ارتجاعی، مقاومت، رطوبت محتوا، وزن مخصوص و نظایر آنهاست. در مورد سوخت‌های فسیلی، ارزش حرارتی نیز در این گروه جای می‌گیرد. برای ارزیابی کانسارها، باید هر دو دسته ویژگی‌ها را در نظر گرفت.

ساختار بسیاری از کانسارها یکنواخت نیست و مشخصه‌های طبیعی آن متغیر است و در چنین مواردی، باید برحسب شرایط زمین‌شناسی، معدنی و عیار، کانسار را به قسمت‌های جزئی‌تری تقسیم کرد.

علاوه بر آنچه گفته شد، مشخصاتی نظیر ابعاد، اندازه دانه‌ها و چگونگی به‌هم‌پیوستگی ذرات ماده معدنی که در انتخاب روش فرآوری مؤثر است نیز باید تعیین شود. تمام این مشخصات برای ارزیابی و قضاوت در مورد نحوه تغییرات کیفی کانسار به‌کار می‌رود.

مثال۳: کدام‌یک از گزینه‌های زیر می‌تواند تکمیل‌کننده درست عبارت زیر باشد؟

«تحت شرایط فناوری موجود، استخراج آلومینیوم از ..... اقتصادی نیست، ولی با پیشرفت کانه‌آرایی می‌توان استخراج آلومینیوم از ..... را که قبلاً غیراقتصادی محسوب می‌شد، به‌عنوان اقتصادی در نظر گرفت.

۱) نفلین سینیت- آلونیت ۲) آلونیت- کانی‌های رسی ۳) کانی‌های رسی- آلونیت ۴) آلونیت- نفلین سینیت

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» تحت شرایط فناوری موجود، استخراج آلومینیوم از کانی‌های رسی مقرون به‌صرفه نیست، ولی با پیشرفت فنون کانه‌آرایی و متالورژی استخراجی می‌توان مواد معدنی را که قبلاً غیراقتصادی محسوب می‌شد، به‌عنوان اقتصادی در نظر گرفت؛ مثل استخراج آلومینیوم از آلونیت و نفلین سینیت.

اصول اکتشاف منطقه‌ای

علی‌رغم تنوعی که در کانسارهای مختلف دیده می‌شود، اصول اکتشاف تمامی آن‌ها تقریباً برمبنای واحد، یعنی تعیین ذخیره صنعتی مواد معدنی مختلف موجود در آن استوار است.

اصول اساسی اکتشاف عبارت‌اند از:

۱ـ اصل تعدیل‌های متوالی

این اصل عبارت است از: طراحی تدریجی و مرحله به مرحله پروژه اکتشاف کانسار؛ زیرا هر پدیده اکتشافی جدید، اطلاعات تازه‌ای از کانسار به دست می‌دهد و با استفاده از این اطلاعات جدید باید ساختار، ابعاد و مشخصات پیش‌بینی‌شده کانسار را تعدیل و اصلاح کرد.

در ابتدای کار، یعنی شروع عملیات اکتشافی، اطلاعات مربوط به کانسار ناچیز است؛ اما براساس همین اطلاعات اولیه، باید برای کانسار مدلی در نظر گرفت. مثلاً اگر رخنمون یک لایه زغال، گسترش آن را در منطقه به حالت ممتد نشان دهد، در مدل اولیه باید فرض کرد که لایه مورد نظر بدون هیچ تغییراتی و با شیب ثابت به اعماق فرو می‌رود.

شبکه اکتشاف نیز براساس همین مدل تنظیم و محل ایستگاه‌ها و حفریات اکتشافی مشخص می‌شود. پس از حفر چند گمانه، ممکن است اطلاعات حاصل از آن‌ها با مدل انتخابی موافق یا ناسازگار باشد. اگر نتایج با پیش‌بینی اولیه همخوانی داشته باشد، سبب تأیید مدل فرضی خواهد شد و اگر نتایج با این پیش‌بینی جور درنیاید، باید مدل را اصلاح کرد یا اصولاً مدل دیگری را در نظر گرفت.

به عنوان مثال، اگر گمانه‌ها لایه را در عمقی بیش از عمق پیش‌بینی‌شده قطع کنند، باید تصور کرد که شیب لایه در عمق مورد نظر بیشتر از شیب فرضی اولیه است. در واقع هنگامی می‌توان شکل و ابعاد دقیق کانسار را به‌دست آورد که تمام ماده معدنی استخراج شده باشد؛ بنابراین، اطلاعات قبل از مرحله استخراج، تماماً براساس پیش‌بینی‌ها و تعبیر و تفسیر داده‌های موجود است و همزمان با اجرای حفریات اکتشافی، مدل اصلاح و به واقعیت نزدیک‌تر می‌شود.

۲ـ اصل تکمیل‌کردن تحقیقات

مطابق این اصل، نه‌تنها باید هدف‌های اساسی اکتشاف نظیر تعیین عیار و کمیّت کانسار را مشخص ساخت بلکه باید اطلاعاتی را که برای طراحی و تجهیز معدن مورد نیاز است، تعیین کرد. به‌تدریج، در مراحل بعدی اکتشاف می‌توان عملیات اکتشافی را به‌نحو دقیق‌تر و بهتری انجام داد؛ زیرا در اوایل کار، طراحی برنامه اکتشاف مشکل است و حتی انتخاب نقاطی که باید بر روی آن‌ها کار شود، در ابتدای کار خالی از اشکال نیست. با وجود این اشکالات، می‌توان در ابتدای کار، مسائل اصولی را تاحدودی مورد توجه قرار داد. از جمله آنکه باید تعیین کرد که آیا ماده معدنی از یک نوع کانی یا ترکیبی از کانی‌های مختلف است. اگر در کانسار چند توده ماده معدنی مجزا وجود داشته باشد، باید حدود هریک را به‌دقت تعیین کرد. بدیهی است تعیین این حدود و نیز تهیه مقاطع زمین‌شناسی در ابتدا بسیار مشکل است و به ابعاد کلی کانسار و عمق تمرکز کانی در آن بستگی دارد. معمولاً بررسی‌های زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی برای تعیین این مشخصات کافی نیست، بلکه باید تعدادی گمانه و تونل اکتشافی نیز حفر کرد.

۳ـ اصل تغییرات یکنواخت

۴ـ اصل صرف حداقل هزینه و وقت لازم

نکته۱: در بعضی موارد، رعایت یک اصل مغایر با رعایت اصل دیگر است. مثلاً رعایت اصل حداقل هزینه و وقت لازم، بالطبع تعداد نقاط اکتشافی و دقت آنها را پایین می‌آورد. بدین ترتیب، در مورد هر پروژه اکتشافی باید یک حد بهینه را در نظر گرفت که با هدف اکتشاف مناسبت داشته باشد.

مثال۴: عبارت زیر می‌تواند به‌عنوان مثالی برای کدام‌یک از اصول اساسی اکتشاف باشد؟

«اگر گمانه‌ها لایه را در عمقی بیش از عمق پیش‌بینی‌شده قطع کنند، باید تصور کرد که شیب لایه در عمق مورد نظر بیشتر از شیب فرضی اولیه است.»

۱) اصل تغییرات یکنواخت
۲) اصل تکمیل‌کردن تحقیقات
۳) اصل تعدیل‌های متوالی
۴) اصل صرف حداقل هزینه و وقت لازم

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» این اصل عبارت است از: طراحی تدریجی و مرحله به مرحله پروژه اکتشاف کانسار. طبق این اصل، هرگاه نتایج با پیش‌بینی اولیه همخوانی داشته باشد، سبب تأیید مدل فرضی خواهد شد و اگر نتایج با این پیش‌بینی جور درنیاید، باید مدل را اصلاح کرد یا اصولاً مدل دیگری را در نظر گرفت. به‌عنوان مثال، اگر گمانه‌ها لایه را در عمقی بیش از عمق پیش‌بینی‌شده قطع کنند، باید تصور کرد که شیب لایه در عمق مورد نظر بیشتر از شیب فرضی اولیه است.

مثال۵: کدام‌یک از عبارات زیر بیان درستی از اصل تغییرات یکنواخت از اصول اساسی اکتشاف است؟

۱) طبق این اصل باید در هر پروژه اکتشافی یک حد بهینه در نظر گرفته شود که با هدف اکتشاف مناسبت داشته باشد.

۲) این اصل بر این مبنا استوار است که اجسام طبیعی از نظر فرم و کیفیت متغیر هستند. بنابراین در صورتی که حفریات اکتشافی و نقاط نمونه‌برداری را یکنواخت و براساس قوانین احتمالات در منطقه توزیع کنیم، با اطمینان بیشتری موفق به اکتشاف خواهیم شد.

۳) مطابق این اصل، نه‌تنها باید هدف‌های اساسی اکتشاف نظیر تعیین عیار و کمیّت کانسار را مشخص کرد بلکه باید اطلاعاتی را که برای طراحی و تجهیز معدن مورد نیاز است، تعیین کرد.

۴) این اصل عبارت است از: طراحی تدریجی و مرحله به مرحله پروژه اکتشاف کانسار.

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» لازم به ذکر است که فواصل نقاط اکتشافی نیز لزوماً در جهات مختلف نباید مساوی باشد، بلکه در امتدادهای با تغییرات کم (مثلاً در امتداد شیب) فواصل زیادتری نسبت به امتدادهای با احتمال تغییرات بیشتر (مثل امتداد لایه‌ها) خواهد داشت.

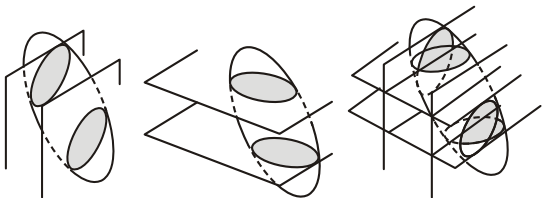
مراحل اکتشاف از نظر نوع عملیات

بسته به اینکه چه عاملی مبنای طبقه‌بندی مراحل اکتشاف قرار گیرد، می‌توان برای اکتشاف مراحل مختلفی را تعریف کرد. بر مبنای دقت عملیات و تراکم حفریات اکتشافی و مقیاس کارها، اکتشاف به مراحل شناسایی، پی‌جویی، اکتشاف عمومی و اکتشاف تفصیلی تقسیم می‌شود. اگر نوع عملیات مدنظر باشد، صرف‌نظر از مراحل چهارگانه یادشده عملیات اکتشافی را می‌توان به سه مرحله تهیه نقشه‌ها و مقاطع اکتشافی، نمونه‌برداری و ارزیابی تقسیم کرد:

تهیه نقشه‌ها و مقاطع اکتشافی

تهیه نقشه‌ها و مقاطع اکتشافی در تمام مراحل اکتشاف انجام می‌گیرد و در واقع به کمک آن‌ها، داده‌های حاصله به صورتی که برای دیگران نیز قابل رؤیت باشد، به نمایش درمی‌آیند. تهیه مقاطع اکتشافی، ابزار اساسی برای تعیین شکل، ساختار داخلی و موقعیت کانسار است. مقاطع ممکن است افقی یا قائم باشند. بنابراین برحسب نوع مقطع، سه حالت مقاطع افقی، مقاطع قائم و ترکیب مقاطع افقی و قائم وجود خواهد داشت.

تهیه مقاطع اکتشافی کمابیش تنها روش تعیین شکل، ساختار داخلی و موقعیت



انواع مقاطع اکتشافی

ماده معدنی است. مطالعه شکل کانسار از طریق منحنی‌های تراز سطحی خیلی مناسب نیست؛ زیرا ساختار داخلی، مشخصات زمین‌شناسی و نیز ارتباط کانسار را با سنگ‌های درون‌گیر روشن نمی‌کند. برای رسم مقاطع اکتشافی از داده‌های سطحی، گمانه‌ها، اطلاعات ژئوفیزیکی، چاه‌پیمایی و ژئوشیمیایی می‌توان استفاده کرد. بدیهی است در صورت امکان، اطلاعات ناشی از تونل‌های اکتشافی را نیز می‌توان به کار برد.

مقاطع اکتشافی باید به‌گونه‌ای توجیه شوند که اطلاعات جامعی را در مورد شکل، موقعیت، ساختار داخلی و ارتباط با سنگ‌های درون‌گیر ارائه دهند و بدین ترتیب، قاعده اساسی آن است که حفریات اکتشافی در جهتی توجیه شوند که در آن جهت، حداکثر تنوع و تغییر در شکل و کیفیت کانسار پیش‌بینی می‌شود. نکات کلی مربوط به توجیه مقاطع اکتشافی در مورد کانسارهای مختلف در ادامه آورده شده است:

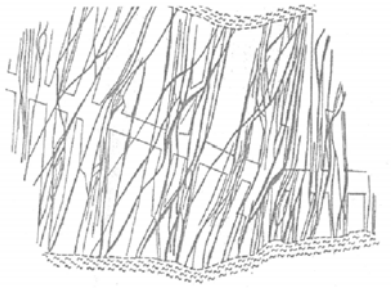
الف ـ کانسارهای ورقه‌ای

در مورد کانسارهای ورقه‌ای (نظیر لایه‌ها، رگه‌ها و عدسی‌ها که معمول‌ترین حالت کانسارها هستند)، از آنجا که حداکثر تغییرات در مورد تغییر ضخامت آن‌هاست، لذا مقاطع اکتشافی معمولاً در جهت عمود بر امتداد لایه یا رگه در نظر گرفته می‌شود.

ب ـ کانسارهای لوله‌ای

این کانسارها (دودکش‌ها و استوک‌ها) را با استفاده از سیستم مقاطعی که به حالت‌های مختلف نسبت به وضعیت توده توجیه شده‌اند، اکتشاف می‌کنند. دودکش‌های افقی یا کم‌شیب، که طول محدود در جهت مشخصی دارند، به وسیله مقاطع قائم عمود بر امتدادشان اکتشاف می‌شوند (مثل کانسارهای لایه‌ای)؛ زیرا خواص اجسام دودکش‌شکل در جهت عمود بر طول شدیداً متغیر است. دودکش‌های پرشیب را می‌توان به وسیله مقاطع افقی اکتشاف کرد.

نکته۲: در حالت کلی، صفحات مقاطع باید در جهت عمود بر بزرگ‌ترین بُعد ماده معدنی انتخاب شود. در این زمینه یک استثناء در مورد اجسام با ساختار مرکب وجود دارد که در آن‌ها، خط بزرگ‌ترین تغییرات به‌سرعت از خط عمود بر امتداد ماده معدنی فاصله می‌گیرد. در چنین مواردی، حفریات اکتشافی و مقاطع را می‌توان در راستای امتداد کانسار توجیه کرد (به عنوان مثال، مطابق شکل مقابل یک مقطع در امتداد دایک‌های درون‌گیر و عمود بر امتداد رشته‌ها در کانسار بریوزوا در روسیه).



مقطع دایک طلادار در ناحیه بریوزوا

ج ـ کانسارها با ابعاد مساوی

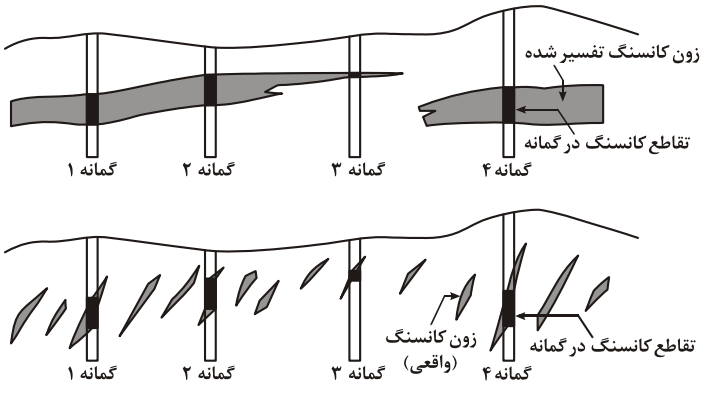
در مورد این کانسارها، مقاطع اکتشافی باید با توجه به ساختار ظاهری و تغییرات درونی کانسار توجیه گردد. اگر توده معدنی متجانس بوده و در امتدادهای مختلف خواص ویژه‌ای نداشته باشد، مقاطع اکتشافی را می‌توان در امتدادهای متفاوتی که به وسیله مشخصات تکنولوژی کانسار تعیین می‌شود، توجیه کرد. در چنین حالتی، مقاطع معمولاً در دو امتداد عمود بر هم در نظر گرفته می‌شوند.

نکته۳: مقاطع اکتشافی از مقاطع زمین‌شناسی، که برای تهیه نقشه زمین‌شناسی ترسیم می‌شوند، دقیق‌تر هستند و دقت آن‌ها به دو عامل بستگی دارد: ۱ـ پیچیده‌بودن ساختار زمین‌شناسی ۲ـ امکانات اکتشافی موجود (مثلاً کیفیت حفاری‌های اکتشافی).

نکته۴: اگر یک حفریه اکتشافی که در جهت عمود بر امتداد یا در جهت شیب حفر شده است، به‌قدری عمیق باشد که تمام توده را قطع کند، در آن صورت، حدود کانسار دقیق‌تر مشخص خواهد شد.

نکته۵: مقاطعی که با استفاده از اطلاعات ناشی از حفریات معدنی به‌دست آمده‌اند، به‌مراتب دقیق‌تر از مقاطعی هستند که با استفاده از اطلاعات ناشی از گمانه‌ها ترسیم شده‌اند. مقاطع گمانه‌ای نیز بسته به کیفیت حفاری (چاه‌پیمایی، اندازه‌گیری، انحراف و ...) دقت متفاوتی دارند.

نکته۶: با توجه به شکل زیر، بسته به مدل زایشی کانسار، دو تعبیر کاملاً مختلف را از اطلاعات واحد می‌توان ارائه داد.



دو نوع مقطع اکتشافی مختلف براساس اطلاعات واحد (محدوده‌های واقعی کانسنگ با تناژ کمتر و پیوستگی کمتر)

مثال۶: کدام‌یک از عبارت‌های زیر در مورد تهیه مقاطع اکتشافی نادرست است؟

۱) تهیه مقاطع اکتشافی تنها روش تعیین شکل، ساختار داخلی و موقعیت ماده معدنی است.

۲) برای رسم مقاطع اکتشافی از داده‌های سطحی، گمانه‌ها، اطلاعات ژئوفیزیکی، چاه‌پیمایی و ژئوشیمیایی استفاده می‌شود.

۳) در کانسارهای ورقه‌ای برای تهیه مقاطع اکتشافی، آن را عمود بر جهت امتداد لایه یا رگه در نظر می‌گیرند.

۴) در کانسارهای لوله‌ای، دودکش‌های پرشیب را می‌توان به وسیله مقاطع عمود بر امتداد اکتشاف کرد.

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» کانسارهای لوله‌ای (دودکش‌ها و استوک‌ها) را با استفاده از سیستم مقاطعی که به حالت‌های مختلف نسبت به وضعیت توده توجیه شده‌اند، اکتشاف می‌کنند. دودکش‌های افقی یا کم‌شیب، که طول محدود در جهت مشخصی دارند، به وسیله مقاطع قائم عمود بر امتدادشان اکتشاف می‌شوند (مثل کانسارهای لایه‌ای)؛ زیرا خواص اجسام دودکش‌شکل در جهت عمود بر طول شدیداً متغیر است. دودکش‌های پرشیب را می‌توان به وسیله مقاطع افقی اکتشاف کرد. گزینه‌های (۱)، (۲) و (۳) درست می‌باشند.

نمونه‌برداری

نمونه‌برداری تنها روش تعیین کیفیت ماده معدنی به‌طور مستقیم است. اطلاعات ناشی از روش‌های مختلف ژئوفیزیکی نظیر گاما- گاما، رادیواکتیویته و مغناطیس‌سنجی نیز در تعیین کیفیت ماده معدنی مفید است و اطلاعات باارزشی را به‌طور غیرمستقیم ارائه می‌دهد. در مورد روش‌های نمونه‌برداری به تفصیل در فصل جداگانه‌ای بحث شده است.

ارزیابی

ارزیابی کانسار از همان مراحل ابتدایی یعنی مرحله شناسایی آغاز می‌شود و تا پایان مرحله اکتشاف تفصیلی و حتی مرحله اکتشاف حین استخراج ادامه می‌یابد. بدیهی است اعتبار ارزیابی مراحل مختلف متفاوت است و هرچقدر مراحل اکتشاف تکمیل‌تر می‌شود، به همان نسبت، اعتبار تخمین‌های انجام‌شده در مورد کمّیت و کیفیت ماده معدنی افزایش می‌یابد و البته هیچ‌گاه به مرحله قطعیت کامل نمی‌رسد. مسائل مربوط به ارزیابی ذخیره به روش‌های مختلف به تفصیل در بخش ارزیابی بررسی می‌شود.

مشخص‌کردن محدوده کانسارها

در حقیقت لازمه کار اکتشاف، تعقیب و مشخص‌کردن حدود ماده معدنی و کانسار است که این کار از مراحل شناسایی و پی‌جویی در سطح زمین آغاز شده و طی مراحل اکتشاف عمومی و تفصیلی و در عمق تکمیل می‌شود.

اولین قدم در مورد تعقیب و مشخص‌کردن کانسار، به‌دست آوردن ایده کلی از شکل کانسار است که طبیعتاً در مراحل بعدی به‌طور دقیق‌تری بررسی می‌شود.

نکته۷: تعقیب و محدودکردن کانسار با توجه به اصل تعدیل‌های متوالی و تکمیل‌کردن تحقیقات انجام می‌شود. مطابق دومین اصل، حفریات اکتشافی باید در امتداد گسترش کانسار حفر شوند تا اطلاع کلی از کانسار در آن جهت به‌دست آید.

نکات مهم:

۱ـ نحوه مشخص‌کردن حدود توده کانی به موقعیت و شکل آن بستگی دارد.

۲ـ اجسام مسطح کم‌شیب نظیر رگه‌ها، عدسی‌ها و لایه‌ها در تصویر افقی محدود می‌شوند، حال آنکه در مورد توده‌های پرشیب، تصویر قائم به‌کار گرفته می‌شود.

۳ـ مشخصات توده‌های مایل، به‌ویژه آنهایی که شیب متوسط (۴۰ تا ۵۰ درجه) دارند، در صفحه شیب آنها تصویر می‌شود.

۴ـ توده‌های دودکش‌شکل کم‌شیب یا پرشیب نیز به‌ترتیب در تصاویر افقی و قائم محدود می‌شوند.

۵ـ اجسام با ابعاد مساوی (ایزومتریک) را در هر صفحه‌ای می‌توان تصویر کرد، ولی از نظر مسائل فنی بهتر است در مورد آنها از تصاویر افقی استفاده شود.

مشخص‌کردن محدوده کانسار در عمق به روش‌های مختلفی انجام می‌گیرد که در ادامه به شرح آنها می‌پردازیم.

تعقیب مداوم مرزها

تعقیب مرز کانسار را می‌توان با استفاده از رخنمون ماده معدنی و نیز حفریات اکتشافی انجام داد.

۱ـ در مورد اجسام با ضخامت کم می‌توان تعقیب را با حفر مداوم حفریات اکتشافی در جهت امتداد یا شیب لایه، رگه یا عدسی انجام داد.

۲ـ در مورد کانسارهای ضخیم و باارزش، گاه محدودکردن را می‌توان با حفر تونل‌هایی در هر دو مرز انتهایی و اتصال آن‌ها به وسیله تعدادی میان‌بر انجام داد.

۳ـ حدود دودکش‌ها و اجسام با ابعاد مساوی را می‌توان با حفر تونل‌های دنباله‌رو دایره‌ای در حوالی مرز آن مشخص کرد.

نکته۸: در موارد نادری ممکن است با مطالعه رخنمون‌ها بتوان منحنی‌های تراز ساختاری را رسم و محدوده کانسار را مشخص کرد. منحنی‌های تراز ساختاری، مانند منحنی‌های توپوگرافی که وضعیت پستی و بلندی زمین را در سطح مشخص می‌کنند، وضعیت ماده معدنی را در عمق نشان می‌دهند.

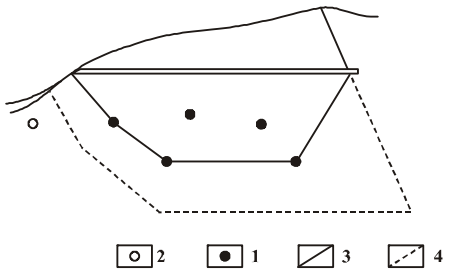
ـ درون‌یابی (اینترپولاسیون) مرزها

در مواردی که حفریات اکتشافی، نزدیک به‌هم احداث شده و بین آن‌ها نیز منحنی‌های تراز ساختاری رسم شده باشد، از این روش می‌توان برای تعیین محدوده کانسار استفاده کرد. در این روش، منحنی‌های تراز ساختاری را می‌توان در هر افق با استفاده از منحنی‌هایی که براساس اطلاعات حاصل از حفریات اکتشافی حفر شده‌اند، رسم کرد.

ـ برون‌یابی (اکتسرا پوله‌کردن) مرزها

در ماورای بخشی از کانسار که در آن حفریات اکتشافی حفر نشده است، مرز محدوده کانسار را می‌توان از طریق برون‌یابی به‌طور تقریبی تعیین کرد.

در حاشیه کانسار و پهلوها و نیز در حوالی عمیق‌ترین حفریات اکتشافی که در آن ماده معدنی مشاهده شده است، منحنی‌های تراز ساختاری از طریق برون‌یابی رسم می‌شود. مطابق شکل زیر، از اطلاعات اکتشافی می‌توان هم برای ترسیم منحنی تراز خارجی (مرزهای طبیعی) و هم برای منحنی تراز داخلی استفاده کرد.



محدود کردن یک توده معدنی در مقطع قائم

مثال۷: هرگاه در مشخص‌کردن محدوده کانسار در عمق، در مورد کانسارهای ضخیم و باارزش، محدودکردن را با حفر تونل‌هایی در هر دو مرز انتهایی آن‌ها به وسیله تعدادی میان‌بر انجام دهیم، در این صورت از کدام روش استفاده کرده‌ایم؟

۱) درون‌یابی مرزها
۲) تعقیب مداوم مرزها
۳) برون‌یابی مرزها
۴) بسته به شرایط زمین‌شناسی، هر روشی می‌توان به‌کار برد.

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» تعقیب مرز کانسار را می‌توان با استفاده از رخنمون ماده معدنی و نیز حفریات اکتشافی انجام داد. در مورد اجسام با ضخامت کم می‌توان تعقیب را با حفر مداوم حفریات اکتشافی در جهت امتداد یا شیب لایه، رگه یا عدسی انجام داد. در مورد کانسارهای ضخیم و باارزش، گاه محدودکردن را می‌توان با حفر تونل‌هایی در هر دو مرز انتهایی و اتصال آن‌ها به وسیله تعدادی میان‌بر انجام داد.

نکته۹: حد خارجی توده معدنی را می‌توان به روش برون‌یابی محدود یا نامحدود رسم کرد. در روش محدود، حد خارجی بین خط ترازی که در آن ماده معدنی دیده شده و خطی که در آن ماده معدنی دیده نشده است، قرار می‌گیرد (معمولاً درست در وسط آن‌ها) و در روش نامحدود، رسم حد خارجی دقت کمتری دارد و برای رسم آن، معمولاً چندین گزینه وجود دارد که به‌طور کلی آن‌ها را به دو دسته روش‌های زمین‌شناسی و رسمی تقسیم می‌کنند:

الف ـ روش‌های زمین‌شناسی

روش‌های زمین‌شناسی که قاطع‌ترین روش‌ها نیز هستند، به شرح زیرند:

ـ رسم حد خارجی کانسار با استفاده از رخساره‌های مختلف که این روش در مورد کانسارهای رسوبی متداول است.

ـ رسم حد خارجی کانسار با استفاده از سنگ‌های مشخصه همراه که بیشتر در کانسارهای اپی‌ژنتیک به‌کار می‌رود.

ـ رسم حد خارجی با استفاده از گسلی که ممکن است کانسار را محدود کرده باشد.

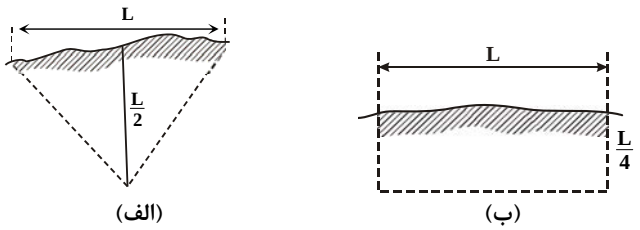
ـ رسم خط تراز در امتداد ضعیف‌شدن طبیعی و تدریجی توده معدنی که این حالت بیشتر در مورد اجسام عدسی‌شکل به‌کار می‌رود.

ب ـ روش‌های رسمی

روش‌های رسمی وقتی به‌کار می‌روند که اطلاعات قطعی زمین‌شناسی در ماورای حفریات اکتشافی در دست نباشند و در این حالت، منحنی تراز ساختاری برحسب اندازه کانسار و با توجه به چگالی شبکه اکتشاف رسم می‌شود. از جمله این روش‌ها می‌توان موارد زیر را نام برد:

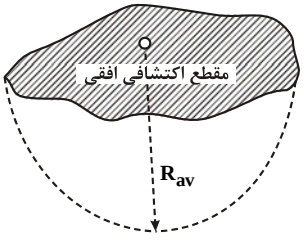
ـ رسم مرز خارجی به موازات خط تراز داخلی و با فاصله‌ای برابر فاصله بین حفریات اکتشافی (یا نصف متوسط فاصله در مورد توده‌های معدنی که دارای شکل نامنظم‌اند).

ـ رسم مرز محدوده توده معدنی برمبنای ضلع خطی توده که در این حالت مرز خارجی مثلثی می‌سازد که ارتفاع آن نصف طول توده است (شکل الف). در حالت خاصی از این روش، حد خارجی در طول محیط مستطیلی که ارتفاعش $\frac{۱}{۴}$ طول توده است، رسم می‌شود (شکل ب).



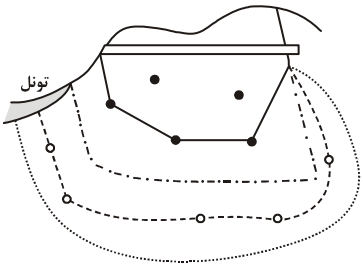
رسم حد خارجی توده معدنی

ـ رسم مرز خارجی در سطح خارجی یک مخروط (در مورد اجسام با بُعد مساوی) که قاعده آن معادل مقطع توده است که به وسیله مرز داخلی محدود شده و ارتفاعش برابر نصف طول گسترش توده است. گاه نیز برای این کار از یک نیم‌کره استفاده می‌شود که این حالت به واقعیت نزدیک‌تر است.



رسم حد خارجی توده معدنی در امتداد سطح نیمکره

مثال۸: مطابق شکل زیر، از اطلاعات اکتشافی برای ترسیم منحنی تراز خارجی و منحنی تراز داخلی استفاده می‌شود. در صورتی که منحنی‌های تراز ساختاری از طریق برون‌یابی رسم شود، کدام خط نشانگر مرز خارجی است؟ (توده معدنی در یک مقطع قائم محدود شده است.)
توجه: ◙ نشانگر گمانه‌هایی است که ماده معدنی را قطع کرده‌اند. ○ نشانگر گمانه‌هایی است که ماده معدنی را قطع نکرده‌اند.



۱)
۲)
۳)
۴)

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» حد خارجی توده معدنی را می‌توان به روش برون‌یابی محدود یا نامحدود رسم کرد. در روش محدود، حد خارجی بین خط ترازی که در آن ماده معدنی دیده شده و خطی که در آن ماده معدنی دیده نشده است، قرار می‌گیرد (معمولاً درست در وسط آن‌ها). بنابراین خط بین گمانه‌هایی قرار می‌گیرد که برخی از آن‌ها ماده معدنی را قطع کرده و بعضی دیگر که آن را قطع نکرده‌اند.

مثال۹: کدام‌یک از گزینه‌های زیر درباره روش‌های رسمی مرز خارجی نادرست است؟

۱) رسم مرز خارجی به موازات خط تراز داخلی و با فاصله‌ای برابر نصف متوسط فاصله، در مورد توده‌های معدنی که دارای شکل نامنظم‌اند، بین حفریات اکتشافی است.

۲) رسم مرز محدوده توده معدنی بر مبنای ضلع خطی توده است که در این حالت، مرز خارجی، مثلثی می‌سازد که ارتفاع آن نصف طول توده است.

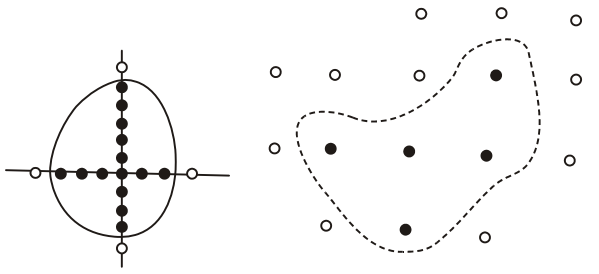
۳) رسم مرز خارجی در سطح خارجی اجسام با بُعد مساوی که قاعده آن معادل مقطع توده است که به وسیله مرز داخلی محدود شده و ارتفاعش برابر با طول گسترش توده است.

۴) رسم مرز محدوده توده معدنی بر مبنای ضلع خطی توده، در حالت خاصی که حد خارجی در طول محیط مستطیلی و ارتفاعش ربع طول توده می‌باشد.

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» رسم مرز خارجی در سطح خارجی یک مخروط (در مورد اجسام با بُعد مساوی) که قاعده آن معادل مقطع توده است که به وسیله مرز داخلی محدود شده و ارتفاعش برابر نصف طول گسترش توده است.

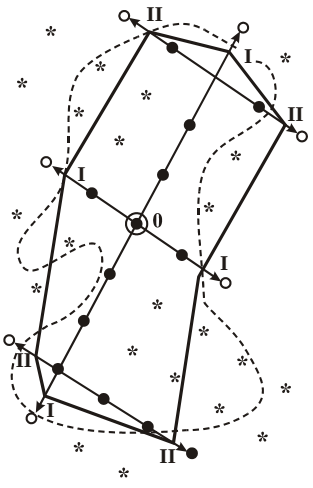
مشخص‌کردن محدوده کانسار در سطح

حدود توده معدنی در سطح را می‌توان به یکی از سه روش زیر مشخص کرد:
الف ـ طراحی و اجرای دو نیم‌رخ اکتشافی عمود بر هم (شکل الف).
ب ـ اجرای یک شبکه مستطیلی از حفریات اکتشافی (شکل ب) که این روش بیشتر معمول است.
ج ـ با استفاده از روش بردارها که شبیه روش الف است و در آن حفریات اکتشافی در طول بردارهایی که مبدأ آن‌ها در یک نقطه معین است، متمرکز می‌شوند.



(الف) (ب)

روش عمومی محدود کردن توده معدنی در سطح



1 2 3 4 5

ج ـ محدودکردن توده معدنی به روش برداری

نکته۱۰: تمام عملیات یادشده باید بر چهارمین اصل اکتشاف (اصل صرف حداقل هزینه و وقت لازم) منطبق باشد. این نکته را نیز باید در نظر داشت که حفریات اکتشافی سطحی، معمولاً ارزان‌ترین حفریات اکتشافی هستند و عدم توجه به این موضوع باعث اتلاف وقت و سرمایه می‌شود.

شبکه اکتشاف

آرایه نقاط اکتشافی در گستره کانسار به نام شبکه اکتشاف خوانده می‌شود. در حالت کلی، کانسار از نظر آماری جامعه‌ای است که اگرچه در بعضی موارد می‌توان آن را متجانس و همسانگرد در نظر گرفت؛ ولی عموماً فاقد این دو ویژگی است. واضح است که نقاط اکتشافی اعم از حفریات اکتشافی یا ایستگاه‌های برداشت ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی در هر حال محدود است؛ بنابراین همواره باید براساس تعداد محدودی داده در مورد کل جامعه کانسار قضاوت کرد.

برای اینکه بتوان از داده‌های اکتشافی به‌نحو مطلوبی استفاده کرد و براساس آن‌ها تخمینی از مشخصات کیفی و کمّی کانسار که اعتبار بیشتری داشته باشد ارائه داد، نقاط اکتشافی باید به شیوه مناسبی در کل کانسار گسترده شوند.

شبکه اکتشاف:

اگر کانسار همسانگرد و ویژگی‌های آن در جهات مختلف یکسان باشد، شبکه اکتشاف به صورت نقاطی با فاصله مساوی در نظر گرفته می‌شود و در حالت عکس، یعنی مواردی که تغییرات کانسار در جهت‌های مختلف متفاوت باشد، فاصله نقاط اکتشافی نیز متفاوت خواهد بود. در این موارد در امتدادهایی که تغییرات کانسار بیشتر است، فواصل نقاط اکتشافی کمتر و بالعکس در امتدادهای با تغییرات کمتر، زیادتر در نظر گرفته می‌شود.

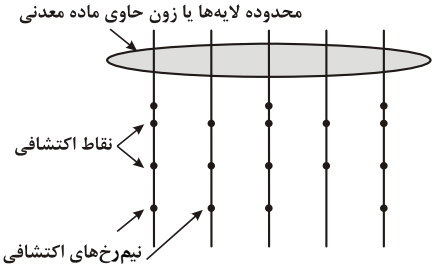
نکته۱۱: اگر براساس طرح شبکه اکتشاف برای کل کانسار n نقطه اکتشافی در نظر گرفته شده باشد، تمام این نقاط در یک مرحله اجرا نمی‌شود؛ بلکه این کار را در چندین مرحله انجام می‌دهند، به گونه‌ای که در هر مرحله، نقاط اکتشافی مربوط به آن مرحله در کل کانسار گسترش یابد. در مراحل بعدی در بین نقاط اکتشافی اولیه، نقاط جدیدی اجرا می‌شود و این کار تا پایان اکتشاف ادامه می‌یابد.

انواع شبکه اکتشاف

از نظر وضعیت شبکه اکتشاف، کانسارها را می‌توان به دو دسته کانسارهای ورقه‌ای و توده‌ای تقسیم کرد:

الف ـ کانسارهای ورقه‌ای

این گروه از کانسارها، کانسارهای لایه‌ای، رگه‌ای و انواع دیگر را که در هرحال می‌توان برای آن‌ها شیب و امتداد در نظر گرفت، دربردارد. در مورد این کانسارها، شبکه اکتشاف مرکب شامل تعدادی نیم‌رخ اکتشافی است که حتی‌المقدور به حالت عمود بر امتداد لایه یا رگه توجیه شده‌اند و نقاط اکتشافی روی آن‌ها قرار می‌گیرد.

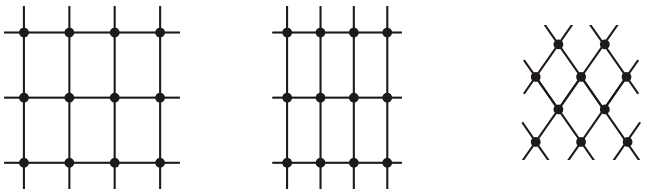


شبکه اکتشاف در مورد کانسارهای ورقه‌ای

نقاط اکتشافی ممکن است حفریات اکتشافی سطحی (نظیر ترانشه، چاهک، اوکلون)، گمانه یا تونل‌های اکتشافی باشد. فواصل نیم‌رخ‌های اکتشافی از هم و فاصله نقاط اکتشافی روی هر نیم‌رخ، بسته به نوع کانسار، تغییرپذیری آن و مرحله اکتشاف متفاوت است.

ب ـ کانسارهای توده‌ای

در مورد این کانسارها نمی‌توان شیب و امتداد معینی را در نظر گرفت. بسیاری از کانسارهای فلزی در این گروه جای می‌گیرند که از آن جمله می‌توان کانسارهای مس پورفیری و آهن را نام برد. در مورد این کانسارها، شبکه اکتشاف معمولاً مرکب از دو دسته نیم‌رخ‌های اکتشافی عمود بر هم است.



شبکه اکتشاف در مورد کانسارهای توده‌ای (نقاط سیاه نشانگر موقعیت اکتشافی است.)

نکته۱۲: اگر کانسار همسانگرد باشد، شبکه مربعی برای آن در نظر گرفته می‌شود (شکل الف) و در مورد کانسارهایی که در یک امتداد نسبت به امتداد دیگر تغییرات بیشتری دارند، از شبکه مستطیلی استفاده می‌کنند (شکل ب).

نکته۱۳: شبکه لوزی معمولاً برای کانسارهایی که حد وسط دو حالت متجانس و غیرمتجانس‌اند، مناسب است. از نظر اقتصادی نیز شبکه لوزی مقرون به‌صرفه است؛ زیرا نسبت به شبکه مربعی، نقاط اکتشافی کمتری (با همان فاصله) مورد نیاز است (شکل ج).

مثال۱۰: کدام گزینه می‌تواند تکمیل‌کننده عبارت زیر در مورد انواع شبکه اکتشافی باشد؟

«در کانسارهای ..... ، شبکه اکتشاف معمولاً مرکب از دو دسته نیم‌رخ‌های اکتشافی عمود بر هم است، به‌گونه‌ای که اگر کانسار همسانگرد باشد، شبکه ..... در نظر گرفته می‌شود و اگر کانسار در یک امتداد نسبت به امتداد دیگر تغییرات بیشتری داشته باشد، شبکه ..... مناسب می‌باشد و شبکه ..... از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه می‌باشد.»

۱) ورقه‌ای ـ مربعی ـ مستطیلی ـ لوزی
۲) توده‌ای ـ مربعی ـ مستطیلی ـ لوزی
۳) ورقه‌ای ـ مستطیلی ـ مربعی ـ لوزی
۴) توده‌ای ـ مستطیلی ـ مربعی ـ لوزی

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» در کانسارهای توده‌ای، شبکه اکتشاف از دو دسته نیم‌رخ عمود برهم تشکیل شده که اگر کانسار همسانگرد باشد، شبکه مربعی و اگر کانسار در یک امتداد تغییرات بیشتری داشته باشد، شبکه مستطیلی مناسب است و در نهایت شبکه لوزی از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه است.

چگالی شبکه اکتشاف

طبق تعریف، مساحت کانسار به ازای واحد حفریه اکتشافی که ماده معدنی را قطع کرده باشد، به نام چگالی شبکه اکتشاف خوانده می‌شود: $S_\circ = \frac{S}{n}$

که در رابطه فوق:

S: مساحت کانسار که در صفحه افقی، قائم یا مایل اندازه‌گیری می‌شود. n: تعداد حفریات اکتشافی که ماده معدنی را قطع کرده است.

$S_\circ$: چگالی شبکه اکتشاف

یکی از مهم‌ترین تفاوت‌های مراحل پی‌جویی، اکتشاف مقدماتی و اکتشاف تفصیلی، چگالی شبکه اکتشاف آنهاست؛ زیرا در مرحله پی‌جویی، فاصله نقاط اکتشافی از هم زیاد و با وجود اینکه تعداد آن‌ها اندک است، تمامی منطقه را می‌پوشانند.

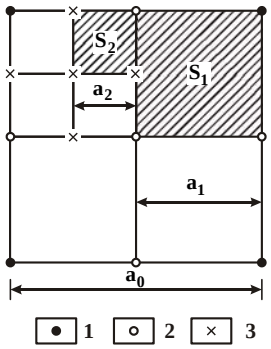
نکته۱۴: هنگامی‌که اکتشاف به مراحل عمومی و تفصیلی می‌رسد، تعداد نقاط اکتشافی زیادتر و چگالی اکتشاف انبوه‌تر می‌شود.

توسعه شبکه اکتشاف

برای کسب اطلاعات دقیق‌تر در مراحل بعدی اکتشاف، باید حفریات اکتشافی جدیدی در بین حفریات قبلی حفر کرد و این عمل را توسعه شبکه اکتشاف می‌گویند. شبکه اکتشاف با روش‌های زیر توسعه می‌یابد:

الف ـ نصف‌کردن فاصله بین نیم‌رخ‌های اکتشافی موجود

در این روش، مطابق شکل نیم‌رخ‌های جدیدی به فاصله مساوی از نیم‌رخ‌های موجود، طراحی و حفریات اکتشافی جدید را در امتداد آن‌ها حفر می‌کنند.



توسعه شبکه اکتشاف با نصف کردن فاصله بین حفریات اکتشافی موجود (شماره‌های ۱، ۲ و۳ به‌ترتیب حفریات اکتشافی اولیه و مراحل اول و دوم را نشان می‌دهد.)

مطابق شکل، اگر ضلع شبکه اکتشاف اولیه $a_\circ$ باشد، چگالی شبکه اکتشاف در این مرحله خواهد شد: $S_\circ = a_\circ^2$

در اولین مرحله از توسعه شبکه اکتشاف، ضلع و چگالی شبکه اکتشاف خواهد شد: $a_1 = \frac{a_\circ}{2}$ و $S_1 = \frac{a_\circ^2}{4}$

در دومین مرحله، ضلع شبکه مرحله اول نصف می‌شود و بنابراین ضلع چگالی شبکه اکتشاف این مرحله خواهد شد: $a_2 = \frac{a_1}{2} = \frac{a_\circ}{4}$, $S_2 = \frac{a_\circ^2}{16}$

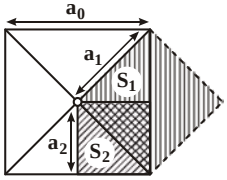
به‌طوری‌که از روابط مذکور پیداست، نسبت چگالی اکتشاف هر مرحله نسبت به مرحله بعدی ثابت و برابر ۴ است: $\frac{S_\circ}{S_1} = \frac{S_1}{S_2} = 4$

ب ـ روش پوش

در این روش، بعد از حفر اولین حفریات اکتشافی در امتداد نیم‌رخ‌های اولیه، با وصل‌کردن نقاط اکتشافی به‌هم چهارضلعی‌هایی به‌دست می‌آورند و در ضلع نیم‌قطر این چهارضلعی‌ها، چهارضلعی جدیدی می‌سازند و حفریات اکتشافی جدید را در رئوس چهارضلعی‌های اخیر متمرکز می‌کنند و این عمل در مراحل بعدی به‌همین ترتیب ادامه می‌یابد. مطابق شکل، در این حالت نیز ضلع اولیه شبکه اکتشاف $a_\circ$ و چگالی شبکه اولیه $S_\circ = a_\circ^2$ است، اما ضلع و چگالی شبکه اکتشاف در اولین و دومین مرحله توسعه به شرح زیر خواهد بود:

$a_1 = \frac{a_\circ}{\sqrt{2}}$ $\quad S_1 = \frac{a_\circ^2}{2}$

$a_2 = \frac{a_\circ}{2}$ $\quad S_2 = \frac{a_\circ^2}{4}$



توسعه شبکه اکتشاف به روش پوش (شماره‌های ۱، ۲و۳ به‌ترتیب حفریات اکتشافی اولیه، مرحله اول و مرحله دوم را نشان می‌دهد.)