جمهوری اسلامی ایران

سازمان برنامه و بودجه کشور

دستورالعمل فعالیت‌های زمین‌شناسی استخراجی

ضابطه شماره ۷۵۵

سازمان برنامه و بودجه کشور

معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

nezamfanni.ir

وزارت صنعت، معدن و تجارت

معاونت امور معادن و صنایع معدنی

دفتر نظارت امور معدنی

http://minecriteria.mimt.gov.ir

۱۳۹۸

باسمه‌تعالی

ریاست جمهوری
سازمان برنامه و بودجه کشور
رییس سازمان

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	**شماره:**	**۹۸/۴۸۵۵۷۱**
	تاریخ:	**۱۳۹۸/۰۹/۰۲**

موضوع: دستورالعمل فعالیت‌های زمین‌شناسی استخراجی

در چارچوب ماده (۳۴) قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور، نظام فنی و اجرایی یکپارچه و ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، به پیوست ضابطه شماره ۷۵۵ امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران؛ با عنوان « دستورالعمل فعالیت‌های زمین‌شناسی استخراجی » از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود. رعایت مفاد این ضابطه در صورت نداشتن ضوابط بهتر، از تاریخ ۱۳۹۹/۰۱/۰۱ الزامی است.

ضوابط و معیارها در حدود مشخص شده در این ضابطه، با توجه به شرایط خاص کار مورد نظر تعیین و مبنای عمل می‌باشد. در مورد پروژه‌هایی که از محل سرمایه‌گذاری بخش غیر دولتی تامین اعتبار می‌شوند، لازم است حدود انتخابی معیارهای یادشده در مرحله ارجاع کار تعیین و به تایید سرمایه‌پذیر برسد.

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران این سازمان دریافت‌کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی در مورد مفاد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم را اعلام خواهد کرد.

محمد باقر نوبخت

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی سازمان برنامه و بودجه کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این ضابطه کرده و آن را برای استفاده به جامعه ی مهندسی کشور عرضه نموده است .با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط های مفهومی، فنی، ابهام، ایهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این‌رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

۱- در سامانه مدیریت دانش اسناد فنی و اجرایی (سما) ثبت نام فرمایید: sama.nezamfanni.ir

۲- پس از ورود به سامانه سما و برای تماس احتمالی، نشانی خود را در بخش پروفایل کاربری تکمیل فرمایید.

۳- به بخش نظرخواهی این ضابطه مراجعه فرمایید.

۴- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.

۵- ایراد مورد نظر را بصورت خلاصه بیان دارید.

۶- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال کنید.

کارشناسان این امور نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت.

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی شاه – مرکز تلفن ۳۳۲۷۱

سازمان برنامه و بودجه کشور، امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران.

Email:nezamfanni@mporg.ir web: nezamfanni.ir

باسمه تعالی

پیشگفتار

نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت ۳۳۴۹۷ه، مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات وزیران) به کارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در قیمت تمام شده طرح‌ها را مورد تاکید جدی قرار داده است و این امور براساس نظام فنی اجرایی یکپارچه، موضوع ماده ۳۴ قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور، ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و آیین‌نامه استانداردهای اجرایی مصوب هیات محترم وزیران، تهیه و تدوین ضوابط و معیارهای فنی طرح‌های توسعه‌ای کشور را به عهده دارد.

پس از خاتمه عملیات اکتشافی و آغاز مرحله بهره‌برداری معدن، بعضی از فعالیت‌های اکتشافی در حین استخراج ادامه می‌یابد که تحت عنوان فعالیت‌های زمین‌شناسی استخراجی شناخته می‌شود. طی این عملیات با انجام نمونه‌برداری دقیق و مداوم، برنامه‌ریزی تولید کنترل می‌شود تا محصول استخراجی با کمترین نوسانات از نظر کیفی به کارخانه فرآوری ارسال شود. همچنین میزان ذخیره قابل استخراج به طور مداوم کنترل می‌شود تا در صورت لزوم و با آگاهی از داده‌های جدیدی که در مرحله استخراج به دست آمده است، ذخیره پیش‌بینی شده اصلاح شود.

کنترل شکستگی‌هایی که در مرحله اکتشاف به خوبی شناخته نشده و یا اصولا شناسایی نشده‌اند، از دیگر اهداف این مطالعات است. همچنین با بررسی‌های دقیق و نمونه‌گیری مداوم زغال‌سنگ، احتمال خودسوزی زغال در این معادن را کنترل می‌کنند تا قبل از وقوع حادثه، نسبت به کنترل آن اقدام شود.

ضابطه حاضر با عنوان **"دستورالعمل فعالیت‌های زمین‌شناسی استخراجی"** در قالب برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن تهیه شده است.

با همه تلاش‌های انجام شده قطعا هنوز کاستی‌هایی در متن موجود است که امید است، کاربرد عملی و در سطح وسیع این ضابطه توسط مهندسان موجبات شناسایی و برطرف نمودن آن‌ها را فراهم آورد.

حمیدرضا عدل
معاون فنی، امور زیربنایی و تولیدی
پاییز ۱۳۹۸

تهیه و کنترل «دستورالعمل فعالیت‌های زمین‌شناسی استخراجی»

[نشریه شماره ۷۵۵]

مجری طرح

جعفر سرقینی	دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی- وزارت صنعت، معدن و تجارت

اعضای شورای عالی به ترتیب حروف الفبا

فرزانه آقارمضانعلی	کارشناس ارشد مهندسی صنایع- سازمان برنامه و بودجه کشور
عباسعلی ایروانی	کارشناس ارشد مدیریت کارآفرینی (کسب و کار)- وزارت صنعت، معدن و تجارت
بهروز برنا	کارشناس مهندسی معدن- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
محمد پریزادی	کارشناس ارشد مهندسی معدن- سازمان برنامه و بودجه کشور
عبدالعلی حقیقی	کارشناس ارشد زمین‌شناسی
جعفر سرقینی	دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی- وزارت صنعت، معدن و تجارت
علیرضا غیاثوند	دکترای زمین‌شناسی اقتصادی- وزارت صنعت، معدن و تجارت
حسن مدنی	کارشناس ارشد مهندسی معدن- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
هرمز ناصرنیا	کارشناس ارشد مهندسی معدن

اعضای کارگروه اکتشاف به ترتیب حروف الفبا

علی اصغرزاده	کارشناس ارشد مهندسی معدن- سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران
بهروز برنا	کارشناس مهندسی معدن- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
محمد پریزادی	کارشناس ارشد مهندسی معدن- سازمان برنامه و بودجه کشور
نعمتا... رشیدنژادعمران	دکترای پترولوژی- دانشگاه تربیت مدرس
بهزاد مهرابی	دکترای زمین‌شناسی اقتصادی- دانشگاه خوارزمی

اعضای کارگروه تنظیم و تدوین به ترتیب حروف الفبا

مهدی ایران‌نژاد	دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
بهرام رضایی	دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
علیرضا غیاثوند	دکترای زمین‌شناسی اقتصادی- وزارت صنعت، معدن و تجارت
حسن مدنی	کارشناس ارشد مهندسی معدن- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
بهزاد مهرابی	دکترای زمین‌شناسی اقتصادی- دانشگاه خوارزمی

اعضای گروه هدایت و راهبری پروژه

علیرضا توتونچی	معاون امور نظام فنی و اجرایی
فرزانه آقارمضانعلی	رییس گروه امور نظام فنی و اجرایی
مهدیه اسکندری	کارشناس گروه ضوابط و معیارهای معاونت امور معادن و صنایع معدنی

پیش‌نویس این نشریه توسط **آقای مهندس حسن مدنی** تهیه شده و پس از بررسی و تایید توسط کارگروه اکتشاف، به تصویب شورای عالی برنامه رسیده است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول- تعاریف، حفریات و نقشه‌های معدنی	**۱**
۱-۱- آشنایی	۳
۱-۲- تعاریف و مفاهیم معدنی	۳
۱-۳- حفریات بازکننده معدن	۴
۱-۳-۱- تونل‌های عمود بر لایه	۴
۱-۳-۲- تونل‌های مورب	۵
۱-۳-۳- چاه	۶
۱-۴- حفریات آماده‌سازی	۶
۱-۴-۱- طبقات معدن	۶
۱-۴-۲- تونل‌های امتدادی (موازی لایه)	۷
۱-۴-۳- تونل‌های دنباله‌رو (دنبال لایه)	۷
۱-۴-۴- دویل	۷
۱-۴-۵- طبقات فرعی	۷
۱-۴-۶- کارگاه استخراج	۸
۱-۵- مقاطع معدنی	۸
۱-۵-۱- تهیه مقاطع	۸
۱-۵-۲- موارد کاربرد مقاطع معدنی	۱۰
۱-۵-۳- مقاطع طولی	۱۲
۱-۶- نقشه‌های معدنی	۱۲
۱-۶-۱- نقشه داده‌های اکتشافی سطحی	۱۲
۱-۶-۲- نقشه طبقات	۱۳
۱-۶-۳- نقشه‌های مایل	۱۵
فصل دوم- دستورالعمل برداشت حفریات استخراجی	**۱۷**
۲-۱- آشنایی	۱۹
۲-۲- تونل‌های عمود بر لایه	۱۹

۲-۲-۱- تهیه طرح تونل ۱۹
۲-۲-۲- برداشت تونل ۲۰
۲-۳- تونل‌های امتدادی (موازی لایه) ۲۳
۲-۳-۱- مشخصات کلی ۲۳
۲-۳-۲- برداشت تونل‌های امتدادی ۲۴
۲-۴- میان‌برها ۲۷
۲-۵- تونل‌های دنباله‌رو (دنبال لایه) ۲۸
۲-۶- دویل ۳۰
۲-۶-۱- محاسبه طول دویل ۳۱
۲-۶-۲- تعیین آزیموت دویل ۳۱
۲-۶-۳- برداشت دویل ۳۲
۲-۷- کارگاه استخراج ۳۲
۲-۸- تهیه نقشه ترکیبی حفریات زیرزمینی ۳۳
۲-۹- پله‌ها و کارگاه‌های معادن سطحی ۳۴
۲-۹-۱- برداشت پله‌ها ۳۴
۲-۹-۲- تهیه نقشه پله‌های مختلف ۳۵
فصل سوم- نمونه‌برداری از حفریات استخراجی **۳۷**
۳-۱- آشنایی ۳۹
۳-۲- مراحل نمونه‌برداری ۳۹
۳-۳- محل نمونه‌برداری ۳۹
۳-۳-۱- افق نمونه‌برداری ۳۹
۳-۳-۲- مکان‌های نمونه‌برداری در معادن زیرزمینی ۴۰
۳-۳-۳- مکان‌های نمونه‌برداری در معادن سطحی ۴۵
۳-۳-۴- محل‌های نمونه‌برداری در سیستم حمل و نقل ۴۵
۳-۴- زمان تناوب نمونه‌برداری ۴۵
۳-۴-۱- معادن زیرزمینی ۴۵
۳-۴-۲- معادن سطحی ۴۶
۳-۵- وزن نمونه لازم ۴۷

۳-۵-۱- روش‌های تجربی ۴۷
۳-۵-۲- روش محاسبه‌ای، رابطه جی ۴۸
۳-۶- روش‌های نمونه‌برداری ۵۰
۳-۶-۱- نمونه‌برداری شیاری ۵۰
۳-۶-۲- نمونه‌برداری لایه‌ای ۵۳
۳-۶-۳- نمونه‌برداری نقطه‌ای یا لبپری ۵۳
۳-۶-۴- نمونه‌برداری کلوخه‌ای ۵۴
۳-۶-۵- نمونه‌برداری از چال‌ها ۵۵
۳-۷- تکمیل شناسنامه نمونه و ارسال آن به آزمایشگاه ۵۵
۳-۸- تجزیه و تحلیل نتایج تجزیه شیمیایی نمونه ۵۶
فصل چهارم- دستورالعمل محاسبه ذخیره قابل استخراج و کنترل عیار ماده معدنی ۵۷
۴-۱- آشنایی ۵۹
۴-۲- نقشه‌های اطلاعاتی استخراجی ۵۹
۴-۲-۱- نقشه‌های تصویر شده در سطح افق ۵۹
۴-۲-۲- نقشه‌های مایل ۶۰
۴-۲-۳- نقشه پله‌ها ۶۰
۴-۲-۴- نقشه‌های طولی تصویر شده در سطح قائم ۶۱
۴-۲-۵- منحنی‌های تراز ساختاری ۶۵
۴-۲-۶- نمودارهای کونولی ۶۸
۴-۳- برآورد و به روز کردن ذخیره قابل استخراج و عیار متوسط پهنه‌های استخراجی ۷۰
۴-۳-۱- نکات مهم در تعیین ذخیره و عیار قابل استخراج ۷۰
۴-۳-۲- محاسبه ذخیره قابل استخراج و عیار متوسط پهنه‌های استخراجی بر اساس اطلاعات گمانه‌ها ۷۱
۴-۳-۳- محاسبه ذخیره و عیار متوسط پهنه‌های استخراجی بر اساس اطلاعات چال‌ها ۷۳
۴-۳-۴- محاسبه ذخیره و عیار پهنه‌های در حال استخراج ۷۴
۴-۳-۵- محاسبه ذخیره به روش منحنی‌های تراز ۷۵
۴-۴- تهیه مدل بلوکی ۷۹
۴-۴-۱- تعیین ابعاد بلوک‌های اصلی ۸۰
۴-۴-۲- تعیین ابعاد بلوک‌های فرعی ۸۱

۴-۵- برنامه‌ریزی تولید به منظور کنترل عیار ماده معدنی ۸۱
۴-۶- برنامه‌ریزی مخلوط و همگن‌سازی محصولات استخراجی ۸۷
۴-۷- مدلسازی تغییرات عیار محصول استخراجی ۸۷
فصل پنجم- دستورالعمل تشخیص گسل‌ها و مشخصات آن‌ها در حفریات استخراجی ۸۹
۵-۱- آشنایی ۹۱
۵-۲- مسایل کلی مربوط به گسل‌ها در حفریات استخراجی ۹۱
۵-۲-۱- تعاریف و مبانی ۹۱
۵-۲-۱- جابه‌جایی گسل ۹۳
۵-۳- راهنمای تعیین مشخصات گسل در حفریات استخراجی ۹۵
۵-۳-۱- اختلاف سنگ‌های دیواره‌ها ۹۵
۵-۳-۲- کشیدگی کانسنگ یا طبقات ۹۶
۵-۳-۳- آینه گسل ۹۶
۵-۳-۴- گوژ گسل ۹۶
۵-۳-۵- ریزگسل‌های همزاد ۹۶
۵-۳-۶- صفحات برشی مکمل ۹۷
۵-۳-۷- شکستگی‌های کششی ۹۷
۵-۴- مسایل ویژه گسل‌ها در حفریات استخراجی ۹۸
۵-۴-۱- دیواره‌های کاذب ۹۸
۵-۴-۲- اشکالات تعبیر و تفسیر گسل در حفریات استخراجی ۹۹
۵-۴-۳- تعیین زمان گسلش نسبت به زمان کانی‌سازی ۱۰۰
فصل ششم- مطالعات گازخیزی در معادن زغال‌سنگ ۱۰۳
۶-۱- آشنایی ۱۰۵
۶-۲- طرز تشکیل گاز زغال ۱۰۵
۶-۳- ترکیب گاز زغال ۱۰۶
۶-۴- نمونه‌برداری از زغال به منظور مطالعه گازخیزی ۱۰۷
۶-۴-۱- نمونه‌برداری از هوای داخل تونل‌ها ۱۰۷
۶-۴-۲- نمونه‌برداری از زغال به وسیله ظرف‌های فولادی مخصوص ۱۰۸
۶-۵- تعیین محتوای گاز زغال ۱۰۹

۶-۵-۱- مولفه‌های گاز زغال ۱۰۹
۶-۵-۲- تعیین حجم گاز واجذب ۱۰۹
۶-۵-۳- برآورد حجم گاز هدر رفته ۱۱۲
۶-۵-۴- برآورد حجم گاز باقی مانده ۱۱۲
۶-۶- محاسبه گازخیزی زغال ۱۱۳
۶-۷- رده‌بندی کانسارهای زغال از نظر گازخیزی ۱۱۵
۶-۸- تعیین گازخیزی لایه‌ها در اعماق مختلف ۱۱۵
۶-۸-۱- تعیین گازخیزی لایه‌ها به کمک اطلاعات حاصل از نمونه‌ها ۱۱۵
۶-۸-۲- تعیین گازخیزی لایه‌ها با استفاده از روابط تجربی ۱۱۵
۶-۸-۳- تعیین گازخیزی به روش‌های زمین آماری ۱۱۷
۶-۹- نمایش اطلاعات گازخیزی ۱۱۷
فصل هفتم- دستورالعمل تشخیص و کنترل خودسوزی در معادن زغال‌سنگ ۱۱۹
۷-۱- آشنایی ۱۲۱
۷-۲- مکانیزم خودسوزی ۱۲۱
۷-۳- عوامل موثر در خودسوزی زغال ۱۲۴
۷-۳-۱- عوامل ذاتی ۱۲۴
۷-۳-۲- عوامل محیطی ۱۲۷
۷-۳-۳- عوامل زمین‌شناسی ۱۲۸
۷-۴- آزمون‌های سنجش استعداد خودسوزی ۱۲۸
۷-۴-۱- روش تک دمای استاتیک ۱۲۹
۷-۴-۲- روش دمای احتراق (دمای نقطه تقاطع) ۱۳۱
۷-۵- نقش عوامل معدنی در خودسوزی زغال ۱۳۳
۷-۵-۱- روش استخراج ۱۳۳
۷-۵-۲- روش گاززدایی ۱۳۴
۷-۵-۳- مکان وقوع خودسوزی ۱۳۶
۷-۵-۴- تهویه ۱۳۶
۷-۵-۵- فعالیت‌های معدنی ۱۳۷
۷-۶- تشخیص خودسوزی در معادن زغال ۱۳۸

۷-۶-۱- سیستم نمونه‌گیری و نظارت مداوم مونواکسید کربن ۱۴۰
۷-۶-۲- تشخیص به وسیله اشعه مادون قرمز ۱۴۰
۷-۶-۳- سیستم نمونه‌برداری دوره‌ای گاز ۱۴۱
۷-۷- کنترل خودسوزی ۱۴۲
۷-۸- مقابله با خودسوزی ۱۴۳
پیوست ۱- مثالی از برنامه‌ریزی مخلوط و همگن‌سازی محصولات استخراجی ۱۴۷
پیوست ۲- مطالعات خودسوزی در معدن سپاروود ۱۵۳
پیوست ۲- مطالعات خودسوزی در معدن زغال‌سنگ سوما در ترکیه ۱۵۹

فصل ۱

تعاریف، حفریات و نقشه‌های معدنی

۱-۱- آشنایی

از آنجا که در مباحث مختلف این دستورالعمل، از اصطلاحات و حفریات معدنی مختلف نام برده می‌شود، بنابراین در این فصل، بعضی اصطلاحات، حفریات معدنی و مسایل کلی مربوط به آن‌ها تشریح شده است.

۱-۲- تعاریف و مفاهیم معدنی

اصطلاحات متداول در معدنکاری به شرح زیر است:

الف- منبع معدنی[۱]

انباشت طبیعی مواد معدنی که وجود آن‌ها با بررسی‌های اکتشافی قابل اثبات است.

ب- کانسار[۲]

تمرکز طبیعی مواد معدنی که دارای ارزش اقتصادی است.

پ- ذخیره معدنی[۳]

ذخیره وزنی کانسنگ موجود در کانسار که بر اساس سطح اعتماد و اعتبار داده‌های موجود، به رده‌های مختلف تقسیم می‌شود.

ت- کانی[۴]

عنصر یا ترکیب طبیعی غیر آلی که دارای ساختمان داخلی منظم، ترکیب شیمیایی و خواص فیزیکی مشخص باشد.

ث- کان تن[۵]

توده معدنی با ابعاد مشخص که دارای کانسنگ با ارزش اقتصادی است.

ج- کانسنگ[۶]

- مواد طبیعی که کانی یا کانی‌هایی با ارزش اقتصادی دارند و استخراج آن‌ها سودمند تشخیص داده شده است.

- یک کانی مفید (کانه) یا مجموعه‌ای از چند کانی مفید که ممکن است با مواد نامطلوب (گانگ[۷]) همراه باشند و استخراج آن‌ها سودمند باشد.

چ- کانه[۸]

- کانی یا کانی‌هایی که استخراج آن‌ها از نظر اقتصادی سودمند باشد.

---

1 -Mineral resource
2- Mineral deposit, ore deposit
3- Ore reserve
4- Mineral
5- Ore body
6- Ore
7- Gangue
8- Ore mineral

- آن دسته از کانی‌های موجود در کانسنگ که ارزش اقتصادی دارند و استخراج کانسنگ به منظور استحصال آن‌ها انجام می‌شود.

ح- گانگ

- بخشی از کانسنگ که ارزش اقتصادی ندارد ولی الزاما باید همراه با آن استخراج شود.
- سنگ یا مجموعه کانی‌های فاقد ارزش اقتصادی در کانسنگ
- بخشی که همراه کانسنگ اما فاقد ارزش اقتصادی است و الزاما باید طی عملیات معدنکاری، استخراج شود. گانگ طی فرآیند کانه‌آرایی از کانسنگ جدا می‌شود.

۱-۳- حفریات بازکننده معدن

حفریات باز کننده، حفریاتی هستند که برای دستیابی به ماده معدنی حفر می‌شوند. در معادن زیرزمینی، حفریات بازکننده عبارت از تونل‌های عمود بر لایه، تونل‌های مورب و چاه‌ها هستند. در مورد معادن سطحی، باطله‌برداری باعث برونزد ماده معدنی و دستیابی به آن می‌شود.

۱-۳-۱- تونل‌های عمود بر لایه[1]

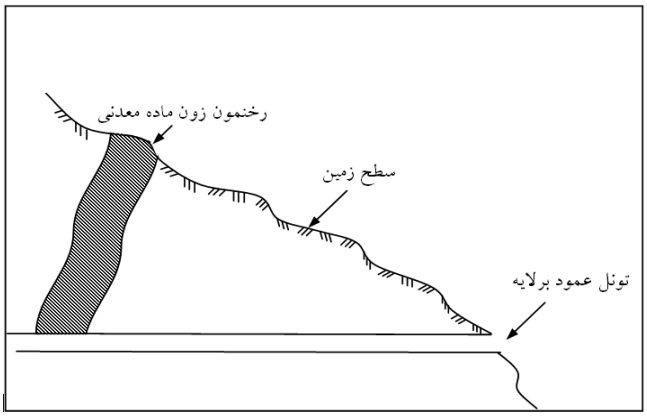
در مواردی که ماده معدنی شیب‌دار و وضعیت توپوگرافی زمین نیز مناسب باشد، با حفر تونل‌های عمود بر لایه می‌توان به ماده معدنی دست یافت (شکل ۱-۱).

بسته به طرح معدن و سیستم نگهداری، مقطع تونل‌های عمود بر لایه ممکن است ذوزنقه‌ای و یا قوسی باشد. در معادن ایران این تونل‌ها به نام تونل اصلی و یا تونل مادر خوانده می‌شوند.

اگر چه تونل‌های عمود بر لایه عملا افقی در نظر گرفته می‌شوند، اما در واقع بین ۳ تا ۵ در هزار به سوی دهانه خود شیب دارند.

نکته مهمی که باید در نظر داشت آن است که تونل عمود بر لایه، بر سطح زون ماده معدنی عمود نیست بلکه امتداد آن بر امتداد زون ماده معدنی عمود است. در مورد کانسارهای توده‌ای که شیب و امتداد خاصی ندارند نیز برای دسترسی به ماده معدنی از سطح زمین تونل‌های افقی حفر می‌شود که ممکن است تمام یا قسمتی از آن‌ها در داخل ماده معدنی قرار گیرد.

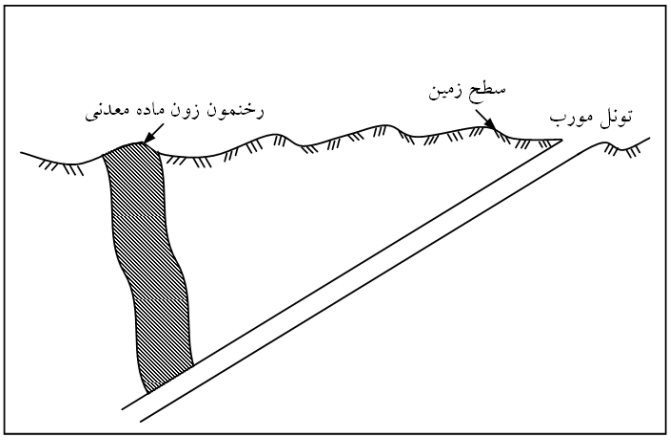
1- Adit



شکل ۱-۱- تونل عمود بر لایه

۱-۳-۲- تونل‌های مورب[1]

اگر سطح زمین افقی و یا کم شیب باشد، به منظور دستیابی به ماده معدنی از تونل مورب یا چاه استفاده می‌شود (شکل ۱-۲). مقطع تونل‌های مورب نیز به طرح استخراج، سیستم نگهداری و شیب آن‌ها بستگی دارد و ممکن است ذوزنقه‌ای یا قوسی باشد.



شکل ۱-۲- تونل مورب

اگر چه در حالت کلی تونل‌های مورب را نیز به صورت عمود بر لایه حفر می‌کنند (یعنی امتداد محور تونل بر امتداد گسترش زون ماده معدنی عمود است) ولی گاه ممکن است به دلایل مختلف، امتداد تونل بر امتداد گسترش زون ماده معدنی عمود نباشد.

1- Incline

۱-۳-۳- چاه[1]

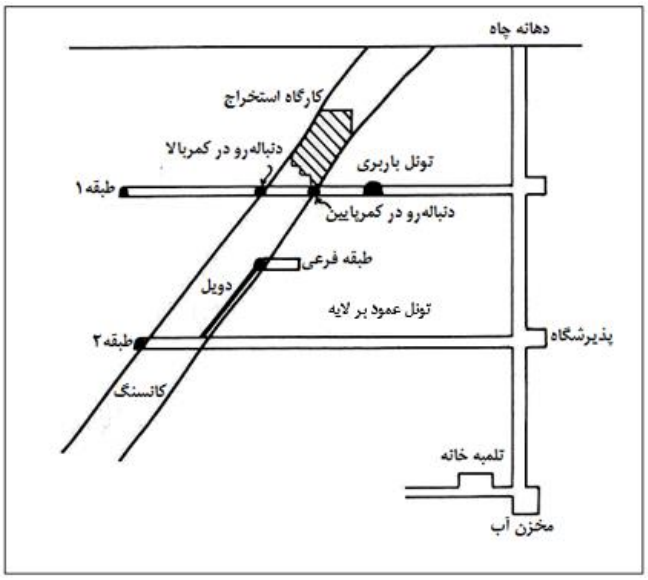
در حالتی که زمین کمابیش افقی باشد، برای گشایش معدن و دستیابی به ماده معدنی از چاه‌های قائم استفاده می‌شود (شکل ۱-۳). مقطع چاه معمولا دایره‌ای و در بعضی موارد نیز چهارگوش است.

۱-۴- حفریات آماده‌سازی[2]

پس از دستیابی به ماده معدنی، با احداث حفریات آماده‌سازی، معدن برای استخراج آماده می‌شود. حفریات آماده‌سازی به شرح زیراند:

۱-۴-۱- طبقات معدن[3]

اگر معدن به وسیله تونل‌های عمود بر لایه گشایش یافته باشد، هر یک از تونل‌ها، طبقات معدن را تشکیل می‌دهند. طبقات معدن از بالا به پایین نامگذاری می‌شوند و هر طبقه به نام تراز آن طبقه یعنی ارتفاع از سطح دریا خوانده می‌شود. در مواردی که معدن به وسیله تونل مورب یا چاه گشایش یافته باشد، به فواصل مختلف از داخل تونل مورب یا چاه، تونل‌هایی به حالت عمود بر امتداد گسترش زون ماده معدنی حفر می‌شوند تا ماده معدنی را قطع کنند. این حفریات به نام عمود بر لایه خوانده می‌شوند (شکل ۱-۳). احداث طبقات در تمام موارد الزامی نیست و در بعضی حالات مانند لایه‌های زغال‌سنگ کم شیب ممکن است معدن به جای طبقات به صورت پهنه‌ای استخراج شود.



شکل ۱-۳- چاه و سایر حفریات استخراجی

1- Shaft
2- Working development
3- Mine levels

۱-۴-۲- تونل‌های امتدادی[1] (موازی لایه)

با حفر تونل‌های عمود بر لایه از سطح زمین و یا احداث میان‌برها در ارتفاعات مختلف از درون تونل‌های مورب یا چاه‌ها، طبقات معدن آماده می‌شود. در آماده‌سازی معدن برای استخراج باید تونل‌های دیگری موسوم به تونل‌های امتدادی و یا تونل‌های موازی لایه را حفر کرد. در مواردی که ضخامت زون ماده معدنی زیاد باشد به گونه‌ای که حفر یک تونل تمام آن را در بر نگیرد، به موازات گسترش زون ماده معدنی، تونل‌های امتدادی حفر می‌شوند.

۱-۴-۳- تونل‌های دنباله‌رو[2] (دنبال لایه)

برای آماده‌سازی کارگاه استخراج، پس از تقسیم معدن به طبقات مختلف و حفر تونل‌های امتدادی به عنوان تونل باربری و خدمات‌رسانی اصلی، در داخل ماده معدنی و در بالا و پایین طبقه، تونل‌هایی حفر می‌شود که به نام تونل‌های دنباله‌رو یا دنبال لایه خوانده می‌شوند. در حالت کلی امتداد تونل‌های دنباله‌رو به صورت خط مستقیم نیست، بلکه از وضعیت گسترش ماده معدنی پیروی می‌کند و عموما به حالت غیرمستقیم است. اگر ماده معدنی تنها مرکب از یک لایه یا رگه نازک باشد، به گونه‌ای که تمامی آن در مقطع تونل دنباله‌رو قرار گیرد، در آن صورت حفر یک تونل در بالا و پایین آن کافی است، اما اگر زون ماده معدنی ضخیم باشد، در هر یک از افق‌ها دو تونل یکی در مرز کمربالای ماده معدنی و دیگری در کمرپایین آن حفر می‌شود و در صورت لزوم، تونل‌های دنباله‌رو دیگری نیز بین آن‌ها احداث می‌کنند.

۱-۴-۴- دویل[3]

برای تقسیم هر طبقه از معدن به پهنه‌های[4] قابل استخراج، به فواصل منظم که بستگی به شیوه استخراج دارد، حفریه‌ای موسوم به دویل از تونل دنباله‌رو پایینی تا تونل دنباله‌رو بالایی از پایین به بالا حفر و بدین ترتیب، ماده معدنی هر طبقه، آماده استخراج می‌شود (شکل ۱-۳). دویل‌ها برای مقاصد دیگر مانند ریزش کانسنگ، خاکریزی، تهویه و نفررو نیز حفر می‌شوند.

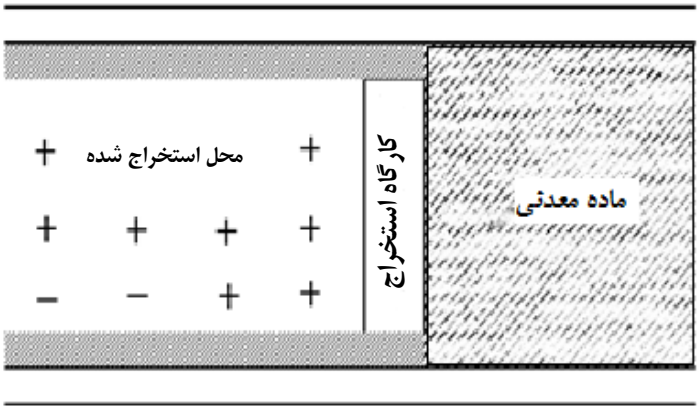
۱-۴-۵- طبقات فرعی[5]

در بعضی از روش‌های استخراج مثل روش استخراج از طبقات فرعی[6]، در بین تونل‌های دنباله‌رو بالایی و پایینی، تونل‌های دنباله‌رو فرعی نیز حفر می‌شود که آن‌ها را طبقات فرعی می‌گویند (شکل ۱-۳).

1- Strike
2- Drift
3- Raise
4- Pannel
5- Sublevel
6- Sublevel stoping

۱-۴-۶- کارگاه استخراج[1]

در یک معدن زیرزمینی، محلی که در آن‌جا عملیات حفر و استخراج کانسنگ انجام می‌شود، کارگاه استخراج نام دارد. در حالت کلی یک کارگاه استخراج، مرکب از یک تونل دنباله‌رو در بالا موسوم به تونل تهویه، یک تونل دنباله‌رو در پایین موسوم به تونل حمل و نقل و جبهه‌کار استخراج است که شکل آن به روش استخراج بستگی دارد (شکل ۱-۴).



شکل ۱-۴- کارگاه استخراج

در معادن روباز پله‌های استخراجی هر کدام کارگاه استخراج محسوب می‌شوند.

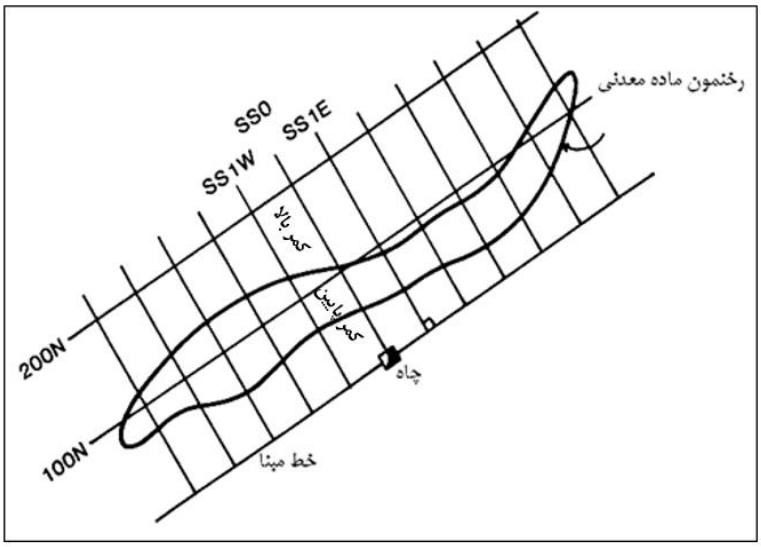
۱-۵- مقاطع معدنی[2]

از آنجا که وظیفه زمین‌شناسی استخراجی، راهنمایی مهندسان استخراج برای بهره‌برداری بهینه از معادن است و این راهنمایی تا پایان عمر معدن ادامه دارد، بنابراین باید اطلاعات حاصل از مرحله زمین‌شناسی استخراجی به صورت نقشه‌ها و مقاطع به مسوولان استخراج ارایه شود.

۱-۵-۱- تهیه مقاطع

برای توجیه وضعیت ماده معدنی و ارتباط آن با حفریات استخراجی و رسم نقشه‌ها و مقاطع، ابتدا باید برای محدوده معدن، یک سیستم مختصات در نظر گرفت و بر روی آن، موقعیت مقاطع معدنی را پیاده کرد (شکل ۱-۵).

1- Stope
2- Mine sections



شکل ۱-۵- جانمایی مقاطع معدنی در محدوده کانسار

برای نشان دادن موقعیت مقاطع، ابتدا باید یک خط مبنا در کمرپایین ماده معدنی و به موازات گسترش عمومی آن رسم کرد (شکل ۱-۵). برای آن که موقعیت مقاطع بهتر به نمایش درآید، توصیه می‌شود که این خط مبنا، از دهانه چاه یا تونل اصلی بگذرد. مقاطع اکتشافی حتی‌المقدور به حالت عمود بر این خط مبنا و به فاصله مساوی از هم (حدود ۵۰ متر) طراحی می‌شوند. اولین مقاطع، از دهانه چاه یا تونل می‌گذرد که به آن مقطع مبنا می‌گویند و مقاطع دیگر نسبت به آن نام‌گذاری می‌شوند (شکل ۱-۵).

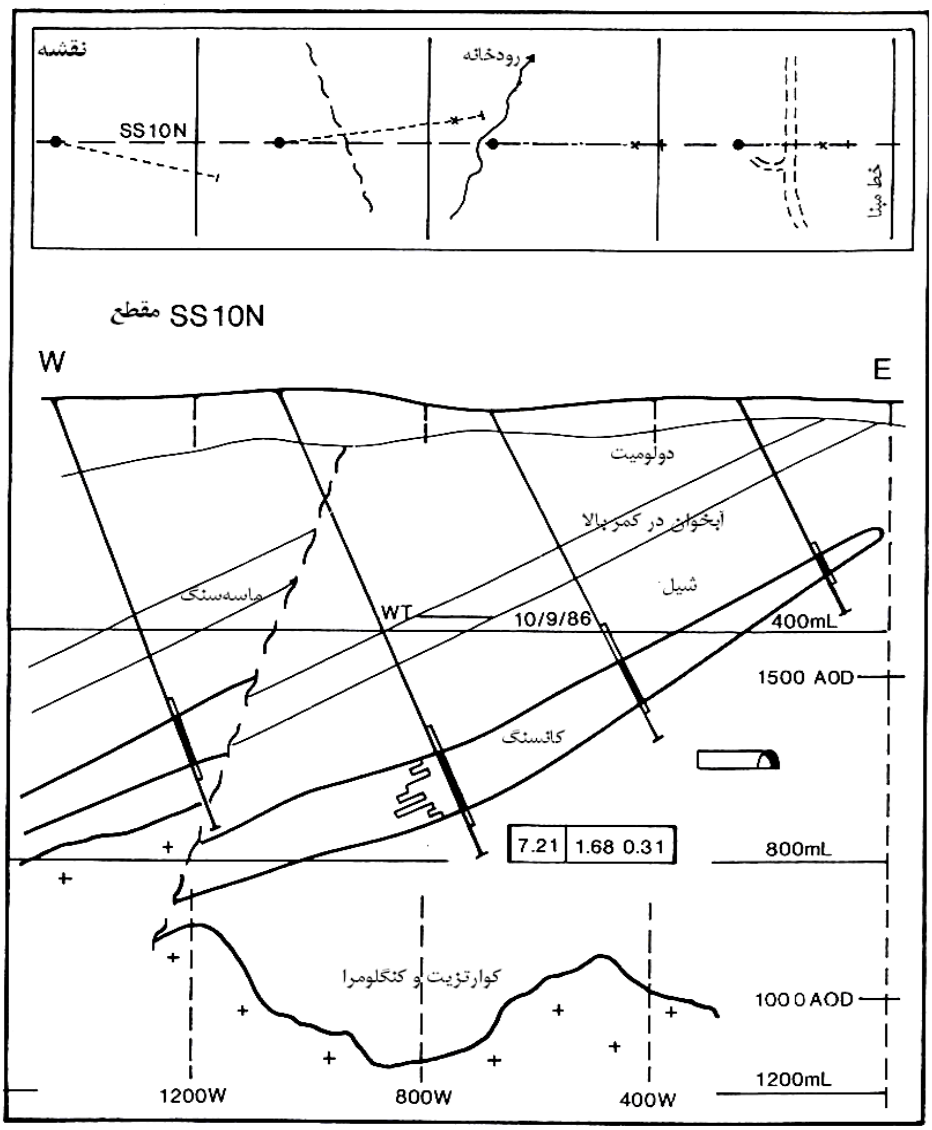
پس از تعیین موقعیت مقاطع، باید با استفاده از تمام اطلاعات ناشی از حفریات سطحی، گمانه‌ها، تونل‌های اکتشافی و حفریات استخراجی، آن‌ها را رسم کرد. انتخاب مقیاس این مقاطع به میزان اطلاعات موجود و گستردگی توده معدنی بستگی دارد، ولی در محدوده ۱:۵۰۰ تا ۱:۱۰۰۰ توصیه می‌شود. علاوه بر مقاطع عرضی که بیشترین اطلاعات را به دست می‌دهند، تعدادی مقطع طولی نیز که امتدادشان عمود بر مقاطع گروه اولی است رسم می‌شود. همچنین در هر طبقه یا تراز استخراجی، با استفاده از تمام اطلاعات، مقطع افقی از ماده معدنی و سنگ‌های اطراف آن را رسم می‌کنند که این مقاطع، راهنمای ارزشمندی در مرحله استخراج هستند.

در شکل ۱-۶ نمونه‌ای از مقاطع معدنی نشان داده شده است. مقاطع معدنی باید حاوی اطلاعات زیر باشند:

الف- تصویر محور گمانه‌های اکتشافی در امتداد مقطع به گونه‌ای که محل تقاطع گمانه با ماده معدنی و انتهای گمانه مشخص باشد.

ب- موقعیت طبقات معدن که باید بر مبنای عمق طبقه از دهانه چاه شماره‌گذاری شوند.

پ- خطوط افقی که نشانگر ارتفاع از سطح دریا باشند.



شکل ۱-۶- نمونه‌ای از مقاطع معدنی

ت- خطوط قائم که نشانگر فاصله و جهت نسبت به خط مبنای معدن باشند.

ث- آزیموت مقطع

ج- موقعیت تقاطع تونل‌های حمل و نقل و میان‌برها

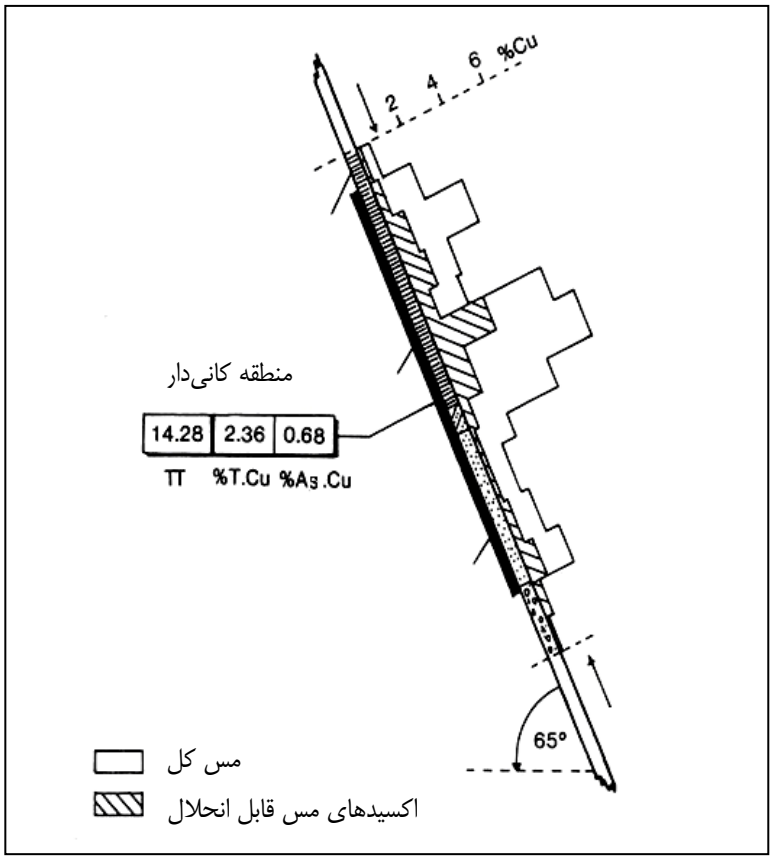
چ- واحدهای زمین‌شناسی که در گمانه‌ها و حفریات معدنی شناسایی شده‌اند.

۱-۵-۲- موارد کاربرد مقاطع معدنی

از جمله کاربردهای اصلی مقاطع معدنی، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف- نمایش فواصل زون‌های کانی‌دار در گمانه‌ها. بدین منظور می‌توان از رنگ‌های مختلف و در مقاطع سیاه و سفید، از نمادهای متفاوت استفاده کرد. همچنین می‌توان هیستوگرام تغییرات عیار ماده معدنی در طول زون کانی‌دار را رسم

کرد. در صورت لزوم می‌توان بخش کانی‌دار را با مقیاس بزرگتر و با جزییات بیشتر از قبیل ضخامت واقعی هر بخش و عیار آن به صورت جداگانه نمایش داد (شکل ۱-۷).



شکل ۱-۷- نمایش جزییات زون کانی‌دار در مقاطع معدنی

ب- نمایش چال‌های موجود و چال‌هایی که برای اکتشاف حین استخراج طراحی شده‌اند.

پ- نمایش جزییات بخشی از ماده معدنی که ویژگی‌های آن به کمک گمانه‌های زیرزمینی مشخص و برای استخراج آماده شده است (شکل ۱-۸).

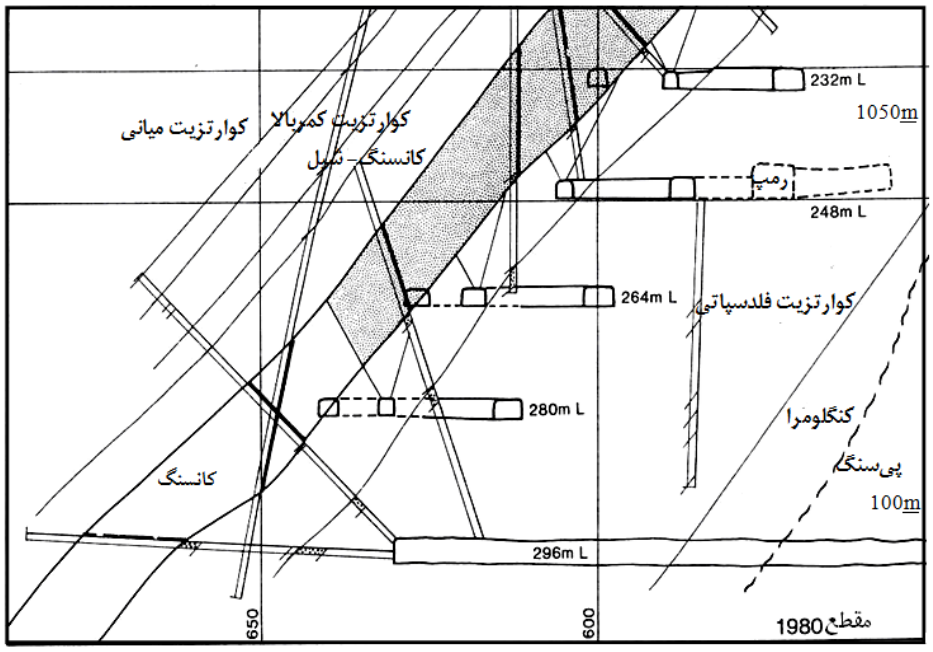
ت- نمایش حفریات معدنی موجود و آن‌هایی که برای آینده طراحی شده‌اند.

ث- نمایش بخش‌های استخراج شده و هر گونه حفریات دیگری که از زمان استخراج به جا مانده است.

ج- نمایش موقعیت آبخوان‌ها و سطح ایستابی

چ- حاشیه زون‌های کانی‌سازی، اکسیده سطحی و محدوده‌ای که ذخیره آن محاسبه شده است.

ح- نمایش موقعیت بخش‌هایی از ماده معدنی که به عنوان حریم چاه، لنگه‌ها و یا حریم گسل‌ها و یا به منظور کنترل نشست سطح زمین، برجای باقی‌مانده است.



شکل ۱-۸- نمایش گمانه‌های اکتشافی زیرزمینی که در مرحله زمین‌شناسی استخراجی برای شناسایی دقیق‌تر ماده معدنی در یکی از معادن مس زامبیا حفر شده است.

۱-۵-۳- مقاطع طولی

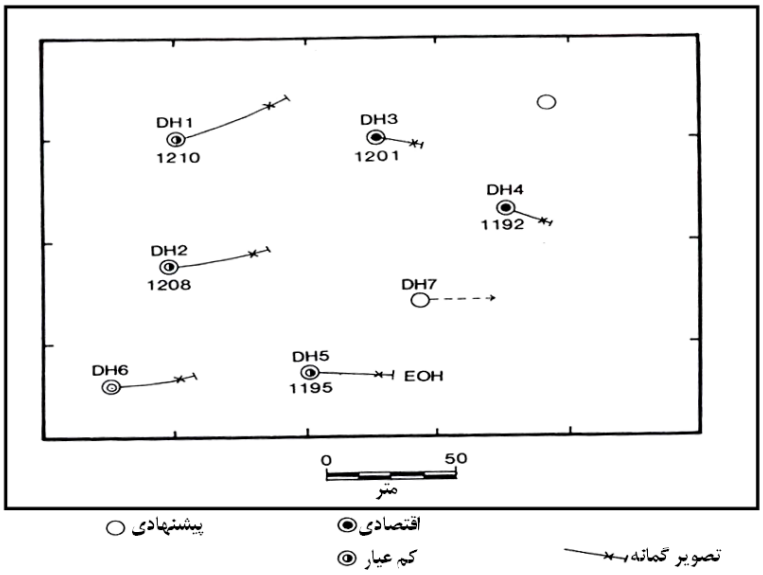
مطالبی که طی بندهای ۱-۵-۱ و ۱-۵-۲ تشریح شد، عمدتا مربوط به مقاطع عرضی است که در مورد توده‌های معدنی ورقه‌ای شکل مایل و یا توده‌های عدسی شکل به کار می‌رود. اگر کانی‌سازی به صورت یک توده وسیع و نامنظم انجام شود و شیب و امتداد مشخصی نداشته باشد، در آن صورت باید تعدادی مقطع طولی که در امتداد گسترش ماده معدنی توجیه شده‌اند، رسم کرد. به کمک این مقاطع، شناخت بهتری از وضعیت توده معدنی به دست می‌آید. این مقاطع، به ویژه برای طراحی معادن روباز و دیواره‌های آن بسیار مفیداند.

۱-۶- نقشه‌های معدنی[1]

۱-۶-۱- نقشه داده‌های اکتشافی سطحی

این نقشه‌ها، عمدتا شامل موقعیت گمانه‌های اکتشافی هستند که در مراحل مختلف اکتشاف، تجهیز، آماده‌سازی و استخراج حفر شده‌اند. نمونه‌ای از این نقشه‌ها در شکل ۱-۹ نشان داده شده است.

1- Mine plans



شکل ۱-۹- نقشه حفریات اکتشافی

در این نقشه‌ها، علاوه بر دهانه گمانه، تصویر افقی (دید از بالا) گمانه و نیز نقطه برخورد گمانه به ماده معدنی نشان داده می‌شود و ممکن است اطلاعات زیر نیز در آن ارایه شود:

الف- محدوده کارگاه‌های استخراج

ب- حاشیه توده معدنی

پ- مرز کانسنگ

ت- محدوده استخراج

ث- نشست سالیانه یا کلی سطحی زمین

ج- حفریات اکتشافی پیش‌بینی شده

۱-۶-۲- نقشه طبقات[1]

نقشه هر یک از طبقات معدن باید به طور جداگانه تهیه شده و در آن تمام حفریات معدنی اعم از حفریات موجود و حفریات پیش‌بینی شده نشان داده شود. همچنین تصویر دهانه گمانه‌ها در طبقه نیز باید به نمایش درآید. به کمک این نقشه‌ها می‌توان بخش‌های مختلف ماده معدنی را نسبت به هم ارتباط داد و نیز مرز ماده معدنی و سنگ‌های درونگیر و فصل مشترک آن با گسل‌ها را مشخص کرد. در این نقشه‌ها باید خط مقاطع زمین‌شناسی تهیه شده همراه با سیستم مختصات معدن، مشخص شوند. در شکل ۱-۱۰ نمونه‌ای از این نقشه‌ها نشان داده شده است.

نقشه طبقات ممکن است اطلاعات زیر را نیز در برداشته باشد:

1- Level plans

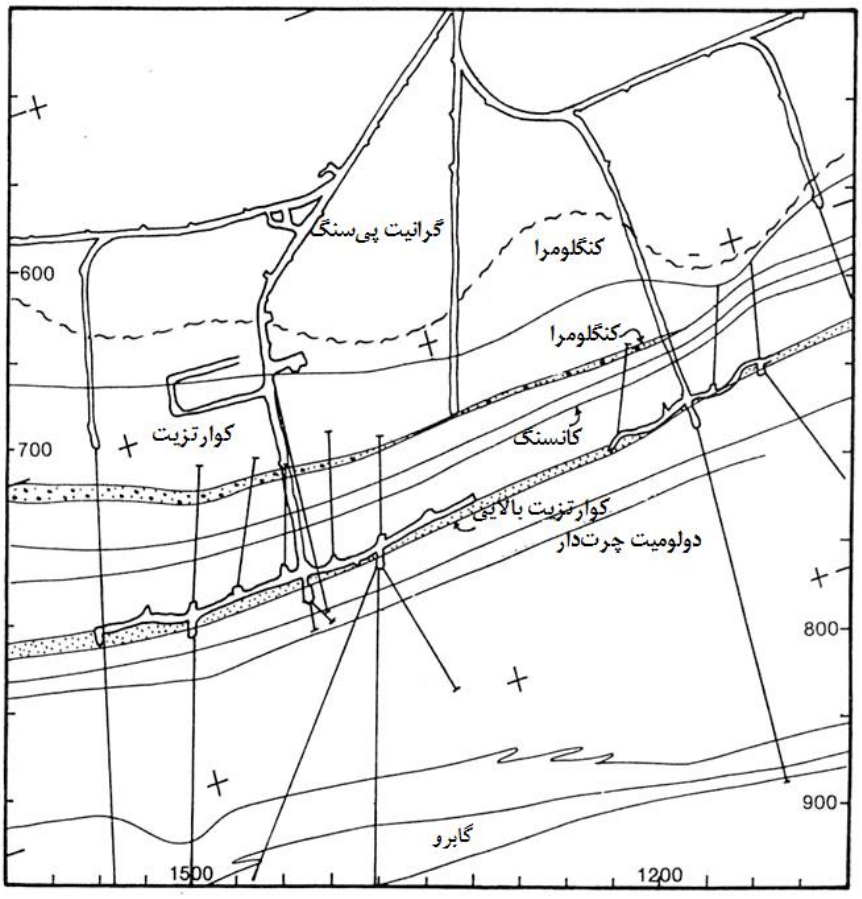
الف- کلیه حفریات آماده‌سازی که به منظور عملیات استخراجی و یا آبکشی حفر شده‌اند. در صورتی که برای بررسی وضعیت آب معدن، وسایل اندازه‌گیری از جمله سرریز[1] احداث شده باشد، موقعیت آن‌ها همراه با شدت جریان اندازه‌گیری شده، درج می‌شود.

ب- اطلاعات مربوط به عیارسنجی در قسمت‌های مختلف طبقه و از آن جمله نتایج تجزیه نمونه‌هایی که از گمانه‌ها، پودر چال‌ها، دیواره و جبهه‌کار حفریات گرفته شده است.

پ- میزان ذخیره و عیار ماده معدنی که با احداث طبقه قابل استخراج است.

ت- اطلاعات ژئوتکنیکی

ث- کلیه حفریات آماده‌سازی طبقه که در ارتباط با کارگاه‌های استخراج، لنگه‌ها، نفرروها، دویل‌ها و مشابه آن‌ها احداث شده‌اند علاوه بر نقشه طبقات، ممکن است تهیه نقشه طبقات فرعی نیز لازم شود که اطلاعات مندرج در آن‌ها مشابه اطلاعات موجود در نقشه طبقات اصلی است.



شکل ۱-۱۰- نمونه‌ای از نقشه طبقات معدن در یکی از معادن مس زامبیا

1- Wear

۱-۶-۳- نقشه‌های مایل[1]

این نقشه‌ها، در سطوح مایل به تصویر در می‌آیند و در آن‌ها وضعیت حفریات مایل از قبیل دویل‌ها و رمپ‌ها را نشان می‌دهند. علاوه بر این، موقعیت نمونه‌ها نیز در آن‌ها مشخص می‌شود و به کمک آن‌ها می‌توان نقشه‌های هم ضخامت را نیز تهیه کرد و برای محاسبه ذخیره ماده معدنی به کار برد.

این نقشه‌ها را معمولا برای بخش‌های کوچکی از معدن تهیه می‌کنند.

1- Inclined plans

فصل ۲

دستورالعمل برداشت حفریات استخراجی

۲-۱- آشنایی

به منظور استفاده از اطلاعات حاصل از حفریات استخراجی اعم از حفریات پیشروی، آماده‌سازی و استخراجی، تمام این حفریات باید برداشت و نقشه آن‌ها تهیه شود. با استفاده از این نقشه‌ها، وضعیت ماده معدنی و تغییرات آن در حفریات آتی، قابل پیش‌بینی خواهد بود.

مهم‌ترین حفریاتی که در مرحله استخراج معادن احداث می‌شوند، تونل‌های عمود بر لایه، امتدادی، دنباله‌رو، دویل، کارگاه‌های استخراج، پله‌ها و کارگاه‌های معادن سطحی هستند که نحوه برداشت آن در این فصل تشریح شده است.

۲-۲- تونل‌های عمود بر لایه

این تونل‌ها عمدتا در مرحله آماده‌سازی حفر می‌شوند ولی در بعضی موارد، در مرحله استخراج نیز حفر آن‌ها لازم است.

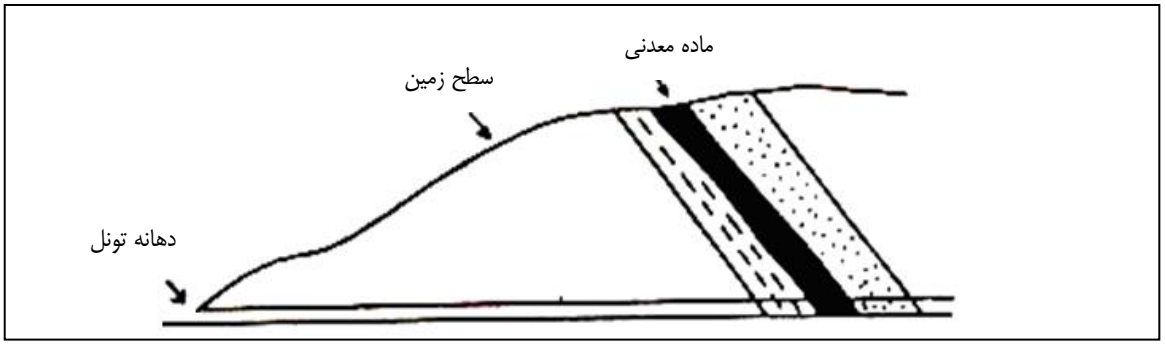
۲-۲-۱- تهیه طرح تونل

اگر چه در حالت کلی، تونل افقی و امتداد آن عمود بر امتداد لایه یا زون ماده معدنی است اما در بعضی موارد ممکن است این تونل‌ها به صورت شیب‌دار و به حالت مایل نسبت به امتداد زون ماده معدنی حفر شوند. از آنجا که در مرحله استخراج این تونل‌ها عموما افقی هستند، بنابراین در ادامه نحوه تهیه طرح این تونل‌ها تشریح شده است.

برای تهیه طرح تونل یعنی برآورد طرح تونل و نیز سنگ‌هایی که در ضمن حفاری تونل با آن‌ها برخورد می‌کند، به دو روش ترسیمی و محاسبه‌ای عمل می‌کنند:

الف- روش ترسیمی

در این روش، ابتدا نیمرخ سطح زمین را در امتداد تونل رسم کرده و رخنمون سنگ‌ها و مواد معدنی را نیز روی آن پیاده می‌کنند (شکل ۲-۱). اگر در این امتداد، گمانه نیز حفر شده باشد، نیمرخ اکتشافی را با استفاده از آن‌ها رسم و تکمیل می‌کنند و در حالتی که در این امتداد گمانه‌ای موجود نباشد، به ناچار باید فرض کرد که شیب و امتداد لایه‌ها، تا اعماق زمین همچنان ثابت می‌ماند.

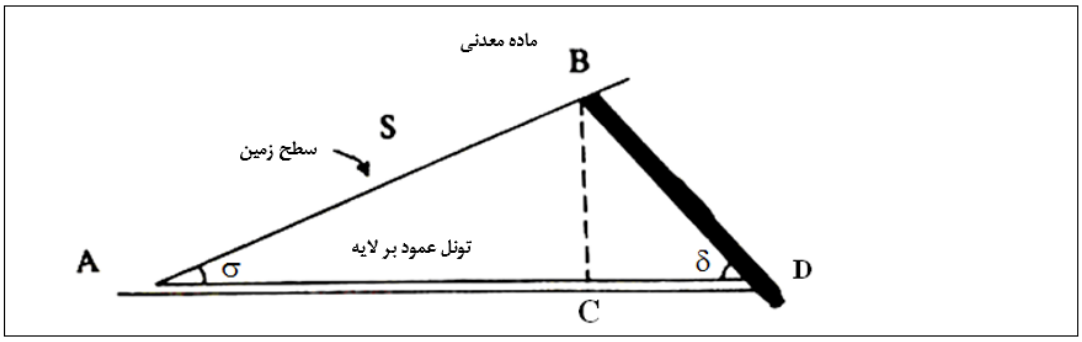


شکل ۲-۱- نیمرخ زمین در امتداد تونل

در این موارد، رخنمون سنگ‌ها و مواد معدنی را ادامه می‌دهند و نیز امتداد تونل را در همان مقطع رسم می‌کنند. در این حالت، به آسانی می‌توان به نوع سنگ‌هایی که در طول تونل به آن‌ها برخورد می‌شود، پی برد. برای تعیین طول تونل، یعنی فاصله‌ای که تونل به ماده معدنی برخورد می‌کند، می‌توان این طول را با خط‌کش اندازه گرفت و با توجه به مقیاس نیمرخ، فاصله واقعی را به دست آورد.

ب- روش محاسبه‌ای

طول تونل را به روش محاسبه‌ای نیز می‌توان تعیین کرد. بدیهی است در این محاسبه باید شیب سطح زمین و ماده معدنی را یکنواخت در نظر گرفت (شکل ۲-۲).



شکل ۲-۲- محاسبه طول تونل عمود بر لایه به روش محاسبه‌ای

مطابق شکل، با معلوم بودن فاصله $AB=S$ به آسانی می‌توان طول AC تونل و نیز افراز BC را با استفاده از رابطه سینوس‌ها به شرح زیر حساب کرد:

$$\frac{AB}{\sin\delta}=\frac{BD}{\sin\sigma}=\frac{AD}{\sin B} \qquad (۱-۲)$$

با توجه به معلوم بودن زوایای δ و σ و نیز طول AB، طول تونل محاسبه می‌شود. افراز تونل یعنی طول BD نیز از همین رابطه به دست می‌آید.

۲-۲-۲- برداشت تونل

از آنجا که اطلاعات حاصل از تونل‌ها، به علت آن‌که مستقیما قابل مشاهده‌اند، بسیار ارزشمند است و برای ارتباط دادن مقاطع به کار می‌آید، بنابراین کلیه جبهه‌کارها، سقف و دیواره تونل‌های عمود بر لایه باید برداشت شوند.

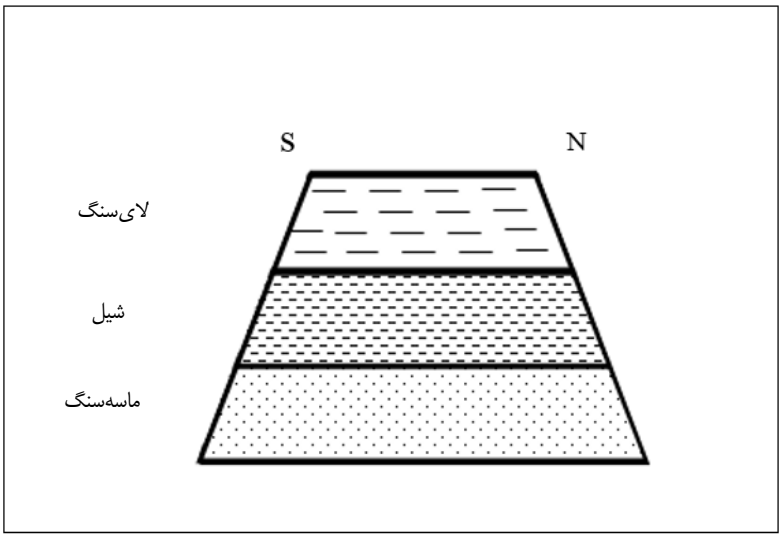
از آنجا که همزمان با حفر تونل‌ها، به ویژه در مناطق با سنگ‌های سست مانند شیل و لای‌سنگ، بلافاصله باید سیستم نگهداری تونل را نصب کرد، بنابراین برداشت تونل‌ها باید روزانه و قبل از نصب سیستم نگهداری انجام گیرد.

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

الف- برداشت جبهه‌کار تونل

برای برداشت جبهه‌کار تونل، ابتدا باید شکل مقطع تونل را با مقیاس ۱:۱۰۰ رسم و در ادامه، وضعیت سنگ‌ها، شکستگی‌ها و هرگونه اطلاعات دیگر را در نقشه پیاده کرد. در حالتی که آزیموت تونل عمود بر امتداد لایه‌ها باشد (صرف

نظر از افقی یا شیب‌دار بودن تونل)، وضعیت لایه‌ها به موازات هم در نقشه جبهه‌کار تونل به نقشه در می‌آیند. به عنوان مثال اگر در جبهه‌کار تونل سه سنگ ماسه‌سنگ، شیل و لای‌سنگ و با امتداد شمالی، جنوبی و شیب به سوی شرق (به ترتیب از قدیم به جدید) دیده شود، نقشه جبهه‌کار تونل مشابه شکل ۲-۳ خواهد بود.



شکل ۲-۳- تصویر جبهه‌کار تونل عمود بر لایه که در آن سه لایه مشاهده می‌شود.

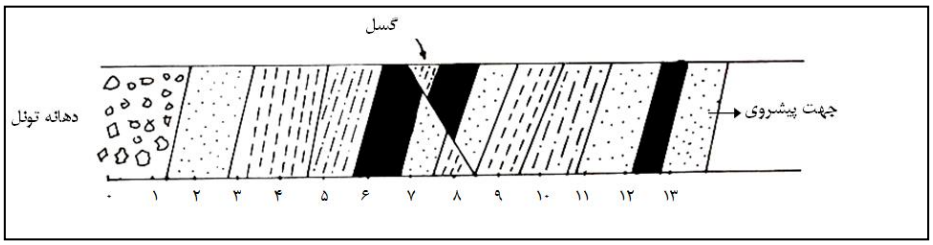
اگر آزیموت تونل نسبت به امتداد عمود بر لایه منحرف شده باشد، در آن صورت رخنمون لایه‌ها در جبهه‌کار به صورت نوارهای افقی نخواهد بود، بلکه بسته به مورد انحراف، به یک سمت متمایل خواهند شد.

ب- برداشت دیواره‌های تونل

هم‌زمان با پیشروی تونل، تصویر دیواره‌های آن نیز باید به طور روزانه و قبل از نصب سیستم نگهداری برداشت شود و به نقشه درآید. اگر تغییرات سنگ‌شناسی در دو دیواره تونل شدید نباشد، برداشت یکی از آن‌ها کافی است اما اگر تغییرات به حدی باشد که حتی در دو دیواره تونل نیز تفاوت چشمگیر باشد، در آن صورت باید هر دو دیواره را برداشت کرد. در مواردی که تنها یک دیواره تونل برداشت می‌شود، برای این که بتوان برداشت‌های مختلف را با هم مقایسه کرد، باید در تمام تونل‌ها و میان‌برها، دیواره ثابتی (به عنوان مثال دیواره شمال شرقی) از آن‌ها برداشت شود. برای برداشت تونل، یک کاغذ میلی‌متری را روی یک قطعه مقوا، یا تخته یا لوحه‌های مخصوص آلومینیمی نصب می‌کنند. با توجه به آنکه ارتفاع تونل‌های معدنی ۲ تا ۲٫۵ متر است بنابراین با توجه به مقیاس ۱:۱۰۰ برداشت، دو خط افقی که به فاصله ۲ یا ۲٫۵ سانتی‌متر از یکدیگر رسم شود، تصویر قائم دیواره تونل را نشان خواهد داد. سپس، یک متر نواری چند ده متری را در کف تونل و در کنار آن روی زمین پهن کرده و برداشت را آغاز می‌کنند.

در مواردی که مواد معدنی و سنگ‌های اطراف آن لایه‌ای شکل باشند، با اندازه‌گیری شیب لایه‌ها در دیواره تونل و با توجه به موقعیت برخورد لایه به کف تونل در متر نواری، می‌توان تصویر آن‌ها را رسم کرد. اگر لایه‌ها نامنظم باشند، پس از تعیین موقعیت محل برخورد لایه با کف تونل به کمک متر نواری، موقعیت بالای آن را نیز با انداختن یک سنگ‌ریزه و

قرائت محل افتادن سنگریزه بر روی متر نواری، مشخص کرده و بر روی نقشه پیاده می‌کنند و این عمل در مورد تمام واحدهای سنگی و نیز شکستگی‌ها و گسل‌ها انجام می‌گیرد، در شکل ۲-۴ نمونه‌ای از برداشت دیواره تونل نشان داده شده است.



شکل ۲-۴- نمونه‌ای از نقشه دیواره تونل

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

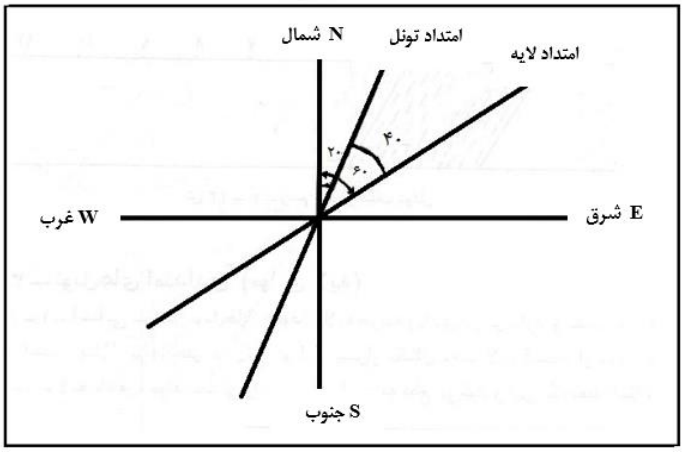
پ- برداشت سقف تونل

برای برداشت سقف تونل نیز در حالتی که متر یاد شده روی زمین پهن است، برداشت را از ابتدای تونل آغاز می‌کنند. طرز کار بدین ترتیب است که از محل مرز لایه‌های مختلف در سقف تونل، سنگ ریزه‌ای به زمین می‌اندازند و فاصله مربوطه را در روی متر قرائت می‌کنند. سپس امتداد لایه را به کمک کمپاس اندازه می‌گیرند و با توجه به آزیموت تونل، امتداد لایه را در سقف تونل رسم می‌کنند. در واقع در این حالت، تصویر لایه‌ها و سنگ‌های مختلف، در سطح افقی هم ارتفاع با سقف تونل رسم می‌شود. به عنوان مثال برای رسم تصویر سقف تونل عمود بر لایه‌ای را که مقطع آن ذوزنقه‌ای است، ابتدا باید مقیاس مناسبی انتخاب کرد که معمولا این مقیاس ۱:۱۰۰ است. سپس امتداد تونل را اندازه گرفت و چنانچه امتداد آن $Az۲۰$ باشد، معنی این عدد آن است که امتداد تونل از شمال، ۲۰ درجه به سمت شرق منحرف شده است. سپس امتداد اولیه لایه را که مرز آن مثلا از حوالی ۱٫۲ متری کف تونل شروع می‌شود، باید اندازه گرفت که به عنوان مثال اگر امتداد این لایه $N۶۰E$ باشد، با توجه به شکل ۲-۵، زاویه بین امتداد لایه در سقف تونل و امتداد تونل، برابر ۴۰ درجه به دست می‌آید. اگر ضخامت ظاهری این لایه در امتداد تونل ۲ متر باشد، برای رسم تصویر سقف تونل، ابتدا باید دو خط موازی افقی را به فاصله متناسب با عرض سقف تونل رسم کرد، به عنوان مثال اگر عرض سقف تونل ۲٫۵ متر باشد، تصویر آن با مقیاس ۱:۱۰۰ برابر ۲٫۵ سانتی‌متر خواهد شد. حال، اولین لایه به گونه‌ای رسم می‌شود که از فاصله ۱٫۲ متری شروع شود و با امتداد تونل زاویه ۴۰ درجه را تشکیل دهد (شکل ۲-۶).

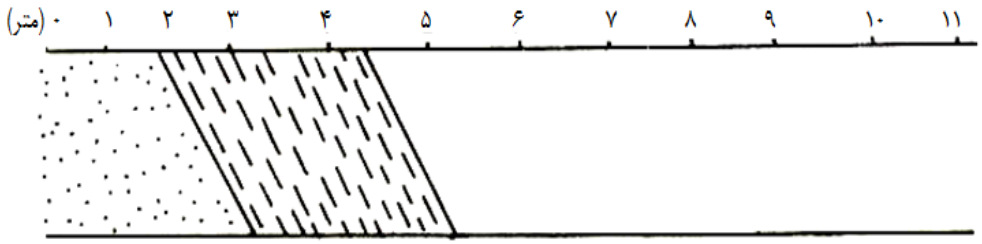
با توجه به آنکه ضخامت ظاهری لایه در امتداد تونل ۲ متر است، بنابراین لایه تا فاصله ۱٫۲+۲=۳٫۲ متری ادامه خواهد داشت و از این فاصله به بعد، لایه بعدی شروع خواهد شد. بدین ترتیب تصویر بقیه لایه‌ها نیز در سقف تونل رسم شده و تصویر آن تکمیل می‌شود.

اگر در سقف تونل گسلی دیده شود که باعث جابه‌جایی لایه‌ها شده باشد، باید تصویر آن را نیز رسم کرد، زیرا آگاهی از وجود این گسل‌ها برای تعبیر و تفسیر وضعیت لایه‌ها ضروری است.

باید توجه داشت که آنچه در شکل ۲-۶ نشان داده شده است حالت ایده‌آل دارد و در حالت کلی ممکن است امتداد تونل به صورت خط مستقیم نباشد. در چنین حالاتی، ابتدا باید تصویر افقی تونل را به کمک ایستگاه‌های نقشه‌برداری بر روی نقشه رسم و آن‌گاه مشخصات سنگ‌ها را روی آن پیاده کرد.



شکل ۲-۵- محاسبه زاویه بین امتداد تونل و امتداد لایه



شکل ۲-۶- رسم تصویر سقف تونل

۲-۳- تونل‌های امتدادی[1](موازی لایه)

۲-۳-۱- مشخصات کلی

حفر تونل‌های عمود بر لایه هزینه زیادی در بردارد و مدت زمان لازم برای حفر نیز زیاد است. از سوی دیگر، تونل عمود بر لایه ماده یا مواد معدنی را تنها در یک مقطع قطع می‌کند و این یک مقطع، ارزش صرف این همه مخارج و زمان را ندارد. بنابراین باید به گونه‌ای بتوان با استفاده از تونل حفر شده، در نقاط متعددی به ماده معدنی دسترسی یافت و از آن نمونه‌برداری کرد.

1- Strike tunnels

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

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

به عنوان مثال اگر در منطقه‌ای یک زون زغالی مرکب از ۵ لایه زغال وجود داشته باشد (شکل ۲-۷)، پس از اینکه حفر تونل عمود بر لایه به اتمام رسید، در محل مناسبی، قبل یا بعد از لایه‌ها، حفر تونل امتدادی آغاز می‌شود. محلی که برای حفر تونل امتدادی در نظر گرفته می‌شود، باید شرایط ویژه‌ای داشته باشد از جمله آن‌که نه آنقدر محکم و سخت باشد که مشکلاتی را برای حفاری به وجود آورد و نه آنقدر سست و ریزشی که نگهداری تونل را با مشکل مواجه سازد.

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

۲-۳-۲- برداشت تونل‌های امتدادی

الف- جبهه‌کار

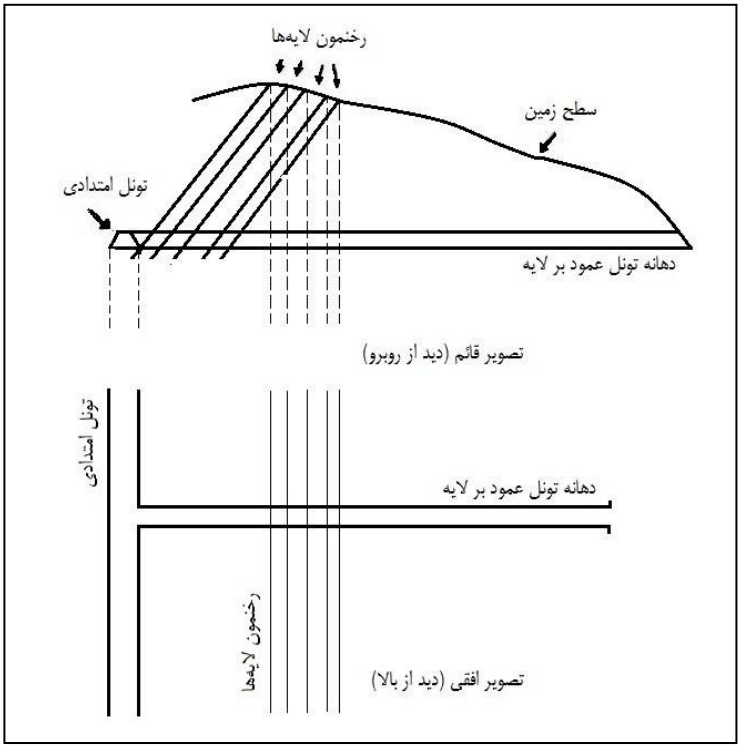
برای برداشت جبهه‌کار این تونل‌ها، در هر شیفت کار، مسوول برداشت باید به محل جبهه‌کار مراجعه و نقشه آن را برداشت کند. اگر لایه‌ها مرتب و موازی باشند، نقشه جبهه‌کار پیشروی تونل مطابق شکل ۲-۸ خواهد بود. برای برداشت جبهه‌کار، باید ابتدا مقطع تونل را با مقیاس مناسب رسم کرد و آن‌گاه وضعیت مرز لایه‌ها را نسبت به سقف یا کف تونل اندازه گرفت و بر اساس آن نقشه جبهه‌کار تونل را رسم کرد.

ب- سقف

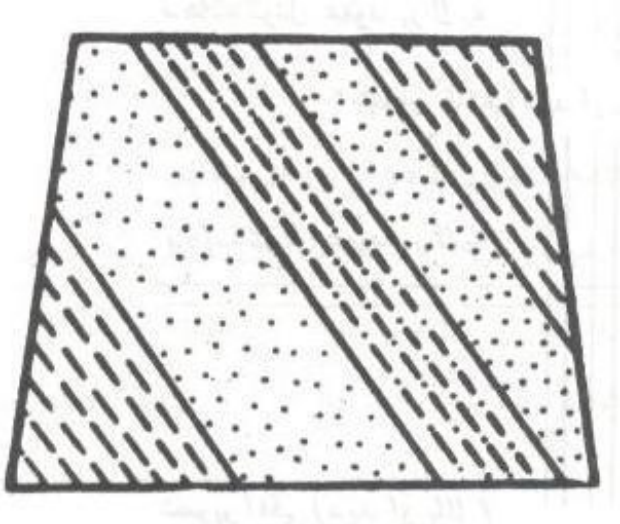
برای برداشت سقف تونل‌های امتدادی نیز ابتدا باید تصویر افقی (دید از بالا) تونل را رسم کرد. اگر امتداد تونل مستقیم باشد، دو خط موازی که به فاصله متناسب با مقیاس نقشه از یکدیگر رسم شوند، امتداد تونل را نشان خواهند داد، اما اگر تونل پیچ و خم داشته باشد، ابتدا باید سیستم مختصاتی در روی کاغذ انتخاب کرد و آن‌گاه به کمک مختصات ایستگاه‌های نقشه‌برداری که معمولا در سقف تونل نصب می‌شود، این تصویر را به دست آورد (شکل ۲-۹).

پس از رسم تصویر افقی این تونل‌ها، بسته به تغییر مشخصات لایه‌ها، به فاصله هر چند متر یک بار، وضعیت لایه‌ها را بررسی کرده و آن را در تصویر افقی پیاده می‌کنند. به عنوان مثال اگر مقطع تونل ذوزنقه‌ای به عرض سقف ۲٫۵ متر و امتداد آن مستقیم

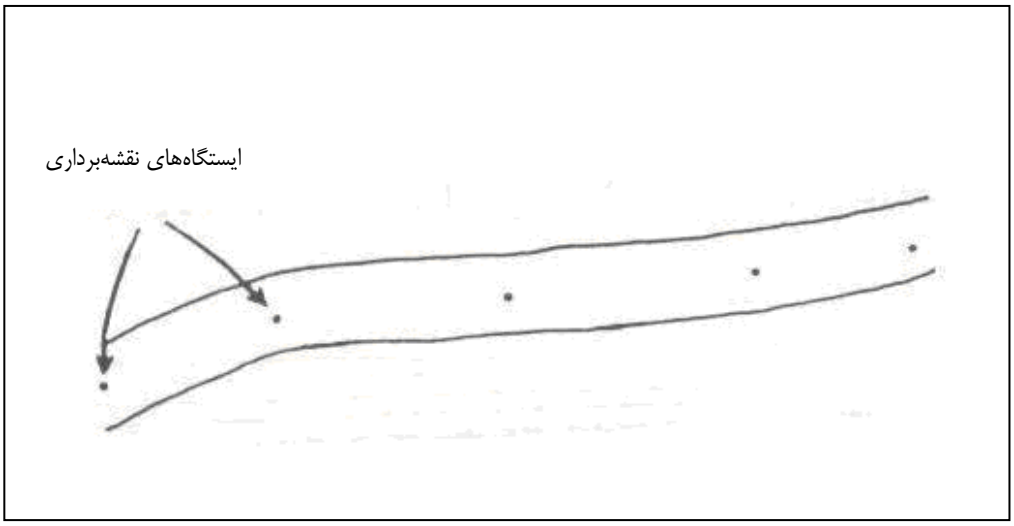
باشد و مقیاس نقشه مطابق معمول ۱:۱۰۰ در نظر گرفته شود، تصویر افقی سقف این تونل، دو خط موازی به فاصله ۲/۵ سانتی‌متر از یکدیگر خواهد بود (شکل ۲-۱۰).



شکل ۲-۷- تونل امتدادی



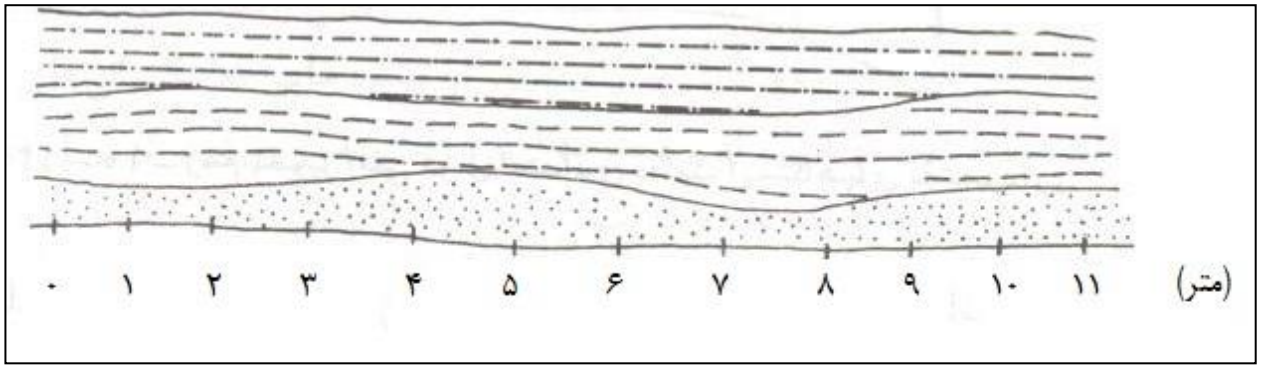
شکل ۲-۸- جبهه‌کار تونل امتدادی



شکل ۲-۹- رسم تصویر افقی تونل امتدادی به کمک ایستگاه‌های نقشه‌برداری

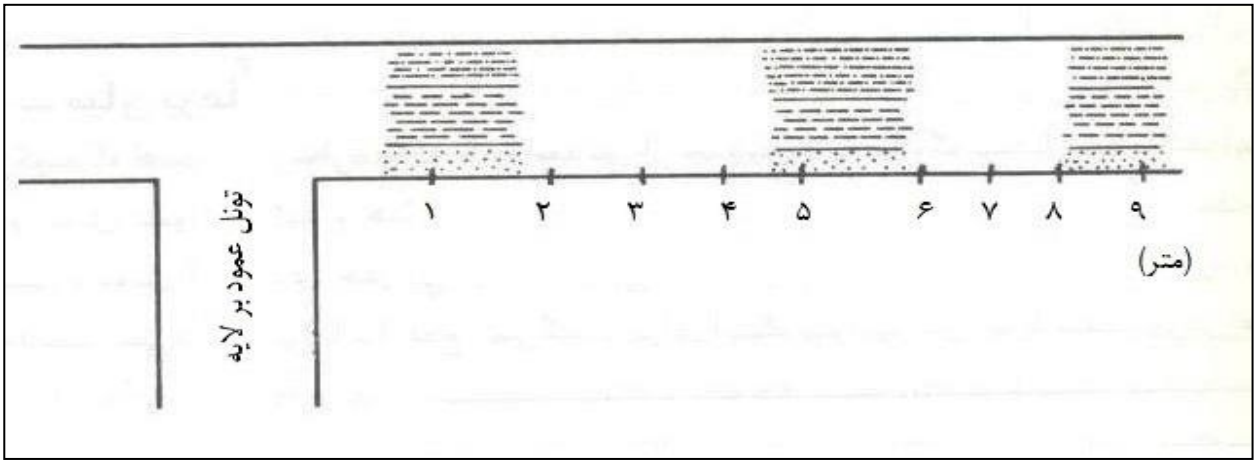
برای برداشت تونل، در این مورد نیز یک متر نواری چند ده متری را در کف تونل و در کنار آن روی زمین پهن می‌کنند. سپس از فاصله یک متری، برداشت سقف تونل را آغاز کرده و برای این کار از کنار تونل، سنگ‌ها را بررسی می‌کنند. به عنوان مثال، اگر سنگ‌ها در این فاصله به ترتیب عبارت از ۵۰ سانتی‌متر ماسه‌سنگ، ۱۲۰ سانتی‌متر شیل و ۸۰ سانتی‌متر لای‌سنگ باشد، وضعیت این سنگ‌ها را در محل مورد نظر مطابق شکل نشان می‌دهند. در مرحله بعدی به عنوان مثال در فواصلی مانند ۵ و ۹ متری نیز وضعیت لایه‌ها را تعیین کرده و نتیجه را روی نقشه پیاده می‌کنند (شکل ۲-۱۰). با توجه به برداشت‌های انجام شده، می‌توان مرز لایه‌ها را در مقاطع مختلف اندازه‌گیری به هم وصل کرد و تصویر سقف تونل یاد شده را مطابق شکل ۲-۱۱ به دست آورد.

آنچه که در شکل ۲-۱۱ نشان داده شده حالت ساده شده مساله است و در حالت کلی، به علت پیچ و خم‌های موجود در مسیر تونل، وجود گسل‌ها و نیز تغییرات لایه‌ها، برداشت این تونل‌ها پیچیده‌تر است.



شکل ۲-۱۰- برداشت سقف تونل امتدادی

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



شکل ۲-۱۱- تصویر تکمیل شده سقف تونل امتدادی

۲-۴- میان‌بر[1]ها

از آنجا که تونل امتدادی، اطلاعات چندانی در مورد ماده معدنی به دست نمی‌دهد زیرا آن را قطع نمی‌کند، بنابراین برای اینکه بتوان در نقاط متعددی در اعماق زمین به ماده معدنی دسترسی یافت و اطلاعاتی از آن به دست آورد، به فواصل مناسب، از درون تونل‌های امتدادی، تونل‌هایی به حالت عمود بر لایه‌ها حفر می‌شود که آن‌ها را میان‌بر[2] می‌گویند.

میان‌برها در واقع تونل‌های عمود بر لایه کوچکی هستند که از داخل تونل‌های امتدادی حفر می‌شوند و تفاوت آن‌ها با تونل‌های عمود بر لایه آن است که اولا طول آن‌ها کوتاه‌تر و سطح مقطع آن‌ها کمتر است و ثانیا به سطح زمین و هوای آزاد راه ندارند. حفر میان‌برها تا جایی ادامه می‌یابد که تمام رگه‌ها یا لایه‌ها را قطع کند. میان‌برها را می‌توان به عنوان ترانشه‌های زیرزمینی در نظر گرفت و فاصله آن‌ها بستگی به وضعیت ماده معدنی، پیچیدگی و یا منظم بودن آن‌ها دارد و به طور متوسط ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر است (شکل ۲-۱۲).

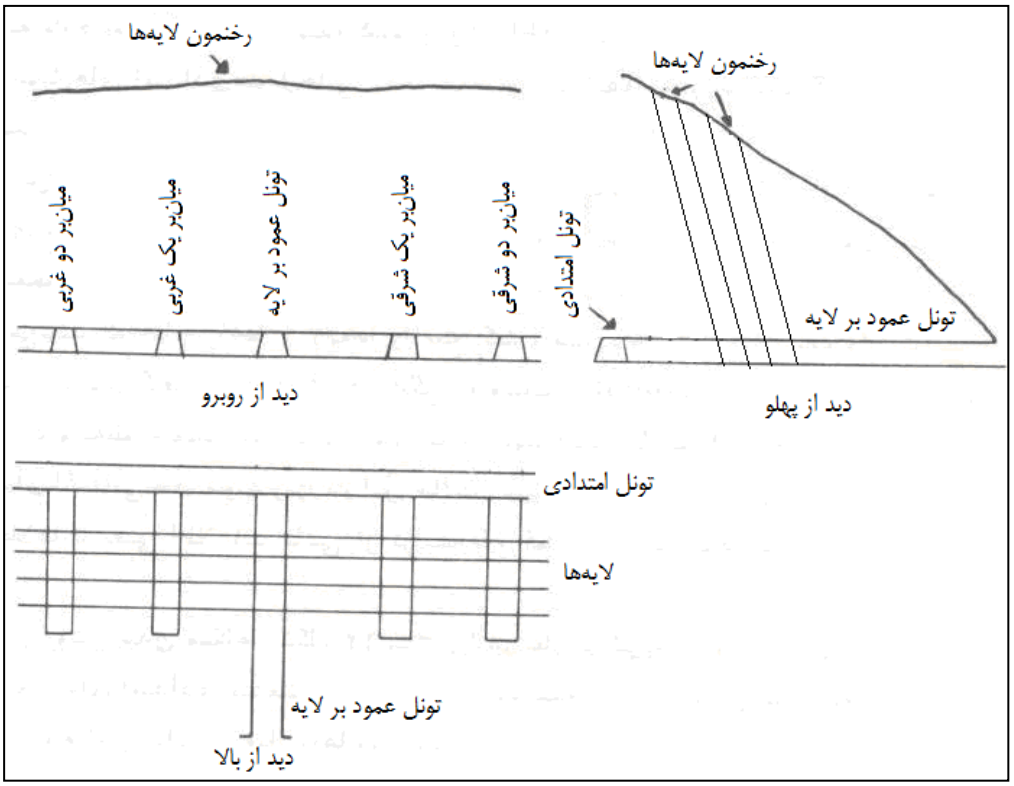
سطح مقطع میان‌برها معمولا کمتر از تونل‌های امتدادی است و فقط باید به اندازه‌ای باشد که بتوان به آسانی آن‌ها را برداشت و نمونه‌برداری کرد. امتداد آن‌ها نیز حتی‌المقدور عمود بر امتداد عمومی لایه‌ها و بدین ترتیب، موازی تونل عمود بر لایه است.

روش برداشت میان‌برها نیز همانند تونل‌های عمود بر لایه است که در مباحث قبلی تشریح شد.

1- Cross-cut

۲- در ایران غالبا از واژه فرانسوی رکوب و در پاره‌ای موارد نیز از واژه روسی کورشلاک به جای میان‌بر استفاده می‌شود.

برای اینکه بتوان لایه‌ها و رگه‌هایی را که در داخل میان‌برهای مختلف دیده شده‌اند به یکدیگر مرتبط کرد، باید نقشه ارتباطی میان‌برها را تهیه کرد و لایه‌های مختلف را به یکدیگر ربط داد.



شکل ۲-۱۲- موقعیت میان‌برها

۲-۵- تونل‌های دنباله‌رو[1] (دنبال لایه)

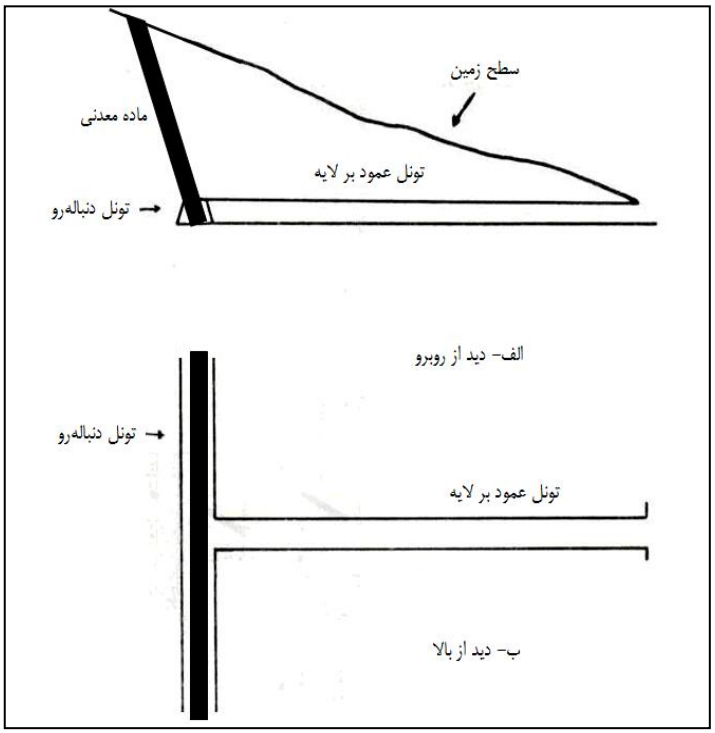
در مواردی که ماده معدنی تنها از یک لایه یا رگه تشکیل شده باشد، پس از آنکه این لایه یا رگه به وسیله تونل عمود بر لایه قطع شد، از دو طرف، تونل دنباله‌رو در داخل خود ماده معدنی حفر می‌شود (شکل ۲-۱۳). تونل دنباله‌رو مشابه تونل امتدادی است با این تفاوت که در داخل این تونل‌ها، ماده معدنی مستقیما دیده می‌شود و بنابراین نیازی به حفر میان‌برها نیست. برای آماده‌سازی کارگاه استخراج، تونل‌های دنباله‌رو در بالا و پایین کارگاه استخراج حفر می‌شود و هم‌زمان با پیشروی کارگاه استخراج، حفر این تونل‌ها نیز ادامه می‌یابد.

امتداد این تونل‌ها تابع امتداد ماده معدنی است و در مواردی که امتداد ماده معدنی متغیر باشد، این تونل‌ها بسیار پرپیچ و خم‌اند و علت نامگذاری این تونل‌ها هم به همین دلیل است زیرا به اصطلاح هر جا که ماده معدنی رفت، باید آن را تعقیب کرد.

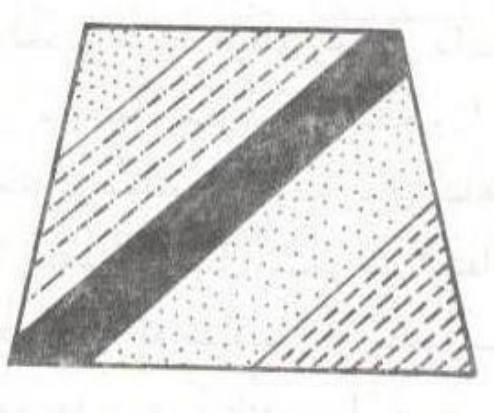
برداشت تونل‌های دنباله‌رو نیز همانند تونل‌های امتدادی است و در آن‌ها، هم تصویر جبهه‌کار پیشروی و هم تصویر سقف تونل برداشت می‌شود. اگر ماده معدنی و سنگ‌های اطراف آن منظم باشد، تصویر جبهه‌کار نیز حالت منظمی دارد

1-Drift

(شکل ۲-۱۴). معمولا سطح مقطع تونل نسبت به موقعیت ماده معدنی را به گونه‌ای در نظر می‌گیرند که ماده معدنی در گوشه بالای تونل قرار گیرد. علت این امر آن است که در مرحله استخراج، واگن‌ها بتوانند در زیر ماده معدنی قرار گیرند و ماده معدنی استخراج شده به داخل آن‌ها تخلیه شود.



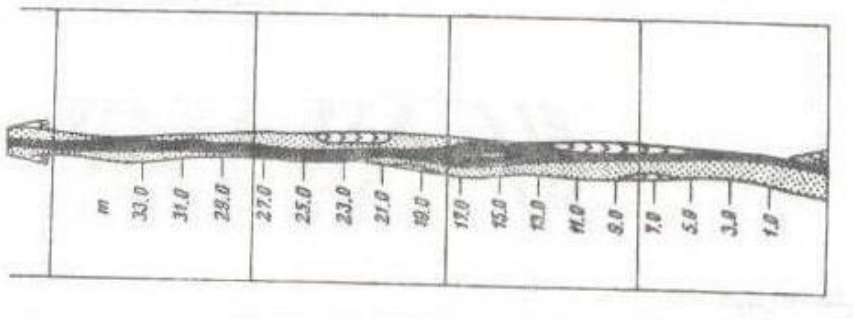
شکل ۲-۱۳- تونل دنباله‌رو



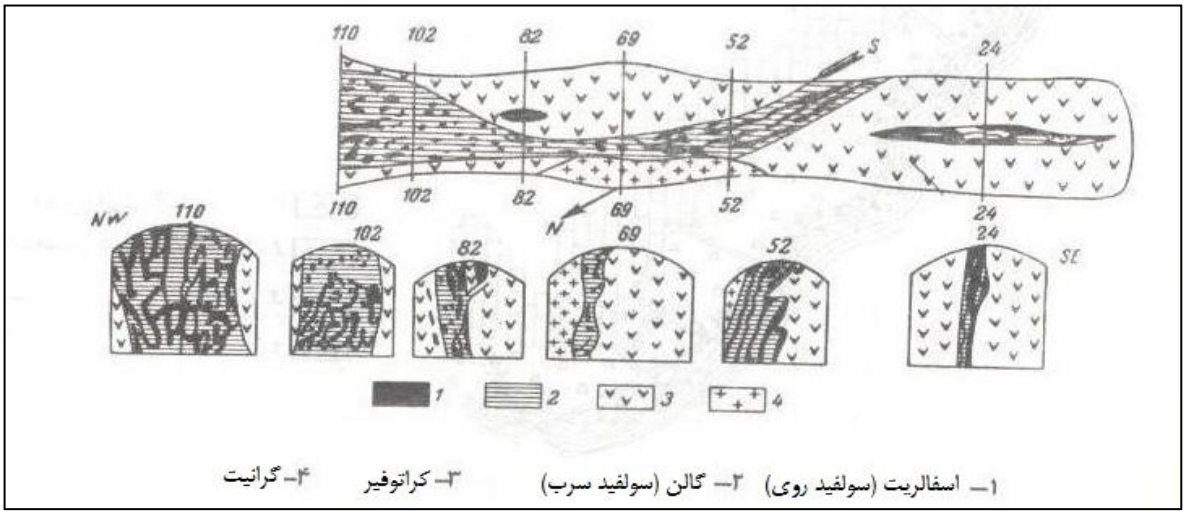
شکل ۲-۱۴- تصویر جبهه‌کار تونل دنباله‌رو

تصویر سقف تونل دنباله‌رو نیز همانند سقف تونل امتدادی برداشت می‌شود. در شکل ۲-۱۵ نمونه‌ای از تصویر سقف تونل‌های دنباله‌رو نشان داده شده است.

در شکل ۲-۱۶ نیز تصویر سقف یک تونل دنباله‌رو در یک کانسار فلزی نامنظم نشان داده شده و تصویر جبهه‌کار تونل نیز در فواصل مختلف در پایین شکل نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۵- نمونه‌ای از تصویر سقف تونل‌های دنباله‌رو



شکل ۲-۱۶- تصویر سقف جبهه‌کارهای پیشروی در یک کانسار فلزی

در بعضی موارد ممکن است ماده معدنی در کف دره‌ای رخنمون داشته باشد. در چنین مواردی بدون حفر تونل عمود بر لایه، می‌توان مستقیما تونل دنباله‌رو را حفر کرد.

۲-۶- دویل

از نقطه نظر ایمنی، هیچگاه نباید طول قسمت کور تونل‌ها از ۲۰۰ متر بیشتر باشد و حداکثر به فواصل ۲۰۰ متری، باید تونل‌ها با حفر دویل به سطح زمین (و در مورد طبقات پایین‌تر معدن به طبقه بالاتر) ارتباط داشته باشند. دویل، حفریه‌ای است که از پایین به بالا حفر می‌شود و تا سطح زمین یا طبقه بالایی ادامه می‌یابد. پس از برخورد تونل عمود بر لایه به ماده معدنی و نیز به فواصل مناسب از داخل تونل‌های امتدادی و یا دنباله‌رو، عموما در داخل ماده معدنی دویل‌هایی حفر می‌شود. این دویل‌ها علاوه بر آنکه از نظر ایمنی و برقراری جریان هوا ضرورت دارند، در واقع نوعی حفریه

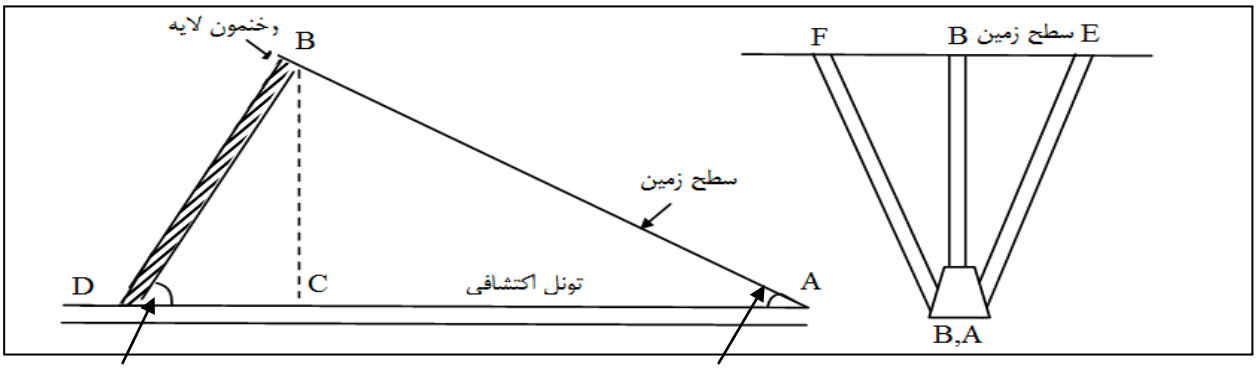
اکتشافی نیز هستند و به ویژه اگر در داخل ماده معدنی حفر شوند، اطلاعات دقیقی از وضعیت ماده معدنی در طول دویل به دست می‌دهند.

اگر شیب ماده معدنی کمتر از ۳۵ درجه باشد، دویل را در امتداد خط بزرگترین شیب لایه حفر می‌کنند ولی اگر شیب لایه زیادتر باشد، از آنجا که حفر سربالا در چنین شیب‌هایی مشکل و گاه غیرممکن است بنابراین در چنین مواردی، دویل‌ها را در امتدادی که با خط بزرگترین شیب لایه انحراف دارد به گونه‌ای حفر می‌کنند که شیب ظاهری لایه در دویل، در حد مطلوب باشد.

۲-۶-۱- محاسبه طول دویل

مطابق شکل ۲-۱۷، اگر تونل عمود بر لایه AD در نقطه D به لایه برخورد کرده باشد و هدف، حفر دویلی از این نقطه تا سطح زمین باشد، اگر دویل در امتداد خط بزرگترین شیب لایه حفر شود، تصویر آن در نیمرخ، خط AB خواهد بود (شکل ب). در این حالت، طول دویل با توجه به مثلث قائم‌الزاویه BCD از رابطه ۲-۲ محاسبه می‌شود:

$$BD = \frac{BC}{\sin\delta} \qquad (۲-۲)$$



شکل ۲-۱۷- وضعیت‌های مختلف حفر دویل

بنابراین با محاسبه طول BC یعنی اختلاف ارتفاع تونل و نقطه B (رخنمون لایه) و با در دست داشتن شیب واقعی لایه، طول دویل به دست می‌آید.

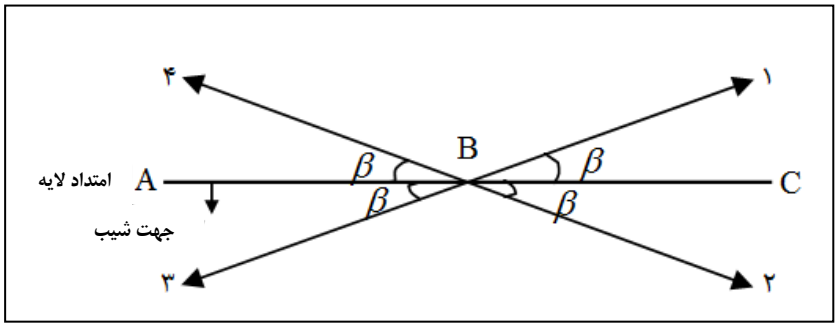
۲-۶-۲- تعیین آزیموت دویل

اگر شیب لایه (δ)زیاد و هدف حفر دویل در داخل لایه با شیب ظاهری α باشد، با توجه به رابطه بین شیب حقیقی و ظاهری، زاویه β یعنی زاویه بین امتداد لایه و امتداد مورد نظر از رابطه ۲-۳ به دست می‌آید:

$$\tan\alpha = \tan\delta \sin\beta \qquad (۲-۳)$$

پس از تعیین زاویه β مطابق شکل ۲-۱۸، چهار جهت وجود خواهد داشت که شیب ظاهری لایه در این جهت‌ها برابر α است. باید توجه داشت که مطابق شکل، از بین چهار جهت یاد شده با توجه به جهت شیب لایه، تنها دو جهت B_1 و B_4 به سمت سطح زمین متوجه و جزو جواب‌های قابل قبول‌اند که انتخاب یکی از آن‌ها به مسایل استخراجی لایه در آینده بستگی دارد.

در این حالت نیز طول دویل از رابطه‌ای مشابه رابطه ۲-۲ به دست می‌آید با این تفاوت که در آن باید به جای شیب حقیقی δ شیب ظاهری α گذاشته شود.



شکل ۲-۱۸- تعیین آزیموت دویل برای دستیابی به شیب معین

۲-۶-۳- برداشت دویل

برداشت دویل‌ها از جمله مشکل‌ترین فعالیت‌های زمین‌شناسی استخراجی است. به علت شیب زیاد و سربالایی بودن دویل‌ها، استقرار در قسمت‌های مختلف آن‌ها خالی از اشکال نیست. کوچک بودن ابعاد دویل‌ها نیز بر مشکلات کار می‌افزاید.

از آنجا که قبل از آماده‌سازی هر پهنه استخراجی، دویل یا دویل‌هایی در داخل ماده معدنی حفر می‌شود، بنابراین اطلاعات حاصل از دویل‌ها، برای آگاهی از وضعیت دقیق ماده معدنی که باید استخراج شود و برنامه‌ریزی تولید، بسیار مفید است. اگر تغییرات ماده معدنی شدید نباشد، برداشت یکی از دیواره‌های دویل کافی است اما در صورت تغییرات شدید، توصیه می‌شود که هر دو دیواره همراه با سقف دویل برداشت و از آن‌ها نمونه‌برداری شود. نحوه برداشت دویل‌ها نیز همانند تونل‌های دنباله‌رو است که شرح آن قبلا گذشت.

۲-۷- کارگاه استخراج

برداشت جبهه‌کار کارگاه استخراج، اطلاعات با ارزشی در مورد ماده معدنی استخراجی به دست می‌دهد. در مواردی که ضخامت ماده معدنی زیاد باشد، تمام جبهه‌کار را ماده معدنی تشکیل می‌دهد ولی در حالتی که ضخامت ماده معدنی کم باشد، بخشی از سنگ میزبان نیز همراه با ماده معدنی در جبهه‌کار وجود خواهد داشت که باید به دقت برداشت و از آن‌ها نمونه‌برداری شود.

برای برداشت کارگاه، یک متر نواری چند ده متری را در کف کارگاه پهن کرده و هر جا که مشخصات ماده معدنی تغییر کرده باشد، موقعیت آن را در روی نقشه پیاده می‌کنند.

علاوه بر مشخصات ماده معدنی و سنگ‌های اطراف آن، شکستگی‌ها و گسل‌ها نیز باید برداشت شود. شیب کارگاه تابع شیب ماده معدنی است. اگر شیب کم باشد، جبهه کارگاه، مستقیم خواهد بود اما در مواردی که ماده معدنی و در نتیجه کارگاه شیب‌دار باشد، بسته به روش استخراج، ممکن است طول کارگاه به پله‌هایی تقسیم شود که در این صورت، هر پله باید جداگانه برداشت و نقشه آن رسم شود.

امتیاز کارگاه استخراج نسبت به سایر حفریات استخراجی در آن است که سطح جبهه‌کار بدون سیستم نگهداری باقی می‌ماند و می‌توان آن را مستقیما مشاهده و برداشت کرد اما در عین حال این عیب را نیز دارد که بسته به مورد، پس از پایان شیفت یا روزکاری، سطح جبهه‌کار پیشروی می‌کند و در واقع جبهه‌کار قبلی از بین می‌رود. بنابراین، زمین‌شناس استخراجی باید در هر شیفت به کارگاه مراجعه و آن را برداشت و از آن نمونه‌برداری کند.

۲-۸- تهیه نقشه ترکیبی حفریات زیرزمینی

با استفاده از نقشه برداشت شده حفریات معدنی مختلف، می‌توان نقشه ترکیبی آن‌ها را تهیه کرد که راهنمای مفیدی برای عملیات استخراجی است.

از آنجا که حفریات بازکننده و آماده‌سازی اصلی مانند تونل‌های عمود بر لایه، تونل‌های امتدادی، میان‌برها و تونل‌های دنباله‌رو همگی تقریبا در یک افق واقع‌اند، بنابراین با پیاده کردن نقشه‌های برداشت شده بر روی نقشه واحد، می‌توان نقشه ترکیبی حفریات را تهیه کرد. بدین منظور، با استفاده از مختصات قسمت‌های مختلف حفریات، تصویر افقی شبکه حفریات معدنی رسم می‌شود. در این نقشه که با مقیاس دقیق تهیه می‌شود، کلیه حفریات معدنی افقی به صورت دو خط موازی که فاصله آن‌ها متناسب با عرض حفریه و مقیاس نقشه است، رسم می‌شود. سپس تصویر سقف کلیه حفریات یاد شده را در این نقشه پیاده می‌کنند. در این نقشه‌ها علاوه بر تصویر ماده معدنی و سنگ‌های اطراف، موقعیت گسل‌ها نیز پیاده می‌شود. پس از پیاده کردن اطلاعات بر روی هر یک از حفریات انفرادی، می‌توان ماده معدنی، سنگ‌های اطراف و شکستگی‌هایی را که در حفریه‌های مختلف دیده می‌شود، به هم ربط داد.

به عنوان مثال، در شکل ۲-۱۹، نقشه حفریات معدنی در معدن دره‌گر واقع در حوضه زغالی کرمان نشان داده شده است. به طوری که دیده می‌شود، پس از رسم، وضعیت تونل عمود بر لایه، تونل‌های امتدادی اطراف و میان‌برها و پیاده کردن برداشت سقف بر روی این نقشه، لایه‌های مختلف زغال‌سنگ و نیز امتداد گسل‌ها به هم ربط داده شده‌اند.

به کمک چنین نقشه‌هایی، مسوولان زمین‌شناسی استخراجی قادرند وضعیت ماده معدنی در تونل‌های دنباله‌رو را پیش‌بینی کنند و بدانند که لایه مورد نظر تا کجا ادامه دارد و در کجا به وسیله گسل قطع شده است و برای گرفتن بخش جدا شده لایه، تونل دنباله‌رو باید به چه میزان و در چه جهت منحرف شود.

از آنجا که کارگاه‌های استخراج و دویل‌ها عموما شیب دارند، بنابراین باید نقشه برداشت شده آن‌ها را به تصاویر افقی تبدیل و نتیجه را در مجموعه حفریات معدنی پیاده کرد.

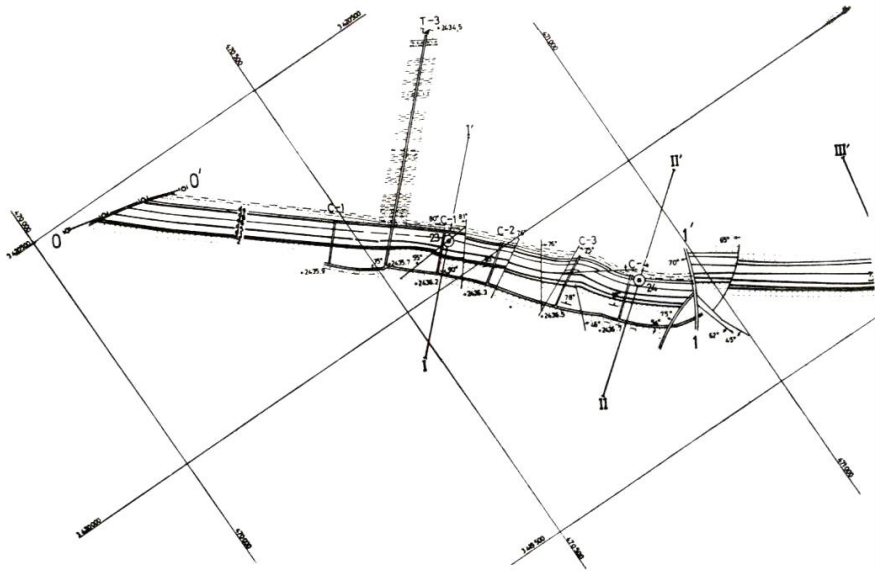
۲-۹- پله‌ها و کارگاه‌های معادن سطحی

برای استخراج مواد معدنی به روش سطحی، ابتدا باید باطله‌های روی ماده معدنی را برداشت کرد و آنگاه به ماده معدنی دست یافت. برای برداشت باطله‌ها و نیز استخراج ماده معدنی، معدن به افق‌هایی تقسیم می‌شود که هر افق به صورت پله‌ای، محدوده ماده معدنی را دور می‌زند و ارتباط پله‌ها به هم به وسیله جاده‌های موربی موسوم به رمپ انجام می‌گیرد.

۲-۹-۱- برداشت پله‌ها

برای تنظیم کیفیت محصول استخراجی از معادن سطحی و ارسال محموله‌هایی که نوسانات عیار آن‌ها در حد مجاز باشد، باید پله‌های مختلف معدن را برداشت و از آن‌ها نمونه‌برداری کرد. پله‌ها در واقع کارگاه‌های استخراج در معادن سطحی هستند.

معمولا کف پله‌ها را به علت رفت و آمد ماشین‌آلات مختلف و مخلوط شدن مواد کف پله با باطله و سایر مواد نمی‌توان برداشت کرد، بنابراین در این معادن، دیواره پله‌ها را برداشت می‌کنند.



شکل ۲-۱۹- نقشه ترکیبی حفریات معدنی در منطقه دره‌گر حوضه زغالی کرمان

از آنجا که ارتفاع دیواره پله‌ها معمولا زیاد است بنابراین دسترسی به تمام نقاط سطح دیواره پله به آسانی ممکن نیست. اگر چه قسمت پایین دیواره پله را می‌توان همانند دیواره ترانشه‌ها برداشت کرد ولی برای مشاهده دقیق قسمت‌های بالای دیواره پله و نمونه‌برداری از آن باید نردبان‌های ویژه‌ای را مورد استفاده قرار داد.

برای برداشت دیواره پله، در کف پله یک متر نواری چند ده متری پهن می‌کنند. اگر مواد معدنی که در سطح دیواره پله رخنمون دارند حالت لایه‌ای یا رگه‌ای داشته باشند، با تعیین موقعیت یک نقطه از کمرپایین یا کمربالای ماده معدنی، می‌توان تصویر آن را رسم کرد، اما در مواردی که، ماده معدنی شیب و امتداد معینی نداشته باشد، باید وضعیت ماده معدنی در سطح دیواره را با اندازه‌گیری مشخصات آن در ارتفاعات مختلف در روی نقشه رسم کرد.

برای رسم دقیق وضعیت ماده معدنی در سطح پله، می‌توان در ارتفاعات مختلف سنگ‌ریزه‌ای را به زمین انداخت و موقعیت آن را در روی متر نواری تعیین و آن را روی نقشه پیاده کرد. اگر در سطح دیواره پله شکستگی وجود داشته باشد نیز به همین ترتیب می‌توان وضعیت آن را به نقشه در آورد.

در معادنی که ماده معدنی به صورت توده‌ای است، در بسیاری موارد، سطح دیواره پله تماما از ماده معدنی تشکیل شده است و ماده معدنی شیب و امتداد معینی ندارد که در این حالت، تمام سطح پله در نقشه به عنوان ماده معدنی نشان داده می‌شود. برای برداشت دقیق‌تر وضعیت ماده معدنی در معادن سطحی می‌توان از دوربین‌های نقشه‌برداری نیز استفاده کرد.

۲-۹-۲- تهیه نقشه پله‌های مختلف[1]

نقشه پله‌های معادن سطحی معمولا برای تراز وسط دیواره پله رسم می‌شود. از آنجا که دیواره پله شیب‌دار است، بنابراین ابتدا باید نقشه آن را به نقشه در سطح افق تبدیل کرد و سپس با ارتباط دادن ماده معدنی، سنگ‌های درونگیر و شکستگی‌ها در قسمت‌های مختلف پله، آن‌ها را به هم ارتباط داد و نقشه تراز میانی پله را رسم کرد (شکل ۲-۲۰).

در این نقشه‌ها باید تمام اطلاعات موجود درج شود که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف- بلوک‌هایی از پله که برای استخراج آماده شده است همراه با نقطه تقاطع گمانه‌های اکتشافی با افق پله (بلوک‌ها ممکن است چهارگوش و یا چندضلعی باشند).

ب- گمانه‌هایی که از داخل کاواک برای کسب اطلاعات بیشتر حفر شده‌اند، همراه با اطلاعات حاصل از آن‌ها

پ- نقشه جانمایی چال‌های آتشباری و عیار ماده معدنی در پله بر اساس اطلاعات حاصل از آن‌ها

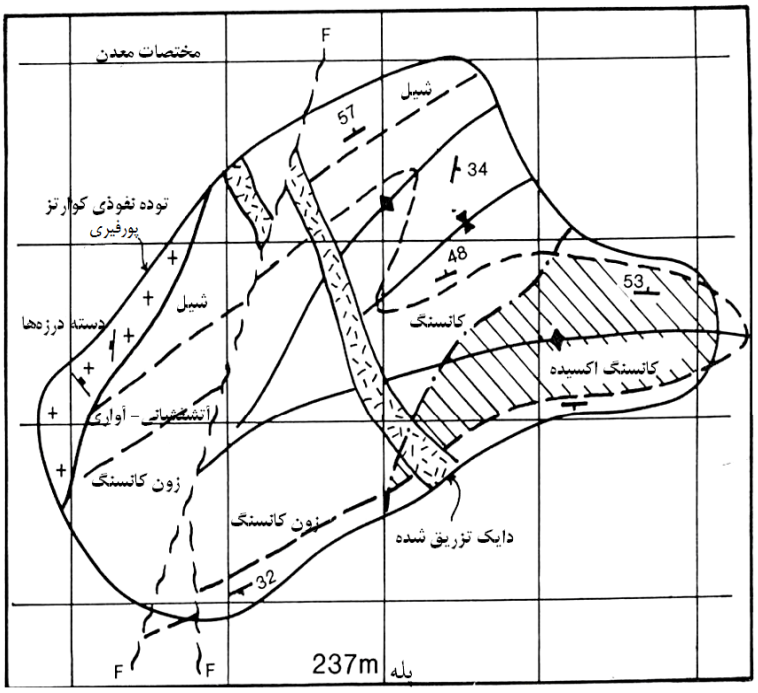
ت- عیار بلوک‌های مختلف قطعه که ممکن است به روش‌های زمین آماری و یا سایر روش‌ها برآورد شده باشد.

ث- بلوک‌های با عیار و ویژگی‌هایی مناسب متالورژیکی برای استفاده از روش استخراج گزینشی

ج- قسمت‌هایی از پله که با بولدوزر قابل حفر است و بخش‌هایی از آن که حفر آن‌ها با چالزنی و آتشباری انجام می‌گیرد.

1- Bench plans

چ- اطلاعات ژئوتکنیکی و ژئومکانیکی برای بررسی پایداری پله‌ها و رمپ‌ها



شکل ۲-۲۰- نمونه‌ای از نقشه پله‌های یک معدن سطحی

فصل ۳

نمونه‌برداری از حفریات استخراجی

۳-۱- آشنایی

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

نکته مهمی که در مورد نمونه‌برداری، باید مورد توجه قرار گیرد آن است که نمونه‌های تهیه شده باید معرف تمام یا حداقل قسمتی از ماده معدنی باشند تا بتوان بر اساس اطلاعات حاصل از آن‌ها در مورد کمیت و کیفیت ماده معدنی قضاوت کرد. اگر تنها بر اساس نمونه‌های تهیه شده از یک قسمت، یا عمق خاصی از گستره ماده معدنی در مورد آن قضاوت شود، در حالت کلی این قضاوت نادرست خواهد بود. بدیهی است هر چقدر تعداد نمونه‌ای که بر اساس یک طرح معین از ماده معدنی گرفته می‌شود، زیادتر باشد، به همان نسبت، داده‌ها درباره ماده معدنی دقیق‌تر خواهد بود.

۳-۲- مراحل نمونه‌برداری

صرف نظر از روش نمونه‌برداری، در مورد تمام روش‌های نمونه‌برداری مراحل مشابهی به شرح زیر وجود دارد:

الف- تهیه نمونه اولیه که حتی‌المقدور باید نمونه معرف[1] باشد.

ب- خلاصه کردن نمونه و کاهش حجم و وزن آن به گونه‌ای که حالت معرف بودن آن حفظ شود.

پ- آزمایش و تجزیه شیمیایی نمونه و یا انجام سایر مطالعات بر روی نمونه

ت- تجزیه و تحلیل نتایج تجزیه شیمیایی نمونه

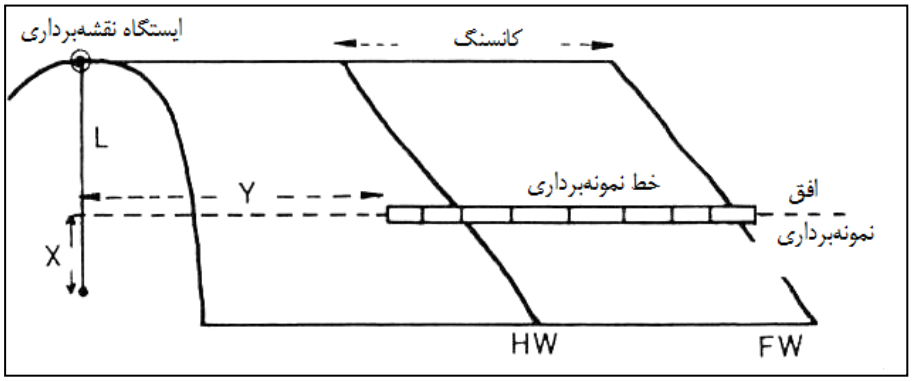
۳-۳- محل نمونه‌برداری

۳-۳-۱- افق نمونه‌برداری[2]

از آنجا که بعضی از حفریات معدنی شیب دارند بنابراین برای آنکه نتایج حاصل از نمونه‌برداری برای افق معینی در نظر گرفته شود، باید یک سطح تراز انتخابی در نظر گرفت و نتایج را برای آن منظور کرد. بدین منظور، معمولا ارتفاع یک متر بالاتر از کف حفریات معدنی را انتخاب می‌کنند. به طور سرانگشتی می‌توان این ارتفاع را محل برخورد نور چراغ انفرادی به سطح نمونه‌برداری، در حالتی که کلاهک به وسیله کابل آن از گردن آویزان است، منظور کرد.

بدیهی است تراز واقعی افق نمونه‌برداری را باید با استفاده از ارتفاع نزدیک‌ترین ایستگاه نقشه‌برداری که معمولا در سقف حفریه قرار دارد، تعیین کرد. بدین منظور، مطابق شکل ۳-۱، فاصله ایستگاه نقشه‌برداری تا تراز نمونه‌برداری به کمک شاغول و متر نواری اندازه‌گیری می‌شود. اگر این فاصله L و ارتفاع ایستگاه از سطح دریا Z باشد، در آن صورت تراز افق نمونه‌برداری $Z\text{-}L$ خواهد بود.

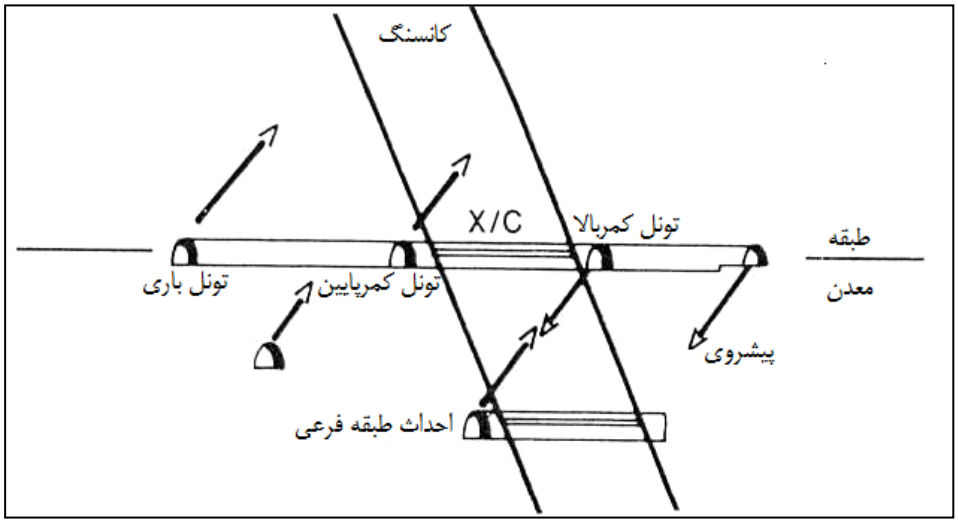
1- Representative sample
2- Grade elevation



شکل ۳-۱- تعیین تراز افق نمونه‌برداری

۳-۳-۲- مکان‌های نمونه‌برداری در معادن زیرزمینی

در شکل ۳-۲، حفریات زیرزمینی که باید از آن‌ها نمونه‌برداری شود، نشان داده شده است. بسته به مورد از این حفریات می‌توان به روش شیاری، لبپری و یا با استفاده از گمانه‌های زیرزمینی نمونه‌برداری کرد.



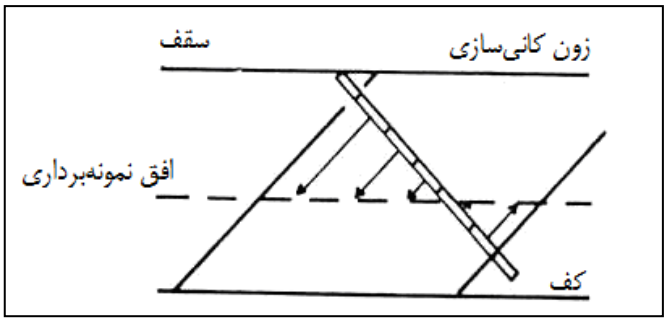
شکل ۳-۲- مکان‌های نمونه‌برداری در معادن زیرزمینی

علاوه بر این مکان‌ها، باید از دویل‌هایی که داخل رگه یا لایه حفر می‌شوند و جبهه‌کار کارگاه استخراج نیز نمونه‌برداری کرد که چگونگی انجام کار در مباحث بعدی تشریح شده است. در مواردی که برای نمونه‌برداری از گمانه‌های زیرزمینی استفاده می‌شود، نتیجه نمونه را باید بر روی نزدیک‌ترین طبقه یا طبقه فرعی معدن پیاده کرد و یا به طور افقی در نقشه عمومی معدن به تصویر درآورد.

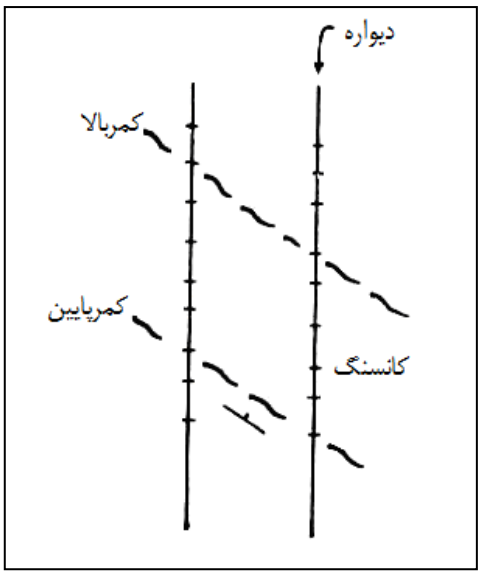
مهم‌ترین محل‌های نمونه‌برداری در معادن زیرزمینی به شرح زیر است:

الف- تونل‌های عمود بر لایه و میان‌برها

در این حفریات، در محل برخورد تونل با ماده معدنی، نمونه‌برداری می‌شود. نمونه‌برداری حتی‌المقدور در تراز افق انجام می‌گیرد. اگر توده معدنی مایل باشد، نقطه نمونه‌برداری را باید مطابق شکل ۳-۳، در افق نمونه‌برداری به تصویر درآورد. اگر از هر دو دیواره این تونل‌ها نمونه‌برداری می‌شود، در آن صورت باید امتداد کمربالا و کمرپایین ماده معدنی نسبت به امتداد تونل تعیین شود (شکل ۳-۴).

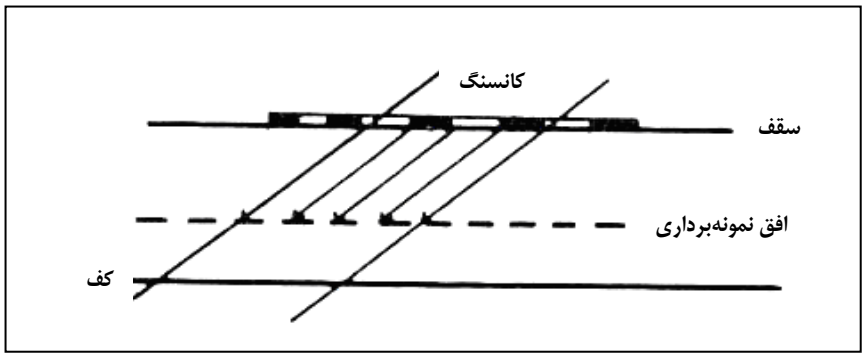


شکل ۳-۳- تصویر کردن شیار نمونه‌برداری بر روی افق نمونه‌برداری



شکل ۳-۴- تصویر افقی از یک میان‌بر

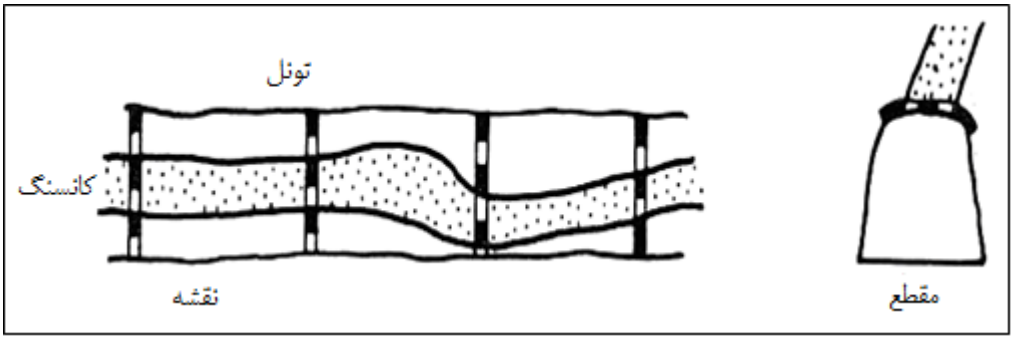
در میان‌برها، موقعیت نمونه‌برداری باید حتی‌المقدور از خط میانی زون کانی‌سازی در سقف حفریه تبعیت کند اما اشکال این روش بالا بودن ارتفاع نمونه‌برداری و دسترسی به آن است (شکل ۳-۵). بدیهی است در این مورد نیز موقعیت نمونه‌برداری باید در افق نمونه‌برداری تصویر شود.



شکل ۳-۵- نمونه‌برداری از سقف میان‌بر

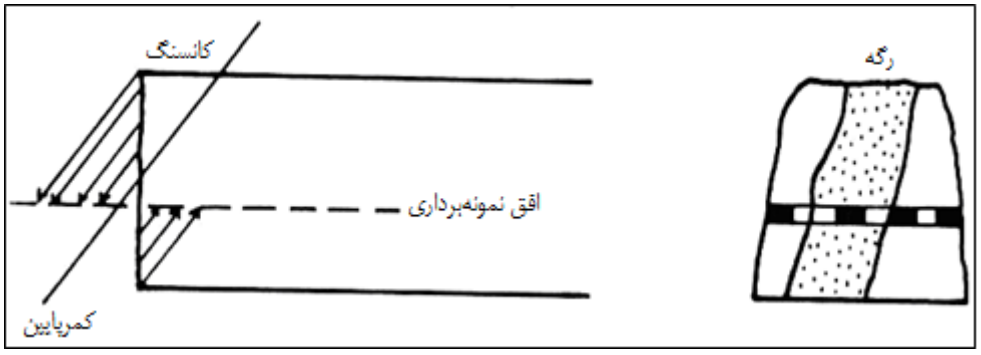
ب- تونل‌های دنباله‌رو

در تونل‌های دنباله‌رو که در ادامه یک لایه یا رگه حفر می‌شوند، معمولا از جبهه‌کار و مواد آتشباری شده نمونه‌برداری می‌شود اما در عین حال ممکن است به دلایل مختلف، از جمله نمونه نگرفتن از محل‌های یاد شده و یا ضرورت نمونه‌برداری مجدد، نمونه‌برداری از سقف حفریه نیز لازم شود. در چنین مواردی، نمونه‌برداری از سقف حفریه و به فواصل منظم و در راستای عمود بر امتداد لایه یا رگه انجام می‌گیرد (شکل ۳-۶). اگر لایه یا رگه نازک باشد، توصیه می‌شود که علاوه بر ماده معدنی، از سنگ‌های درونگیر آن نیز نمونه‌برداری شود.



شکل ۳-۶- نمونه‌برداری از سقف تونل‌های دنباله‌رو

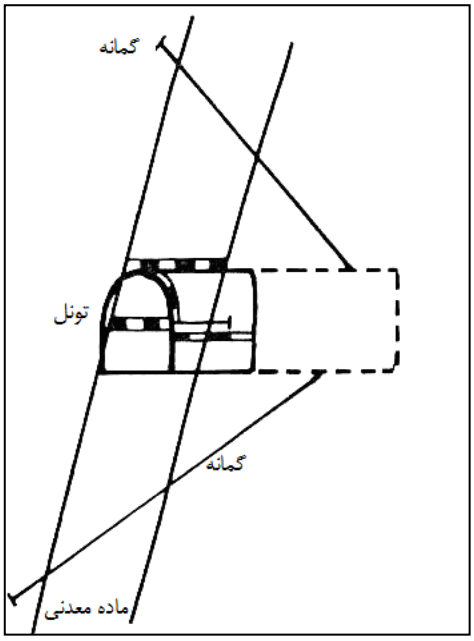
در شکل ۳-۷ موقعیت نمونه‌برداری در جبهه‌کار تونل دنباله‌رو نشان داده شده است.



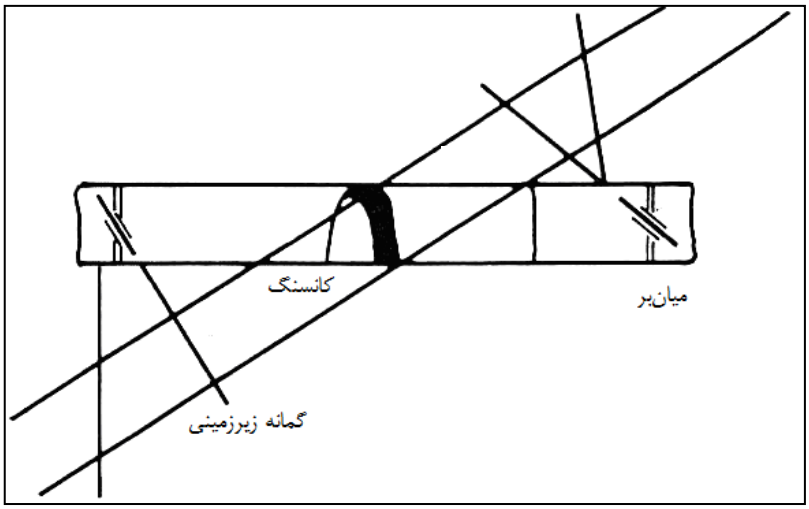
شکل ۳-۷- نمونه‌برداری از جبهه‌کار تونل دنباله‌رو

اگر ضخامت رگه یا لایه بیش از عرض تونل دنباله‌رو باشد، باید علاوه بر نمونه‌برداری منظم از جبهه‌کار، دیواره‌ها و سقف تونل، به فواصل منظم، میان‌برهایی حفر کرد و آن را تا رسیدن به کمرپایین (و یا کمربالا) ماده معدنی ادامه داد و از آن نمونه‌برداری کرد (شکل ۳-۸). در مواردی که تغییرات ماده معدنی شدید باشد، از درون این میان‌برها می‌توان گمانه‌های زیرزمینی به سمت بالا یا پایین حفر کرد و بدین ترتیب از وضعیت ماده معدنی در بالا و پایین افق تونل دنباله‌رو اطلاعاتی به دست آورد (شکل ۳-۸).

اگر توده معدنی کم شیب باشد، می‌توان به فواصل منظم میان‌برها را از دو طرف حفر کرد و از داخل آن‌ها با حفر گمانه‌های زیرزمینی نه چندان عمیق، از وضعیت ماده معدنی آگاه شد (شکل ۳-۹).



شکل ۳-۸- موقعیت نمونه‌برداری در مورد تونل‌های دنباله‌رو در مواد معدنی ضخیم



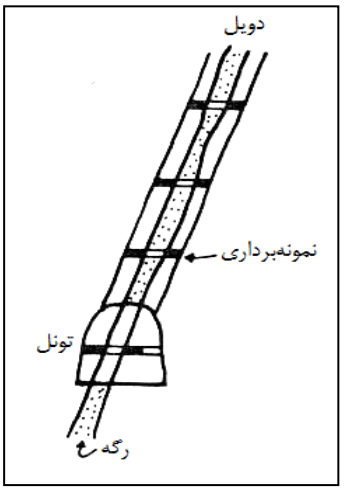
شکل ۳-۹- حفر میان‌بر دوگانه به فواصل منظم از درون تونل‌های دنباله‌رو

پ- دویل‌ها

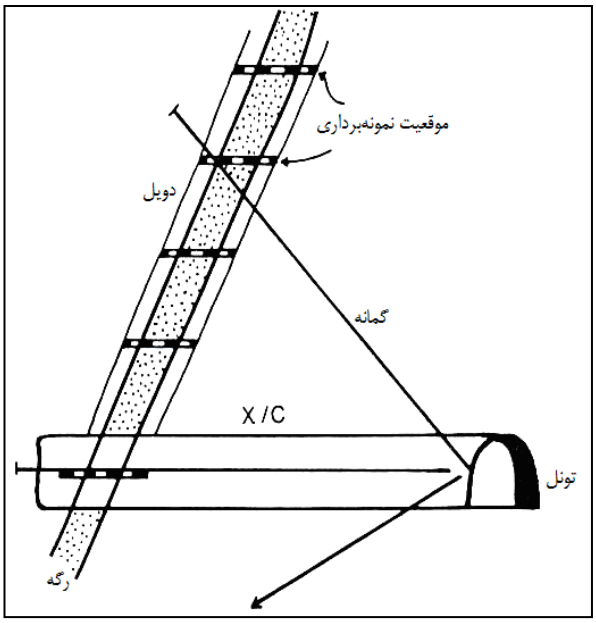
در مورد دویل‌هایی که درون ماده معدنی حفر می‌شوند، باید به فواصل منظم از جبهه‌کار هر دو دیواره دویل، نمونه‌برداری شود. در صورتی که تغییرات ماده معدنی شدید باشد، نمونه‌برداری از سقف و کف حفریه نیز توصیه می‌شود (شکل ۳-۱۰).

ت- تونل‌های امتدادی

در تونل‌های امتدادی، به فواصل منظم میان‌برهایی حفر می‌شود تا ماده معدنی را قطع کند و از آن نمونه‌برداری می‌کنند. از آنجا که برای احداث کارگاه استخراج باید دویل‌هایی در داخل ماده معدنی حفر کرد بنابراین به هنگام حفر، از آن‌ها نیز نمونه‌برداری می‌شود (شکل ۳-۱۱).



شکل ۳-۱۰- موقعیت نمونه‌برداری در دویل



شکل ۳-۱۱- نمونه‌برداری در تونل‌های امتدادی

۳-۳-۳- مکان‌های نمونه‌برداری در معادن سطحی

در معادن سطحی باید از محل‌های زیر نمونه‌برداری شود:

الف- سطح دیواره پله‌ها

ب- کارگاه‌های استخراج

از آنجا که در بسیاری موارد معادن سطحی به روش چالزنی و آتشباری استخراج می‌شوند بنابراین پودر حاصل از این چال‌ها باید به عنوان نمونه جمع‌آوری شود.

۳-۳-۴- محل‌های نمونه‌برداری در سیستم حمل و نقل

در سیستم حمل و نقل باید، از محل‌های زیر نمونه‌برداری شود:

الف- محتوای بیل بارکننده‌ها اعم از معادن سطحی و زیرزمینی

ب- واگن‌های حاوی ماده معدنی در معادن زیرزمینی

پ- بونکرهای زیرکارگاه استخراج در معادن زیرزمینی

ت- کامیون‌های حمل مواد در معادن سطحی

ث- نوار نقاله‌های حمل مواد معدنی در معادن سطحی و زیرزمینی

ج- انباشتگاه مواد معدنی و باطله در معادن سطحی

۳-۴- زمان تناوب نمونه‌برداری

زمان تناوب نمونه‌برداری را باید به گونه‌ای انتخاب کرد که با تعداد نمونه معقول بتوان کیفیت ماده معدنی و نوسانات آن را برآورد کرد. تناوب نمونه‌برداری در معادن زیرزمینی و سطحی به شرح زیر است:

۳-۴-۱- معادن زیرزمینی

الف- تونل‌های عمود بر لایه و میان‌برها

از آنجا که این حفریات فقط یک‌بار با ماده معدنی برخورد می‌کنند بنابراین در محل برخورد آن‌ها به ماده معدنی باید از آن‌ها نمونه‌برداری کرد.

ب- تونل‌های دنباله‌رو و دویل‌ها

در هر شیفت کاری، توصیه می‌شود که از جبهه‌کار این حفریات یک نمونه در وسط شیفت تهیه شود.[1] اگر وضعیت ماده معدنی در دیواره‌های این حفریات با وضعیت آن در جبهه‌کار پیشروی تفاوت قابل ملاحظه‌ای داشته باشد، بهتر است از دیواره‌ها نیز نمونه‌برداری شود.

پ- کارگاه‌های استخراج

اگر کارگاه استخراج در یک خط مستقیم باشد، باید از هر ده متر آن یک نمونه در طول شیفت تهیه شود و در صورتی که کارگاه به پله‌های مختلف تقسیم شده باشد، نمونه‌برداری از هر پله در طول شیفت لازم است. در این مورد نیز توصیه می‌شود که نمونه‌برداری پس از حفر نیمی از پیشروی شیفت کارگاه، انجام گیرد.

ت- سیستم حمل و نقل

در هر نوبت باربری، تهیه یک نمونه از کف، وسط و سطح هر واگن توصیه می‌شود. مجموعه نمونه‌های واگن‌ها را می‌توان به عنوان نمونه معرف آن مرحله از محموله، تلقی کرد.

در معادنی که حمل و نقل به وسیله نوار نقاله انجام می‌گیرد، در طول هر شیفت باید در سه مرحله از ابتدا، انتها و وسط نوار نقاله، نمونه‌برداری شود.

۳-۴-۲- معادن سطحی

الف- کارگاه استخراج

پودر حاصل از حفر چال‌های استخراجی، بهترین نمونه معرف قسمتی از ماده معدنی است که چال در آن حفر شده است. بنابراین در طول شیفت، پودر تمام چال‌های استخراجی باید جمع‌آوری شود.

ب- سیستم بارگیری

در طول شیفت، توصیه می‌شود که در سه نوبت، از محتوای بارکننده نمونه‌برداری شود.

پ- سیستم باربری

توصیه می‌شود که از محتوای هر یک از کامیون‌های باربری نمونه‌برداری شود. جمع نمونه‌های حاصل از کامیون‌ها، نمونه معرف هر شیفت کاری را تشکیل می‌دهد.

در مواردی که برای باربری از نوار نقاله استفاده شود، باید همانند نمونه‌برداری از نوار نقاله در معادن زیرزمینی عمل کرد.

۱- مطابق قوانین زمین‌آمار، نمونه‌ای که از وسط یک محدوده گرفته شود، اعتبارش برابر دو نمونه‌ای است که از دو انتهای آن تهیه شود. محدوده ممکن است مکانی یا زمانی باشد.

ت- نمونه‌برداری از انباشتگاه

در مواردی که تمام یا تعدادی از کامیون‌های حاوی مواد معدنی، بار خود را در انباشتگاه تخلیه می‌کنند تا پس از مخلوط و همگن‌سازی به گارگاه فرآوری حمل شود، از محتوای هر کامیونی که تخلیه می‌شود، باید یک نمونه تهیه کرد.

۳-۵- وزن نمونه لازم

محیط‌های نمونه‌برداری محیط‌های ناهمگنی هستند و هر یک از ذرات یک نمونه اگر چه معرف بخش کوچکی از نمونه‌اند، اما واضح است که نماینده تمام حجم یک نمونه نیستند. بنابراین نمونه‌ای که از یک محل گرفته می‌شود باید آنقدر باشد که اهمیت تاثیر هر یک از این دانه‌های جز در ترکیب کلی ناچیز شود و بنابراین ابعاد ذرات تشکیل دهنده نمونه، از مهم‌ترین عواملی هستند که در تعیین حداقل حجم و وزن نمونه موثراند. به بیان دیگر، هر چقدر ابعاد ذرات نمونه بزرگتر باشد به همان نسبت حجم نمونه باید بزرگتر انتخاب شود.

ماهیت کانی‌سازی در کانسارهای مختلف در مقیاس قابل توجهی متفاوت است. در بعضی کانسارها، ماده معدنی به صورت دانه‌ریز و به حالت یکنواخت در سرتاسر گانگ یا سنگ درونگیر پراکنده است و در تعدادی دیگر، ماده معدنی به صورت قطعات پراکنده در محدوده کانسار دیده می‌شود و بین این دو نوع، حالات بینابین گسترده‌ای وجود دارد که در آن‌ها توزیع ماده معدنی در کانسار متفاوت است و به نوع کانی‌سازی بستگی دارد. شیوه نمونه‌برداری و وزن نمونه لازم در این کانسارها تفاوت دارد. در مورد یک کانسار با توزیع یکنواخت، یک نمونه کوچک برای مشخص کردن محدوده قابل توجهی از کانسار کافی است، در صورتی که در مورد کانساری با توزیع غیریکنواخت، نمونه یاد شده بیانگر ویژگی کانسار نیست. برای تعیین حداقل وزن نمونه لازم، روش‌های مختلفی وجود دارد که در ادامه آمده است.

۳-۵-۱- روش‌های تجربی

با این روش‌ها، به طور تقریبی می‌توان وزن نمونه لازم در هر مورد را محاسبه کرد. سه روش متداول از این روش‌ها در ادامه تشریح شده است:

الف- روش واگر[1] و براون[2]

مطابق این روش، وزن نمونه لازم برای مواد متجانس با توجه به ابعاد ذرات نمونه از جدول ۳-۱ به دست می‌آید.

1- Wager
2- Brown

جدول ۳-۱- وزن نمونه لازم برای تهیه نمونه معرف در مورد مواد همگن

ابعاد ذرات نمونه (میلی‌متر)	حداقل وزن لازم (کیلوگرم)
بزرگتر از ۳۰	۵
۱۰ تا ۳۰	۲
۱ تا ۱۰	۱
کمتر از ۱	۰/۵

باید توجه داشت که اعداد مندرج در این جدول بسیار تقریبی است و تنها به عنوان یک قاعده کلی و سرانگشتی قابل استفاده است.

ب- روش مرک[1]

مطابق این روش، وزن نمونه لازم به صورت تابعی از وزن درشت‌ترین ذرات نمونه از رابطه ۳-۱ به دست می‌آید:

$$M=1000m \qquad (۱-۳)$$

که در آن:

M وزن نمونه لازم (کیلوگرم)

m وزن درشت‌ترین ذرات (کیلوگرم)

به عنوان مثال اگر وزن درشت‌ترین ذرات یک نمونه ۵۰گرم باشد، وزن نمونه معرف خواهد شد:

$$M = 1000 \times 0.050 = 50kg$$

پ- روش استاندارد ISO 1988

این روش که برای تعیین حداقل وزن نمونه‌های زغال‌سنگ ارایه شده، به شرح زیر است:

$$M = 0.06d \qquad (۲-۳)$$

که در آن:

M وزن نمونه لازم (کیلوگرم)

d قطر درشت‌ترین ذرات (میلی‌متر)

۳-۵-۲- روش محاسبه‌ای، رابطه جی[2]

به کمک رابطه جی می‌توان با در دست داشتن واریانس نسبی در هر مرحله از نمونه‌برداری و سایر خصوصیات کانسنگ، حداقل وزن لازم برای دستیابی به یک نمونه معرف را محاسبه کرد. این رابطه را به صورت معکوس نیز می‌توان

1- Merk
2- Gy

به کار برد، به عبارت دیگر با در دست داشتن وزن نمونه، می‌توان واریانس نمونه‌برداری را محاسبه کرد. رابطه جی به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$S^2 = (1-\frac{m}{M})\frac{fc\lg d^3}{m} \qquad (۳-۳)$$

که در آن:

S واریانس نسبی خطای تهیه نمونه‌ای به وزن m از محدوده‌ای از کانسار به وزن M (و یا تهیه نمونه جزیی m از نمونه کلی M)

m وزن نمونه (گرم)

M وزن قسمتی از معدن که نمونه معرف m برحسب گرم از آن تهیه می‌شود.

f ضریب شکل که مقدار متوسط آن ۰/۵ و اندازه آن در مورد کانسارهای طلا ۰/۲ و در مورد ذرات کاملا مکعبی واحد است. این ضریب بعد ندارد.

l ضریب درجه آزادی[1] که اندازه آن از مقادیر بسیار کوچک برای ذرات کاملا همگن تا یک برای ذرات کاملا ناهمگن تغییر می‌کند. این ضریب بدون بعد است و از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$l = (\frac{L}{d})^{0.5} \qquad (۴-۳)$$

در این رابطه L درجه آزادی عملی کانسنگ است که به صورت بزرگترین ابعاد ذرات کانی‌های موجود در سنگ تعریف شده و بر حسب سانتی‌متر بیان می‌شود.

اندازه ضریب l را از جدول ۳-۲ نیز می‌توان تعیین کرد. به ازای مقادیر $\frac{L}{d} > 1$ ضریب l را برابر یک در نظر می‌گیرند.

جدول ۳-۲- اندازه ضریب l به ازای نسبت‌های مختلف

$\frac{d}{L}$	۱	۴	۱۰	۴۰	۱۰۰
l	۰/۸	۰/۴	۰/۲	۰/۱	۰/۰۵

g ضریب بدون بعد اندازه دانه‌ها که مقدار متوسط آن ۰/۲۵ است.

d اندازه بزرگترین قطعات کانسنگ یا نمونه اولیه برحسب سانتی‌متر و به عبارت دیگر، ابعاد چشمه‌های سرندی که ۵ درصد قطعات کانسنگ بر روی آن باقی می‌ماند.

c ضریب ترکیب کانی‌شناسی که از رابطه ۳-۵ به دست می‌آید:

$$c = (1-a)[(\frac{1-a}{a})\rho_1 + \rho_2] \qquad gr/cm^3 \qquad (۵-۳)$$

که در آن:

1- Liberation dgree factor

ρ_1 چگالی متوسط کانی (گرم بر سانتی‌متر مکعب)

ρ_2 چگالی متوسط باطله (گرم بر سانتی‌متر مکعب)

α عیار متوسط کانی با ارزش در کانسنگ که به صورت کسری از واحد بیان می‌شود (به عنوان مثال ۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۲ و...).

در مورد نمونه‌گیری از معدن نسبت $\frac{m}{M}$ خیلی کوچک است و عملا می‌توان آن را برابر صفر در نظر گرفت و در این موارد رابطه جی، به صورت ساده‌ترین زیر نوشته می‌شود.

$$S^2 = \frac{kd^3}{m} \qquad (۶-۳)$$

که در آن:

$$k = fc\,lg \quad gr/cm^3 \qquad (۷-۳)$$

۳-۶- روش‌های نمونه‌برداری

بسته به وضعیت محل نمونه‌برداری، برای تهیه نمونه از روش‌های مختلفی به شرح زیر استفاده می‌شود:

۳-۶-۱- نمونه‌برداری شیاری[1]

این روش یکی از متداول‌ترین روش‌های نمونه‌برداری از مواد معدنی است و طی آن، شیاری به عرض ۵ تا ۱۲ سانتی‌متر و عمق ۲ تا ۵ سانتی‌متر، از سرتاسر سطحی از ماده معدنی که در داخل حفریه رخنمون دارد، گرفته می‌شود. بسته به وضعیت ماده معدنی، امتداد شیار نمونه‌برداری ممکن است قائم، افقی و یا مایل باشد (شکل ۳-۱ و ۳-۱۲). نکته مهم آن است که باید عرض و عمق شیار در سرتاسر طول آن ثابت باشد تا نمونه یکنواختی از ماده معدنی به دست آید.

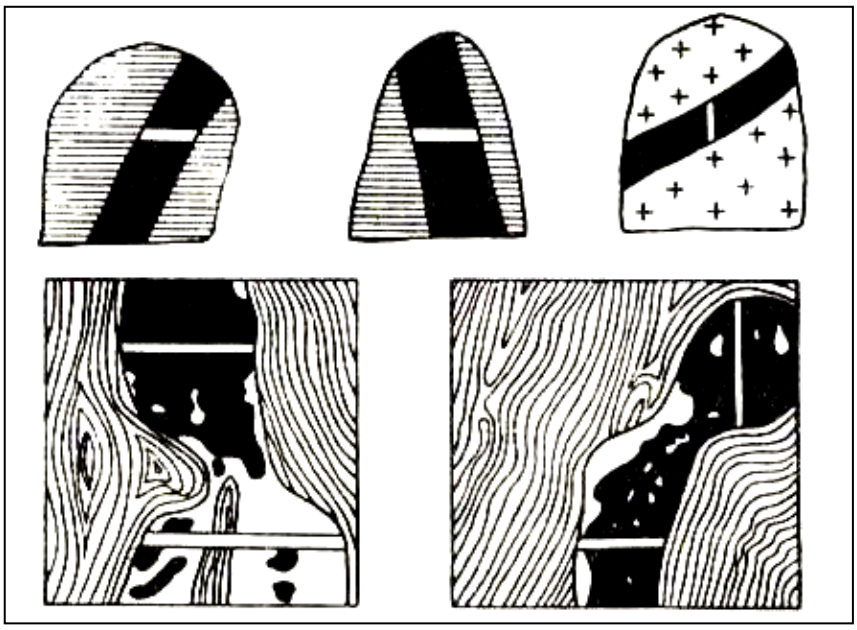
الف- امتداد نمونه‌برداری

امتداد شیار به موازات امتداد بیشترین تغییرات ماده معدنی در نظر گرفته می‌شود و این امتداد معمولا عمود بر امتداد لایه، یعنی امتداد اندازه‌گیری ضخامت ماده معدنی است. توصیه می‌شود که تا حد امکان، شیار نمونه‌برداری در راستای ضخامت واقعی ماده معدنی باشد. از آنجا که در بسیاری موارد، امتداد حفریه، عمود بر امتداد ماده معدنی نیست، بنابراین تعیین راستای ضخامت واقعی خالی از اشکال نخواهد بود و به همین دلیل، معمولا امتداد شیار را در مورد مواد معدنی کم شیب، قائم و در مورد انواع پرشیب افقی در ۳-۱۲ و ۳-۱۳).

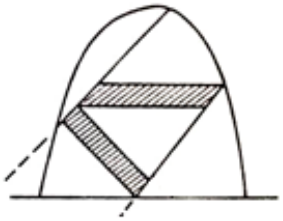
1- Channel sampling

ب- محل نمونه‌برداری

در تونل‌های دنباله‌رو بهتر است شیار در جبهه‌کار پیشروی حفر شود. در مواردی که به علت مسایل ایمنی یا علل دیگر نتوان از جبهه‌کار پیشروی نمونه‌برداری کرد، شیار نمونه‌گیری را در سقف تونل دنباله‌رو حفر می‌کنند.



شکل ۳-۱۲- نمونه‌برداری شیاری



شکل ۳-۱۳- نمونه‌برداری شیاری از یک تونل دنباله‌رو

در تونل‌های عمود بر لایه و میان‌برها، شیار نمونه‌برداری در دیواره آن‌ها حفر می‌شود. اگر وضعیت ماده معدنی در دو دیواره این قبیل حفریات یکسان باشد، یک نمونه از یکی از دو دیواره کافی است، اما اگر وضعیت ماده معدنی در این دو دیواره متفاوت باشد، باید از هر دو دیواره، نمونه شیاری تهیه شود. در تونل‌های مورب نیز، شیار در دو دیواره حفر می‌شود و امتداد آن بسته به کم شیب یا پرشیب بودن، به حالت قائم یا افقی است.

پ- تعداد نمونه شیاری

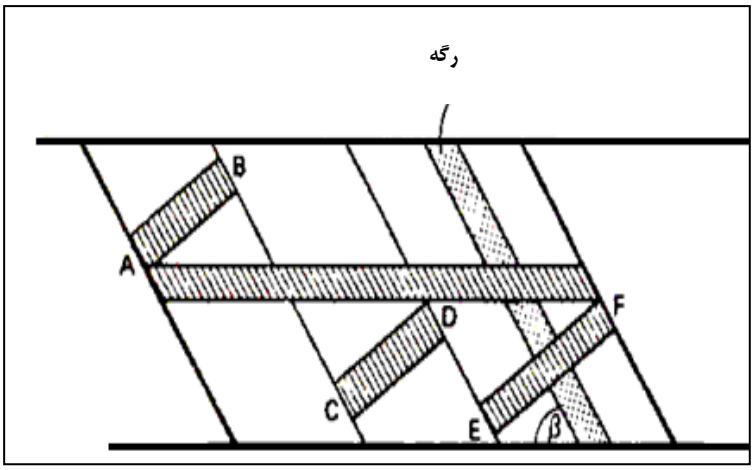
در مواردی که ماده معدنی از چند لایه یا رگه با مشخصات مختلف تشکیل شده باشد، از هر کدام از آن‌ها یک نمونه شیاری مجزا گرفته شده و از مجموعه آن‌ها نیز معمولا یک نمونه شیاری کلی تهیه می‌شود (شکل ۳-۱۴ و ۳-۱۵).

ت- ابعاد نمونه شیاری

ابعاد شیار نمونه‌برداری به وضعیت ماده معدنی و ضخامت آن بستگی دارد (جدول ۳-۳).

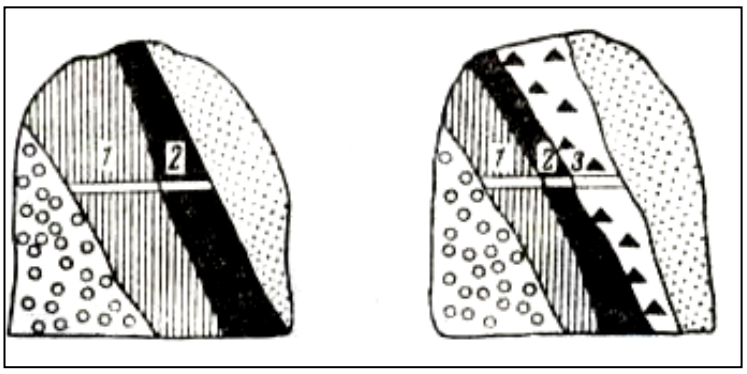
ث- ترتیب نمونه‌برداری

سطح محل نمونه‌برداری را باید در صورت امکان با استفاده از شلنگ هوای فشرده و در صورت عدم دسترسی به آن، با یک برس تمیز کرد. برای نمونه‌برداری باید یک پارچه برزنتی یا نایلونی را در کف حفریه پهن کرد و در حین نمونه‌برداری نهایت دقت را به کار برد که تمام ذرات ماده معدنی روی پارچه‌ای که در کف پهن شده است ریخته شود. همچنین باید دقت کرد که قطعاتی از سقف یا دیواره حفریه، به داخل این پارچه نیفتد.



شکل ۳-۱۴- نمونه‌برداری شیاری تفکیکی از دیواره یک تونل دنبال‌رو

(AB،CD،EF نمونه‌های جزیی و AF مغزه کلی است.)



شکل ۳-۱۵- نمونه‌برداری شیاری تفکیکی

جدول ۳-۳- ابعاد شیار نمونه‌برداری در حالات مختلف

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

در مورد شیارهای افقی توصیه می‌شود که نمونه‌برداری از چپ به راست انجام گیرد. در هر مورد، نمونه‌برداری را می‌توان از کمربالا یا کمرپایین ماده معدنی آغاز کرد.

در مورد شیارهای قائم، نمونه‌برداری را باید از پایین به بالا انجام داد تا نمونه‌های قسمت بالایی، نمونه‌های زیرین را آلوده نکند.

ج- روش نمونه‌برداری

در مورد مواد معدنی نرم (مانند زغال‌سنگ)، حفر شیار به وسیله چکش زمین‌شناسی انجام می‌گیرد. اگر ماده معدنی سخت باشد (مانند بعضی از کانسنگ‌های فلزی) شیار با استفاده از قلم فلزی و چکش حفر می‌شود. در این حالت، استفاده از چکش‌های به وزن ۱/۷ تا ۲/۵ کیلوگرم و قلم‌های با طول ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر بسیار مناسب است.

در مورد مواد معدنی خیلی سخت، می‌توان از چکش‌های هوای فشرده، اره‌های سنگ‌بری الماسی و یا فرزهای دو تیغه استفاده کرد.

۳-۶-۲- نمونه‌برداری لایه‌ای[1]

در بعضی موارد، در دیواره یا جبهه‌کار تونل، ماده معدنی شکل نامنظم دارد که تهیه نمونه شیاری از آن امکان‌پذیر نیست. در چنین مواردی می‌توان از روش نمونه‌برداری لایه‌ای استفاده کرد. در این روش، یک لایه نازک با ضخامت ثابتی برابر ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر، از تمام ماده معدنی در سطح حفریه، کنده می‌شود. نمونه را می‌توان از جبهه‌کار، سقف و یا دیواره تهیه کرد.

برای نمونه‌برداری از سقف و کف تونل‌های دنباله‌رو، لایه‌ای از ماده معدنی به طول یک تا دو متر از کل آن برداشت می‌شود. مهم‌ترین، نکته در مورد نمونه‌های لایه‌ای، ثابت بودن ضخامت لایه است، زیرا اگر در این مورد دقت نشود، ممکن است ضخامت لایه در قسمت‌های نرم از قسمت‌های سخت بیشتر شود و این امر سبب شود که نمونه، نماینده واقعی ماده معدنی نباشد. روش نمونه‌برداری لایه‌ای را معمولا در مواردی که ضخامت ماده معدنی کم و گسترش آن نامنظم است، به کار می‌برند.

۳-۶-۳- نمونه‌برداری نقطه‌ای[2] یا لبپری[3]

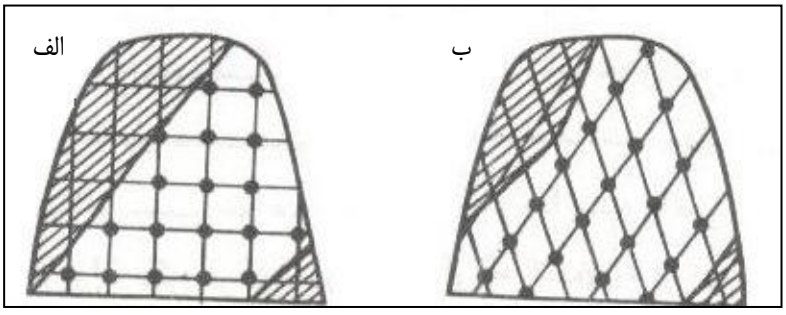
این روش که یکی از ساده‌ترین روش‌های نمونه‌برداری است، در مواردی به کار می‌رود که ماده معدنی سخت و تهیه نمونه شیاری از آن به آسانی مقدور نباشد. در این روش، تکه‌هایی از ماده معدنی به وزن حدود ۱۰۰ گرم با استفاده از چکش زمین‌شناسی کنده می‌شود و مجموعه آن‌ها معرف نمونه ایستگاه مورد نظر است و این روش دقت روش شیاری را ندارد.

1- Layer sampling
2- Point sampling
3- Chip sampling

یکی از موارد استفاده از این روش، نمونه‌برداری از جبهه‌کار تونل‌های دنباله‌رو است که امکان دارد تمام یا بخش عمده‌ای از سطح مقطع تونل در داخل ماده معدنی حفر شود. در چنین مواردی، استفاده از روش لایه‌ای توصیه نمی‌شود، زیرا زمان‌بر است و باعث توقف عملیات حفاری می‌شود. در این صورت توصیه می‌شود ابتدا یک شبکه مربعی یا لوزی با استفاده از شابلون در جبهه‌کار رسم و سپس از مرکز چهارخانه‌ها و یا رئوس شبکه، نمونه هم اندازه برداشت شود (شکل ۳-۱۶). همچنین می‌توان در مقطع تونل خطوطی به موازات هم رسم کرد و از آن‌ها به فواصل مساوی نمونه گرفت. اگر چه فاصله نقاط نمونه‌برداری و تعداد نمونه‌ها در هر حالت متفاوت است اما به عنوان یک راهنمای عمومی می‌توان از آن استفاده کرد (جدول ۳-۴).

جدول ۳-۴- تعداد و وزن قطعات نمونه در نمونه‌برداری نقطه‌ای

وضعیت کانی‌سازی	تعداد تکه‌ها	وزن تکه‌ها (گرم)	وزن کلی نمونه (کیلوگرم)
منظم	۱۶-۱۲	۱۲۰	۲-۱٫۵
نامنظم	۲۵-۲۰	۲۵۰	۶-۵
خیلی نامنظم	۵۰-۳۶	۵۰۰	۲۵-۱۸



شکل ۳-۱۶- نمونه‌برداری نقطه‌ای در جبهه‌کار تونل‌های دنباله‌رو

۳-۶-۴- نمونه‌برداری کلوخه‌ای[1]

یکی از کاربردهای این روش، نمونه‌برداری سریع از تونل‌های دنباله‌رو است. بدین منظور، قبل از آتشباری در جبهه-کار، در کف تونل بسته به وسعت آن، چند ورق آهن پهن می‌کنند تا مواد حاصل از آتشباری با مواد کف تونل مخلوط نشود. پس از انجام آتشباری، مواد حفر شده را به کمک لودر یا بیل دستی پهن می‌کنند تا به طور یکنواخت در کف تونل پخش شود. سپس یک تور چهارخانه را روی مواد حفر شده پهن کرده و از وسط هر یک از چهارخانه‌های تور، قطعه‌ای از ماده معدنی را جدا می‌کنند و مجموعه آن‌ها را به عنوان نمونه ماده معدنی در آن قسمت از تونل در نظر می‌گیرند. در این مورد نیز تکه‌ها باید حتی‌المقدور ابعاد و وزن مساوی داشته باشند.

1- Grab sampling

نمونه‌برداری کلوخه‌ای را می‌توان از بیل لودر در جبهه‌کار، واگن‌های حاوی ماده معدنی و یا نوار نقاله‌ای که مواد معدنی حمل می‌کند نیز تهیه کرد. البته نمونه‌برداری به این شیوه‌ها، دقت روش نمونه‌برداری کلوخه‌ای کلاسیک را ندارد و اریبی نمونه‌برداری قابل انتظار است. یکی از علت‌های این خطا، آن است که مواد داخل واگن‌ها یا نوار نقاله به اندازه کافی مخلوط نشده‌اند که بتوان آن‌ها را به عنوان نمونه معرف تلقی کرد.

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

۳-۶-۵- نمونه‌برداری از چال‌ها[1]

در این روش، پودری را که از حفر چال‌ها حاصل می‌شود به عنوان نمونه ماده معدنی جمع‌آوری می‌کنند. برای این کار، می‌توان از چال‌های معمولی که برای پیشروی تونل حفر می‌شود و یا از چال‌های ویژه‌ای که به همین منظور حفر می‌کنند، استفاده کرد.

در بعضی موارد برای تعیین مشخصات مواد معدنی با ضخامت زیاد، چال‌های عمیقی به عمق ۵۰ تا ۷۰ متر در داخل آن‌ها حفر و از آن‌ها نمونه تهیه می‌کنند. در مورد چال‌های عمیق، پودر حاصله از هر یک متر از چال، جداگانه نگهداری و شماره‌گذاری می‌شود. در مواقعی که تعیین مرز ماده معدنی و سنگ‌های درونگیر آن به کمک صدای حفاری و یا رنگ پودر حاصله ممکن نباشد، این فاصله به ۵۰ سانتی‌متر کاهش می‌یابد.

از جمله نکات مهمی که باید در مورد نمونه‌برداری از چال مورد توجه قرار گیرد آن است که وزن پودر حاصل از هر متر حفاری در تمام عمق چال حتی‌المقدور مساوی باشد.

۳-۷- تکمیل شناسنامه نمونه و ارسال آن به آزمایشگاه

پس از آنکه، نمونه‌ها تهیه شد، باید آن‌ها را برای تجزیه و بررسی، به آزمایشگاه ارسال کرد. به هنگام ارسال نمونه به آزمایشگاه باید سعی کرد که ضمن حمل و نقل، مواد خارجی به آن اضافه نشود و نیز خصوصیات نمونه تغییر نکند.

از آنجا که مراحل آماده‌سازی نمونه‌ها و روش‌های تجزیه و تحلیل آن‌ها در نشریات برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن به تفصیل آمده است بنابراین از تشریح آن‌ها در اینجا خودداری و نشریات زیر در این مورد معرفی می‌شود:

الف- دستورالعمل آماده‌سازی و مطالعات میکروسکوپی نمونه‌های زمین‌شناسی و معدنی

ب- ضوابط شناسایی مواد معدنی و آزادسازی آن‌ها در کانه‌آرایی

1- Drill-hole sampling

پ- ضوابط آماده‌سازی نمونه‌ها

ت- دستورالعمل پذیرش و نگهداری نمونه

۳-۸- تجزیه و تحلیل نتایج تجزیه شیمیایی نمونه

پس از بررسی دقت و صحت نتایج تجزیه باید آن‌ها را طی دو مرحله، یکی جایگزینی داده‌های سنسورد و دیگری تعیین مقادیر خارج از ردیف پردازش کرد که این مراحل به تفصیل در نشریات زیر آمده است و توصیه می‌شود که به آن‌ها مراجعه شود.

الف- دستورالعمل اکتشاف ژئوشیمیایی بزرگ‌مقیاس رسوبات آبراهه‌ای (۱:۲۵۰۰۰)

ب- دستورالعمل اکتشاف ژئوشیمیایی محیط‌های سنگی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰

فصل ۴

دستورالعمل محاسبه ذخیره قابل استخراج و کنترل عیار ماده معدنی

٤-۱- آشنایی

یکی از مهم‌ترین هدف‌های زمین‌شناسی استخراجی، ارایه اطلاعات لازم به مسوولان استخراج به منظور استخراج ماده معدنی به گونه‌ای است که عیار آن در محدوده مجاز باشد. اگر ماده معدنی بدون توجه به این مطلب استخراج شود، نوسانات عیار محصولات استخراجی در حدی خواهد بود که برای کارخانه فرآوری، مشکل ایجاد خواهد کرد.

۴-۲- نقشه‌های اطلاعاتی استخراجی

به منظور ارایه اطلاعات استخراجی، نقشه‌های مختلفی را به شرح زیر تهیه می‌کنند:

۴-۲-۱- نقشه‌های تصویر شده در سطح افق[1]

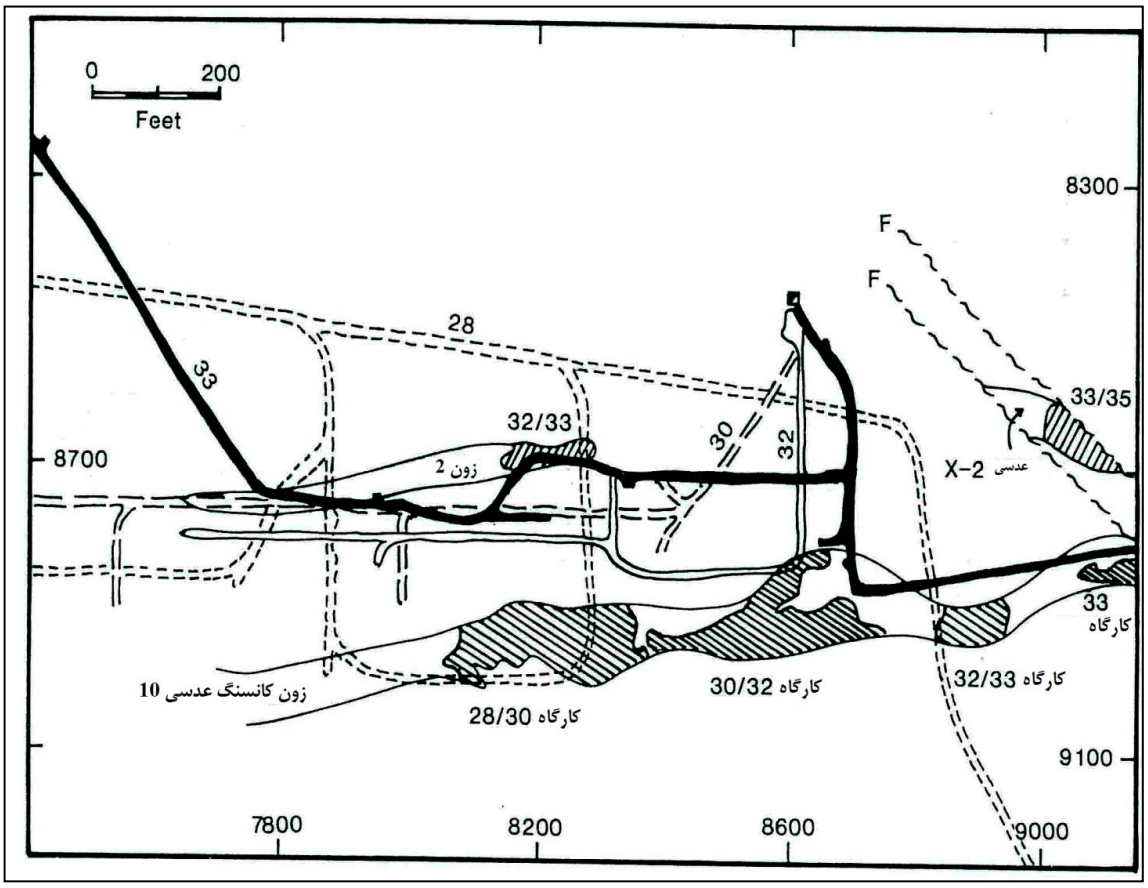
برای هر یک از افق‌های معدن اعم از روباز یا زیرزمینی، باید نقشه‌ای که حاوی تمام اطلاعات ماده معدنی باشد، تهیه شود. این نقشه باید نشانگر موقعیت تمام حفریات استخراجی، محل احتمالی تلاقی گمانه‌های اکتشافی با ماده معدنی در افق مورد نظر و نیز تصویر دهانه گمانه‌ها در این افق باشد. با استفاده از این اطلاعات می‌توان مرز واحدهای مختلف سنگ‌شناسی، چینه‌شناسی، محدوده گسترش ماده معدنی و نیز وضعیت گسل‌ها را مشخص ساخت. نمونه‌ای از این نقشه‌ها در شکل ۱-۱۰ نشان داده شده است.

اگر فاصله طبقات معدن زیاد باشد، ممکن است نقشه طبقات فرعی به کمک نقشه طبقات اصلی تهیه شود. این نقشه‌ها را که به نام نقشه‌های کارگاه استخراجی نیز خوانده می‌شوند، از طریق درونیابی اطلاعات طبقات، تهیه می‌کنند. مهم‌ترین کاربرد این نقشه‌ها، کنترل عیار ماده معدنی استخراجی است و بدین منظور باید موقعیت تمام نمونه‌هایی که از حفریات مختلف استخراجی گرفته شده است، همراه با عیار آن‌ها درج شود. علاوه بر این، هر گونه اطلاعات دیگر از جمله مرز ماده معدنی و سنگ درونگیر، گسل‌ها و دایک‌های احتمالی نیز باید به نقشه درآید.

در بعضی موارد، نقشه‌های ترکیبی طبقات مختلف نیز تهیه می‌شود تا به کمک آن‌ها بتوان وضعیت توده معدنی را به نحوه بهتری مشخص ساخت. نقشه‌های ترکیبی را با جزییات کمتر و معمولا در مقیاس ۱:۱۰۰۰ تهیه می‌کنند و بدین منظور، تصویر طبقات مختلف را به طور قائم در صفحه افق مورد نظر به تصور درمی‌آورند.

برای آنکه اطلاعات مربوط به طبقات مختلف، که در یک نقشه تصویر شده‌اند، از هم متمایز باشد، هر یک از طبقات را با رنگ جداگانه ترسیم می‌کنند. بدیهی است چنین نقشه‌های ترکیبی فاقد جزییات است و در آن‌ها فقط حفریات استخراجی مهم مانند موقعیت چاه‌ها، میان‌برها و تونل‌های باربری به تصویر در می‌آید. به کمک چنین نقشه‌هایی، موقعیت سه بعدی توده ماده معدنی نشان داده می‌شود. در شکل ۴-۱ نمونه‌ای از یک نقشه ترکیبی نشان داده شده است.

1- Level plans



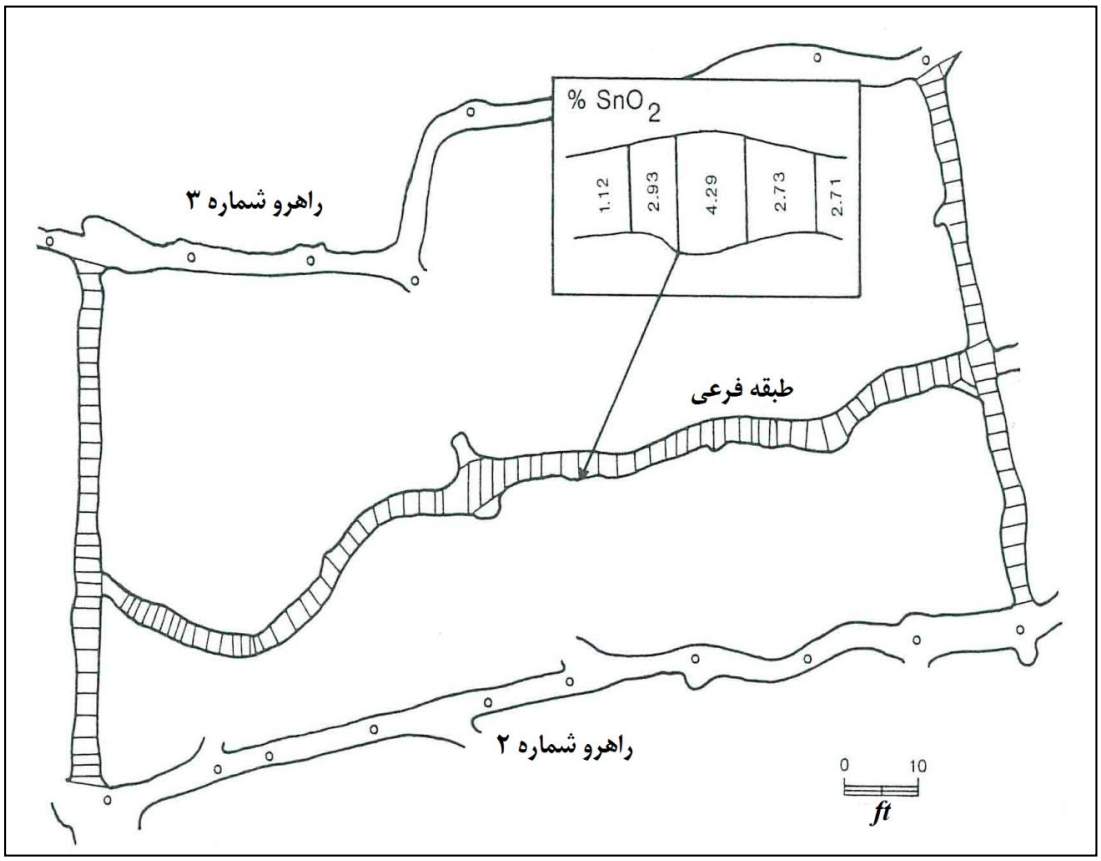
شکل ۴-۱- نمونه‌ای از یک نقشه ترکیبی در یک معدن سرب و روی

۴-۲-۲- نقشه‌های مایل

این نقشه‌ها در صفحه رگه یا لایه ماده معدنی تصویر می‌شوند و کاربرد آن‌ها در مورد آن دسته از مواد معدنی است که کمابیش ساختار ورقه‌ای دارند. از جمله ویژگی‌های این نقشه‌ها آن است که در آن‌ها موقعیت تونل‌های دنباله‌رو و دویل‌هایی که در داخل ماده معدنی حفر شده‌اند، به خوبی به نمایش درمی‌آیند. نمونه‌ای از این نقشه‌ها در شکل ۴-۲ نشان داده شده است. این نقشه‌ها به منظور نمایش موقعیت نمونه‌هایی از چال‌های آتشباری که برای پیشروی دویل‌ها و یا طبقات حفر می‌شوند، بسیار مناسب است. همچنین در آن‌ها می‌توان موقعیت و نتایج تجزیه نمونه‌های لبپری و شیاری را نیز به نحو مناسبی نشان داد. علاوه بر این، در این نقشه‌ها می‌توان منحنی‌های هم ضخامت را نشان داد و به کمک آن‌ها ذخیره قابل استخراج را محاسبه کرد. بدیهی است در این نقشه‌ها، فقط قسمت‌های محدودی از هر معدن به نمایش درمی‌آید.

۴-۲-۳- نقشه پله‌ها

این نقشه‌ها را برای پله‌های مختلف معادن روباز تهیه می‌کنند که نمونه‌ای از آن‌ها در شکل ۱-۱۱ آمده و نحوه استفاده از آن‌ها نیز در فصل اول تشریح شده است.



شکل ۴-۲- نمونه‌ای از نقشه‌های مایل که در آن موقعیت طبقات فرعی و دویل‌ها به نمایش درآمده است.

۴-۲-۴- نقشه‌های طولی تصویر شده در سطح قائم[1] *(VLP)*

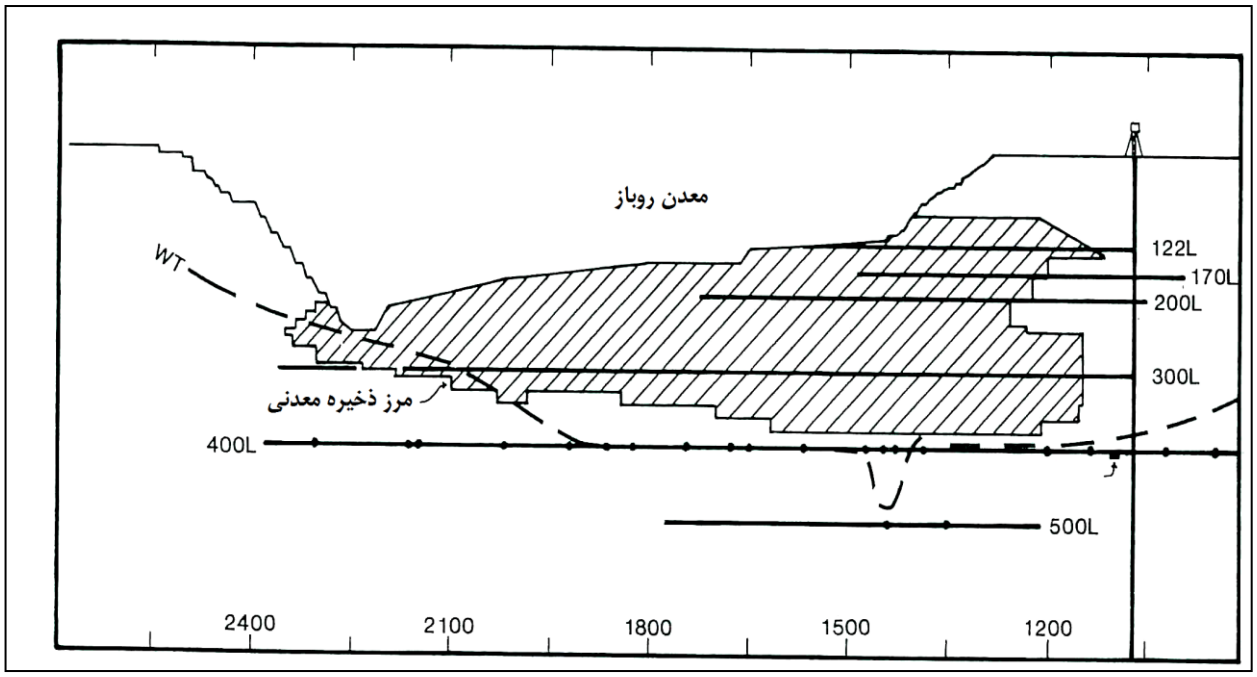
این نقشه‌ها از جمله مفیدترین نقشه‌ها برای نمایش حفریات استخراجی، داده‌های زمین‌شناسی و عیار ماده معدنی در مورد توده‌های معدنی با شیب بیش از ۴۵ درجه‌اند که در ادامه ویژگی‌های آن‌ها تشریح شده است.

الف- روش تهیه

سطح مبنا در این نقشه‌ها، کمرپایین ماده معدنی است و تمام اطلاعات باید به طور افقی در این سطح به تصویر درآیند. در حالت ایده‌آل، خط مبنای این نقشه‌ها باید به گونه‌ای انتخاب شود که از چاه اصلی معدن بگذرد و در این حالت، امتداد این سطح، موازی امتداد متوسط ماده معدنی خواهد بود. روش پیاده کردن اطلاعات بر روی این نقشه‌ها باید به گونه‌ای باشد که در نقشه، نگاه بیننده به سوی شیب ماده معدنی متوجه باشد. خطوط مقطع نیز به صورت قائم و از سطح به کف ماده معدنی توجیه می‌شوند. در این حالت، طبقات معدن و خطوط تراز به صورت خطوط افقی خواهند بود (شکل۴-۳).

1- Vertical longitudinal projections (VLP)

در معادن زیرزمینی، طبقات معدن بر اساس عمق آن‌ها نسبت به دهانه چاه شماره‌گذاری می‌شوند. وضعیت توپوگرافی سطحی نیز به وسیله منحنی‌های ترازی که ارتفاع آن‌ها نسبت به دهانه چاه در نظر گرفته شده است، به نمایش درمی‌آید.



شکل ۴-۳- نقشه تصویر شده در سطح قائم که نشانگر افق‌های معدن روباز و محدوده ماده معدنی است.

در شکل ۴-۴، بعضی از داده‌هایی را که می‌توان با تصویر کردن در امتداد افق (عمود بر سطح تصویر قائم) مشخص ساخت، نشان داده شده است. به طوری که دیده می‌شود، برای هر یک از مقاطع این نقشه‌ها، می‌توان اطلاعات مربوط به آن مقطع را به روشنی نشان داد.

ب- موارد کاربرد

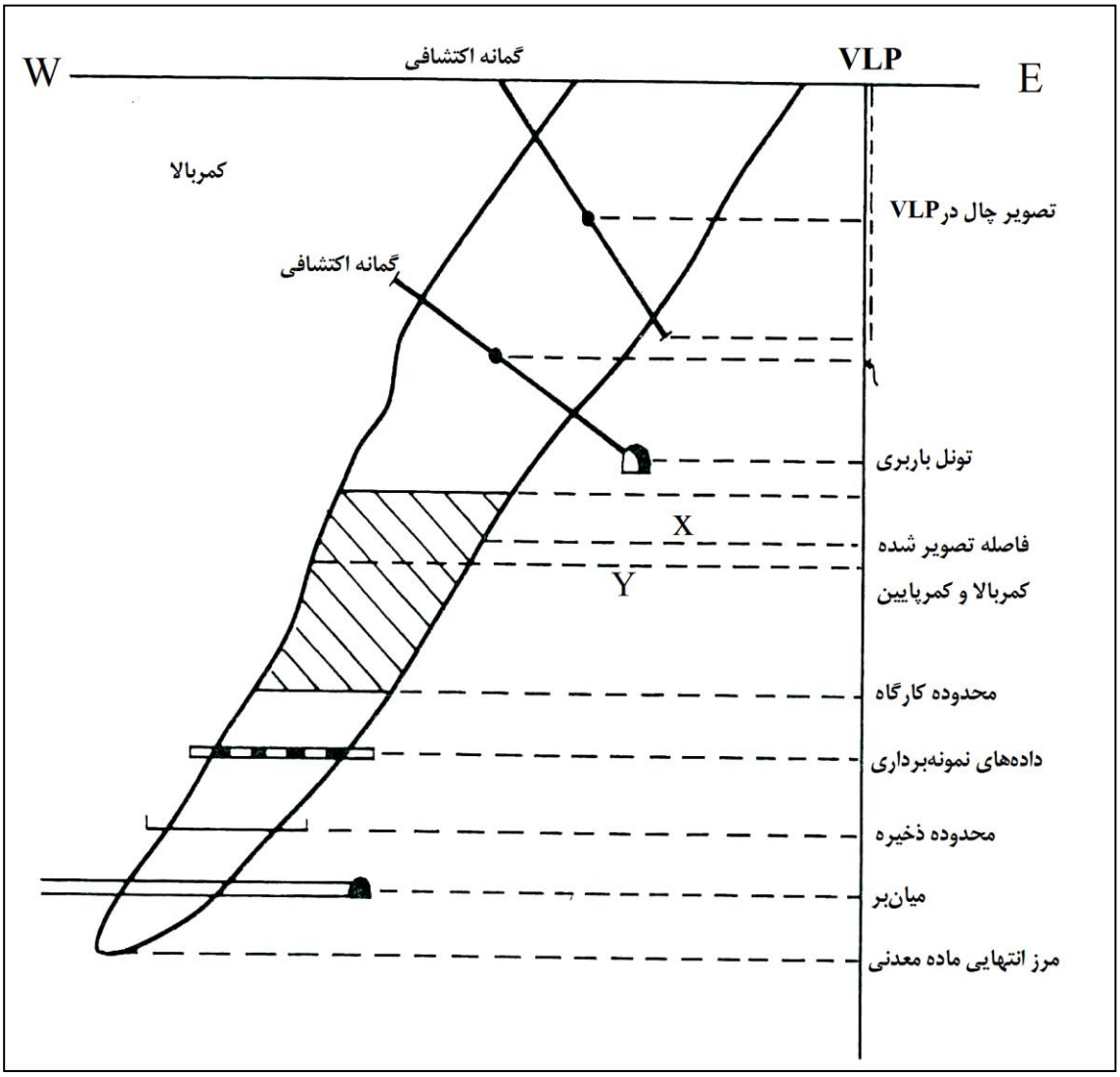
نقشه‌های VLP کاربردهای متنوعی دارند که از جمله می‌توان موارد زیر را برشمرد:

اطلاعات عیاری: برای نمایش اطلاعات مربوط به عیار ماده معدنی، موقعیت نقطه میانی بخشی از ماده معدنی که به وسیله گمانه‌ها قطع شده است، بر روی نقشه تصویر شده و اطلاعات حاصل از مغزه‌ها در این نقطه نوشته می‌شود. بدین ترتیب مجموعه‌ای از نقشه‌های VLP تهیه می‌کنند که در آن‌ها اطلاعاتی از قبیل عیار ماده معدنی، ضخامت افقی ماده معدنی و انباشتگی (حاصل‌ضرب عیار در ضخامت) درج شده است. در صورتی که اطلاعات کافی باشد، منحنی‌های تراز این ویژگی‌ها یعنی عیار، ضخامت و انباشتگی نیز در نقطه رسم می‌شود. نمونه‌ای از این نقشه‌ها در شکل ۴-۵ نشان داده شده است. چنین نقشه‌هایی برای نشان دادن نحوه تغییرات مشخصات ماده معدنی به منظور انجام اکتشافات تکمیلی و محاسبه ذخیره قابل استخراج به کار می‌رود.

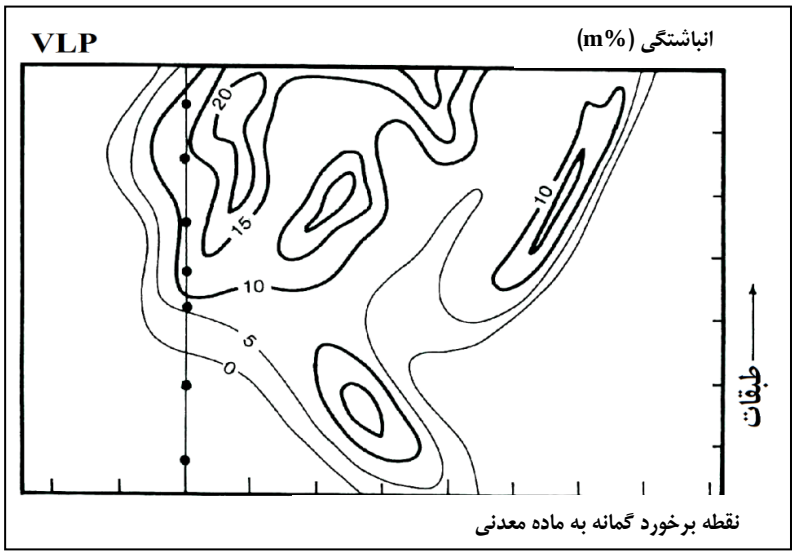
حفریات استخراجی: در نقشه‌های VLP می‌توان موقعیت تمام حفریات استخراجی از قبیل چاه‌ها، تونل‌های باربری، میان‌برها، کارگاه‌های استخراج و محل‌های استخراج شده را به تصویر درآورد. به کمک این اطلاعات می‌توان حفریات استخراجی جدید را راهنمایی و کنترل کرد. در شکل ۴-۶ نمونه‌ای از چنین نقشه‌هایی نشان داده شده است.

در شکل ۴-۷ نیز محل‌های استخراج شده در یک معدن سرب نقره‌دار نشان داده شده است.

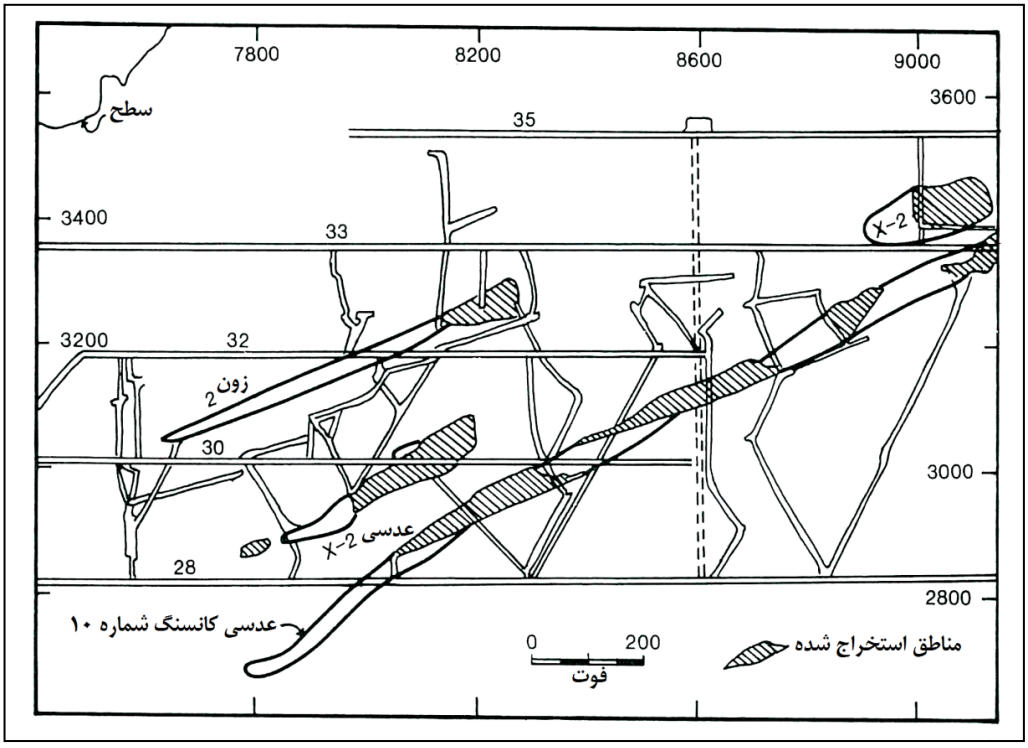
گمانه‌های اکتشافی: موقعیت دهانه، انتهای گمانه و نیز منطقه میانی مغزه ماده معدنی را می‌توان در نقشه‌های VLP تصویر کرد.



شکل ۴-۴- اطلاعات تصویر شده بر روی یک نقشه *VLP*



شکل ۴-۵- نمونه‌ای از نقشه‌های *VLP* که در آن منحنی‌های هم انباشتگی رسم شده است.



شکل ۴-۶- یک نقشه VLP که در آن حفریات استخراجی به تصویر در آمده است. در این مورد، به علت متغیر بودن امتداد عدسی‌های ماده معدنی، امتداد تمام عدسی‌ها موازی نقشه نیست.

ذخیره ماده معدنی: به کمک این نقشه‌ها می‌توان محدوده ذخیره ماده معدنی و نیز مرز رده‌های مختلف آن را به تصویر کشید.

گسل‌ها و سایر ساختارهای زمین‌شناسی: در مواردی که گسل یا سطح محوری چین توده معدنی را قطع می‌کند، موقعیت محل تقاطع را می‌توان در نقشه‌های *VLP* نشان داد و به کمک آن، به یک تصویر کلی از وضعیت ساختاری محدوده ماده معدنی دست یافت.

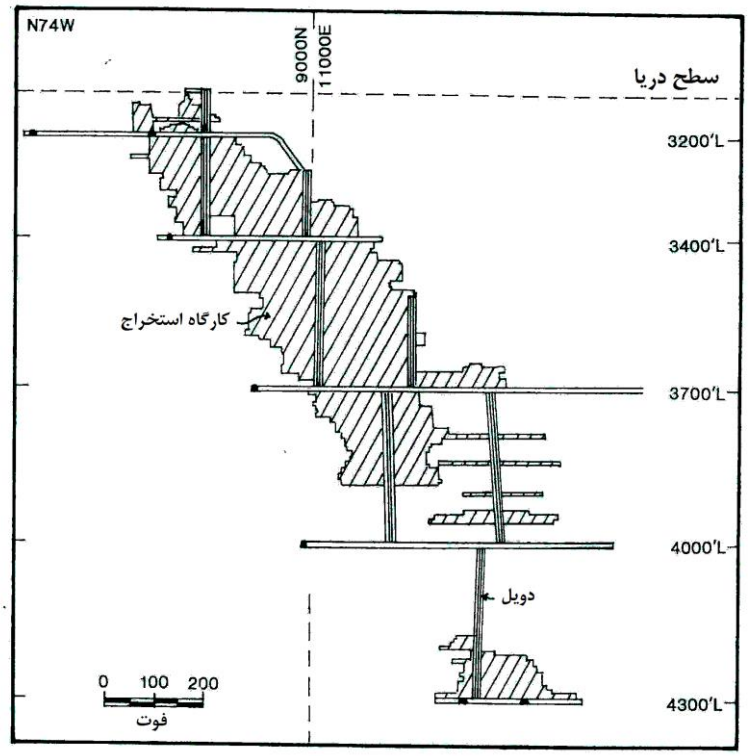
کانی‌سازی: تغییرات در نحوه تجمع کانی‌ها را می‌توان در نقشه‌های VLP به تصویر کشید و به کمک آن به وجود زون‌بندی نظام‌دار احتمالی پی برد (شکل ۴-۸). همچنین می‌توان ارتباط این زون‌بندی‌ها را (در صورت وجود) با سایر پدیده‌های زمین‌شناختی که در نقشه تصویر شده‌اند، مشخص ساخت. عمق نفوذ فروشویی، نواحی اکسیداسیون و سوپرژن، پهنه‌های دگرسانی حاوی کانی‌سازی افشان و کم عیار و مرز آن‌ها با توده سنگ یا سنگ میزبان فاقد کانی‌سازی نیز در این نقشه‌ها نشان داده می‌شود.

۴-۲-۵- منحنی‌های تراز ساختاری

منحنی‌های تراز ساختاری برای نمایش وضعیت سه بعدی توده ماده معدنی به کار می‌روند و بسته به مورد، در صفحات افقی و یا قائم به نمایش درمی‌آیند:

الف- تصویر در صفحه افقی

با مشخص بودن محل تقاطع کمربالا یا کمرپایین توده معدنی در گمانه‌های اکتشافی و یا حفریات اکتشافی و استخراجی می‌توان منحنی‌های تراز ساختاری این سطوح را رسم کرد. ارتفاع منحنی‌های تراز ساختاری نسبت به سطح دریا و یا عمق نسبت به دهانه چاه معادن بیان می‌شود. پس از آنکه به تعداد کافی داده به دست آمد، این منحنی‌ها را با فاصله مناسب رسم می‌کنند. نمونه‌ای از این منحنی‌ها در شکل ۴-۹ نشان داده شده است. به طوری که دیده می‌شود، در این نقشه علاوه بر منحنی‌های تراز ساختاری کمرپایین ماده معدنی، منحنی‌های تراز ساختاری گسلی که آن را قطع کرده نیز رسم شده است. اگر نقاط تلاقی منحنی‌های تراز هم ارتفاع گسل و ماده معدنی را به هم وصل شود، محدوده ماده معدنی که به وسیله گسل قطع شده است، به دست می‌آید. نظیر چنین منحنی‌هایی را می‌توان برای نمایش چین‌ها، دایک‌ها و سایر توده‌های نفوذی، به کار برد. از جمله مهم‌ترین کاربردهای این نقشه‌ها، استفاده از آن‌ها به عنوان راهنما در مرحله استخراج است، زیرا به کمک آن‌ها می‌توان پیشاپیش، محدوده‌ای از ماده معدنی را که به وسیله گسل قطع شده است مشخص ساخت. از آنجا که می‌توان میزان لغزش و جدایش گسل‌ها را نیز تعیین کرد، بنابراین می‌توان حفریات استخراجی را به منظور دستیابی به بخشی از ماده معدنی که به وسیله گسل جابه‌جا شده است، هدایت کرد.

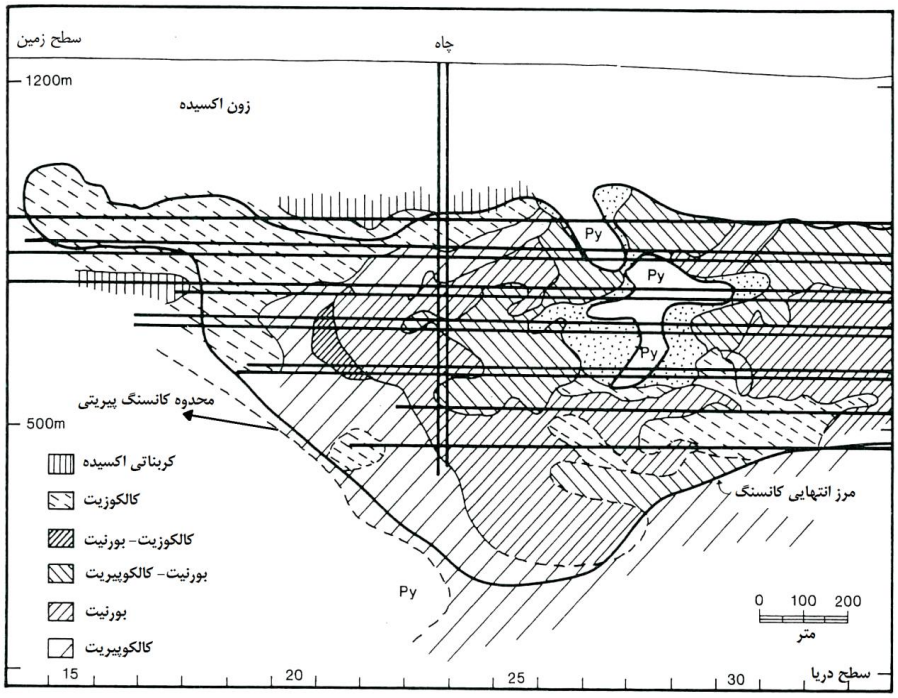


شکل ۴-۷- نمایش قسمت‌های استخراج شده در یک معدن سرب نقره‌دار که در نقشه *VLP* به تصویر درآمده است.

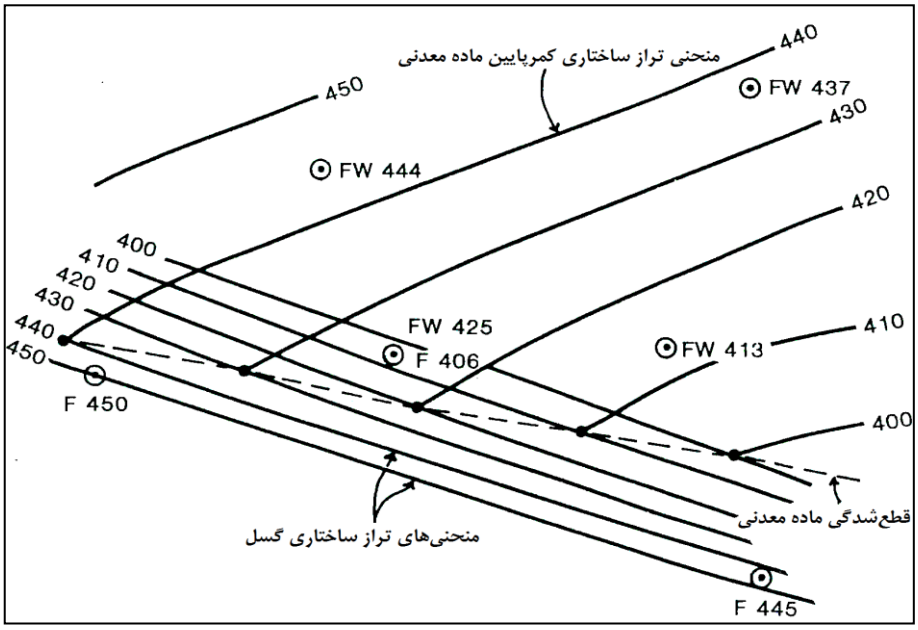
ب- تصویر در صفحه قائم

اگر توده معدنی پرشیب باشد، نقشه‌های تراز ساختاری که در صفحه قائم رسم شده باشند، دید بهتری از وضعیت فضایی ماده معدنی را به دست می‌دهند. در شکل ۴-۱۰، مقطع یک توده معدنی در صفحه قائم نشان داده شده است. مطابق شکل، اگر خطوطی با ارتفاعات مختلف نسبت به سطح مبنای دلخواه (مثلا سطح زمین) رسم شود، ماده معدنی را در نقاطی قطع می‌کند. با اندازه‌گیری فواصل D_1، D_2 و .... و D_n در این مقطع، موقعیت یک نقطه از منحنی تراز ساختاری کمرپایین ماده معدنی در ارتفاعات مختلف به دست می‌آید. اگر این وضعیت در مورد سایر مقاطع قائم تکرار شود، برای منحنی‌های مختلف به تعداد کافی نقطه به دست می‌آید که از وصل کردن آن‌ها به هم، منحنی‌های تراز ساختاری حاصل می‌شود.

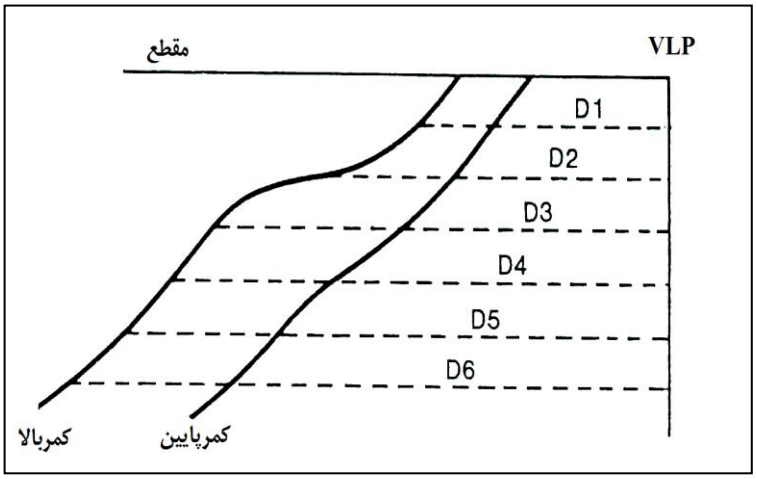
در مواردی که ضخامت ماده معدنی و در نتیجه فاصله کمربالا و کمرپایین آن‌ها خیلی متغیر باشد، باید منحنی‌های ساختاری کمربالا و کمرپایین به طور جداگانه رسم شود.



شکل ۴-۸- نمایش زون‌بندی سولفید در یک معدن مس در نقشه VLP



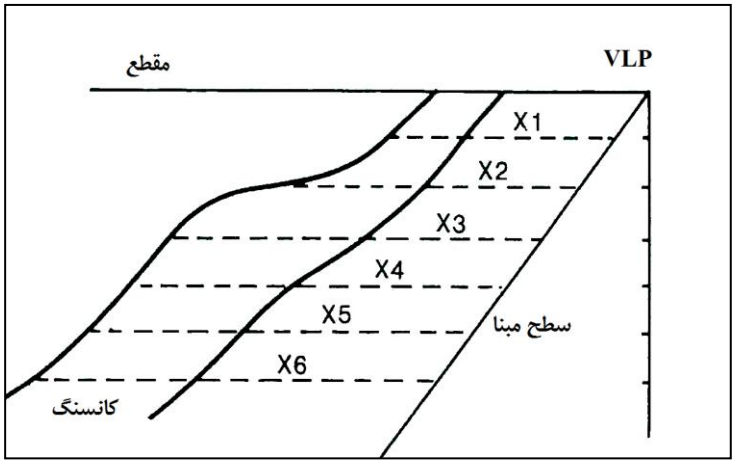
شکل ۴-۹- منحنی‌های تراز ساختاری کمرپایین یک توده معدنی همراه با منحنی‌های گسلی که آن را قطع کرده است.



شکل ۴-۱۰- رسم منحنی‌های تراز ساختاری در صفحه قائم

۴-۲-۶- نمودارهای کونولی[1]

با استفاده از نمودارهای موسوم به کونولی، تغییرات ریخت‌شناسی توده معدنی نسبت به عمق را به نحو بهتری می‌توان به تصویر درآورد. در این نمودارها، فواصل افقی کمربالا یا کمرپایین ماده معدنی در ارتفاعات مختلف نسبت به یک سطح مبنای مورب، در صفحه تصویر قائم نمایش داده می‌شود (شکل ۴-۱۱).



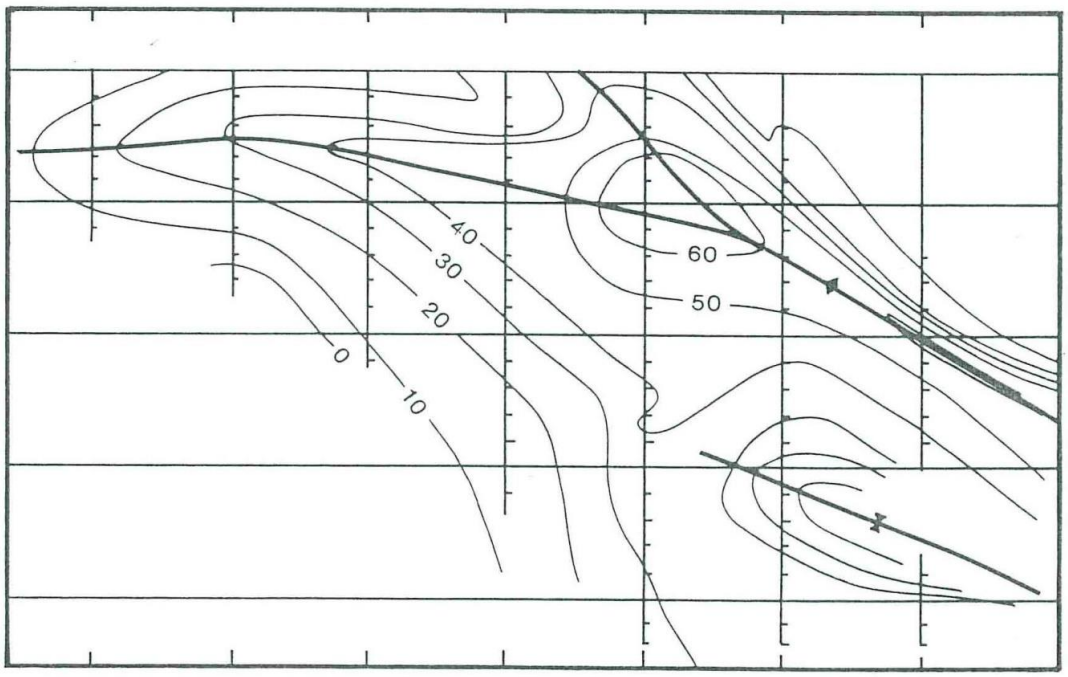
شکل ٤-۱۱- نمودارهای کونولی

الف- روش رسم نمودارهای کونولی

برای رسم نمودارهای کونولی، ابتدا باید میانگین شیب توده معدنی را در هر مقطع محاسبه و در آن، شیب کلی توده را تعیین کرد. در مرحله بعد، در هر مقطع یک سطح مبنا با شیب کلی توده معدنی، در کمرپایین آن رسم می‌شود. سطح مبنای یاد شده باید سطح تصویر قائم را در ارتفاع دهانه چاه اصلی معدن قطع کند. سپس فاصله افقی سطح مبنا تا کمرپایین یا کمربالای توده معدنی در افق‌های مختلف اندازه‌گیری می‌شود (X_1، X_2 و... و X_n در شکل ۴-۱۱). این مراحل

1- Connolly diagrams

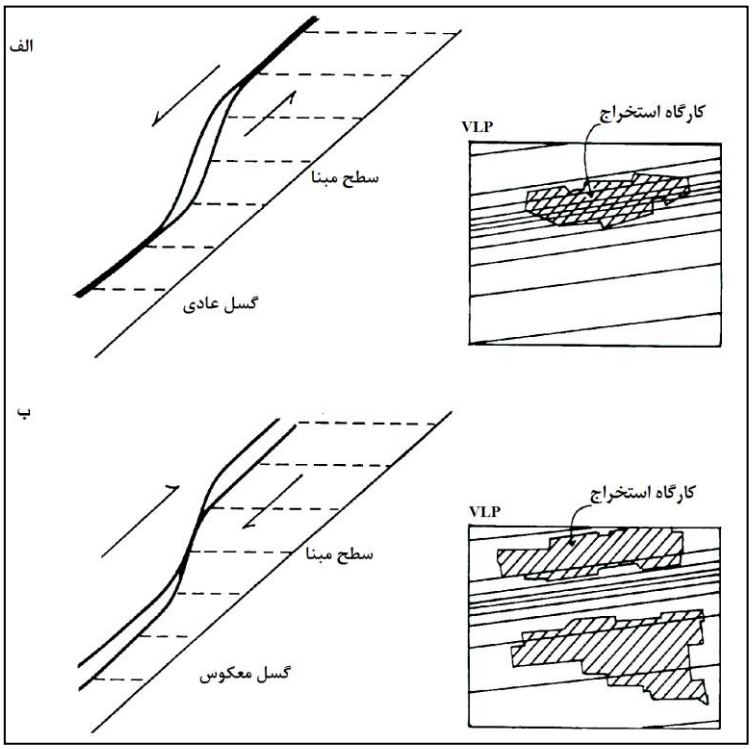
برای مناطق مختلف تکرار می‌شود و از وصل کردن نقاط هم ارتفاع، منحنی‌های تراز ساختاری حاصل می‌شود. در شکل ۴-۱۲ نمونه‌ای از این نمودارها که برای کمربالای یک توده معدنی رسم شده، نشان داده شده است. به طوری که دیده می‌شود، این منحنی‌ها نشانگر وجود یک چین از یک سو متمایل به سمت شرق است.



شکل ۴-۱۲- مثالی از نمودارهای کونولی که در مورد کمربالای یک توده معدنی رسم شده و ساختار یک چین با محور متمایل به شرق را نشان می‌دهد. منحنی‌های تراز، نشانگر فاصله کمربالای توده نسبت به سطح مبنای با شیب ۵۲ درجه‌اند.

ب- موارد کاربرد

نمودارهای کونولی علاوه بر آنکه ریخت‌شناسی توده معدنی را به خوبی نشان می‌دهند، برای بررسی وضعیت رگه‌هایی که به وسیله گسل جابه‌جا شده‌اند نیز به کار می‌روند. تغییر ناگهانی در شیب شکستگی‌های اطراف توده ممکن است با نازک شدن و یا وسیع شدن ناحیه کانی‌دار همراه باشد. بنابراین مقایسه عیار یا ضخامت ماده معدنی در رگه با وضعیت منحنی‌های تراز در نمودار کونولی، ممکن است در تعبیر و تفسیر ماهیت ساختارهای منطقه مفید واقع شود. به عنوان مثال در شکل ۴-۱۳-الف، نقش یک گسل رانده در تغییر ضخامت رگه دیده می‌شود. در این شکل، بخش ضخیم شده رگه، مترادف با منطقه‌ای است که در آنجا فاصله تا سطح مبنا به طور ناگهانی افزایش یافته است. بنابراین در تصویر قائم، منحنی‌های تراز به هم نزدیک‌تر می‌شوند که این پدیده نشانگر قسمت‌های استخراج شده و یا قسمت‌های قابل توجه ماده معدنی است. از سوی دیگر، در شکل ۴-۱۳-ب گسل قطع‌کننده ماده معدنی از نوع رانده است و تغییر ناگهانی در فواصل منحنی‌های تراز، مترادف با بخش نازک شده ماده معدنی است. بنابراین در این مورد، بخش قابل توجه و غنی ماده معدنی در جایی است که منحنی‌های تراز از هم فاصله بیشتری دارند.



شکل ۴-۱۳- استفاده از نمودار کونولی برای ارزیابی کنترل‌کننده‌های ساختاری در یک رگه

۴-۳- برآورد و به روز کردن ذخیره قابل استخراج و عیار متوسط پهنه‌های استخراجی

اگر چه در مرحله طراحی معدن، ذخیره قابل استخراج کلی معدن با توجه به روش استخراج محاسبه می‌شود اما در حین استخراج نیز باید با توجه به اطلاعات حاصل از حفریات استخراجی، ذخیره قابل استخراج را به طور مداوم بازنگری و به روز کرد.

محاسبه ذخیره استخراج و عیار آن باید برای هر طبقه و هر کارگاه به طور جداگانه و با استفاده از تمام اطلاعات و از جمله اطلاعاتی که در مرحله احداث حفریات استخراجی حاصل می‌شوند، به طور مرتب محاسبه و بازنگری شود.

۴-۳-۱- نکات مهم در تعیین ذخیره و عیار قابل استخراج

به هنگام برآورد ذخیره قابل استخراج، موارد زیر باید مد نظر قرار گیرد:

الف- رقیق‌شدگی[1]

از آنجا که ضمن استخراج ماده معدنی، مقداری باطله به ویژه از سنگ‌های درونگیر ماده معدنی با آن مخلوط می‌شود، بنابراین عیار استخراجی همواره کمتر از عیار محاسبه شده در مرحله اکتشاف است و این کاهش عیار به نام رقیق‌شدگی نامیده می‌شود. رقیق‌شدگی ممکن است آگاهانه و عمدی و یا غیرقابل کنترل باشد.

1- Dilution

رقیق‌شدگی عمدی[1] هنگامی روی می‌دهد که به علت کم بودن ضخامت ماده معدنی، به ناچار بخشی از کمربالا یا کمرپایین ماده معدنی نیز استخراج شود تا ارتفاع کارگاه استخراج به حداقل لازم برسد.

رقیق‌شدگی غیرعمدی در اثر مخلوط شدن باطله با ماده معدنی به هنگام آتشباری و یا ریزش کمربالای سست در کارگاه استخراج روی می‌دهد که معمولا مقدار آن حدود ۱۰ درصد است، اما تا میزان ۴۰ درصد نیز گزارش شده است.

به هنگام محاسبه ذخیره قابل استخراج کارگاه، همواره باید ضریب رقیق‌شدگی[2] را منظور کرد. این ضریب از طریق مقایسه با کانسارهای مشابه و به کمک تجربه، انتخاب می‌شود.

برای اطلاعات بیشتر در مورد کنترل رقیق‌شدگی در معادن به نشریه در دست تدوین با عنوان "دستورالعمل کنترل رقیق‌شدگی در معادن" مراجعه شود.

ب- نسبت استخراج[3]

مقصود از نسبت استخراج، درصدی از ذخیره برجای ماده معدنی است که پس از بر جا گذاشتن ماده معدنی به منظور لنگه‌ها و پایه‌ها، باقی می‌ماند. واضح است که این نسبت، تابع روش استخراج انتخابی است. به عنوان مثال، نسبت استخراج در یک معدن که به روش اتاق و پایه استخراج می‌شود ۸۰ تا ۸۵ درصد است. همچنین در بعضی از معادن زغال‌سنگ، به علت انعطاف‌ناپذیری روش استخراج جبهه‌کار بلند و نیز وجود گسل‌های متعدد، نسبت استخراج کلی تا حد ۳۵ درصد کاهش یافته است.

۴-۳-۲- محاسبه ذخیره قابل استخراج و عیار متوسط پهنه‌های استخراجی بر اساس اطلاعات گمانه‌ها

در مورد قسمت‌هایی از معدن که فقط اطلاعات حاصل از گمانه‌های اکتشافی مرحله اکتشاف در دست است، عیار و ذخیره پهنه‌های استخراجی را می‌توان بر اساس اطلاعات این گمانه‌ها، محاسبه کرد. بدین منظور، با رسم خطوطی به فواصل مساوی از گمانه‌ها، پهنه قابل استخراج را با توجه به واحد استخراج گزینشی[4] (smu) به بلوک‌هایی تقسیم می‌کنند (نقاط $1N$ تا $8N$ در شکل ۴-۱۴).

به عنوان مثال، در شکل ۴-۱۴ یک پهنه استخراجی که به وسیله گمانه‌های اکتشافی یک تا ۵ اکتشاف شده نشان داده شده و مقادیر ضخامت ماده معدنی، عیار متوسط ماده معدنی در گمانه (با در نظر گرفتن طول مغزه‌ها به عنوان وزن آماری) و انباشتگی هر گمانه یعنی حاصل‌ضرب ضخامت ماده معدنی در عیار متوسط گمانه در شکل درج شده است. بدین منظور دستگاه مختصاتی مطابق شکل رسم می‌شود که در محور طول‌ها موقعیت گمانه‌ها (و نیز موقعیت نقطه وسط بین آن‌ها) و در محور قائم مقدار انباشتگی نقل شده و به کمک این داده‌ها، منحنی تغییرات عیار، ضخامت و

1-Intentional
2- Dilution factor
3- Extraction ratio
4-Slective mining units

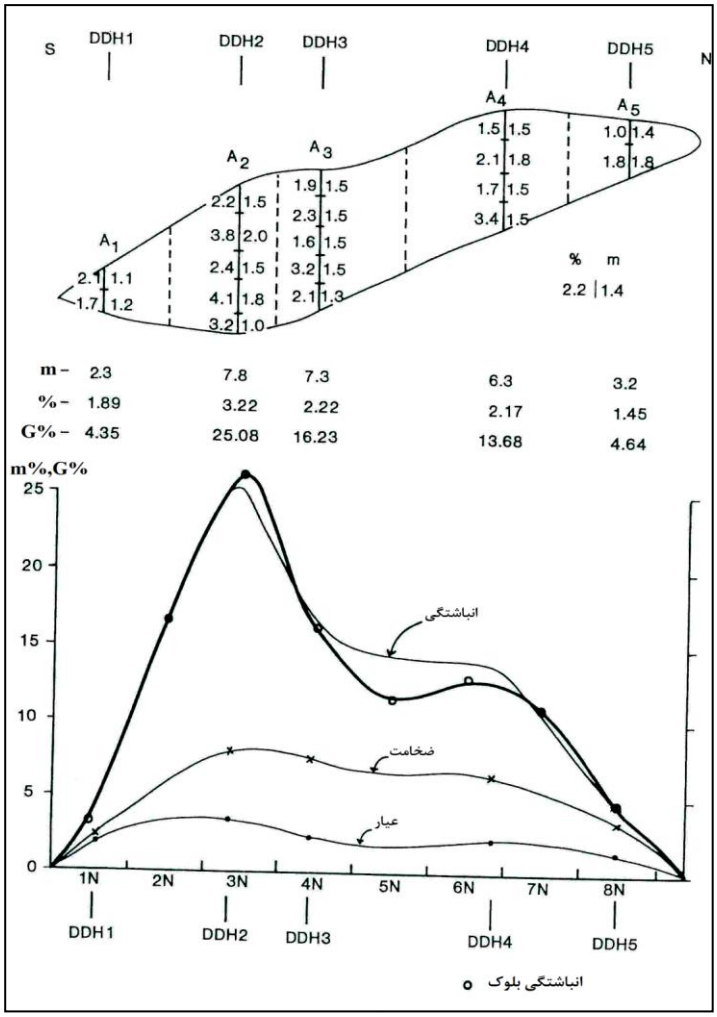
انباشتگی رسم شده است. پس از رسم این منحنی‌ها، عیار متوسط ماده معدنی در هریک از بلوک‌ها و نیز در کل پهنه استخراجی از رابطه ۴-۱ محاسبه می‌شود:

$$\text{عیار متوسط} = \frac{\text{مساحت زیر منحنی انباشتگی}}{\text{مساحت زیر منحنی ضخامت}} \qquad (۱-۴)$$

به عنوان مثال در شکل ۴-۱۴، عیار متوسط پهنه به شرح زیر به دست می‌آید:

$$\text{عیار متوسط پهنه} = \frac{۸۱۷}{۳۶۰/۵} = ۲/۲۷ \text{ درصد}$$

ذخیره هر بلوک نیز به روش مقاطع قائم محاسبه می‌شود.

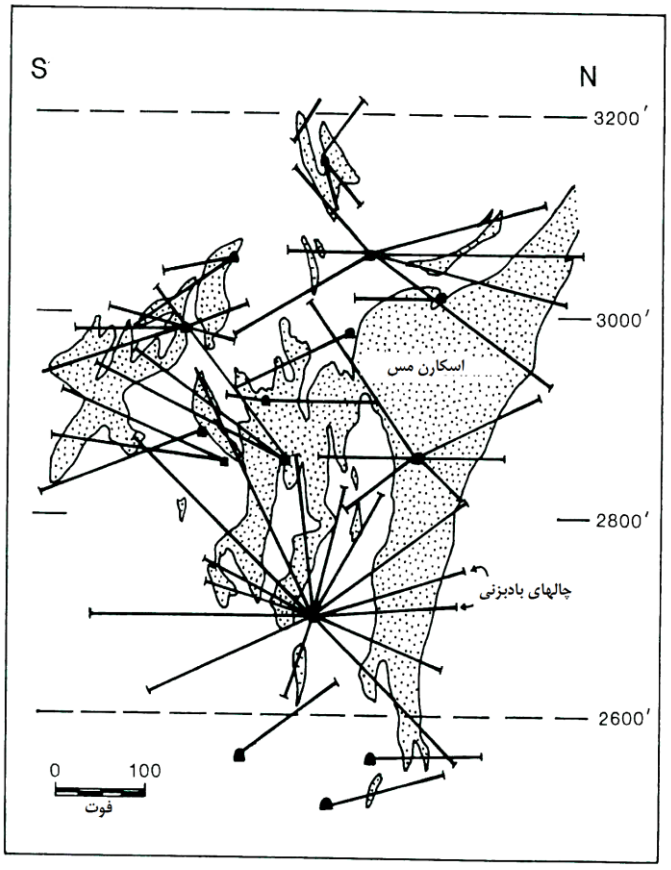


شکل ۴-۱۴- محاسبه ذخیره قابل استخراج به کمک گمانه‌های اکتشافی

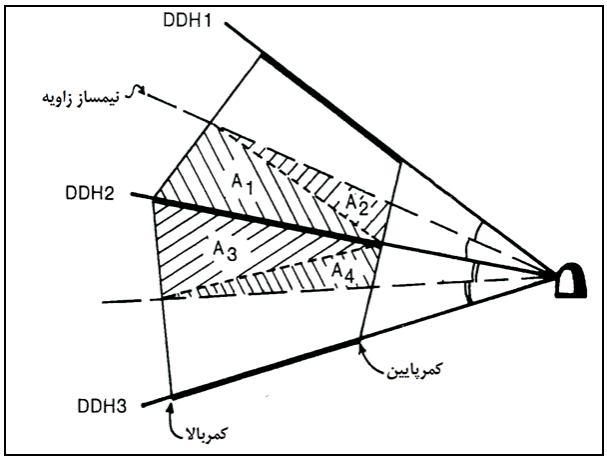
۴-۳-۳- محاسبه ذخیره و عیار متوسط پهنه‌های استخراجی بر اساس اطلاعات چال‌ها

در مواردی که از داخل حفریات آماده‌سازی استخراج چال‌هایی به قصد اکتشاف تکمیلی حفر شده باشد، بر اساس اطلاعات حاصل از آن‌ها می‌توان میزان ذخیره و عیار هر پهنه استخراجی را با دقت بالا محاسبه کرد. به عنوان مثال در شکل ۴-۱۵، یک معدن مس اسکارنی که با این روش تحت اکتشاف تکمیلی قرار گرفته، نشان داده شده است. در چنین مواردی با استفاده از ضخامت ماده معدنی در چال‌ها، می‌توان موقعیت کمربالا و کمرپایین ماده معدنی و در نتیجه مقطع دقیق را رسم و ذخیره آن را به روش مقاطع محاسبه کرد.

برای تعیین عیار متوسط پهنه، نیمساز زاویه بین هر دو چال مجاور را رسم می‌کنند. بدین ترتیب در اطراف هر چال بر اساس نیمسازهای طرفین و محدوده کمربالا و کمرپایین ماده معدنی، چند ضلعی‌هایی ایجاد می‌شود که عیار متوسط ماده معدنی در هر چال به این محدوده نسبت داده می‌شود (شکل ۴-۱۶). با در نظر گرفتن مساحت این چندضلعی به عنوان وزن آماری، عیار متوسط پهنه استخراجی محاسبه می‌شود.



شکل ۴-۱۵- چال‌های اکتشافی بادبزنی در یک معدن مس اسکارنی



شکل ۴-۱۶- تعیین عیار متوسط پهنه‌های استخراجی به کمک چال‌های بادبزنی

(A: بلوک‌های اکتشافی تکمیلی، DDH: چال)

مساحت چند ضلعی‌ها را می‌توان به کمک سطح‌سنج اندازه گرفت. همچنین می‌توان محدوده اطراف هر چال را به شکل‌های ساده هندسی تبدیل و مساحت هر یک از اشکال را با استفاده از روابط هندسی محاسبه کرد. به عنوان مثال در شکل ۴-۱۶، مساحت محدوده اطراف چال DDH_2 برابر است با:

$$A^{\bullet} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 \qquad (۳-۴)$$

مساحت هر مثلث نیز از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$A = \sqrt{P(P-a)(P-b)(P-c)} \qquad (۴-۴)$$

که در آن a، b و c اضلاع مثلث و P نصف محیط مثلث است:

$$P = \frac{1}{2}(a+b+c) \qquad (۵-۴)$$

پس از محاسبه مساحت محدوده اطراف هر چال، عیار متوسط ماده معدنی در پهنه مورد نظر از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{G} = \frac{\sum_{i}^{n} A^{\bullet}_{i} G_i}{\sum_{t}^{n} A^{\bullet}_{i}} \qquad (۶-۴)$$

۴-۳-۴- محاسبه ذخیره و عیار پهنه‌های در حال استخراج

در مواردی که پهنه در حال استخراج باشد، با استفاده توام از اطلاعات مرحله اکتشاف و داده‌های مرحله استخراج، می‌توان ذخیره و عیار متوسط پهنه در حال استخراج را با دقت تعیین کرد.

برای تشریح مطلب، معدن سرب و روی چینه‌کرانی[1] را که مطابق شکل ۴-۱۷ به روش آبشاری[2] در حال استخراج است در نظر می‌گیریم. مطابق شکل، به منظور استخراج پهنه بالایی، چال‌های بادبزنی حفر شده است. در شکل ۴-۱۸ نقشه یکی از کارگاه‌ها (تصویر دید از بالا) همراه با چهار مقطع اکتشافی مرحله اکتشاف P_1، P_2، P_3 و P_4 به فواصل ۱۵ متر از هم نشان داده شده است. این نقشه، به کمک اطلاعات اکتشافی و نیز اطلاعات حاصل از چال‌های بادبزنی، مرحله استخراج رسم شده است. بر اساس این اطلاعات می‌توان هر یک از مقاطع اکتشافی را با دقت رسم کرد و مساحت آن‌ها را به دست آورد. از حاصل‌ضرب این مساحت‌ها در فاصله بین دو مقطع متوالی، حجم ماده معدنی و از حاصل‌ضرب حجم در وزن مخصوص و عیار متوسط هر قسمت، ذخیره کارگاه استخراج محاسبه می‌شود.

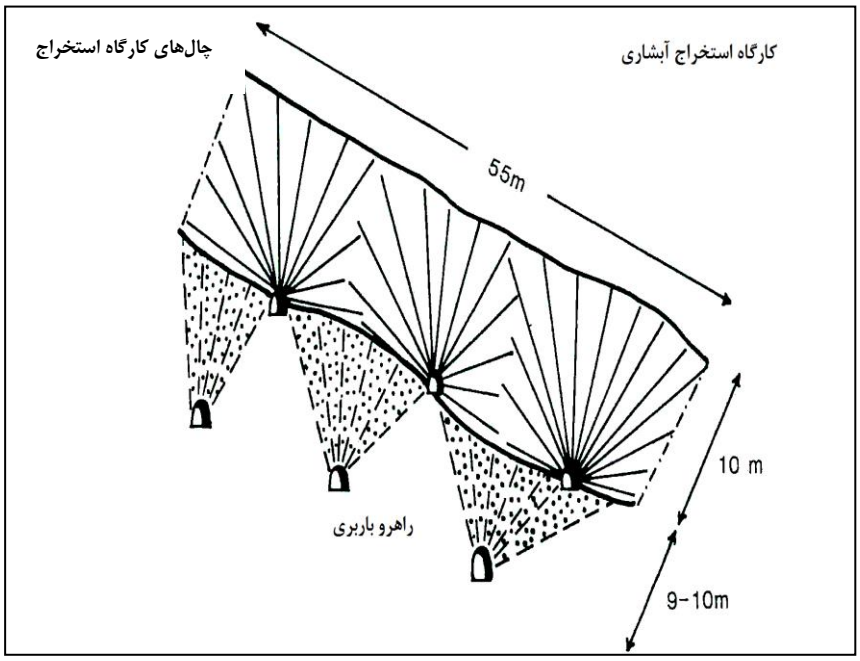
۴-۳-۵- محاسبه ذخیره به روش منحنی‌های تراز

این روش برای محاسبه ذخیره به روش دستی و در مواردی مناسب است که بر اساس داده‌های موجود بتوان یک روند فضایی را در مشخصات ماده معدنی تشخیص داد. بسته به مورد، این روش به دو شیوه مختلف انجام می‌گیرد که شرح آن در ادامه آمده است.

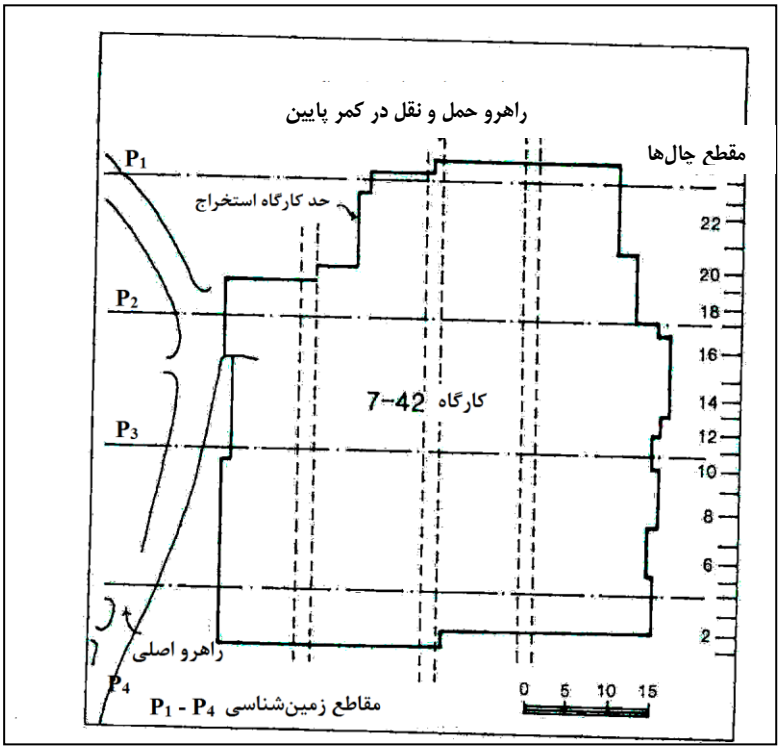
الف- شیوه برهم نهی شبکه[3]

در این روش، موقعیت محل برخورد گمانه‌ها به ماده معدنی، بسته به مورد، در تصویر افقی (نقشه) و یا تصویر قائم به تصویر کشیده شده و در محل تصویر آن‌ها، ضخامت، عیار و یا انباشتگی ماده معدنی نوشته می‌شود. سپس منحنی‌های تراز دو مشخصه از سه مشخصه ماده معدنی را رسم می‌کنند. محدوده ماده معدنی نیز بر اساس معیارهای انتخابی (عیار یا ضخامت حد) مشخص می‌شود. در مرحله بعد، شبکه مربعی شکلی در نقشه رسم می‌کنند که ابعاد آن متناسب با هدف مورد نظر باشد. به عنوان مثال در مورد محاسبه ذخیره استخراجی، ابعاد شبکه یاد شده باید با ابعاد قطعات استخراجی هماهنگی داشته باشد. بدین ترتیب ابعاد شبکه ممکن است بر اساس فاصله چال‌های آتشباری، ارتفاع طبقات فرعی و یا ارتفاع هر برش در روش استخراج کند و آکند[4] انتخاب شود.

1- Strata bound
2 - Cacade mining
3- Grid superimposition
4- Cut and fill



شکل ۴-۱۷- کارگاه استخراج یک معدن سرب و روی



شکل ۴-۱۸- نقشه یکی از کارگاه‌های استخراجی شکل ۴-۱۶

P_1، P_2، P_3، P_4 مقاطع زمین شناسی

در مرحله بعد، این کار را در مورد ضخامت افقی ماده معدنی و در تصویر قائم و با همان اندازه و محدوده بلوک‌ها تکرار می‌شود.

در مورد تمام بلوک‌های موجود در پهنه استخراجی مورد نظر، مقادیر تعیین شده (عیار، ضخامت و انباشتگی) با استفاده از درون‌یابی بین منحنی‌های تراز به مرکز هر بلوک نسبت داده می‌شود. در مورد بلوک‌هایی که در مرزهای گسترش ماده معدنی قرار دارند با توجه به فاصله آن از منحنی تراز مربوطه، مقداری تخمینی را برای آن‌ها در نظر می‌گیرند (شکل ۴-۱۹).

پس از آنکه مقادیر ضخامت، عیار و انباشتگی برای تمام بلوک‌های موجود در پهنه مشخص شد، عیار و حجم ماده معدنی را به شرح زیر محاسبه می‌کنند:

$$\bar{G} = \frac{\sum ma_{CB} + \sum (ma \times F)_{i_{CB}}}{\sum th_{CB} + \sum (th \times F)_{i_{CB}}} \qquad (۷-۴)$$

$$V = \left[\sum th_{CB} + \sum (th \times F)_{i_{CB}} \right] \times A_b \qquad (۸-۴)$$

که در آن:

$\bar{G}$ عیار متوسط بلوک

V حجم بلوک

CB بلوک‌های کامل

i_{CB} بلوک‌های ناکامل (بلوک‌های مرزی)

ma انباشتگی افقی

th ضخامت افقی

F درصدی از مشخصات ماده معدنی که به بلوک‌های مرزی نسبت داده می‌شود.

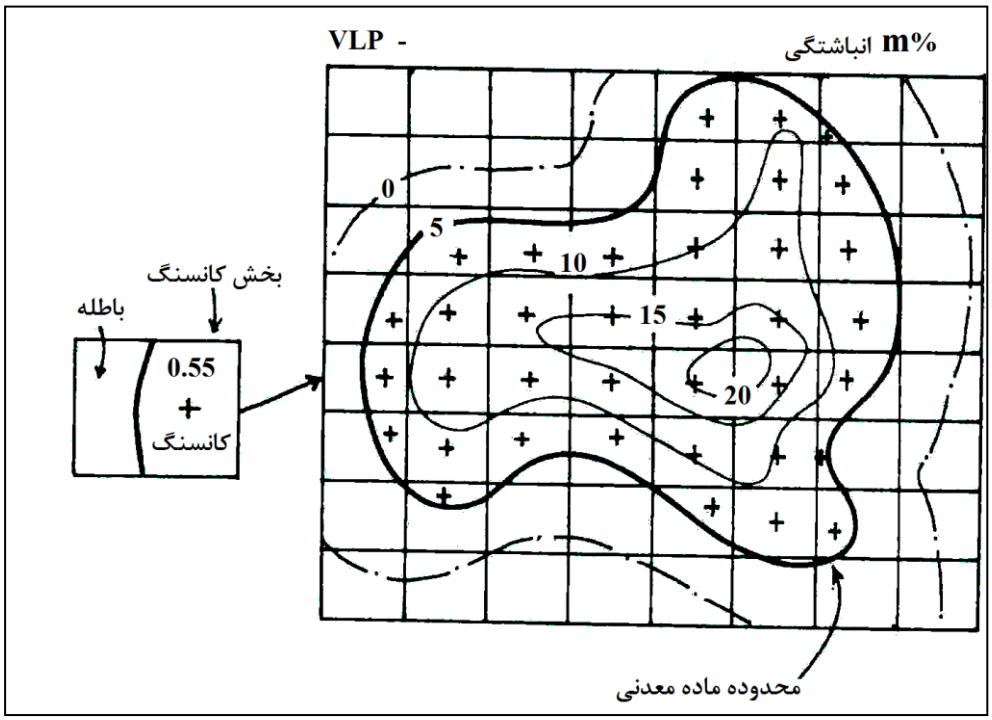
A_b مساحت بلوک‌ها

در مورد پله‌های یک معدن روباز که در آن‌ها ضخامت ماده معدنی ثابت و برابر ارتفاع پله است، عیار کلی پهنه استخراجی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\bar{G} = \frac{\sum G_{CB} + \sum (G \times F)_{i_{CB}}}{N_C + \sum F_{i_{CB}}} \qquad (۹-۴)$$

$$V = (N_C + \sum F_{i_{CB}}) \times A_b \qquad (۱۰-۴)$$

که در آن N_C نشانگر تعداد بلوک‌های کامل است و بقیه نمادها همان مفاهیم روابط ۴-۷ و ۴-۸ را دارند.



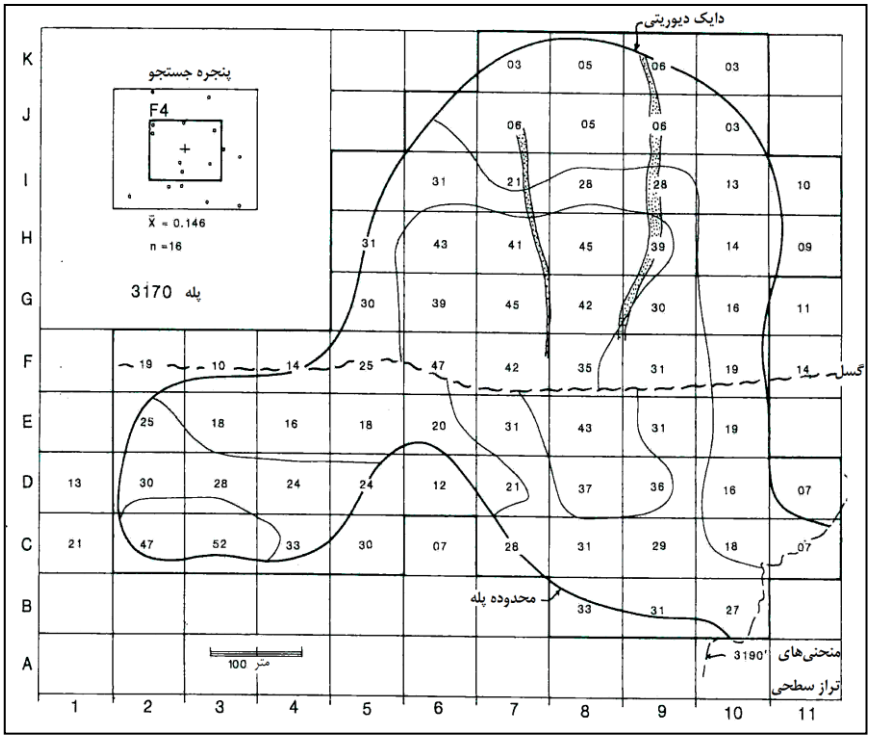
شکل ۴-۱۹- استفاده از شیوه برهم نهی برای محاسبه ذخیره پله‌های استخراجی معادن روباز. نماد+ نشانگر مرکز بلوک‌ها و یا مرکز ثقل ماده معدنی در بلوک‌ها است.

در شیوه پنجره متحرک، محدوده پله استخراجی مورد نظر را به بلوک‌هایی تقسیم کرده و در پی آن، یک پنجره مربع شکل که اضلاع آن دو برابر ابعاد بلوک‌ها باشد، انتخاب می‌کنند. این پنجره ممکن است به روش دستی و با استفاده از یک مقوای ضخیم و یا به کمک نرم‌افزارهای کامپیوتری ساخته شود. در روش دستی، پنجره، بلوک‌های کانسنگ و مراکز بلوک‌ها را بر روی یک کاغذ کالک پیاده می‌کنند (شکل ۴-۲۰). در حالت ایده‌آل، حداقل باید ۱۵ حلقه گمانه یا چال اکتشافی در مورد پله استخراجی مورد ارزیابی در دست باشد. برای شروع کار، پنجره مورد نظر را بر روی نقشه بلوک‌ها می‌لغزانند تا مرکز آن بر مرکز اولین بلوک منطبق شود. در این حالت، میانگین عیار یا ضخامت ماده معدنی در کلیه گمانه‌ها و چال‌هایی که در داخل پنجره قرار گرفته‌اند محاسبه شده و مقدار آن در مرکز بلوک نوشته می‌شود. محاسبه میانگین تابع مدل توزیع داده‌ها است و بنابراین بسته به مورد، از میانگین حسابی و یا لگاریتمی استفاده می‌شود. پس از تعیین مقدار مشخصه مورد نظر در بلوک اول، پنجره را حرکت می‌دهند تا مرکز آن بر مرکز بلوک بعدی قرار گیرد و این عمل در مورد تمام بلوک‌ها تکرار می‌شود.

با توجه به آنکه ابعاد پنجره دو برابر ابعاد بلوک‌ها است، بنابراین هر دو موقعیت متوالی پنجره، ۵۰ درصد هم پوشی خواهند داشت. هر چقدر ابعاد پنجره نسبت به ابعاد بلوک‌ها بزرگتر باشد، به همان نسبت میزان هموارسازی[1] داده‌های موجود بیشتر خواهد بود.

1- Smoothing

در شکل ۴-۲۰ نتیجه استفاده از پنجره در مورد بلوک‌هایی به ابعاد ۵۹٫۶×۸۱٫۳ متر نشان داده شده است و به عنوان مثال، جزییات بلوک F_4 در گوشه بالای شکل، دیده می‌شود. بر اساس داده‌های حاصل از این شیوه، می‌توان منحنی‌های هم عیار را مطابق شکل ۴-۲۰ رسم کرد. به طوری که دیده می‌شود، در این پله سه ناحیه جدا وجود دارد که در آن‌ها عیار مس بیش از عیار حد ۰٫۲۲ درصد است. پس از رسم منحنی‌های تراز عیار، ذخیره هر پله را می‌توان به روش منحنی‌های تراز محاسبه کرد.



شکل ۴-۲۰- استفاده از شیوه پنجره متحرک برای محاسبه ذخیره پله‌های استخراجی یک معدن روباز مس

۴-۴- تهیه مدل بلوکی

برای تخمین ذخیره ماده معدنی باید فضای مورد تخمین را به بلوک‌های سه بعدی به شکل متوازی‌السطوح تقسیم کرد. با این تمهید، حجم ماده معدنی در فضای تخمین به سهولت قابل محاسبه است. عیار این بلوک‌ها نیز با استفاده از داده‌های موجود به روش کریجینگ بلوکی تعیین می‌شود.

برای بلوک‌بندی محدوده تخمین از دو نوع بلوک استفاده می‌شود. بخش اصلی پیکره ماده معدنی را با بلوک‌های اصلی که ابعاد بزرگتری دارند، بلوک‌بندی می‌کنند اما قسمت‌های مرزی فضای تخمین را باید با استفاده از بلوک‌های کوچکتر موسوم به بلوک‌های فرعی بلوک‌بندی کرد. علت آن است که با استفاده از این بلوک‌های فرعی می‌توان مرز خارجی محدوده تخمین را با دقت بیشتری مدلسازی کرد.

۴-۴-۱- تعیین ابعاد بلوک‌های اصلی

انتخاب بلوک‌های بزرگ باعث بهبود نتایج و همچنین کاهش زمان محاسبات می‌شود. بلوک‌های کوچک نیز تحلیل دقیق‌تری از مرزهای کانسنگ و باطله ارایه می‌دهند و کنترل عیار و رقیق‌سازی را ساده‌تر می‌کنند، اما با توجه به هزینه‌های بیشتر استخراج این بلوک‌ها، توصیه می‌شود که حتی‌المقدر بلوک‌های با ابعاد بزرگ مورد استفاده قرار گیرد.

یکی از متداول‌ترین روش‌هایی که امروزه برای انتخاب ابعاد بلوک کاربرد دارد، روش لرچ و گروسمن است. در این روش ارتفاع بلوک بر اساس ارتفاع پله و دو بعد دیگر با استفاده از شیب پایدار سنگ و فاصله گمانه‌های اکتشافی تعیین می‌شود.

به عنوان یک قاعده سرانگشتی ابعاد افقی بلوک‌ها نباید از یک چهارم ابعاد شبکه حفاری کوچکتر باشد. در مورد بلوک‌هایی که ابعاد افقی آن‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای کوچکتر از این فاصله باشد، برآوردها دقت کافی ندارند و بر مبنای آن‌ها نمی‌توان یک مدل مطمئن عیار یا درآمد را برای طراحی کاواک[1] بهینه ارایه داد.

قانون سرانگشتی $\frac{۱}{۴}$ فاصله نمونه‌برداری برای ابعاد بلوک، زمانی صحت دارد که شعاع تاثیر تغییرنما (واریوگرام)[2] تقریبا ۱۰ برابر ابعاد بلوک باشد.

طبق یک قاعده کلی، ابعاد بلوک‌ها با افزایش اثر قطعه‌ای تغییرنما، افزایش می‌یابد و انتخاب ابعاد بلوک‌ها در اندازه کمتر از نصف فاصله شبکه حفاری توصیه نمی‌شود. ابعاد بلوک‌ها باید با توجه به شرایط زیر انتخاب شود:

- گسترش ماده معدنی در بخش‌های مختلف که بر اساس ساختار کانسار مشخص شده است. به عنوان مثال اگر ذخیره معدنی به صورت همسانگرد گسترش یافته باشد، بلوک‌ها را می‌توان مکعبی انتخاب کرد.

- شرایط طراحی معدن و بلوک‌های استخراجی که در مرحله طراحی با توجه به تجهیزات و دستگاه‌های مختلف موجود در نظر گرفته می‌شود. اهمیت این عامل بعد از هندسه ذخیره است.

- قبل از انتخاب بعد قائم بلوک‌ها، باید توزیع آماری دو جامعه مربوط به ضخامت قائم کانسنگ و باطله را به دست آورد و بر اساس میانگین آن‌ها عددی را برای بعد قائم بلوک‌ها انتخاب کرد.

در جدول ۴-۳ ابعاد بلوک‌های اصلی در بعضی از معادن و کانسارهای ایران درج شده است.

1- Pit
2- Variogram

جدول ۴-۳- ابعاد بلوک‌های اصلی در چند معدن و کانسار ایران

ردیف	محل	ابعاد شبکه اکتشاف (متر)	ابعاد بلوک‌های اصلی (متر)
۱	معدن چادرملو	۱۰۰×۱۰۰	۲۵×۲۵×۱۵
۲	معدن گل‌گهر	۷۵×۷۵	۱۵×۱۵×۱۲
۳	معدن سونگون اهر	۱۰۰×۱۰۰	۲۵×۲۵×۱۲/۵
۴	زون۱ آنومالی اورانیم شماره ۳ ناریگان	۴۰×۴۰	۱۰×۱۰×۱
۵	آنومالی آهن ۱۲A در ایران مرکزی	۱۰۰×۱۰۰	۲۵×۲۵×۱۵

۴-۴-۲- تعیین ابعاد بلوک‌های فرعی

در مرزهای فضای تخمین باید از بلوک‌هایی با ابعاد کوچکتر استفاده کرد تا بتوان مرز بین کانسنگ و باطله را با جزییات بیشتر مشخص ساخت. معمولا این بلوک‌ها را از نظر حجمی بین $\frac{۱}{۱۰}$ تا $\frac{۱}{۱۰۰}$ بلوک‌های بخش داخلی کانسار در نظر می‌گیرند. با افزایش ابعاد بلوک‌ها، مقدار خطا کاهش می‌یابد، ولی به همان نسبت، جداسازی مرز دقیق کانسنگ از باطله، با دشواری مواجه می‌شود.

۴-۵- برنامه‌ریزی تولید به منظور کنترل عیار ماده معدنی

محموله‌های ماده معدنی را که از معدن استخراج و به کارخانه فرآوری حمل می‌شود، از کارگاه‌های مختلف استخراج می‌کنند. از آنجا که عیار ماده معدنی در کارگاه‌های مختلف و حتی در قسمت‌های مختلف یک کارگاه تغییر می‌کند، بنابراین اگر محصولات استخراجی کارگاه‌ها مستقیما به کارخانه ارسال شود، نوسانات عیار شدید خواهد بود که این امر، کارآیی کارخانه را کاهش می‌دهد.

یکی دیگر از مسایل مهم که باید مورد توجه قرار گیرد، توجه به این نکته است که داده‌های مرحله اکتشاف، ناشی از نمونه‌هایی است که عمدتا از گمانه‌ها و گاه از تونل‌های اکتشافی گرفته شده است و امکان دارد که مشخصات ماده معدنی که بر اساس این داده‌ها برآورد شده است با مشخصات واقعی محموله‌های استخراجی متفاوت باشد. مجموعه این نکات سبب می‌شود که در تمام مدت استخراج، باید با نمونه‌برداری از ماده معدنی در حال استخراج و مدلسازی رفتار آن، برنامه تولید را به گونه‌ای تنظیم کرد که محموله‌های ارسالی به کارخانه فرآوری، تا حد امکان در محدوده عیار از قبل تعیین شده باشد.

برای بررسی تغییرات عیار یک قطعه از معدن در داخل قطعه بزرگتر، از رابطه زمین آماری موسوم به واریانس پراکندگی[1] که بر اساس رابطه ۴-۱۱ تعریف می‌شود، استفاده می‌کنند.

$$\sigma^2(\frac{v}{V}) = \sigma^2(\frac{o}{V}) - \sigma^2(\frac{o}{v}) = \bar{\gamma}(V,V) - \bar{\gamma}(v,v) = F(V) - F(v) \qquad (۱۱-۴)$$

که در آن:

$\sigma^2(\frac{v}{V})$ واریانس قطعه v در داخل قطعه V

$\sigma^2(\frac{o}{V})$ واریانس قطعه V

$\sigma^2(\frac{o}{v})$ واریانس قطعه v

$\bar{\gamma}(v,v)$, $\bar{\gamma}(V,V)$ مقدار متوسط تغییرنما[2] در داخل قطعات V و v

$F(v), F(V)$ تابع کمکی[3] F در مورد قطعات V و v

به عنوان مثال موارد زیر را می‌توان به کمک رابطه ۴-۱۱ محاسبه کرد:

- تغییرات عیار کامیون‌هایی که از بخش آتشباری شده یک معدن روباز بارگیری و به کارخانه فرآوری حمل می‌شوند، نسبت به عیار بخش آتشباری شده

- تغییرات عیار بخش آتشباری شده یک معدن روباز نسبت به عیار کل معدن

- تغییرات عیار یکی از کارگاه‌های استخراج معدن زیرزمینی نسبت به کل محصول استخراجی در شیفت

تنها محاسبه‌ای که باید انجام گیرد، تعیین مقدار متوسط تغییرنما (واریوگرام) و یا توابع F است که بسته به مدل تغییرنما می‌توان مقدار آن را به کمک نمودار، جدول و یا نرم‌افزارهای کامپیوتری تعیین کرد.

مقدار تابع کمکی F در حالت دوبعدی و سه بعدی در مورد تغییرنمای کروی به ترتیب در شکل‌های ۴-۲۱ و ۴-۲۲ نشان داده شده است.

به عنوان مثال، عیار متوسط کانسنگ در یک کانسار مس پورفیری ۰/۶ درصد و واریانس نمونه‌هایی که از مغزه‌های ۱۲ متری حاصل شده $(\%)^2$ ۰/۲۵ است. تغییرنمای منطبق شده بر کانسار از نوع کروی با پارامترهای زیر است:

اثر قطعه‌ای $C_0=0.1(\%)^2$ آستانه $C=0.15(\%)^2$ شعاع تاثیر $a=200m$

کانسار همسانگرد است و هر بار قطعه‌ای به ابعاد ۱۲×۱۵×۱۵ متر آتشباری و به کارخانه فرآوری حمل می‌شود. بنابراین نوسانات عیار این قطعه‌ها در کل کانسار به روش زیر محاسبه می‌شود:

از آنجا که طول نمونه‌های مغزه‌ای همه جا مساوی و برابر ارتفاع قطعه است بنابراین مساله را می‌توان دو بعدی فرض کرد و توابع کمکی دو بعدی را به کار برد. رابطه ۴-۱۱ در این حالت به شکل زیر نوشته می‌شود:

1- Dispersion variance
2- Variogram
3- Auxiliary function

$$\sigma^2(15\times\frac{15}{D})=\sigma^2(\frac{o}{D})-\sigma^2(\frac{o}{(15\times15)})=F(D)-F(15\times15)$$

در این رابطه D نماد کل کانسار است.

واریانس نمونه‌های نقطه‌ای در کانسار برابر مجموع آستانه و اثر قطعه‌ای تغییرنما است:

$$\sigma^2(\frac{o}{D})=F(D)=C+C_0=0.15+0.10=0.25$$

برای تعیین واریانس قطعه‌های ۱۵×۱۵ متری در کانسار، ابتدا باید نسبت $\frac{L}{a}$ و $\frac{l}{a}$ محاسبه شود:

$$\frac{L}{a}=\frac{l}{a}=\frac{15}{40}=0.375$$

با مراجعه به نمودار ۴-۲۳ و با نقل مقدار ۰/ ۳۷۵ در محورهای $\frac{l}{a}$ و $\frac{L}{a}$، در محل تلاقی آن‌ها مقدار تابع F از طریق

درون‌یابی قرائت می‌شود که مقدار آن برابر ۰/۳ است. بنابراین:

$$\frac{F(l,l)-0.10}{0.15}=0.3$$

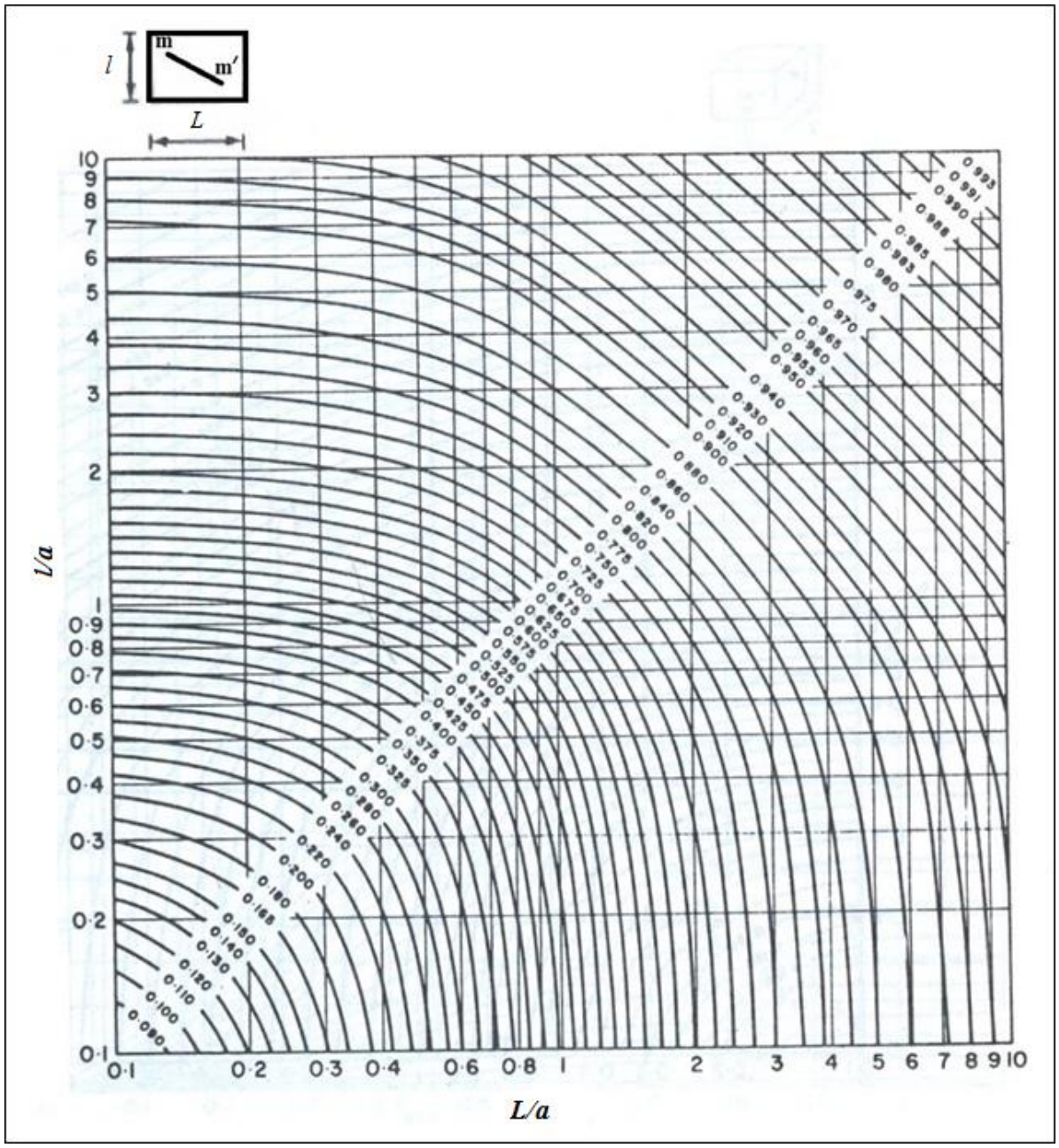
$$F(l,l)=\sigma^2(\frac{o}{(15\times15)})=0.3\times0.15+0.10=0.145$$

بنابراین واریانس قطعه‌های ۱۵×۱۵ متری در کل کانسار برابر ۰/۱۰۵ خواهد شد:

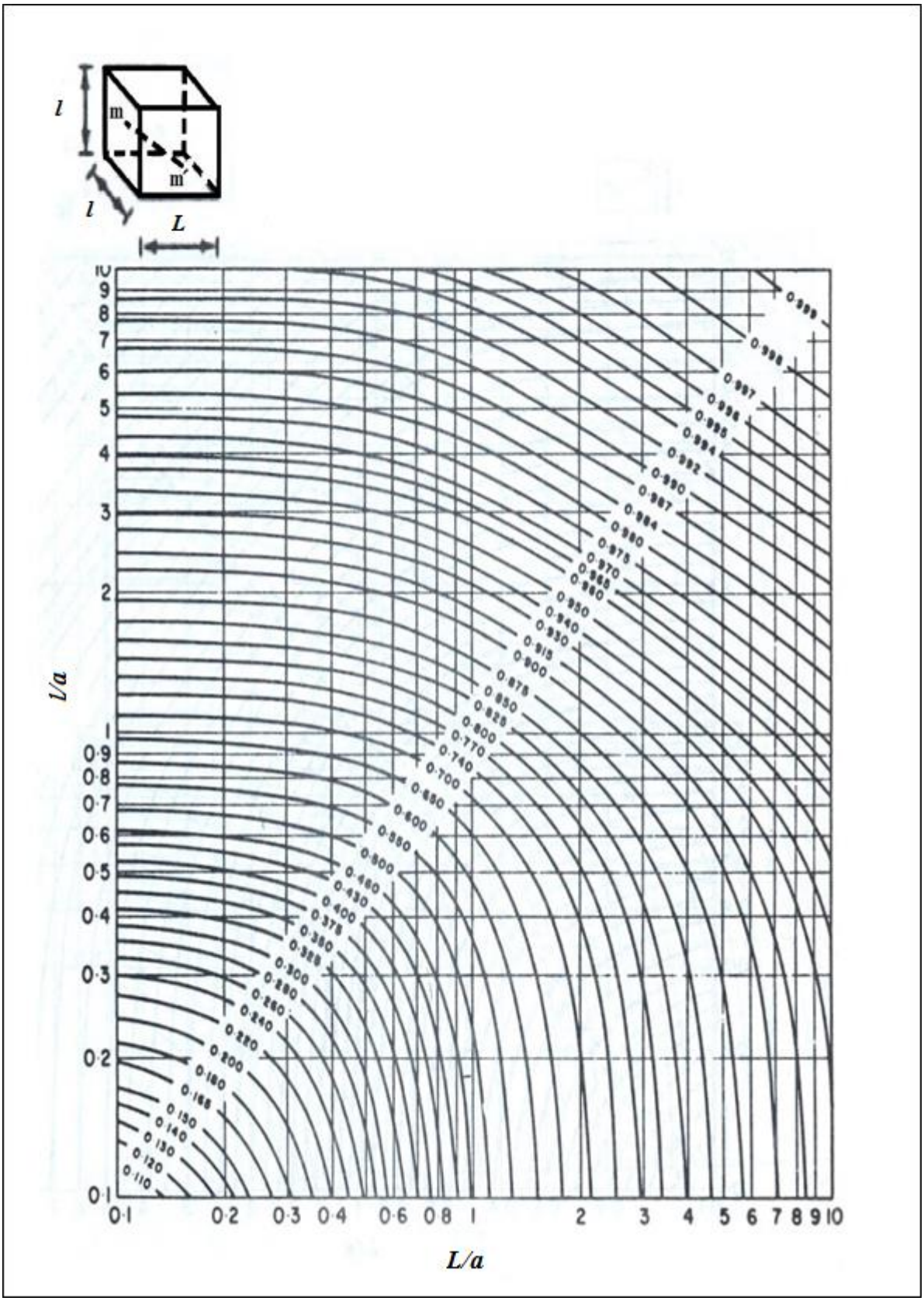
$$\sigma^2(15\times\frac{15}{D})=\sigma^2(\frac{o}{D})-\sigma^2(\frac{o}{(15\times15)})=0.25-0.145=0.105$$

با توجه به آنکه واریانس تغییرات عیار قطعات 15×15 متری در کل کانسار ۰/۱۰۵ است بنابراین انحراف استاندارد برابر ۰/۳۲۴ است که با در نظر گرفتن سطح اعتماد مهندسی معادل ۹۵ درصد، دو برابر آن ۰/۶۵ خواهد شد، بنابراین برای مثال مورد نظر با سطح اعتماد ۹۵درصد، میانگین عیار محموله‌های ارسالی از معدن به واحد فرآوری ۰/۶±۰/۶۵ درصد خواهد بود.

$\sigma = \sqrt{0.105} = 0.324 \qquad 2\sigma = 0.65$



شکل ۴-۲۱- مدل کروی، تابع $F(L,l)$. آنچه که از این نمودار قرائت می‌شود مقدار $\frac{F(L,l)-C_o}{C}$ است.



شکل ۴-۲۲- مدل کروی، تابع $F(L,l)$. آنچه که از این نمودار قرائت می‌شود مقدار $\frac{F(L,l)-C_o}{C}$ است.

به طوری که در این مثال دیده می‌شود، اگر محموله‌های استخراجی از معدن، مستقیما به کارخانه فرآوری ارسال شود، نوسانات عیار محموله‌ها زیاد است و ورودی کارخانه فرآوری متناسب با طراحی انجام شده نخواهد بود. در چنین مواردی به جای ارسال مستقیم محموله‌ها به کارخانه، باید آن‌ها را در محلی تلمبار کرد و پس از مخلوط‌سازی و در نتیجه همگن شدن، آن‌ها را به کارخانه فرستاد. نکته مهم در این موارد، آن است که ابعاد قطعه‌ای را که باید همگن‌سازی شود چگونه باید تعیین کرد، تا نوسانات عیار محموله‌ها در حد مجاز باشد. این وضعیت در واقع، عکس حالتی است که در مثال قبل بررسی شد. به عبارتی نوسانات عیار و در نتیجه واریانس مورد قبول معلوم است و باید ابعاد قطعه، متناسب با آن‌ها انتخاب شود. در ادامه روش کار طی مثالی تشریح شده است.

به عنوان مثال تغییرنمای یک معدن روباز مس از نوع کروی و مشخصات آن به شرح زیر است:

$$C = 0.35(\%)^2 \qquad C_0 = 0.15(\%)^2 \qquad a = 40m$$

اگر میانگین عیار مس در معدن ۱٫۲۵ درصد باشد، در هر نوبت چه قطعه‌ای از معدن را باید آتشباری و به کارخانه فرآوری حمل کرد تا با سطح اعتماد مهندسی ۹۵ درصد، عیار محموله‌های ارسالی بین یک تا ۱٫۵ درصد باشد.

از آنجا که نوسانات عیار محموله‌ها حول میانگین $\pm 2\sigma$ است، بنابراین اختلاف بین حداقل و حداکثر عیار مجاز 4σ خواهد بود:

$$4\sigma = 1.5 - 1 = 0.5(\%) \qquad \sigma = 0.125(\%) \qquad \sigma^2 = 0.01562(\%)^2$$

در اینجا رابطه ۴-۱۱ به شکل زیر نوشته می‌شود:

$$\sigma^2(l \times \frac{l}{D}) = \sigma^2(\frac{o}{D}) - \sigma^2(\frac{o}{(l \times l)}) = 0.01562(\%)^2$$

در این رابطه $\sigma^2(l \times \frac{l}{D})$ نماد واریانس قطعه‌های نامعین به طول l در کل کانسار، $\sigma^2(\frac{o}{D})$ واریانس کل کانسار و $\sigma^2(\frac{o}{(l \times l)})$ واریانس نمونه‌های نقطه‌ای در قطعه با ابعاد $l \times l$ و برابر $F(l,l)$ است.

$$\sigma^2(\frac{o}{D}) = C + C_0 = 0.5 \Rightarrow \sigma^2(\frac{o}{(l \times l)}) = F(l,l) = 0.5 - 0.0156 = 0.484(\%)^2$$

از آنجا که $F(l,l)$ نتیجه تصحیح شده قرائت از نمودار است بنابراین آنچه که از نمودار قرائت می‌شود خواهد شد:

$$\frac{F'(l,l) - C}{C} = \frac{0.484 - 0.15}{0.35} = 0.954$$

یعنی این مقدار باید از نمودار قرائت شود. با مراجعه به نمودار ۴-۲۴، با قرائت مقادیر منحنی‌ها، مشخص می‌شود که این عدد در محل تلاقی محورهای افقی و قائم نمودار به ازای $\frac{l}{a} = 3.5$ است بنابراین:

$$\frac{l}{a}=3.5 \qquad l=3.5a=3.5\times 40=140m$$

بنابراین، اگر در هر نوبت قطعه‌ای با ابعاد ۱۴۰×۱۴۰ متر آتشباری و پس از همگن‌سازی به کارخانه فرآوری حمل شود، نوسانات عیار محموله‌ها در حد مجاز خواهد بود.

۴-۶- برنامه‌ریزی مخلوط و همگن‌سازی محصولات استخراجی

در مواردی که ماده معدنی از چندین کارگاه مختلف اعم از معادن زیرزمینی یا روباز استخراج و یا در حالتی که ماده معدنی از چند معدن مختلف استخراج و به کارخانه فرآوری ارسال می‌شود، می‌توان برنامه‌ریزی تولید را به گونه‌ای طراحی کرد که عیار یا سایر مشخصات محموله‌های ارسالی، در حد مورد نظر بماند. در چنین مواردی، برنامه‌ریزی تولید در واقع نوعی بهینه‌سازی است که باید طی مراحل زیر انجام گیرد:

الف- تعیین تابع هدف که در بسیاری موارد به صورت حداقل عیار محموله ارسالی انتخاب می‌شود.

ب- تعیین شرایط محدودکننده که ممکن به صورت محدودیت تولید کارگاه‌های مختلف و یا هر نوع محدودیت دیگر باشد.

پ- نوشتن و حل معادلات و تعیین میزان استخراج و یا تولید کارگاه‌ها یا معدن مورد نظر

برای تشریح چگونگی برنامه‌ریزی تولید، مثالی در پیوست یک این نشریه ارایه شده است.

۴-۷- مدلسازی تغییرات عیار محصول استخراجی

پس از شروع عملیات استخراجی و دستیابی مستقیم به ماده معدنی و نمونه‌برداری و تجزیه آن، اطلاعات دقیقی از تغییرات کمی و کیفی ماده معدنی به دست می‌آید. از آنجا که آگاهی از تغییرات عیار در قسمت‌هایی از معدن که هنوز استخراج نشده است، اهمیت زیادی دارد بنابراین باید تغییرات عیار را مدلسازی کرد تا بر اساس آن، بتوان پیش‌بینی دقیقی در مورد کیفیت ماده معدنی در محموله‌های استخراجی انجام داد.

ابزار کلیدی در مدلسازی تغییرات عیار، در دست داشتن مدل تغییرنمای واقعی از عیار ماده معدنی است. اگر چه در مراحل مختلف اکتشاف، رفتار عیار ماده معدنی مدلسازی شده و بر اساس آن مدل تغییرنمای کانسار مشخص می‌شود اما از آنجا که در مرحله استخراج داده‌های بیشتر و دقیق‌تری در دست است، بنابراین باید با استفاده از تمام اطلاعات اکتشافی و استخراجی، تغییرنمای عیار ماده معدنی را اصلاح و به روز کرد. با توجه به آنکه اطلاعات جدیدی که از مواد معدنی استخراجی حاصل می‌شود ممکن است پارامترهای تغییرنمای برازش شده را تغییر دهند، بنابراین باید با توجه به پیشرفت عملیات استخراجی و دستیابی به داده‌های جدید، به طور مداوم مدل تغییرنما را اصلاح کرد. با در دست داشتن مدل تغییرنما می‌توان با استفاده از داده‌های موجود اعم از داده‌های اکتشافی و استخراجی، عیار بلوک‌های ماده معدنی را برآورد کرد.

به منظور برآورد عیار بلوک‌های برجای ماده معدنی روش‌های مختلفی وجود دارد که از جمله متداول‌ترین آن‌ها روش کریجینگ است. بدین منظور پس از مدلسازی تغییرنمای عیار و بهینه‌سازی و به روز کردن آن، عیار کلیه بلوک‌های ماده معدنی که قرار است طی بازه زمانی معین استخراج شوند، با استفاده از کریجینگ برآورد می‌شود و بدین ترتیب همواره می‌توان با سطح اعتماد مورد نظر تغییرات احتمالی عیار ماده معدنی را برآورد کرد.

فصل ۵

دستورالعمل تشخیص گسل‌ها و مشخصات آن‌ها در حفریات استخراجی

۵-۱- آشنایی

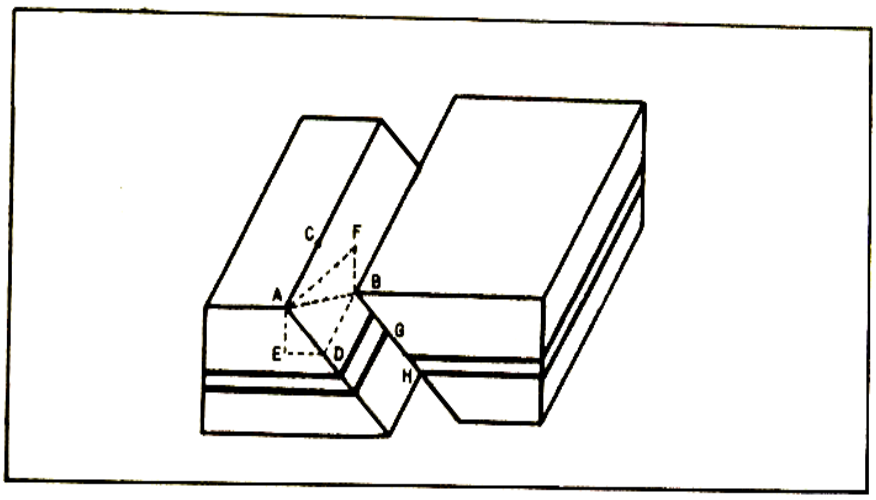
در بسیاری موارد، حفریات استخراجی به هنگام احداث با گسل‌هایی برخورد می‌کنند. اگر مشخصات گسل در مرحله اکتشاف به درستی تعیین شده باشد، در مرحله استخراج می‌توان موقعیت برخورد حفریه با گسل را با دقت تخمین زد و قبل از رسیدن به گسل، تمهیدات لازم را به کار برد. به عنوان مثال اگر تونل دنباله‌رو در داخل یک لایه یا رگه ماده معدنی حفر شود، با آگاهی از گسلی که در پیشاپیش تونل وجود دارد، می‌توان آن را به گونه‌ای منحرف کرد که پس از قطع ماده معدنی، بتوان به بخش جابه‌جا شده نیز دست یافت و حفاری را ادامه داد. بدیهی است در صورتی که موقعیت گسل از قبل تعیین نشده باشد، برخورد غیرمنتظره حفریه استخراجی و در پی آن قطع ناگهانی ماده معدنی، موجب توقف عملیات استخراجی خواهد شد که این امر هزینه‌های پیش‌بینی نشده‌ای را تحمیل می‌کند.

۵-۲- مسایل کلی مربوط به گسل‌ها در حفریات استخراجی

۵-۲-۱- تعاریف و مبانی

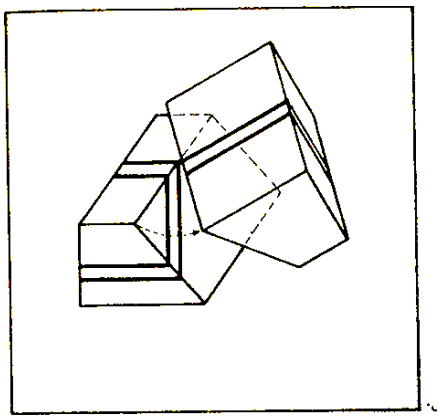
گسل‌ها را به روش‌های مختلف می‌توان طبقه‌بندی کرد. در مطالعات زمین‌شناسی گسل‌ها را بر مبنای منشا آن‌ها (راندگی، وزنی، و چرخه‌ای) تقسیم می‌کنند، اما از دیدگاه معدنی، ماهیت و جهت حرکت گسل اهمیت بیشتری دارد، زیرا در مسایل جاری، معمولا تعیین موقعیت نسبی طبقات یا رگه‌های قطع شده در دو سوی گسل مورد نظر است.

در حالت کلی، حرکت گسل ممکن است انتقالی (شکل ۵-۱) یا چرخشی (شکل ۵-۲) باشد. جهت حرکت گسل ممکن است موازی با امتداد آن (گسل امتداد- لغز، شکل ۵-۳)، در جهت شیب آن (گسل شیب- لغز، شکل ۵-۴) و یا نسبت به این دو امتداد مایل باشد (گسل اریب لغز شکل ۵-۲).

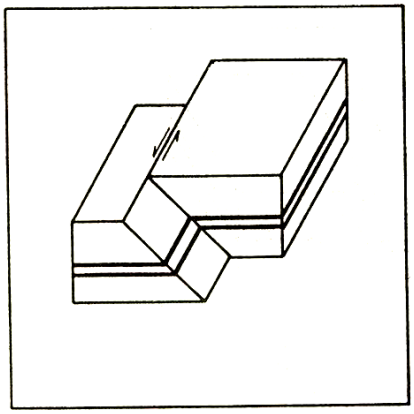


شکل ۵-۱- گسل با حرکت انتقالی و لغزش مایل

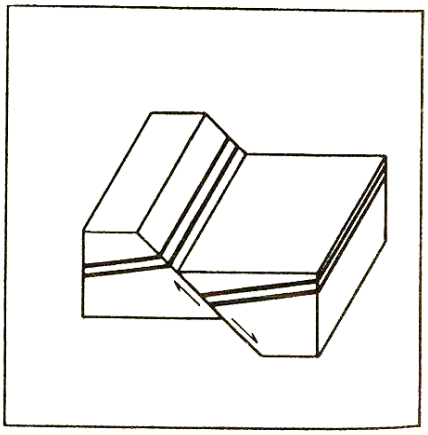
در این شکل AB لغزش کلی، AF مولفه افقی لغزش کلی، FB مولفه قائم لغزش کلی، AD لغزش شیبی، زاویه CAB زاویه انحراف که در صفحه گسل اندازه‌گیری می‌شود و زاویه FAB زاویه میل لغزش کلی است که آن را در صفحه قائم اندازه‌گیری می‌کنند.



شکل ۵-۲- گسل با حرکت چرخشی



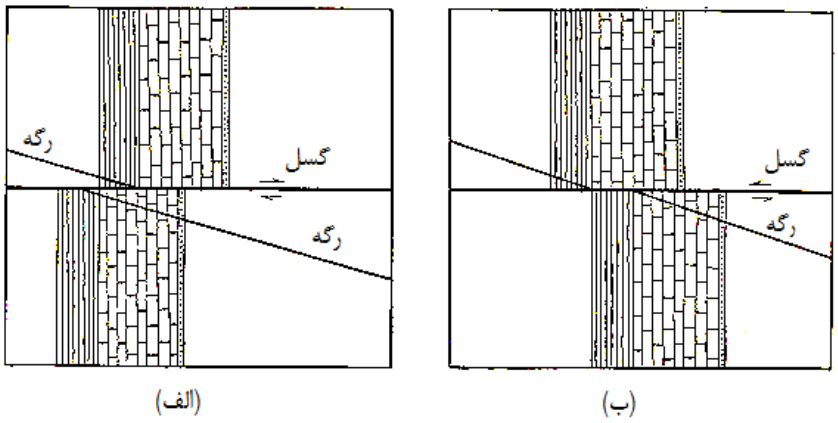
شکل ۵-۳- گسل امتداد لغز



شکل ۵-۴- گسل شیب لغز

۵-۲-۲- جابه‌جایی گسل[1]

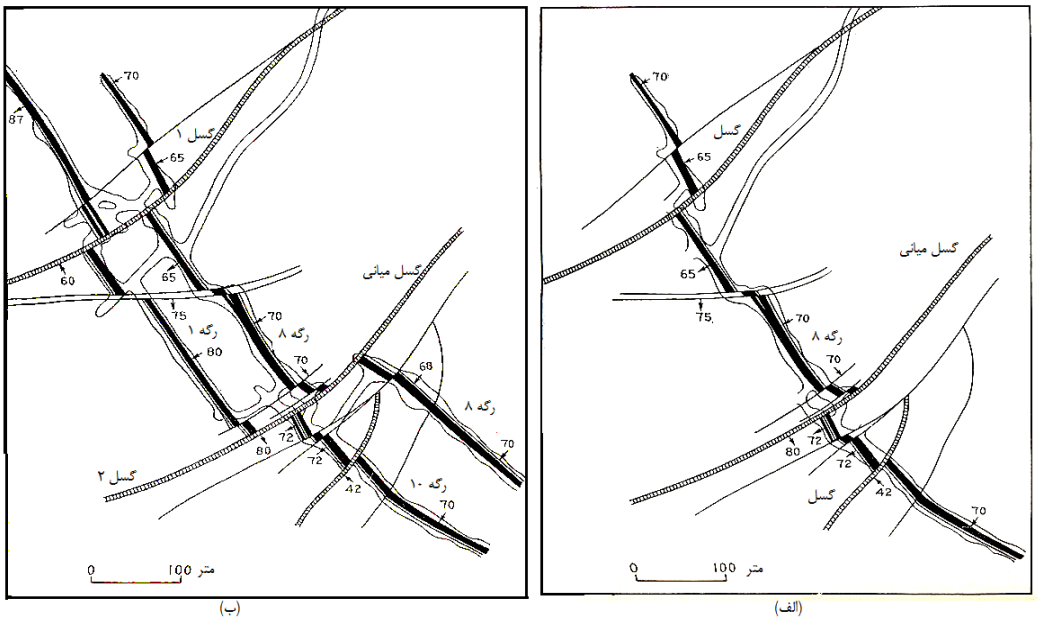
وضعیت رگه یا لایه‌ای که در افق‌های مختلف معدن به وسیله گسل قطع شده است، فقط تابع مشخصات گسل از قبیل شیب و لغزش کلی و مولفه‌های آن نیست بلکه تا حد زیادی به حالت رگه یا لایه نیز بستگی دارد. بدیهی است جابه‌جایی ظاهری که در نقشه یا مقطع دیده می‌شود، به جز در موارد خاص، جابه‌جایی واقعی نیست بلکه مولفه‌ای از جابه‌جایی است زیرا در حالت کلی، حرکت گسل به موازات شیب یا امتداد آن نیست و عموما مورب لغز است (شکل۵-۵).



شکل ۵-۵- مولفه افقی جابه‌جایی گسل در نقشه، الف- گسل راست‌بر، ب- گسل چپ‌بر

اگر مولفه اصلی جابه‌جایی در جهت شیب گسل باشد، در آن صورت بخش عمده‌ای از ماده معدنی که به وسیله گسل قطع شده ممکن است در بالا یا پایین افق استخراجی جابه‌جا شده باشد. در چنین مواردی باید انتظار داشت که بخش قطع شده ماده معدنی در افق بالاتر یا پایین‌تر دیده شود. در این گونه موارد بسته به مورد باید با حفر دویل[2] یا پایین رو[3]، ماده معدنی را به ترتیب در افق بالاتر یا پایین‌تر، جستجو کرد (شکل ۵-۷).

1- Fault displacement
2- Raise
3- Winze

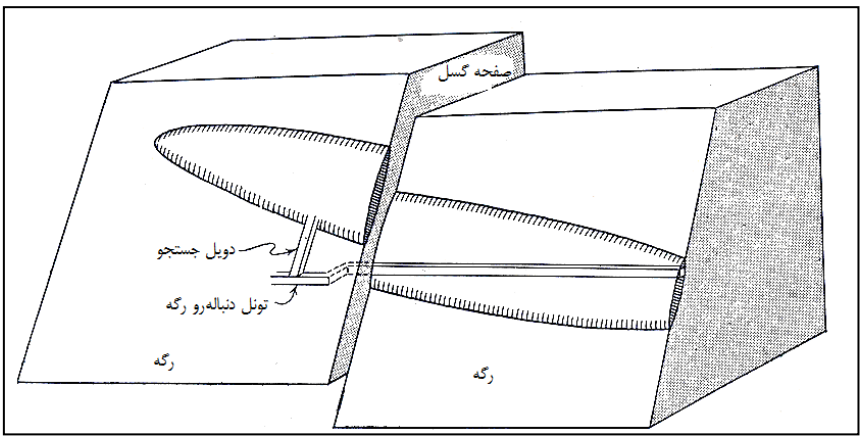


شکل ۵-۶- یافتن رگه جدیدی از ماده معدنی در اثر حفریات جستجوی گسل

الف- تغییر وضعیت ماده معدنی قبل از احداث حفریات جستجوی گسل

ب- کشف رگه جدیدتر از ماده معدنی پس از احداث حفریات جستجو

اگر جابه‌جایی واقعی گسل به درستی تعیین نشود، ممکن است بخشی از ماده معدنی که در آن سوی گسل یافت شده به غلط ادامه ماده معدنی در حال استخراج تلقی شود، حال آنکه امکان دارد، بخش جداگانه‌ای از ماده معدنی باشد. احداث حفریات برای جستجوی گسل، نه تنها سبب می‌شود که بتوان به بخش جابه‌جا شده ماده معدنی دست یافت، بلکه این حفریات ممکن است باعث یافتن رگه‌ها یا لایه‌های جدیدی شود که با حفریات اکتشافی مشخص نشده‌اند. به عنوان مثال در معدنی که در شکل ۵-۶-الف نشان داده شده است، در ابتدا تصور می‌شد که فقط یک رگه ماده معدنی وجود دارد اما با احداث حفریات جستجوی گسل، رگه جدیدی نیز پیدا شده است.



شکل ۵-۷- حفر دویل برای یافتن بخش قطع شده ماده معدنی به وسیله یک گسل پرشیب

۵-۳- راهنمای تعیین مشخصات گسل در حفریات استخراجی

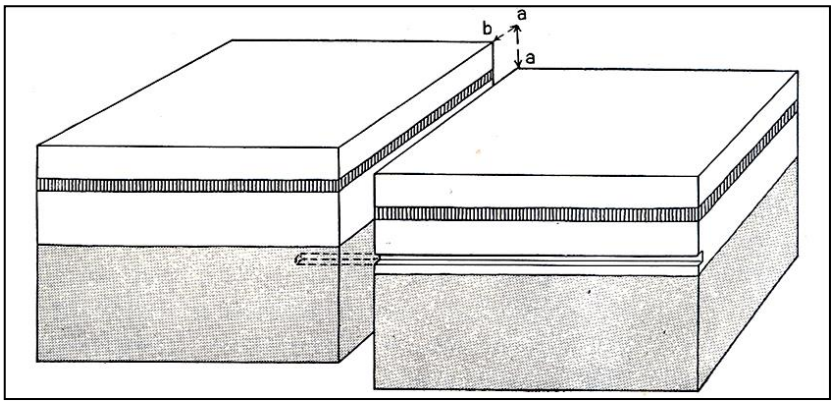
در بعضی موارد، به هنگام پیشروی حفریات استخراجی، با گسل‌هایی برخورد می‌شود که در گزارش‌های اکتشافی، هیچ اشاره‌ای به آن‌ها نشده است. در چنین مواردی می‌توان از شواهد و راهنماهای زیر برای تعیین مشخصات گسل استفاده کرد.

۵-۳-۱- اختلاف سنگ‌های دیواره‌ها

در بعضی موارد، با بررسی سنگ‌ها در دو سوی گسل، می‌توان به وضعیت گسل پی برد. به عنوان مثال اگر کمربالای یک رگه شیل و کمرپایین آن پورفیری باشد و تونل استخراجی در درون پورفیری به گسل برخورد کند در آن صورت باید با حفر میان بر در جهت کمربالای رگه، به رگه دست یافت. البته چنین وضعیتی در عمل نادر است زیرا تشخیص گسل در این موارد حتی به وسیله معدنچیان و بدون حضور زمین‌شناس استخراجی نیز قابل تشخیص است.

سنگ‌های اطراف ماده معدنی را نمی‌توان به سادگی از هم تشخیص داد و بنابراین باید از تمام اطلاعات ممکن از قبیل ویژگی‌های میکروسکوپی، مطالعات کانی‌های سنگین، وجود فسیل‌ها و آزمایش‌های شیمیایی کمک گرفت.

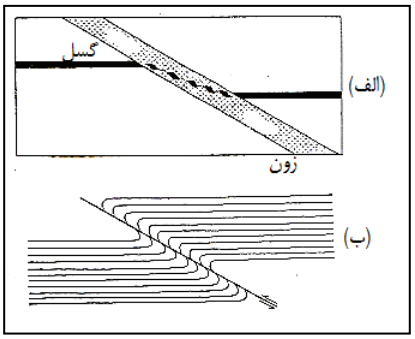
گاه ممکن است از ساخت سنگ‌ها استفاده کرد. به عنوان مثال اگر سنگ‌های درونگیر ماده معدنی طبقات افقی باشند و تونل پس از عبور از گسل، از طبقات با سن چینه‌شناسی بالاتر به طبقات پایین‌تر برسد، در آن صورت می‌توان مولفه قائم جابه‌جایی را با توجه به فاصله چینه‌شناسی طبقات بین دو سوی گسل، تعیین کرد، اگر چه در این حالت، مولفه افقی ناشناخته باقی می‌ماند (شکل ۵-۸).



شکل ۵-۸- تشخیص گسل و مولفه قائم جابه‌جایی آن در حالتی که تونل در دو سوی گسل، از طبقات با سن چینه‌شناسی مختلف عبور کند.

۵-۳-۲- کشیدگی کانسنگ[1] یا طبقات

در بعضی موارد، در محدوده زون گسلی، ماده معدنی و یا طبقات کشیدگی می‌یابند که با مشاهده آن‌ها در حفریات استخراجی می‌توان به وجود گسل پی‌برد (شکل ۵-۹).



شکل ۵-۹- تشخیص گسل در حفریات استخراجی با مشاهده کشیدگی طبقات

الف- کشیدگی و شکستگی ماده معدنی ب- کشیدگی و کج شدن طبقات در مجاورت گسل

۵-۳-۳- آینه گسل

وجود آینه گسل، از نشانه‌های کلاسیک تشخیص گسل است. با توجه به خطوط موجود در سطح آینه گسل، می‌توان به نحوه حرکت نسبی طبقات در دو سوی گسل پی‌برد. بدیهی است به کمک خراشیدگی‌های موجود در سطح آینه گسل، تنها می‌توان جهت آخرین حرکت گسل را مشخص کرد.

۵-۳-۴- گوژ گسل[2]

بعضی از محققین بر این باورند که گوژ گسل مختص گسل‌های عادی است و گسل‌های رانده، فاقد این پدیده‌اند. از آنجا که بسیاری از شواهد، صحت این ادعا را تایید کرده بنابراین وجود گوژ، راهنمای ارزشمندی در تشخیص و تعیین نوع گسل است. البته عکس این مساله صحیح نیست، زیرا بسیاری از گسل‌های عادی نیز ممکن است بدون گوژ باشند. نکته مهم در این مورد آن است که ضخامت گوژ و عرض زون گسلی، معرف میزان جابه‌جایی گسل نیست.

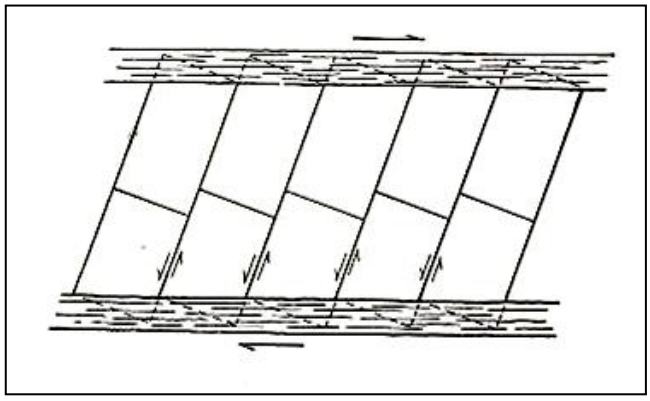
۵-۳-۵- ریز گسل‌های همزاد

جهت حرکت ریز گسل‌های همزاد گسل، در بسیاری موارد موازی حرکت گسل اصلی است. از آنجا که میزان جابه‌جایی این ریزگسل‌ها کم و با توجه به جابه‌جا کردن رگچه‌ها به آسانی قابل تشخیص است، بنابراین به کمک آن‌ها می‌توان جهت حرکت اصلی گسل را مشخص کرد. البته ممکن است جهت حرکت این ریز گسل‌ها در جهات مختلف بوده و همراستا با گسل اصلی نباشد.

1-Ore drag
2- Gouge

۵-۳-۶- صفحات برشی مکمل[1]

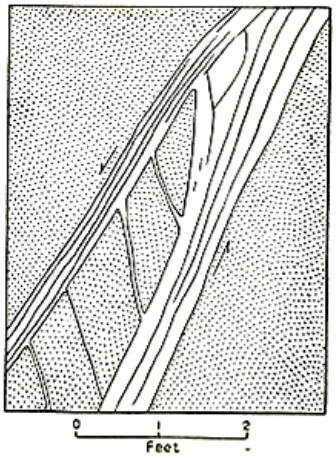
در بعضی موارد در داخل زون برشی، صفحات برشی مکمل مشابه با کلیواژهای شکستگی دیده می‌شود. این صفحات زون برشی را طی زاویه کوچکی قطع می‌کنند و در انتها کج می‌شوند و تقریبا به موازات دیواره گسل درمی‌آیند، به گونه‌ای که زاویه حاده آن‌ها به سوی حرکت نسبی دو طرف گسل است (شکل ۵-۱۰).



شکل ۵-۱۰- وضعیت صفحات برشی نسبت به حرکت گسل

۵-۳-۷- شکستگی‌های کششی[2]

شکستگی‌های کششی که در پی ایجاد گسل در سنگ‌های نزدیک آن ایجاد می‌شوند، معمولا زوایای بزرگی نسبت به سطح گسل دارند و در نزدیکی سطح گسل کج می‌شوند و به حالت تقریبا عمود بر آن درمی‌آیند (شکل ۵-۱۱).



شکل ۵-۱۱- شکستگی‌های برشی در سنگ‌های اطراف گسل

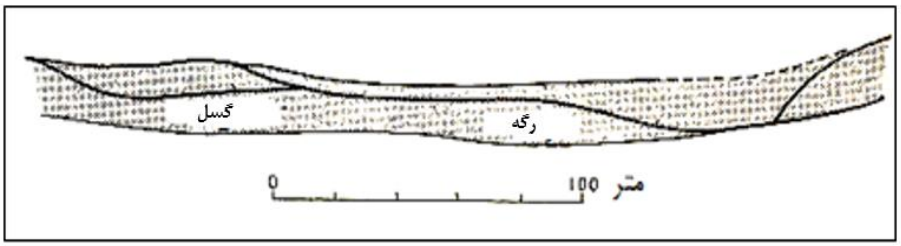
1- Complementary shears
2- Tension fractures

۵-۴- مسایل ویژه گسل‌ها در حفریات استخراجی

به هنگام تشخیص گسل و مشخصات آن در حفریات استخراجی، ممکن است به موارد ویژه‌ای برخورد شود که این موارد در ادامه تشریح شده است.

۵-۴-۱- دیواره‌های کاذب[1]

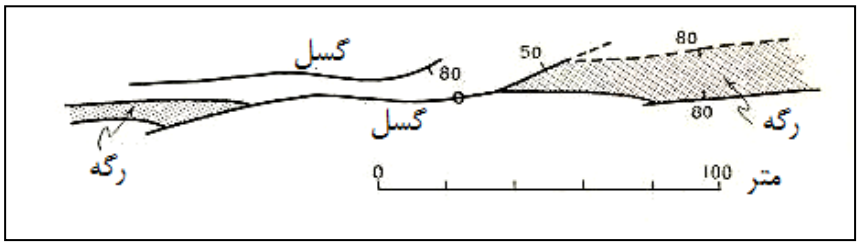
در مواردی که سطح گسل تقریبا موازی رگه یا لایه باشد، تشخیص آن با پیچیدگی‌هایی همراه خواهد بود. حواشی رگه‌ها از جمله مناطق آسیب‌پذیر در اثر حرکات گسل پس از تشکیل رگه‌اند و اگر حرکت گسل اندک باشد، ممکن است در سطح رگه یک لایه گوژ تشکیل شود. از سوی دیگر، در مواردی که حرکت گسل زیاد باشد و گسل رگه را طی زاویه کوچکی قطع کند، بسته به جهت حرکت گسل، رگه ممکن است کشیده و نازکتر و یا فشرده و ضخیم‌تر شود. اگر رگه کشیده شود، در آن صورت بین قطعات رگه، سطح گسل مشخص خواهد شد. در چنین مواردی، افراد ممکن است سطح گسل را با دیواره رگه اشتباه و با ادامه حفر تونل در آن یا یکی از شاخه‌های آن، رگه را گم کنند (شکل ۵-۱۲).



شکل ۵-۱۲- تشخیص اشتباه سطح گسل با دیواره رگه

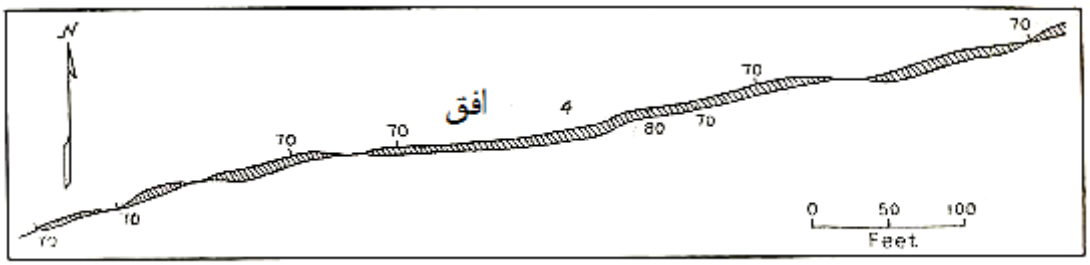
در بعضی موارد، ممکن است گسل باعث تکرار لایه یا رگه شود و دو قسمت از آن‌ها به موازات و در مجاورت هم قرار گیرند به گونه‌ای که سطح جدا کننده آن‌ها سطح گسل باشد. در این حالت ممکن است افراد به اشتباه تصور کنند که دو لایه یا رگه مستقل از هم وجود دارد و برای استخراج آن‌ها برنامه‌ریزی کنند. در چنین مواردی توصیه می‌شود با حفر چال‌های اکتشافی و یا میان‌بر، مرز رگه مورد مطالعه قرار گیرد.

گسل‌هایی که بعد از تشکیل رگه یا لایه و به موازات آن‌ها تشکیل شده‌اند، ممکن است باعث لقمه- لقمه شدن رگه و یا جدایش آن شوند (شکل ۵-۱۳).



(الف)

1- False walls



(ب)

شکل ۵-۱۳- (الف) جدایش رگه، (ب) لقمه- لقمه شدن رگه در اثر گسل‌های موازی با رگه

۵-۴-۲- اشکالات تعبیر و تفسیر گسل در حفریات استخراجی

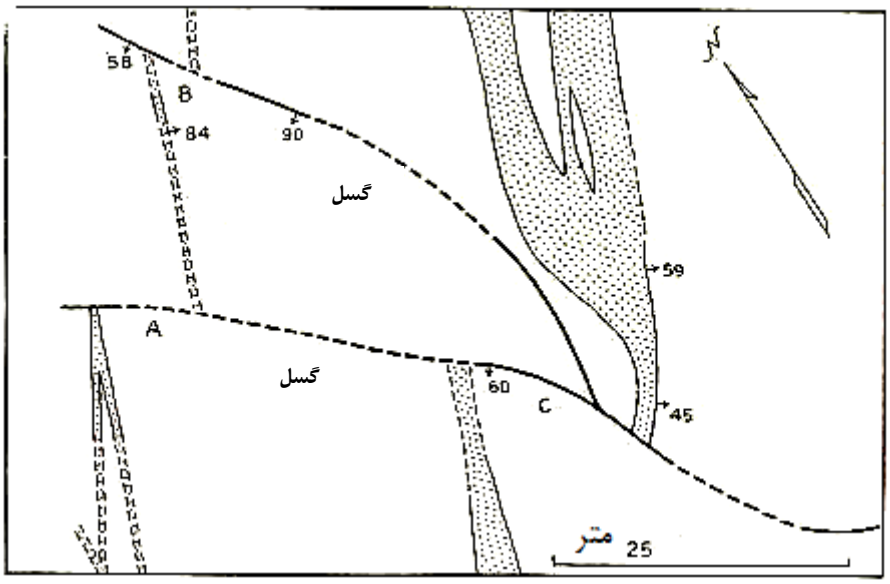
در مواردی که میزان جابه‌جایی گسل در یک نقطه تعیین شود، اگر چه راهنمای کلی برای جابه‌جایی کلی گسل است اما نباید انتظار داشت که جابه‌جایی در تمام نقاط، به همین مقدار و جهت باشد. در بسیاری موارد، گسل از نوع با حرکت چرخشی است و بنابراین مقدار جابه‌جایی آن در نقاط مختلف سطح گسل، یکسان نیست.

در مورد بعضی از گسل‌های با حرکت چرخشی، ممکن است اختلاف جابه‌جایی گسل در محدوده استخراجی قابل توجه نباشد حال آنکه در بسیاری موارد، امکان دارد که اختلاف جابه‌جایی حتی در مقیاس‌های کوچک نیز، قابل توجه باشد.

علاوه بر گسل‌های با حرکت چرخشی، حتی در مورد گسل‌های با حرکت انتقالی نیز ممکن است مقدار جابه‌جایی در مورد طبقات چین‌خورده در قسمت‌های مختلف متفاوت باشد.

تغییر جابه‌جایی گسل ممکن است به طور ناگهانی رخ دهد. به عنوان مثال هنگامی که گسل از درون سنگ سختی مانند کوارتزیت وارد طبقات نرم‌تر شیست می‌شود، چنین پدیده‌ای قابل انتظار است.

در مواردی که گسل به شاخه‌های مختلف منشعب شود، هریک از شاخه‌ها ممکن است جابه‌جایی ویژه خود را داشته باشند و بنابراین در چنین مواردی، تعمیم جابه‌جایی شاخه فرعی گسل به تمامی آن، مشکلات تعبیر و تفسیر جدی به وجود می‌آورد (شکل ۵-۱۴).



شکل ۵-۱۴- انشعاب گسل به دو شاخه فرعی. مقدار جابه‌جایی در نقطه A با جابه‌جایی کلی رگه C متفاوت است.

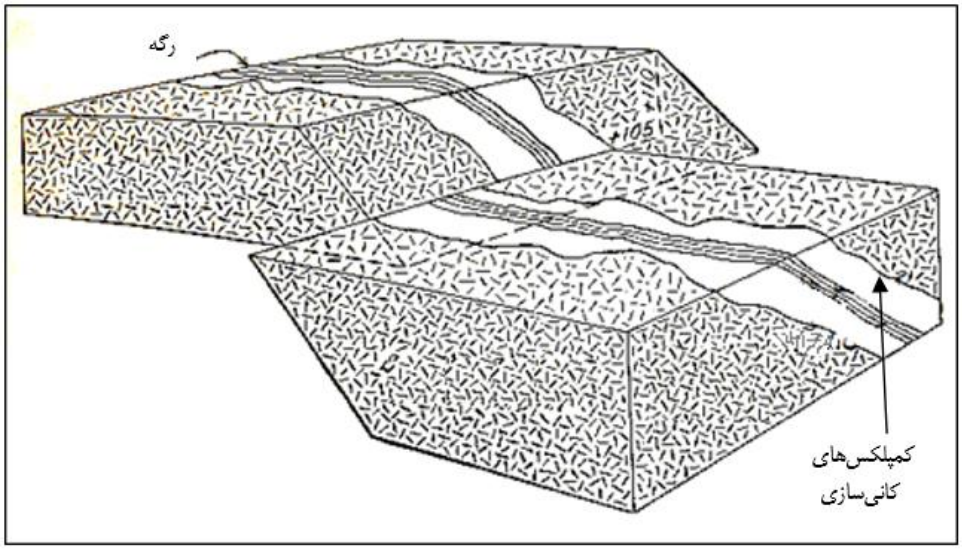
از جمله مشکلات دیگر در تعبیر و تفسیر مشخصات گسل‌ها، وضعیتی است که طی آن پس از جابه‌جایی رگه به وسیله گسل، دایکی گسل را قطع کند. پس از آن ممکن است حرکت دوباره گسل که امکان دارد در خلاف جهت حرکت اولیه باشد، رگه و دایک را تواما جابه‌جا کند. در چنین مواردی، جابه‌جایی دایک، تعبیر و تفسیر جابه‌جایی رگه را با مشکل مواجه می‌سازد.

۵-۴-۳- تعیین زمان گسلش نسبت به زمان کانی‌سازی

گسل‌هایی که ماده معدنی را جابه‌جا کرده‌اند، به نام گسل‌های بعد از کانی‌سازی[1] خوانده می‌شوند. تشخیص اینکه گسل بعد یا قبل از کانی‌سازی ایجاد شده است، کار ساده‌ای نیست. به عنوان مثال اگر یک گسل که قبل از کانی‌زایی تشکیل شده است، لایه‌ای را جابه‌جا کند که در مرحله بعد با ماده معدنی جایگزین شده، ممکن است به اشتباه، گسل به عنوان گسل بعد از کانی‌سازی تعبیر و تفسیر شود. چنین وضعیتی ممکن است در حالتی روی دهد که یک گسل قبل از کانی‌سازی[2] یک شکستگی را جابه‌جا کند و در مرحله بعد در داخل شکستگی، کانی‌سازی انجام گیرد (شکل ۵-۱۵).

اگر رگه ماده معدنی به وسیله گسل جابه‌جا شده باشد، می‌توان گفت که گسل بعد از کانی‌سازی تشکیل شده است اما در بعضی موارد ممکن است واقعیت به جز این باشد و آن هنگامی است که گسل بر بخش پایانی ماده معدنی منطبق باشد و یا این که فرآیندهایی همچون فرسایش و فروشویی، بخش جابه‌جا شده ماده معدنی را پس از تشکیل گسل، از بین برده باشد.

1- Post-ore faults
2- Pre-ore faults



شکل ۵-۱۵- جابه‌جا شدن یک رگه در اثر گسلی که قبل از کانی‌سازی تشکیل شده است.

در مواردی که گسلی که قبل از کانی‌سازی تشکیل شده است، بخش پایانی رگه را قطع کند، مساله به کلی متفاوت خواهد بود زیرا در این حالت، صرف نظر از اینکه شکستگی‌ها یک مرحله‌ای یا چند مرحله‌ای باشد گسل نیز خود بخشی از الگوی شکستگی‌ها است و بنابراین ممکن است بر کانی‌سازی تاثیر قابل توجهی داشته باشد. در این موقعیت‌ها، هدف از جستجو، یافتن بخش جدا شده ماده معدنی به وسیله گسل نیست، بلکه مقصود، یافتن بخشی از ساختارهای محلی است که ممکن است در آن کانی‌سازی انجام شده و یا نشده باشد و نیز جستجوی کانی‌سازی‌های جدید است.

اگر یک دستورالعمل کلی برای قضاوت درباره این که گسل مربوط به قبل از کانی‌سازی یا بعد از آن است وجود ندارد و در هر مورد باید بر اساس شواهد موجود، از قضاوت مهندسی کمک گرفت اما می‌توان از معیارهای نام برده برای تشخیص این دو نوع گسل استفاده کرد:

الف- گسل‌های بعد از کانی‌سازی

- وجود آینه گسل در ماده معدنی و یا برشی شدن آن و کشیدگی ماده معدنی در زون گسل
- جداشدگی مشخص رگه یا ماده معدنی

در این مورد باید توجه داشت که گاه یک جابه‌جایی جزیی بعد از کانی‌سازی، در مورد گسلی که قبل از کانی‌سازی تشکیل شده، ممکن است آینه گسل و کشیدگی تولید کند.

ب- گسل‌های قبل از کانی‌سازی

- وجود کانی‌سازی در سطح گسل و شکستگی‌های مربوط به آن
- نقش گسل در کانی‌سازی، در حوالی سطح گسل حفره‌ها و شکاف‌هایی ایجاد می‌شود که محلول‌های کانی‌ساز به درون آن‌ها نفوذ می‌کنند و ماده معدنی را تشکیل می‌دهند.

فصل ۶

مطالعات گازخیزی در معادن زغال‌سنگ

٦-۱- آشنایی

گاز زغال که از آن تحت عناوین گاز متان و گریزو نیز نام برده می‌شود، از جمله گازهای بسیار خطرناک موجود در معادن زغال‌سنگ است که بارها سبب انفجار در این معادن شده است. بنابراین یکی از مسایل مهم، آگاهی از وضعیت گازخیزی جبهه‌کارهای پیشروی و اعلام آن به مسوولان استخراج است.

در مرحله اکتشاف کانسارهای زغال‌سنگ، برآورد مقدار گازخیزی از جمله ضروریات است که بر مبنای نمونه‌گیری مستقیم از حفریات اکتشافی نظیر ترانشه، اوکلون، چاهک و تونل‌های اکتشافی و یا حفر گمانه‌های ویژه به منظور مطالعات گازخیزی انجام می‌گیرد. آنچه که در این مرحله برآورد می‌شود، گازخیزی متوسط کانسار است و گازخیزی بخش‌های مختلف کانسار ممکن است با این مقادیر متفاوت باشد. بنابراین در حین عملیات استخراجی و همزمان با احداث حفریات، باید با نمونه‌برداری منظم از زغال، مقدار گازخیزی آن را تعیین کرد.

۶-۲- طرز تشکیل گاز زغال

به هنگام تجزیه مواد گیاهی و تبدیل آن‌ها به انواع مختلف زغال، مقدار زیادی گاز متان و سایر هیدروکربن‌هایی که در ترکیب گاز زغال وجود دارند نیز تشکیل می‌شود. این گازها، بخشی از ترکیب زغال‌سنگ را تشکیل می‌دهند. در حالت کلی، زغال‌سنگ ترکیبی از هیدروکربن‌های جامد و گازی و بعضی گازها و موارد دیگر است. هیدروکربن‌های گازی موجود در ترکیب گاز زغال را به نام مواد فرار[1] می‌نامند. این مواد در حالت عادی بخشی از ترکیب زغال را تشکیل می‌دهند و مقدار آن‌ها در زغال‌های مختلف متفاوت است و با افزایش دگرگونی زغال، کاهش می‌یابد. به عنوان مثال اگر ۱۰۰ گرم از یک نمونه زغال در دمای ۷۰۰ تا ۸۰۰ درجه حرارت داده شده و دوباره وزن شود، وزن آن به عنوان مثال ۷۵ گرم خواهد شد و این امر نشانگر آن است که ۲۵ درصد از ترکیب زغال را مواد فرار تشکیل می‌دهد.

مواد فرار زغال در حالت کلی در ترکیب آن باقی می‌مانند اما در اثر افزایش فشار و دما، از ساختار آن خارج می‌شوند و گاز زغال را تشکیل می‌دهند. از آنجا که افزایش درجه دگرگونی و زغال‌شدگی مستلزم افزایش دما و فشار است بنابراین با افزایش رده زغال‌سنگ، به تدریج از مواد فرار آن کاسته می‌شود به طوری که زغال‌هایی با درجه دگرگونی بالا مثل نیمه‌آنتراسیت و آنتراسیت مواد فرار ندارند و یا اینکه درصد مواد فرار آن‌ها ناچیز است.

بخشی از مواد فراری که طی فرآیند دگرگونی از جسم زغال خارج می‌شود، در صورتی که به جایی راه پیدا کند، از زغال جدا می‌شود اما اگر امکان فرار وجود نداشته باشد، با زغال باقی می‌ماند و گاز زغال را تشکیل می‌دهد.

قسمت عمده‌ای از گاز زغال در لایه‌های زغال محبوس و مقداری از آن نیز در سنگ‌های درونگیر لایه‌های زغال جمع می‌شود. تجمع گاز در لایه‌های زغال به دو صورت است. قسمتی از آن، خلل و فرج و شکستگی‌های موجود در لایه‌های زغال را پر می‌کند و قسمت دیگر، به صورت جذب سطحی است که حجم این گاز بیش از بخش دیگر است.

1- Volative materials

۶-۳- ترکیب گاز زغال

در ترکیب گاز زغال کانسارهای مختلف، گازهای ازت، دی‌اکسید کربن، هیدروژن، متان، اتان، پروپان، سولفید هیدروژن و ندرتا بعضی گازهای دیگر وجود دارد، اما ترکیب گاز زغال در کانسارهای مختلف و لایه‌های مختلف یک کانسار نیز متفاوت است و در مورد یک لایه واحد هم این ترکیب، در اعماق مختلف تغییر می‌کند.

در اعماق کم، ترکیب اصلی گاز زغال را ازت و دی‌اکسید کربن تشکیل می‌دهد و در اعماق زیاد، این گاز عمدتا از هیدروکربن‌ها و به ویژه متان تشکیل شده است. به همین خاطر معمولا لایه‌های زغال را از نقطه نظر گازخیزی به دو افق هوازده (قسمت‌های فوقانی) و افق متانی (عمقی که در آنجا درصد متان و سایر هیدروکربن‌های سوختنی قابل توجه است) تقسیم می‌کنند. در شکل ۶-۱ تغییرات درصد گاز متان در اعماق مختلف لایه‌های زغال در معدن زغال‌سنگ کلاریز نشان داده شده است. به طوری که دیده می‌شود، تا عمق ۶۰ متری، درصد گازهای سوختنی از ۵۰ تا ۶۰ درصد تجاوز نمی‌کند. در اعماق ۶۰ تا ۱۲۰ متری، درصد این گازها به ۷۰ تا ۸۰ درصد می‌رسد و در اعماق بیشتر، درصد این گازها بیش از ۸۰ درصد است، بنابراین می‌توان گفت که تا اعماق ۶۰ متری یعنی تا افق هوازده، خطر چندانی از نقطه نظر انفجار گاز زغال وجود ندارد ولی در اعماق بیش از این، گاز یاد شده خطرناک خواهد بود.

جدول ۶-۱- عمق افق متانی در بعضی مناطق زغال‌دار ایران

منطقه	عمق افق متانی (متر)	منطقه	عمق افق متانی (متر)
پابدانا	۳۰۰-۲۰۰	هشونی	۶۰۰-۵۰۰
پابدانای جنوبی	۲۲۰-۱۵۰	خمرود ۱	۴۰۰-۱۴۰
سراپرده	۷۰-۵۰	پشکلات	۱۴۰-۲۰
دره‌گر	۱۴۰-۱۰۰	کلاریز	۱۸۰-۸۰
باب نیزو	۱۱۰-۷۰	ممدو	۱۱۰-۵۰
باب نیزوی شرقی	۱۶۰-۱۲۰	طبس (منطقه پروده)	۱۲۰-۳۲
هجدک	۱۲۰-۷۰		

جدول ۶-۲- ترکیب گاز زغال در اعماق مختلف حوضه زغالی کرمان

افق	تقسیم‌بندی افق‌ها بر حسب نوع گاز (از بالا به پایین)	درصد گازهای مختلف		
		متان و سایر هیدروکربن‌ها	ازت	دی‌اکسید کربن
هوازده	دی‌اکسید کربن- ازت	صفر	۰ تا ۵۰	۱۰۰ تا ۵۰
	ازت- دی‌اکسید کربن	صفر	۱۰۰ تا ۵۰	۰ تا ۵۰
	ازت- متان	۰ تا ۵۰	۱۰۰ تا ۴۰	۰ تا ۱۰
	متان- ازت	۵۰ تا ۸۰	۵۰ تا ۰	۰ تا ۲۰
متانی		۸۰ تا ۹۵	۲۰ تا ۰	۰ تا ۵

در جدول ۶-۳ نیز ترکیب گاز زغال در بعضی از مناطق زغال‌دار ایران درج شده است.

جدول ۶-۳- ترکیب گاز زغال در چند منطقه زغال‌دار ایران

درصد گاز / منطقه	متان	اتان	پروپان	بوتان	پنتان	دی‌اکسید کربن	ازت
پشکلات (تزره)	۹۲-۳۷	۲۹-۳	۷-۰/۰۴	۱/۴-۰/۰۶	۰/۲-۰/۰۵	۱۲/۵-۰/۳	۲۵-۲/۵
کلاریز (تزره)	۹۵-۳۳	۳۰-۱/۷	-۰/۰۱ ۳/۴	۶-۰/۰۲	۰/۵-۰/۰۱	۸/۵-۰/۶	۲۹-۳/۸
ممدو (تزره)	۹۰-۶۰	۱۷-۶	۴-۰	۱/۲-۰	۰/۲-۰	۳/۵-۰/۴	۲۸/۲-۰/۲
پروده (طبس)	۵۴-۹۷	۲۳/۴-۰/۰۲	-۰/۰۱ ۳/۸	۳-۰/۰۱	۳-۰/۰۱	تا ۱۰/۳	تا ۱۳/۴

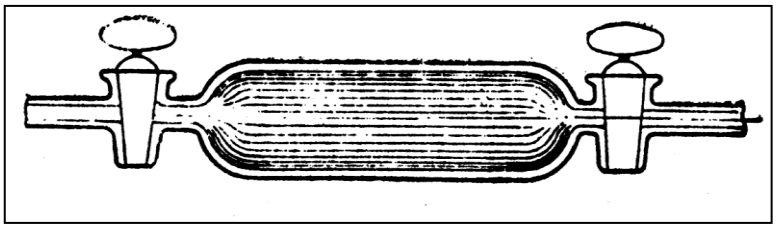
۶-۴- نمونه‌برداری از زغال به منظور مطالعه گازخیزی

به منظور مطالعه گازخیزی لایه زغال، از قسمت‌های مختلف آن نمونه‌های ویژه‌ای گرفته می‌شود و مورد بررسی قرار می‌گیرد. از آنجا که در حفریات معدنی امکان نمونه‌برداری مستقیم از زغال وجود دارد، همزمان با پیشروی حفریات آماده‌سازی، باید به طور مرتب نمونه‌های ویژه به منظور گازخیزی تهیه شود. علاوه بر این باید از هوای این حفریات نیز نمونه‌برداری انجام گیرد.

۶-۴-۱- نمونه‌برداری از هوای داخل تونل‌ها

به هنگام حفر تونل‌های دنباله‌رو زغال در بالا و پایین کارگاه استخراج، دویل‌های آغازین و کارگاه‌های استخراج در حال کار، بلافاصله پس از حفر زغال، از هوای آن‌ها نمونه تهیه می‌شود. برای نمونه‌برداری، لوله‌های شیشه‌ای ویژه‌ای را به کار می‌برند (شکل ۶-۱). این لوله، در دو انتها دو شیر دارد. قبل از نمونه‌برداری، لوله را در بیرون تونل پر از آب می‌کنند و شیرهای دو سر آن را می‌بندند. در محل نمونه‌برداری، لوله را به حالت قائم نگه می‌دارند و شیرها را باز می‌کنند. با

خروج آب، هوای تونل جای آن را می‌گیرد و پس از تخلیه کامل لوله، شیرهای دو طرف را می‌بندند و آن را به آزمایشگاه می‌فرستند.

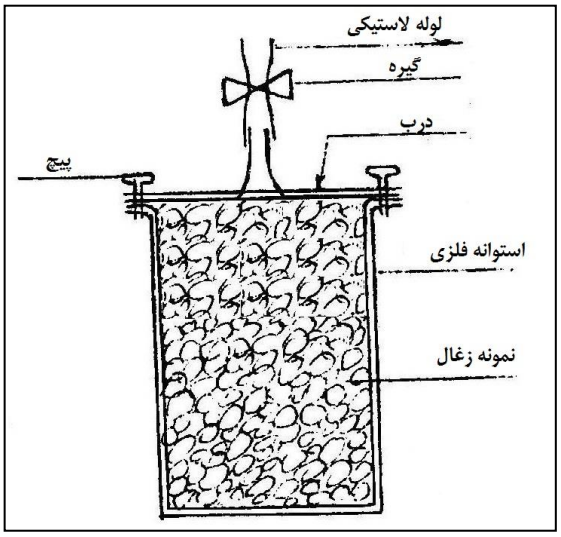


شکل ۶-۱- لوله شیشه‌ای نمونه‌گیر

در مواردی که لوله‌های شیشه‌ای در دسترس نباشد، می‌توان از بطری‌های معمولی استفاده کرد و پس از تخلیه آب، در آن‌ها را محکم بست و به وسیله نوارچسب، غیرقابل نفوذ کرد.

۶-۴-۲- نمونه‌برداری از زغال به وسیله ظرف‌های فولادی مخصوص

برای نمونه‌برداری از زغال در حفریات استخراجی، از این وسیله استفاده می‌کنند. ظرف نمونه‌گیری، یک استوانه فولادی است* که درب آن محکم پیچ می‌شود. به درب ظرف، یک لوله کوتاه فلزی جوش شده که یک تکه لوله لاستیکی به آن وصل شده است و به هنگام نمونه‌برداری، لوله لاستیکی تا شده و محکم بسته می‌شود (شکل ۶-۲).



شکل ۶-۲- ظرف فولادی مخصوص نمونه‌گیری

* در معادن ایران این ظرف را استکان می‌گویند.

۶-۵- تعیین محتوای گاز زغال

۶-۵-۱- مولفه‌های گاز زغال

محتوای گاز زغال همراه با لایه‌های زغال را به بخش زیر تقسیم می‌کنند:

الف- گاز واجذب[1]

این بخش از گاز زغال را می‌توان به طور مستقیم در آزمایشگاه تعیین کرد.

ب- گاز هدر رفته[2]

اگر چه سعی می‌شود که حتی‌المقدور نمونه‌های زغال بلافاصله پس از حفر در محفظه نمونه‌گیر قرار گیرد اما به هر حال، طی این فرآیند، بخشی از گاز هدر می‌رود. حجم گاز هدر رفته را نمی‌توان به طور مستقیم تعیین کرد و باید بر اساس نتایج تجزیه گازها مقدار آن برآورد شود.

پ- گاز باقی‌مانده[3]

حجم گازی که از نمونه زغال به طور طبیعی آزاد می‌شود، به تدریج و با گذشت زمان کاهش می‌یابد اما تمام گاز زغال از آن خارج نمی‌شود. بر اساس مطالعات انجام شده حجم گاز باقی‌مانده در زغال‌های نامرغوب به ۴۰ تا ۵۰ درصد از کل گاز زغال می‌رسد.

۶-۵-۲- تعیین حجم گاز واجذب

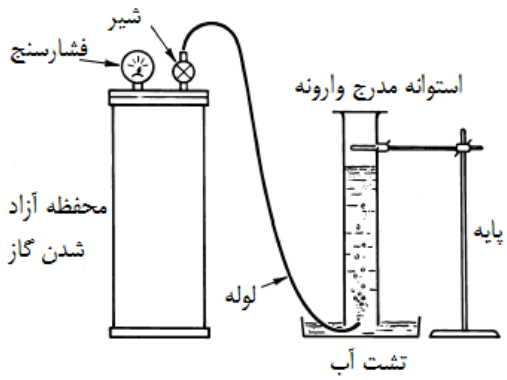
این بخش از گاز زغال را می‌توان به طور مستقیم تعیین کرد. در بررسی‌های گازخیزی در ایران نمونه‌های ویژه زغال را که در داخل ظرف‌های فولادی قرار دارند، در آزمایشگاه در داخل حمام آب با دمای ۸۰ تا ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار می‌دهند و گاز متصاعد شده از آن‌ها را طی خلا نسبی ۱۰۰ میلی‌متر جیوه از داخل ظرف، به بیرون می‌کشند.

بسته به امکانات موجود در آزمایشگاه، از دستگاه‌های مختلف به منظور تجزیه گاز و تعیین ترکیبات آن استفاده می‌شود. شرح این دستگاه‌ها در نشریه شماره ۵۴۰ سازمان برنامه و بودجه کشور تحت عنوان "دستورالعمل اکتشاف ژئوشیمیایی بزرگ‌مقیاس رسوبات آبراهه‌ای (۱:۲۵۰۰۰)" آمده است. درصد گازهای هیدروژن، متان، اتان، پروپان، بوتان، ازت، دی‌اکسید کربن، اکسیژن و مجموع گازهای هیدروکربن موجود در نمونه زغال را تعیین می‌کنند. علاوه بر گازهای یاد شده، بسته به مورد ممکن است گازهای دیگری نیز بررسی و درصد آن‌ها تعیین شود. از آنجا که برای تعیین گازخیزی لایه‌های زغال، محتوای رطوبت و خاکستر آن‌ها نیز مورد نیاز است، بنابراین در مورد تمام نمونه‌ها، درصد دو مشخصه یاد شده را نیز تعیین می‌کنند.

1- Desorbed gas
2- Lost gas
3- Residual gas

یکی از روش‌های تعیین گاز واجذب شده شیوه موسوم به روش مرسوم در سازمان معادن آمریکا است که طی آن مطابق شکل ۶-۳، نمونه تهیه شده را در یک استوانه فلزی به طول ۳۰ و قطر ۱۰ سانتی‌متر قرار می‌دهند. گازی که از نمونه آزاد می‌شود، از طریق لوله لاستیکی به داخل استوانه پر آب وارونه که داخل تشت آب قرار دارد، راه می‌یابد و با توجه به مدرج بودن استوانه، می‌توان حجم گاز آزاد شده از زغال را تعیین کرد.

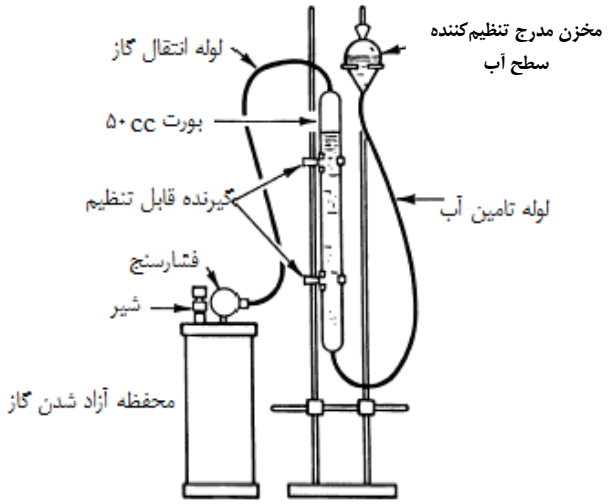
برای کاهش خطای اندازه‌گیری حجم، دستگاه‌های اندازه‌گیری دیگری طراحی شده است که در آن‌ها با تنظیم سطح آب در یک ظرف مدرج مجزا، خطای اندازه‌گیری حجم کاهش می‌یابد (شکل ۶-۴).



شکل ۶-۳- دستگاه اندازه‌گیری حجم گاز آزاد شده

مشکل دیگری که در محاسبه حجم گاز واجذب وجود دارد ناشی از حجم فضای آزاد باقی‌مانده در بالای محفظه پس از قرار دادن نمونه در محفظه آزاد شدن گاز است. تغییرات فشار و دما در این فضای خالی، بین قرائت‌های مختلف، اندازه‌گیری حجمی را تحت تاثیر قرار می‌دهد که این تغییرات بسته به تاثیر تغییرات دما و فشار بین قرائت‌ها ممکن است مثبت یا منفی باشد.

برای رفع این مشکل توصیه می‌شود که با پرکردن محفظه نمونه از زغال حجم فضای خالی بالای محفظه تا حد ممکن به حداقل برسد تا خطاهای یاد شده کاهش یابد. یک راه حل بهتر این است که محفظه گازسنجی ویژه‌ای با توجه به طول و قطر مغزه زغال، به صورت سفارشی ساخته شود (شکل ۶-۵).



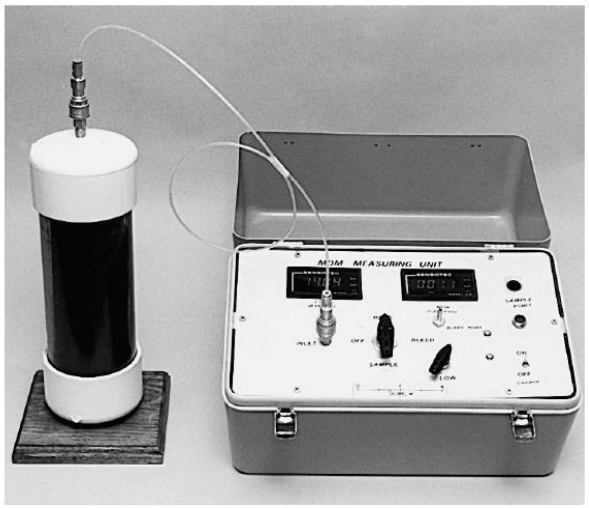
شکل ۶-۴- دستگاه اندازه‌گیری حجم گاز واجذب با تنظیم‌کننده سطح آب

شکل ۶-۵- محفظه گازسنجی سفارشی برای نمونه‌های خاص

یکی از مشکلات عمده‌ای که در محفظه‌های گازسنجی اتفاق می‌افتد، کاهش اکسیژن به علت اکسایش زغال یا احتمالا جذب سطحی است این امر سبب می‌شود که محاسبه حجم گاز آزاد شده دچار خطا شود.

مشکل کاهش اکسیژن را می‌توان با پرکردن محفظه گازسنجی با یک گاز بی‌اثر از بین برد. حتی اگر محفظه با یک گاز بی اثر پر شود، توصیه بر آن است که اندازه‌گیری حجم گاز آزاد شده با توجه به پارامترهای موثر در قوانین گازها بر اساس تحلیل ساختاری گازی انجام گیرد تا تغییرات حجمی در انواع گاز آزاد شده در طول آزمایش مشخص شود.

از جمله دستگاه‌های نوین دستگاهی است که در آن برای اندازه‌گیری حجم گاز آزاد شده از تجهیزات رقومی استفاده شده است (شکل ۶-۶)



شکل ۶-۶- دستگاه اندازه‌گیری میزان گاز آزاد شده به روش مستقیم

۶-۵-۳- برآورد حجم گاز هدر رفته

گاز هدر رفته بخشی از کل گاز است که ضمن جمع‌آوری نمونه و قبل از آن که محفظه هوابندی شده مسدود شود، هدر می‌رود. حجم‌های گاز هدر رفته را نمی‌توان مستقیما اندازه‌گیری کرد، بنابراین مقدار آن به کمک حجم گاز آزاد شده تخمین زده می‌شود. از آنجا که این بخش از گاز کمیتی تخمینی است، بنابراین به عنوان کم اعتبارترین بخش‌گاز زغال در نظر گرفته می‌شود.

حجم گاز هدر رفته به زمان انتقال و ویژگی‌های فیزیکی نمونه، اشباع آب و میزان نسبی گاز آزاد بستگی دارد. برای برآورد حجم گاز هدر رفته روش‌های تقریبی مختلفی ارایه شده است که از جمله متداول‌ترین آن‌ها می‌توان روش سازمان معادن آمریکا را نام برد.

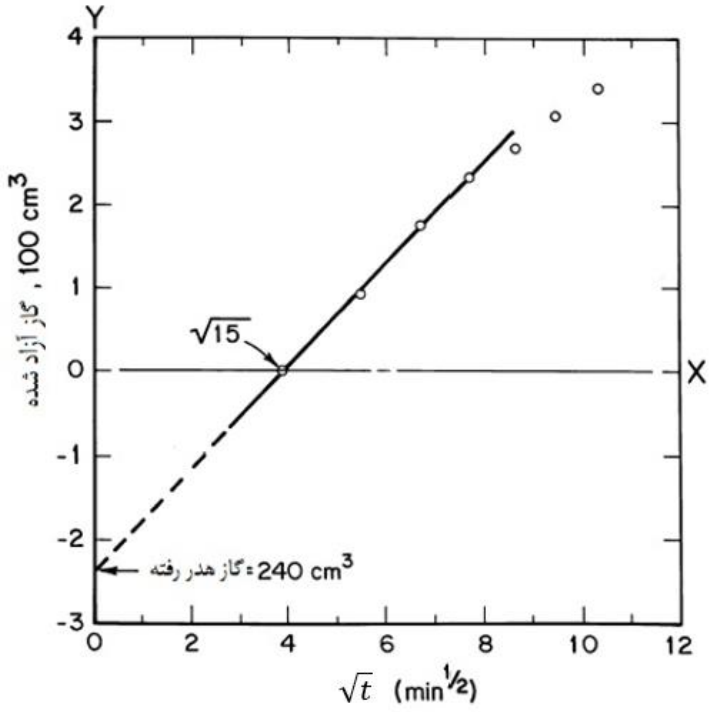
برای تخمین حجم گاز هدر رفته (Q_1) یک روش گرافیکی پیشنهاد شده است که اساس آن اندازه‌گیری مستقیم حجم گاز آزاد شده در چندین نوبت پس از هوا بند شدن نمونه در محفظه گازسنجی است. معمولا در چند ساعت اول حجم گاز آزاد شده در محفظه آزمایش به فواصل زمانی ۱۵ تا ۲۰ دقیقه اندازه‌گیری می‌شود. سپس نتایج این اندازه‌گیری‌ها به صورت نموداری که محور قائم آن حجم گاز اندازه‌گیری شده و محور افقی آن جذر زمان اندازه‌گیری بر حسب دقیقه است رسم می‌شود. این نمودار به شکل خط مستقیمی است که عرض از مبدا آن حجم گاز هدر رفته را به دست می‌دهد (شکل ۶-۷). در کانسارهای زغال درصد گاز هدر رفته نسبت به گاز آزاد شده معمولا ۱۰ تا ۳۰ درصد است.

۶-۵-۴- برآورد حجم گاز باقی‌مانده

آهنگ آزاد شدن گاز از نمونه‌ای که داخل محفظه گازسنجی قرار دارد، به تدریج و با گذشت زمان، کاهش می‌یابد. اما این تمام حجم گاز همراه با زغال نیست بلکه بخشی از آن در زغال باقی می‌ماند. اگر چه در مورد زغال‌هایی که به

سهولت خرد می‌شوند، پس از چند روز، عملا بخش مهم گاز باقی‌مانده از آن خارج می‌شود اما در مورد زغال سنگ‌های سخت، این زمان به چندین ماه افزایش می‌یابد.

حجم گاز باقی‌مانده را می‌توان با خرد کردن نمونه در محفظه هوابندی شده و اندازه‌گیری حجم گاز آزاد شده با استفاده از شیوه مشابهی که در تعیین گاز آزاد شده به کار می‌رود، تعیین کرد. حجم گاز باقی‌مانده‌ای که در آزمایشگاه و تحت دمای بالا اندازه‌گیری می‌شود تا به شرایط واقعی نزدیک باشد، احتمالا کمتر از حالتی است که گازخیزی نمونه در دمای آزمایشگاه محاسبه می‌شود. تحلیل قسمت‌های مختلف میزان گازخیزی برای ۱۵۰۰ نمونه زغال‌سنگ از ۲۵۰ لایه زغال‌سنگ نشان داد که گاز باقی‌مانده ۴۰ تا ۵۰ درصد از میزان گاز کل را شامل می‌شود. این امر به ویژه در لایه‌های زغال‌سنگ نسبتا نامرغوب صادق است. در مقابل، لایه‌های زغالسنگ مرغوب عموما کمتر از ۱۰ درصد گاز باقی‌مانده دارند.



شکل ۶-۷- برآورد حجم گاز هدر رفته به کمک حجم گاز آزاد شده

۶-۶- محاسبه گازخیزی زغال

گازخیزی زغال را به صورت حجم گاز زغالی که به ازای استخراج یک تن زغال در فضای کارگاه یا تونل دنباله‌رو به جریان می‌افتد، بیان می‌کنند. از آنجا که ممکن است میزان رطوبت و خاکستر زغال در قسمت‌های مختلف یک لایه تغییر کند بنابراین گازخیزی را به عنوان حجم گاز زغال به ازای واحد وزن بخش سوختی زغال (بدون احتساب رطوبت و خاکستر) نیز بیان می‌کنند (معادله ۶-۱).

$$m_G = m\frac{100-(A\times W)}{100} \quad (۱-۶)$$

که در آن:

m_G وزن نمونه بدون خاکستر و رطوبت بر حسب گرم

A درصد خاکستر

W درصد رطوبت

میزان گازخیزی نمونه کلی و گازخیزی بخش سوختنی زغال از روابط ۶-۲ و ۶-۳ به دست می‌آید:

$$X = \frac{V}{m}\ cm^3/gr(\ m^3/t) \quad (۲-۶)$$

$$X_G = \frac{V}{m_G}\ cm^3/gr(\ m^3/t) \quad (۳-۶)$$

که در آن:

V حجم گاز کلی (مجموعه سه مولفه) حاصل از نمونه (سانتی‌متر مکعب)

X گازخیزی کلی زغال (سانتی‌متر مکعب بر گرم)

X_G گازخیزی بخش سوختنی زغال (سانتی‌متر مکعب بر گرم)

با توجه به آنکه مقدار عددی سانتی‌متر مکعب بر گرم معادل مترمکعب بر تن است بنابراین روابط ۶-۲ و ۶-۳، گازخیزی را بر حسب متر مکعب بر تن نیز به دست می‌دهند.

از آنجا که شرایط فشار و دمای آزمایشگاه با معدن متفاوت است بنابراین برای تعیین مقدار گازخیزی برجای زغال، ابتدا باید حجم V را با استفاده از قانون گازها به وضعیت معدن تبدیل کرد (رابطه ۶-۴):

$$V_m = V_l\frac{P_l T_m}{P_m T_l} \quad (۴-۶)$$

که در آن:

V_m حجم گاز زغال در شرایط معدن

V_l حجم گاز اندازه‌گیری در آزمایشگاه

P_m فشار هوا در محل معدن

P_l فشار هوا در آزمایشگاه

T_m دمای مطلق هوا در محل معدن

T_l دمای مطلق هوا در آزمایشگاه

۶-۷- رده‌بندی کانسارهای زغال از نظر گازخیزی

مهم‌ترین عامل طراحی سیستم تهویه معادن زغال، گازخیزی آن‌ها است. بر اساس میزان گازخیزی، کانسارهای زغال را مطابق جدول ۶-۴ رده‌بندی می‌کنند.

جدول ۶-۴- رده‌بندی کانسارهای زغال بر اساس گازخیزی

ردیف	رده کانسار	میزان گازخیزی (مترمکعب بر تن)
۱	طبقه ۱	<۵
۲	طبقه ۲	۵ تا ۱۰
۳	طبقه ۳	۱۰ تا ۱۵
۴	ماورای طبقه	>۱۵

۶-۸- تعیین گازخیزی لایه‌ها در اعماق مختلف

با توجه به آنکه در اعماق، امکان فرار گاز زغال کمتر از مناطق نزدیک به سطح زمین است بنابراین عموما گازخیزی لایه‌ها نسبت به عمق افزایش می‌یابد. برای طراحی سیستم تهویه بخش‌های مختلف یک معدن زغال در اعماق مختلف، آگاهی از میزان گازخیزی آن‌ها در این اعماق ضروری است.

برای بیان گازخیزی لایه‌ها در اعماق مختلف شیوه‌های مختلفی به شرح زیر وجود دارد:

۶-۸-۱- تعیین گازخیزی لایه‌ها به کمک اطلاعات حاصل از نمونه‌ها

در قسمت‌هایی از کانسار که به تعداد کافی نمونه‌های ویژه مطالعات گاز گرفته شده باشد، می‌توان به کمک این اطلاعات، نمودار تغییرات گازخیزی لایه در اعماق مختلف را رسم کرد. در معادن ایران معمولا حجم گاز زغال حاصل از یک تن زغال سوختنی (بدون در نظر گرفتن رطوبت و خاکستر) محاسبه و در نمودار رسم می‌شود (شکل ۶-۸).

بر اساس اطلاعات حاصل از این نمونه‌ها، گازخیزی بعضی از مناطق زغالی ایران محاسبه شده که به عنوان مثال گازخیزی مناطق مختلف حوضه زغال کرمان در جدول ۶-۵ درج شده است.

۶-۸-۲- تعیین گازخیزی لایه‌ها با استفاده از روابط تجربی

بر اساس اطلاعات حاصل از نمونه‌هایی که از اعماق مختلف یک کانسار گرفته شده است، می‌توان رابطه‌ای بین گازخیزی و عمق لایه به دست آورد و آن را برای تعیین گازخیزی اعماقی که از آن‌ها نمونه‌ای گرفته نشده است، به کار برد. از آنجا که رابطه تغییرات گازخیزی با عمق، عموما یک رابطه غیرخطی است بنابراین سعی می‌شود که به کمک داده‌های یاد شده، فرمول تجربی مناسبی برای هر منطقه انتخاب شود.

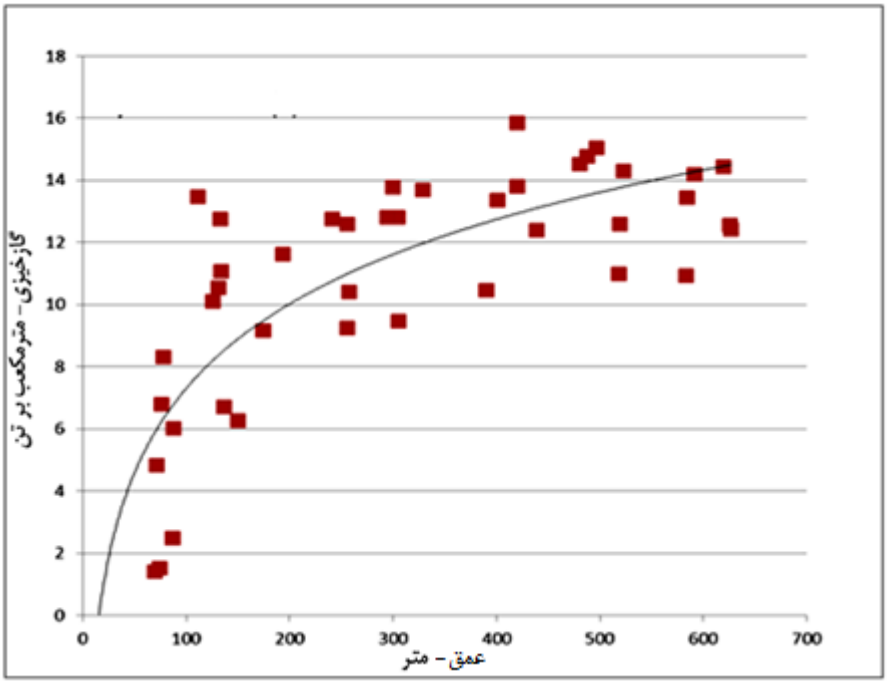
بر اساس مطالعاتی که در مورد گازخیزی منطقه کلاریز واقع در ناحیه زغالی البرز شرقی انجام شده، فرمول تجربی زیر برای محاسبه گازخیزی لایه‌ها در اعماق مختلف این منطقه ارایه شده است:

$$X = 24.16\sqrt{\frac{H-80}{H+380}} \qquad (۵-۶)$$

که در آن:

X حجم گاز متصاعد شده (مترمکعب) از یک تن جسم سوختی زغال (متر)

H فاصله نقطه مورد نظر تا سطح زمین در امتداد لایه



شکل ۶-۸- تغییرات گازخیزی لایه‌های زغال در منطقه پروده طبس نسبت به عمق

جدول ۶-۵- گازخیزی مناطق حوضه زغالی کرمان در اعماق مختلف (مترمکعب گاز بر هرتن ماده سوختنی)

منطقه / عمق- متر	هشونی	پابدانا	پابدانای جنوبی	خمرود	سراپرده	دره‌گر	هجدک فوقانی	باب‌نیزوی شرقی	باب نیزو
۱۰۰	–	–	–	–	۵/۲	–	۷/۰	۲/۶	۷/۸
۲۰۰	–	–	–	۳/۸	۸/۵	۹/۰	۱۳/۳	۵/۲	۱۵/۵
۳۰۰	–	۶/۵	۷/۸	۶/۲	۱۰/۵	۱۳/۰	۱۴/۸	۷/۸	۱۷/۶
۴۰۰	–	۷/۵	۹/۰	۸/۰	۱۲/۰	۱۷/۰	۱۵/۶	۱۰/۴	۱۸/۱
۵۰۰	۰/۳	۸/۰	۹/۶	۹/۶	۱۳/۲	۲۱/۰	۱۵/۹	۱۳/۰	۱۸/۵

همچنین بر اساس مطالعات انجام شده، گازخیزی منطقه پروده طبس در اعماق مختلف را می‌توان از رابطه ۶-۶ به دست آورد:

$$X = 3.9165LnH - 10.726 \qquad (۶-۶)$$

در این رابطه نیز نمادها همان مفاهیم رابطه ۶-۵ را دارند.

۶-۸-۳- تعیین گازخیزی به روش‌های زمین آماری

اگر گازخیزی لایه‌ها به عنوان متغیر ناحیه‌ای در نظر گرفته شود، مقدار گازخیزی در نقاط مختلف یک کانسار را می‌توان به روش کریجینگ برآورد کرد. از آنجا که گازخیزی با عمق تغییر می‌کند، بنابراین باید روش کریجینگ عمومی را به کار برد.

۶-۹- نمایش اطلاعات گازخیزی

پس از آنکه گازخیزی لایه در اعماق مختلف محاسبه شد، نتایج حاصل را در روی نقشه‌های گازخیزی لایه‌ها نشان می‌دهند. یکی از متداول‌ترین روش‌های نمایش این اطلاعات، تهیه نقشه‌های هم گازخیزی است. برای این کار، ابتدا نقشه منحنی‌های تراز ساختاری لایه در اعماق (نقشه هیپسومتری) را رسم می‌کنند. از آنجا که میزان گازخیزی لایه در اعماق مختلف در دست است، بنابراین به روش درون‌یابی محل‌هایی را که در آنجا حجم گازخیزی اعداد صحیح است تعیین و با وصل آن‌ها به هم، منحنی‌های هم گازخیزی را تهیه می‌کنند.

فصل ۷

دستورالعمل تشخیص و کنترل خودسوزی در معادن زغال‌سنگ

۷-۱- آشنایی

خودسوزی ناشی از گرمایش خود به خودی زغال‌سنگ، ممکن است در دیواره‌های معادن روباز، قطارها، کشتی‌ها و انباشته‌های زغال منجر به آتش‌سوزی شود و در معادن زیرزمینی حوادث مصیبت باری را به بار آورد. این فرآیند عامل انفجار مخلوط‌های قابل انفجار و منشا تصاعد گازهای سمی و قابل اشتعال است. تحقیقات گسترده در طول صد سال اخیر نشان می‌دهد که یکی از عوامل موثر در خودسوزی، ویژگی ذاتی زغال است. به طوری که زغال‌های رده پایین، از این نظر مستعدتر از زغال‌های رده بالا هستند. عوامل دیگری که وقوع خودسوزی را سرعت می‌بخشند شامل تغییر محتوای رطوبت زغال، شدت جریان و رطوبت هوا، ابعاد دانه‌ها، دما، محتوای پیریت زغال، خصوصیات زمین‌شناسی و شیوه استخراج هستند. در شرایط مطلوب، تقریبا هر زغالی به طور خود به خودی گرم می‌شود اما در مورد همه آن‌ها خودسوزی اتفاق نمی‌افتد.

آگاهی از تمایل نسبی زغال‌ها به خودسوزی، راهنمایی برای انتخاب روش‌های صحیح بهره‌برداری از معادن و گزینش مشخصات سیستم استخراج است.

خودسوزی زغال‌سنگ در نتیجه انجام واکنش‌های گرمازای زغالی که در معرض اکسیژن قرار گرفته است، رخ می‌دهد. اگر گرمای حاصل از اکسایش در اثر تهویه از محل وقوع آن دور نشود و نیز اکسیژن به قدر کافی به زغال‌سنگ برسد، تمرکز گرما با شتاب انجام می‌گیرد و منجر به آتش‌سوزی می‌شود.

۷-۲- مکانیزم خودسوزی

گرمایش خود به خود زغال فرآیندی به شدت پیچیده است که نه تنها به خصوصیات شیمی و فیزیکی خود زغال بستگی دارد بلکه به شرایط محیطی که در آن قرار دارد نیز وابسته است.

شیمی خودسوزی به علت ترکیب پیچیده و واکنش‌های متفاوت زغال‌سنگ‌ها نسبت به عوامل شیمیایی هنوز به خوبی شناخته نشده است. با این وجود، توافق عمومی بر این است که زغال به محض تماس با اکسیژن، اکسیده می‌شود و این فرآیند، حرارت‌زا است. علاوه بر این، جذب رطوبت نیز در بعضی شرایط گرما تولید می‌کند. اگر گرمای ایجاد شده بیش از حرارت پراکنده شده باشد، آنگاه دمای زغال بالا می‌رود و متعاقبا در صورت وجود اکسیژن کافی، واکنش گرمازا تسریع می‌شود تا لحظه‌ای که احتراق رخ دهد.

اکسایش زغال‌سنگ به محض تماس با اکسیژن آغاز می‌شود. در دمای پایین، ترکیب‌های پایدار اکسیژن و زغال با واکنش زیر شکل می‌گیرند:

زغال + اکسیژن → ترکیب اکسیژن و زغال + گرما (۷-۱)

ترکیب‌های اکسیژن و زغال، ترکیبات پیچیده پراکسی[1] هستند که در دماهای بالاتر، از طریق واکنش ۷-۲ شکسته می‌شوند:

ترکیب اکسیژن و زغال $\rightarrow CO + CO_2 + H_2O +$ گرما (۷-۲)

سرعت اکسایش به ازای هر ۱۰ درجه سانتی‌گراد افزایش دما، تقریبا ۲ برابر می‌شود تا وقتی که به نقطه اشتعال برسد. هم‌زمان با افزایش دما، هیدروژن و دیگر هیدروکربن‌ها نیز متصاعد می‌شوند. در شکل ۷-۱ منحنی‌های نمونه‌واری نشان داده شده است.

در دمای کمتر از ۵۰ درجه سانتی‌گراد، اکسیژن به طور سطحی جذب زغال می‌شود و در بالاتر از این دما، جذب شیمیایی[2] انجام می‌گیرد، شکستن ترکیبات اکسیژن و زغال در دمای بیش از ۸۰ درجه سانتی‌گراد انجام می‌گیرد و تجزیه این ترکیبات به مونواکسید و دی‌اکسید کربن در دمای ۴۲ درجه سانتی‌گراد اتفاق می‌افتد. واکنش‌های جذب سطحی و شیمیایی به طور آشکاری یکدیگر را پوشش می‌دهند ولی جذب شیمیایی در دمای بالاتر از صفر درجه به شکل واکنش غالب در می‌آید. همچنین در حالی که تشکیل ترکیبات اکسیژن و زغال تا دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد و بالاتر ادامه می‌یابد، تجزیه آن‌ها در دمای خیلی پایین‌تری آغاز می‌شود.

تغییرات شیمیایی گرما از قانون آرنیوس تبعیت کند که در آن سرعت گرمایش خود به خودی تحت شرایط آدیاباتیک (بی‌دررو) به شرح زیر است:

$$\frac{dT}{dt} = K.e^{-E/RT} \qquad (۷-۳)$$

و یا:

$$Ln\frac{dT}{dt} = \frac{-E}{R.T} + Ln\ K \qquad (۷-۴)$$

که در آن:

T دما

t زمان

E انرژی فعال‌سازی

R ثابت گاز

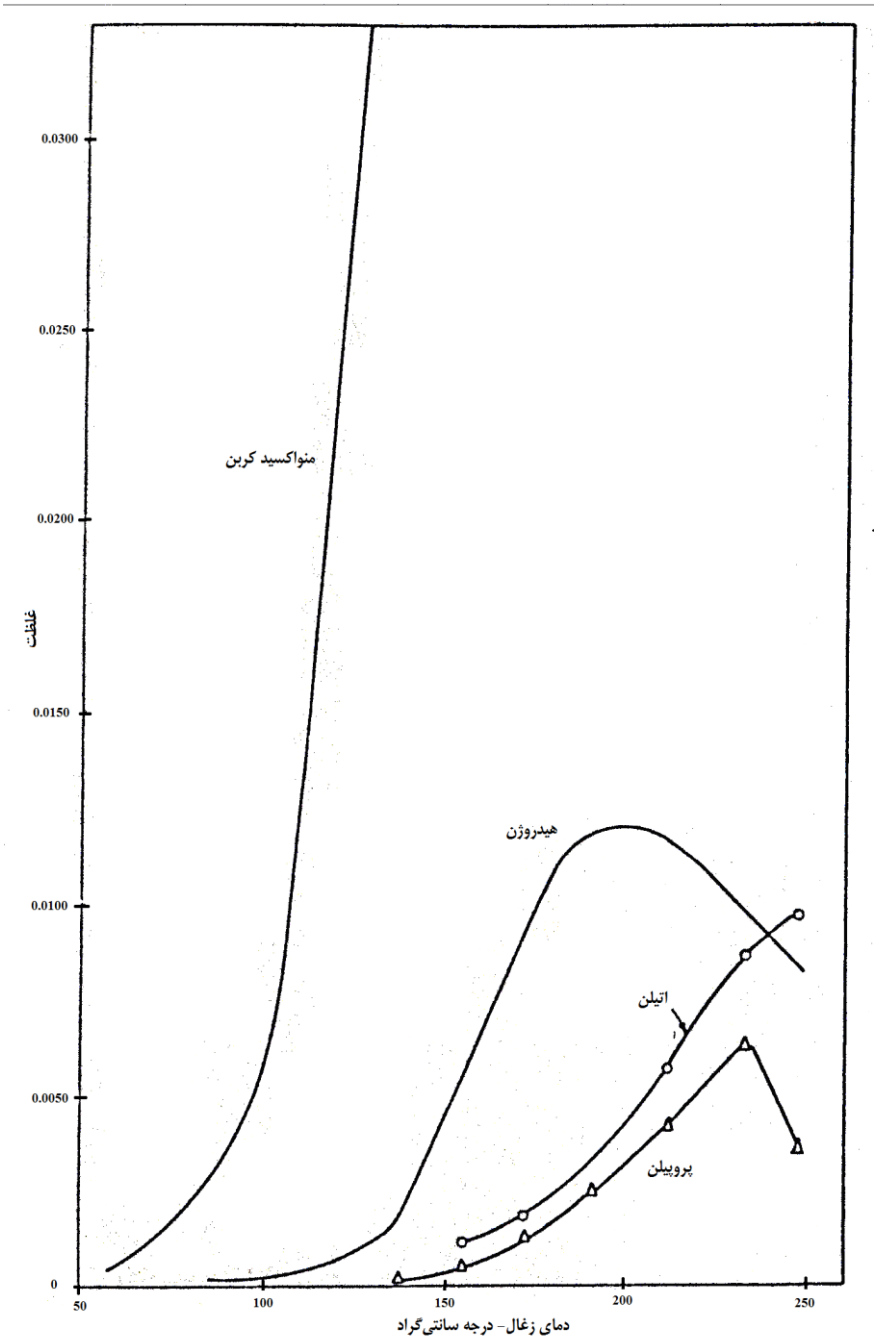
K ثابت تناسب

شیب نمودار تغییرات $Ln\frac{dT}{dt}$ نسبت به $\frac{۱}{T}$ برابر با $\frac{E}{R}$ است و از این طریق می‌توان K را به دست آورد. این شیب در فاصله ۸۰ تا ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد متغیر است، بنابراین محاسبه باید در خارج از این محدوده انجام گیرد. شکل ۷-۲

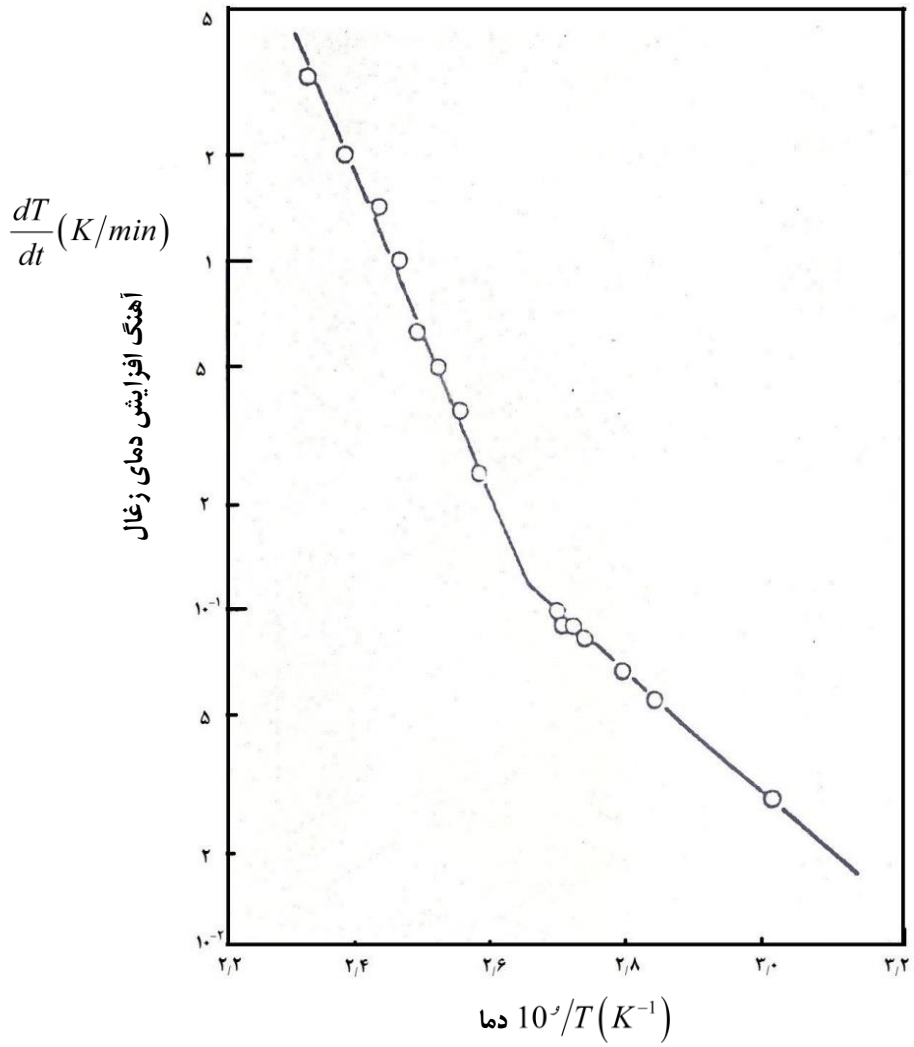
1- Peroxy
2- Chemisorption

نمونه‌واری از منحنی‌های آرنیوس را نشان می‌دهد. ضریب K برحسب محتوای اکسیژن و رطوبت زغال، ابعاد میانگین ذرات نمونه تحت آزمایش و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خود زغال تغییر می‌کند.

ایجاد حرارت در نتیجه مرطوب شدن زغال‌های رده پایین، عامل موثری در خودسوزی آن‌ها است و به تشکیل ترکیبات اکسیژن و زغال سرعت می‌بخشد. در زغال‌سنگ‌های اشباع نشده، یک درصد افزایش در رطوبت محتوا، دمای زغال را حدود ۲۲ درجه سانتی‌گراد بالا می‌برد. در دماهای کمتر از ۸۰ درجه سانتی‌گراد، گرمای ناشی از واکنش زغال خشک و رطوبت، بیشتر از گرمای حاصل از اکسایش است.



شکل ۷-۱- یک منحنی نمونه‌وار آزمایش اکسایش زغال



شکل ۷-۲- نمونه‌واری از منحنی‌های آرنیوس

۷-۳- عوامل موثر در خودسوزی زغال

عوامل مهم در خودسوزی زغال به شرح زیر است:

۷-۳-۱- عوامل ذاتی

الف- رده زغال

رده زغال مهم‌ترین عاملی است که در استعداد خودسوزی موثر است. هر چه رده زغال پایین‌تر باشد، اکسایش آن سریع‌تر اتفاق می‌افتد. به این ترتیب لیگنیت و ساب‌بیتومین‌ها از نظر خودسوزی مستعدترین و آنتراسیت‌ها کم استعدادترین هستند. محتوای کربن و اکسیژن زغال‌سنگ هم که با رده آن‌ها در ارتباط‌اند، غالبا با این استعداد مرتبط می‌شوند.

اگر چه در این مورد استثناهایی دیده می‌شود ولی همیشه رابطه نسبتا روشنی بین سرعت اکسیدشوندگی زغال و مرتبه دگرگونی آن وجود دارد. این امکان وجود دارد که بخشی از یک لایه زغال مستعدتر از بخش دیگر آن باشد و یا یک لایه خاص ممکن است در شرایط گوناگون رفتار متفاوتی از خود نشان دهد، بنابراین عوامل درونی دیگری نظیر تخلخل، سختی و ترکیب پتروگرافی همراه با عوامل بیرونی مثل شرایط محیطی اطراف زغال نیز در این مورد اهمیت دارند.

ب- رطوبت

نقش رطوبت در خودسوزی زغال بسیار پیچیده است و به ویژه هنگامی اهمیت می‌یابد که زغال‌های رده پایین مورد نظر باشند. آب یا به طور سطحی جذب می‌شود، یا در ترکیب شیمیایی شرکت می‌کند و یا به طور مکانیکی با زغال مخلوط می‌شود و در هر حالت، تاثیر جداگانه‌ای بر اکسایش می‌گذارد.

اختلاط مکانیکی آب با زغال احتمالا به این دلیل که دسترسی اکسیژن به سطح زغال را کم می‌کند، فرآیند اکسایش را کند می‌سازد. خشک شدن زغال یک فرآیند گرماگیر است و افت گرما در اثر تبخیر آب از سطح زغال بیتومینه خیس سه تا چهار برابر بیش از گرمایی است که اکسایش آن تولید می‌کند. با این وجود، اگر زغال خشک شود، سطوح اکسید شونده بیشتری پیدا می‌کند و واکنش‌پذیرتر می‌شود.

در هر آزمایش برای سنجش استعداد خودسوزی باید رطوبت محیط اکسیدکننده تحت کنترل در آید، به نحوی که فقط رطوبت محتوای خود زغال موثر باشد.

پ- اکسیژن

محتوای اکسیژن یکی از معیارهای رده زغال است به طوری که هر چه اکسیژن بیشتر باشد، زغال به رده پایین‌تری تعلق دارد و فعال‌تر است. ارتباط بین آهنگ اکسایش زغال و غلظت اکسیژن جو اطراف آن، مطابق رابطه ۷-۵ است.

$$R = K.P^n \qquad (۵-۷)$$

که در آن:

R سرعت جذب اکسیژن

K ثابت تناسب

P فشار جزیی اکسیژن در محیط اکسایش

n مرتبه اکسایش

مقدار تجربی n بین ۰٫۵ تا ۰٫۶۶ برآورد شده است.

ت- ابعاد ذرات

هر چه ابعاد ذرات زغال ریزتر باشد، سطح آزاد آن بیشتر است و تمایل بیشتری به خودسوزی دارد. نه تنها سطوح خارجی ذرات بلکه سطوح داخلی نظیر حفرات و درزه‌ها نیز در معرض اکسایش قرار می‌گیرند. بعضی از زغال‌سنگ‌ها

ساختار گسترده‌ای از تخلخل مرتبط به هم دارند که اکسیژن در آن‌ها رسوخ می‌کند و مکان‌های مناسبی برای اکسایش به وجود می‌آورد. چنین ساختارهایی در آنتراسیت به فراوانی دیده می‌شود.

افزایش سرعت اکسایش با توجه به ابعاد ذرات زغال، مطابق رابطه ۷-۶ است.

$$R = K.S^n \qquad (۶-۷)$$

که در آن:

R سرعت جذب اکسیژن

K ثابت سرعت واکنش

S مساحت سطح در معرض اکسایش

n مرتبه واکنش با توجه به مساحت سطح در معرض اکسایش که بین ۰/۳۳ تا ۰/۶۵ متغیر است.

در دمای پایین، اکسایش به همان سرعتی که روی سطح زغال عمل می‌کند، در درون آن نیز رخ می‌دهد. با کاهش ابعاد ذرات، سرعت اکسایش زیاد می‌شود اما زمانی می‌رسد که این افزایش بسیار اندک است. به عنوان مثال در مورد ابعاد ۵۰ میکرونی، اکسیژن کاملا به درون زغال نفوذ می‌کند.

ث- گوگرد و کانی‌های گوگرددار

به نظر می‌رسد که گوگرد به شکل پیریت (FeS_2) و پیروتیت (FeS) نقشی فرعی در تمایل زغال به خودسوزی داشته باشد اما محققان بر این باورند که گوگرد عامل اصلی بروز خودسوزی در بعضی از زغال‌ها است. احتمالا مهم‌ترین اثر گوگرد این است که پیریت و پیروتیت ضمن اکسایش متورم می‌شوند و زغال را به قطعات کوچکتری می‌شکنند و از این طریق به انتشار اکسیژن کمک می‌کنند و مساحت سطح آزاد زغال را افزایش می‌دهند. بعضی از عوامل شیمیایی سرعت اکسایش را افزایش یا کاهش می‌دهند. به عنوان مثال بازها و اسیدها سرعت اکسایش را افزایش و برات‌ها، کلرید کلسیم و بعضی عوامل رطوبت‌زا سرعت اکسایش را کاهش می‌دهند. این عوامل شیمیایی اکثرا در مقادیر بسیار جزیی در لایه‌های زغال حضور دارند. برای محدود کردن خودسوزی از برخی از این مواد استفاده می‌شود.

ج- پتروگرافی زغال

پتروگرافی زغال در فرآیند خودسوزی نقش مهمی دارد. نفوذپذیری، ابعاد ذرات و مساحت سطوح داخلی زغال‌سنگ وابسته به نوع ماسرال‌های آن است.

فوزینیت به دلیل داشتن مساحت آزاد زیاد قابلیت خودسوزی بالایی دارد. همچنین اگزینیت[1]، به ویژه در دمای بیش از ۷۰ درجه سانتیگراد بسیار واکنش‌پذیرتر است. بنابراین با شمارش ماسرال‌ها، اندازه‌گیری ضریب انعکاس و رده زغال‌سنگ، می‌توان تا حدی به استعداد خودسوزی آن پی‌برد. با تعیین محتوای ماسرالی ممکن است بتوان علت وجود ناهماهنگی‌هایی در مشخصات اکسایش زغال‌های هم رده، متعلق به یک لایه مشابه یا چندین لایه مختلف را توجیه کرد.

1- Exinite

چ- متان

برخی تجربیات نشانگر آن است که متانی که به طور سطحی جذب زغال شده است، احتمالا مانع از انجام واکنش‌های اولیه اکسایش می‌شود زیرا در اثر جذب متان، امکان نفوذ اکسیژن به داخل زغال بسیار محدود می‌شود. متان یک جو خنثی در مجاورت سطح زغال به وجود می‌آورد، بنابراین در مناطقی مانند سطح زمین، گسل‌ها، گسستگی‌ها و لایه‌های نفوذپذیر که متان دفع می‌شود، تمایل زغال به اکسایش افزایش می‌یابد.

ح- سن

زغال‌سنگ استخراجی به محض تماس با اکسیژن اکسیده می‌شود مگر رطوبت آن گرفته شود که در این صورت، تا زمانی که مناطق اکسید شونده جدیدی مهیا شود، از سرعت واکنش کاسته خواهد شد. بنابراین از نقطه نظر خودسوزی، زغال قدیمی‌تر معمولا ایمن‌تر از زغالی است که به تازگی استخراج شده است. در زغال‌های پرگاز که تصاعد متان موقتا اکسایش را به تعویق انداخته است، به تدریج که از تصاعد متان کاسته می‌شود، سطوح بیشتری در معرض تماس با اکسیژن قرار می‌گیرد و سرعت اکسایش بالا می‌رود.

خ- خصوصیات فیزیکی

خصوصیات فیزیکی مانند تخلخل، سختی، هدایت گرمایی و گرمای ویژه در سرعت اکسایش موثراند. تخلخل بر مساحت سطوح اکسیده شونده تاثیر می‌گذارد. زغال‌های رده پایین عموما تخلخل بیشتری دارند اما زغال‌های با رده یکسان هم ممکن است تخلخل متفاوتی داشته باشند.

سختی زغال که بر اساس قابلیت شکنندگی یا سایش‌پذیری بیان می‌شود، در سهولت خرد شدن زغال به ابعاد کوچکتر و بنابراین اکسایش بیشتر آن موثر است.

هدایت گرمایی یعنی سرعت انتقال گرما از مساحت واحد به ازای تغییر دمای واحد، در مورد زغال‌سنگ‌ها نسبتا کم است. زغال‌هایی که هدایت گرمایی آن‌ها کمتر است، استعداد بیشتری برای خودسوزی دارند زیرا گرما را بیشتر در خود نگه می‌دارند و دیرتر خنک می‌شوند.

۷-۳-۲- عوامل محیطی

الف- دما

سرعت اکسایش زغال با دما رابطه‌ای مستقیم دارد یعنی با افزایش دما، سرعت اکسایش نیز افزایش می‌یابد. این امر به ویژه وقتی اهمیت دارد که گرمای حاصل از اکسایش، جمع شده و پراکنده نشود. ده درجه افزایش دما، بسته به رده زغال، سرعت واکنش با اکسیژن را ۱٫۲ تا ۲٫۳ برابر می‌کند (کمترین مقدار متعلق به آنتراسیت است). از آنجا که در قبال افزایش دما، فرآیند اکسایش گرما تولید می‌کند، اگر محیط سرد نشود واکنش خود به خود سرعت می‌گیرد.

ب- شدت جریان هوا

اهمیت شدت جریان هوا از این نظر است که از سویی اکسیژن لازم برای واکنش با زغال را فراهم می‌آورد و از سوی دیگر گرمای حاصل از اکسایش را پراکنده می‌سازد. در مواردی که مقدار اکسیژن بسیار کم باشد، به کمک این عامل می‌توان سرعت اکسایش را محدود کرد، به گونه‌ای که ازدیاد دما ناچیز شود. اگر شدت جریان هوا زیاد باشد، هر گونه گرمای تولید شده از محیط خارج می‌شود، دما بالا نمی‌رود و اکسایش در نخستین مراحل خود باقی می‌ماند. در بین این دو حد، شدت جریانی وجود دارد که مقدار هوای موجود برای بالا بردن آهنگ اکسایش کافی است ولی نمی‌تواند گرمای ایجاد شده را به خوبی پراکنده سازد. بنابراین سرعت اکسایش آنقدر زیاد می‌شود که به اشتعال زغال می‌انجامد.

اگر فشار جزیی بخار آب در هوای جریان یافته کمتر از مقدار مشابه در داخل نمونه زغال باشد، رطوبت درون نمونه تبخیر می‌شود و در این حالت، اثر سردکنندگی خواهد داشت. اگر عکس این شرایط برقرار باشد، آنگاه آب در یک واکنش گرمازا، جذب زغال می‌شود و دمای آن بالا می‌رود.

۷-۳-۳- عوامل زمین‌شناسی

از آنجا که وجود گسل‌ها در لایه‌های زغال سبب می‌شود که هوا و بخار آب بتوانند به درون توده زغال راه یابند بنابراین ممکن است در خودسوزی موثر باشند. مناطق سست اطراف گسل‌ها نیز به نشت هوا کمک می‌کنند. به هنگام استخراج لایه‌های کم عمق ممکن است ترک‌های طبقات پوششی به درون لایه زغال گسترش یابند و از طریق آن‌ها زغال در معرض هوا و رطوبت قرار گیرد و قابلیت خودسوزی آن افزایش یابد. از سوی دیگر، زغال‌سنگی که در اثر عوامل تکتونیکی به قطعات ریزتر شکسته می‌شود، سطوح آزاد بیشتری را در معرض اکسایش ایجاد می‌کند. لایه‌های نازک زغال‌سنگ که در بالای یک لایه ضخیم قرار گرفته‌اند وقتی از طریق درز و شکاف‌های ایجاد شده در اثر فعالیت‌های معدنی به سطح زمین یا یک منبع هوایی مرتبط شوند، قابلیت خودسوزی را افزایش می‌دهند.

زغالی که در مناطق استخراج شده بر جای می‌ماند ریسک خودسوزی را بالا می‌برد. وجود پیریت در زغال‌سنگ که زمانی تصور می‌شد یکی از عوامل اصلی خودسوزی است، اکنون به عنوان عامل درجه دوم معرفی شده است.

عمق لایه زغال‌سنگ در خودسوزی موثر است زیرا با افزایش عمق، دمای محبوس در زمین اضافه می‌شود. افزایش دمای محبوس موجب بالا رفتن ریسک خودسوزی می‌شود، زیرا سرعت عمل اکسایش به سرعت با دما افزایش می‌یابد.

۷-۴- آزمون‌های سنجش استعداد خودسوزی

معمولا انواع مختلف زغال‌ها در حین استخراج دچار اکسایش شده و در صورت وجود شرایط مناسب خود به خود گرم می‌شوند. از آنجا که استعداد زغال‌ها از نظر تمایل به خودسوزی متفاوت است بنابراین باید سرعت اکسایش هر یک جداگانه بررسی شود.

اگر چه در عمل ممکن است شیوه استخراج یا انبار کردن زغال نیز در مهیا ساختن شرایط خودسوزی نقش اساسی داشته باشد اما معمولا واکنش‌پذیری خود زغال اهمیت بیشتری دارد.

آزمون‌های سنجش استعداد خودسوزی زغال متنوع هستند و از روش‌های متفاوتی برای این منظور استفاده شده است. مهم‌ترین روش‌ها شامل اندازه‌گیری دمای احتراق، نقطه تقاطع، تجزیه حرارتی[1] (DTA)، بی دررو (آدیاباتیک)، ایزوترم و تجزیه گازها به روش کروماتوگرافی گازی است. امکان اندازه‌گیری سنجش به صورت آزمایشگاهی، برجا و به پایش پیوسته وجود دارد.

از جمله مهم‌ترین روش‌ها برای سنجش استعداد خودسوزی زغال، روش تک دمای استاتیک[2] و روش دمای احتراق (دمای نقطه تقاطع) است.

۷-۴-۱- روش تک دمای استاتیک

در این روش، سرعت جذب اکسیژن به وسیله زغال و تصاعد گازهای مختلف در دمای ثابت اندازه‌گیری می‌شود. آزمایش به این صورت است که یک نمونه زغال را درون وان آب بزرگی در دمای ثابت قرار می‌دهند و گرمای حاصل از اکسایش یا مرطوب شدن آن، در مخزن حرارتی نسبتا بزرگی پخش می‌شود.

یکی از روش‌های متداول استفاده از هوای خشک در دمای $۲۵^{\circ}C$ است. نمونه‌های زغال در یک جو نیتروژنی خرد و نگهداری می‌شوند. اکثر آزمایش‌ها در یک ظرف ۲۵۰ سانتی‌متر مکعبی و بر روی ۵۰ گرم زغال تازه خرد شده به ابعاد دانه‌ای ۱۰ تا ۲۰ مش (۰٫۸۵ تا ۲ سانتی‌متر) انجام می‌شود.

فلاسک محفظه‌ای که نمونه در آن قرار می‌گیرد مجهز به یک تراگذار[3] فشار و یک نمونه بردار طولانی مدت گاز به منظور تعیین میزان CO، $CO_۲$، $CH_۴$ دفع شده و $O_۲$ جذب است. نمونه گاز به وسیله یک سرنگ تخلیه و گازها به روش‌های کروماتوگرافی گازی تجزیه می‌شوند. با این دستگاه غلظت CO تا ۵ و تغییرات $O_۲$ را تا $۵۰۰ppm$ تعیین می‌شود.

آزمایش‌ها، هم بر روی نمونه‌های خشک شده و هم نمونه‌های مرطوب انجام می‌گیرد. برای خشک کردن نمونه‌ها آن‌ها را به مدت ۲۴ ساعت در معرض جریان نیتروژن در دمای $۷۰^{\circ}C$ قرار می‌دهند.

یکی دیگر از روش‌های تک دمای استاتیک استفاده از کالریمتر است. با این سیستم می‌توان سرعت واکنش و حرارت حاصل از آن را به طور هم‌زمان و به مدت چند هفته اندازه‌گیری کرد. گاز مورد نیاز برای واکنش، به وسیله پمپ ویژه‌ای به درون کالریمتر دمیده می‌شود و شدت جریان گاز و حجم کل گاز جریان یافته، قابل محاسبه است. ترکیب شیمیایی گازی که از کالریمتر عبور کرده است، به طور خودکار با روش کروماتوگرافی تعیین می‌شود. آهنگ دمیدن گاز به گونه‌ای تنظیم می‌شود که واکنش با زغال، تنها افت کوچکی را در غلظت اکسیژن موجب می‌شود (برای هوا حدود ۱ تا ۲ درصد)

1 - Differential Thermal Analyses
2 - Static isothermal
3 - Transducer

و به این ترتیب، مقدار اکسیژن ترکیب شده با زغال را به کمک اختلاف غلظت اکسیژن بین هوای ورودی و خروجی و شدت جریان هوا، می‌توان محاسبه کرد.

یکی از محدودیت‌های این سیستم، روند کند جانشین‌سازی گاز است، مثلا در مورد یک شدت جریان کم ۳ میلی‌متر مکعب در ثانیه، بیش از ۱۲ ساعت طول می‌کشد تا غلظت اکسیژن در کالریمتر تغییر کند.

این کالریمتر از نوع کالوت[1] است که در آن شار گرمای تولید شده به وسیله واکنش، از روی اختلاف دمای قشر هوای واقع بین دو استوانه متحدالمرکز، اندازه‌گیری می‌شود. استوانه داخلی حاوی نمونه است و استوانه خارجی باید دمای ثابتی داشته باشد. استوانه داخلی محفظه متحرکی دارد که می‌توان آن را از جای خود خارج کرد و به شکل استوانه تو خالی است که نمونه زغال در آن قرار می‌گیرد. در حین آزمایش، گاز اکسید کننده تازه از کف استوانه وارد می‌شود، از بین ذرات زغال عبور می‌کند و از طریق شلنگی که در بالای استوانه تعبیه شده است، به سوی دستگاه کروماتوگراف هدایت می‌شود.

شدت جریان کم استفاده شده باعث می‌شود که گاز در زغال (در جهت عمود بر محور استوانه) در اثر انتشار مولکولی، به طور یکنواخت توزیع شود. ساختمان این کالریمتر در شکل ۷-۳ نشان داده شده است.

انجام موفقیت‌آمیز آزمایش با این سیستم به ثابت باقی ماندن دمای استوانه خارجی کالریمتر بستگی دارد. به دلیل حساسیت زیاد پیل گرمایی[2] و محدودیت‌های ذاتی ترموستات، این سیستم دو کالریمتر یکسان دارد که پیل‌های گرمایی آن‌ها در خلاف یکدیگر نصب شده‌اند و به این ترتیب، نوسانات خارجی دما حذف می‌شود. حساسیت کالریمتر در حدود 10^{-6} وات بر گرم زغال است.

این دو کالریمتر در کنار یکدیگر و درون یک وان ماسه جای می‌گیرند. در این نوع کالریمتر، ترموستات نقش اساسی را ایفا می‌کند، به ویژه این که گرمای حاصل از واکنش‌های کند باید طی چندین هفته متوالی اندازه‌گیری شود. دمای هوایی که از داخل خشک‌کن می‌گذرد باید با دقت $\pm 1^{\circ}C$ کنترل شود.

معمولا در یک آزمایش، ۴۰ گرم زغال خرد شده به ابعاد ۰٫۸۵ تا ۳٫۳۵ میلی‌متر برای ثبت تغییرات اکسیژن و حرارت در دمای $55^{\circ}C$ مورد استفاده قرار می‌گیرد. موازنه دمایی ترموستات، وان ماسه و کالریمترها ۲۴ ساعت به طول می‌انجامد و برای تکمیل آزمایش نیز چند روز یا هفته مورد نیاز است. این کالریمتر به ویژه برای اندازه‌گیری جذب اکسیژن و گرمای واکنش در دماهای نزدیک به هم، مناسب است.

در آزمایش ذخیره‌سازی تک دما، گرمای ایجاد شده از واکنش تجزیه مواد به عنوان تابعی از زمان در دمای ثابت اندازه‌گیری می‌شود. با انجام این آزمایش در چند دمای مختلف می‌توان رابطه عددی بین دما و گرمای تولید شده در مورد جسم تحت بررسی را به دست آورد. این روش برای جامدات، مایعات و خمیرها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

1- Calvet
2- Termopile

کالریمتر در شکل ۷-۳ نشان داده شده است و وان گرمایی بزرگ در یک دمای ثابت نگه داشته می‌شود. در کف این وان، دو سوراخ تعبیه شده که در هر یک، دو دماسنج نصب شده است. بر روی هر یک از دماسنج‌ها محفظه‌های مشابهی قرار داده شده است. یکی از محفظه‌ها حاوی نمونه و دیگری شامل یک ماده بی‌اثر است.

گرمای تولید شده در نمونه مبدل به سیگنال‌های ولتاژی تبدیل می‌شود که متناسب با جریان گرما است. با سنجش اختلاف ولتاژ بین دو دماسنج از ایجاد نوسانات تصادفی در جریان گرما، جلوگیری می‌شود.

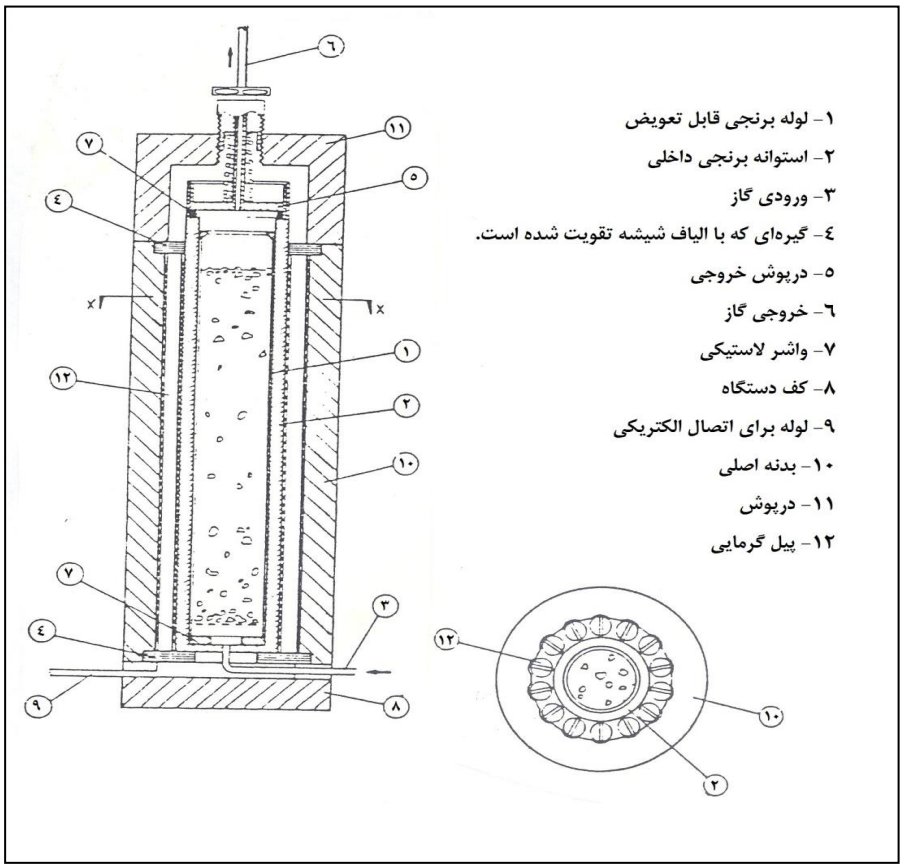
محفظه نگهدارنده نمونه از جنس فولاد ضدزنگ با حجم ۷۰ سانتی‌متر مکعب است و در آن نمونه‌ای به وزن تقریبی ۲۰ گرم ریخته می‌شود. اندازه‌گیری‌ها در محدوده دمایی $-۲۵^{\circ}C$ تا $۱۴۷^{\circ}C$ انجام می‌گیرد. تغییرات سیگنال حاصله از ۵ میلی‌وات بر کیلوگرم تا ۴ وات بر کیلوگرم با خطای حداقل ۳۰ درصد در حد پایینی و ۵ درصد در حد بالایی قابل اندازه-گیری است.

۷-۴-۲- روش دمای احتراق (دمای نقطه تقاطع)

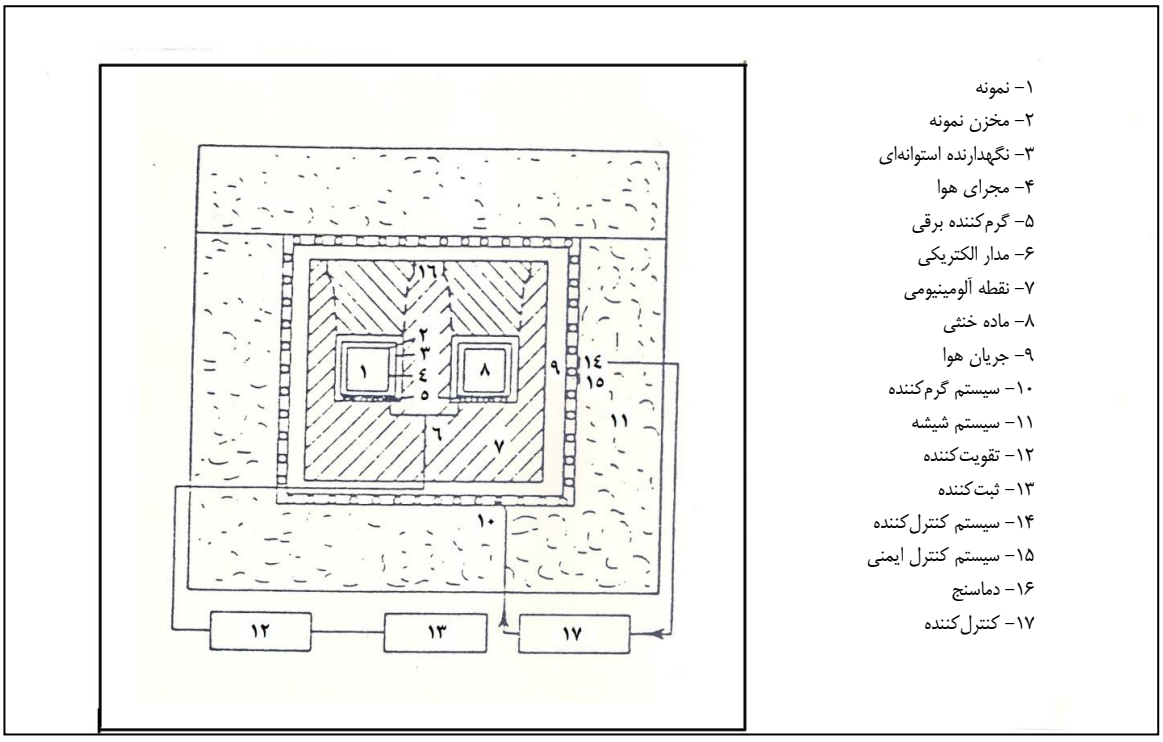
آزمایش آدیاباتیک (بی‌دررو) حداقل دمای شروع واکنش گرمایی زغال را به دست می‌دهد.

یکی از قدیمی‌ترین و متداول‌ترین روش‌های تعیین خودسوزی روش دمای احتراق (دمای نقطه تقاطع) است که امکان انجام آن در کلیه معادن وجود دارد. در این روش، نمونه‌ای از زغال را در یک کوره یا وان به آرامی حرارت داده و هم‌زمان با آن، هوا یا اکسیژن را از درون نمونه عبور می‌دهند. نقطه احتراق حداقل دمایی است که در آن زغال مشتعل می‌شود و بسته به شرایط و رده زغال، از ۱۵۰ تا $۵۰۰^{\circ}C$ متغیر است. زمان لازم برای رسیدن به دمای احتراق بیانگر سرعت اکسایش است. زغال‌سنگی که پایین‌ترین دمای احتراق و کمترین زمان لازم برای رسیدن به این نقطه را دارد از نظر خودسوزی مستعدترین است.

در روش دمای اولیه، نمونه‌های زغال داخل یک خشک‌کن با دمای ثابت، در معرض جریان هوا قرار می‌گیرند. بر روی هر نمونه، آزمایش‌های متعددی در دماهای اولیه مختلف انجام می‌گیرد تا سرانجام کمترین دمایی تعیین شود که در بالاتر از آن، افزایش شتابان دمای نمونه در اثر خودسوزی، اجتناب‌ناپذیر است.



شکل ۷-۳- کالریمتر تک دمای مدل کالوت



شکل ۷-۴- آزمایش ذخیره‌سازی تک دما

روش دمای نقطه تقاطع، آزمایش ساده‌ای است که در آن یک نمونه از پودر زغال که در یک ظرف مناسب قرار دارد، به تدریج گرم می‌شود و در عین حال، هوا یا اکسیژن از درون نمونه عبور می‌کند. دمایی که در آن دمای لایه زغال به دمای محفظه می‌رسد، به عنوان دمای نقطه تقاطع تعریف می‌شود.

دستگاه آزمایش شامل یک ظرف واکنش با دو دیواره، به صورت یک لوله U شکل است که برای به حداقل رساندن انتقال گرما، هوای موجود بین دیواره‌ها تخلیه شده است. این ظرف در یک وان گلیسیرین قرار دارد که در آن یک گرم‌کن برقی نیز غوطه‌ور است. برای یکنواخت کردن دما در تمام وان، حباب دهنده‌ای، مایع درون آن را به هم می‌زند. برای برقراری جریان ثابت در گرم‌کن برقی، از یک ثابت‌کننده ولتاژ استفاده می‌کنند و افزایش دما به کمک یک مبدل خودکار تنظیم می‌شود. ۲۰ گرم نمونه زغال با ابعاد کمتر از ۰٫۲۱ میلی‌متر (۷۲ مش) را بین دو لایه از جنس پشم شیشه درون ظرف واکنش قرار می‌دهند. در طول آزمایش، هوا با شدت جریان ۸۰ سانتی‌متر مکعب در دقیقه دمیده می‌شود. رطوبت هوای ورودی با عبور دادن آن از دو حباب‌ساز آبی که به طور سری در مدار قرار گرفته‌اند کنترل می‌شود. دمای وان با سرعت ۰٫۵ درجه سانتی‌گراد در دقیقه افزایش می‌یابد.

یکی از منحنی‌های نمونه‌وار نقطه تقاطع در شکل ۷-۵ نشان داده شده است.

دمای نقطه تقاطع یا دمای احتراق نسبی را می‌توان برای پی بردن به استعداد خودسوزی به کاربرد. به این صورت که زغال‌های با دمای احتراق نسبی کم، مستعدترین هستند. با این وجود، از آنجا که تمایل به خودسوزی به سرعت تولید گرما نیز بستگی دارد، این عامل نیز باید مدنظر قرار گیرد. برای اندازه‌گیری ریسک خودسوزی از اندیس زیر استفاده می‌شود (رابطه ۷-۷):

$$I = \frac{K}{T_C} \qquad (۷-۷)$$

که در آن:

K سرعت متوسط گرما (بین $۱۱۰^{\circ}C$ و $۲۲۰^{\circ}C$)

T_C دمای نسبی احتراق

سرعت متوسط گرمایش از این نظر بین $۱۱۰^{\circ}C$ و $۲۲۰^{\circ}C$ انتخاب شده است که در این محدوده دمایی، تبخیر آب یا خروج مواد فرار از زغال تاثیر مهمی بر سرعت گرمایش ندارند. زغال‌هایی که اندیس آن‌ها کمتر از ۵ است به عنوان زغال‌های با ریسک کم، ۵ تا ۱۰ زغال‌های با ریسک متوسط و بالاتر از ۱۰ با ریسک بالا نامیده می‌شوند.

۷-۵- نقش عوامل معدنی در خودسوزی زغال

۷-۵-۱- روش استخراج

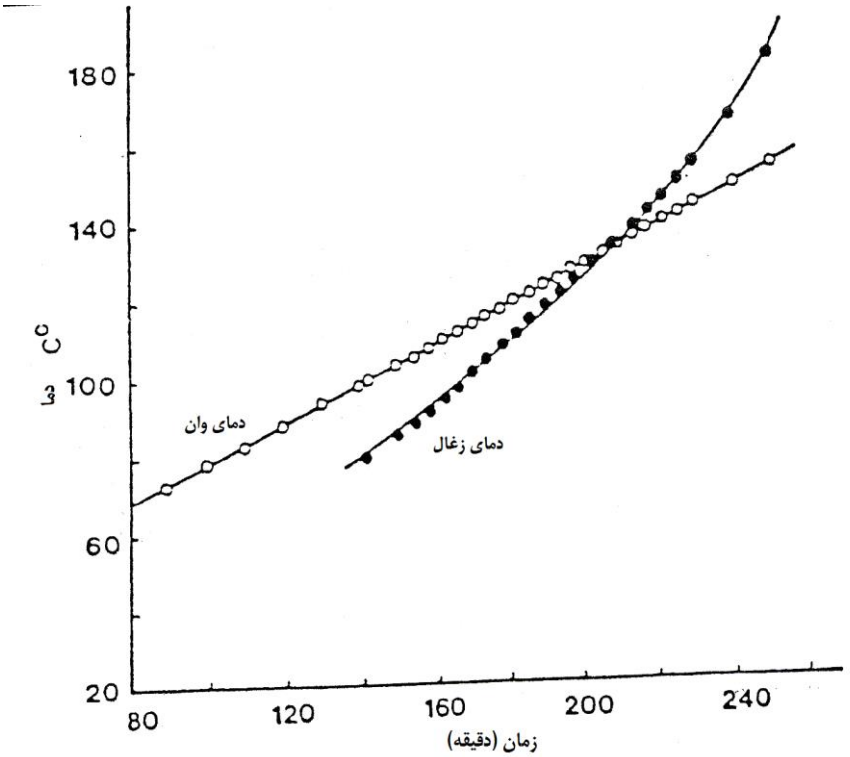
روش استخراج و انبار کردن زغال، ممکن است احتمال خودسوزی آن را افزایش دهد. بخش‌هایی که در آنجا ذرات ریز زغال تجمع می‌یابند، به ویژه مناطق استخراج شده، حادثه آفرین‌اند زیرا در آن‌ها سطح وسیعی از زغال برای اکسایش

فراهم است. نشت هوا به درون پایه‌های زغالی ترکدار و محیط‌های رها شده و متروک معدن، امکان اکسایش زغال و تجمع گرمای تولید شده را فراهم می‌سازد. تحولات ایجاد شده در تهویه معدن به صورت عمدی و غیرعمدی ممکن است باعث نشت هوا شود و یا هوای مرطوب را در مجاورت زغال خشک قرار دهد. به نظر می‌رسد ریسک گرمایش خود به خود در روش جبهه‌کار بلند بیش از روش اتاق و پایه باشد. تخریب کامل یک پهنه جبهه‌کار بلند سبب ریزتر شدن قطعات زغال سنگ باقی‌مانده در منطقه استخراج شده می‌شود و سطوح آزاد بیشتری ایجاد می‌کند.

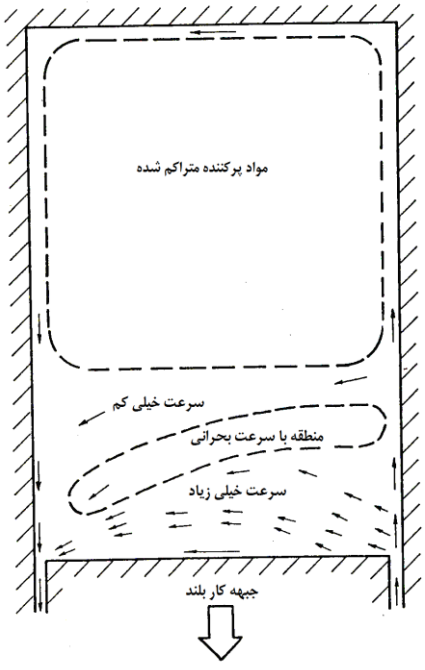
حالات مختلف جریان هوای تهویه که تصور می‌شود که در یک جبهه‌کار بلند وجود داشته باشد در شکل ۷-۶ نشان داده شده است. در این شکل، ناحیه‌ای که سرعت جریان هوا در آن زیاد است، در مجاورت وسایل نگهداری دیده می‌شود. این ناحیه‌ای ایمن است زیرا تهویه برای دور کردن گرمای حاصل از اکسایش در آن کافی است. در بالای ناحیه قبلی یک ناحیه با سرعت بحرانی مشاهده می‌شود و در این ناحیه تهویه برای تامین اکسیژن مورد نیاز خودسوزی کفایت می‌کند اما برای جابه‌جایی گرما کافی نیست. اگر این ناحیه برای زمان زیادی پایدار باقی بماند، احتمال وقوع خودسوزی وجود خواهد داشت. در کنار ناحیه با سرعت بحرانی، ناحیه با سرعت کم قرار گرفته است. مشخصه این ناحیه فشرده بودن مواد در کنار یکدیگر است و در نتیجه مقدار بسیار کمی اکسیژن برای خودسوزی تامین می‌شود.

۷-۵-۲- روش گاززدایی

استفاده از سیستم‌های مرسوم گاززدایی در اکثر کشورها برای معادنی که مستعد خودسوزی هستند، پرخطر تشخیص داده شده است. روش‌هایی ابداع شده است که در عین حال که باعث کاهش اکسیژن موجود در اتمسفر منطقه استخراج شده می‌شود، مانعی برای رسیدن غلظت متان به حد خطرناک است. به خاطر مشکل رسانیدن جریان هوای لازم به تمام بخش‌های منطقه استخراج شده، برای کنترل خودسوزی، بعضی کشورها ترجیح می‌دهند که مقدار اکسیژن اتمسفر منطقه استخراج شده را محدود سازند.



شکل ۷-۵- منحنی نمونه‌وار نقطه تقاطع



شکل ۷-۶- جبهه‌کار استخراج پسرو و نشت هوا

پدیده‌ای به نام جاروب لبه‌ای[1] نامگذاری شده است که در اثر تحکیم دوباره بخش‌های مرکزی پیرامون منطقه استخراج شده رخ می‌دهد. این پدیده بیشتر به هنگام استفاده از سیستم‌هایی رخ می‌دهد که طی آن محیط پیرامون

1- Edge sweep

منطقه استخراج شده تهویه می‌شود اما بخش‌های وسیعی از مرکز آن بدون تهویه باقی می‌مانند. جاروب لبه‌ای که نتیجه به کارگیری سیستم‌های گاززدایی مرسوم است، احتمالا منجر به این می‌شود که حجم قابل توجهی از زغال‌های باقی‌مانده در منطقه استخراج شده در معرض سرعت بحرانی قرار گیرند. تحت این شرایط، اکسیژن مورد نیاز اکسایش تامین شده اما گرما به طور مناسب جابه‌جا نمی‌شود.

به هنگام طراحی سیستم‌های تهویه معادنی که نسبت به خودسوزی حساسیت دارند، باید تدابیر حفاظتی برای مواقعی که از سیستم‌های گاززدایی مرسوم مثل زهکشی متان استفاده می‌شود، مد نظر قرار گیرند.

برای مطالعه بیشتر در مورد گاززدایی به نشریه شماره ۷۰۹ سازمان برنامه و بودجه کشور با عنوان "راهنمای گاززدایی در معادن زغال‌سنگ" مراجعه شود.

۷-۵-۳- مکان وقوع خودسوزی

مناطق استخراج شده مساله‌سازترین مکان‌ها از لحاظ خودسوزی‌اند و مناطق خطرناک از این نظر، حفریات آغازین و پایانی کارگاه‌ها هستند که به اندازه دیگر نقاط منطقه استخراج شده نگهداری نشده‌اند و بنابراین احتمال وجود ناحیه با سرعت هوای بحرانی در آن‌ها وجود دارد. مناطق گسلی به دلیل نشت هوا ممکن است نسبت به خودسوزی حساس باشند. مناطق دارای اختلاف فشار زیاد مثل تنظیم‌کننده‌ها، درها و پل‌های تهویه ممکن است مساله‌ساز باشند، زیرا نشت هوا پیرامون این سازه‌ها و زغال‌سنگ، اکسیژن لازم برای مناطق پنهان مستعد خودسوزی را فراهم می‌سازد و منجر به گرمایش عمقی می‌شود. در مناطقی که سقف ریزش کرده است و همچنین در مناطقی که انباشته‌های خرده سنگ در راهروهای ورودی هوا وجود دارد، به عنوان جایگاه‌های فعال خودسوزی گزارش شده‌اند. نشت هوا به عنوان بیشترین دلیل خودسوزی ذکر شده است. با انتخاب صحیح سیستم‌های تهویه و روش‌های استخراج می‌توان ریسک خودسوزی را به حداقل رساند.

۷-۵-۴- تهویه

نشت هوا، ناشی از وجود اختلاف فشار بین نقاط ورودی هوا و نقاط برگشت یا خروج هوا است. در جریان احداث راهروها می‌توان به گونه‌ای عمل کرد که نشت هوا به حداقل برسد. اگر به هنگام نصب تجهیزات کنترل هوا مانند سدها، پل‌ها و درهای تهویه از نیروهای ماهر استفاده شود، نشت هوا را تا حد زیادی می‌توان کنترل کرد. با انتخاب دقیق محل سدها در مکان‌هایی که در معرض فشارهای سنگین زمین قرار ندارند، می‌توان نشت را به طور موضعی مهار کرد. برای حفاظت سدها باید بین پهنه‌ها و بخش‌های اصلی، پایه‌های زغالی با ابعاد مناسب باقی گذاشته شود. ساختمان یک سد که مقاومت خوبی در مقابل نشت هوا داشته باشد، شامل دو دیواره مجزا است که از بلوک‌های سیمانی فشرده تشکیل شده و فضای خالی بین آن‌ها را پودر سنگ پر کرده است. اگر در ناحیه با تنش زیاد احداث سدی ضرورت داشته باشد، ساختمان آن باید به گونه‌ای طراحی شود که قابلیت انعطاف‌پذیری داشته باشد و تخریب نشود. چنین سدی از بلوک‌های

چوبی به طول یک متر و ابعاد عرضی ۲۰×۲۰ سانتی‌متر تشکیل می‌شود. این بلوک‌ها را به گونه‌ای کنار یکدیگر قرار می‌دهند که ضخامت سد به یک متر برسد. برای پر کردن منافذ اطراف هر بلوک از پودر سنگ استفاده می‌شود. سدهای فشرده چوبی موثرترین روش برای مهار نشت به حساب می‌آیند که در آن‌ها بارگذاری سنگین، فضاهای خالی باقی‌مانده در بین بلوک‌ها را پر می‌کند.

فضاهای متروک و قدیمی که برای خودسوزی مستعد هستند باید مسدود شوند. رسیدن حداقل هوای لازم به فضاهای قدیمی، که به طور موضعی یا کامل تخریب شده‌اند، احتمالا شرایط مناسبی برای خودسوزی مهیا می‌کند. تامین جریان هوایی که به طور موثر گرمای حاصله از اکسایش را از محل دور کند و در ضمن تمام قسمت‌های پهنه‌های متروک شده را تحت پوشش قرار دهد، مشکل است. بنابراین برای کنترل خودسوزی در مناطق متروکه، بهترین راه، احداث سدها است. به دلایلی که قبلا ذکر شد، مناطق استخراج شده در جبهه‌کارهای بلند از مستعدترین مناطق برای خودسوزی به حساب می‌آیند.

از متعادل کردن فشار در اطراف سدها برای حداقل کردن نشت استفاده می‌شود و به این وسیله ریسک خودسوزی کاهش می‌یابد. برقرار کردن تعادل فشار در اطراف سدها نیاز به شناخت کاملی از شبکه تهویه دارد.

تغییرات تهویه باید توسط افرادی که شناخت کاملی از شبکه تهویه دارند انجام گیرد. تغییرات نادرست ممکن است یک سیستم با دقت متعادل نشده را از هم بپاشد و منجر به افزایش نشت در محدوده سدها شود. خودسوزی با تغییرات ایجاد شده در تهویه پیوند خورده است. فشار متعادل شده در مکان‌های بحرانی باید به طور پی‌درپی مورد بازبینی قرار گیرد و با توجه به تغییرات به وجود آمده در تهویه، اصلاح شود.

به هنگام استفاده از تونل‌های عرضی یا گمانه‌های قائم زهکشی متان، باید دقت زیادی به کار برد تا نشت بیش از اندازه هوا در لایه زغال‌سنگ یا منطقه استخراج شده انجام نگیرد. برای اینکه غلظت متان پایین‌تر از حد مجاز حفظ شود، در نواحی قابل دسترس، جریان هوا باید دارای سرعت بهینه‌ای باشد و در عین حال سرعت هوا را باید به گونه‌ای تنظیم کرد که اکسایش کنترل شود.

به هنگام زهکشی متان باید غلظت آن را اندازه گرفت که امکان ایجاد یک مخلوط قابل انفجار در مسیر زهکشی تا پمپ وجود نداشته باشد.

برای مطالعه بیشتر به نشریه شماره ۷۰۹ سازمان برنامه و بودجه کشور با عنوان "راهنمای گاززدایی در معادن زغال‌سنگ" مراجعه شود.

۷-۵-۵- فعالیت‌های معدنی

فعالیت‌های معدنی ممکن است ریسک خودسوزی را بالا ببرد. کاهش سرعت پسروی جبهه‌کار بلند در لایه‌های زغال‌سنگ با ریسک زیاد، اغلب منجر به پدیده خودسوزی می‌شود. در سطح یک جبهه‌کار بلند که با سرعت پسروی می‌کند، ناحیه بحرانی که قبلا توضیح آن آمد، با همان سرعت پسروی، در قسمت استخراج شده جابه‌جا می‌شود. چنین

تصور می‌شود که اگر سطح جبهه‌کار با سرعت حداقل پسروی کند، زمان کافی برای تولید گرمای زیاد وجود نخواهد داشت. اگر سرعت استخراج کند یا متوقف شود، به گونه‌ای که دوره نهفتگی در لایه زغال‌سنگ مشخص فرصت ظهور یابد، احتمالا خودسوزی گسترش می‌یابد. اگر کار تولید به سبب مشکلات ناشی از برخورد به منطقه گسلی کند شود، با افزایش نشت در گسل‌ها، وضعیت بدتر می‌شود. بنابراین در صورت توقف یک جبهه‌کار بلند در لایه‌ای با ریسک زیاد، تدابیر ویژه‌ای باید در نظر گرفته شود.

دقت در جلوگیری از باقی ماندن و تجمع مواد قابل خودسوزی مثل الوار و قطعات چوبی و مواد نفتی در منطقه استخراج شده، ضروری است. الوارهای باقی‌مانده در منطقه پر شده پس از استخراج ممکن است در اثر پوسیدن یا دلایل دیگر منجر به ایجاد ساختارهای متخلخل شوند که ممکن است نشت را در پی داشته باشد. همچنین ممکن است در اثر گرمای حاصل از خودسوزی زغال‌سنگ، این مواد مشتعل شوند و آتش‌سوزی به وجود آورند.

مقدار زغال‌سنگ برجا مانده در منطقه استخراج شده باید به حداقل ممکن برسد. بدین منظور، حتی‌المقدور باید تمام لایه زغال‌سنگ استخراج شود. استخراج در مناطق ناخواسته یک پهنه، کار صحیحی نیست. در اثر باقی ماندن مواد زاید و دور افتاده در منطقه استخراج شده که احتمالا فضاهای خالی را ایجاد می‌کنند و از این طریق نشت هوا را موجب می‌شوند، ممکن است حرارت ایجاد کنند. باقی ماندن مواد قابل خودسوزی و احتمال شکل‌گیری فضاهای خالی که موجب نشت می‌شود، ریسک وقوع خودسوزی را بالا می‌برد.

۷-۶- تشخیص خودسوزی در معادن زغال

اگر وقوع آتش‌سوزی در همان مراحل اولیه شکل‌گیری ردیابی شود، احتمالا می‌توان معدن را از خسارات قابل توجه و متعاقب آن اتلاف و وقفه در تولید، محافظت کرد، بنابراین شناخت روش‌های تشخیص و آشکارسازی زودهنگام خودسوزی برای مسوولان معدن ضروری است.

در زمان‌های قدیم از بوی آتش یا مواد نفتی برای تشخیص آتش‌سوزی استفاده می‌شد که در بعضی موارد با موفقیت همراه بود. از آنجا که این روش به ادراک معدنکاران بستگی دارد، بنابراین اعلام خطرها در بعضی مواقع بیش از اندازه بود و در برخی موارد نیز پس از رسیدن خودسوزی به حالت غیرقابل کنترل، اعلام می‌شد.

متداول‌ترین روش آشکارسازی زودهنگام خودسوزی در ابتدای دهه هفتاد، استفاده از شاخص گراهام بود که با رابطه ۷-۸ تعریف می‌شود:

$$G_I = \frac{CO}{O_2} \qquad (۷-۸)$$

که در آن:

CO مونوکسیدکربن تولید شده

O_2 اکسیژن جذب شده

برای کاربرد موفقیت‌آمیز این روش، باید غلظت مونواکسید کربن در هوای معدن با دقت *ppm* و غلظت اکسیژن و ازت با دقت یک صدم درصد تجزیه و تعیین شود. در حال حاضر برای تعیین مقدار اکسیژن از تجزیه‌کننده‌های پارامغناطیس و برای تعیین غلظت مونواکسید کربن از تجزیه‌کننده‌های مادون قرمز یا الکتروشیمیایی استفاده می‌شود. با توسعه روش‌های کروماتوگرافی، اکنون سنجش ازت به طور مستقیم امکان‌پذیر شده است.

به منظور تشخیص خودسوزی در مراحل اولیه در برخی کشورها، سیستم آشکارساز پیوسته مونواکسید کربن به کار گرفته شده که با موفقیت همراه بوده است. بر اساس مطالعات انجام شده اگر غلظت مونوکسید کربن به طور پیوسته ثبت شود، تغییرات گاه و بیگاه و کوتاه مدتی که در اثر آتشباری یا کار موتورهای دیزلی به وجود می‌آید، به آسانی قابل تشخیص است و به نظر می‌رسد مشکل چندانی در مورد بررسی منظم غلظت مونواکسید کربن در هوای معدن، وجود نداشته باشد. برای پیش‌بینی خودسوزی در معادن زغال‌سنگ حتما لازم نیست که نسبت گراهام محاسبه شود و سیر غلظت مونواکسید کربن را به تنهایی و با همان دقت روش‌های قبلی می‌توان به عنوان شاخص به کار برد.

تجربیات انجام شده به صورت نمونه‌برداری پیوسته از هوای معدن، در بعضی معادن نشانگر آن است که دنبال کردن روند تغییرات غلظت مونواکسید کربن در هوای معدن اطلاعات با ارزشی درباره تشخیص زودهنگام گرمایش به دست می‌دهد و نتایجی که به این ترتیب کسب می‌شود، دست کمی از نتیجه کار با شاخص گراهام ندارد. پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای که با استفاده از کامپیوتر در پردازش اطلاعات حاصل از نمونه‌برداری‌های هوای معدن حاصل شده، مشکل انجام محاسبات سالیانه و روزمره روند مونواکسید کربن و یا نسبت گراهام را بر طرف کرده است.

اساس کار بیشتر سیستم‌های بحث شده بر ردیابی و تخمین تولید گازها در جریان اکسایش زغال در دمای پایین استوار است. بر اساس بعضی از این تحقیقات، مشخص شده است که گرمای تولید شده در طول فرآیند گرمایش، مقدم بر ظهور نشانه‌های دیگر است. بنابراین با اندازه‌گیری تغییرات دما، تشخیص خودسوزی در مراحل آغازین امکان‌پذیر است. با مرور روش‌هایی که محققان برای تشخیص اولیه خودسوزی بر پایه تغییر دما انجام دادند، این نتیجه حاصل شد که گرمای ایجاد شده در جریان اکسایش، به سرعت در اثر تهویه معدن پراکنده می‌شود و اگر حسگرهای حرارتی بسیار نزدیک به ناحیه مورد نظر نصب شوند، در مراحل اولیه خودسوزی، هیچ تغییر محسوسی در دما را نمی‌توان ردیابی کرد. به علاوه، تفسیر تغییرات کوچک در دمای هوای معدن به دلیل وجود عوامل مختلف گرمازا، بسیار مشکل است. بنابراین برای موفقیت این سیستم لازم است تعداد زیادی حسگر در تمام نقاط معدنی که استعداد خودسوزی دارد، نصب شود. چنین گستردگی از تجهیزات همراه با مسایل تعمیر و نگهداری دستگاه‌ها، کاربرد سیستم‌های سنجش دمای اولیه گرمایش را مشکل می‌سازد.

تحقیقات نشان می‌دهد که دو سیستم زیر به طور مشابهی قابلیت لازم برای تشخیص آغازین خودسوزی در معادن زغال‌سنگ را دارا هستند:

الف- سیستمی بر پایه نمونه‌گیری پیوسته مونواکسید کربن از هوای معدن

ب- سیستمی بر اساس سنجش تغییرات دما با استفاده از روش‌های مادون قرمز

۷-۶-۱- سیستم نمونه‌گیری و نظارت مداوم مونواکسید کربن

تحقیقاتی که با استفاده از یک سیستم نظارت مونوکسید کربن شامل چهار شاخه نمونه‌گیری در معادن زغال‌سنگ در حال بهره‌برداری از ده لایه زغالی انجام شده بود نشان داد که بررسی‌های آزمایشگاهی که قبلا بر روی زغال‌سنگ این کانسار انجام شده بود به هنگام اکسایش در دمای نسبتا پایین، مقدار قابل توجهی مونواکسید کربن از زغال متصاعد می‌شود بنابراین به نظر می‌رسد سیستمی که بر اساس نظارت بر مونواکسید کربن در هوای معدن کار می‌کند، برای ردیابی زودهنگام خودسوزی مفید باشد (جزییات این مطالب در پیوست دو آمده است).

۷-۶-۲- تشخیص به وسیله اشعه مادون قرمز

تمام اجسام در دمای بالاتر از صفر مطلق از خود، انرژی مادون قرمز ساطع می‌کنند. دماسنج‌های مادون قرمز قادرند تشعشعات سطح گرم را دریافت کرده و به علایم الکتریکی تبدیل کنند. علایم الکتریکی برحسب دما مدرج شده‌اند. بعضی از دماسنج‌ها برای سنجش اختلاف دما نسبت به یک استاندارد از پیش اندازه‌گیری شده طراحی می‌شوند، در حالی‌که برخی دیگر برای سنجش مستقیم دمای مطلق به کار می‌آیند. تا زمانی که هدف در میدان دید وسیله قرار دارد، ابعاد آن در دقت اندازه‌گیری دما نقشی ندارند. برای دستیابی به دقت بیشتر باید هدف در فاصله کانونی دستگاه قرار گیرد. این دماسنج می‌تواند دمای یک جسم را در مسافت ۲۰ متری با دقت اندازه‌گیری کند. محدوده کار این دماسنج صفر تا ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد با دقت $\pm ۲^{\circ}C$ است که برای تشخیص آغازین خودسوزی مناسب است.

بررسی‌های اولیه با استفاده از این وسیله در چندین معدن نشان می‌دهد که تغییر دما در فواصل ۳۰ تا ۶۰ متری در راهرو تهویه قابل ملاحظه نیست و در حدود $\pm ۲^{\circ}C$ است. بسته به شیب زمین گرمایی و سیستم تهویه، دمای مطلق بعضی از مناطق نسبت به نواحی دیگر بیشتر است. در صورت انتخاب یک تعرفه دمایی برای نقاط مختلف یک معدن، به کمک تجهیزات مادون قرمز می‌توان نواحی گرمازا را تعیین کرد.

با پایشگرهای مادون قرمز در بررسی‌های جامع چندین معدن نتایج زیر به دست آمده است:

الف- در بررسی‌های گرماسنجی، در یکی از سدهای منطقه استخراج شده، اختلاف دمای غیرعادی ثبت شد. اختلاف دما رفته رفته به ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت اما متعاقبا به ۸ درجه سانتی‌گراد نزول کرد. هیچ مرکز حرارتی در مجاورت سد دیده نشد. بالاخره معلوم شد که واقعه خودسوزی جدیدی در کار نبوده بلکه احتمالا وقوع یک آتش‌سوزی قدیمی در منطقه استخراج شده موجب تمرکز گرما و بالا رفتن دمای سد شده است.

ب- طی مراحل پایانی تولید در یک پهنه، یک قسمت از هوای بازگشتی از درون راهروی متروکی که در آن مقداری زغال در اثر عملیات پر کردن انباشته شده بود، عبور کرد. بررسی‌های گرماسنجی اختلاف دما را به تدریج تا میزان ۱۰ درجه سانتی‌گراد نشان داد. مشاهدات بعدی افزایش بیشتری را به ثبت نرساند. تجزیه هوای عبوری از توده زغال نیز هیچ تغییری در غلظت مونواکسید کربن را نشان نداد. زمانی که استخراج پهنه خاتمه یافت، جریان هوا از راهرو یاد شده متوقف شد و در زمان کوتاهی دما دوباره به مقدار معمول خود بازگشت.

پ- در جریان یکی از بررسی‌های گرماسنجی در یک معدن زیرزمینی زغال‌سنگ، پایشگر مادون قرمز محلی را که از آنجا آب داغ وارد راهرو معدن می‌شد مشخص ساخت، در حالی که در آنجا مرکز حرارتی یا خودسوزی مشاهده نشد. بعدها معلوم شد که آب داغ از منطقه‌ای که دچار حریق بود، سرچشمه می‌گیرد.

ت- در بعضی از معادن بررسی‌های گرماسنجی در تلمبارهای زغال‌سنگ نیز به کار رفته و نواحی مساله‌دار با پایشگر مادون قرمز مشخص شده‌اند. پس از تشخیص ناحیه مساله‌ساز، دماسنج‌های مادون قرمز به منظور مطالعه سیر تغییرات دما مورد استفاده قرار گرفت و به توصیه مدیریت معدن یک نظارت منظم بر روی این نواحی انجام شد تا بتوان پیشگیری‌های لازم را برای مقابله با خودسوزی به عمل آورد.

ث- در یکی از معادن مورد بهره‌برداری، بررسی‌های گرماسنجی در یکی از انبارهای زغال‌سنگ اختلاف دمایی معادل ۴۰ درجه سانتی‌گراد را در منطقه کوچکی نمایان ساخت. آزمایش‌های دقیق‌تر بعدی تایید کرد که در این منطقه، خودسوزی در حال وقوع است، بنابراین مدیریت دستور داد تا اقدامات لازم بدون تاخیر انجام شود.

ج- در جریان بررسی گرماسنجی تعدادی کپه زغال‌سنگ، اختلاف دمای غیرعادی در منطقه کوچکی از یک توده بزرگ مشاهده شد. آزمایش‌های متعاقب نشان داد که ایجاد گرما فقط در سطح انجام گرفته است و عمقی نیست. بنابراین می‌توان گفت که افزایش دما در سطح همیشه نشانگر وجود کانون گرمازا در عمق نیست.

۷-۶-۳- سیستم نمونه‌برداری دوره‌ای گاز

در معادن مستعد خودسوزی باید از نواحی مسدود شده، راهروهای بازگشت هوا و مناطق استخراج شده به طور روزانه نمونه‌های گاز تهیه شده و به روش کروماتوگرافی تجزیه و تحلیل شوند. نتایج به دست آمده برای تشخیص روندهای منجر به اکسایش مفید است. برای هر مکان نمونه‌برداری باید پرونده‌ای تشکیل داد تا هر تغییر مهمی نسبت به حالت عادی در مراحل اولیه مشخص شود. روند تغییرات اعداد به دست آمده نسبت به خود اعداد به تنهایی، اهمیت بیشتری دارد. فاصله زمانی بین دو نمونه‌برداری متوالی بسته به درجه ریسک خودسوزی و تجربیات پیشین متفاوت است. هفته‌ای حداقل یک‌بار نمونه‌برداری از گاز ضروری است و بسته به شرایط ممکن است نمونه‌برداری بیشتر مورد نیاز باشد. نمونه‌برداری متناوب اگر به دقت انجام شود احتمال تشخیص واقعه در مراحل ابتدایی را افزایش می‌دهد و بنابراین قطع فعالیت‌های روزمره ضروری نخواهد بود. امروزه در نواحی دارای پتانسیل خودسوزی از دستگاه‌های بر خط (آنلاین) برای پایش پیوسته میزان گاز و حرارت استفاده می‌شود.

رقیق شدن نمونه‌ها به وسیله هوا در تعبیر و تفسیر نتایج اثر منفی می‌گذارد. بدین منظور گراهام[1]، اندیسی را معرفی کرد که روش مناسبی برای آگاهی از وضعیت پیشرفت آتش است. اندیس گراهام یک ضریب بدون بعد است که نقش رقیق شدن نمونه را به میزان زیادی کاهش می‌دهد و به صورت رابطه ۷-۹ تعریف می‌شود:

1- Graham

$$G_I = \frac{CO \times 100}{0.256N_2 - O_2} \quad (۹-۷)$$

که در آن:

G_I اندیس گراهام

CO درصد مونواکسید کربن

N_2 درصد نیتروژن

O_2 درصد اکسیژن

رسم نمودار اندیس گراهام نسبت به زمان معیار مناسبی از میزان عادی گاز در محل نمونه‌برداری را به دست می‌دهد. افزایش اندیس گراهام نسبت به مقدار معمول آن، نشان دهنده افزایش روند اکسایش است، در حالی که افزایش سریع روند آن نشانگر آغاز یک آتش‌سوزی است.

نمونه‌برداری از گمانه‌های زهکشی متان به دلیل نزدیک‌تر بودن به منشا تولید گاز، شاخص مناسبی برای تشخیص اکسایش است. هنگامی که نتایج تجزیه نمونه‌های حاصل از گمانه زهکشی متان به دست آمد، نمودار میزان مونواکسید کربن عاری از متان نسبت به زمان، شاخص مناسبی خواهد بود. این شاخص از رابطه ۷-۱۰ محاسبه می‌شود:

$$I_{CO} = \frac{CO}{(100 - CH_4)} \times 100 \quad (۱۰-۷)$$

که در آن:

I_{CO} اندیس مونواکسید کربن

CO درصد مونواکسید کربن

CH_4 درصد متان

به این ترتیب افزایش در مقدار CO عاری از متان بیانگر افزایش سرعت اکسایش است.

۷-۷- کنترل خودسوزی

گسترش خودسوزی مستلزم مساحت زیاد سطح مواد خرد شده و جریان آرام هوا از میان این مواد است. به این ترتیب، پدیده خودسوزی در نواحی پر شده یا تخریب شده، لبه‌های شکسته پایه‌ها، باندهای خرد شده زغال در سقف یا کف لایه، مواد تخلیه و انباشته شده در سطح زمین و در مناطق متروک و رها شده معدن اتفاق می‌افتد.

فرآیندهای اکسایش و جذب در تمام یک توده زغال خرد شده قابل سوختن به طور یکسان رخ نمی‌دهد و بستگی به سرعت و جهت جریان هوا و فشردگی هوا در محل تماس با لایه‌ها با یکدیگر (مساحت سطح تماس لایه‌ها بسته به هندسه ناحیه) و دانه‌بندی زغال دارد. افزایش سریع دما که از مشخصات مراحل پایانی یک آتش‌سوزی پنهانی است، ابتدا در کانون‌های مجزا یا نقاط داغ رخ می‌دهد. از مشخصات نواحی که در معادن زغال‌سنگ دچار خودسوزی شده‌اند،

بلورهای سبز رنگ سولفات‌های آهنی است که پس از اکسایش به اکسید آهن هیدراته تبدیل می‌شوند. روش گسترش گرمایش نیز به مقدار و جهت نشت هوا بستگی دارد. اما در مورد آتش‌های سر برکشیده، گرایش انتشار خودگرمایی به سبب مواد شکسته شده‌ای است که در طرف مقابل جهت جریان هوا و به عبارت دیگر به طرف راهروهای ورودی، واقع شده‌اند.

۷-۸- مقابله با خودسوزی

سرآغاز اقدامات احتیاطی در مقابل خودسوزی، به هنگام طراحی معدن است. شبکه تهویه باید به گونه‌ای طراحی شود که اختلاف فشار بین راهروهای مجاور و در طول مناطق تخریب شده حداقل شود.

به هنگام طراحی جریان‌های هوا باید به گازها یا آلوده‌کننده‌های دیگری که با هوا نقل مکان می‌کنند توجه شود تا چنین جریان‌های هوایی مانند زهکشی متان کاهش یابد. به کارگیری بادبزن‌های تقویتی، همراه با فنون تحلیل شبکه که محل نصب و کار بادبزن را مشخص می‌کند، روش موثری برای تنظیم فشار است. مقاومت شاخه‌های پیرامون شبکه باید تا آنجا که ممکن است با انتخاب مقاطع بزرگتر یا حفر ورودی‌های موازی پایین نگه داشته شود. در ضمن باید از مسدود کردن این راهروها اجتناب کرد. با محدود کردن مقدار زغال و جلوگیری از باقی گذاشتن الوار، کاغذ و کهنه‌های آغشته به روغن یا مواد قابل اشتعال دیگری که در مناطق استخراج شده باقی گذاشته می‌شوند، می‌توان احتمال خودسوزی را کاهش داد. البته ممکن است برجا گذاشتن زغال در سقف به منظور کنترل آن اجتناب‌ناپذیر باشد اما پاکسازی موثر خرده‌های زغال از جبهه‌کار و نظافت خوب کارگاه باید در معادنی که سابقه خودسوزی داشته‌اند انجام شود.

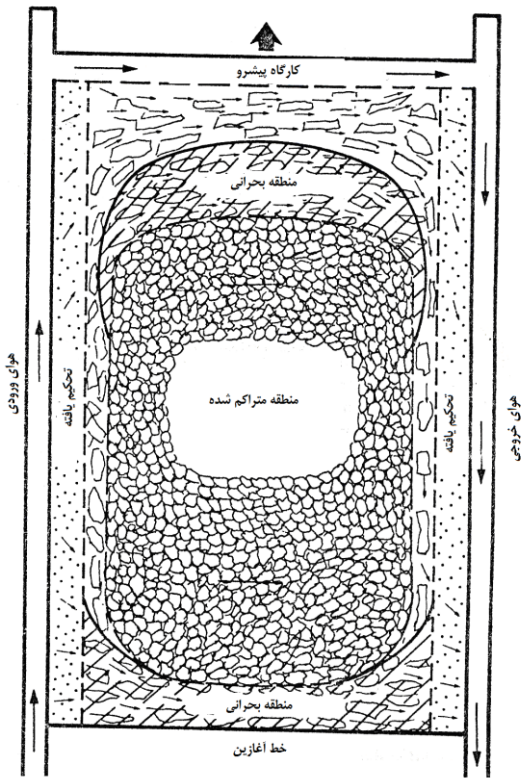
تعیین نقاط برای خودسوزی از وظایف اصلی مسوول تهویه معدن است. نشت هوا از اطراف پل‌ها و درهای تهویه به درون لایه‌ای که در سقف، کف یا طرفین آن زغال وجود دارد ممکن است منجر به بروز خودسوزی شود. کنترل خوب لایه و استفاده از پوشش‌های مناسب در دیواره راهروها در این گونه موارد موثر است.

در معادن زغال پایه‌ها باید به اندازه کافی بزرگ طراحی شوند تا شکستن لبه‌ها و دیواره آن‌ها به حداقل برسد. به هنگام تزریق ملات‌های رقیق به درون پایه، (که احتمالا آخرین راه چاره است)، برای بی‌عیب و نقص ماندن پایه می‌توان از پیچ‌سنگ در جوانب آن استفاده کرد. در اینجا نیز استفاده از پوشش‌های سطحی در جلوگیری از نفوذ هوا کمک می‌کند. با این وجود، مشکل‌ترین نوع خودسوزی در مناطق تخریب شده و به ویژه در نواحی پر شده پس از استخراج معادن زغال‌سنگ رخ می‌دهد.

شکل ۷-۷ مسیرهای حرکت هوا و نواحی دارای بیشترین تمایل به خودسوزی در منطقه تخریب شده یک جبهه‌کار بلند پیشرو را نشان می‌دهد.

این نواحی بحرانی در شرایطی به وجود می‌آیند که جریان هوای نشت یافته، اکسیژن لازم برای پیشرفت اکسایش مواد قابل اشتعال را به طور پیوسته فراهم می‌کند اما آنقدر کافی نیست که گرما را به همان سرعتی که ایجاد می‌شود از

محل دور کند. در این منطقه دو ناحیه را می‌توان تشخیص داد. یکی ناحیه‌ای که در امتداد خطی که پیشروی آغاز شده است، قرار دارد زیرا در آن قسمت، تحکیم ناقص سنگ‌های تخریب شده یا مواد پرکننده باعث ایجاد مسیر نشت بین راهروهای ورود و بازگشت هوا می‌شود. در مرکز منطقه استخراج شده ناحیه دیگری قرار دارد که تحکیم زیاد آن اجازه نشت بسیار کمی را می‌دهد. یک ناحیه بحرانی نیز مابین قسمت مرکزی کاملا تحکیم یافته و سطح در حال پیشروی نمایان می‌شود. ناحیه اخیر ساکن نیست بلکه به تبعیت از جبهه‌کار، پیشروی می‌کند. با توجه به عامل زمان در پیشرفت خودسوزی، واضح است که اگر جبهه‌کار به طور پیوسته و با سرعت مناسبی پیشروی کند، آنگاه هر ناحیه‌ای که امکان خودسوزی در آن وجود دارد قبل از اینکه زمان اجازه ظهور آتش را بدهد، در اثر تحکیم دفن می‌شود.



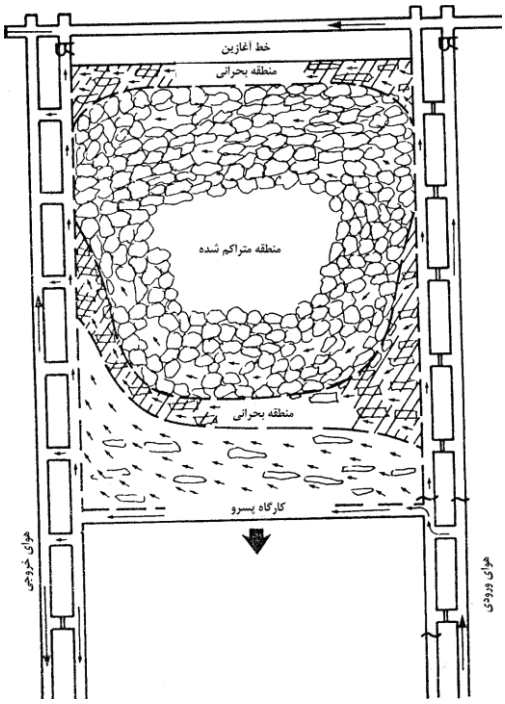
شکل ۷-۷- مناطقی در یک کارگاه پیشرو که بیشترین احتمال خودسوزی را دارند.

خطرناک‌ترین زمان‌ها تعطیلات آخر هفته و هر زمانی است که کار متوقف می‌شود، بنابراین پیش‌بینی‌های اضافی برای این مواقع ضروری است. اقدامات لازم عبارت از احداث هوابند در راهرورها، تزریق دوغاب به درون مواد پرکننده کنار راهروها، کم کردن اختلاف فشار در امتداد منطقه استخراج شده به وسیله تمهیدات تعادل فشار یا کاهش جریان‌های موضعی هوا است. در شرایط بحرانی ممکن است لازم شود تزریق یک گاز خنثی به درون منطقه استخراج شده مد نظر قرار گیرد.

شکل ۷-۸ تصویر مشابهی از یک جبهه‌کار بلند پسرو را نشان می‌دهد که در آن منطقه استخراج شده بلاواسطه پشت جبهه‌کار به دلیل پیشگیری از نشت متان به داخل کارگاه تهویه می‌شود. در اینجا نیز یک ناحیه ثابت در مجاورت اولین جبهه‌کار پیشروی و یک ناحیه متحرک در پشت جبهه‌کار در حال پیشروی، نواحی بحرانی با بیشترین استعداد خودسوزی را تشکیل می‌دهند. با وجودی که در این سیستم منطقه تخریب شده تهویه می‌شود اما در مقایسه با جبهه‌کار بلند پیشرو، شواهد کمتری دال بر خودسوزی وجود دارد. سیستم‌های پیشرو و پسرو هر یک در مناطق مختلف زمین‌شناسی با لایه‌های زغال‌سنگ و آب و هوای متفاوت ارجحیت پیدا می‌کنند. دلایل چندی برای این مطلب می‌توان یافت، اما دست کم دو وضعیت وجود دارد که گرایش به کاهش پتانسیل خودسوزی را توجیه می‌کند. یکی این که احتمالا اختلاف فشار کمتری بین اطراف منطقه استخراج شده اعمال می‌شود. این وضعیت به ویژه در مورد محل شروع حرکت جبهه‌کار صدق می‌کند. دیگر آن که ناحیه پشت جبهه‌کار که دایما تهویه می‌شود، ممکن است باعث باریک شدن ناحیه بحرانی موجود بین نواحی تهویه شده و تحکیم نیابد که آن هم به زودی زیر لایه‌های تخریب شده سقف دفن می‌شود.

در معادنی که سابقه خودسوزی دارند، ضروری است که تمام حفریات معدنی رها شده و متروک، از معدن جدا شوند. این کار به ویژه هنگامی اهمیت می‌یابد که چندین لایه روی هم قرار گرفته باشند. آتش‌سوزی‌های خود به خودی در نتیجه نشت شناخته نشده هوا بین مناطق استخراج شده فعلی و فضاهایی که طی چندین سال قبل در لایه‌های بالاتر کار می‌شده‌اند به وجود می‌آید.

پس از تکمیل استخراج بخشی از یک معدن مستعد خودسوزی و بازیافت تجهیزات آن قسمت، تمام ورودی‌های منتهی به آن باید مسدود شوند و فشار هوا در طرفین سدها باید تا آنجا که امکان دارد متعادل شود. این کار را می‌توان به سادگی با تنظیم دوباره محل درها یا هوابندها و پل‌های تهویه انجام داد. موقعیت سدها باید در حین آماده‌سازی یک قسمت از معدن در نقاط استراتژیک تعیین و با حفر کانال‌هایی در سقف و دیواره‌ها آماده و در حوالی آن‌ها مصالح ساختمانی انبار شود. در این صورت به هنگام وقوع یک آتش‌سوزی غیرقابل کنترل، مجزا کردن قسمت مورد نظر آسان خواهد بود.



شکل ۷-۸- مناطقی در کارگاه پسرو که بیشترین احتمال خودسوزی را دارند.

پیوست ۱

مثالی از برنامه‌ریزی مخلوط و همگن‌سازی محصولات استخراجی

پ۱-۱- آشنایی

هدف از این مثال تعیین میزان استخراج از لایه‌ای مختلف زغال معادن طبس و گلندرود و مخلوط کردن آن‌ها به منظور تهیه کک در کارخانه ذوب آهن اصفهان است. از آنجا که زغال‌سنگ معدن گلندرود خاصیت کک‌شوندگی بالایی ندارد ولی میزان گوگرد و خاکستر آن پایین است و برعکس، زغال‌سنگ طبس کک شوندگی خوب ولی گوگرد و خاکستر بالایی دارد بنابراین برنامه‌ریزی تولید کارگاه‌های این دو معدن را باید به گونه‌ای طراحی کرد که از امتیازات هر دو معدن استفاده شود و در عین حال، محموله ارسالی به کارخانه ذوب آهن کیفیت و کمیت لازم را داشته باشد. تعیین نسبت مخلوط برای همگن‌سازی طی مراحل زیر انجام شد:

پ۱-۲- مطالعات آماری اولیه

به منظور بررسی امکان مخلوط‌سازی زغال‌سنگ‌های گلندرود و طبس، بررسی‌های آماری برای تعیین مدل توزیع مشخصات زغال انجام گرفت زیرا با تعیین مدل توزیع رطوبت، مواد فرار، خاکستر و گوگرد میانگین این مشخصات در محدوده مورد بررسی می‌شود. برای انجام این بررسی، از لایه‌های ۲۵، ۳۰ و ۳۱ منطقه گلندرود که از نوع زغال‌های گازدار و گازدار چرب و لایه C_1 پروده ۲ طبس که در رده زغال‌های کک‌شو و کک‌شو چرب (گازدار و گازدار چرب) قرار می‌گیرند، استفاده شد. بر اساس بررسی‌های آماری، میانگین مشخصات مورد نظر با توجه به مدل توزیع آن‌ها در لایه‌های معادن گلندرود و طبس به شرح جدول پ۱-۱ به دست آمد.

جدول پ۱-۱- مدل توزیع و میانگین مشخصات فیزیکی و شیمیایی لایه‌های مورد بررسی در معادن گلندرود و طبس

لایه	لایه ۲۵ گلندرود		لایه ۳۰ گلندرود		لایه ۳۱ گلندرود		لایه C_1 پروده ۲ طبس	
مشخصات	مدل توزیع	میانگین	مدل توزیع	میانگین	مدل توزیع	میانگین	مدل توزیع	میانگین
رطوبت (درصد)	طبیعی	۱٫۴۴	طبیعی	۱٫۲۳	طبیعی	۱٫۵۶	طبیعی	۰٫۰۸۵
خاکستر (درصد)	لگاریتمی	۲۱٫۹	لگاریتمی	۲۹٫۰	لگاریتمی	۲۶٫۷	لگاریتمی	۳۱٫۳
مواد فرار (درصد)	لگاریتمی سه متغیره	۴۳٫۰۲	لگاریتمی سه متغیره	۴۳٫۴۳	لگاریتمی سه متغیره	۴۳٫۱۳	لگاریتمی سه متغیره	۲۴٫۳
گوگرد (درصد)	لگاریتمی سه متغیره	۰٫۷۴	لگاریتمی سه متغیره	۰٫۷۴	لگاریتمی سه متغیره	۰٫۷۴	لگاریتمی سه متغیره	۱٫۴۳
ضریب انعکاس (درصد)	ـــــ	۸۱	ـــــ	۸۲٫۰	ـــــ	۸۲	ـــــ	۹۵
ضریب پلاستومتری (میلی‌متر)	ـــــ	۵	ـــــ	۶٫۰	ـــــ	۶	ـــــ	۱۷

پ۱-۳- تعیین تابع هدف

برای تعیین مخلوط بهینه زغال‌سنگ‌های مناطق گلندرود و طبس از برنامه‌ریزی خطی برای تعریف مدل ریاضی استفاده شد. تابع هدف، ماکزیمم‌سازی کنسانتره خروجی با در نظر گرفتن محدودیت‌های مورد نظر است. برای ارایه مدل ریاضی بر اساس تابع هدف یاد شده، ابتدا تجزیه غربالی و آزمایش با محلول سنگین و فلوتاسیون بر روی نمونه‌های گرفته شده از لایه‌های مورد نظر انجام گرفت. آزمایش‌ها نشان داد که بهترین محیط برای شستشوی زغال لایه‌های ۲۵، ۳۰ و ۳۱ گلندرود محیطی با وزن مخصوص نسبی ۱٫۴۰ تا ۱٫۵۰ و برای زغال لایه C_1 پروده ۲ طبس ۱٫۴۰ تا ۱٫۴۵ است. مدل ریاضی با استفاده از نتایج به دست آمده از تجزیه غربالی و آزمایش با محلول‌های سنگین و بر اساس تابع هدف ماکزیمم کنسانتره خروجی از کارخانه زغال‌شویی با ظرفیت ۱۰۰ تن در ساعت و محدودیت‌های خاکستر، رطوبت، گوگرد، مواد فرار، پلاستومتری و درصد ضریب انعکاس تنظیم شد. محدودیت‌های یاد شده بر اساس مقادیر مجاز و مقادیر خارج از حد متعارف زغال بار ورودی کارخانه ذوب آهن اصفهان در نظر گرفته شد.

پ۱-۴- ارایه مدل ریاضی

در تمام عملیات زغال‌شویی، دستیابی به بازیابی حداکثر در محدوده کیفیت تعریف شده زغال‌شویی اهمیت دارد. از این رو تابع هدف مناسب، دستیابی به بازیابی حداکثر است که به صورت رابطه پ۱-۱ بیان می‌شود:

$$\sum_{i=1}^{n} \delta_i X_i \rightarrow Max \qquad (پ۱-۱)$$

که در آن:

X_i میزان زغال لایه i (مربوط به معادن زغال‌سنگ گلندرود و طبس) برای تهیه مخلوط (تن در ساعت)

δ بخش شناور حاصله

n تعداد لایه‌های زغال

برای هر لایه باید یک بونکر زغال اختصاص داد.

مدل در اثر محدودیت‌های زیر محدود می‌شود:

الف- محدودیت اول

این محدودیت بیان‌کننده مقدار کل زغال‌های منتقل شده از بونکرهاست و باید معادل ظرفیت اسمی کارخانه زغال‌شویی یعنی ۱۰۰ تن در ساعت باشد.

$$\sum_{i=1}^{n} X_i = Q = 100 \qquad (پ۱-۲)$$

در این رابطه Q ظرفیت کارخانه زغال‌شویی است.

ب- محدودیت دوم

خاکستر بخش شناور در مخلوط، نباید از حد مجاز ورودی کارخانه ذوب آهن تجاوز کند. این شرط با رابطه پ۱-۳ بیان می‌شود:

$$\sum_{i=1}^{n} X_i \delta_i A_i \le A_o \sum_{i=1}^{n} X_i \delta_i \qquad \text{(پ۱-۳)}$$

در این رابطه A_i خاکستر بخش شناور زغال‌ها از i امین بونکر و A_0 خاکستر خروجی از کارخانه است.

پ- محدودیت سوم

گوگرد بخش شناور در مخلوط نباید از مقدار گوگرد بخش شناور مخلوط کارخانه بیشتر شود:

$$\sum_{i=1}^{n} X_i \delta_i S_i \le S_o \sum_{i=1}^{n} X_i \delta_i \qquad \text{(پ۱-۴)}$$

که در آن:

S_i گوگرد بخش شناور زغال‌های مختلف

S_0 گوگرد خروجی کارخانه

ت- محدودیت چهارم

درصد انعکاس ویترینیت زغال مخلوط نباید کمتر از حد مجاز باشد:

$$\sum_{i=1}^{n} X_i \delta_i R_i \le R_o \sum_{i=1}^{n} X_i \delta_i \qquad \text{(پ۱-۵)}$$

که در آن:

R_i درصد انعکاس ویترینیت بخش شناور زغال‌دهی مختلف

R_o درصد ویترینیت زغال خروجی از کارخانه

ث- محدودیت پنجم

درصد مواد فرار زغال مخلوط باید در حد مجاز برای تهیه کک متالورژی باشد:

$$\sum_{i=1}^{n} X_i \delta_i V_i \le V_o \sum_{i=1}^{n} X_i \delta_i \qquad \text{(پ۱-۶)}$$

که در آن:

V_i درصد مواد فرار بخش شناور زغال‌های مختلف

V_o درصد مواد فرار خروجی از کارخانه

مدل ریاضی با توجه به تابع هدف مورد نظر و محدودیت‌های تعریف شده تنظیم و سپس حل شد و گزینه‌های مختلف بر اساس حد مجاز و مقادیر خارج از حد متعارف بار ورودی کارخانه‌های ذوب به دست آمد.

پ۱-۵- برنامه‌ریزی بهینه تولید

با توجه به تولید معادن، میزان ذخیره و ظرفیت کارخانه زغال‌شویی طبس پنج مخلوط بهینه طی گزینه‌های شماره ۵، ۱۰، ۱۴، ۱۷و ۲۴ از بین گزینه‌های به دست آمده به منظور مخلوط‌سازی زغال‌سنگ گلندرود طبس معرفی شد که نتیجه در جدول پ۱-۲ درج شده است.

به منظور تعیین دقت کار و صحت و درستی مدل ریاضی، از لایه‌های مورد نظر مجددا نمونه‌برداری و به آزمایشگاه طبس منتقل شد. پس از تجزیه نمونه‌های زغال‌سنگ گلندرود مشخص شد که این نمونه‌ها به دلیل خاکستر و گوگرد پایین نیازی به تغلیظ ندارند، بنابراین در مخلوط‌های معرفی شده از نمونه‌های تغلیظ نشده زغال‌سنگ گلندرود استفاده شد. ۵ گزینه معرفی شده با نسبت‌های محاسبه شده به وسیله مدل ریاضی تهیه و آزمایشات مربوطه بر روی آن‌ها انجام گرفت. تمامی گزینه‌ها دقیقا معرف مخلوط بهینه و مطابق با پیش‌بینی‌های مدل ریاضی بودند.

از بین این پنج گزینه، گزینه‌های ۵ با داشتن ماکزیمم کنسانتره یعنی ۷۴٫۵ درصد، گزینه ۱۴ با داشتن حداکثر ضریب پلاستومتری و گزینه ۲۴ با ضریب پلاستومتری ۱۳٫۵ میلی‌متر بهترین مخلوط‌ها هستند که نیاز کارخانه ککسازی را تامین می‌کنند.

جدول پ۱-۲- پنج گزینه معرفی شده برای مخلوط‌سازی زغال‌سنگ‌های گلندرود و طبس

لایه / شماره گزینه	لایه ۲۵ (٪)	لایه ۳۰ (٪)	لایه ۳۱ (٪)	لایه C_1پروده۲ (٪)	حداکثر بازیابی (٪)	ماکزیمم ضریب پلاستومتری *(mm)*	خاکستر (٪)	گوگرد (٪)
گزینه ۵	۱۹	۲۵	۵	۵۱	۷۵	۱۲٫۰	۱۰٫۰	۱٫۰
گزینه ۱۰	۱۵	۱۵	۱۰	۶۰	۵۳	۱۱٫۰	۱۰٫۴۵	۱٫۲۸
گزینه ۱۴	۱۰	۱۳	۱۰	۶۷	۵۲	۱۴٫۰	۱۱٫۵	۱٫۲
گزینه ۱۷	۱۰	۱۵	۱۰	۶۵	۵۱	۱۳٫۰	۱۱٫۵	۱٫۴
گزینه ۲۴	۱۰	۱۰	۱۰	۷۰	۵۳	۱۳٫۵	۱۱٫۵	۱٫۴

بررسی‌ها نشان داد که مدل ریاضی ارایه شده قادر است در هر موقعیت، برنامه‌ریزی تولید بهینه را معرفی کند و با توجه به انعطافی که در تنظیم آن وجود دارد، هر زمان می‌توان توسط یک اپراتور، بار خروجی کارخانه زغال‌شویی را تنظیم کرد.

بدین ترتیب می‌توان بدون صرف زمان زیاد و آزمایش‌های پرهزینه، بهترین مخلوط‌ها و در پی آن بهترین برنامه‌ریزی تولید را مشخص ساخت.

پیوست ۲

مطالعات خودسوزی

در معدن سپاروود

پ۲-۱- آشنایی

در اواخر سال ۱۹۷۶، یک سیستم نظارت مونواکسید کربن شامل چهار شاخه نمونه‌گیری در معدن سپاروود[1] متعلق به شرکت کایزر که در حال بهره‌برداری از ۱۰ لایه زغالی کانسار بالمر بود، نصب شد. بررسی‌های آزمایشگاهی که قبلا بر روی زغال‌سنگ این کانسار انجام شده بود نشان می‌داد که به هنگام اکسایش در دمای نسبتا پایین، مقدار قابل توجهی مونواکسید کربن از این زغال متصاعد می‌شود، بنابراین به نظر می‌رسید سیستمی که بر اساس نظارت بر مونواکسید کربن در هوای معدن کار می‌کند، برای ردیابی زودهنگام خودسوزی مفید واقع شود. با بررسی طرح موجود معدن که به صورت هیدرولیکی بود، یک سیستم نمونه‌گیری در چهار نقطه معدن برای دستیابی به این خواسته‌ها مطلوب به نظر رسید.

پ۲-۲- سیستم نظارت

سیستم نظارت میزان مونواکسید کربن بر طبق مشخصات ارایه شده از طرف *CAMNET*، طراحی و ساخته شد. تجزیه‌کننده الکتروشیمیایی سیستم می‌توانست غلظت مونواکسید کربن در هوای معدن را با دقت $\pm ۱ ppm$ تعیین کند. این تجزیه‌کننده به گونه‌ای طراحی شده بود که می‌توانست در دو محدوده صفر تا $۱۰ ppm$ و صفر تا $۵۰ ppm$ کار کند. اگر غلظت مونواکسید کربن از این محدوده تجاوز می‌کرد، امکان اضافه کردن تجزیه‌کننده‌ای با محدوده بالاتر به سیستم وجود داشت. سیستم موجود توانایی تجزیه متناوب نمونه‌های هوای معدن از چهار مکان مختلف را دارا بود.

به منظور تحقیقات مربوط به تشخیص اولیه خودسوزی، منطقی به نظر می‌رسید که در هر ساعت یک نمونه از هر مکان نمونه‌گیری گرفته شده و تجزیه و تحلیل شود و به این ترتیب با مقایسه نتایج حاصله با نتایج نمونه‌های قبلی از همان مکان، سیستمی پیوسته حاصل می‌شد.

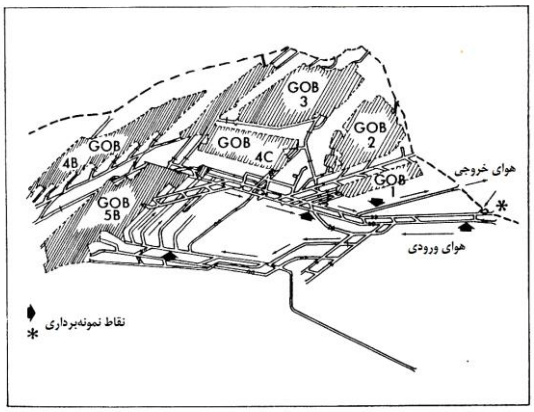
یک چاپگر حرارتی همراه با سیستم، نتایج حاصل از تجزیه‌کننده را بر روی کاغذ چاپ می‌کرد. خروجی‌های دستگاه عبارت از روز، ساعت غلظت مونواکسید کربن در یک موضع مشخص و خطاهای احتمالی در صورت وجود بود. از هر نقطه نمونه‌گیری به اندازه ۱۵ دقیقه نمونه‌برداری و تجزیه و تحلیل و در پایان هر دوره، نتایج چاپ می‌شد. با تغییر عملکرد سیستم از حالت خودکار به حالت دستی، هرگاه لازم بود می‌شد مشخصات یک موضع مشخص را مشاهده کرد. امکان افزایش یا کاهش زمان نمونه‌گیری، با تغییر بخش منطقی سیستم، نیز وجود داشت (شکل پ۲-۱).

پ۲-۳- نتایج

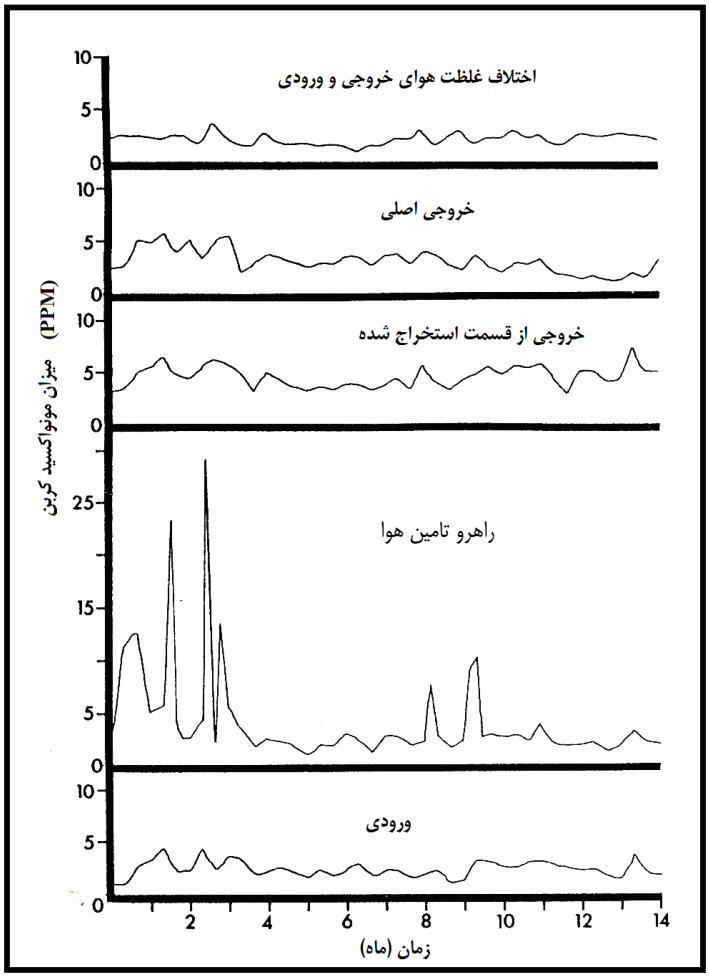
نمونه‌برداری هوا از پهنه $۵B$ در طی یک سال به صورت مداوم انجام شد. شکل پ۲-۲، تغییرات عادی مونواکسید کربن در نواحی مختلف معدن را نشان می‌دهد. نمونه‌های راهرو ورودی هوا به معدن به طور معمول دارای غلظت ۲ تا

1- Sparwood

۳ppm مونواکسید کربن هستند. راهرو بازگشت هوا حدود ۴ تا ۵ ppm و هوای بازگشتی از منطقه استخراج شده ۴ تا ۶ppm را نشان می‌دهند، اما نقطه نمونه‌گیری واقع در راهرو حمل و نقل، در زمان‌های کوتاه حتی غلظت‌های ۲۰ تا ۳۰ ppm را هم نشان می‌دهد که پس از مدت زمان کوتاهی تا حد ۳ تا ۴ ppm می‌رسد. چنین تغییرات کوتاه مدتی را می‌توان به سادگی ناشی از عبور و مرور وسایل حمل و نقل دیزلی دانست. شکل پ۲-۲ تفاوت موجود بین غلظت مونواکسید کربن در مسیر بازگشت هوا از منطقه استخراج شده و راهرو ورودی به معدن در شرایط معمول را نشان می‌دهد. این مقدار عموما به عنوان نُرم معدن شناخته می‌شود که در این مورد خاص ۲ تا ppm ۳ است.



شکل پ۲-۱- مدار تهویه و چهار نقطه نمونه‌گیری برای نظارت بر میزان CO در معدن سپاروود



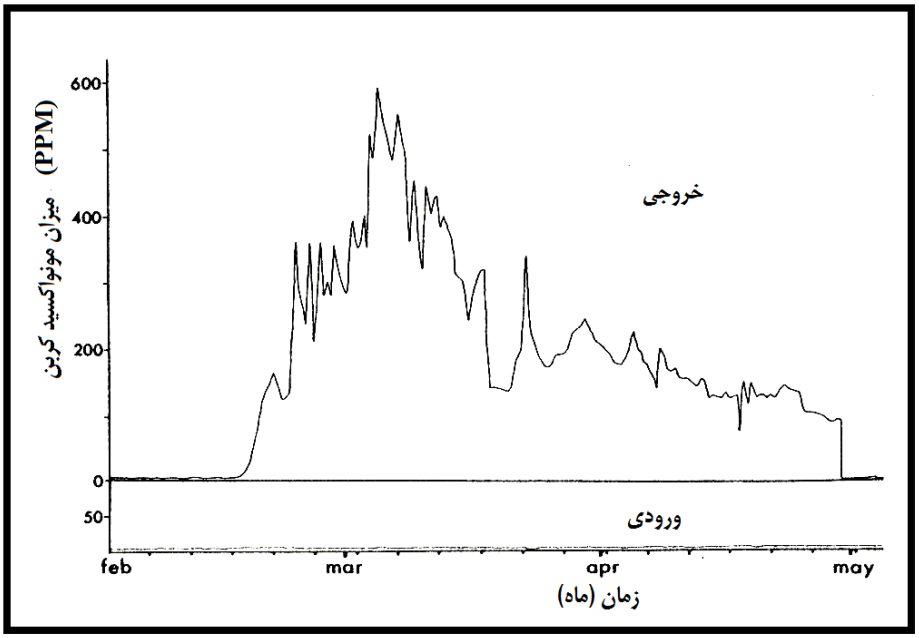
شکل پ۲-۲- تغییرات غلظت مونواکسیدکربن در چهار نقطه نمونه‌گیری

محل نمونه‌برداری در مسیر بازگشت هوا از منطقه استخراج شده باید متناسب با محل استخراج در پهنه شماره $5B$ تغییر کند. از آنجا که محدوده اطراف این مکان کمی خطرناک تشخیص داده شد، ایستگاه نمونه‌گیری به طرف راهرو و برگشت هوا انتقال یافت. هوای خروجی از منطقه استخراج شده نیز از راهرو بازگشت اصلی هوا عبور کرد بنابراین هر تغییر غیرمعمول حاصل از اکسایش را می‌توان با سنجش تغییرات ایجاد شده در غلظت مونواکسید کربن هوای بازگشتی، مشخص ساخت.

در ابتدای نمونه‌برداری غلظت CO در هر دو راهرو ورودی و خروجی معدن معمولی بود. اما به تدریج، غلظت مونواکسید کربن در راهرو خروجی اصلی افزایش یافت و در طول ۲ روز به بیش از $50ppm$ رسید که اخطاری برای شروع خودسوزی معدن بود. در این حال، غلظت مونواکسید کربن در هوای ورودی به معدن همان مقدار معمول ۲ تا $3ppm$ بود. محدوده کار تجزیه‌کننده سیستم تا $50ppm$ انتخاب شده بود، از این رو با نظر مدیریت معدن، یک تجزیه‌کننده دیگر با محدوده تا $2000ppm$ و با استفاده از مجرای کنارگذر، به سیستم اضافه و نتایج حاصله به صورت یک نمودار خطی ثبت شد.

سنجش هوای بازگشتی از معدن به وسیله این تجزیه‌کننده جدید ادامه یافت، در حالی که برای اندازه‌گیری CO در

هوای ورودی به معدن از سیستم موجود استفاده می‌شد. غلظت مونواکسید کربن در هوای خروجی به تدریج تا حدود $۶۰۰ppm$ بالا رفت سپس با تکمیل شدن سدی که منطقه دچار خودسوزی را از شبکه معدن مجزا می‌کرد، به آرامی به ۲ تا $۳ppm$ کاهش یافت. روند تغییرات غلظت مونواکسید کربن در هوای ورودی و خروجی در این فاصله زمانی در شکل پ۲-۳ نشان داده شده است.



شکل پ۲-۳- روند تغییرات غلظت مونواکسید کربن در هوای ورودی و خروجی، به هنگام خودسوزی پهنه $5B$

انتظار می‌رفت که غلظت مونواکسید کربن در هوای بازگشتی در طول مراحل ابتدایی خودسوزی با سرعت کمتری افزایش یابد. البته این انتظار، با فرض آلوده نشدن هوای بازگشتی در اثر نشت از مناطق استخراج شده مجاور بود. این نکته نیز مد نظر قرار گرفت که مقدار مونواکسید کربن تولید شده در طول اکسایش به ابعاد محدوده‌ای که در حال خودسوزی است، وابسته است.

همانطور که از شکل پ۲-۳ پیداست، مطالعه مونواکسید کربن در هوای بازگشتی نشانگر این مطلب است که گرمایش باید به سرعت افزایش یافته باشد. احتمال دارد آتش از منطقه استخراج شده به نواحی تخریب شده مجاور سرایت کرده و بر شدت خودسوزی، افزوده باشد.

سیستم آشکارساز مونواکسید کربن، گرمایش را ردیابی می‌کند و تغییرات آن را نیز نشان می‌دهد. این سیستم همچنین ابزاری در دست مدیریت معدن برای تصمیم‌گیری حین عملیات مجزا کردن محدوده گرمایش است.

پیوست ۳

مطالعات خودسوزی

در معدن زغال‌سنگ سوما در ترکیه

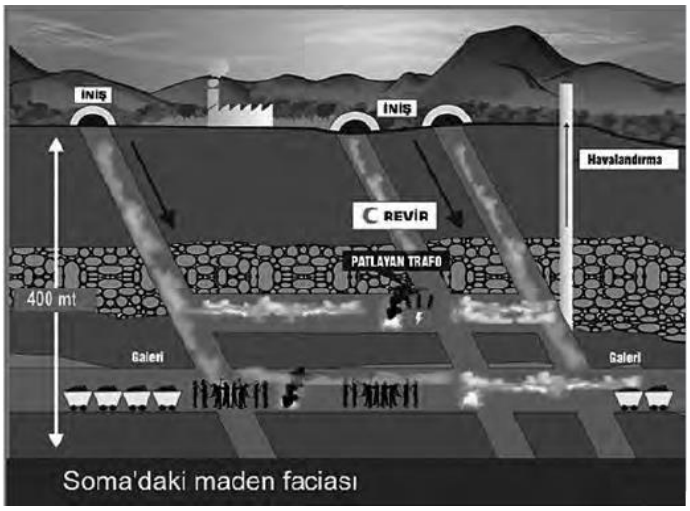
پ۳-۱- آشنایی[۱]

در فاجعه‌ای که در تاریخ ۹۳/۲/۲۳ در معدن سوما واقع در استان مانیسا کشور ترکیه اتفاق افتاد، طبق آمار منتشر شده ۳۰۱ نفر جان باختند (شکل پ۳-۱). بروز این حادثه هشداری است که رعایت موازین ایمنی در فعالیت‌های معدنی باید جدی گرفته شود و شعار "حادثه خبر نمی‌کند" باید همواره در ذهن همه جای داشته باشد.

شکل پ۳-۱- حادثه در معدن زغال‌سنگ سوما در ترکیه

پ۳-۲- مشخصات معدن

این معدن ۱۸ میلیون تن ذخیره زغال‌سنگ از نوع لیگنیت دارد که بهره‌برداری از آن از سال ۲۰۰۵ برای استخراج سالانه ۲۵۰۰۰۰ تن زغال‌سنگ از طریق مزایده عمومی به شرکت سوما هلدینگ واگذار شده است. تعداد پرسنل این معدن در سه شیفت کاری جمعا ۵۵۰۰ نفر و پرسنل مهندسی ۱۳۰ نفر بوده است (شکل پ۳-۲).



شکل پ۳-۲- شبکه استخراج معدن

۱- این گزارش از مجله شماره ۲۲ نظام مهندسی معدن تخلیص شده است.

پ۳-۳- شرح حادثه

در تاریخ ۹۳/۲/۲۳ در یکی از معادن زیرزمینی زغال‌سنگ حرارتی (لیگنیت) ترکیه در منطقه سوما[1] یکی از فجیع-ترین حوادث معدنی دنیا به وقوع پیوست. حادثه درست در موقع تعویض شیفت و حدود ساعت ۱۵ به وقت محلی رخ داد. طبق برنامه کاری شرکت پیمانکار معدن، تعویض شیفت‌ها در زیرزمین و در محل کار انجام می‌گیرد. یعنی کارگران شیفت بعدی وارد کارگاه می‌شوند و کار را از همکاران شیفت قبلی خودشان تحویل می‌گیرند، بنابراین در لحظه وقوع حادثه نزدیک به ۸۰۰ نفر از پرسنل در محل کار حاضر بودند که متاسفانه ۳۰۱ نفر از آن‌ها در این حادثه تاسف‌بار جان خود را از دست دادند و بقیه افراد نیز از حادثه نجات پیدا کردند. در ساعات اولیه حادثه، سازمان مدیریت بحران ترکیه (AFAD) و همچنین شرکت پیمانکار زغال سوما، علت آن انفجار را ترانسفورماتور برق زیرزمینی اعلام کردند، ولی بعدها طبق نظرات کارشناسی معلوم شد که انفجاری در کار نبوده و علت حادثه چیز دیگری است. محل حادثه و گرفتاری کارگران در فاصله حدود ۲۰۰۰ متری از دهانه ورودی معدن بوده است.

پ۳-۴- نحوه استخراج

برای استخراج و بهره‌برداری از ذخایر زغال، موسسات و شرکت‌های مختلفی تشکیل شده است. از جمله این موسسات، موسسه زغال اژه یا (ELI) است. این موسسه از دو منطقه اصلی به نام‌های سوما و دنیش[2] تشکیل شده است که جمعا ذخیره‌ای حدود ۷۵۰ میلیون تن دارد. در سال‌های اخیر و در چارچوب خصوصی‌سازی معادن زغال، شرکت زغال ترکیه (TKI) ذخایر خود را به پیمانکاران دست دوم واگذار کرد که تعداد آن‌ها در این موسسه به ۷ مورد می‌رسد. از جمله در منطقه سوما شرکت‌های پیمانکار سوما هلدینگ و یوآر[3] چند سالی است که مشغول استخراج زغال‌اند و تولید خود را به TKI برای تحویل به نیروگاه حرارتی سوما و همچنین مصارف خانگی قرار می‌دهند. سوما هلدینگ فعالیت‌های معدنی خود را از سال ۱۹۸۴ در منطقه سوما شروع کرد. مساحت منطقه واگذاری به این شرکت نزدیک به ۱۸۰۰۰ هکتار است و ذخیره‌ای در حدود ۲۰۵ میلیون دارد (شکل پ۳-۳).

1 - Soma
2 - Denis
3 - Uyar

شکل پ۳-۳- موقعیت معدن سوما

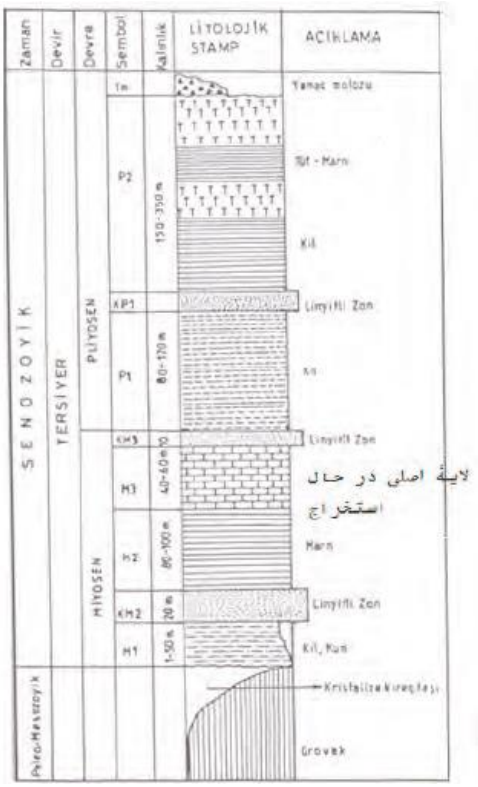
ارزش حرارتی زغال این منطقه بیش از kcal/kg ۳۰۰۰ است. یکی از مناطقی که در سال ۲۰۰۹ از شرکت سینار[1] پس گرفته شد و به سوما هلدینگ واگذار شد، منطقه اینز[2] است. سوما هلدینگ متعهد شده که سالانه ۲/۵ میلیون تن از این معدن استخراج کند که در سال گذشته رکورد ۳/۵ میلیون تن را در این معدن به ثبت رسانید. به نظر می‌رسد یکی از دلایل انصراف از ادامه کار شرکت سینار مشکل خودسوزی‌های مکرر در معدن بوده است که بعدها شرکت زغال ترکیه با احتساب یک لنگه ۱۰۰ متری به سوما هلدینگ مجوز استخراج در افق‌های پایینی را صادر می‌کند.

شرکت معادن سوما که زیر نظر مجموعه سوما هلدینگ است، ۵۵۵۰ نفر پرسنل دارد که ۵۰۰۰ نفر آن‌ها کارگران زیرزمینی‌اند و جمعا ۱۳۰ نفر مهندس، کادر فنی آن را تشکیل می‌دهند که ۵ نفر از جان‌باختگان از کادر مهندسی بودند. اغلب کارگران به صورت قراردادی کار می‌کنند و حقوق قانونی زیادی به آن‌ها تعلق نمی‌گیرد.

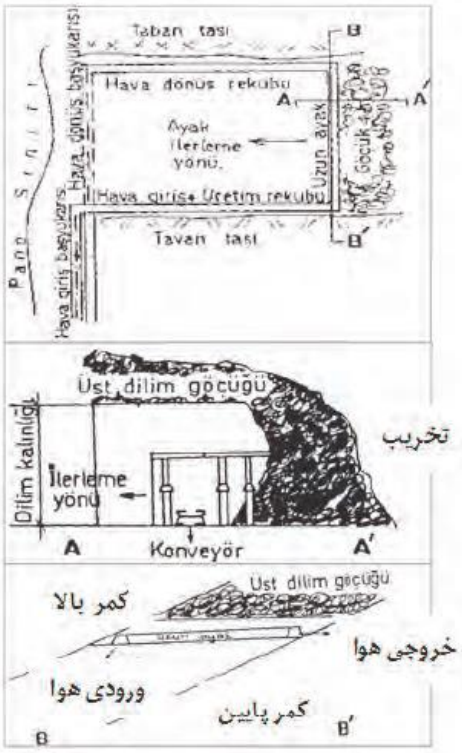
در حوزه زغالی سوما، کلا ۳ لایه زغال وجود دارد که به ترتیب عبارت است از: لایه زیرین (لایه اصلی) با ضخامت ۱۰ تا ۱۵ متر با محتوای خاکستر ۲۰ تا ۳۵ درصد، لایه میانی و بالایی که این دو لایه در همه منطقه گسترش نیافته‌اند و قابل استخراج نیستند. ستون چینه‌شناسی منطقه در شکل پ۳-۴ نشان داده شده است.

معدن زیرزمینی اینز با سه راه ارتباطی به بیرون وصل می‌شود که ۲ تای آن‌ها به ورود هوای تمیز و سومی برای خروج هوای کثیف اختصاص یافته است. در منطقه با توجه به ضخامت زیاد لایه زغال (تا ۱۵ متر) از روش جبهه‌کار بلند تخریبی و یا برش‌های موازی استفاده می‌شود (شکل پ۳-۵).

1 - Cinar
2 - Eynez



شکل پ۳-۴- ستون چینه‌شناسی منطقه سوما



شکل پ۳-۵- روش استخراج لایه‌های ضخیم در منطقه

تهویه معدن به کمک بادبزن‌های مکشی و آماده‌سازی‌ها به کمک تهویه فرعی دهشی انجام می‌شود. تجهیزات مورد استفاده در روشنایی و سایر قسمت‌ها همگی از نوع جرقه و ضد آتش بوده است. معدن به سیستم هشدار و پایش مرکزی ۲۴ ساعته مجهز است و به طور اتوماتیک با استفاده از ۴۸ ایستگاه اندازه‌گیری به کمک سنسورهای مختلف، غلظت گازهای مونواکسید کربن، متان، دی‌اکسید کربن، اکسیژن و سرعت هوا اندازه‌گیری می‌شود. در صورتی که غلظت گازها از حد مجاز تجاوز کند، سیستم اندازه‌گیری مرکزی به صدا در می‌آید و برق زیرزمینی به طور اتوماتیک قطع می‌شود.

پ۳-۵- جزییات حادثه

طبق اظهار نظر بعضی از مسوولین و کارشناسان، ۱۴ ساعت قبل از حادثه، چندین بار غلظت گاز CO به بیش از ۵۰ ppm رسیده ولی توجهی به آن نشده است. ۶ دقیقه قبل از حادثه غلظت CO، از ۵۰۰ ppm فراتر رفته است. ماسک‌های مورد استفاده چینی مدل ۱۹۹۳ و اغلب فرسوده بوده و حتی بعضی از کارگران فاقد آن بوده‌اند. از طرف دیگر، چون استفاده بی‌جا از کپسول‌های گاز جریمه داشته بعضی از کارگران از استفاده از آن در لحظات اولیه خودداری کرده‌اند. به طور کلی لیگنیت‌های این بخش از ترکیه از جمله معادن چایرهان، تونج، بیلک و سیدعمر پتانسیل خودسوزی بالایی دارند.

طبق اظهارنظرها، خودسوزی در این معدن سابقه طولانی داشته است. به طور کلی پیمانکار قبلی نیز به خاطر معضلات خودسوزی از ادامه کار انصراف داده است. از قرار معلوم TKI با در نظر گرفتن یک لنگه ۱۰۰ متری بین

کارگاه‌های قدیمی، متروکه و جدید برای شرکت سوما اجازه بهره‌برداری صادر کرده است. روز حادثه، ریزشی در یکی از گالری‌های معدن رخ می‌دهد که کارگران برای رفع ریزش و نگهداری گمارده می‌شوند که ناگهان حجم زیادی زغال در حال اشتعال ناشی از خودسوزی از سقف بر روی نوار نقاله می‌ریزد و باعث آتش گرفتن آن می‌شود. این امر باعث ورود حجم زیادی گاز از بخش متروکه به معدن جدید می‌شود و به دنبال آن سیستم نگهداری چوبی گالری‌ها آتش می‌گیرد و نهایتا پست برق و سایر قسمت‌ها نیز دچار آتش‌سوزی می‌شوند. بنابراین ادعای اولیه مبنی بر شروع حادثه با انفجار پست برق واقعیت نداشته و اکثرکارگران در اثر تنفس گازهای CO و CO_2 دچار مسمومیت و یا خفگی شده‌اند (شکل پ۳-۶). بنابراین علت اصلی حادثه مزبور را می‌توان ناشی از خودسوزی زغال و تبعات ناشی از آن دانست. هرچند که به نظر می‌رسد روش استخراج نیز به گونه‌ای است که خواه ناخواه مقداری زغال در قسمت تخریب باقی می‌ماند که این امر خود به خودسوزی کمک می‌کند. در ضمن، به نظر می‌رسد تنظیم جریان و جهت هوا و مسیر راهنمایی کارگران برای نجات نیز درست نبوده است.

شکل پ۳-۶- عملیات امداد و نجات پس از حادثه

به طور خلاصه علل اصلی واقعه را باید با توجه به سوالات و عوامل زیر بررسی کرد.

- آیا عملکرد سیستم‌های اندازه‌گیری و هشدار مرکزی درست بوده است؟
- آیا عوامل و نشانه‌های خودسوزی در معدن به طور جدی بررسی و ارزیابی شده است؟
- نقش خصوصی‌سازی در وقوع این حادثه چه بوده است؟
- روابط کاری بین کارفرما- کارگر چه سهمی در این حادثه داشته است؟
- تصمیم‌گیری در خصوص جریان تهویه و راهنمایی کارگران به منظور برون رفت از حادثه درست بوده است؟
- آیا تجهیزات مورد استفاده واقعا ضد آتش و ضد جرقه بوده‌اند؟
- سهم آموزش پرسنل در نجات حادثه‌دیدگان چقدر است؟

عناوین پروژه‌های اکتشاف برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن

ردیف	عنوان پروژه	شماره نشریه در سازمان برنامه و بودجه کشور	شماره نشریه در سازمان نظام مهندسی معدن ایران
۱	تعاریف و مفاهیم در فعالیت‌های اکتشافی	۳۲۸	-
۲	فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف زغال‌سنگ	۳۵۱	-
۳	دستورالعمل رده‌بندی ذخایر معدنی	۳۷۹	-
۴	راهنمای ملاحظات زیست‌محیطی در فعالیت‌های اکتشافی	٤۹۸	۱۳
۵	دستورالعمل تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی- اکتشافی بزرگ مقیاس رقومی (۱:۲۵۰۰۰)	۵۳۲	۲۰
۶	فهرست خدمات مراحل چهارگانه اکتشاف سنگ آهن	۵۳٦	۱۷
۷	علایم استاندارد نقشه‌های زمین‌شناسی	۵۳۹	۲۳
۸	دستورالعمل اکتشاف ژئوشیمیایی بزرگ‌مقیاس رسوبات آبراهه‌ای (۱:۲۵۰۰۰)	۵٤۰	۲٤
۹	فهرست خدمات مراحل چهارگانه اکتشاف مس	۵٤۱	۲۵
۱۰	فهرست خدمات اکتشافی سنگ‌ها و کانی‌های صنعتی (باریت، بنتونیت، زئولیت، سلستین، سیلیس، فلدسپار، فلوئورین)	۵٦٦	۳٦
۱۱	واژه‌ها و اصطلاحات پایه اکتشاف، استخراج و فرآوری مواد معدنی	۵٦۷	۳۷
۱۲	فهرست خدمات مراحل چهارگانه اکتشاف مس سرب و روی	۵۸۱	٤۰
۱۳	راهنمای مطالعات ژئوفیزیکی اکتشافی به روش‌های مغناطیس‌سنجی، گرانی‌سنجی و لرزه‌نگاری در اکتشافات معدنی	۵۹٤	۲۸
۱۴	فهرست خدمات مراحل چهارگانه اکتشاف آنتیموان	۵۹۵	۳٤
۱۵	فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف سنگ‌ها و کانی‌های قیمتی و نیمه‌قیمتی	۵۹۹	٤۳
۱۶	فهرست خدمات و راهنمای مطالعات دورسنجی در اکتشاف مواد معدنی	٦۱۵	٤۵
۱۷	فهرست خدمات و دستورالعمل مراحل مختلف اکتشاف مواد اولیه سیمان	٦۱۷	٤۷
۱۸	فهرست خدمات و دستورالعمل بررسی‌های چاه‌پیمایی	٦۱۸	٤۸
۱۹	فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف عناصر نادر خاکی	٦٤۸	۵۱
۲۰	فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف قلع	٦٤۹	۵۲
۲۱	دستورالعمل آماده‌سازی و اندازه‌گیری عناصر در سنگ آهن	٦۵۲	۵٤
۲۲	دستورالعمل آماده‌سازی، تهیه نمونه و مطالعات میکروسکوپی و سیالات درگیر برای نمونه‌های اکتشافی	٦۵۵	۵۵
۲۳	دستورالعمل اکتشافات ژئوشیمیایی محیط‌های سنگی در مقیاس ۱:۲۵,۰۰۰	٦۷۱	٦۲
۲۴	دستورالعمل یکسان‌سازی اسامی مواد معدنی	۲۳۱	٦۵
۲۵	راهنمای مطالعات ژئوفیزیکی به روش‌های مقاومت ویژه، پلاریزاسیون القایی، الکترومغناطیسی و پتانسیل خودزا در اکتشاف مواد معدنی	۵۳۳	٦٦
۲۶	دستورالعمل تهیه گزارش پایان عملیات اکتشافی	٤۹۵	۷۰
۲۷	فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف طلا	۷۰۳	۷۵
۲۸	دستورالعمل آماده‌سازی و اندازه‌گیری غلظت فلزات گرانبها (طلا، نقره و گروه پلاتین)	۷۰٤	۷۸
۲۹	دستورالعمل تهیه طرح اکتشاف مواد معدنی	۷۱۳	۸۰
۳۰	فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف گچ و نمک	۷۲۱	۸۱
۳۱	دستورالعمل آماده‌سازی و اندازه‌گیری غلظت فلزات پایه (مس، روی و سرب)	۷۲۷	۸۲
۳۲	فهرست خدمات اکتشاف سنگ‌ها و کانی‌های صنعتی (پرلیت، دیاتومیت و ورمیکولیت)	۷۲۸	۸۳
۳۳	دستورالعمل اکتشافات ژئوشیمیایی خاک در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰	۷۳۰	۸۵

عناوین پروژه‌های اکتشاف برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن

ردیف	عنوان پروژه	شماره نشریه در سازمان برنامه و بودجه کشور	شماره نشریه در سازمان نظام مهندسی معدن ایران
۳۴	راهنمای مطالعات GIS در مقیاس ناحیه‌ای و تعیین نواحی امیدبخش	۷۳۹	۸۷
۳۵	دستورالعمل اکتشاف ناحیه‌ای طلا به روش بلگ	۷۵۱	۹۱
۳۶	دستورالعمل فعالیت‌های زمین‌شناسی استخراجی	۷۵۵	۹۳
۳۷	دستورالعمل بررسی‌های ژئوشیمیایی به روش اکتشافات بیوژئوشیمیایی و ژئوبوتانی	در دست تدوین	
۳۸	فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف در شورابه‌ها	در دست تدوین	
۳۹	فهرست خدمات و دستورالعمل اکتشاف سنگ‌ها و کانی‌های صنعتی (نسوزها): خاک نسوز، منیزیت- هونتیت، بوکسیت، نسوزهای آلومینو سیلیکاته (کیانیت، سیلیمانیت و آندالوزیت)، گرافیت و دولومیت	در دست تدوین	

عناوین پروژه‌های کمیته استخراج برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن

ردیف	عنوان پروژه	شماره نشریه در سازمان برنامه و بودجه کشور	شماره نشریه در سازمان نظام مهندسی معدن ایران
۱	تعاریف و مفاهیم در فعالیت‌های استخراجی	۳٤۰	-
۲	مقررات تهویه در معادن	۳۵۰	-
۳	مقررات فنی آتشباری در معادن	٤۱۰	-
۴	دستورالعمل تهیه نقشه‌های استخراجی معدن	٤٤۲	۸
۵	راهنمای ارزشیابی دارایی‌های معدنی	٤٤۳	۹
۶	دستورالعمل فنی روشنایی در معادن	٤۸۹	۱۰
۷	دستورالعمل امداد و نجات در معادن	٤۸۸	۱۸
۸	راهنمای تهیه گزارش‌های طراحی معدن	٤۹٦	۱۱
۹	دستورالعمل ترابری در معادن	۵۰٦	۱٤
۱۰	دستورالعمل توزیع هوای فشرده در معادن	۵۳۱	۱۹
۱۱	دستورالعمل طراحی و اجرای سیستم نگهداری تونل‌های معدنی	۵۳۷	۲۱
۱۲	دستورالعمل تحلیل پایداری و پایدارسازی شیب‌ها در معادن روباز	۵۳۸	۲۲
۱۳	راهنمای محاسبه قیمت تمام شده در فعالیت‌های معدنی	۵٤۲	۲٦
۱۴	دستورالعمل نگهداری و کنترل سقف در کارگاه‌های استخراج	۵۵۳	۲۹
۱۵	واژه‌ها و اصطلاحات پایه اکتشاف، استخراج و فرآوری مواد معدنی	۵٦۷	۳۷
۱۶	راهنمای آبکشی در معادن	۵۷۳	۳۸
۱۷	دستورالعمل طراحی هندسی بازکننده‌ها و حفریات زیرزمینی	۵۷۹	٤۱
۱۸	راهنمای ملاحظات زیست‌محیطی در فعالیت‌های استخراجی	٦۱۱	٤٤
۱۹	راهنمای ارزیابی و کنترل پیامدهای ناشی از انفجار در معادن	٦۱٦	٤٦
۲۰	راهنمای انتخاب روش استخراج ذخایر معدنی	٦۲۳	٤۹
۲۱	دستورالعمل تعیین مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی	٦۲۵	۵۰
۲۲	دستورالعمل کاربرد روش‌های عددی در طراحی ژئومکانیکی معادن	٦۵٦	۵٦
۲۳	راهنمای ارزیابی ایمنی، بهداشت و محیط زیست (HSE) در معادن	٦٦۹	٦۰
۲۴	راهنمای امکان‌سنجی پروژه‌های معدنی	۵۵۸	٦٤
۲۵	دستورالعمل پر کردن کارگاه‌های استخراج معادن زیرزمینی	۲۸۳	٦۹
۲۶	راهنمای محاسبه بار و توزیع برق در معادن	۳۰٤	۷۱
۲۷	دستورالعمل گاززدایی در معادن زغال‌سنگ	۷۰۹	۷٦
۲۸	دستورالعمل ابزاربندی و رفتارنگاری در معادن روباز	۷۲۵	۸٤
۲۹	دستورالعمل بازرسی و تعمیر سیستم‌های نگهداری در حفریات معدنی	۷۲٦	۸٦
۳۰	راهنمای طراحی و احداث شبکه‌های زیرزمینی معادن	۷٤٦	۸۹
۳۱	دستورالعمل مطالعات زمین‌شناسی مهندسی ساختگاه تونل‌ها	۷٤۸	۹۲
۳۲	دستورالعمل کنترل رقیق‌شدگی در معادن	در دست تدوین	
۳۳	راهنمای تخمین و کنترل نشست در معادن	در دست تدوین	
۳۴	علایم استاندارد نقشه‌های استخراجی معدن	در دست تدوین	
۳۵	راهنمای متره و برآورد در فعالیت‌های استخراج معدنی	در دست تدوین	
۳۶	راهنمای مکان‌یابی و جانمایی تاسیسات و تجهیزات در معادن روباز	در دست تدوین	

عناوین پروژه‌های فرآوری برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن

ردیف	عنوان پروژه	شماره نشریه در سازمان برنامه و بودجه کشور	شماره نشریه در سازمان نظام مهندسی معدن ایران
۱	راهنمای اکتشاف، استخراج و فرآوری سنگ‌های تزیینی و نما	۳۷۸	-
۲	تعاریف و مفاهیم در فعالیت‌های کانه‌آرایی	٤٤١	۷
۳	فهرست خدمات طراحی پایه واحدهای کانه‌آرایی و فرآوری مواد معدنی	٤۹۷	۱۲
۴	علایم استاندارد نقشه‌های کانه‌آرایی	۵۰۸	۱۵
۵	راهنمای نرم‌افزاری علایم استاندارد نقشه‌های کانه‌آرایی مواد معدنی	۵۰۸	۲۷
۶	دستورالعمل مکان‌یابی واحدهای کانه‌آرایی و فرآوری	۵۱۵	۱٦
۷	ضوابط انجام آزمایش‌های کانه‌آرایی در مقیاس آزمایشگاهی، پایه و پیشاهنگ	۵٤٤	۳۱
۸	راهنمای محاسبه تعیین ظرفیت ماشین‌آلات و تجهیزات واحدهای کانه‌آرایی	۵٤۵	۳۲
۹	راهنمای انباشت مواد باطله در واحدهای کانه‌آرایی و فرآوری	۵۵۹	۳۳
۱۰	راهنمای سنگ‌جوری مواد معدنی به روش‌های دستی یا خودکار	۵۵٤	۳۰
۱۱	راهنمای حمل و نقل مواد معدنی در مدارهای کانه‌آرایی	۵٦٤	۳۹
۱۲	شناسایی مواد معدنی و آزادسازی آن‌ها در کانه‌آرایی	۵٦۵	۳۵
۱۳	واژه‌ها و اصطلاحات پایه اکتشاف، استخراج و فرآوری مواد معدنی	۵٦۷	۳۷
۱۴	ضوابط و معیارهای انتخاب آسیای خودشکن و نیمه‌خودشکن	۵۸۰	٤۲
۱۵	دستورالعمل کنترل و خنثی‌سازی آرسنیک، سولفید و سیانید در آزمایشگاه‌های فرآوری	٦۵۱	۵۳
۱۶	دستورالعمل نمونه‌برداری در کانه‌آرایی	٦٦۰	۵۷
۱۷	راهنمای تعیین شاخص خردایش در آسیاهای مختلف	٦٦۱	۵۸
۱۸	راهنمای آزمایش‌های جدایش ثقلی در مقیاس آزمایشگاهی	٦٦۲	۵۹
۱۹	راهنمای انتخاب مدار خردایش مواد معدنی	٦۷۰	٦۱
۲۰	راهنمای افزایش مقیاس در واحدهای کانه‌آرایی	٦۷۲	٦۳
۲۱	راهنمای آزمایش‌های خشک‌کردن، تشویه و تکلیس در مقیاس آزمایشگاهی	۳۷۲	٦۷
۲۲	راهنمای پذیرش و نگهداری نمونه‌های معدنی در آزمایشگاه کانه‌آرایی	٦۸۰	٦۸
۲۳	راهنمای پوشش و تجهیزات حفاظتی کارکنان در واحدهای کانه‌آرایی	۵۱٤	۷۲
۲۴	راهنمای مخلوط‌سازی بار ورودی در کارخانه‌های فرآوری مواد معدنی	۵۷۲	۷۳
۲۵	فهرست کنترل کیفی بار ورودی، مواد در گردش و محصولات واحدهای کانه‌آرایی	۷۰۸	۷۷
۲۶	دستورالعمل دانه‌بندی مواد معدنی	۷۱۰	۷۹
۲۷	راهنمای نرمه‌زدایی در واحدهای کانه‌آرایی	۷۳۸	۸۸
۲۸	راهنمای آماده‌سازی نمونه در آزمایشگاه کانه‌آرایی	۷٤۹	۹۰
۲۹	فهرست خدمات مهندسی تفصیلی واحدهای کانه‌آرایی	در دست تدوین	
۳۰	راهنمای محاسبات در آزمایش‌های کانه‌آرایی	در دست تدوین	
۳۱	راهنمای آزمایش‌های هیدرومتالورژی در مقیاس آزمایشگاهی	در دست تدوین	
۳۲	راهنمای فنی کنترل و پایش تجهیزات فرآوری	در دست تدوین	

خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور، با گذشت بیش از چهل سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر هفتصد عنوان نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به‌صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. ضابطه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی **nezamfanni.ir** قابل دستیابی می‌باشد.

Islamic Rpublic Of Iran
Plan and Budget Organization

Guideline of Mining Geology

No.755

Deputy of Technical, Infrastructure and Production Affairs

Department of Technical and Executive Affairs

Consultants and Contractors

nezamfanni.ir

Ministry of Industry, Mine and Trade

Deputy of Mine Affairs and Mineral Industries

Office for Mining Supervision Affairs

http://www.minecriteria.mimt.gov.ir

2019

در این نشریه

راهنمـــای کنتـــرل کیفیـــت و کمیـــت محصـــولات استخراجی، پیش‌بینی شکستگی‌ها، تغییرات عیار مـاده معـــدنی، نحـــوه برداشـــت و نمونـــه‌بـــرداری از حفریـــات استخراجی و محاسبه ذخیره قابـل اسـتخراج در حـین بهره‌برداری ارایه شده است. بررسی وضعیت گازخیزی و کنترل خودسوزی در معادن زغال‌سنگ، از جمله دیگـر موضوعاتی است که در این مجموعـه مـورد بحـث قـرار گرفته است.