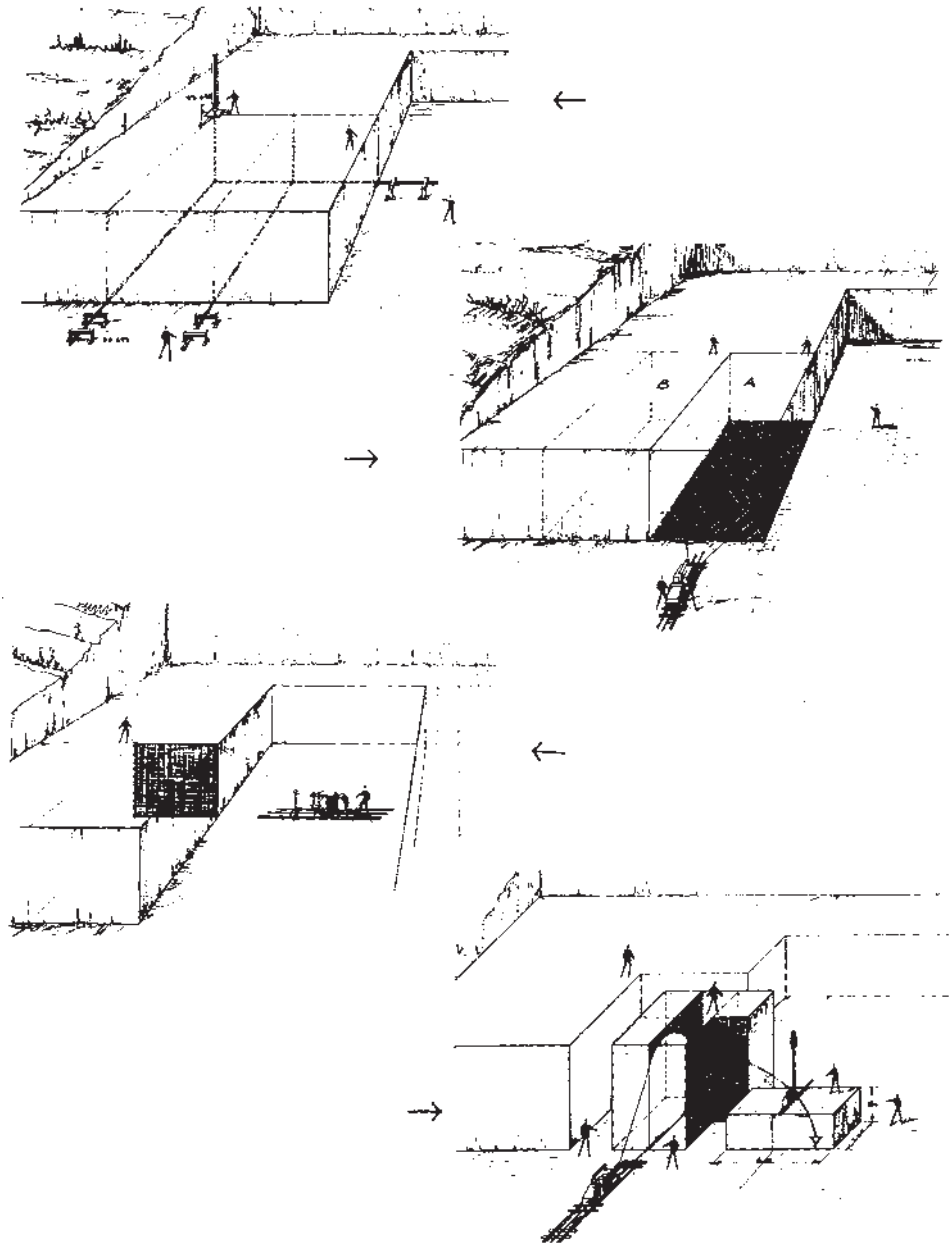
شکل ۱۱ــ۵ــ دستگاه سیم‌برش دیزلی

به‌علت اصطکاک فراوانی که در حین برش، بین سنگ و سیم وجود دارد، گرمای زیادی تولید و باعث می‌شود که سیم به‌آسانی سنگ را برش ندهد. به همین دلیل، باید سیم را همیشه خنک نگه داشت. برای این‌کار از آب استفاده می‌شود. برای تأمین آب مورد نیاز، یک مخزن و پمپ آب که در یک محل مناسب قرار گرفته‌اند، به‌کار می‌رود. ترتیب برش سطوح در این روش اهمیت زیادی دارد و معمولاً بدین شکل است که ابتدا، سطح زیرین بلوک و سپس سطح جانبی و پشتی برش داده می‌شود.



شکل ۱۲ــ۵ــ مراحل مختلف استخراج سنگ با سیم برش

مهم‌ترین وسیله‌ای که در این روش به کار می‌رود، سیم برش الماسه است. سیم برش، از یک سیم فولادی تشکیل شده که در فاصلهٔ معین آن، سگمنت‌های الماسه به‌کار رفته است. در میان این سگمنت‌ها، بوش و فنر فلزی قرار می‌گیرد. معمولاً در هر متر از سیم برش ۳۲ سگمنت نصب می‌شود.

الف ــ سگمنت‌های سیم برش

ج ــ سیم برش مونتاژشده

ب ــ متعلقات سیم برش

شکل ۱۳ــ۵ــ اجزای مختلف سیم برش

برای اتصال اجزای مختلف سیم برش، از دستگاه پرس مخصوص دستی و کارگاهی استفاده می‌کنند.

الف ــ پرس هیدرولیکی دستگاه سیم برش　　ب ــ ابزار برش و پرس دستی سیم برش

شکل ۱۴ــ۵

در هنگام کار برای حفظ ایمنی با سیم برش نکات بسیار مهمی را باید رعایت کرد. اولین نکته، استفاده از سپر محافظ بر روی دستگاه و استقرار کاربر در محل مناسب است تا در صورت پارگی سیم از خطر محفوظ باشد. نکتهٔ بعدی جهت گردش سیم است، به‌طوری که دانه‌های سگمنت، کاملاً در معرض آب قرار گیرند. همچنین ؛ برای آن‌که سطح‌های تحت برش صاف و یک‌دست بریده شوند، دستگاه برش و چال‌ها، باید در یک خط قرار گیرند، چال‌های ارتباطی انحراف نداشته باشند، دستگاه در حال برش، دچار تغییر ناگهانی کشش سیم نگردد و از حالت تراز خارج نشود.

مهم‌ترین عللی که باعث پاره‌شدن سیم برش می‌شوند، عبارت‌اند از :

۱ــ پوسیده‌شدن سیم، دراثر استفاده فراوان که در این‌صورت، باید سیم را پیوسته کنترل کرد.

۲ــ کشش بیش از حد سیم

۳ــ برخورد ناگهانی به سطوح سخت یا نرم

۴ــ وجود زدگی و خراشیدگی در سیم

۵ــ قرارگیری دستگاه با زاویه نامتناسب، نسبت به بلوک سنگ

۶ــ وجود خاک و سنگریزه در مسیر سیم

۷ــ انحراف مسیر سیم برش.

روش استخراج با استفاده از تیغهٔ برنده (هاواژ)

برای استخراج سنگ‌هایی که سختی بسیار بالایی ندارند، از ماشین‌هایی با تیغهٔ برنده می‌توان استفاده کرد. تیغهٔ برنده، شامل یک بازو است و زنجیری دور آن حرکت می‌کند. زنجیرها دارای سگمنت‌هایی از جنس کربورتنگستن هستند که برای برش سنگ آماده شده است. جهت حفر شیارهای متفاوت، می‌توان بازو را تعویض کرد. شکل کلی تیغهٔ برنده، تقریباً مشابه اره‌های برقی است که برای برش چوب به‌کار می‌روند. نیروی محرکهٔ دستگاه نیز از طریق برق یا موتور دیزل تأمین می‌شود.

شکل ۱۵ــ۵ــ تیغه برنده در حین استخراج سنگ

برای استخراج، ابعاد بلوک سنگ، با توجه به اندازهٔ تیغه تعیین می‌شود. با چرخش زنجیر به دور بازو و حرکت بازو در سنگ، شیار ایجاد می‌شود. این دستگاه نیز مانند دستگاه سیم برش، روی ریل حرکت کرده و در جهت مورد نیاز، به‌طور هیدرولیکی تغییر مکان می‌دهد. با این دستگاه، فقط عمل برش را به صورت افقی و عمودی می‌توان انجام داد و سطوح برش باید کاملاً تراز یا عمود باشند. در این روش هم، برای خنک‌کرن تیغهٔ برنده، از آب استفاده می‌کنند.

شکل ۱۶ــ۵ــ تیغه برنده در حالت برش قائم

مزایای استفاده از تیغهٔ برنده در مقایسه با سیم برش به شرح زیر است :

۱ــ سرعت برش بیشتر از سیم برش است.

۲ــ برش سطح پشتی، آسان‌تر و سریع‌تر از سیم برش صورت می‌گیرد.

۳ــ ایمنی بیشتری نسبت به سیم برش دارد.

۴ــ در این روش نیاز به حفر چال نداریم. در این صورت هزینه‌های حفاری کاهش یافته و از نظر اقتصادی با صرفه‌تر است.

روش استخراج با استفاده از دیسک برنده

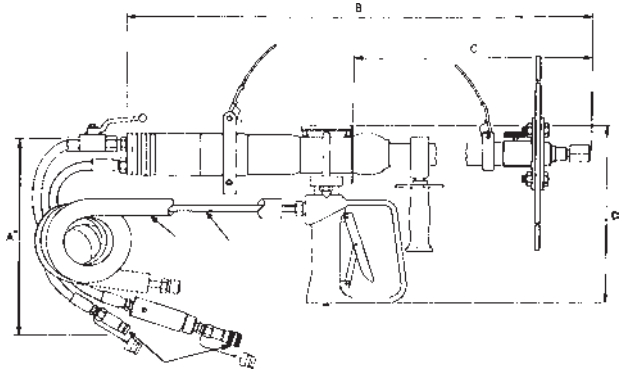
دیسک برنده، دارای ساختمان تقریباً ساده‌ای بوده و در معادنی که سنگ‌های آن سختی متوسط دارند، به‌کار می‌رود. این دستگاه، دارای یک دیسک است و در اطراف آن دندانه‌هایی از نوع کربورتنگستن وجود دارد که این دندانه‌ها قابل تعویض هستند. با تغییر آلیاژهای دندانه‌های دیسک، می‌توان سرعت برش را نیز بالا برد. نیروی محرکهٔ دستگاه از طریق برق یا موتور دیزل تأمین

می‌شود. ابعاد بلوک سنگ برای استخراج به‌اندازهٔ ابعاد دیسک برنده تعیین می‌شود. کنترل دستگاه، می‌تواند از روی خود آن با کاربر انجام شود. برای خنک‌کاری دیسک برنده، از آب استفاده می‌شود ؛ مزایای این دستگاه هم مشابه با تیغه برنده است.

شکل ۱۷ــ۵ــ دیسک برنده

روش استخراج با استفاده از فشار آب[1]

در این روش استخراج بلوک سنگ به کمک فشار آب انجام می‌گیرد. سنگ‌هایی را که تقریباً نرم هستند و وجود آب فراوان، تأثیری در ساختار آن‌ها ندارد به این روش می‌توان استخراج کرد. آب در دستگاه مخصوص و به کمک آبفشان‌هایی زیر فشار فراوان قرار گرفته و با سرشیلنگ‌های مخصوص و دورانی بر روی سنگ پاشیده می‌شود. فشار آب در دستگاه آبفشان، قابل تنظیم بوده و برای عملیات‌هایی نظیر شست‌وشو، تمیزکردن و برش ، فشار آب مورد نظر تنظیم می‌شود. هرچه فشار آب در دستگاه بیشتر شود، باید از لوله‌های غیرقابل انعطاف یا لولهٔ ثابت استفاده کرد.



الف ــ برش سنگ با دستگاه آبفشان

ب ــ بخشهای مختلف آبفشان

شکل ۱۸ــ۵

این روش در مقایسه با روش‌های دیگر بسیار گران است. تأمین آب مورد نیاز مصرفی، بازیابی مجدد آب، صرف انرژی بسیار زیاد، تهیهٔ دستگاه آبفشان و تجهیزات آن بسیار سخت بوده و باعث شده تا این روش چندان مورد توجه قرار نگیرد.

روش استخراج با استفاده از حرارت و شعله

این روش، بیشتر در سنگ‌های سخت و گرانیت مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش، به‌کمک شعله و حرارت ناشی از آن، شیارهایی در سنگ ایجاد کرده و بلوک مورد نظر را استخراج می‌کنند. در واقع ؛ برای برش سنگ از خاصیت ذوب استفاده می‌شود. حرارت و شعله لازم با گازوئیل یا مواد سوختی دیگر و هوای فشرده به‌عنوان کمک سوخت تأمین شده و اکسیژن هم، به عنوان کمک سوخت اضافی، هنگام روشن‌کردن مشعل به‌کار برده می‌شود. شعله و حرارت لازم با ابزار و دستگاه مخصوص این کار، ایجاد شده و به‌کمک مشعل با فشار به سطح سنگ می‌رسد. حرارت تولیدشده با سرعت و فشار بالا و با

۱ــ Water jet

دمای بیش از $1200^{\circ}C$ با سنگ برخورد می‌کند. در اثر انبساط ناشی از حرارت پوسته‌ای از سنگ جدا شده و شیاری در سنگ ایجاد می‌کند. این روش هم مانند روش قبل، به علت بالابودن هزینهٔ سوخت و هوای فشرده و همین‌طور مصرف انرژی فراوان، چندان متداول نبوده و کمتر به‌کار می‌رود.

الف ــ استخراج سنگ به وسیلهٔ حرارت و شعله در یک معدن گرانیت

ب ــ دستگاه ویژه تولید شعله

شکل ۱۹ــ۵

روش استخراج با استفاده از مواد شیمیایی مخصوص (کتراک)[1]

امروزه، با پیش‌رفت علم و فن‌آوری، انواعی از مواد شیمیایی تهیه شده است که مانند پاس و گوه عمل می‌کند و باعث جداشدن بلوک سنگ، از کانسار می‌شوند. این مواد در صورت ترکیب با آب

۱ــ Katrock

چند برابر حجم اولیه، اضافه حجم پیدا کرده و شکافی در سنگ ایجاد می‌کنند. برای کار، مانند روش چال موازی، چال‌هایی با فاصله‌های معین، در سنگ حفر می‌شود و پس از آن مواد مخصوص که به‌صورت ملات تهیه شده‌اند، در داخل چال قرار می‌گیرند. پس از قراردادن مواد در داخل چال، دهانهٔ چال مسدود می‌شود و پس از چند ساعت، این مواد اضافه حجم پیدا می‌کند و باعث ایجاد شکاف در سنگ می‌شوند. این روش، دارای ضریب ایمنی بسیار بالایی، در مقایسه با روش‌های دیگر است. اما در عوض، قیمت این مواد شیمیایی بسیار گران بوده و اتلاف انرژی آن، در سنگ‌هایی که دارای درزه و شکاف است، زیاد می‌باشد. همچنین ؛ در این روش نمی‌توان کنترلی بر روی شکست سنگ داشت ؛ به همین علت در بسیاری ازموارد، سنگ به شکل نامنظم شکسته شده و بلوک مناسب، حاصل نمی‌شود.

روش‌های استخراج زیرزمینی سنگ‌های تزئینی و نما

درصورتی‌که کانسار سنگ ساختمانی در عمق زمین قرار گرفته باشد و استخراج روباز آن به‌صرفه نباشد، باید آن‌را با روش‌های زیرزمینی استخراج کرد به علت اینکه بلوک‌های سنگ، باید در قطعات درشت استخراج شوند، فضاهای زیرزمینی در این حالت، بزرگ‌تر از فضاهای زیرزمینی کانسارهای دیگر است و این فضاها معمولاً نیازی به نگه‌داری ندارند. نحوهٔ دسترسی به ماده معدنی و آماده‌سازی کارگاه، مشابه آنچه که در روش‌های استخراج سایر کانسارهای زیرزمینی گفته شد، صورت می‌گیرد. استخراج سنگ‌ها نیز می‌تواند به روش اتاق و پایه انجام شود. سنگ‌ها بیشتر با تیغهٔ برنده، دیسک برنده و یا آتش‌کاری کنترل شده برش داده می‌شوند و کمتر از روش‌های دیگر برای استخراج آن‌ها بهره می‌گیرند. پس از برش و استخراج بلوک‌های بزرگ، در همان فضای زیرزمینی بلوک‌ها، به قطعات کوچک‌تر بریده شده و به بیرون معدن انتقال می‌یابند. چون در ایران معدن زیرزمینی سنگ ساختمانی وجود ندارد، از ذکر توضیحات بیشتر، خودداری می‌کنیم.

روش‌های استخراج ترکیبی

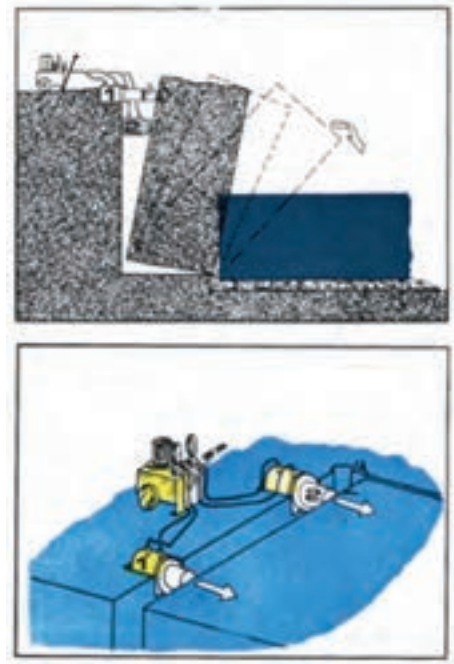
در بیشتر کارگاه‌های استخراج سنگ‌های تزئینی، به‌دلیل وجود مشکلات فنی و اقتصادی و غیره و همچنین، برای تسریع در امر استخراج، سعی می‌شود برحسب امکانات و شرایط موجود، از روش‌های ترکیبی استفاده شود. این عمل در بیشتر معادن ایران انجام می‌گیرد ؛ برای مثال ماشین‌های برش با تیغهٔ برنده را برای برش سطح پشتی می‌توان به‌کار برد و از سیم برش الماسه برای برش بخش‌های دیگر بهره گرفت. گاهی اوقات نیز، استخراج بلوک بزرگ از کانسار با سیم برش صورت گرفته و برای تقسیم بلوک به قطعات کوچک‌تر، از روش چال موازی استفاده می‌شود. بعضی مواقع

که امکان توسعهٔ شبکه برق به کارگاه نباشد و نتوان از ماشین آلات برقی استفاده کرد، تجهیزاتی که با هوای فشرده یا موتور دیزل راه‌اندازی می‌شوند، به‌کار می‌رود.

به هر حال، هر روشی که برای استخراج سنگ‌های ساختمانی استفاده می‌شود. باید به‌گونه‌ای باشد که در مقایسه با روش‌های دیگر، مستلزم صرف زمان و هزینه کمتری بوده و بهترین راندمان تولید را داشته باشد.

جداکردن و جابه‌جایی بلوک‌های استخراج‌شده از کانسار

روش‌های ذکرشده، در واقع، برای کندن بلوک‌های سنگی از کانسار به‌کار برده می‌شود و پس از برش و جداکردن بلوک‌ها از کانسار، باید آن‌ها را برای حمل و نقل یا برش دوباره، آماده کرد. برای این‌کار روش‌ها و ابزار مختلفی وجود دارد. عمده‌ترین این ابزار جک‌های هیدرولیکی و بالشتک‌های هوای فشرده و آب هستند. برای جداکردن بلوک‌ها، این ابزار را در پشت بلوک سنگ قرار داده و با نیروی هیدرولیکی یا هوای فشرده و یا آب به بلوک فشار می‌آورند. یادآوری می‌شود که وقتی بلوک‌های سنگ، جدا شده و به زمین می‌افتند، شکستگی در آن‌ها پدید می‌آید. برای جلوگیری از شکستگی سنگ محل افتادن بلوک را یک لایه شن و ماسهٔ ریزدانه یا خاک نرم می‌ریزند تا پس از افتادن، بلوک دچار شکستگی نشود.



شکل ۲۰ــ۵ــ نحوهٔ جداکردن بلوک‌های سنگ با جک‌های هیدرولیکی

شکل ۲۱ــ۵ــ نحوهٔ جداکردن بلوک‌های سنگ با بالشتک‌های هوای فشرده

معمولاً قطعه‌های کنده شده از کوه، برای حمل و نقل مناسب نبوده و باید بار دیگر به قطعات کوچک‌تر و مناسب‌تری برش داده شوند. برش دوبارهٔ سنگ‌ها، با روش چال موازی و یا ماشین‌آلات برش انجام می‌گیرد. برای حمل بلوک‌های سنگ به کارگاهی که در آن برش مجدد باید صورت گیرد، از بولدوزر می‌توان استفاده کرد. پس از برش هم برای بارگیری سنگ به داخل کامیون، یک سکو در معدن تعبیه می‌شود تا کامیون در آن قرار گرفته و بولدوزر بلوک را به داخل کامیون هُل دهد. اما در هنگام حرکت بولدوزر و حمل سنگ، ضربه‌هایی از طرف بولدوزر به بلوک وارد می‌شود که ممکن است باعث به‌وجودآمدن شکستگی در سنگ شود. به این علت، برای حمل سنگ به کارگاه برش مجدد می‌توان وینچ و قرقره به‌کار برد و برای بارگیری آن به داخل کامیون با نصب یک دستگاه جرثقیل در نزدیکی کارگاه برش می‌توان نیاز معدن را از وجود بولدوزر برطرف ساخت.

شکل ۲۲ــ۵ــ جرثقیل مخصوص حمل بلوک‌های سنگ استخراجی

خودآزمایی

۱ــ تقسیم‌بندی روش‌های استخراج سنگ‌های تزیینی و نما چگونه است؟
۲ــ کارگاه استخراج معدن سنگ ساختمانی چگونه آماده‌سازی می‌شود؟
۳ــ انواع روش‌های استخراج به‌وسیلهٔ مواد ناریه چگونه است؟
۴ــ چه مواردی در استخراج سنگ ساختمانی با سیم برش باید رعایت شود؟
۵ــ تیغهٔ برنده (ماشین هاواژ) و دیسک برنده چه تفاوت‌هایی با هم دارند.
۶ــ استخراج توسط فشار آب و حرارت چگونه صورت می‌گیرد؟
۷ــ مواد مخصوص شیمیایی برای استخراج سنگ ساختمانی چگونه مورد مصرف قرار می‌گیرند؟
۸ــ آیا سنگ‌های ساختمانی موجود در اعماق زمین را هم می‌توان استخراج و بهره‌برداری نمود؟
۹ــ بلوک‌های سنگ‌های ساختمانی برش داده شده را چگونه از کانسار باید جدا کرد؟

فصل ششم

عملیات آماده‌سازی و احداث شبکه، در معادن زیرزمینی

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل هنرجو باید بتواند :

۱ــ کلیاتی در مورد عملیات آماده‌سازی و احداث شبکه در معادن زیرزمینی بیان کند.

۲ــ نحوه تقسیم‌بندی منطقه معدن به چند بخش مجزا را شرح دهد.

۳ــ چگونگی تعیین مشخصات معدن را توضیح دهد.

۴ــ احداث شبکه و تقسیم‌بندی بخش‌های مختلف یک قطعه معدنی را تشریح کند.

۵ــ آماده‌سازی کارگاه استخراج را شرح دهد.

۶ــ نحوهٔ استخراج پیش رو و پس‌رو در کارگاه را تشریح کند.

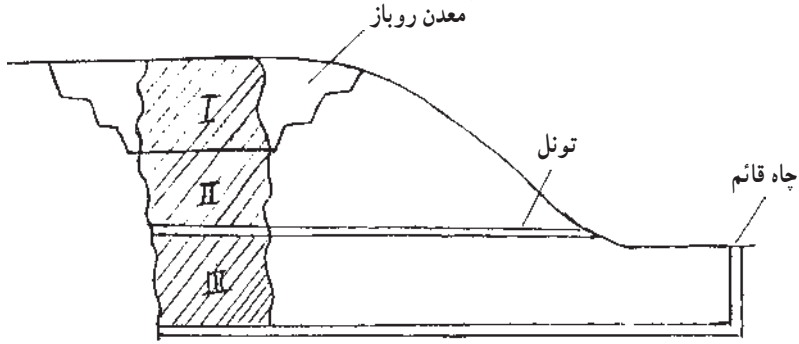
کلّیّات

وقتی در مراحل پایانی اکتشاف، مشخص شد که معدن به‌صورت زیرزمینی استخراج خواهد شد، باید برای شروع به بهره‌برداری تمهیداتی انجام داد. عملیات معدن‌کاری باید به ترتیب و در بخش‌های تعیین‌شده صورت گیرد. همان‌طورکه در معادن روباز دیدیم، استخراج طی یک نظم خاص از بالا به پایین انجام می‌شود و در معادن زیرزمینی نیز کل معدن را براساس شرایط مختلف به بخش‌های مجزا تقسیم کرده و به ترتیبی که در مرحلهٔ طراحی تعیین می‌شود استخراج می‌کنند.

شکل ۱ــ۶ــ حفاری در یک معدن زیرزمینی

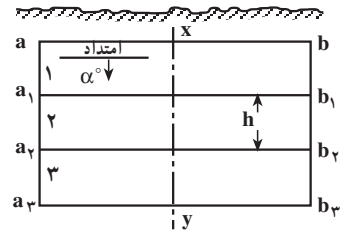
تقسیم بندی منطقهٔ معدن به چند بخش مجزا

چون بیشتر کانسارها در ابعاد مختلف، دارای شرایط کیفی، زمین‌شناسی و اندازه متفاوتی هستند، به همین علت معمولاً نمی‌توان کل یک معدن زیرزمینی را تنها به یک روش خاص بهره‌برداری نمود و باید آن‌را به بخش‌های معین تقسیم و هر بخش را با توجه به شرایطی که دارد، استخراج کرد.

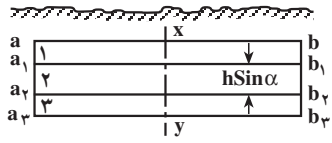


شکل ۲ــ۶ــ روش‌های مختلف استخراج برای یک کانسار

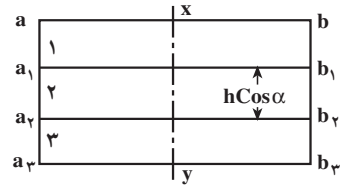
بنابراین ؛ اصولاً هر منطقه و محدودهٔ معدنی به چند قطعه (معدن) بزرگ تقسیم شده و هر قطعه به روش خاصی بهره‌برداری می‌شود. قطعه معدن[1] به همه یا قسمتی از یک کانسار اطلاق می‌شود که کار معدنی در آن انجام می‌گیرد. شکل یک قطعه معدنی، به مشخصات کانسار بستگی دارد. در کانسارهایی که شکل منظمی دارند، قطعهٔ معدن تقریباً به شکل مستطیل است که در طول خط امتدادی گسترش یافته است. در شکل زیر نمای یک لایه منحصربه‌فرد، از یک قطعه معدن نمایش داده شده است.



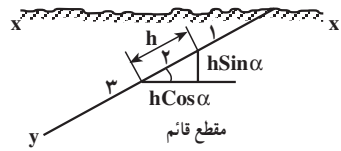
الف ــ تصویر روی صفحه لایه



ب ــ تصویر روی صفحه قائم امتدادی



ج ــ تصویر روی صفحه افق

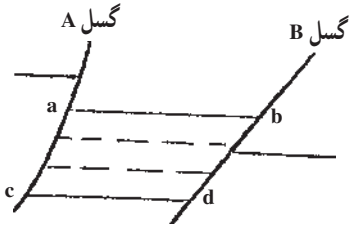


د ــ تصویر روی صفحه قائم عمود بر امتداد

شکل ۳ــ۶ــ تصویرهای مختلف صفحهٔ یک لایه منحصربه‌فرد

۱ــ Mine field

باید بدانیم اندازهٔ قطعه معدنی به‌گونه‌ای مشخص می‌شود که برای ۱۰ تا ۴۰ سال بتوان در آن عملیات استخراج را صورت داد. بیشتر اوقات عوامل طبیعی، مانند چین‌خوردگی و گسل، در طراحی اندازهٔ قطعه معدن تأثیر داشته و آن را دچار تغییرات می‌کند. در واقع، می‌توان گفت این عوامل به‌طور تقریبی اندازهٔ قطعه معدن را تعیین می‌کنند. به‌طورکلی، اندازهٔ قطعه معدنی با محاسبهٔ خاص خود، در طراحی مشخص می‌شود. مثلاً در شکل زیر قطعهٔ معدنی با گسل A و B محدود شده است.



شکل ۴ــ۶ــ محدود شدن قطعه معدن به‌وسیله دو گسل

تعیین مشخصات معدن

هنگامی‌که یک منطقهٔ معدنی به قطعات و معادن مجزا تقسیم بندی شد، برای طراحی استخراج و شروع عملیات بهره‌برداری، لازم است که مشخصات هر معدن مشخص شود. مهم‌ترین مشخصه‌هایی که برای هر معدن باید تعیین شود، به شرح زیر است :

۱ــ محدودهٔ معدن: همان‌طورکه گفته شد، در بسیاری از موارد، عوامل طبیعی و شرایط قرارگیری کانسار، محدودهٔ یک قطعهٔ معدنی را تعیین می‌کنند. هرچه‌قدر شرایط و موقعیت کانسار یک‌نواخت‌تر و تغییرات آن ملایم‌تر باشد، وسعت محدودهٔ معدن را می‌توان گسترده‌تر در نظر گرفت. همچنین ؛ محدودهٔ معدن طوری باید باشد که با درنظرگرفتن عوامل مختلف، هزینهٔ استخراج یک تن ماده در طول سال‌های بهره‌برداری به حداقل برسد.

وقتی بخشی از یک ذخیرهٔ معدنی دارای چین‌خوردگی باشد، شرایط کانسار در این ناحیه تغییر کرده و می‌توان آن‌را با روش دیگری استخراج کرد. بنابراین ؛ قطعهٔ معدن به این ناحیه محدود می‌گردد. یا اگر یک کانسار بسیار پرشیب باشد، عرض ناحیه بهره برداری را نمی‌توان خیلی وسیع در نظر گرفت.

از عوامل دیگری که در تعیین محدوده معدن تأثیرگذار است، مقدار ذخیره ماده معدنی در واحد سطح، شرایط اقتصادی و تقاضای خرید برای ماده معدنی، محدودیت سرمایه‌گذاری و محدودیت‌های قانونی را می‌توان نام برد.

۲ــ میزان استخراج سالیانه و تعیین عمر معدن: راندمان تولید یک معدن از روی میزان استخراج آن در یک سال مشخص می‌شود. استخراج سالیانهٔ هر معدن، در طراحی‌های قبل از استخراج تعیین شده و به آن **ظرفیت سالیانه** یا **ظرفیت تولید** هم گفته می‌شود. مشخص‌کردن ظرفیت یک معدن از طریق محاسبه‌های اقتصادی و با درنظرگرفتن عوامل مختلفی از قبیل ارزش فروش ماده معدنی، راندمان کارگران، به‌کارگیری ماشین‌آلات مختلف و ... امکان‌پذیر خواهد بود. یکی از مواردی که در تعیین ظرفیت معدن نقش اساسی دارد، هماهنگ‌بودن بخش‌های مختلف معدن از جمله پرسنل حفار، آتش‌کار، مسئولین نگه‌داری معدن و ... در هنگام اجرای عملیات بهره‌برداری است ؛ طوری‌که آماده‌سازی کارگاه‌های جدید، هم‌زمان با اتمام کارگاه‌های استخراج در حین کار صورت گیرد و همواره کارگاه جدیدی وجود داشته باشد تا جانشین کارگاه تخلیه شده بشود.

در صورت تعیین مقدار تولید روزانه در معدن و ضرب آن در تعداد کل روزهای قابل کار در سال می‌توان اندازهٔ تولید ماده معدنی در کل سال را به‌دست آورد. تعداد روزهای قابل کار سال در یک معدن به شرایط آب و هوایی، تعداد روزهای تعطیل در سال و عوامل دیگر بستگی دارد. میزان استخراج سالانه از سال شروع تا پایان بهره‌برداری، باید مطابق با طرح ثابت بماند اما عملاً چنین اتفاقی نخواهد افتاد و معمولاً در سال‌های انتهایی بهره‌برداری، به علت‌های مختلف کاهش تدریجی در تولید به‌وجود می‌آید (در صورت آماده‌بودن کارگاه‌های جدید می‌توان با استخراج هم‌زمان کارگاه‌ها، کمبود تولید را جبران کرد).

بنابراین، عمر واقعی یک معدن به علت افزایش یا کاهش تولید و اختلاف ذخیره واقعی، با ذخیرهٔ محاسبه‌شده و یا باقی‌ماندن بخشی از ذخیره در داخل زمین با عمر محاسبه شدهٔ آن تفاوت دارد. مدت زمانی که طول می‌کشد تا کل ذخیره یک معدن استخراج شود، **عمر معدن** نامیده می‌شود. اطلاع از عمر معدن برای تعیین وسایل نگه‌داری مناسب و ماشین‌آلات بارگیری و حمل و نقل در معدن مهم است. مابین ظرفیت، ذخیره و عمر معدن یک سری روابط ساده ریاضی برقرار است که عبارت‌اند از :

A : ظرفیت سالیانه معدن (تن)

Z : میزان ذخیره معدن (تن)

T : عمر معدن (سال)

$$A = \frac{Z}{T} \qquad T = \frac{Z}{A} \qquad Z = A \times T$$

مثال: درصورتی‌که میزان ذخیره یک معدن زغال ۲۰,۰۰۰,۰۰۰تن محاسبه شده و استخراج

روزانهٔ آن ۱۵۰۰ تن باشد، عمر معدن را حساب کنید. اگر مجموع افت‌های مادهٔ معدنی ٪۲۰ در نظر گرفته شود و تعداد روزهای کاری در کل سال ۲۹۰ روز باشد.

ماده معدنی قابل استخراج (تن) $Z = ۲۰,۰۰۰,۰۰۰ - (۲۰,۰۰۰,۰۰۰ \times ۲۰٪) = ۱۶,۰۰۰,۰۰۰$

میزان استخراج سالانه (تن) $A = ۱۵۰۰ \times ۲۹۰ = ۴۳۵۰۰۰$

عمر معدن (سال) $T = \frac{Z}{A} = \frac{۱۶,۰۰۰,۰۰۰}{۴۳۵۰۰۰} \simeq ۳۷$

براساس تجربه و آمار به‌دست‌آمده، عمر متوسط معادن زغال را براساس استخراج روزانه مانند جدول زیر می‌توان تخمین زد.

جدول ۱ــ۶

استخراج روزانه (برحسب تن)	عمر متوسط معدن (برحسب سال)
۱۰۰۰	۲۰
۱۵۰۰	۲۵
۲۰۰۰	۳۰
۳۰۰۰	۴۰
۴۰۰۰	۴۵
۵۰۰۰	۵۰ تا ۷۰

۳ــ تعیین محل حفریات دسترسی به کانسار: دربارهٔ محل حفر چاه یا تونل اصلی، در فصل بازکردن معادن توضیح داده شده است. به دلیل اهمیت موضوع، شرایطی که محل چاه یا تونل اصلی باید داشته باشد، به‌صورت خلاصه ذکر می‌کنیم. این شرایط عبارت‌اند از :

۱ــ چاه یا تونل در جایی حفر شود که برای احداث تأسیسات سطحی در نزدیک‌ترین محل به‌آن‌ها، فضای کافی وجود داشته باشد.

۲ــ چاه اصلی در محلی باشد که برای نگه‌داری و حفظ حریم آن حداقل ماده معدنی باقی گذارده شود.

۳ــ حفر چاه یا تونل نبایستی در قسمت‌های برفگیر یا محل عبور آب‌های سطحی باشد.

۴ــ چاه یا تونل اصلی به گونه‌ای ایجاد شوند که حداقل عملیات حفاری انجام شود.

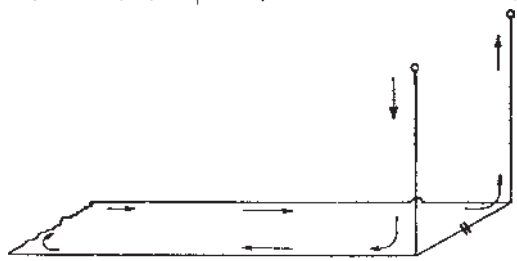
شکل ۵ــ۶ــ تونل اصلی ورودی یک معدن

شکل ۶ــ۶ــ دهانهٔ چاه اصلی در یک معدن

احداث شبکه و تقسیم‌بندی بخش‌های مختلف یک قطعهٔ معدنی

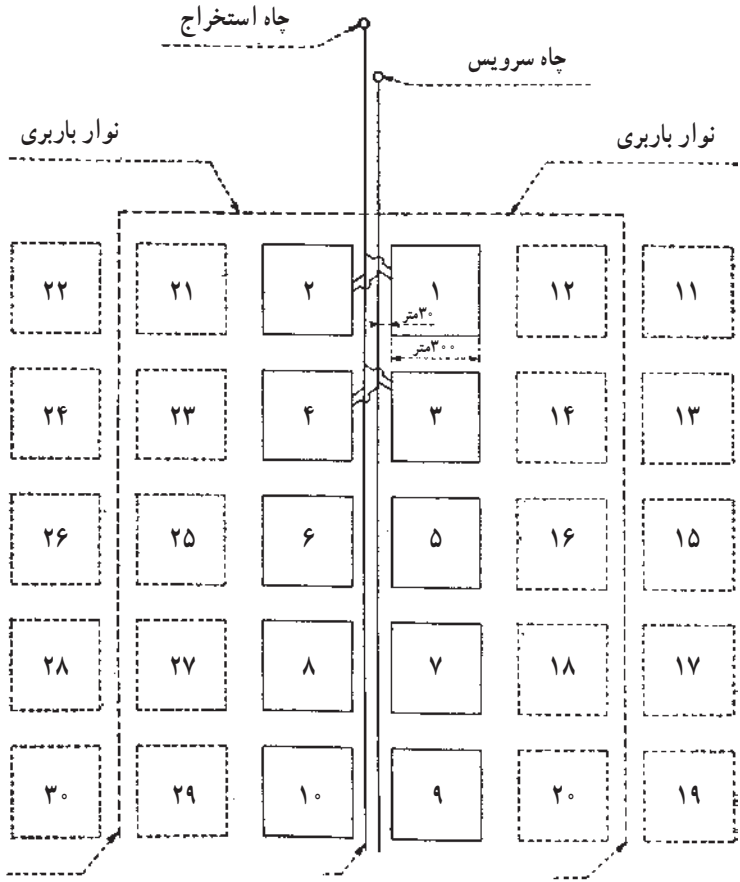
به‌طورکلی، منظور از احداث شبکه در معدن، تقسیم‌کردن کانسار به بخش‌هایی است که هر بخش به طور مجزا دارای راه‌های ورود و خروج هوا، پرسنل معدن، حمل و نقل مواد معدنی و ماشین‌آلات بوده و شکل آن باید متناسب با ابعاد کانسار و گسترش آن در جهت‌های مختلف باشد.

نحوهٔ احداث شبکه در کانسارهای مختلف با هم متفاوت است. مثلاً اگر کانسار دارای یک لایهٔ تقریباً افقی باشد، برای رسیدن به آن دو عدد چاه قائم حفر کرده و تونل‌های افقی در لایه احداث می‌کنند.



شکل ۷ــ۶ــ دسترسی به یک لایه منفرد

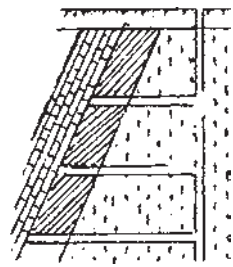
برای شبکه‌بندی معدن، تعدادی تونل افقی موازی با یکدیگر و در دو امتداد عمود بر هم احداث شده است ؛ به این ترتیب، شبکهٔ معدن ایجاد می‌شود. در شکل زیر یک نمونه از شبکه‌بندی لایه افقی و منحصربه‌فرد دیده می‌شود و قسمت‌های مختلف آن به ترتیب شماره‌گذاری شده استخراج می‌گردند.



شکل ۸ــ۶ــ نحوهٔ شبکه‌بندی در یک لایه منفرد

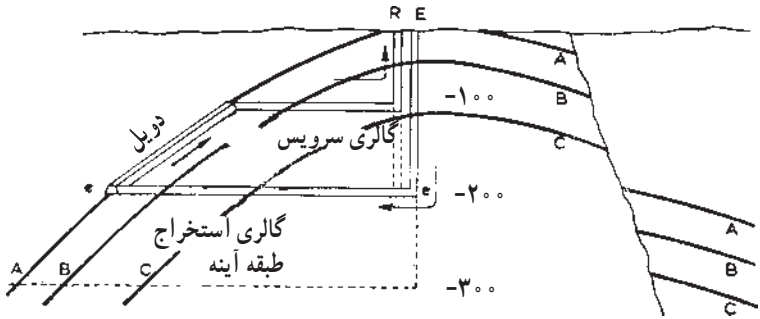
در کانسارهایی که دارای چند لایه تقریباً افقی هستند، در هر لایه یک شبکه مانندحالت قبل احداث شده و از بالا به پایین لایه‌ها استخراج می‌گردند. درصورتی‌که فاصله لایه ها از یکدیگر کم باشد، شبکه را فقط در پایین‌ترین لایه احداث کرده ؛ با حفریات قائم یا مایل، لایه‌های بالاتر را برداشت کرده و به شبکه پایین انتقال می‌دهند.

اگر کانسار شیب‌دار و گسترش عمقی داشته باشد، بایستی معدن را به طبقات افقی تقسیم کرده و هر طبقه را به‌طور مستقل شبکه‌بندی کرد. طبقهٔ معدنی به بخش‌هایی گفته می‌شود که بین دو سطح افقی یا تونل افقی قرار گرفته و فاصلهٔ بین این دو سطح را **ارتفاع طبقه** می‌گویند. همچنین ؛ فاصلهٔ بین دو طبقه در روی خط بزرگ‌ترین شیب را **ارتفاع مایل طبقه** می‌گویند.



شکل ۹ــ۶ــ احداث طبقات مختلف در معدن با حفر تونل‌های افقی

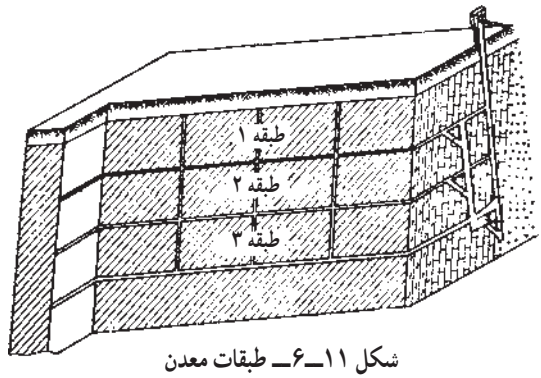
طرح شبکهٔ معدن در کانسارهای شیب‌دار، بخش‌های مختلفی دارد. همان‌طورکه در شکل ۱۰ــ۶ دیده می‌شود، در این حالت شبکه معدن دارای دو چاه ورود و خروج هوا است. دو تونل عمود بر لایه وجود دارد که یکی در کف طبقه و دیگری در بالای طبقه حفر می‌گردند و یک دویل که داخل لایه حفر شده و جریان هوا را برقرار می‌کند، برای استخراج، طبقات معدن را از بالا به پایین برداشت کرده و باید قبل از پایان استخراج طبقهٔ فوقانی، شبکهٔ طبقهٔ تحتانی تهیه شود. به همین منظور چاه‌های قائم را به اندازهٔ ارتفاع طبقه امتداد داده و تونل عمود بر لایه را در کف طبقه احداث می‌کنند. چاه‌های قائم را می‌توان از ابتدای عملیات تا عمق نهایی معدن امتداد داده و سپس طبقه را ایجاد کرد.



شکل ۱۰ــ۶ــ احداث طبقات در معدن

هر تونل امتداد لایه که در بالا و پایین طبقه قرار گرفته است، یک تراز اصلی نامیده می‌شود. حد معمول فاصله بین ترازها تقریباً بین ۱۵۰ــ۶۰ متر متغیر است. گاهی، نیاز به احداث یک تراز فرعی در بین ترازهای اصلی است که در این صورت تراز فرعی در وسط فاصلهٔ بین ترازهای اصلی واقع می‌شود. در فصل اوّل گفته شد، که تونل بالای طبقه برای عبور هوا و تونل پایینی برای حمل و نقل مواد و عبور و مرور افراد مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین ؛ تونل بالایی طبقه را تونل اصلی تهویه و تونل پایین را تونل اصلی باربری می‌گویند.

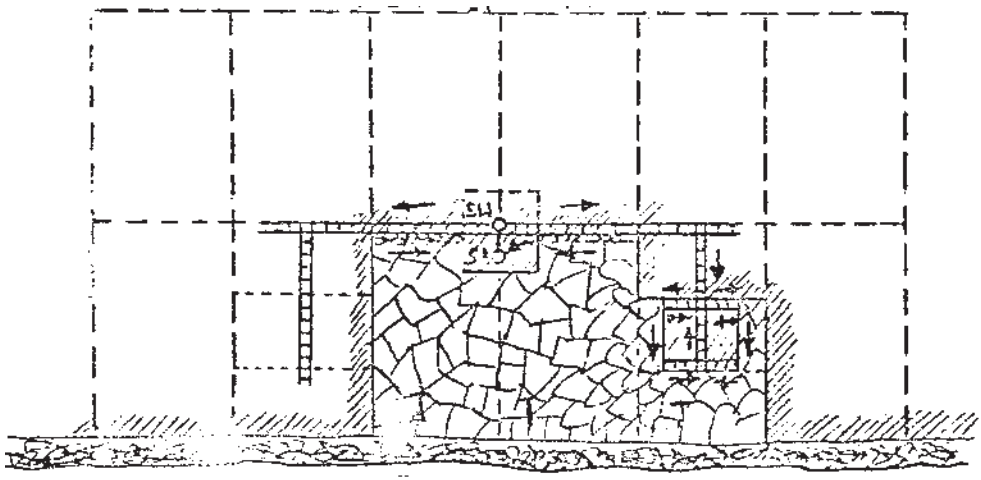
پس ازمشخص‌شدن طبقات و فواصل بین آن‌ها، هر طبقه به ترتیب از بالا به پایین آماده‌سازی و استخراج می‌شود.



شکل ۱۱ــ۶ــ طبقات معدن

در کانسارهای لایه‌ای کم‌شیب می‌توان قطعه معدن را به‌صورت پانلی شبکه‌بندی کرد. در این صورت معدن با یک تونل به دو بخش بالاشیب و پایین‌شیب تقسیم شده که هریک از آن‌ها از طریق پانل‌هایی استخراج می‌گردند. در واقع، پانل بخشی از معدن است که به تونل اصلی محدود شده و با یک دویل مستقل که به تونل اصلی مرتبط است، به بیرون معدن راه پیدا می‌کند. تونلی که معدن را به بالاشیب و پایین‌شیب تقسیم می‌کند، تونل اصلی باربری است.

پانل‌های بالاشیب از پایین به تونل اصلی، از بالا به حد فوقانی معدن و از اطراف به پانل‌های مجاور ختم می‌شوند و پانل‌های پایین‌شیب از بالا به تونل اصلی، از پایین به حد تحتانی معدن و از اطراف هم به پانل‌های مجاور ختم می‌شوند. هر پانل، به طور جداگانه دارای یک دویل دائمی است که بایستی آن‌را با وسایل نگه‌داری، حفظ کرد. مطابق شکل۱۲ــ۶ می‌توان پانل‌ها را از طرفین به‌طور یک درمیان استخراج کرد که در این صورت برای هر دو طرف احداث تونل اصلی ضروری است. بهتر است پانل‌ها را از یک طرف استخراج کرد. مهم‌ترین مشکل این روش، ایجاد حفریات مایل با طول فراوان است که باید حتماً نگه‌داری شوند.

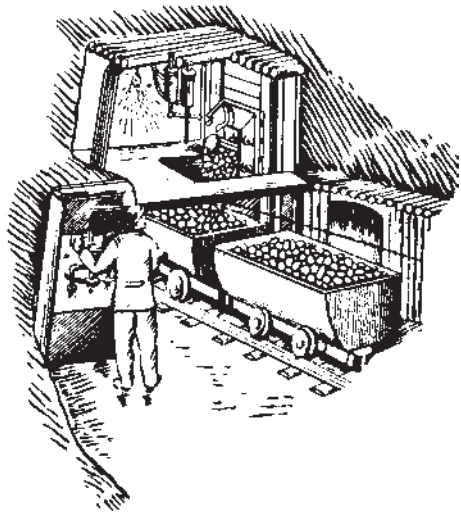


شکل ۱۲ــ۶ــ نحوهٔ شبکه‌بندی معدن به طریق پانلی

برای شروع کار استخراج، طبقات معدن، به قسمت‌های مجزا تقسیم‌بندی شده و هر قسمت به‌یک یا چند کارگاه تبدیل می‌شود. کارگاه استخراج، قسمتی از معدن است که مادهٔ معدنی از آن استخراج می‌شود و دیواره یا سطحی که از آن مواد معدنی شکسته و برداشت می‌شوند را **جبهه کار** یا **سینه کار استخراجی** می‌گویند. پیش‌روی در کارگاه‌های استخراج به دو شکل پیش‌رو و پس‌رو است. دربارهٔ استخراج پیش‌رو و پس‌رو در همین فصل توضیح خواهیم داد. ابعاد کارگاه‌ها نیز با درنظرگرفتن شرایط مختلف زمین‌شناسی و طراحی صورت گرفته شده، تعیین می‌گردد.

آماده‌سازی کارگاه استخراج

پس از آن‌که مشخصات کارگاه‌های استخراج در طبقات معدن تعیین شده بهره‌برداری مادهٔ معدنی آغاز می‌شود. نحوهٔ آماده‌سازی کارگاه‌های استخراج در معادن زیرزمینی با هم فرق دارد و در هر روش بهره‌برداری، کارگاه استخراجی به شکل ویژه‌ای آماده‌سازی می‌شود. کارگاه‌های معدن پس از برداشت ماده معدنی با وسایل مختلف نگه‌داری شده و سپس پُر یا تخریب می‌شوند. معمولاً در بخش‌های بالایی و پایینی کارگاه استخراج از ماده معدنی لنگه باقی گذاشته می‌شود. برای حمل و نقل مواد در کارگاه، از وسایل باربری که بتوان هم‌زمان با پیش‌روی کارگاه به‌آسانی آن‌ها را جابه‌جا کرد، مانند نوار نقاله، ناو ثابت یا زنجیری و در مقیاس بزرگ‌تر از لودر یا اسکریپر استفاده می‌شود. برای انتقال مواد به تونل باربری اصلی دویل‌های کوتاه یا شوت‌ها و بونکر به‌کار می‌رود. خروج مواد از داخل کارگاه به تونل باربری اصلی، با دریچه‌هایی کنترل می‌شود.



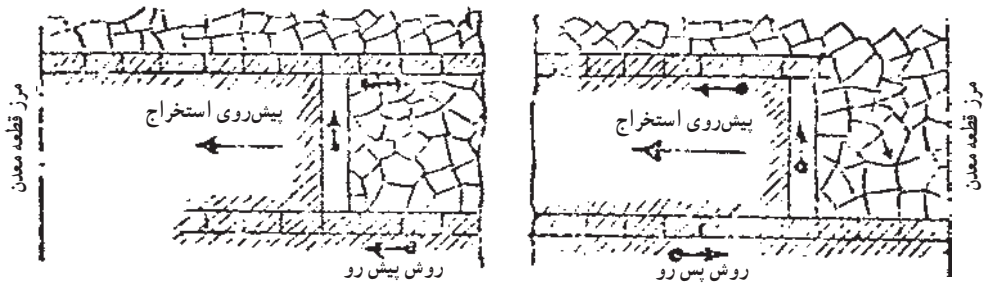
شکل ۱۳ــ۶ــ کنترل خروج مواد به واگن‌های معدن

انتقال مواد از تونل باربری اصلی به خارج از معدن، با واگن یا نوار نقاله صورت گرفته و در صورتی‌که معدن از طریق چاه قائم یا مایل به خارج راه داشته باشد، خروج مواد معدنی با اسکیپ، قفس، وینچ و واگن شیب‌دار و وسایل دیگر انجام می‌شود. در فصول بعدی، آماده‌سازی کارگاه‌های استخراج، هم‌زمان با شرح روش‌های زیرزمینی بررسی می‌شود.

شکل ۱۴ــ۶ــ لوکوموتیو معدنی در حال باربری و حمل واگن‌ها

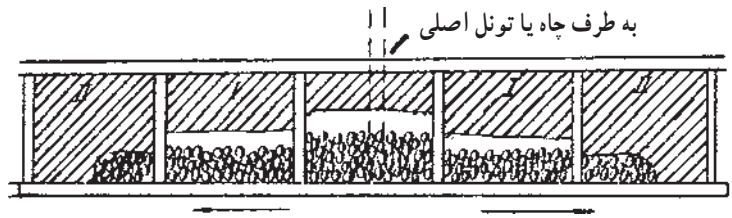
نحوهٔ استخراج پیش‌رو و پس‌رو در کارگاه

متداول‌ترین شیوه‌های بهره‌برداری در کارگاه‌های استخراج که در ایران هم از آن‌ها استفاده می‌شود، سیستم پیش‌رو و پس‌رو را می‌توان نام برد. این سیستم‌ها بر مبنای جهت پیش‌روی استخراج، تقسیم‌بندی شده‌اند. در سیستم پیش‌رو، تونل‌های باربری و تهویه، هم‌زمان با پیش‌روی جبهه کار استخراجی، پیش‌روی کرده و آماده‌سازی می‌شود ولی در سیستم پس‌رو، ابتدا تونل‌های باربری و تهویه تا انتهای کارگاه آماده‌سازی و احداث شده و سپس عمل استخراج از انتهای کارگاه آغاز می‌شود. در واقع، در روش پیش‌رو جهت پیش‌روی استخراج از چاه بازکننده، به مرزهای طرفین کارگاه است. و در روش پس‌رو، جهت پیش‌روی استخراج، از انتهای کارگاه به سمت چاه اصلی است.



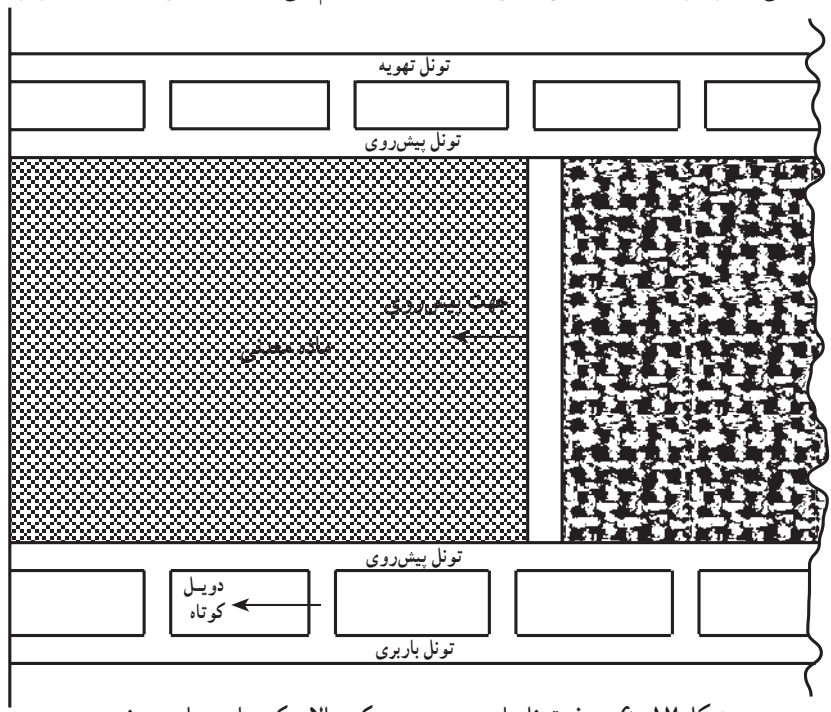
شکل ۱۵ــ۶ــ نمایش روش پیش‌رو و پس‌رو در کارگاه استخراج

همان‌طورکه گفته شد، در روش پیش‌رو، نیازی به آماده‌سازی تونل‌های باربری و تهویه، قبل از شروع عملیات استخراج نبوده و این تونل‌ها هم‌زمان با استخراج، پیش‌روی می‌کنند. در این‌صورت، زمانی برای آماده‌سازی راهروهای اصلی قبل از استخراج صرف نمی‌شود و ماده معدنی را می‌توان با صرف زمان کمتری برداشت کرد. در روش پیش‌رو برای حفظ تونل‌های اصلی باربری و تهویه، لازم است که ازمادهٔ معدنی لنگه باقی گذارده شود که به این ترتیب، با افت مادهٔ معدنی مواجه می‌شویم. همچنین، مدت زمان فراوان نگه‌داری تونل‌ها ممکن است، باعث بروز مشکلاتی شود.



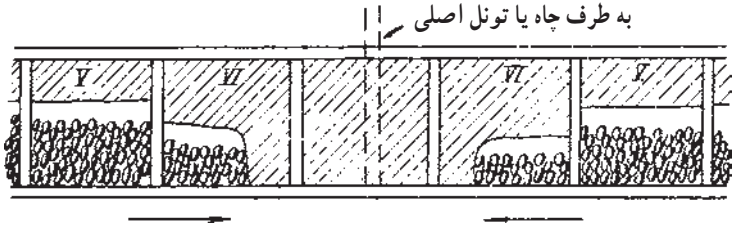
شکل ۱۶ــ۶ــ روش استخراج پیش‌رو

برای جلوگیری از افت مادهٔ معدنی و استخراج لنگه‌ها در سیستم پیش‌رو، می‌توان تونل‌های اصلی باربری و تهویه را در داخل کمر پایین و کمر بالای ماده معدنی و تونل‌های پیش‌روی را موازی با آن‌ها در ماده معدنی حفر کرد ؛ ارتباط بین تونل‌های موازی را هم می‌توان با دویل‌های کوتاه برقرارکرد.



شکل ۱۷ــ۶ــ حفر تونل‌های پیش‌روی در کمر بالا و کمر پایین ماده معدنی

روش پس‌رو نسبت به روش پیش‌رو مزیّت‌هایی دارد که عبارت‌اند از این‌که در سیستم پس‌رو شرایط کار راحت‌تر و نگه داری تونل‌ها آسان‌تر است. چون تونل‌های باربری و تهویه هم‌زمان با پیش‌روی جبهه کار تخریب می‌شوند، نیازی به باقی‌گذاردن لنگه از ماده معدنی نیست. بدین ترتیب، افت مادهٔ معدنی، بسیار کاهش می‌یابد. چون تونل‌های اصلی از ابتدا در سراسر کارگاه احداث می‌شوند، باربری با سهولت بیشتری انجام می‌گیرد ؛ بدین ترتیب ؛ می‌توان کارگاه‌های فرعی نیز در داخل ماده معدنی احداث کرد.



شکل ۱۸ــ۶ــ روش استخراج پس‌رو

خودآزمایی

۱ــ قطعه معدن چیست و شکل و اندازه آن تابع چه عواملی است؟

۲ــ محدودهٔ معدن چگونه تعیین می‌شود؟

۳ــ ظرفیت تولید معدن تابع چه عواملی است؟

۴ــ اهمیت عمر معدن به چه خاطر است؟ رابطه آن را با میزان ذخیره معدن و ظرفیت سالانه (برحسب تن) بنویسید و مثالی در این زمینه ارائه کنید.

۵ــ شرایطی که محل چاه یا تونل اصلی برای حفر باید داشته باشد کدام‌هاست؟

۶ــ منظور از احداث شبکه در معدن چیست؟

۷ــ مراحل آماده‌سازی کارگاه استخراج را شرح دهید.

۸ــ نحوه استخراج پس‌رو و پیش‌رو چه تفاوتی با یکدیگر دارند؟