

بخش چهارم

حفاری

### حفر تونل

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل هنرجو باید بتواند:

- ۱- عملیات مقدماتی حفر تونل را شناسایی کند.
- ۲- اصول حفر تونل‌های مختلف بوسیله مواد منفجره را بیاموزد.
- ۳- انواع برش‌ها را شناسایی کند.
- ۴- حفر تونل بالارو (دویل) را شناسایی کند.
- ۵- حفر تونل مورب را شرح دهد.

#### ۱-۱- آشنایی

تونل‌های مختلف را معمولاً به وسیله مواد منفجره حفر می‌کنند. برای این کار تعدادی چال در جبهه کار حفر و آنها را منفجر می‌کنند. انفجار مواد منفجره سبب تخریب سنگ‌ها و پیشروی تونل می‌شود.

تعداد چال‌ها، عمق، نحوه خرج‌گذاری و زاویه تمایل آنها در هر مورد متفاوت است و نقشه‌ای که حاوی تمام این اطلاعات باشد، «نقشه انفجار» نامیده می‌شود.

از آنجا که محل دهانه تونل، شکل مقطع و ابعاد آن قبل از حفر تونل باید مشخص شود، ابتدا به شرح مختصر آن می‌پردازیم و آنگاه روش‌های حفر انواع مختلف تونل‌ها را بررسی می‌کنیم. باید توجه داشت که در ضمن حفر تونل‌های مختلف، سایر عملیات معدنی از جمله نگهداری، باربری، تهویه و نظایر آن را نیز باید انجام داد که این امور در فصل‌های مربوطه بررسی خواهند شد.

#### ۱-۲- انتخاب محل تونل

انتخاب محل تونل‌ها یکی از مسائل مهم معدنکاری است و باید با دقت تمام و با توجه به تمام نکات انجام گیرد. با توجه به اینکه تونل برای چه نوع هدفی حفر می‌شود، انتخاب محل آن تابع عوامل

مختلفی خواهد بود. مثلاً اگر تونل به عنوان تونل اصلی باربری احداث می‌شود، باید حتی المقدور در پایین‌ترین ارتفاع ممکن باشد تا بتوان مقدار زیادتری ماده معدنی و مواد باطله را از طریق آن خارج کرد. همچنین اگر تقسیم طبقات با ارتفاع زیاد، به نیم طبقه موردنظر باشد، در این حالت، تونل باید در ارتفاع خاصی انتخاب شود و در این گونه موارد، تنها می‌توان آن را در سطح افقی تا حدودی جابجا کرد. از جمله عوامل مهمی که در انتخاب محل دهانه تونل مؤثر است، توجه به این مطلب است که در اطراف آن فضای کافی برای احداث ساختمان‌ها و تأسیسات مربوط به تونل در دست باشد تا بتوان بدون صرف مخارج زیاد، این گونه تأسیسات را بنا کرد.

دهانه تونل باید در نقطه‌ای انتخاب شود که از دسترس آب باران و سیلاب‌ها به دور باشد و به عبارت دیگر به آسانی بتوان این آب‌ها را زه‌کشی و از محوطه تونل دور کرد.

از جمله نکات دیگری که باید در انتخاب محل تونل مورد توجه قرار گیرد، بودن فضای کافی برای ریختن مواد زائد است. به عبارت دیگر تونل باید در محلی احداث گردد که سنگ‌های زائدی را که در نتیجه حفر آن حاصل می‌شود، بتوان به آسانی از درون واگن‌های معدنی به بیرون تخلیه کرد. بدیهی است لازمه تأمین این شرایط، وجود اختلاف ارتفاع لازم بین دهانه تونل و زمین‌های اطراف است. در مواردی که تونل به قصد اکتشاف ماده معدنی حفر می‌شود، طبیعتاً دهانه آن را باید در محلی انتخاب کرد که پس از حفر، در نقطه موردنظر به ماده معدنی برخورد کند و اطلاعات لازم در مورد ماده معدنی را بتوان از طریق آن به دست آورد.

در هر صورت، انتخاب محل تونل از جمله مسائل مربوط به طراحی معدن است و با توجه به مخارج زیادی که حفر این کار معدنی در بردارد، باید تمام نکات یاد شده را هنگام انتخاب آن در نظر داشت.

### ۳-۱۰- انتخاب شکل و ابعاد مقطع تونل

۳-۱۰-۱- انتخاب شکل مقطع: مهم‌ترین عواملی که در انتخاب شکل مقطع تونل مؤثر است، خواص فیزیکی و مکانیکی سنگ‌های ناحیه، فشارهای خارجی مؤثر بر تونل، جهت فشارهای وارده، مدت زمان بهره‌برداری از تونل و مصالحی که برای نگهداری تونل به کار می‌رود می‌باشد. بدیهی است انتخاب وسایل نگهداری، خود به عوامل یاد شده بستگی دارد که در فصل مربوطه مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

از جمله مهم‌ترین خواص فیزیکی و مکانیکی سنگ‌ها، که در انتخاب مقطع تونل مؤثر است، می‌توان سختی، سفتی، مقاومت، پایداری و درزه‌های سنگ را نام برد.

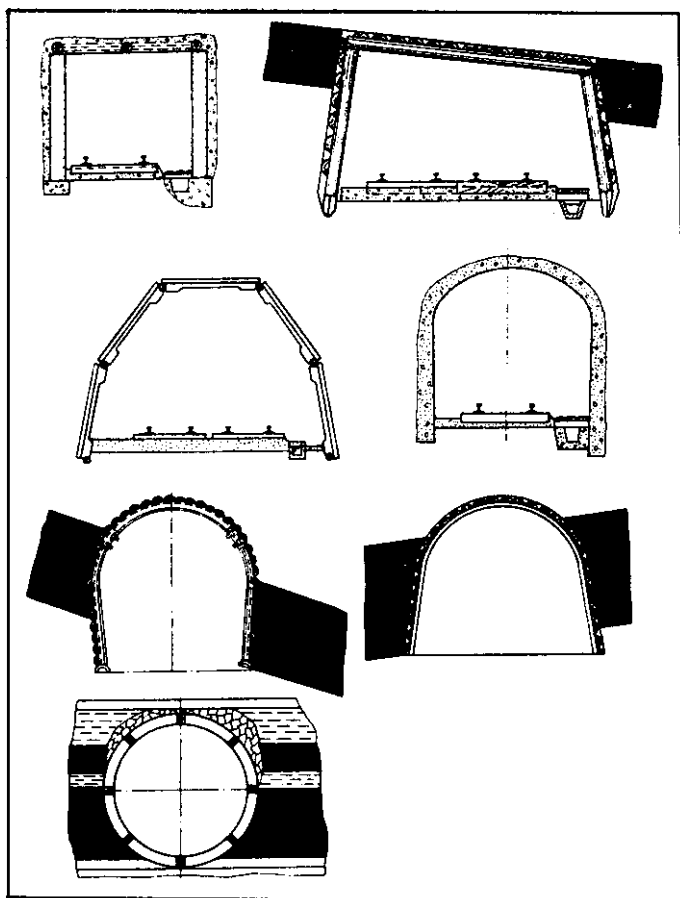
نحوه توزیع فشارهای مؤثر بر تونل به عواملی نظیر نوع وسایل نگهداری، وزن طبقات رویی و ضریب اصطکاک داخلی سنگ‌ها بستگی دارد.

براساس این مشخصات و نیز مدت زمان استفاده از تونل، مصالح مختلفی برای نگهداری آن به کار می‌رود که معمولی‌ترین آنها، چوب، قاب‌های فلزی، سنگ‌های طبیعی، بتن و بتن پیش‌ساخته است.

شکل عمومی مقطع تونل‌های مختلف مستطیل، دوزنقه، چند ضلعی، گنبدی، هلالی، طاقی و دایره است.

علاوه بر این اشکال، در موارد خاص ممکن است از شکل‌های دیگر نیز استفاده شود.

۲-۳-۱۰- انتخاب ابعاد مقطع : انتخاب ابعاد مقطع به عواملی نظیر نحوه باربری، وسایل نگهداری، لوازم و وسایل معدنی، میزان هوای لازم جهت تهویه و مسائلی نظیر آن بستگی دارد.



شکل ۱-۱۰- اشکال مختلف مقاطع تونل‌ها (۱۵)

به طوری که خواهیم دید، در هر تونل در حالت کلی لوازم و وسایل زیر وجود دارد :

- یک یا دو خط ریل برای عبور لکوموتیو و واگن‌ها

- لوله تهویه برای تهویه فرعی

- لوله انتقال هوای فشرده

- جوی آب برای هدایت آب‌های تونل به خارج

- کابل‌های الکتریکی

- لوله آب آتش‌نشانی

بدین ترتیب ابعاد تونل باید به نحوی انتخاب شود که علاوه بر امکان تعبیه این لوازم، فضای کافی برای عبور افراد پیاده نیز موجود باشد.

باید توجه داشت که مقطع مفید تونل، یعنی مقطع آن پس از نصب وسایل نگهداری، گنجایش نصب لوازم یاد شده را داشته باشد و بدین ترتیب مقطع حفر تونل باید بیش از این مقدار در نظر گرفته شود.

بعد از اینکه مقطع تونل از نظر نصب وسایل و فضاهای لازم واریسی شد، باید آن را از لحاظ عبور میزان هوا نیز بررسی کرد. برای این کار ابتدا میزان هوایی را که باید از تونل عبور کند محاسبه سپس با در نظر گرفتن حداکثر سرعت مجاز هوا در تونل که میزان آن ۴ تا ۸ متر در ثانیه است، سطح مقطع تونل را محاسبه می‌کنند. در صورتی که از این نظر نیز مقطع تونل کافی باشد، مقطع انتخاب شده از هر لحاظ مناسب خواهد بود.

#### ۴-۱- عملیات مقدماتی جهت حفر تونل

بعد از اینکه محل تونل انتخاب و تسطیح گردید، باید بعضی تأسیسات را در محوطه آن احداث تا بتوان عملیات حفر را شروع کرد. این تأسیسات عبارتند از :

۱-۴-۱- تأمین هوای فشرده : اغلب دستگاه‌های حفاری با هوای فشرده کار می‌کنند

و بدین ترتیب برای تغذیه این وسایل، باید هوای فشرده را تأمین کرد.

برای تأمین هوای فشرده می‌توان مستقلاً برای تونل کمپرسور تهیه و از آن استفاده کرد. در مواردی که معدن دارای مرکز هوای فشرده باشد، ممکن است هوای فشرده لازم را به وسیله لوله‌های مخصوص به محل تونل منتقل کرد.

۲-۴-۱- تأمین برق : برای تأمین روشنایی محوطه جلوی تونل، شارژ چراغ‌ها، گردش

بادبزن‌ها و مسائلی نظیر آن، به نیروی برق احتیاج است. برای تأمین برق نیز می‌توان در محل تونل مولد

برق مخصوص نصب یا آن را از مرکز برق به محل منتقل کرد.

۳-۴-۱۰- انبار: برای نگهداری وسایل مورد لزوم، وجود حداقل یک انبار در محل تونل ضروری است.

۴-۴-۱۰- چراغ‌خانه: در مواردی که از چراغ‌های الکتریکی استفاده می‌شود باید بعد از هر ۸ ساعت کار آنها را شارژ کرد و بنابراین در محوطه تونل باید چراغ‌خانه‌ای احداث شود. در مواردی که فاصله تونل از مرکز کارهای معدنی زیاد نباشد، ممکن است از چراغ‌خانه مرکزی برای این منظور استفاده نمود.

۵-۴-۱۰- انباردستی مواد ناریه: برای نگهداری روزانه مواد منفجره باید در محل تونل یک انبار کوچک دستی احداث شود. انبار دستی را معمولاً داخل کوه حفر می‌کنند. بدیهی است در این انبار باید فقط به اندازه مصرف روزانه، مواد منفجره نگهداری کرد. بعد از احداث تأسیسات یاد شده باید امتداد تونل را روی زمین مشخص کرد. امتداد تونل با توجه به عوامل مختلف و هدفی که از حفر تونل در نظر است تعیین و به وسیله نقشه بردار در محل پیاده می‌شود. برای اینکه بتوان امتداد تونل را ضمن حفر کنترل کرد، حداقل دو نقطه نشانه نقشه برداری<sup>۱</sup> باید در جلو تونل احداث کرد. برای اینکه وضعیت این نقاط تغییر نکند، آنها را با استفاده از بتن در محل ثابت می‌کنند.

## مطالعه آزاد

### ۵-۱۰- برنامه‌ریزی برای حفر تونل‌های مختلف

بطور کلی عملیات حفر تونل‌های مختلف را می‌توان به دو گروه کلی، عملیات اساسی و عملیات فرعی، تقسیم کرد. عملیات اساسی شامل حفر سنگ‌ها، بارگیری، باربری، تهویه و نگهداری جبهه کار است و از جمله عملیات فرعی می‌توان کارهایی نظیر ریل‌گذاری، نصب لوله هوای فشرده، نصب لوله آب، نصب کابل‌های مربوطه و نصب لوله‌های تهویه فرعی را نام برد.

کلیه عملیات یاد شده اعم از اساسی و فرعی که شامل عملیات حفر چال، خرج‌گذاری، آتشکاری، تهویه، باربری و نصب وسایل نگهداری است، به فاصله زمانی خاصی همواره تکرار می‌شوند. به مجموعه این عملیات که در طی زمان مشخص منجر

به پیشروی طول معینی از تونل می‌شود. یک دوره<sup>۱</sup> اطلاق می‌کنند و زمان لازم برای انجام عملیات مربوط به یک دوره را «زمان یک دوره» می‌نامند.

معمولاً حفر تونل‌ها در تمام مدت ۲۴ ساعت ادامه دارد و بدین ترتیب، شبانه‌روز را به سه قسمت ۸ ساعته، که به نام یک شیفت کار موسوم است، تقسیم می‌کنند. بدیهی است هر یک از این شیفت‌ها توسط گروهی خاص از کارکنان معدن انجام می‌گیرد و معمولاً در پایان هر هفته، وضعیت کاری کارکنان هر شیفت تغییر می‌کند یعنی در پایان هفته، گروه‌هایی که در هفته قبل صبح کار، عصر کار و شب کار بودند به ترتیب به عصر کار، شب کار و صبح کار تبدیل می‌شوند و این وضعیت در پایان هر هفته به همین ترتیب تعویض می‌شود.

قبل از شروع عملیات حفر باید زمان لازم برای انجام عملیات مختلف یاد شده را تعیین و آن را روی نمودار خاصی که نمایشگر این عملیات است، رسم کرد. بدیهی است این نمودار مربوط به وضعیت عادی کار است و در موارد خاص (مثلاً مواردی که تونل به شکستگی برخورد کند یا میزان آب زیرزمینی محل زیاد شود) این نمودار صادق نخواهد بود. با توجه به وضعیت تونل، مشخصات سنگ‌ها و لوازم موجود، در هر شیفت کار ممکن است یک یا چند دوره عملیات انجام گیرد. پیشروی هر دوره، شیفت و روز باید در دفاتر خاصی ثبت و در پایان هر ماه میزان پیشروی انجام شده توسط هر یک از سه گروه کارکنان مشخص و اعلام شود.

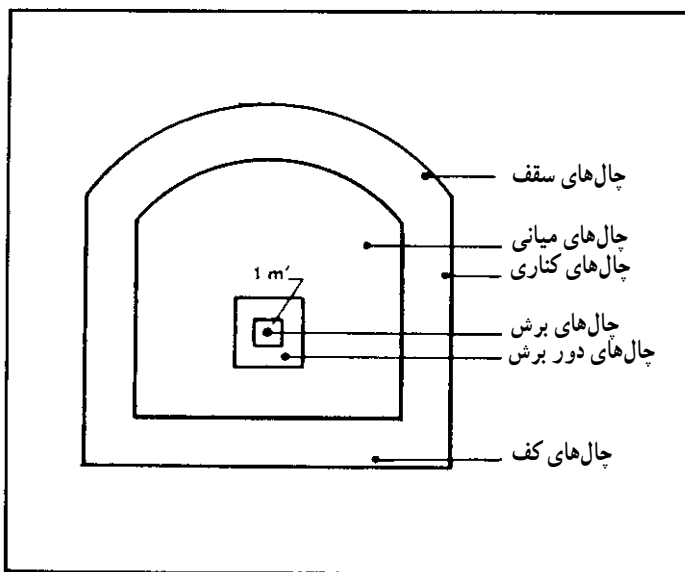
برای رعایت اصول ایمنی، لازم است که کارکنان هر شیفت در محل جبهه کار، تونل را تحویل گیرند و کار را شروع کنند تا در صورت وجود شرایط خاص در جبهه کار، از آن مطلع گردند.

## ۶-۱۰- اصول حفر تونل‌های مختلف به وسیله مواد منفجره

برای اینکه راندمان حفر تونل‌های مختلف را بالا ببرند، در قسمت‌های میانی جبهه کار تعدادی چال نزدیک به هم و با زوایای تمایل مخصوص حفر می‌کنند و نقشه انفجار را طوری در نظر می‌گیرند که ابتدا این چال‌ها منفجر شود و یک جبهه آزاد برای سایر چال‌ها فراهم سازد.

مجموعه این قبیل چال‌ها به نام «برش<sup>۲</sup>» نامیده می‌شود. بدیهی است در هر جبهه کار، علاوه بر

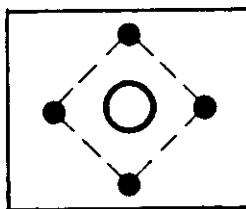
چال‌های برش، چال‌های متعدد دیگری نیز حفر می‌شود که به مجموعه آنها چال‌های لازم برای یک نوبت آتشکاری می‌گویند (شکل ۲-۱۰).



شکل ۲-۱۰- چال‌های مختلف در یک جبهه کار (۱۱)

برش‌ها انواع مختلف دارند که به شرح آنها می‌پردازیم:

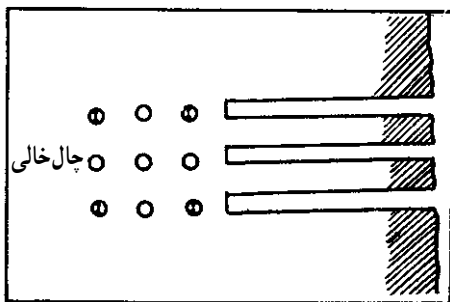
۱-۶-۱- برش موازی<sup>۱</sup>: بطوری که از اسم این برش پیداست، تمام چال‌های برش، موازی یکدیگر و عمود بر سطح جبهه کار می‌باشند و در وسط آنها چال بزرگی وجود دارد که در آن خرج‌گذاری نمی‌کنند (شکل ۳-۱۰).



شکل ۳-۱۰- برش موازی (۱۱)

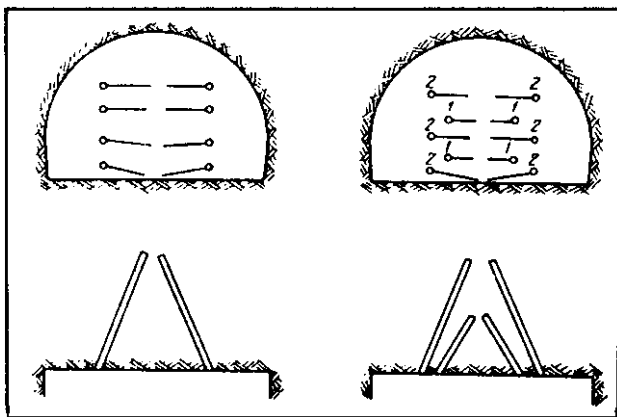


گاهی نیز به جای حفر یک چال بزرگ، چند چال معمولی را در وسط برش حفر می‌کنند و آنها را خالی می‌گذارند (شکل ۴-۱۰).



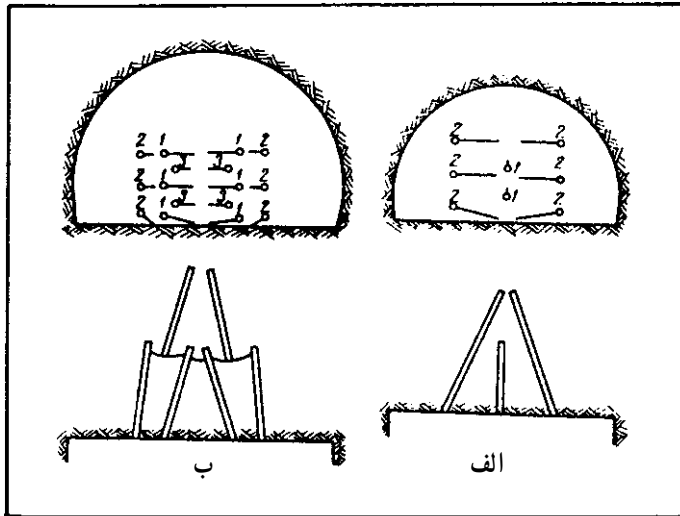
شکل ۴-۱۰- برش موازی با چندین چال خالی (۱۳)

۲-۶-۱۰- برش گوه‌ای<sup>۱</sup>: این برش از جمله معمولی‌ترین برش‌ها است و برای حفر سنگ‌های محکم و متوسط به کار می‌رود. این برش حاوی چند ردیف چال است که هر زوج آنها امتداد متفاوتی دارند (شکل ۵-۱۰).



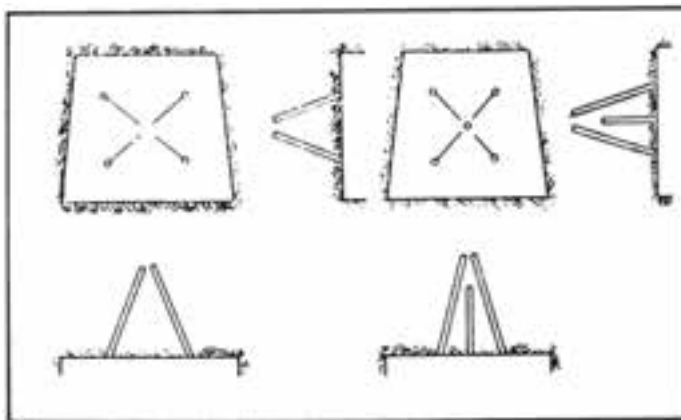
شکل ۵-۱۰- برش گوه‌ای (۸)

در برش‌های گوه‌ای نیز گاهی تعدادی چال در وسط حفر می‌کنند و آنها را خالی می‌گذارند (شکل ۶-۱۰-الف). در بعضی موارد نیز برش را در دو مرحله حفر می‌کنند (شکل ۶-۱۰-ب).



شکل ۶-۱۰-ب برش گوه‌ای (۸)

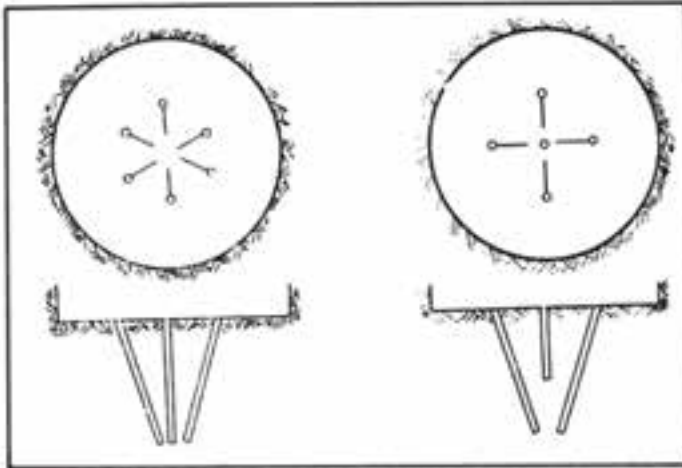
۳-۶-۱۰- برش هرمی<sup>۱</sup>: این برش دارای چهار یا شش چال است که در یک نقطه متقارب‌اند (شکل ۷-۱۰). برش هرمی برای حفاری در سنگ‌های فوق‌العاده سخت به کار می‌رود. در بعضی موارد، علاوه بر چال‌های هرمی، در وسط برش نیز یک چال عمود بر سطح جبهه کار حفر می‌کنند.



شکل ۷-۱۰- برش هرمی (۸)

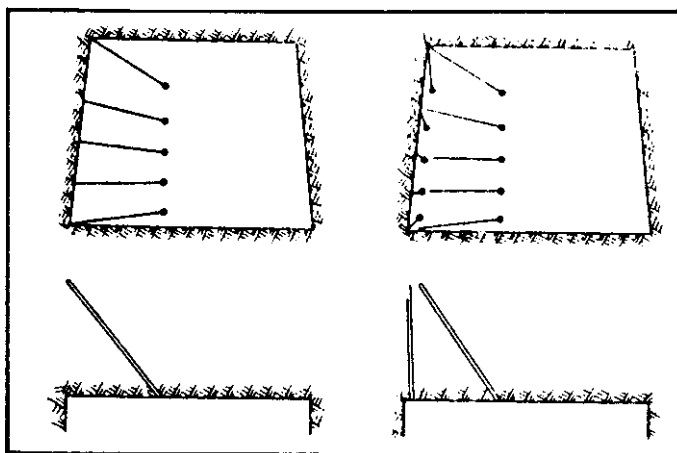
۱- Pyramidal cut

۴-۶-۱۰- برش قیفی<sup>۱</sup>: در این برش، چندین چال در امتداد سطح خارجی یک مخروط به طریقی حفر می‌شوند که امتداد تمام آنها در وسط جبهه کار متقارب باشند شکل ۸-۱۰ این نوع برش برای حفر سنگ‌های سخت، به خصوص برای حفر چال‌های قائم به کار می‌رود. در مرکز این برش نیز گاهی یک چال عمودی حفر می‌شود.



شکل ۸-۱۰- برش قیفی (۸)

۵-۶-۱۰- برش کناری<sup>۲</sup>: در این برش در یک گوشه از جبهه کار تعدادی چال تحت زاویه تمایل معین حفر می‌شود (شکل ۹-۱۰). این برش برای حفر تونل‌هایی که یک قسمت از آنها در سنگ سخت و قسمت دیگر در مواد نرم‌تر قرار دارد، مناسب است.

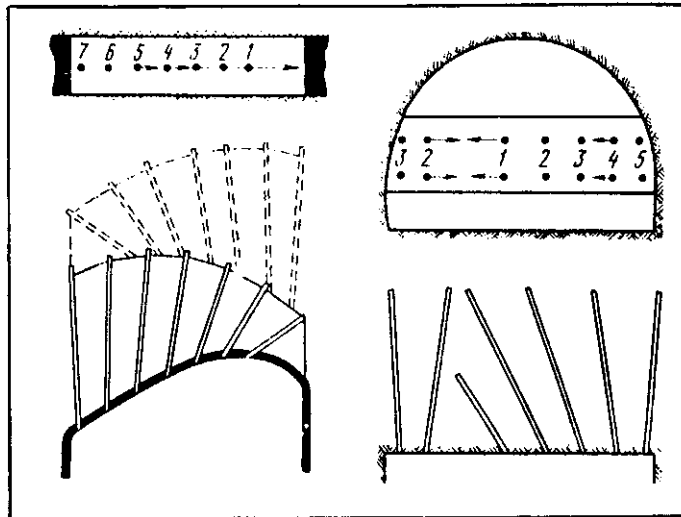


شکل ۹-۱۰- برش کناری (۸)

۱- Funnel - shaped cut

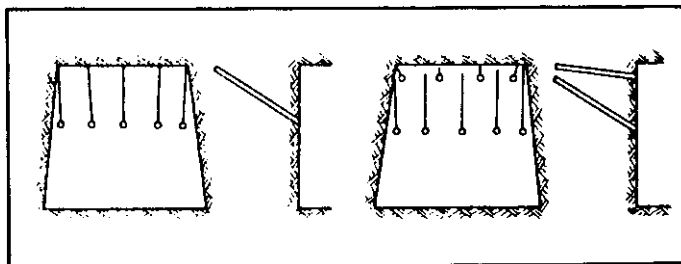
۲- Side cut

۶-۶-۱۰- برش بادبزنی<sup>۱</sup>: این برش، مشابه برش کناری است و در مواردی که در مرکز جبهه کار یک لایه یا رگه افقی از ماده معدنی نرم (مثل زغال) موجود باشد، به کار می‌رود (شکل ۱۰-۱۰). مطابق شکل، در این برش، چال‌ها به گونه‌ای هستند که تمام آنها از یک نقطه دور می‌شوند.



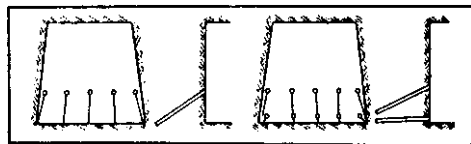
شکل ۱۰-۱۰- برش بادبزنی (۸)

۷-۶-۱۰- برش بالایی<sup>۲</sup>: در این برش، تعدادی چال در قسمت بالایی جبهه کار به طریقی حفر می‌شوند که تمایل آنها به سمت سقف تونل باشد (شکل ۱۱-۱۰). برش بالایی برای حفر تونل در سنگ‌های چینه‌ای نرم تا متوسط مناسب است و بخصوص در مورد تونل‌های با ابعاد بزرگ، راندمان آن زیاد است.



شکل ۱۱-۱۰- برش بالایی (۸)

۸-۶-۱۰- برش پایینی<sup>۱</sup>: در این برش، تعدادی چال در پایین جبهه کار با زاویه تمایل به سمت پایین، حفر می‌شود (شکل ۱۰-۱۲).



شکل ۱۰-۱۲- برش پایینی (۸)

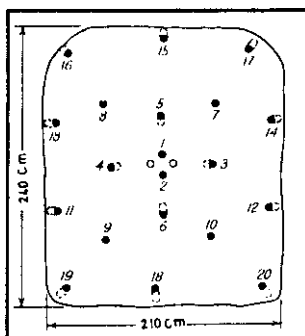
## ۷-۱۰- حفر تونل‌های کوچک و متوسط در سنگ

۷-۱۰-۱- آشنایی: تونل‌های کوچک و متوسط از جمله معمولی‌ترین تونل‌های معادن ایران است. تونل‌های کوچک که مقطع متوسط آنها ۳ تا ۴ متر مربع است، به‌عنوان تونل اکتشافی، میان‌بر و موارد مشابه آن حفر می‌شود.

مقطع مفید تونل‌های متوسط در ایران ۵ تا ۶ متر مربع است و به‌عنوان تونل‌های باربری، عبور افراد و احداث طبقه‌های معدن از آنها استفاده می‌شود. بدیهی است در هر مورد مقطع حفاری تونل‌ها را باید به نحوی انتخاب کرد که پس از نصب وسایل نگهداری، مقطع موردنظر باقی بماند.

۷-۱۰-۲- نقشه انفجار: نقشه انفجار این تونل‌ها بستگی به ابعاد تونل، مقاومت سنگ‌های اطراف، ضخامت لول‌های مواد منفجره، قدرت مواد منفجره و مسائلی نظیر آنها دارد. وضعیت قرار گرفتن چال‌ها، امتداد، طول و ترتیب انفجار آنها باید به نحوی انتخاب شود که انفجار هر گروه از چال‌ها، باعث ایجاد یک فضای آزاد برای چال‌های بعدی شود و بدین ترتیب راندمان حفاری افزایش یابد.

در شکل ۱۰-۱۳ یک نمونه کلی از نقشه انفجار تونل‌ها نشان داده شده است. در این قبیل نقشه‌ها، علاوه بر موقعیت چال‌ها، امتداد حفر و نیز شماره چاشنی آنها نیز نشان داده می‌شود. مثلاً در شکل ۱۰-۱۳، شماره‌های نوشته شده در محل چال‌ها، شماره چاشنی آن‌را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰-۱۳- نمونه‌ای از نقشه آتشکاری تونل‌ها (۱)

۳-۷-۱۰ حفر چال : حفر چال در تونل‌های متوسط، معمولاً به کمک چال‌زن‌های دستی انجام می‌گیرد زیرا مقطع نسبتاً کوچک آنها اجازه استفاده از ماشین‌های چال‌زنی را نمی‌دهد. بنابراین، برای بالا بردن سرعت حفر چال می‌توان پایه‌های مختلف را به کار برد و در مواردی که مقطع تونل اجازه دهد، از ماشین‌های حفر چال کوچک استفاده کرد.

۴-۷-۱۰ آتشکاری : برای آتشکاری در تونل‌های معادن غیر زغالی، می‌توان از آتشکاری با فتیله اطمینان یا آتشکاری الکتریکی استفاده کرد. در ایران معمولاً در این تونل‌ها از فتیله اطمینان استفاده می‌شود.

در معادن زغال، آتشکاری باید حتماً به روش الکتریکی انجام گیرد و در صورتی که در تونل میزان قابل توجهی گاز و گرد زغال موجود باشد، از مواد منفجره مخصوص این قبیل معادن استفاده شود. برای اینکه ضمن آتشکاری به وسایل نگهداری خسارت وارد نشود، حتی‌المقدور چال‌های برش را در قسمت پایین تونل حفر می‌کنند.

از جمله مسائل مهم آتشکاری تونل‌ها، محاسبه مصرف ویژه مواد آتش‌زا، یعنی میزان مواد منفجره مصرف شده به ازای واحد حجم سنگ‌های حفر شده است. بدیهی است هر چقدر این مصرف کمتر باشد، نشانه بهره‌دهی بهتر مواد آتش‌زا خواهد بود.

۵-۷-۱۰ نمونه‌هایی از نقشه‌های آتشکاری تونل‌های کوچک و متوسط : برای آشنایی با نحوه حفر و انتخاب تعداد و موقعیت چال‌ها در تونل‌های کوچک و متوسط، نقشه انفجار چند تونل مختلف طی شکل‌های ۱۴-۱۰ تا ۱۸-۱۰ نشان داده شده است در این نقشه‌ها حروف به کار رفته به نشانه زیر است :

$d =$  قطر چال‌های پر شده  $q =$  مصرف ویژه

$.$  = قطر چال‌های خالی مانده

$N =$  تعداد چال‌ها

$I_b =$  مقدار خرج در چال

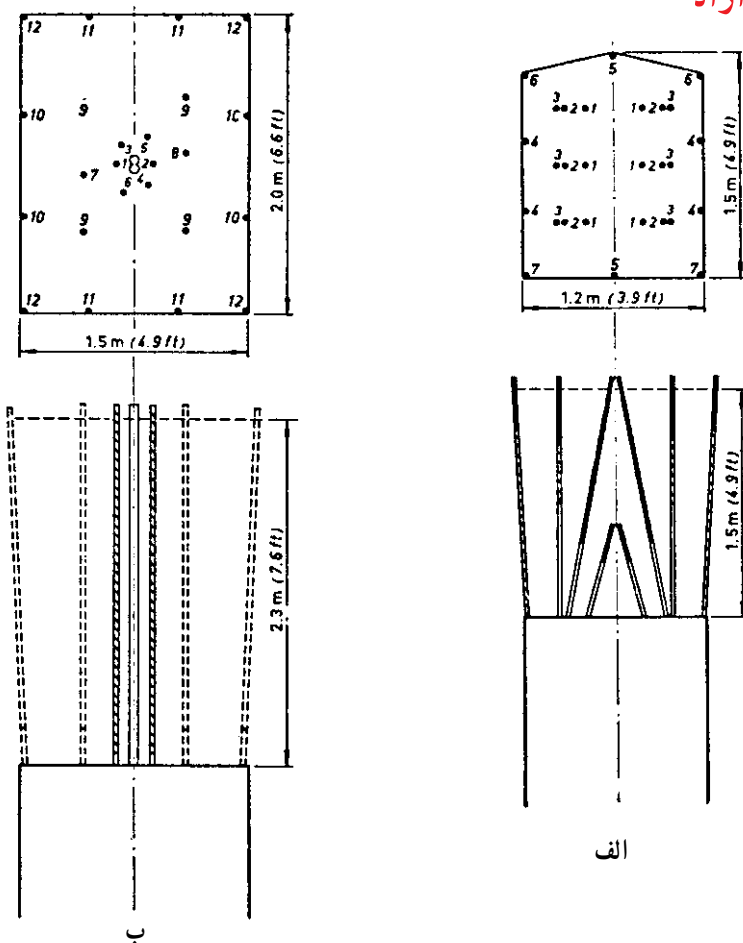
$S =$  سطح مقطع تونل

$B =$  عرض تونل

$H =$  عمق چال‌ها

$A =$  میزان پیشروی در هر نوبت آتشکاری

اعداد نشان داده شده در این شکل‌ها نمایشگر ترتیب انفجار چال‌ها است و مربوط به شماره تأخیر آنها نیست.



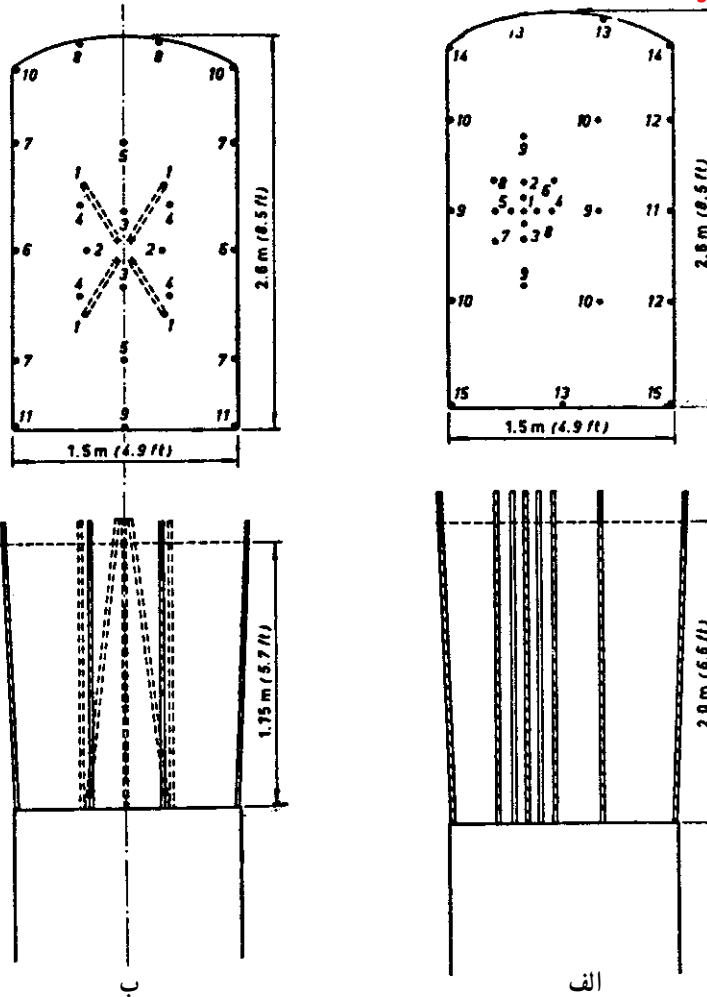
مشخصات نقشه انفجار شکل الف

$S = 1.7 \text{ m}^3 (18.4 \text{ sq.ft})$      $d = 32 \text{ mm (1.25 in)}$      $l_b = 0.15-0.5 \text{ kg/m (0.1-0.3 lb/ft)}$   
 $B = 1.2 \text{ m (4 ft)}$      $\emptyset = -$      $q = 5.0 \text{ kg/m}^3 (0.31 \text{ lb/cu.ft})$   
 $H = 1.6 \text{ m (5.3 ft)}$      $N = 28$     ordinary delay 1-7  
 $A = 1.5 \text{ m (4.9 ft)}$

مشخصات نقشه انفجار شکل ب

$S = 3 \text{ m}^3 (32.5 \text{ sq.ft})$      $d = 31 \text{ mm (1.2 in)}$      $l_b = 0.3-0.9 \text{ kg/m (0.2-0.6 lb/ft)}$   
 $B = 1.5 \text{ m (4.9 ft)}$      $\emptyset = 2 \times 57 \text{ mm (2 \times 2.25 in)}$      $q = 3 \text{ kg/m}^3 (0.18 \text{ lb/cu.ft})$   
 $H = 2.4 \text{ m (7.9 ft)}$      $N = 24 + 2$     hole 1-6: short delay 1-6  
 $A = 2.3 \text{ m (7.6 ft)}$     hole 7-12: ordinary delay 2-7

شکل ۱۴-۱۰ نمونه‌هایی از نقشه آتشکاری در تونل‌ها (۱۳)



مشخصات نقشه انفجار شکل الف

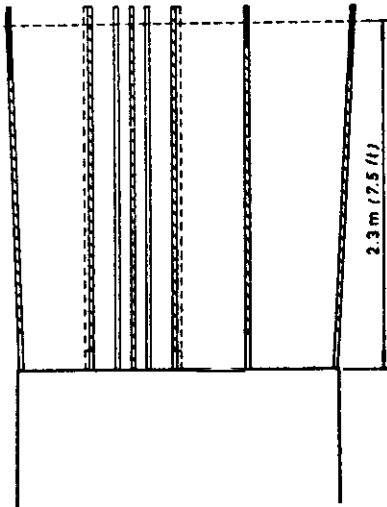
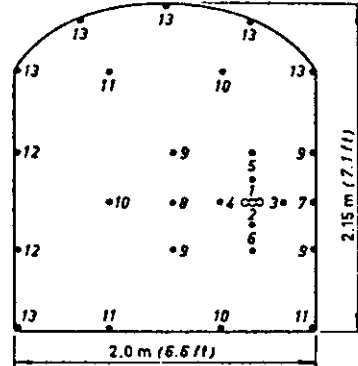
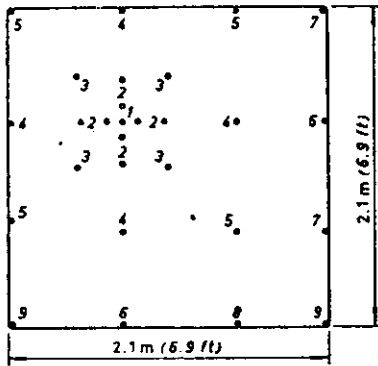
$S = 3.8 \text{ m}^2$ (41 sq.ft)	$d = 32 \text{ mm}$ (1.25 in)	$l_0 = 0.4-0.8 \text{ kg/m}$ (0.27-0.53 lb/ft)
$B = 1.5 \text{ m}$ (4.9 ft)	$\varnothing = 4 \times 32 \text{ mm}$ (4 × 1.25 in)	$q = 3.3 \text{ kg/m}^3$ (0.2 lb/cu.ft)
$H = 2.2 \text{ m}$ (7.2 ft)	$N = 31$	hole 1-5: short delay 1-5
$A = 2 \text{ m}$ (6.6 ft)		hole 6-15: ordinary delay 2-11

مشخصات نقشه انفجار شکل ب

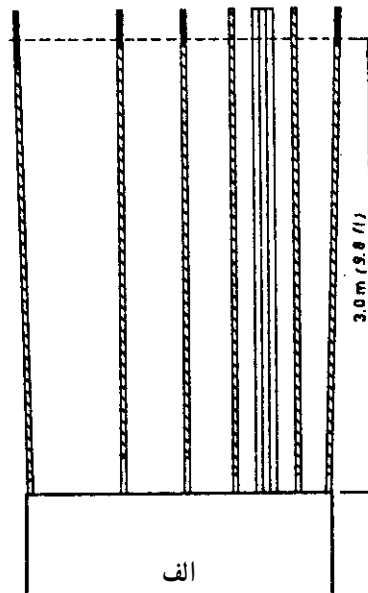
$S = 3.8 \text{ m}^2$ (41 sq.ft)	$d = 32 \text{ mm}$ (1.25 in)	$l_0 = 0.3-0.8 \text{ kg/m}$ (0.2-0.54 lb/ft)
$B = 1.5 \text{ m}$ (4.9 ft)	$\varnothing = -$	$q = 3 \text{ kg/m}^3$ (0.18 lb/cu.ft)
$H = 1.9 \text{ m}$ (6.2 ft)	$N = 30$	hole 1-11: ordinary delay 1-11
$A = 1.75 \text{ m}$ (5.7 ft)		

شکل ۱۵-۱ نمونه‌هایی از نقشه آتشکاری در تونل‌ها (۱۳)





ب



الف

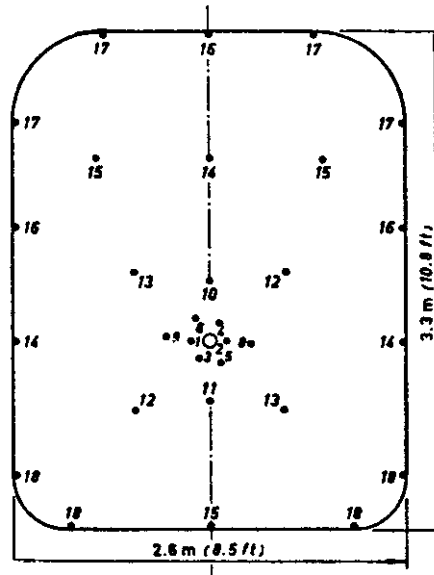
مشخصات نقشه انفجار شکل الف

$S = 4.0 \text{ m}^2 (43 \text{ sq.ft})$      $d = 32 \text{ mm} (1.25 \text{ in})$      $l_0 = 0.35\text{--}0.9 \text{ kg/m} (0.23\text{--}0.6 \text{ lb/ft})$   
 $B = 2 \text{ m} (6.6 \text{ ft})$      $\varnothing = 3 \times 57 \text{ mm}$      $q = 3.6 \text{ kg/m}^3 (0.22 \text{ lb/cu.ft})$   
 $H = 3.2 \text{ m} (10.5 \text{ ft})$      $(3 \times 2.25 \text{ in})$     hole 1-4: short delay 1-4  
 $A = 3.0 \text{ m} (9.8 \text{ ft})$      $N = 26 + 3$     hole 5-13: ordinary delay 2-9

مشخصات نقشه انفجار شکل ب

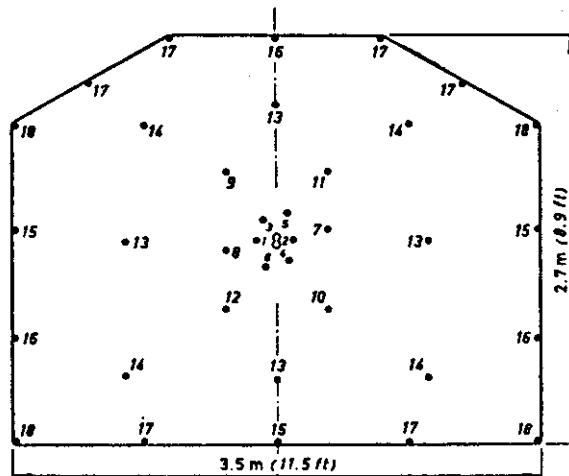
$S = 4.4 \text{ m}^2 (47 \text{ sq.ft})$      $d = 32 \text{ mm} (1.25 \text{ in})$      $l_0 = 0.4\text{--}0.8 \text{ kg/m} (0.27\text{--}0.53 \text{ lb/ft})$   
 $B = 2.1 \text{ m} (6.9 \text{ ft})$      $\varnothing = 4 \times 32 \text{ mm}$      $q = 2.9 \text{ kg/m}^3 (0.18 \text{ lb/cu.ft})$   
 $H = 2.4 \text{ m} (7.9 \text{ ft})$      $(4 \times 1.25 \text{ in})$     hole 1-9: ordinary delay 1-9  
 $A = 2.3 \text{ m} (7.6 \text{ ft})$      $N = 24 + 4$

شکل ۱۶-۱۰. نمونه‌هایی از نقشه آتشکاری در تونل‌ها (۱۳)



$S = 8.6 \text{ m}^2$  (93 sq.ft)     $d = 31 \text{ mm}$  (1.2 in)     $l_p = 0.35\text{--}1.0 \text{ kg/m}$  (0.23–0.67 lb/ft)  
 $B = 2.6 \text{ m}$  (8.5 ft)     $\varnothing = 83 \text{ mm}$  (3.25 in)     $q = 2.8 \text{ kg/m}^3$  (0.18 lb/cu.ft)  
 $H = 3.2 \text{ m}$  (10.5 ft)     $N = 31 + 1$     hole 1-11: short delay 1-11  
 $A = 3.1 \text{ m}$  (10.2 ft)    hole 12-17: ordinary delay 3-8

شکل ۱۷-۱- نمونه‌ای از نقشه آتشکاری در تونل‌ها (۱۳)



$S = 8.8 \text{ m}^2$  (95 sq.ft)     $\alpha = 35 \text{ min}$  (1.4 in)     $l_p = 0.35\text{--}1.0 \text{ kg/m}$  (0.23–0.67 lb/ft)  
 $B = 3.5 \text{ m}$  (11.5 ft)     $\varnothing = 2 \times 57 \text{ mm}$      $q = 2.3 \text{ kg/m}^3$  (0.14 lb/cu.ft)  
 $H = 4.0 \text{ m}$  (13.1 ft)     $(2 \times 2.25 \text{ in})$     hole 1-8: short delay 1-8  
 $A = 3.8 \text{ m}$  (12.5 ft)     $N = 36 + 2$     hole 9-13: ordinary delay 2-11

شکل ۱۸-۱- نمونه‌ای از نقشه آتشکاری در تونل‌ها (۱۳)

۶-۷-۱۰- میزان پیشروی: برای آگاهی از میزان پیشروی تونل‌های متوسط در سنگ، پیشروی بعضی از تونل‌های معدن زغال‌سنگ پابدانا واقع در حوضه زغالی کرمان در طول یک‌ماهه تیرماه سال ۱۳۵۳، در جدول ۱-۱۰ درج شده است.

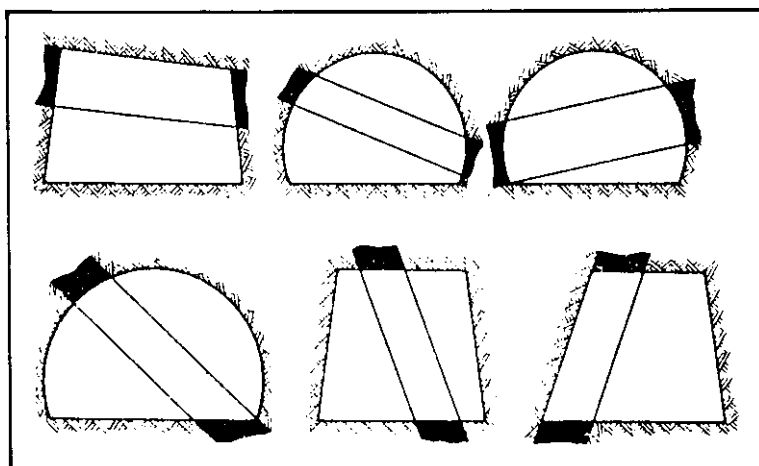
## مطالعه آزاد

جدول ۱-۱۰- میزان پیشروی تونل‌های مختلف معدن زغال‌سنگ پابدانا در تیرماه سال ۱۳۵۳ (۱۶)

شماره تونل	نوع تونل	طول پیشروی متر	حجم متر مکعب	نوع سنگ	مقطع حفاری متر مربع	تعداد چال‌ها	تعداد چاشنی تأخیری - فوری	مقطع مفید متر مربع	مصرف دینامیت کیلوگرم	مصرف ویژه گرم بر متر مکعب
۹	عمود بر لایه	۶۹	۴۹۷	ماسه سنگ سنگ آهک سخت	۷/۲	۱۰۰۹	۷۹۷ تأخیری - فوری	۵/۶	۵۵۸/۱۲۵	۱۱۲۰
۹	عمود بر لایه	۳۷	۲۶۶/۴	شیل ماسه‌دار	۷/۲	۵۵۲	۴۴۶ تأخیری - فوری	۵/۶	۲۳۸/۲۴۰	۹۰۰
۷	گالری راباط در سنگ	۴	۴۴/۵	آرژیلیت - شیل نرم	۱۲/۵	-	-	۱۰	۲۴۸/-	۵۹۰
۷	گالری D <sub>2</sub> بلوک ۶	۲۰/۱	۱۴۴/۷	ماسه سنگ سخت	۷/۲	۷۷۸	۵۲۹ تأخیری - فوری	۵/۶	۳۵۳/۸۷۵	۲۴۵۰

## ۸-۱۰- حفر تونل‌های دنباله‌رو

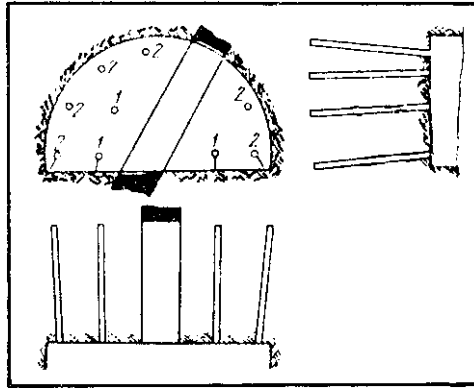
این تونل‌ها درون لایه یا رگه ماده معدنی حفر می‌شود و با توجه به شیب و ضخامت لایه یا رگه ماده معدنی، یکی از حالات مختلف شکل ۱۹-۱۰ را دارا خواهد بود. در مورد تونل‌های دنباله‌رو پایین کارگاه استخراج، موقعیت آن نسبت به لایه را به گونه‌ای در نظر می‌گیرند که لایه در گوشه بالای مقطع تونل قرار گیرد تا تخلیه مواد معدنی حفر شده به درون واگن‌ها، آسان باشد.



شکل ۱۹-۱۰- وضعیت‌های مختلف تونل دنباله‌رو نسبت به لایه (۸)

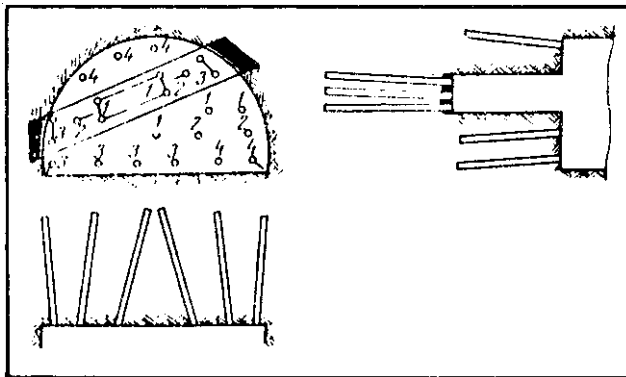
این نوع تونل‌ها برای تقسیم ماده معدنی به چند طبقه و نیز برای بررسی وضعیت ماده معدنی حفر می‌شود. مقطع این تونل‌ها متفاوت است و بین ۵ تا ۱۴ متر مربع تغییر می‌کند. از آنجا که این تونل در داخل لایه یا رگه حفر می‌شود بنابراین امتداد آن تابع امتداد لایه یا رگه است و بنابراین در حالت کلی مستقیم نیست.

در تونل‌های دنباله‌رو که داخل لایه‌های زغال حفر می‌شوند، زغال و سنگ‌های درون‌گیر آن را جداگانه حفر می‌کنند و بدین ترتیب، زغال حاصل با مواد باطله مخلوط نخواهد شد. در چنین حالتی، جبهه کار زغال جلوتر از جبهه کار تونل است و فاصله این دو گاهی به ۶ متر نیز می‌رسد. در مواردی که زغال نرم باشد، آن را به وسیله چکش مکانیکی و بقیه مقطع تونل را به توسط آتشکاری حفر می‌کنند (شکل ۲۰-۱۰). در چنین حالاتی انتخاب موقعیت چال‌ها ساده است و معمولاً آنها را در ردیف‌هایی موازی با فصل مشترک زغال و سنگ حفر می‌کنند.



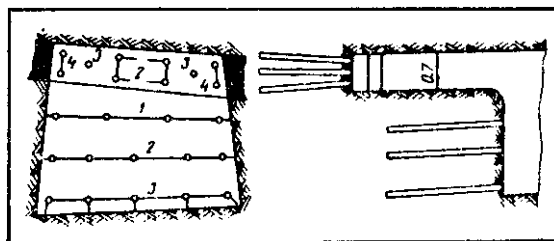
شکل ۲۰-۱۰- نحوه حفر تونل‌های دنباله‌رو (۸)

در مواردی که جنس زغال (یا هر ماده معدنی دیگر) سخت باشد، آن را نیز به توسط آشکاری حفر می‌کنند. در این حالت نیز بهتر است جبهه زغال جلوتر از جبهه اصلی تونل باشد (شکل ۲۱-۱۰).

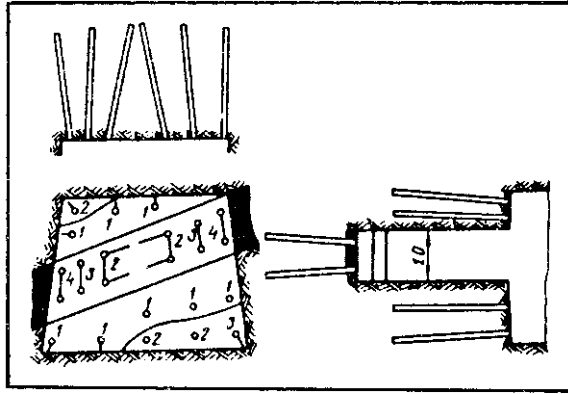


شکل ۲۱-۱۰- نحوه حفر تونل‌های دنباله‌رو (۸)

در شکل‌های ۲۲-۱۰ و ۲۳-۱۰ نیز طرح‌های دیگری برای حفر این قبیل تونل‌ها نشان داده شده است.

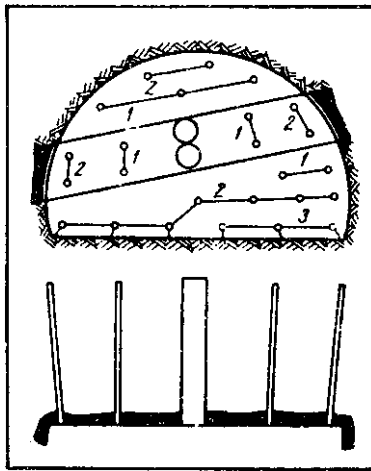


شکل ۲۲-۱۰- نحوه حفر تونل‌های دنباله‌رو (۸)



شکل ۲۳-۱۰- نحوه حفر تونل‌های دنباله‌رو (۸)

گاهی نیز در داخل لایه زغال چند چال بزرگ حفر می‌کنند و آنها را خالی باقی می‌گذارند (شکل ۲۴-۱۰). در تمام این نقشه‌ها اعداد داده شده نمایشگر ترتیب انفجار چال‌ها است.



شکل ۲۴-۱۰- حفر تونل دنباله‌رو با چال‌های مرکزی خالی (۸)

در جدول ۲-۱۰ میزان پیشروی و مصرف مواد آتش‌زا در بعضی از تونل‌های دنباله‌رو معدن زغال‌سنگ پابدانا درج گردیده است.

جدول ۲-۱۰- میزان پیشروی تونل‌های دنبالرو در معدن زغال‌سنگ پابدانا در تیر ماه ۱۳۵۳ (۱۶)

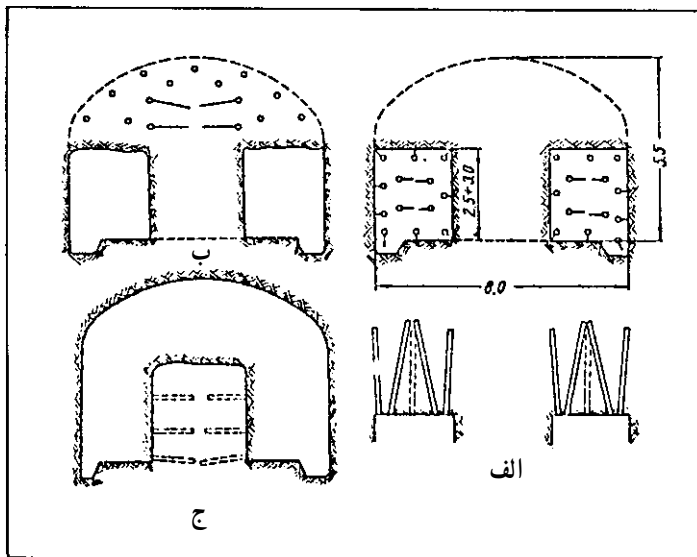
مصرف ویژه گرم بر مترمکعب	مقطع مفید مترمربع	مصرف دینامیت کیلوگرم	تعداد چاشنی تأخیری - فوری	تعداد جال‌ها	مقطع حفاری مترمربع	نوع سنگ	حجم متر مکعب	طول پیشروی متر	جبهه کار	تونل
۷۱۰	۵/۶	۷۷۵/۳۷۵	۲۰۰ ف ۳۵۲ ت	۵۵۲	۷/۲	سنگ و زغال	۳۸۷	۵۳/۷	تونل دنبال لایه بلوک ۵	۱
۶۷۰	۵/۶	۳۷۱/۶۳۵	۱۰۸ ف ۴۹۷ ت	۶۰۵	۷/۲	سنگ و زغال	۵۵۴/۴	۸/۸	تونل دنبال لایه بلوک ۵	۱
۵۸۰	۵/۶	۱۷۵/۶۲۵	۶۵ ف ۲۷۰ ت	۳۳۵	۷/۲	سنگ و زغال	۳۰۲/۴	۴۲	تونل دنبال لایه ۲	۷
۷۰۰	۵/۶	۳۰۳/۸۷۵	۹۲ ف ۴۲۷ ت	۵۱۹	۷/۲	سنگ و زغال	۴۳۹/۲	۶۱	تونل دنبال لایه ۶	۷
۵۱۰	۵/۶	۱۵۱/۱۲۵	۵۶ ف ۲۶۵ ت	۳۲۱	۷/۲	سنگ و زغال	۲۹۵/۲	۴۱	تونل دنبال لایه بلوک ۵	۷

## ۹-۱۰-۱- حفر تونل‌های بزرگ

۹-۱۰-۱-۱- آشنایی: مقصود از تونل‌های بزرگ، تونل‌هایی است که مقطع آنها بین ۱۰ تا ۲۰ مترمربع یا بیشتر است. باید توجه داشت که این تقسیم‌بندی محلی است و در بسیاری از کشورها، تونل‌های با مقطع ۱۴ تا ۱۵ مترمربع جزو تونل‌های متوسط به‌شمار می‌آیند. تونل‌های بزرگ برای گشایش معدن و به‌عنوان تونل باربری اصلی احداث می‌شود و بدین ترتیب، زمان استفاده از آنها طولانی است.

در ایران تاکنون دو تونل بزرگ معدنی حفر گردیده که یکی از آنها در معدن زغال‌سنگ پابدانا واقع در حوضه زغال‌سنگ کرمان و دیگری در معدن تزره واقع در حوضه زغالی شاهرود - دامغان احداث شده است. مقطع مفید تونل اولی ۱۴ مترمربع و از آن دومی ۱۲ مترمربع است. تونل‌های بزرگ را در قدیم معمولاً در چند مرحله حفر می‌کردند ولی امروزه آنها را یکجا حفر می‌کنند.

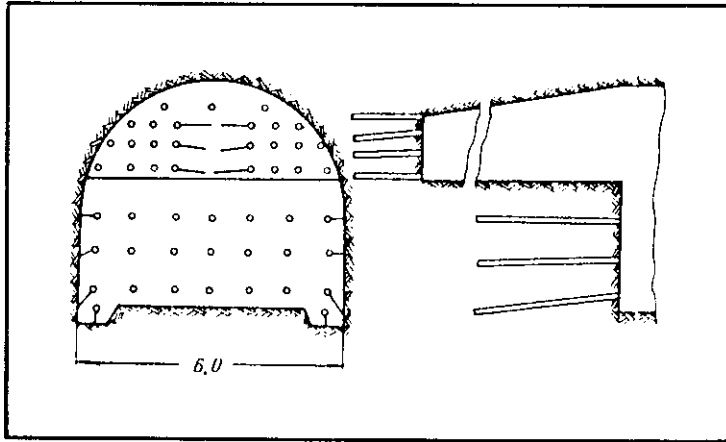
۹-۱۰-۲- روش حفر چند مرحله‌ای: به‌طوری که گفتیم، این روش در قدیم بیشتر رواج داشته است و براساس آن، تونل‌های بزرگ را طی دو یا چند مرحله حفر می‌کرده‌اند. اساس کار این روش، حفر یک قسمت از مقطع تونل در مرحله اول و ایجاد یک جبهه آزاد برای قسمت‌های باقیمانده تونل است. با توجه به اندازه مقطع تونل، آن را در مراحل مختلف حفر می‌کنند. در شکل ۱۰-۲۵ نحوه حفره یک تونل بزرگ در سه مرحله نشان داده شده است. در مواردی که سنگ‌های ناحیه مقاوم و پایدار باشند، مقطع تونل را می‌توان در دو مرحله حفر کرد.



شکل ۱۰-۲۵- حفر یک تونل بزرگ در سه مرحله (ا)

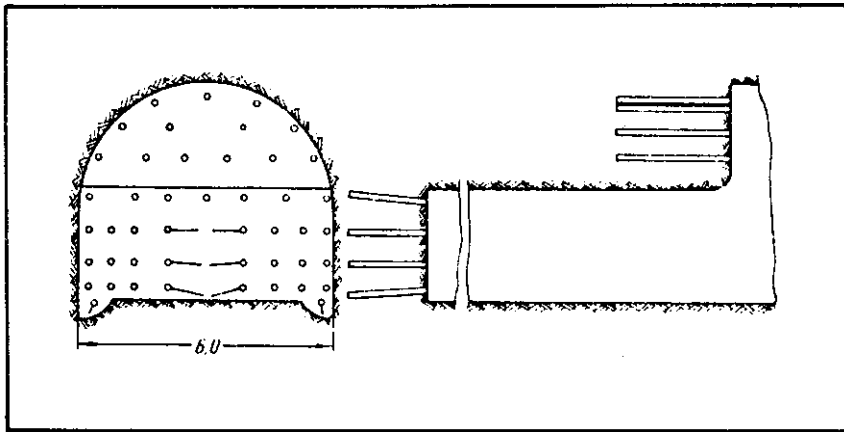


در چنین مواردی، ابتدا قسمت بالای تونل و در مرحله بعد قسمت پایین آنرا حفر می‌کنند (شکل ۲۶-۱۰).



شکل ۲۶-۱۰ حفر تونل‌های بزرگ در دو مرحله (۸)

در سنگ‌های با مقاومت متوسط، بهتر است ابتدا قسمت پایین تونل و در مرحله بعد مقطع بالایی آن حفر شود (شکل ۲۷-۱۰).



شکل ۲۷-۱۰ روش حفر دو مرحله‌ای در سنگ‌های با مقاومت متوسط (۸)

۳-۹-۱۰ روش حفر یک مرحله‌ای: امروزه غالباً تونل‌های بزرگ را در یک مرحله حفر می‌کنند زیرا با این روش مصرف ویژه مواد آتش‌زا، یعنی میزان ماده ناریه مصرف شده به ازای واحد حجم مواد کنده شده، کمتر است. از آنجا که مقطع این تونل‌ها بزرگ است لذا به آسانی می‌توان انواع مختلف ماشین‌های چال‌زنی را برای حفر چال به کار برد.

در شکل‌های ۲۸-۱° تا ۳۰-۱° نقشه انفجار مربوط به تونل‌های بزرگ و در شکل‌های ۳۱-۱° تا ۳۴-۱° نقشه انفجار تونل‌های خیلی بزرگ نشان داده شده است. در این شکل‌ها اعداد ذکر شده نمایشگر ترتیب انفجار چال‌ها و حروف به کار رفته به نشانه زیر است:

$d =$  قطر چال‌های پر شده

$.$  = قطر چال‌های خالی مانده

$N =$  تعداد چال‌ها

$I_b =$  مقدار خرج در چال

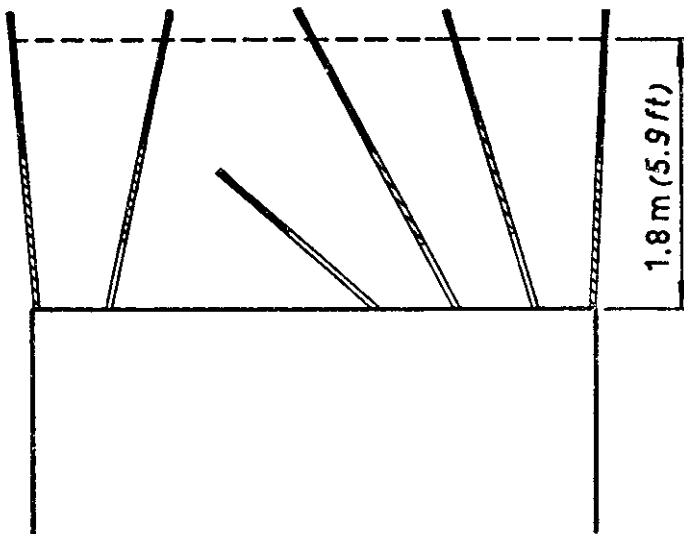
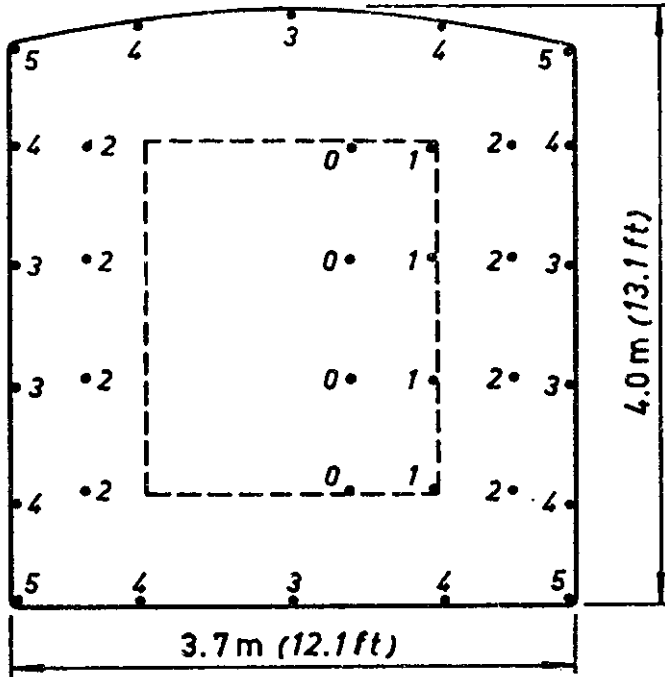
$S =$  سطح مقطع تونل

$B =$  عرض تونل

$H =$  عمق چال‌ها

$A =$  میزان پیشروی در هر نوبت آتشکاری

$q =$  مصرف ویژه

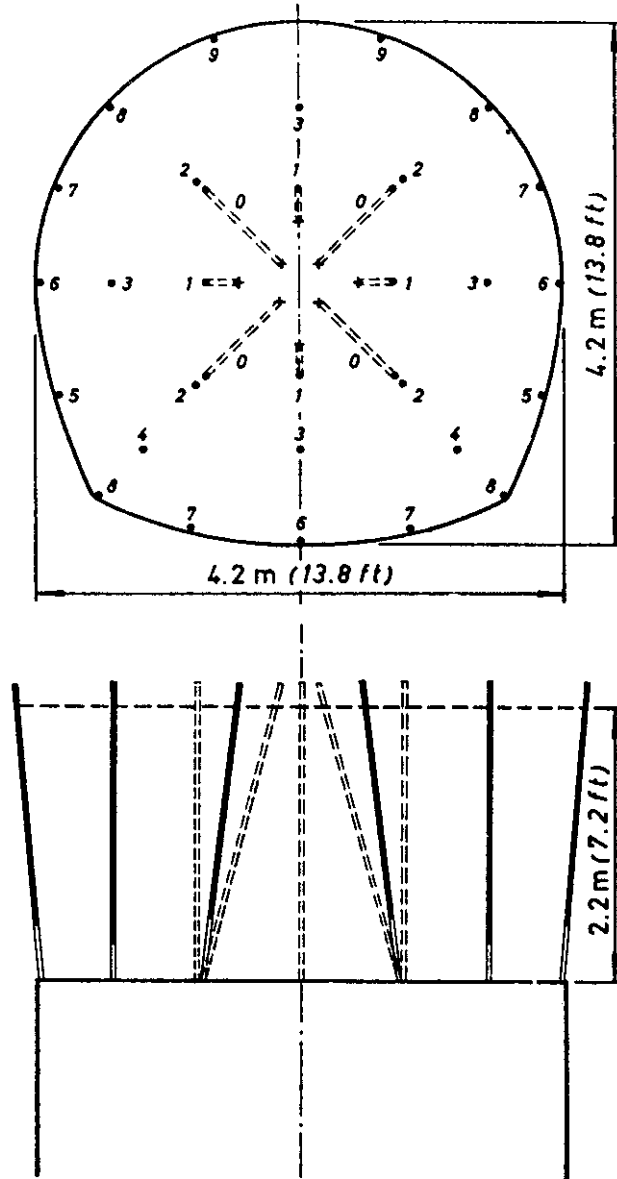


$S = 14 \text{ m}^2$  (151 sq.ft)     $d = 33\text{--}32 \text{ mm}$      $l_b = 0.8\text{--}1.0 \text{ kg/m}$  (0.54–0.67 lb/ft)

$B = 3.7 \text{ m}$  (12.1 ft)    (1.3–1.25 in.)     $q = 1.8 \text{ kg/m}^3$  (0.11 lb/cu.ft)

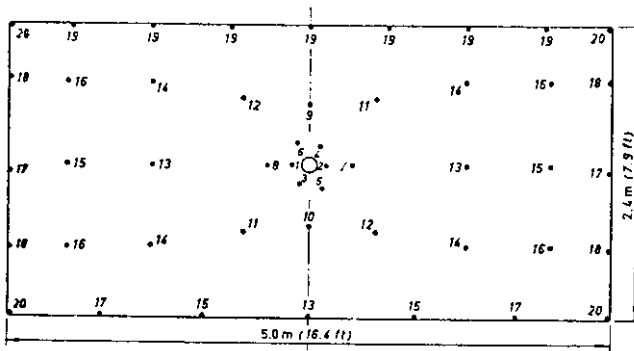
$H = 2.0 \text{ m}$  (6.6 ft)     $\varnothing = -$     hole 0–5: ordinary delay 0–5

$A = 1.8 \text{ m}$  (5.9 ft)     $N = 34$     شکل ۲۸-۱- نمونه ای از نقشه آتشکاری تونل‌های بزرگ (۱۳)



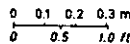
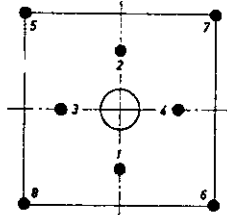
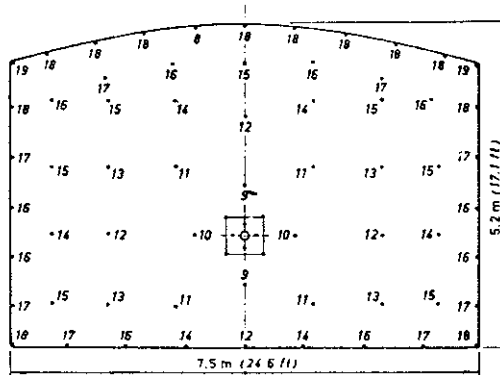
$S = 15 \text{ m}^2$  (162 sq.ft)     $d = 38 \text{ mm}$  (1.5 in)     $l_0 = 1-1.4 \text{ kg/m}$  (0.67-0.94 lb/ft)  
 $B = 4.2 \text{ m}$  (13.8 ft)     $\varnothing = -$      $q = 1.5 \text{ kg/m}^3$  (0.093 lb/cu.ft)  
 $H = 2.4 \text{ m}$  (7.9 ft)     $N = 33$     hole 0-9: ordinary delay 0-9  
 $A = 2.2 \text{ m}$  (7.2 ft)

شکل ۲۹-۱۰- نمونه‌ای از نقشه آتشکاری تونل‌های بزرگ (۱۳)



$S = 12 \text{ m}^2$  (130 sq.ft)     $d = 30 \text{ mm}$  (1.2 in)     $l_b = 0.35\text{--}1.0 \text{ kg/m}$  (0.23-0.67 lb/ft)  
 $B = 5.0 \text{ m}$  (16.5 ft)     $\varnothing = 125 \text{ mm}$  (5 in)     $q = 2.3 \text{ kg/m}^3$  (0.14 lb/cu.ft)  
 $H = 4.0 \text{ m}$  (13.2 ft)     $N = 48 + 1$     hole 1-10: short delay 1-10  
 $A = 3.9 \text{ m}$  (12.8 ft)    hole 11-20: ordinary delay 2-11

شکل ۳-۱- نمونه‌ای از نقشه آتشکاری تونل‌های بزرگ (۱۳)



$S = 37 \text{ m}^2$  (400 sq.ft)     $d = 31 \text{ mm}$  (1.2 in)     $l_b = 0.6\text{--}1.5 \text{ kg/m}$  (0.4-1.0 lb/ft);  
 $B = 7.5 \text{ m}$  (24.7 ft)     $\varnothing = 125 \text{ mm}$  (5 in)     $q = 1.3 \text{ kg/m}^3$  (0.08 lb/cu.ft)  
 $H = 3.8 \text{ m}$  (12.5 ft)     $N = 70 + 1$     hole 1-10: short delay 1-10  
 $A = 3.6 \text{ m}$  (11.8 ft)    hole 11-19: ordinary delay 2-10

شکل ۳-۱- نمونه‌ای از نقشه آتشکاری تونل‌های بزرگ (۱۳)

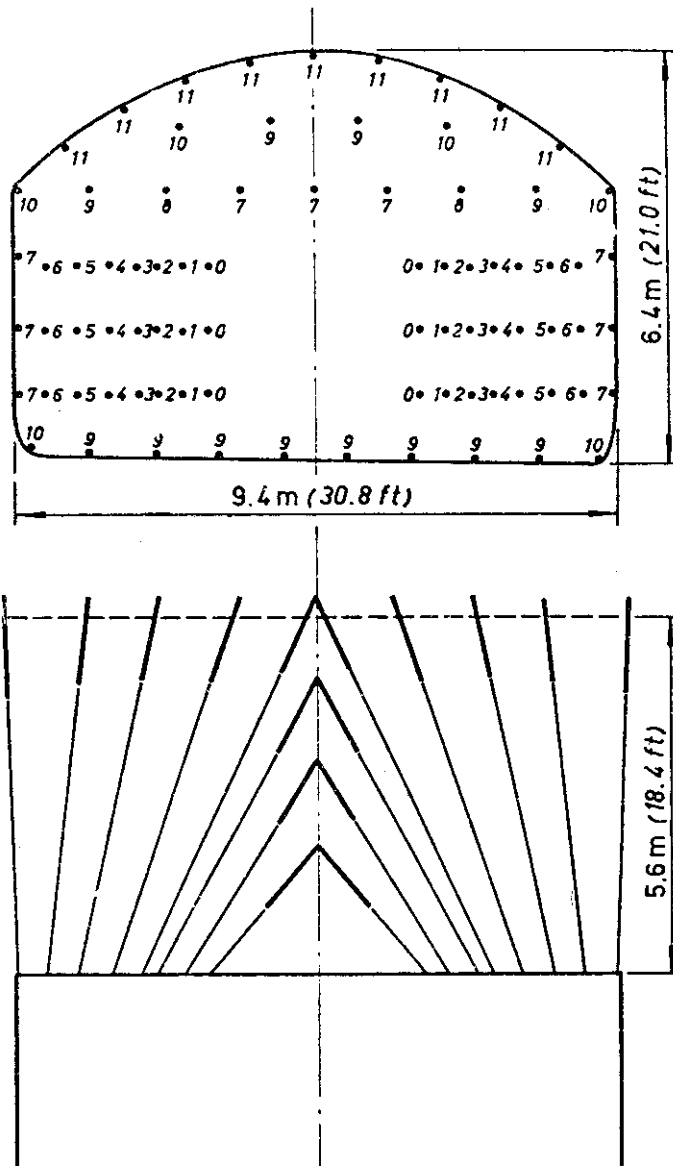
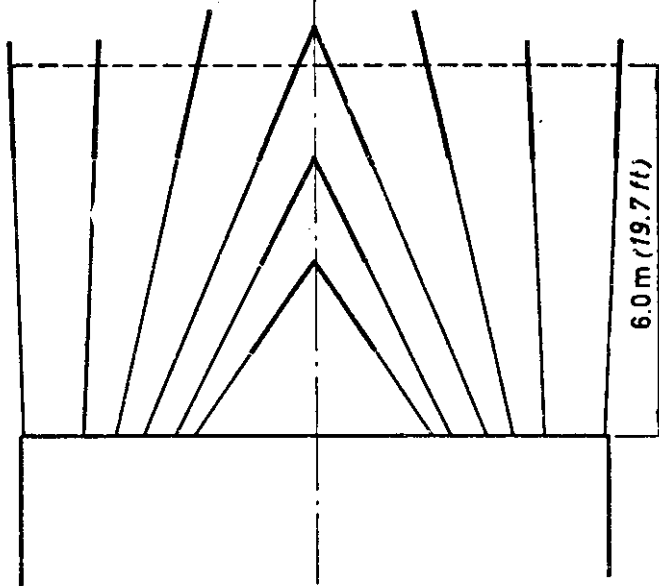
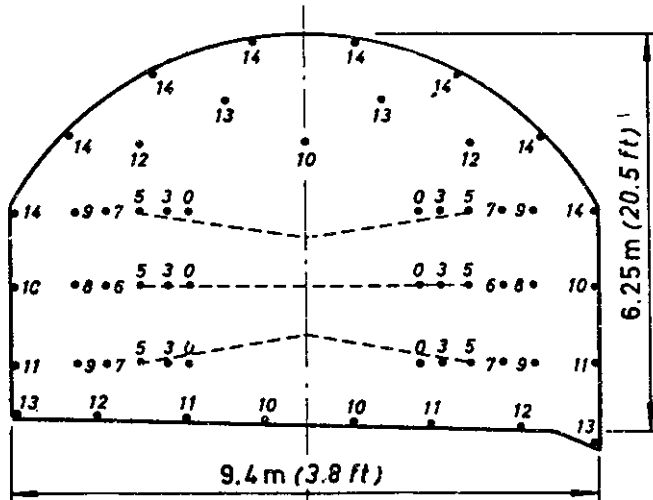


FIG. 7:36.

$S = 54 \text{ m}^2$  (583 sq.ft)     $d = 34 \text{ mm}$  (1.34 in)     $l_0 = 1 \text{ kg/m}$  (0.67 lb/ft)  
 $B = 9.4 \text{ m}$  (30.8 ft)     $\varnothing = -$      $q = 1.1 \text{ kg/m}^3$  (0.068 lb/cu.ft)  
 $H = 5.9 \text{ m}$  (19.4 ft)     $N = 80$     hole 0-11: ordinary delay 0-11  
 $A = 5.6 \text{ m}$  (18.4 ft)

شکل ۳۲-۱- نمونه‌ای از نقشه آتشکاری تونل‌های بزرگ (۱۳)

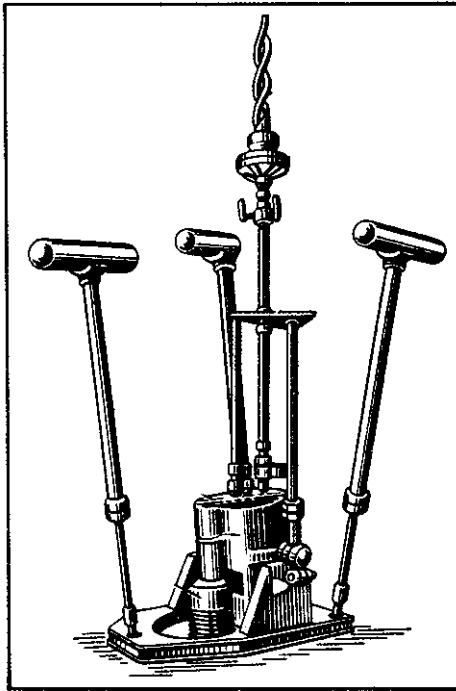


$S = 52 \text{ m}^2$  (562 sq.ft)     $d = 41\text{--}37 \text{ mm}$      $l_0 = 1.5\text{--}2.1 \text{ kg/m}$  (1.0-1.4 lb/ft)  
 $B = 9.4 \text{ m}$  (30.8 ft)    (1.73-1.45 in)     $q = 1.1 \text{ kg/m}^3$  (0.068 lb/cu.ft)  
 $H = 6.4 \text{ m}$  (21.1 ft)     $\varnothing = -$     hole 0-5: short delay 0-5  
 $A = 6.0 \text{ m}$  (19.7 ft)     $N = 55$     hole 6-14: ordinary delay 2-10

شکل ۳۳-۱۰- نمونه‌ای از نقشه آتشکاری تونل‌های بزرگ (۱۳)

## ۱۰-۱- حفر بالارو<sup>۱</sup> (دویل)

به طوری که قبلاً نیز گفته شد، دویل کار معدنی کوچکی است که از داخل زمین به طرف بالا حفر می‌شود و هدف از حفر آن تهویه تونل‌ها، احداث کارگاه استخراج، احداث راه عبور برای افراد و حمل و نقل لوازم و مواردی نظیر آن است. مقطع دویل‌ها کوچک است و معمولاً بین ۱/۵ تا ۳ متر مربع تغییر می‌کند. در بسیاری موارد، دویل در داخل ماده معدنی حفر می‌شود و در این حالت وسعت آن بسته به ضخامت ماده معدنی متفاوت خواهد بود. در مواردی که ماده معدنی نرم باشد (مثل زغال) حفر دویل به کمک چکش مکانیکی و به سهولت انجام می‌گیرد. برای حفر سریع دویل در داخل لایه‌های زغال، از ماشین‌های مخصوصی استفاده می‌کنند که فرم کلی آن در شکل ۱۰-۳۴ نشان داده شده است.

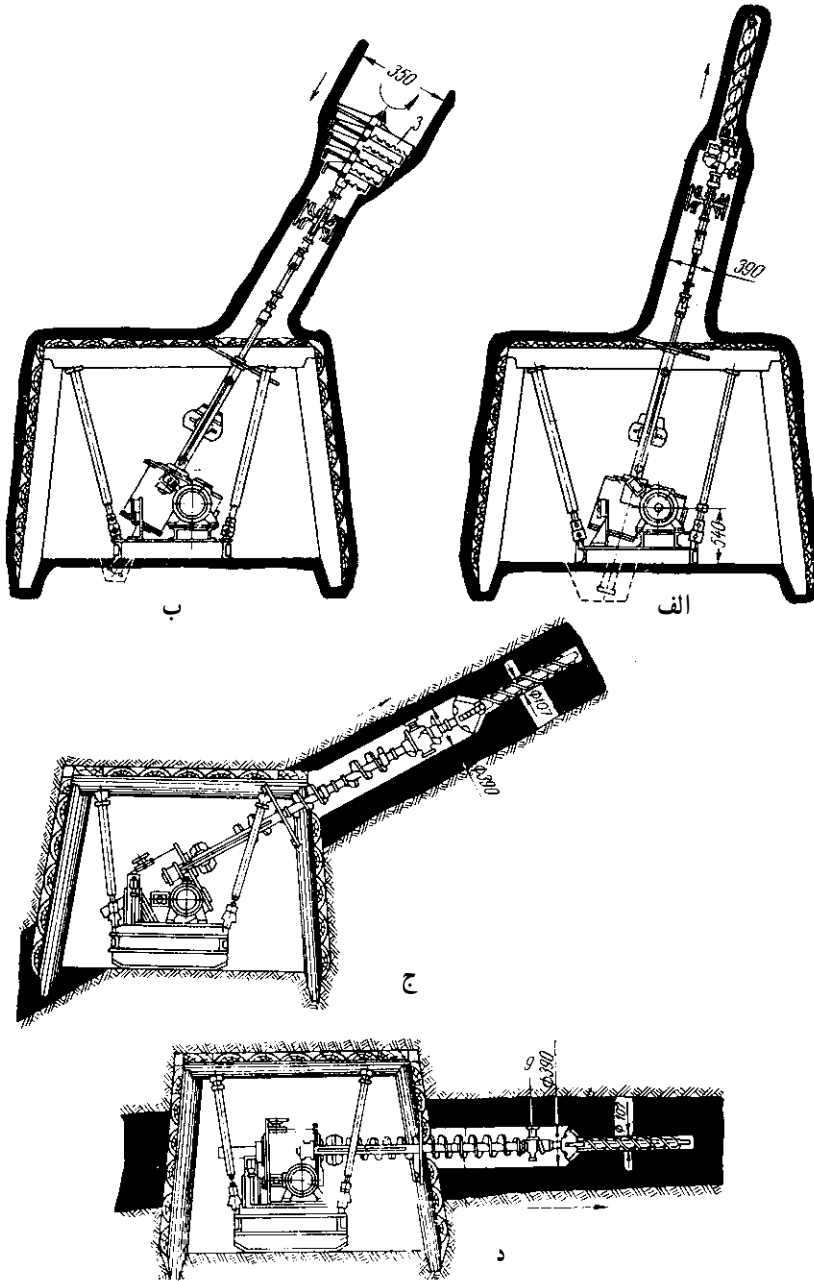


شکل ۱۰-۳۴- ماشین حفر دویل (۳)

به وسیله این ماشین‌ها می‌توان دویل‌هایی به قطر تا ۸۵ سانتی‌متر و به طول تا ۱۵ متر حفر کرد. برای سهولت کار، ابتدا به وسیله مته مخصوصی، سوراخی به قطر ۱۰۷ میلی‌متر حفر و در مرحله بعد،



به وسیله مته اصلی قطر آن را تا  $39^{\circ}$  میلی متر افزایش می دهند و بالاخره در مرحله آخر، قطر آن به  $85^{\circ}$  میلی متر می رسد (شکل ۱۰-۳۵).



شکل ۱۰-۳۵- حفر دوپیل به وسیله ماشین مخصوص (۳)

در مواردی که دویل داخل سنگ یا ماده معدنی سخت حفر می‌شود باید برای حفر از مواد منفجره استفاده کرد. ولی نکته‌ای که باید در این مورد رعایت کرد تهویه صحیح جبهه کار است زیرا گازهای ناشی از آتشکاری، راه خروج ندارند و در محل جبهه کار جمع می‌شوند. همچنین در مواردی که در دویل داخل زغال آتشکاری می‌شود، توجه به میزان گاز از نکات فوق العاده مهم است و در این حالت نیز باید به وسیله تهویه قوی، گازهای موجود را تا حد مجاز رقیق کرد.

در مواردی که میزان گازدهی زغال خیلی زیاد باشد، حفر دویل به این صورت مجاز نیست و در این حالت باید آن را از بالا به پایین حفر کرد.

نقشه آتشکاری در دویل‌ها نیز به مشخصات سنگ‌ها بستگی دارد و مشابه نقشه‌هایی است که در مورد تونل‌های با مقطع کوچک بررسی گردید.

از آنجا که حفر دویل‌های پرشیب و به ویژه آتشکاری در آنها مشکل است، امروزه از سکوه‌های ویژه‌ای به این منظور استفاده می‌کنند. این سکوها در ارتفاع مورد نظر قرار می‌گیرند و در بالای آن حفاظتی وجود دارد که کارگر در پناه آن قرار می‌گیرد و چاه‌ها را حفر می‌کند (شکل ۳۶-۱).



شکل ۳۶-۱- سکوی ویژه حفر دویل

اگر شیب دویل ۶۰ یا کمتر باشد، لق گیری ممکن است به تدریج حین بالا رفتن تحت محافظت دیواره لق گیری شده قبلی انجام گیرد.

آلیماک می تواند برای شافت عمودی همانند دویل های شیب دار مورد استفاده قرار گیرد. حد پایین شیب بستگی به زاویه سکون سنگ دارد. بر خلاف دیگر روش های مدرن، برای دویل هایی که با آلیماک حفر می شوند تنها به یک نقطه حمله نیاز داریم. (در پایین ترین قسمت) بیشترین شکستگی در این نقطه زمانی آغاز می شود که دستگاه بالا می رود.



شکل ۳۷-۱- بالابر آلیماک

طول پیشروی بستگی به زمان مورد نیاز کارکنان برای بالا رفتن، لق گیری، حفاری، خرج گذاری، پایین آمدن و آتشکاری دارد. حد بالا برای یک شیفت کاری هشت ساعته حدود ۲۰۰۰ متر است. این طول نیز بستگی به نوع جلو برد دارد، جلو بردی که به وسیله فشار هوا کار می کند تا ۱۵۰ متر و جلو برد الکتریکی تا ۹۰۰ متر طول شافت کاربرد دارند. برای دویل های طولانی تر از بالابر دیزلی - هیدرولیکی استفاده می شود.

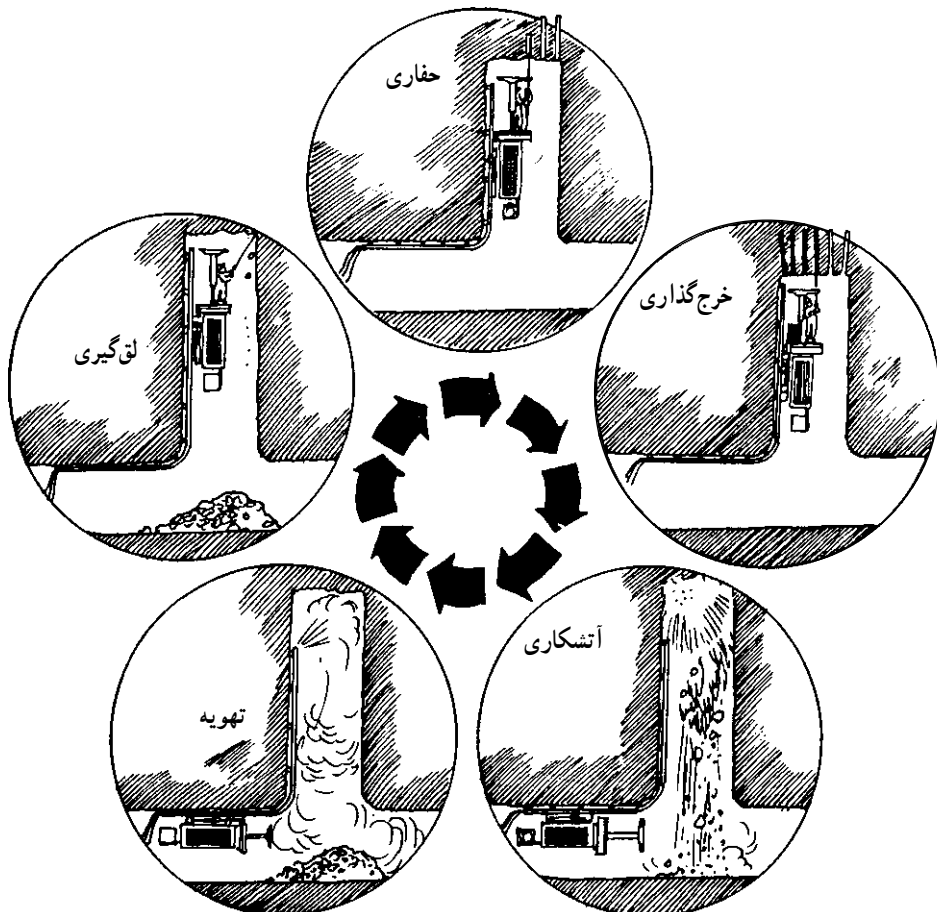
مسافت شافت به طور معمول ۴ متر مربع است اما شافت های شیب دار تا سطح مقطع ۳۶ متر مربع

حفر می‌گردند الگوهای حفاری و خرج گذاری برای همه این روش‌ها شبیه به هم است و به‌طور معمول یک دوپل بالارو با سطح مقطع چهارمتر بسوی بالا حفر می‌گردد تا به سطح نهایی استخراج برسد. به هر حال گاهی اوقات دوپل‌هایی با سطح مقطع وسیع حفر می‌شوند و همان‌طوری که گفته شد تا مساحت ۳۶ مترمربع به‌طور موفقیت‌آمیزی آتشکاری می‌گردند. الگوی حفاری و آتش برای دوپل بالارو، فرقی با الگوی حفاری و آتش تونل با اندازه مشابه ندارد.

### سیکل کاری آلیماک

**حفاری:** حفاری و خرج گذاری از سکوی بالابر زیر یک سقف محافظ ویژه انجام می‌شود. هوا و همچنین آب برای مائین حفاری از لوله میان ریل فرستاده می‌شود.

**آتشکاری:** بعد از حفاری و خرج گذاری هر دور، بالابر پایین آورده می‌شود و در زیر سقف گالری یا تونل قرار می‌گیرد تا در خلال آتشکاری از ریزش سنگ‌ها پس از انفجار مصون باشد.



شکل ۳۸-۱۰- سیکل کاری آلیماک

تهویه: بعد از هر انفجار بالابر عمل تهویه و پاشیدن آب را انجام می‌دهد. بالای ریل به وسیله یک صفحه کلاهی که به عنوان پخش کننده آب در هنگام تهویه عمل می‌کند، محافظت می‌گردد. لقی گیری: لقی گیری سقف و دیواره‌ها زیر سقف محافظ بالابر انجام می‌گیرد تا کارکنان به خوبی محافظت شوند.

## ۱۱-۱۰- حفر تونل‌های مورب

تونل‌های مورب برای دسترسی به مواد معدنی موجود در قسمت‌های پایین معدن حفر می‌شوند. بدیهی است در چنین مواردی به وسیله چاه‌های قائم نیز می‌توان به ماده معدنی دسترسی پیدا کرد و در هر مورد انتخاب نوع کار معدنی به عوامل مختلفی بستگی دارد.

مقطع تونل‌های مورب نیز نظیر مقاطع سایر تونل‌ها است و غالباً به شکل طاقی یا دوزنقه حفر می‌شوند. سطح مقطع تونل‌های مورب بسته به نوع کاربرد آن متفاوت است. تونل‌های مورب در بعضی از موارد داخل ماده معدنی و در سایر حالات درون سنگ حفر می‌شود.

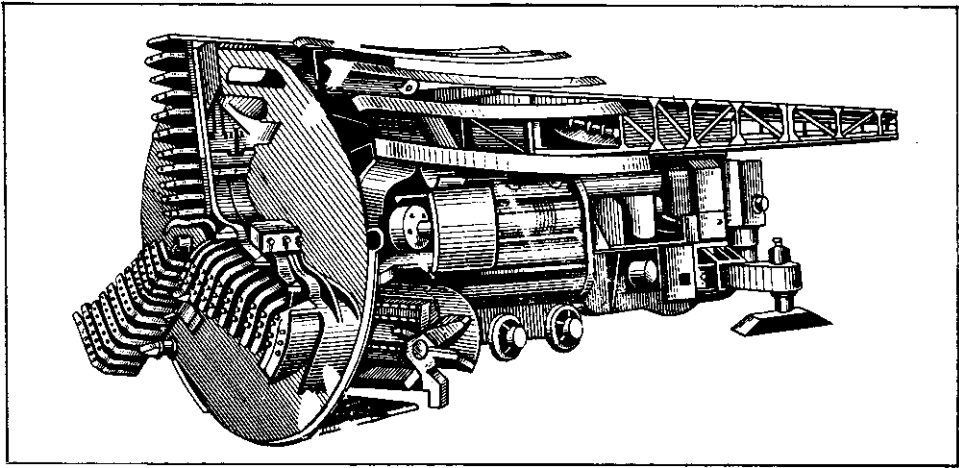
از جمله مهم‌ترین مسائلی که در حفر این قبیل تونل‌ها وجود دارد، مسئله باربری مواد حفر شده و تخلیه آب‌های موجود است، در مواردی که تمام مقطع تونل داخل مواد معدنی نرم (مثلاً زغال سنگ) واقع باشد، می‌توان آن را به کمک چکش مکانیکی حفر کرد. اگر ماده معدنی تنها قسمتی از مقطع تونل را تشکیل دهد، ابتدا آن را به وسیله چکش مکانیکی و قسمت‌های باقیمانده مقطع تونل را به وسیله آتشکاری حفر می‌کنند و بالاخره در حالتی که تونل در داخل سنگ واقع است، حفر آن به توسط آتشکاری انجام می‌گیرد.

نقشه‌های انفجار در مورد این تونل‌ها نیز مشابه نقشه‌هایی است که در مورد تونل‌های معمولی گفته شد و مسائل خاص مربوط به این قبیل تونل‌ها از جمله نگهداری، تهویه و باربری در کتاب‌های مربوطه ذکر خواهد شد.

## ۱۲-۱۰- حفر تونل‌ها به کمک ماشین‌های مخصوص تونل‌کنی<sup>۱</sup>

برای حفر تونل در سنگ‌های نرم و مواد معدنی نظیر زغال، می‌توان ماشین‌های مخصوص تونل‌کنی را به کار برد. این قبیل ماشین‌ها قادرند که تمام مقطع تونل را به طور مداوم و بدون استفاده از مواد ناریه حفر کنند.

ماشین‌های حفر تونل انواع مختلف دارند و در هر مورد با توجه به نوع سنگ، شکل تونل، نوع نیروی محرکه و مسائل نظیر آن، می‌توان از ماشین‌های مختلف استفاده کرد. یک نوع از ماشین‌های تونل‌کنی که در شکل ۱۰-۳۹ نشان داده شده، قادر است که تونل‌هایی با مقطع دایره در سنگ‌های نرم حفر کند. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، دستگاه دارای سه بازوی شعاعی است که هر یک دارای تیغه‌های برنده هستند. مواد کنده شده به وسیله بیلچه مخصوصی، که در جلو دستگاه قرار دارد، به نوار نقاله ماشین منتقل می‌شود و به توسط آن می‌توان این مواد را داخل واگن‌های معدنی یا نوار نقاله‌ای که در پشت دستگاه قرار دارد، بارگیری کرد.



شکل ۱۰-۳۹- یک نوع از ماشین‌های حفر تونل (۱۵)

به وسیله ابزارهای حفر مخصوصی که در کناره‌های دستگاه وجود دارد می‌توان تونل‌های طاقی شکل را نیز حفر کرد. نوع دیگری از ماشین‌های حفر تونل در شکل ۱۰-۴۰ نشان داده شده است.



شکل ۴۰-۱۰- ماشين تونل کني



شکل ۴۱-۱۰- ماشين تونل کني

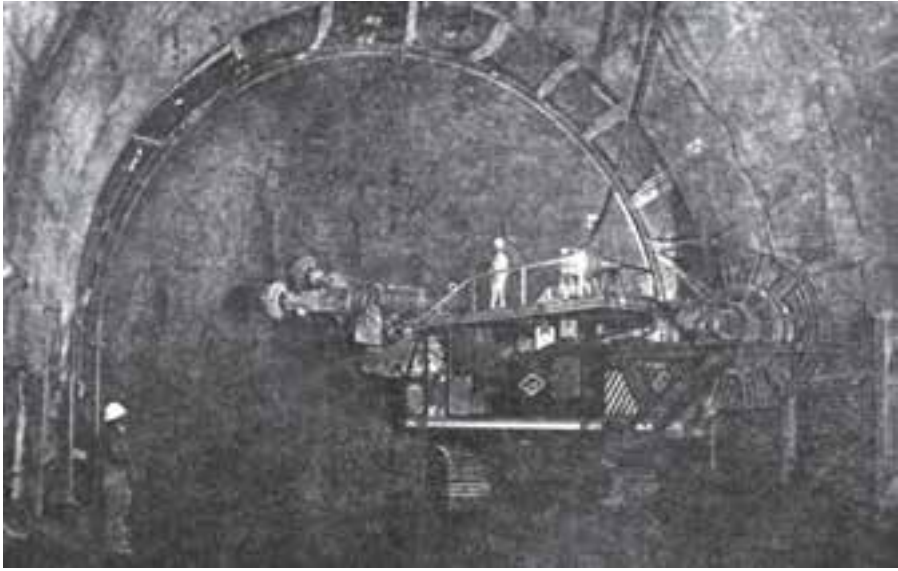
به طوری که دیده می‌شود دستگاه دارای یک بازوی حفار است که در انتها یک چرخ تیغه‌دار دارد. بازوی دستگاه می‌تواند در قسمت‌های مختلف حرکت کرده و بدین ترتیب تمام مقطع تونل را حفر کند. مواد حفر شده روی سینی دستگاه می‌ریزد و به وسیله زنجیر متحرک به نوار نقاله دستگاه منتقل شده و به وسیله آن در واگن‌های موجود در پشت دستگاه بارگیری می‌شود. بعضی از انواع این دستگاه‌ها دارای دو بازوی حفاری‌اند.

علاوه بر دستگاه‌های گفته شده انواع دیگر ماشین‌های تونل‌کنی وجود دارد که در شکل‌های ۴۱-۱۰ تا ۴۶-۱۰ نشان داده شده است.

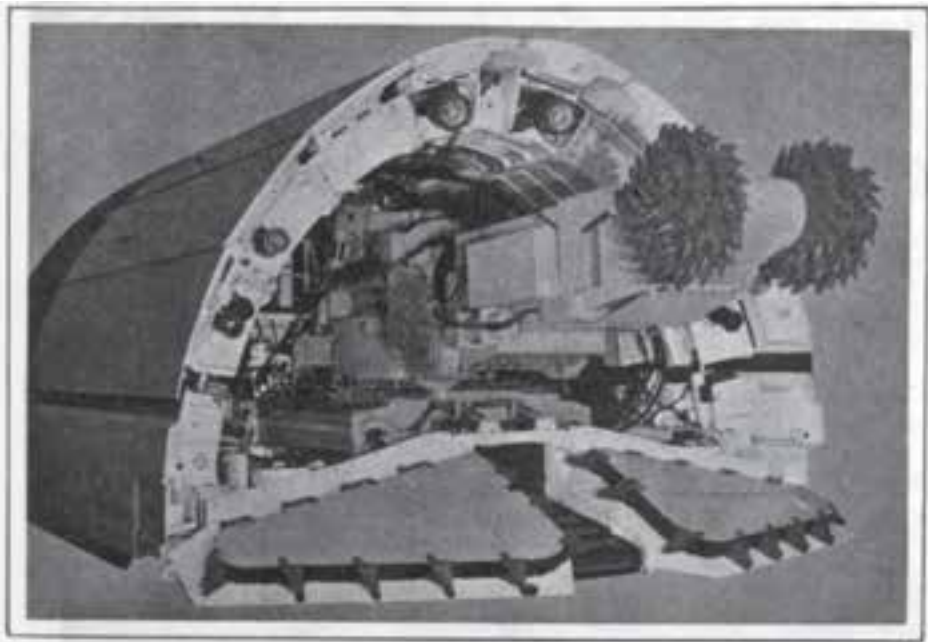


شکل ۴۲-۱۰- ماشین تونل‌کنی





شکل ۴۳-۱۰- ماشین تونل‌کنی



شکل ۴۴-۱۰- ماشین تونل‌کنی



شکل ۴۵-۱۰- ماشين تونل کني



شکل ۴۶-۱۰- ماشين تونل کني

## ۱۳-۱- سایر ماشین‌های حفاری مورد استفاده در کارگاه زیرزمینی

برای حفر مواد معدنی، ماشین‌های مختلفی وجود دارد چند نوع از این ماشین‌ها را به اختصار توضیح می‌دهیم:

۱-۱۳-۱- ماشین‌های زغال تراش<sup>۱</sup>: این ماشین‌ها برای احداث برش افقی در بالا یا پایین یا برش قائم در قسمت‌های مختلف لایه‌های زغال به کار می‌روند. همچنین برای حفر مواد معدنی نرم نظیر نمک سنگی، پتاس، تالک و نظایر آن نیز از این ماشین‌ها استفاده می‌شود.

هدف کلی از به کار بردن این دستگاه‌ها، ایجاد یک جبهه آزاد در ماده معدنی است و پس از احداث این جبهه، زغال در اثر وزن خود یا به کمک دیلم و چکش مکانیکی، به آسانی کنده می‌شود.

۲-۱۳-۱- ماشین‌های حفار بارکننده<sup>۲</sup>: این ماشین‌ها همان‌طور که از اسمشان پیداست، ضمن حفر مواد نرم (مثل زغال و نظایر آن) عمل بارگیری را نیز انجام می‌دهد و مواد کنده شده را در وسایل حمل و نقل می‌ریزد.

۳-۱۳-۱- ماشین‌های رنده: از این ماشین‌ها نیز برای کندن مواد معدنی نرم مثل زغال استفاده می‌شود.

## خودآزمایی

- ۱- محل تونل در معدن را چگونه تعیین می‌کنند؟
- ۲- شکل و ابعاد تونل را چگونه تعیین می‌کنند؟
- ۳- عملیات مقدماتی حفر تونل را شرح دهید.
- ۴- برای حفر تونل چگونه برنامه‌ریزی می‌کنند؟
- ۵- اصول حفر تونل‌های مختلف به وسیله مواد منفجره را شرح دهید.
- ۶- انواع برش‌ها را نام ببرید و هر کدام را به اختصار شرح دهید.
- ۷- چگونگی حفر تونل‌های کوچک را توضیح دهید.
- ۸- چگونگی حفر تونل‌های بالارو را شرح دهید.
- ۹- چگونگی حفر تونل بالارو و مورب را شرح دهید.
- ۱۰- روش‌های حفر تونل‌های بزرگ را شرح دهید.
- ۱۱- ماشین‌های مخصوص تونل‌کشی را شرح دهید.