## بخش سوم

# آتشکاری

# فصل هفتم

## روش‌ها و مراحل آتشکاری

**هدف‌های رفتاری:** در پایان این فصل هنرجو باید بتواند :

۱ــ با مراحل آتشکاری آشنا شود.

۲ــ ابزارهای آتشکاری را بیان کند.

۳ــ مواد لازم برای انفجار خرج ته چال را نام ببرد.

۴ــ انواع فتیله اطمینان را ذکر کند.

۵ــ مراحل آتشکاری با فتیله اطمینان و چاشنی معمولی را شرح دهد.

۶ــ موارد ایمنی حین کار با فتیله اطمینان را بیان کند.

۷ــ هر کدام از وسایل آتش‌زن فتیله اطمینان را بشناسد و نحوهٔ کار آن را توضیح دهد.

۸ــ انواع آتشکاری با فتیله اطمینان را نام ببرد و شرح دهد.

۹ــ آتشکاری با فتیله انفجاری و مراحل آن را شرح دهد.

۱۰ــ آتشکاری تأخیری با فتیله انفجاری را شرح دهد.

۱۱ــ احتیاط‌های لازم در کاربرد فتیله انفجاری را شرح دهد.

۱۲ــ مزایا ومعایب فتیله انفجاری را شرح دهد.

۱۳ــ آتشکاری با چاشنی برقی را شرح دهد.

۱۴ــ ساختمان داخلی چاشنی برقی را شرح دهد.

۱۵ــ انواع چاشنی برقی را برحسب زمان انفجار نام ببرد.

۱۶ــ مراحل آتشکاری با چاشنی برقی شرح دهد.

۱۷ــ انواع روش به هم بستن چاشنی‌ها را نام ببرد.

۱۸ــ با عیب‌یابی مدار انفجار آشنایی پیدا کند.

۱۹ــ با سیم آتش وماشین آتش‌کن آشنا شود.

۲۰ــ مزایا و معایب آتشکاری برقی را شناسایی کند.

۲۱ــ سیستم آتشکاری با نانل را شرح دهد.

**مقدمه**

آتشکاری به مجموعه عملیاتی گفته می‌شود که در نهایت به انفجار و خرد شدن سنگ‌ها می‌انجامد. عملیات آتشکاری باید به وسیله افرادی که به این امور آشنایی دارند و دارای مدارک معتبر هستند، انجام شود لذا انجام این عمل توسط افراد غیرمتخصص اکیداً ممنوع است.

آتشکاران باید به تمام مقررات ایمنی آتشکاری آگاهی کامل داشته و عمل نمایند و از عهده امتحانات مربوطه برآمده باشند.

## ۱ــ۷ــ ابزارهای آتشکاری

قبل از آغاز این فصل و فصل‌های بعدی کتاب، مختصری درباره تعدادی از ابزارهای آتشکاری را شرح می‌دهیم. این ابزارها به مقدار وسیعی در عملیات آتشکاری مورد استفاده قرار می‌گیرند و پیوسته از آنها نام برده می‌شود. آنچه که در این جا تشریح می‌شود، عبارت است از :

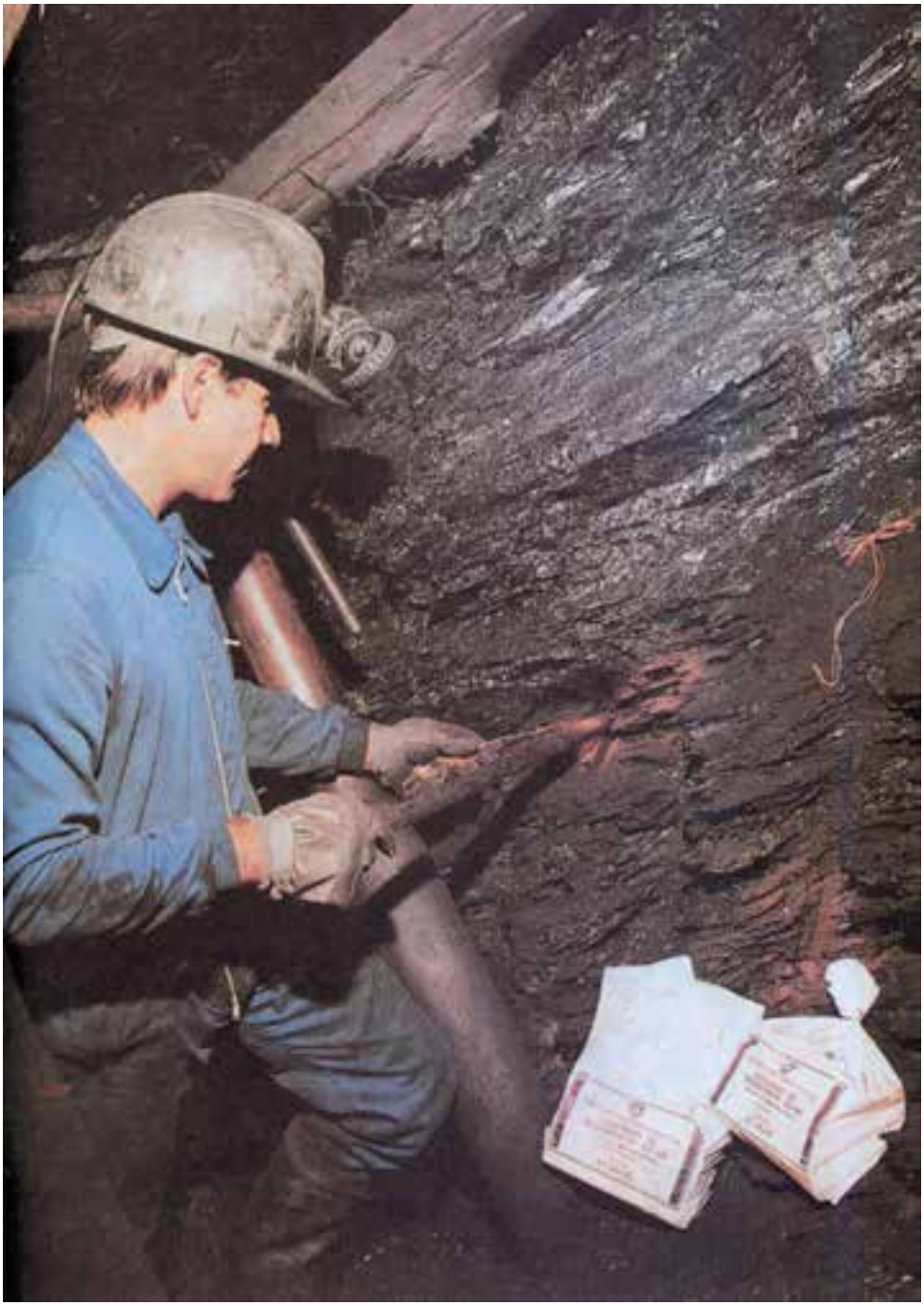
سنبه‌چوبی، درفش و انبردست مخصوص (گازانبر مخصوص)

**۱ــ۱ــ۷ــ سنبه‌چوبی:** سنبه، میله‌ای است که قطر آن حدود ۳ سانتی‌متر و طول آن ۲ تا ۳ متر است. قطر سنبه چوبی همیشه دست کم یک سانتی‌متر کمتر از قطر چال است. در عملیات آتشکاری یک سر سنبه در دست آتشکار قرار می‌گیرد و سر دیگر آن باید تا ته چال یا نزدیک ته چال برسد ؛ زیرا مواد منفجره را به صورت آزاد در چال رها نمی‌کنند بلکه آنها را داخل چال به نحوی فشرده می‌کنند که بخوبی فضای چال را پر کند. برای فشردن مواد منفجره در داخل چال از سنبه‌چوبی استفاده می‌شود ؛ لذا طول سنبه باید همیشه از طول چال بیشتر باشد تا آتشکار بتواند با اطمینان خاطر، خرج ته چال را نیز فشرده کند. در معدن‌های زیرزمینی حمل چوب یا هر جسم طویلی با درازای بیش از ۳ متر به دلیل تنگی راهروها و پیچ و خم موجود در آنها، دشوار و در بسیاری موارد غیرممکن است ؛ لذا برای چال‌های طولانی‌تر از ۳ متر سنبه‌های تاشو ساخته شده‌اند. سنبه تاشو از چند سنبه که به وسیله حلقه‌های نخی به هم وصل شده‌اند، تشکیل می‌شود. روش اتصال آنها به صورتی است که براحتی روی هم تاشده و قابل حمل به معدن زیرزمینی می‌شوند. وقتی که اولین قطعه در داخل چال قرار می‌گیرد، قطعه بعدی را پشت سر آن وارد چال می‌کنند و روی قطعه اول فشار می‌آورند ؛ بدین ترتیب، تمام طول سنبه را وارد چال می‌کنند. در شکل‌های ۱ــ۷ و ۲ــ۷ استفاده از سنبه‌چوبی را در خرج‌گذاری[1] ملاحظه می‌کنید.

---

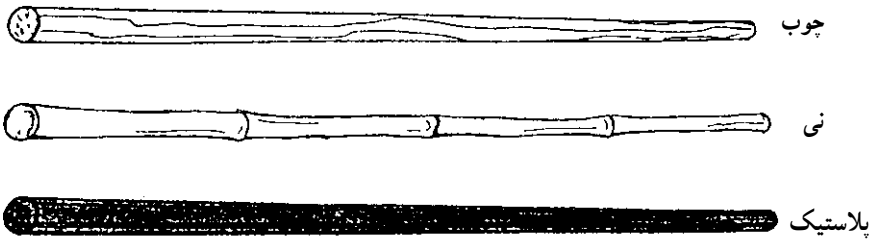
۱ــ خرج‌گذاری : به همه کارهایی گفته می‌شود که شامل قرار دادن ماده منفجره در چال، بستن دهانه چال و انفجار ماده منفجره موجود در چال می‌شود و در فصل هشتم در این مورد کاملاً بحث خواهیم کرد.

**شکل ۱ــ۷ــخرج‌گذاری با سنبه چوبی در معادن روباز**



**شکل ۲ــ۷ــخرج‌گذاری با سنبه چوبی در معادن زیرزمینی**

سنبه باید از جنسی ساخته شده باشد که در برخورد با سنگ جرقه ایجاد نکند. سنبه آتشکاری چون نخستین بار از چوب ساخته شده به نام سنبه چوبی معروف است اما می‌توان آن را از چوب، پلاستیک یا چوب نیشکر نیز ساخت. از این پس، هرجا که از سنبه چوبی نام می‌بریم، منظور تنها سنبه‌ای از جنس چوب نیست بلکه نوع پلاستیکی یا انواع دیگر آن نیز می‌تواند باشد. سنبه چوبی باید مستقیم و بدون خمیدگی باشد (شکل ۳ــ۷).




**شکل ۳ــ۷ــانواع سنبه‌ها**

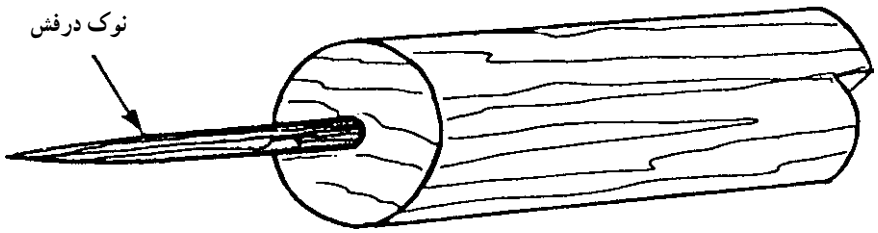
در سرتاسر طول سنبه، یک شیار نیم استوانه برای جا دادن فتیله اطمینان یا فتیله انفجاری یا سیم چاشنی برقی وجود دارد تا موقع خرج‌گذاری و انجام حرکات رفت‌وآمد سنبه به منظور فشردن خرج، فتیله یا سیم چاشنی برقی آسیب نبیند.

سنبه چوبی برای خرج‌گذاری مواد منفجره بسته‌بندی شده به کار می‌رود اما در چال‌های سرازیر مثل چال‌های معدن‌های روباز برای فشردن مواد منفجره دانه‌ای شکل مثل آنفو نیز می‌توان از سنبه چوبی استفاده کرد (شکل ۴ــ۷).

**شکل ۴ــ۷ــفشردن آنفو در چال با سنبه چوبی**

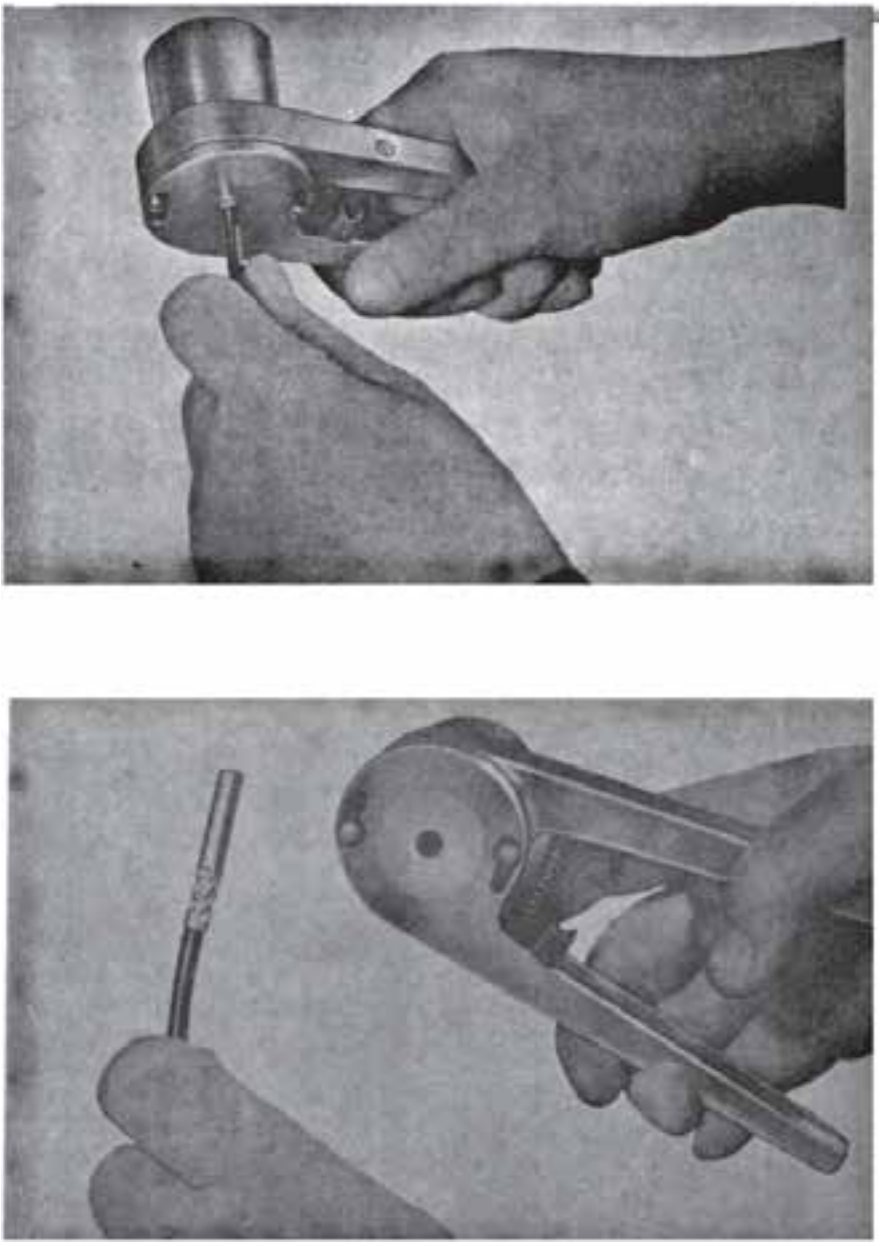
خرج‌گذاری با سنبه چوبی در همه جای دنیا رایج است و در ایران نیز کلیه خرج‌گذاری‌ها با استفاده از سنبه چوبی صورت می‌گیرد.

**۲ــ۱ــ۷ــ درفش:** یکی از مراحل آتشکاری قرار دادن چاشنی در فشنگ ماده منفجره است. برای این کار، باید فشنگ ماده منفجره را سوراخ کرد. برخی از مواد منفجره به گونه‌ای هستند که چاشنی با فشار دست به راحتی در آنها فرو می‌رود. در بعضی از مواد منفجره، جای چاشنی در داخل فشنگ تعبیه شده است (شکل ۵ــ۷). اما در بسیاری موارد به دلیل سختی ماده منفجره لازم است با وسیله‌ای آن را سوراخ کنند تا چاشنی در آن جا بگیرد. این کار با درفش انجام می‌شود. نوک درفش تیز و از جنس چوب، مس، برنج، آلومینیوم یا پلاستیک است (شکل ۵ــ۷).




**شکل ۵ــ۷ــ درفش برای سوراخ کردن دینامیت**

**۳ــ۱ــ۷ــ انبردست (گازانبر):** قرار دادن فتیله اطمینان در داخل چاشنی معمولی یکی از مراحل آتشکاری است. قطر فتیله اطمینان از قطر چاشنی کمتر است و به راحتی در داخل چاشنی فرو می‌رود. برای حفظ استحکام آن لازم است که پوکه چاشنی بخوبی فتیله را بگیرد و مانع خروج آن از چاشنی گردد. این کار با گازانبر مخصوصی صورت می‌گیرد که نمونه‌ای از آن را در شکل ۶ــ۷ مشاهده می‌کنید. هنگام فشردن باید دقت شود که گازانبر فقط قسمت خالی چاشنی را فشرده کند. این کار نباید با دندان، چکش، انبردست‌های معمولی و نظایر آنها صورت گیرد. استفاده از گازانبر زمانی که انفجار تأخیری با فتیله انفجاری پیش می‌آید، نیز لازم می‌شود که مراتب در شکل ۶ــ۷ توضیح داده شده است. استفاده از گازانبر در مورد چاشنی برقی ضرورتی ندارد.



شکل ۶ــ۷ــ یک نوع گاز انبر مخصوص فشار دادن چاشنی حاوی فتیله اطمینان

## ۲ــ۷ــ روش‌های آتشکاری

هدف از کاربرد مواد منفجره در معدن‌ها، به کار گرفتن انرژی آزاد شده حاصل از انفجار برای شکستن سنگ‌هاست تا سنگ از توده اصلی جدا شود و به قطعات قابل حمل تبدیل گردد. اگر ماده ناریه در هوای آزاد منفجر شود، گازهای حاصل بدون انجام دادن کاری، پراکنده می‌شوند اما در عمل برای استفاده از انرژی حاصل از انفجار، سوراخ‌هایی به نام چال داخل سنگ حفر کرده و مواد منفجره را درون آن قرار می‌دهند. این مواد پس از انفجار فشار بسیار زیادی به دیواره چال وارد می‌کنند و سنگ را می‌شکنند. برای تحقق یک انفجار به منظور شکستن سنگ، سلسله اعمال زیر باید انجام شود.

۱ــ حفر چال

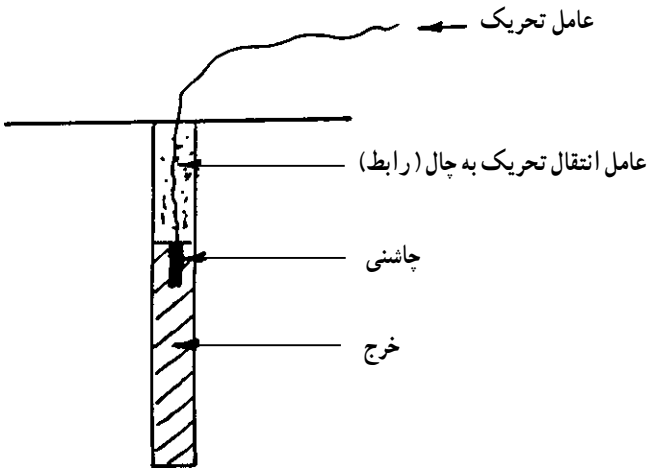
۲ــ آماده کردن ماده منفجره

۳ــ خرج‌گذاری (قرار دادن ماده منفجره در چال)

۴ــ بستن دهانه چال

۵ــ انفجار (آتشکاری)

برای این که خرج داخل چال در حالی که دهانه آن به هم بسته شده منفجر گردد، اجزای زیر لازم است (شکل ۷ــ۷).



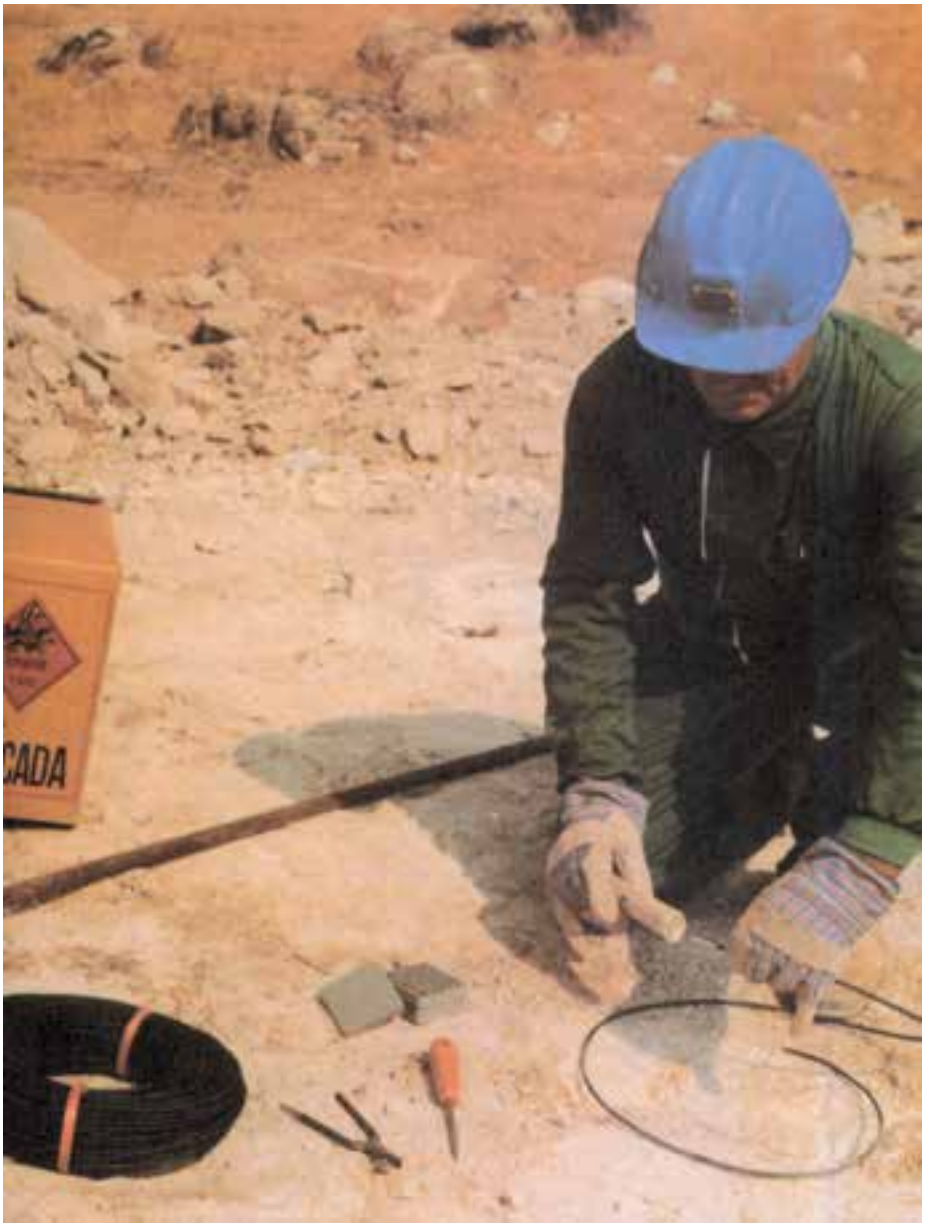

شکل ۷ــ۷ــ اجزای یک چال خرج‌گذاری شده

**۱ــ تحریک کننده:** که می‌تواند شعله، ضربه، حرارت و نظایر اینها باشد.

**۲ــ عامل انتقال تحریک به درون چال:** که می‌تواند فتیله اطمینان، چاشنی برقی و امثال آن باشد. این عامل تحریک موجب انفجار چاشنی داخل چال می‌شود که انفجار آن نیز انفجار خرج اصلی را سبب خواهد شد.

**۱ــ۲ــ۷ــ آتشکاری با فتیله اطمینان و چاشنی معمولی:** اجزای این روش انفجار را در شکل ۸ــ۷ مشاهده می‌کنید. این اجزاء عبارتند از : دینامیت، فتیله اطمینان، گازانبر، درفش و چاشنی. یک سر فتیله اطمینان را داخل چاشنی قرار داده و با انبردست آن را محکم می‌کنند. این چاشنی به همراه فتیله اطمینان داخل فشنگ دینامیت قرار می‌گیرد. دینامیت مزبور به همراه سایر دینامیت‌ها در چال قرار داده می‌شود. سر دیگر فتیله اطمینان بیرون چال است ؛ آن را با شعله آتش می‌زنند، باروت موجود در فتیله اطمینان بتدریج می‌سوزد تا به داخل چال و بالاخره به چاشنی برسد. در این هنگام، چاشنی منفجر می‌شود و خرج موجود در چال را منفجر خواهد کرد که نتیجه آن شکستن سنگ اطراف چال است. اینک به شرح جزییات آتشکاری با فتیله اطمینان می‌پردازیم :

هنگامی که یک سر فتیله اطمینان را آتش می‌زنیم، باروت داخل آن با سرعت معینی شروع به سوختن می‌کند و در سر دیگر فتیله، باروت سوخته به صورت جرقه به اطراف پخش می‌شود. یعنی جرقه‌ها هستند که چاشنی را منفجر می‌کنند.




**شکل ۸ــ۷ــ اجزای آتشکاری با فتیله اطمینان شامل : چاشنی،فتیله اطمینان،دینامیت،گازانبر، سنبه چوبی و درفش**

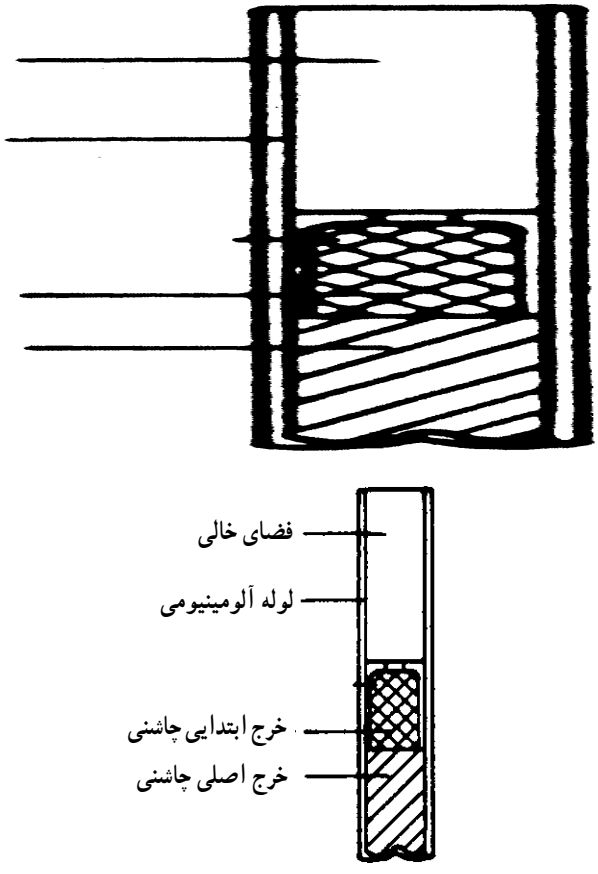
از نکته‌های اساسی و مشخصات ویژه‌ای که برای فتیله اطمینان در نظر می‌گیرند، یکنواخت سوختن آن است. معمولاً هر متر فتیله اطمینان در مدت ۲ دقیقه می‌سوزد. ممکن است زمان سوختن فتیله‌های مختلف که در کارخانجات متفاوت تهیه شده‌اند، با این عدد متفاوت باشند. به هر حال، سرعت سوختن فتیله باید یکسان باشد تا آتشکار بتواند زمان سوختن مقدار معینی از فتیله را حساب کند. این امر از نظر حفاظت آتشکار و رسیدن به پناهگاه بسیار حیاتی است.

**مثال:** اگر قرار است ۵ عدد چال را آتش کنند به فرض این که زمان لازم برای آتش زدن هر چال ۸ ثانیه باشد، برای ۵ عدد چال ۴۰ ثانیه وقت لازم است. از طرف دیگر در آغاز کار، اولین چال آتش شده و باروت موجود در فتیله اطمینان با سرعت معینی می‌سوزد. اگر سرعت سوختن باروت ۲دقیقه در هر متر و طول فتیله اطمینان به کار رفته در اولین چال، یک متر باشد، از لحظه آتش زدن نخستین چال، آتشکار ۲ دقیقه وقت دارد تا خود را به جای امن برساند اما از آن‌جا که ۴۰ ثانیه صرف آتش زدن چال‌ها می‌شود، آتشکار تنها ۸۰ ثانیه فرصت فرار از محل انفجار را دارد. چنانچه رسیدن به پناهگاه در این مدت میسر باشد مشکلی پیش نمی‌آید ولی اگر زمان بیشتری لازم است، باید طول فتیله اطمینان چال‌ها را بزرگ‌تر گرفت. چنانچه فتیله اطمینان تندتر از زمان مقرر بسوزد، آتشکار فرصت رسیدن به پناهگاه را پیدا نمی‌کند و چه بسا که متحمل صدمه‌ها و ضربه‌های شدید شود. پس لازم است که فتیله اطمینان به طور یکنواخت بسوزد. برای اطمینان از یکنواخت سوختن فتیله، نمونه‌هایی از جعبه محتوای فتیله اطمینان را انتخاب می‌کنیم و آتش می‌زنیم. اختلاف زمان سوختن آنها نباید بیش از ۱۵ درصد باشد ؛ در غیر این صورت چنین فتیله‌ای قابل اعتماد نیست و بهتر است از مصرف آن خودداری کنیم.

**شکل ۹ــ۷ــبسته‌بندی فتیله اطمینان**

فتیله اطمینان را به صورت کلاف‌هایی به طول ۷ تا ۱۰ متر می‌سازند. هرچند کلاف در یک بسته و هر چند بسته در یک صندوق چوبی قرار می‌گیرد. معمولاً در هر صندوق ۲۰۰۰ متر فتیله اطمینان موجود است. بسته‌بندی فتیله اطمینان را در شکل ۹ــ۷ می‌بینید. فتیله اطمینان در ایران ساخته می‌شود اما به ظاهر تولید داخلی کفاف مصرف معدن‌ها را نمی‌کند و از خارج نیز وارد می‌گردد. فتیله اطمینان به میزان بسیار زیاد در معدن‌های ایران مصرف می‌شود.

**۲ــ۲ــ۷ــ چاشنی معمولی:** مواد منفجره کندسوز نظیر باروت را می‌توان با فتیله اطمینان منفجر کرد اما سایر مواد منفجره برای انفجار به چاشنی نیاز دارند. یکی از چاشنی‌های رایج، چاشنی معمولی است. چاشنی لوله‌ای مسی یا آلومینیومی به قطر ۶/۳ میلی‌متر و طول ۳۰ تا ۵۰ میلی‌متر است که یک طرف آن بسته شده است. درون چاشنی مقداری ماده منفجره مخصوص و روی ماده منفجره انگشتانه قرار دارد که وسط آن سوراخ است. این سوراخ آتش را از فتیله اطمینان به چاشنی منتقل می‌کند. بخشی از چاشنی خالی است و برای قرار دادن فتیله اطمینان در نظر گرفته شده است (شکل ۱۰ــ۷).



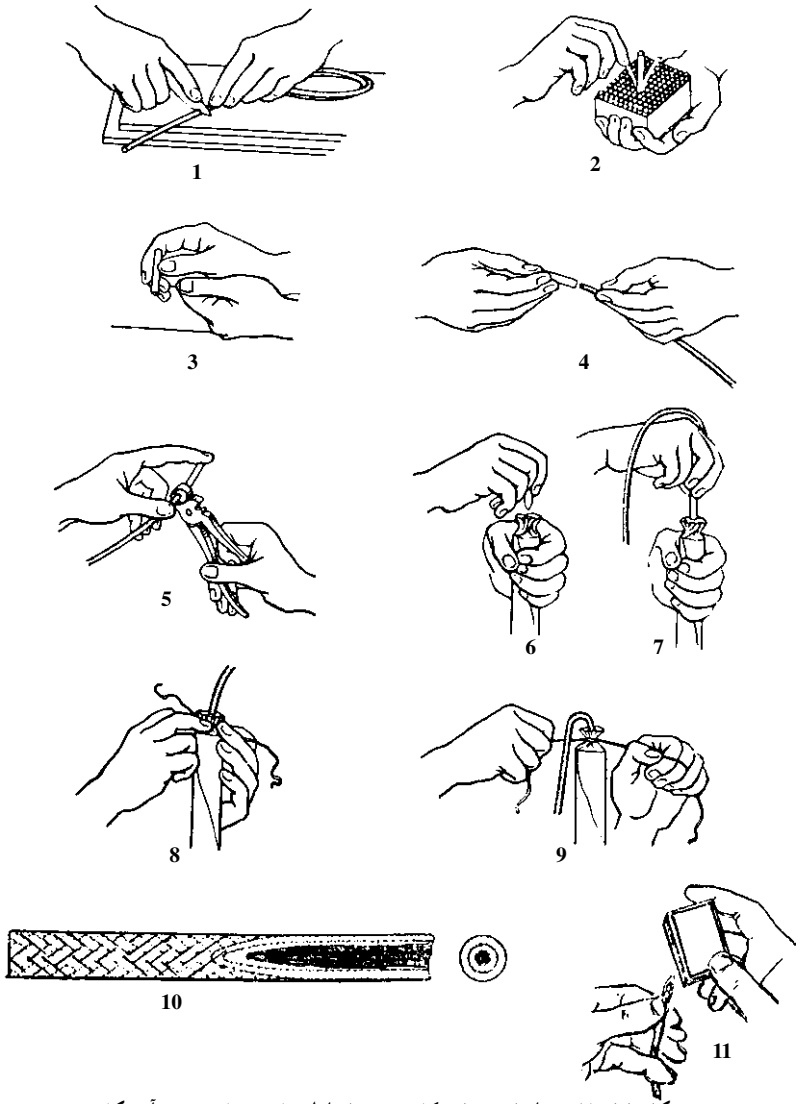

شکل ۱۰ــ۷ــ چاشنی‌های معمولی و ساختمان داخلی آن

چاشنی‌ها را به صورت زیر شماره‌بندی می‌کنند :

| شماره‌چاشنی | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| وزن ماده منفجره به گرم | ۰/۵۴ | ۰/۶۵ | ۰/۸۰ | ۱ | ۱/۵ | ۲ |

چاشنی‌ها را در قوطی‌های ۱۰۰ عددی و در صندوق‌های ۱۰۰۰۰تایی بسته‌بندی می‌کنند. صندوق چاشنی‌ها باید با آچار پیچ‌گوشتی باز شود.

**۳ــ۲ــ۷ــ مراحل آتشکاری با فتیله اطمینان و چاشنی معمولی:** مطابق شکل ۱۱ــ۷ باید این کارها پشت سر هم و مرحله به مرحله انجام گیرد.






**شکل ۱۱ــ۷ــمراحل مختلف کاربرد فتیله اطمینان و چاشنی در آتشکاری**

۱ــ فتیله اطمینان را باید با چاقوی تیز به صورت عمودی برید. برای این کار فتیله اطمینان را روی تخته صافی قرار می‌دهند و چند سانتی‌متر از نوک آن را می‌بُرند.

۲ــ چاشنی را از قوطی خارج می‌کنند.

۳ــ چاشنی را وارونه کرده و ضربه ملایمی با انگشت به آن می‌زنند تا داخل آن تمیز شود. وارد کردن جسم خارجی در چاشنی یا فوت کردن (دمیدن) به درون آن ممنوع است ؛ زیرا امکان باقی ماندن بخشی از جسم خارجی یا لطمه دیدن داخل چاشنی یا باقی ماندن آب دهان در درون چاشنی وجود دارد.

۴ــ فتیله را از طرفی که به طور عمودی بریده شده است، درون چاشنی قرار می‌دهند. در این حالت، نباید فتیله را چرخاند بلکه باید آن را با ملایمت وارد چاشنی کرد.

۵ــ بعد از این که فتیله درون چاشنی قرار گرفت، آن را با گازانبری مخصوص به فتیله محکم می‌کنند. اگر جنس لوله چاشنی کاغذی باشد، این عمل را با نوار چسب انجام می‌دهند. شکل ۱۲ــ۷ روش صحیح به دست گرفتن گازانبر و چاشنی را نشان می‌دهد.

شکل ۱۲ــ۷ــطریقه به دست گرفتن چاشنی و انبردست مخصوص

۶ــ فشنگ دینامیت را با میله‌ای چوبی، برنجی یا آلومینیومی در محور طولی سوراخ می‌کنند (شکل ۱۳ــ۷). عمق سوراخ باید کمی بیش از طول چاشنی باشد تا تمام چاشنی در دینامیت جا بگیرد.

۷ــ چاشنی را وارد سوراخ فشنگ می‌کنند. وضعیت چاشنی در فشنگ باید مطابق شکل ۱۳ــ۷ باشد.

**شکل ۱۳ــ۷ــ سوراخ کردن دینامیت با درفش**

۸ و ۹ــ گلوی فشنگ را با نخ محکم می‌بندند تا مانع خروج چاشنی از درون فشنگ دینامیت بشود.

۱۰ــ انتهای دیگر فتیله را با چاقوی تیز و به صورت مایل می‌بُرند تا سطح وسیعی از مغز فتیله که باروت است، پدیدار شود و امکان آتش زدن آن بیشتر شود.

۱۱ــ آن طرف از فتیله اطمینان که مایل بریده شده با شعله، آتش می‌گیرد. فتیله با سرعت ثابتی شروع به سوختن می‌کند و از سر دیگر آن که داخل چاشنی قرار گرفته است، یک رگبار جرقه خارج می‌شود که برای منفجر کردن چاشنی کافی است. انفجار چاشنی موجب انفجار دینامیت خواهد شد.

**۴ــ۲ــ۷ــ احتیاط‌های لازم در کاربرد فتیله اطمینان:**

۱ــ انبار فتیله اطمینان باید خشک باشد و همواره تهویه شود ؛ زیرا وجود رطوبت در هر نقطه موجب خاموش شدن فتیله در آن نقطه می‌شود. فتیله‌ای که رطوبت کشیده حتی اگر خشک شود، برای استفاده دوباره قابل اطمینان نیست. هوای خیلی سرد موجب شکننده شدن فتیله می‌شود و در هوای خیلی گرم، پوشش فتیله ذوب می‌شود و جدار آن خاصیت نفوذناپذیری خود را از دست می‌دهد. این امر موجب خارج شدن دانه‌های باروت از فتیله یا نم کشیدن آن می‌شود که در هر دو حالت قطع آتش را به همراه دارد.

۲ــ فتیله اطمینان را از هرگونه تماس با روغن، نفت و گریس باید دور نگه داشت ؛ زیرا این مواد جدار فتیله را حل می‌کند و وارد باروت می‌شود.

۳ــ فتیله را برای مدت طولانی نباید در معرض آفتاب قرار داد ؛ زیرا که ممکن است سرعت سوختن آن زیاد شود.

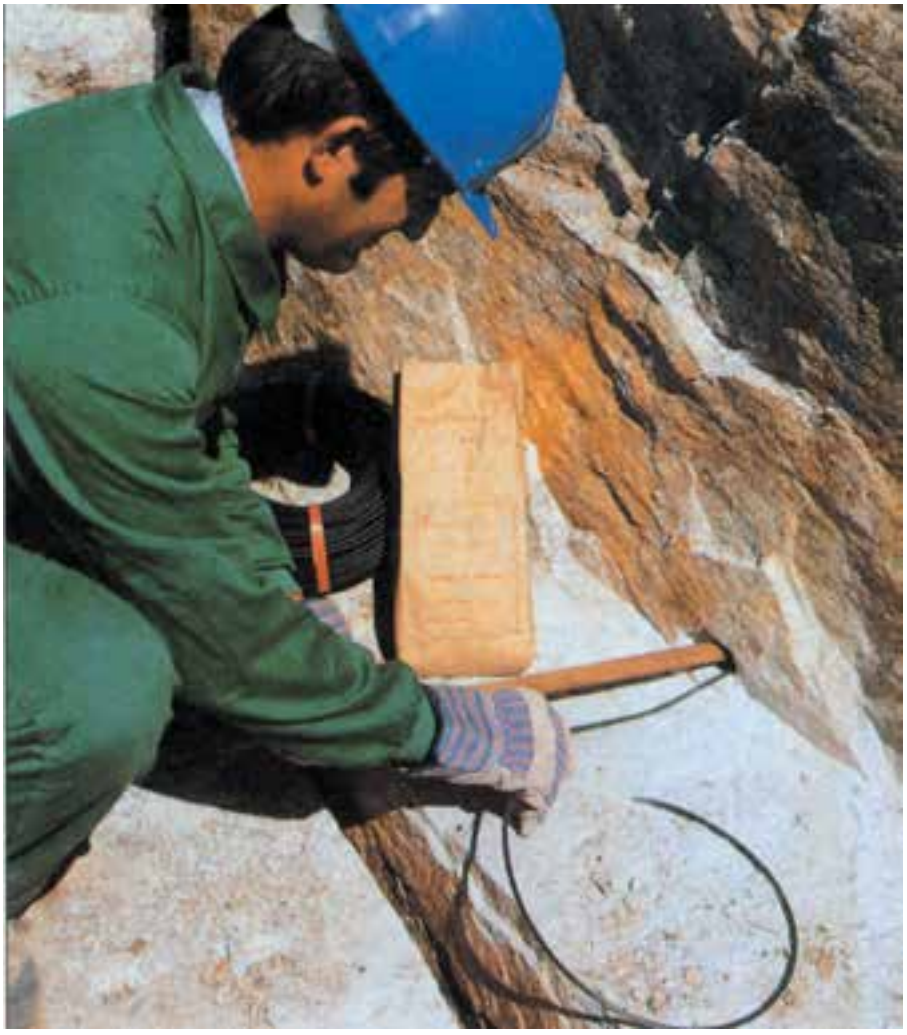
۴ــ برای محکم کردن فتیله در چاشنی نباید از دندان یا وسایلی غیر از گازانبر مخصوص استفاده کرد.

۵ــ فشنگ چاشنی‌دار را باید با احتیاط داخل چال قرار داد و با ملایمت به کمک سنبه چوبی داخل چال جابجا کرد. در حین عمل باید مطمئن شویم که چاشنی از دینامیت خارج نشده است(شکل ۱۴ــ۷).

۶ــ به کاربردن فتیله اطمینان در معدن‌های دارای گرد یا گاز زغال‌سنگ ممنوع است.

۷ــ فتیله‌ای که از چال بیرون است، نباید گره زده شود.

۸ــ فتیله آسیب دیده را نباید به کار برد.



شکل ۱۴ــ۷

**۵ــ۲ــ۷ــ وسایل آتش زدن فتیله اطمینان:** فتیله اطمینان با شعله آتش می‌گیرد. شعله مورد نیاز را می‌توان از سوختن کبریت، آتش فندک، شعله چراغ کاربیتی معدن‌ها یا هر شعله در دسترس دیگری تأمین کرد. علاوه بر اینها از وسایل زیر نیز می‌توان برای آتش زدن فتیله اطمینان بهره برد.

الف ــ آتش‌زنه برقی

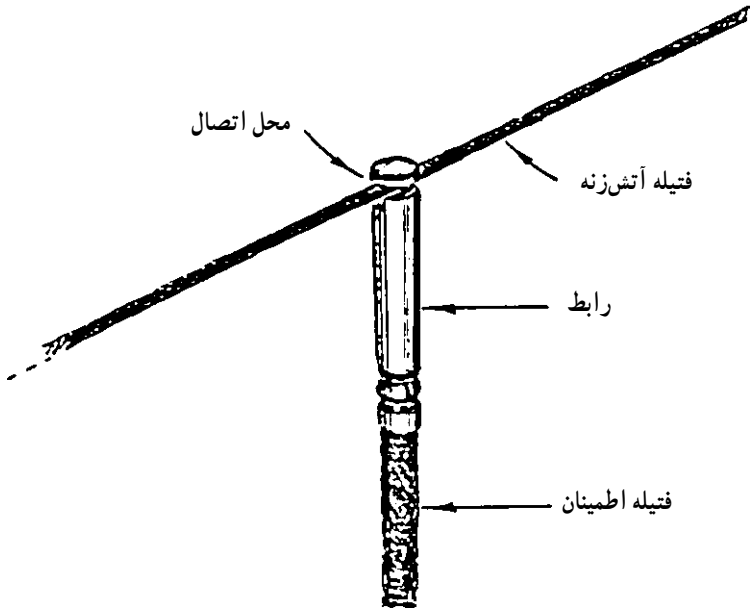
ب ــ فتیله آتش‌زنه

نظر به این که رفته رفته سایر روش‌های آتشکاری جای فتیله اطمینان را می‌گیرند و لوازم

مزبور نیز تاکنون در ایران مورد استفاده قرار نگرفته‌اند، شرح مختصری درباره آنها خواهیم داد. هم‌اکنون در ایران با این که گفتیم آتشکاری با فتیله اطمینان به میزان بسیار وسیعی انجام می‌گیرد اما استفاده از فتیله انفجاری و چاشنی برقی نیز روزبروز رونق بیشتری می‌یابد. این به معنی کم شدن کاربرد فتیله اطمینان است.

***الف ــ آتش‌زنه برقی:*** پوکه‌ای فلزی که بخشی از آن خالی است و در بخش دیگر آن مقاومت الکتریکی و مقداری خرج آتش‌زنه وجوددارد. فتیله اطمینان را در قسمت خالی پوکه قرار می‌دهند و مقاومت الکتریکی را به جریان برق وصل می‌کنند. گرم شدن این مقاومت، موجب آتش زدن خرج و آن هم موجب آتش زدن باروت فتیله اطمینان خواهد شد.

***ب ــ فتیله آتش‌زنه:*** نوعی فتیله نرم و نازک است که با شعله می‌سوزد و برای انتقال آتش به کار می‌رود. فتیله آتش‌زنه از تعدادی مواد سوزان تشکیل می‌شود که در پوششی از نخ و الیاف و لاک قرار داده شده است. فتیله آتش‌زنه را می‌توان با آتش زنه برقی یا شعله کبریت آتش زد. برای آتش زدن چندین چال که با فتیله اطمینان مجهز هستند، می‌توان از فتیله آتش‌زنه استفاده کرد. روش کار به این ترتیب است که فتیله آتش‌زنه را با رابط مخصوص به فتیله اطمینان وصل می‌کنند. این رابط شبیه چاشنی است و موجب انتقال آتش از فتیله آتش‌زنه به فتیله اطمینان می‌شود (شکل ۱۵ــ۷).




**شکل ۱۵ــ۷ــ آتش زدن فتیله اطمینان به کمک فتیله آتش‌زا**

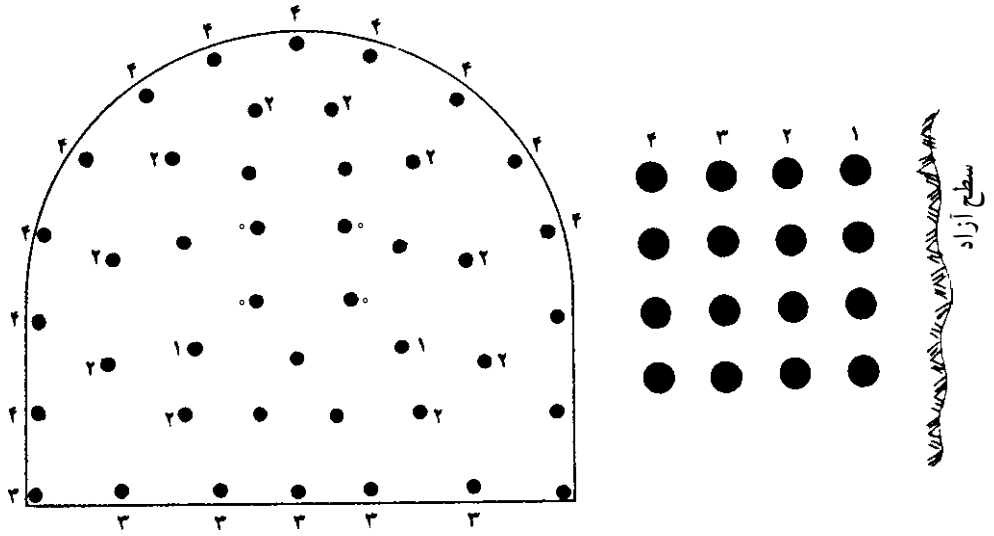
در بعضی از معدن‌های ایران برای آتش زدن چال‌ها به روش زیر عمل می‌کنند :

ــ یک رشته فتیله اطمینان به طول حدود ۴۰سانتی‌متر انتخاب می‌کنند ؛

ــ به تعداد چال‌های موجود که باید آتش شوند، فتیله را در چند جا زخمی می‌کنند ؛ به این ترتیب فتیله بریده می‌شود اما قطعه‌های آن هنوز به هم متصل هستند ؛

ــ پس از آتش زدن سرفتیله، شعله حاصل از باروت به جلو پخش می‌شود و براحتی می‌تواند فتیله اطمینان موجود در چال را آتش بزند. در این موقع آتش به انتهای نخستین بریدگی می‌رسد و بریدگی دوم را آتش می‌زند که با آتش آن دومین چال را آتش می‌کنند. این کار به همین ترتیب تا پایان ادامه می‌یابد.

**۶ــ۲ــ۷ــ آتش کاری فوری و تأخیری با فتیله اطمینان:** فرض کنیم مطابق شکل ۱۶ــ۷ دسته‌ای چال در معدنی روباز و دسته‌ای دیگر در معدنی زیرزمینی حفر شده باشد. بسیار بندرت پیش می‌آید که لازم باشد تمام چال‌ها همزمان با هم آتش شوند بلکه معمولاً در معدن‌های روباز چال‌های حفرشده باید ردیف به ردیف و به نوبت آتش شوند ؛ یعنی چال‌های ردیف ۱ ابتدا به طور همزمان آتش می‌شوند ؛ سپس چال‌های ردیف۲ و به همین ترتیب کلیه چال‌های حفرشده آتش می‌گردند. همچنین در یک معدن زیرزمینی که تونل مثال بسیار روشنی از آن است، چال‌های حفر شده در سینه کار تونل باید به نوبت و از مرکز به طرف محیط تونل آتش شوند ؛ یعنی ابتدا چال‌های نمره صفر، سپس چال‌های نمره۱ و به همین ترتیب بقیه چال‌ها آتش شوند. به طور کلی نتیجه می‌گیریم که در عملیات حفاری و انفجار همیشه تعدادی چال همزمان با هم و تعدادی با فاصله زمانی معینی از یکدیگر باید آتش شوند.




**شکل ۱۶ــ۷ــچال‌های معادن روباز و حفر تونل. شماره نوشته شده روی هر چال نماینده نوبت انفجار آن می‌باشد.**

اگر در آن تعداد از چال که باید همزمان آتش شوند، طول فتیله اطمینان هم اندازه باشد و چال‌ها نیز با آتش‌زنه برقی یا فتیله آتش زنه همزمان با هم آتش شوند، باز نباید انتظار داشت که انفجار چال‌ها در یک زمان معینی صورت گیرد ؛ زیرا هر متر فتیله اطمینان ۲۰ثانیه نوسان زمان سوختن دارد و امکان پس و پیش شدن نوبت انفجار چال‌ها زیاد خواهد بود. در معدن‌های ایران رسم بر این است که برای اجرای آتشکاری تأخیری آن قسمت از فتیله را که از چال بیرون است، کوتاه و بلند در نظر می‌گیرند و انتظار می‌رود که چال با فتیله کوتاهتر زودتر از چال با فتیله بلند منفجر شود. شاید این امر انتظار بیهوده‌ای نباشد اما چندان هم قابل اعتماد نیست ؛ زیرا چنانکه گفتیم هر متر فتیله اطمینان ۲۰ثانیه خطای زمان سوختن دارد و اگر هر متر فتیله اطمینان در ۲دقیقه بسوزد، باید انتظار داشت که یک متر فتیله اطمینان از ۱۰۰ثانیه تا ۱۴۰ثانیه بسوزد ؛ به عبارت دیگر، اگر دو رشته فتیله اطمینان به طول ۱۰۰ و ۱۴۰سانتی‌متر به طور همزمان آتش شوند، امکان این که همزمان منفجر گردند، وجود دارد. پس اگر بخواهیم یک چال یا یک دسته چال بعد از چال یا دسته چال دیگر منفجر شود، باید اختلاف طول فتیله آنها بیش از ۴۰سانتی‌متر باشد تا از انفجار نوبتی آنها اطمینان حاصل کنیم. از سوی دیگر، وقتی که فتیله اولین چال آتش می‌شود، هشداری است به آتشکار که باید در زمان معینی خود را به پناهگاه برساند. کوتاه کردن فتیله اطمینان در چال‌های نوبت اول، به معنی فرصت کم برای آتشکار است. به همین جهت طبق دستورالعمل‌های ایمنی تهیه شده، تعداد چال‌هایی که در هر نوبت با فتیله اطمینان آتش می‌شوند، محدود به ۸عدد است. البته در عمل، تعداد چال‌های یک سینه کار از قبیل تونل یا کارگاه استخراج بیش از ۸عدد است و آتشکاران بدون توجه به مقررات ایمنی اقدام به آتش کردن آنها می‌نمایند.

با توجه به آنچه که گفتیم نباید انتظار آتشکاری فوری یا تأخیری صحیح و اصولی را با فتیله اطمینان داشت.

## ۳ــ ۷ــ آتشکاری با فتیله انفجاری

فتیله انفجاری برای نخستین بار در ایران با نام کرتکس[1] معرفی شده و هنوز هم به همین نام مشهور است. در حالی که کرتکس نام تجارتی نوعی فتیله انفجاری ساخت انگلیس می‌باشد.

فتیله انفجاری که ظاهری شبیه سیم آنتن تلویزیون رنگی دارد، فتیله‌ای است محکم، نرم، ضدآب و مقاوم در مقابل کشش و خراشی که از ماده منفجره PENT درست شده است. این ماده منفجره به وسیلهٔ لایه‌ای از نخ چتایی و پنبه پوشیده شده و به‌طور کلی پوششی از پلاستیک دور آن را

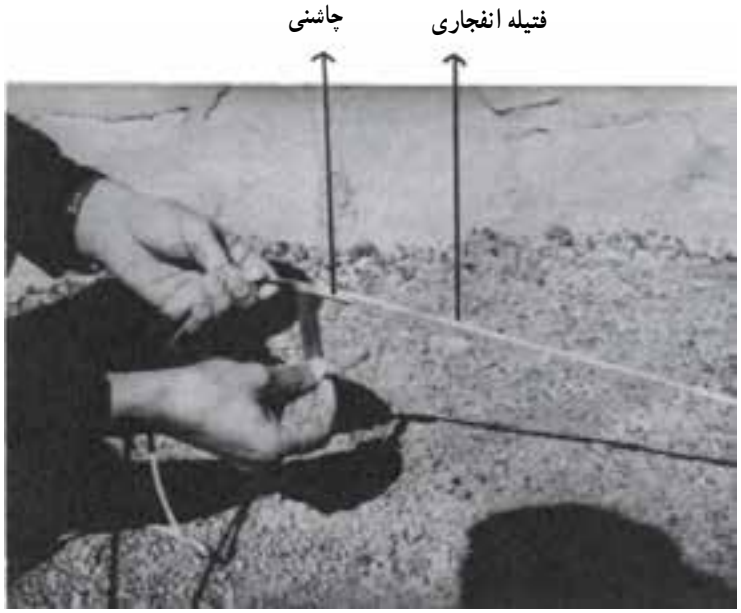
---

۱ــ Cordtex

گرفته است. قطر انواع فتیله انفجاری ۵ تا ۱۰ میلی‌متر و در هر متر آن ۰/۸۵ تا ۸۵ گرم ماده منفجره وجود دارد. فتیله انفجاری به الکتریسیته حساس نیست اما به ضربه حساس است و در اثر ضربه با سرعت ۶۰۰۰ تا ۸۰۰۰ متربرثانیه منفجر می‌شود. فتیله انفجاری در حقیقت نوعی چاشنی است که موجب انفجار خرج درون چال می‌گردد اما خود برای منفجر شدن به چاشنی نیاز دارد. فتیله انفجاری به مقدار بسیار زیاد در بیشتر معدن‌های روباز ایران مصرف می‌شود.

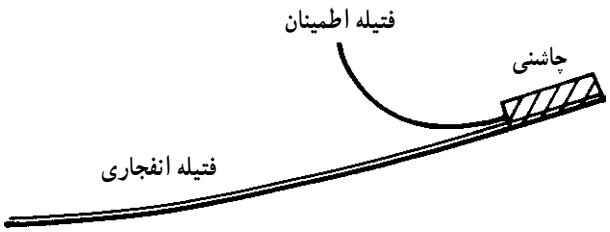
**۱ــ۳ــ۷ــ چگونگی انفجار فتیله انفجاری:** فتیله انفجاری به کمک یک چاشنی معمولی یا چاشنی برقی منفجر می‌شود و در این هنگام می‌تواند خرج داخل چال را منفجر کند. چاشنی معمولی یا برقی را به کمک نوارچسب ، سیم یا ریسمان به فتیله انفجاری می‌بندند (شکل ۱۷ ــ ۷). مطلبی که در انفجار حائز اهمیت است، در نظر گرفتن جهت حرکت آتش یا موج انفجار است. به این معنی که هرگاه یک چاشنی را به وسط فتیله‌ای به طول ۲ متر ببندیم، بعداز انفجار چاشنی، تنها یک متر از فتیله انفجاری منفجر خواهدشد و این یک متر، آن قسمت از فتیله است که انتهای چاشنی به آن سمت می‌باشد ؛ یعنی قسمتی از فتیله که در جهت موج انفجار است، منفجر خواهد شد (شکل ۱۷ــ ۷).

اگر چاشنی را مطابق شکل۱۸ــ ۷ به یک رشته فتیله انفجاری ببندیم ، پس از انفجار چاشنی تنها آن قسمت از فتیله انفجاری که به چاشنی چسبیده است، منفجر خواهد شد.

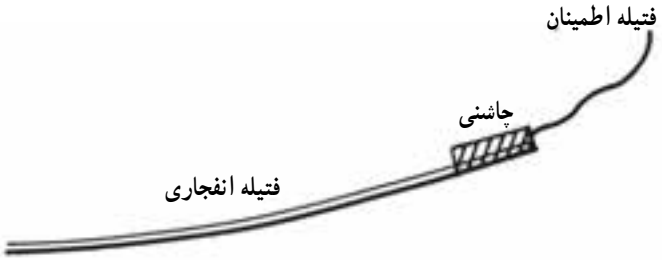



**شکل ۱۷ــ۷ــ اتصال چاشنی معمولی به فتیله انفجاری با نوارچسب در اثر انفجار چاشنی،نصف فتیله منفجر خواهد شد.**

اگر چاشنی در جهتی مخالف (شکل ۱۸ــ ۷) به فتیله بسته شود، پس از انفجار چاشنی تمام طول فتیله منفجر خواهدشد (شکل ۱۹ــ ۷).



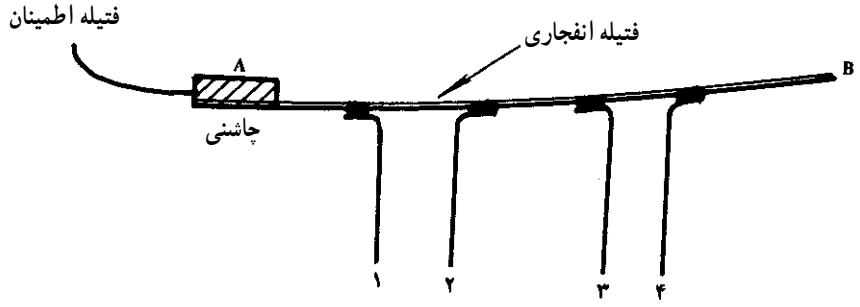

**شکل ۱۸ــ۷ــدر این شکل فقط آن قسمت از فتیله انفجاری که به چاشنی چسبیده است منفجر می شود و بقیه فتیله سالم باقی می ماند.**



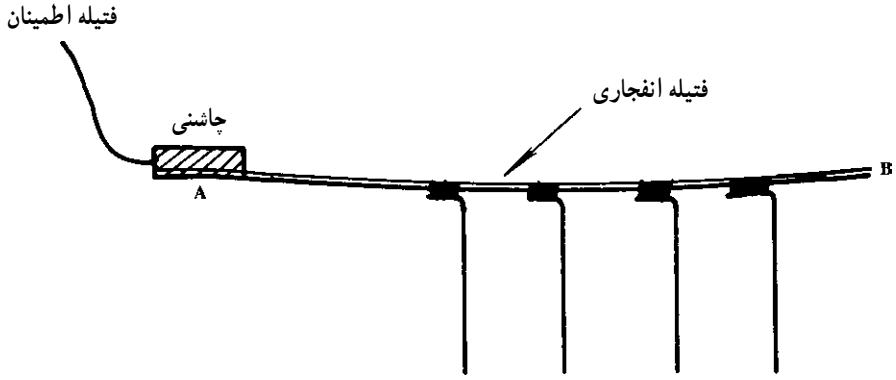

**شکل ۱۹ــ۷ــدر این حالت تمام طول فتیله انفجاری منفجر خواهد شد.زیرا جهت موج انفجار از انتهای چاشنی به طرف فتیله انفجاری می باشد.**

اگر بخواهیم به فتیله چاشنی‌دار فتیله دیگری ببندیم، باید آنها را کنار هم بگذاریم و روی آنها را با نوارچسب یا سیم ببندیم. اکنون چنانچه چاشنی را به فتیله اولی بسته آن را منفجر کنیم، موج انفجار در طول فتیله حرکت خواهدکرد و تنها فتیله هایی را منفجر خواهدکرد که با فتیله چاشنی‌دار زاویه‌ای بیش از ۹۰درجه بسازند. در شکل ۲۰ ــ ۷ اگر چاشنی را در رأس A از فتیله AB ببندیم، فتیله‌های ۱ و ۳ و تمام فتیله AB منفجر می‌شوند. اما فتیله‌های ۲ و ۴ از فتیله AB جدا می‌شوند وتنها آن قسمت که با فتیله AB در تماس است، منفجر می‌گردد. چنانچه در این شکل چاشنی را در رأسB قراردهیم، فتیله‌های ۱ و ۳ باقی می‌مانند و فتیله‌های ۲ و ۴ منفجر می‌شوند. چنانچه در شکل یادشده در دو رأس A وB چاشنی ببندیم، باز نمی‌توان انتظار داشت که هر چهار فتیله ۱، ۲،۳و ۴ منفجر شوند ؛ زیرا ممکن است موج انفجار چاشنی A قبل از چاشنی B به فتیله ۲برسد و آن را از فتیله AB جدا کند. درصورتی که فاصله رأس A تا فتیله ۲ برابر رأس B تا این فتیله باشد، امکان انفجار آن تقریباً حتمی است اما چون این امکان همیشه وجودندارد و به علاوه در عملیات آتشکاری پیوسته با

اندازه‌گیری‌های دقیق و خسته‌کننده سروکار خواهیم داشت، بهتر است از این مقوله چشم پوشی کنیم و فتیله‌ها را در جهتی ببندیم که همگی با یک چاشنی آتش شوند (شکل ۲۱ــ ۷).



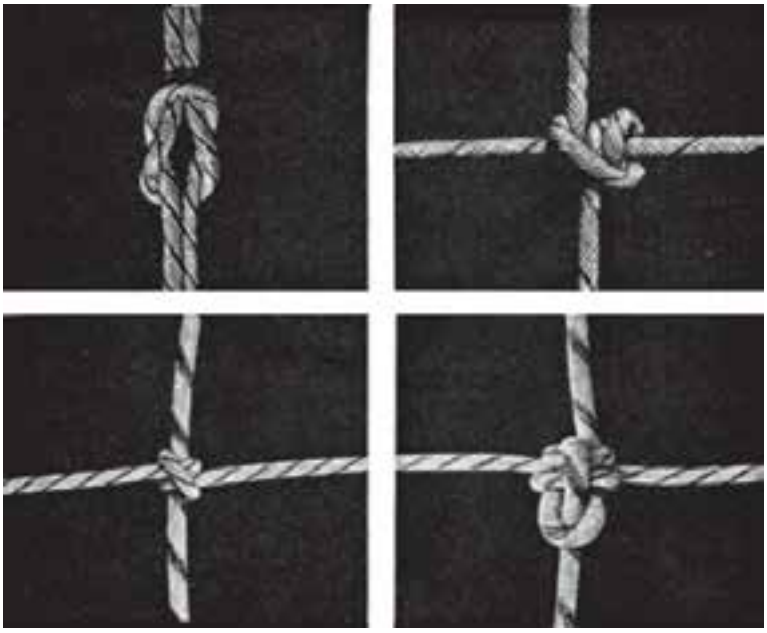

**شکل ۲۰ــ۷ــاتصال چند رشته فتیله انفجاری به یک رشته فتیله AB که خط آتش نامیده می شود.**



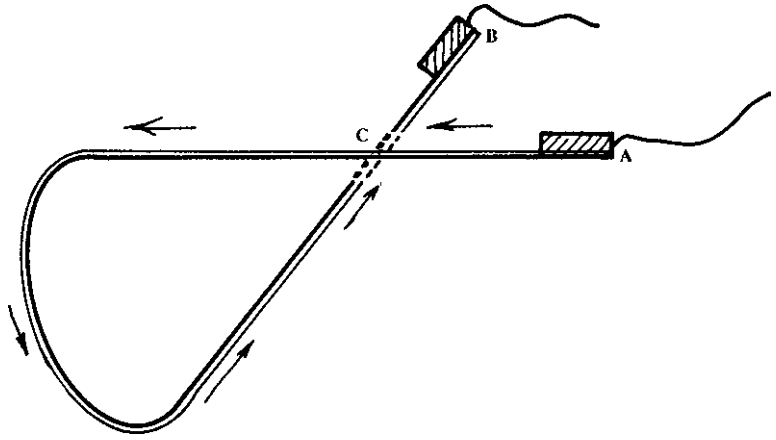

**شکل ۲۱ــ۷ــرعایت جهت اتصال چند رشته فتیله انفجاری به خط آتش در این صورت همه فتیله‌ها منفجر خواهند شد.**

از نظر این که رعایت جهت ممکن است دشوار باشد، گره‌های مخصوصی برای بستن فتیله‌ها به یکدیگر وجود دارد که با وجود آنها نیازی به حفظ جهت نیست و چاشنی در هر طرف که باشد، همهٔ فتیله‌ها را آتش خواهدکرد. در آتشکاری به فتیله اصلی(مثل فتیلهٔ AB) «خط آتش» می‌گویند. انواعی از این گره‌ها را در شکل۲۲ــ ۷ مشاهده می‌کنید.

چنانچه مطابق شکل۲۳ــ ۷ فتیله انفجاری حلقه شده و روی هم بیافتد، انفجار از هر سمت فتیله که رخ دهد، در نقطه‌ای که فتیله روی هم افتاده است، قطع می‌شود ؛ زیرا موج انفجار در آن نقطه فتیله را خواهد بُرید.

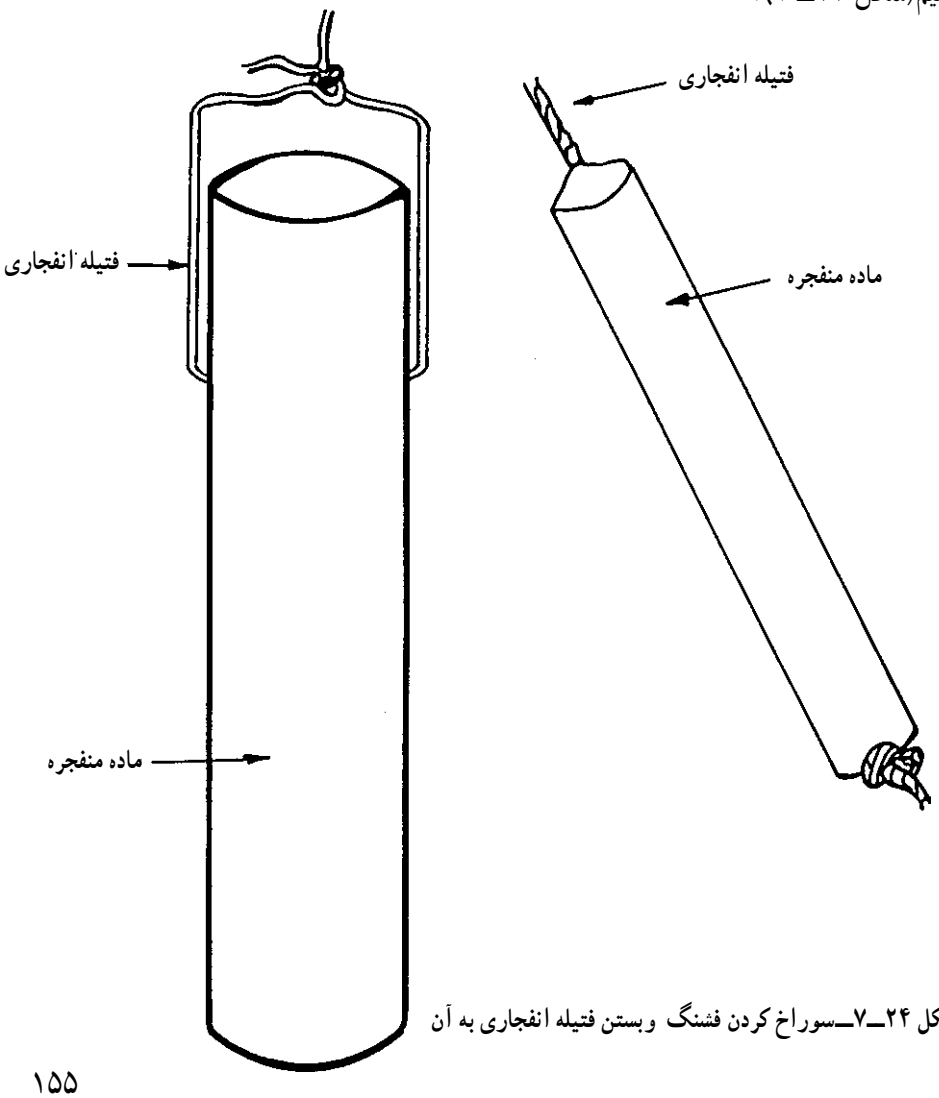


شکل ۲۲ــ۷ــانواع گره‌های فتیله انفجاری




شکل ۲۳ــ۷ــقطع انفجار در فتیله انفجاری بر اثر حلقه شدن.اگر چاشنی در نقطه A کار گذاشته و منفجر شود موج انفجار مطابق فلش در فتیله انفجاری حرکت کرده و در نقطه C فتیله زیری را خواهد برید اما انفجار همچنان در رشته بالایی ادامه می یابد تا به نقطه C برسد .در این حالت انفجار متوقف می شود و اگر انفجار از نقطه B شروع شود در نقطه C فتیله بالایی را می بُرد.به هر صورت در هر دو حالت فوق قسمت‌های BC یا AC سالم باقی می‌ماند.

**۲ ــ۳ــ ۷ ــ مراحل آتشکاری با فتیله انفجاری:** فتیلهٔ انفجاری به منزلهٔ چاشنی عمل می‌کند ؛ بنابراین، لازم نیست در چال، چاشنی هم قرارداده شود اما خود فتیله انفجاری برای آتش شدن به چاشنی نیاز دارد و با یک چاشنی معمولی یا چاشنی برقی می‌توان هزاران چال را که با فتیله انفجاری خرج‌گذاری شده است، منفجر کرد. برای آتشکاری با فتیله انفجاری لازم است فتیله با خرج موجود در چال تماس کامل داشته باشد یا دست کم به یکی از فشنگ‌های خرج متصل شده باشد. همان طور که در مورد فتیله اطمینان گفتیم، در این جا هم فتیله انفجاری که به جای چاشنی عمل می‌کند باید درون فشنگ مادهٔ منفجره قرارگیرد. برای این منظور، فشنگ ماده منفجره را با درفش مخصوص سوراخ می‌کنیم ؛ فتیله انفجاری را از این سوراخ عبور می‌دهیم و آن را گره می‌زنیم(شکل ۲۴ــ ۷).



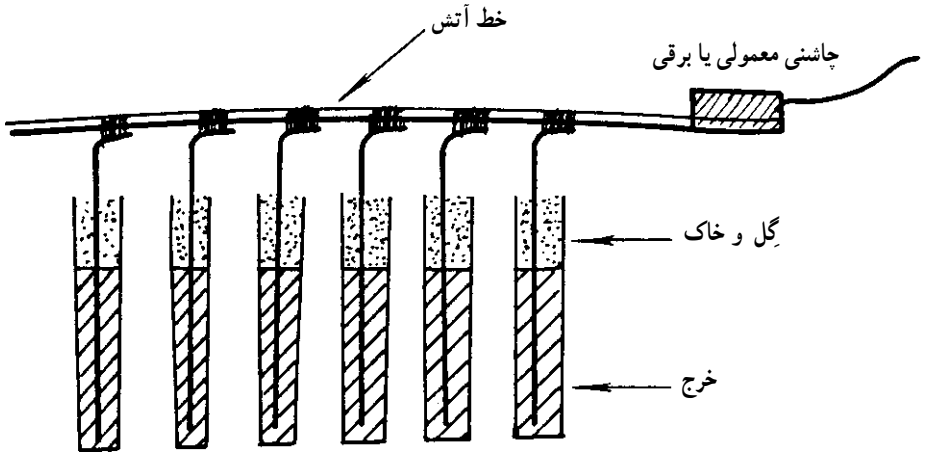

شکل ۲۴ــ۷ــسوراخ کردن فشنگ وبستن فتیله انفجاری به آن

این فشنگ را به ته چال می‌فرستیم و بقیه عملیات خرج‌گذاری را به روش‌هایی که خواهیم گفت، انجام می‌دهیم. در طول عملیات خرج‌گذاری، فتیله انفجاری در کنار چال میان دیواره و خرج قرار می‌گیرد و بقیه مواد منفجره موجود در چال با آن در تماس خواهند بود.

ــ طول فتیله انفجاری باید به اندازه‌ای باشد که دست کم از دهانه چال نیم متر بیرون باشد. پس از این که تمام چال‌ها به همین ترتیب خرج‌گذاری و دهانه آنها بسته شد، می‌بینیم که از هر چال یک رشته فتیله انفجاری بیرون آمده و روی زمین قرارگرفته‌است. یک رشته فتیله انفجاری را که از نخستین چال تا آخرین چال بتوان آن را روی زمین قرارداد، انتخاب می‌کنیم و به آن «خط آتش» می‌گوییم.

ــ همهٔ فتیله‌های چال‌ها را یک به یک مطابق شکل ۲۵ــ ۷ به خط آتش وصل می‌کنیم.

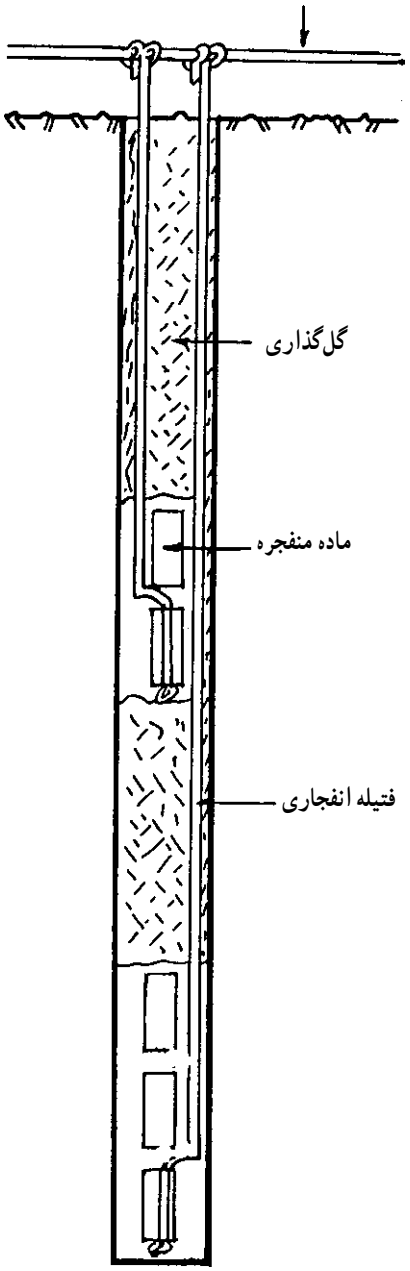
ــ چاشنی برقی یا معمولی را در طرفی از خط آتش می‌بندیم که موج انفجار خط آتش موجب انفجار چال‌ها بشود (شکل ۲۵ــ ۷).




**شکل ۲۵ــ۷ــاتصال چند فتیله انفجاری به خط آتش**

ــ حال اگر چاشنی برقی یا معمولی را منفجر کنیم، همه چال‌ها منفجر خواهندشد. سرعت انفجار فتیله انفجاری ۶۰۰۰ تا ۸۰۰۰متر بر ثانیه است و با رسیدن آتش به آن دیگر فرصتی برای فرار باقی نمی‌ماند؛ لذا قبل از انفجار چاشنی برقی یا معمولی، شخص آتشکار باید خود را به پناهگاه رسانده باشد. برای این منظور و حفظ ایمنی آتشکاران، طول فتیله اطمینان باید به اندازه‌ای باشد که به محض آتش زدن آن تا رسیدن شعله به چاشنی وقت کافی برای رسیدن به پناهگاه وجودداشته‌باشد. انتخاب طول مناسب برای فتیله اطمینان با توجه به محل انفجار و فاصله پناهگاه از

آن به عهدهٔ آتشکار است. اگر از چاشنی برقی برای انفجار فتیله انفجاری استفاده می‌شود، از آن جا که چاشنی برقی به محض اتصال برق یا اندکی بعد از آن منفجر می شود، باید اتصال برق به چاشنی برقی از پناهگاه به وسیلهٔ آتشکار انجام گیرد .در بعضی موارد مثلاً برای جلوگیری از لرزش زمین خرج را در طول چال به صورت منقطع یا بریده بریده قرار می دهند ؛ به این صورت که مقداری از طول چال را خرج‌گذاری می‌کنند و سپس مواد باطله‌ای مثل خاک و گِل روی آن می‌ریزند ؛ آن گاه دوباره خرج‌گذاری می‌کنند و مواد باطله روی آنها می‌ریزند. این عمل در طول یک چال ممکن است چندبار تکرار شود. چنانچه برای انفجار در این گونه چال‌ها قراراست فتیله انفجاری به کار رود، با این که اولین رشته فتیله با همه خرج‌ها در تماس خواهدبود، برای حصول اطمینان، در هر مرحله از خرج‌گذاری یک رشته فتیله انفجاری به کار می‌برند. به این ترتیب ممکن است از دهانه چال به جای یک رشته به تعداد ۲ یا ۳ رشته فتیله انفجاری خارج شده باشد و طبیعی است که همگی را باید مطابق دستورالعمل داده شده به خط آتش بست (شکل ۲۶ــ ۷).



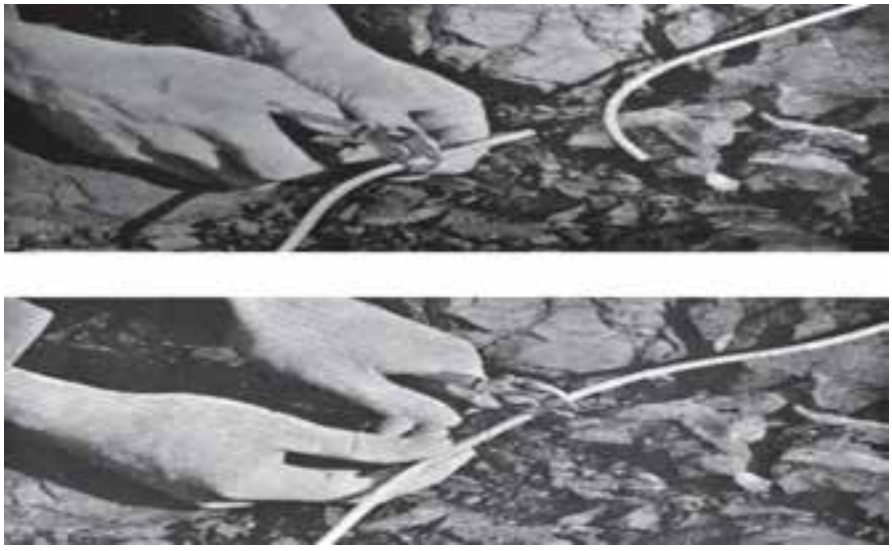

شکل ۲۶ــ۷ــخرج‌گذاری منقطع با فتیله انفجاری

**۴ــ۳ــ۷ــ آتشکاری تأخیری با فتیله انفجاری:** چنانچه قبلاً نیز گفتیم اصولاً در یک عملیات انفجار، تعدادی از چال‌ها همزمان منفجر می‌شوند و عده‌ای با فاصله زمانی معینی از یکدیگر منفجر خواهندشد. انفجارهای اخیر را «آتشکاری تأخیری» می‌نامیم. در بخش مربوط به فتیله اطمینان دیدیم که انجام انفجار همزمان یا تأخیری با فتیله اطمینان امکان‌پذیر نیست اما هر دو حالت یاد شده با فتیله انفجاری بخوبی انجام می شوند. برای این کار، از تأخیر دهنده‌های مخصوص فتیله انفجاری (چاشنی تأخیری‌یا رله تأخیری[۱]) استفاده می‌شود. تأخیردهنده فتیله انفجاری پوکه‌ای شکل است که دو طرف آن خالی است و در وسط آن خرج تأخیری مخصوص قراردارد. هنگامی که موج انفجار از یک طرف وارد آن شود، از طرف دیگر با اندکی تأخیر خارج می‌شود. هر جا که انفجار تأخیری لازم باشد، مطابق شکل ۲۷ ــ ۷ به شرح زیر عمل می‌شود :

۱ــ فتیله را با چاقوی تیز، قیچی یا انبردست مخصوص در محل مورد نظر قطع می‌کنند.

۲ ــ یک سرفتیله قطع شده را وارد تأخیر دهنده می‌کنند و با انبردست مخصوص آن را فشار می‌دهند تا فتیله بخوبی در تأخیردهنده محکم شود.

۳ــ سر دیگر فتیله را به شرح بالا در تأخیردهنده محکم می‌کنند.



**الف ــ قطع فتیله**

۱ــ Detonating Relay

ب ــ جا دادن یک سر فتیله انفجاری در چاشنی

ج ــ جا دادن سر دیگر فتیله انفجاری در چاشنی

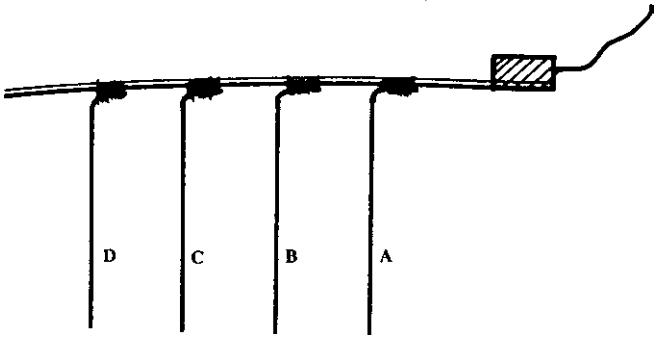
**شکل ۲۷ــ۷ــ مراحل کار گذاشتن تأخیر دهنده فتیله انفجاری**

تأخیردهنده‌های فتیله انفجاری ضدآب هستند اما برای کارهای زیرآب از آنها استفاده نمی‌شود و زمان تأخیر آنها متنوع است ؛ به عنوان مثال زمان تأخیر رله‌های ساخت انگلیس به شرح صفحه بعد است.

| شماره چاشنی | زمان تأخیر به میلی‌ثانیه |
|---|---|
| ۱ | ۲۵ |
| ۲ | ۵۰ |
| ۳ | ۷۵ |
| ۴ | ۱۰۰ |
| ۵ | ۱۲۸ |
| ۶ | ۱۵۷ |
| ۷ | ۱۹۰ |
| ۸ | ۲۳۰ |
| ۹ | ۲۸۰ |
| ۱۰ | ۳۴۰ |

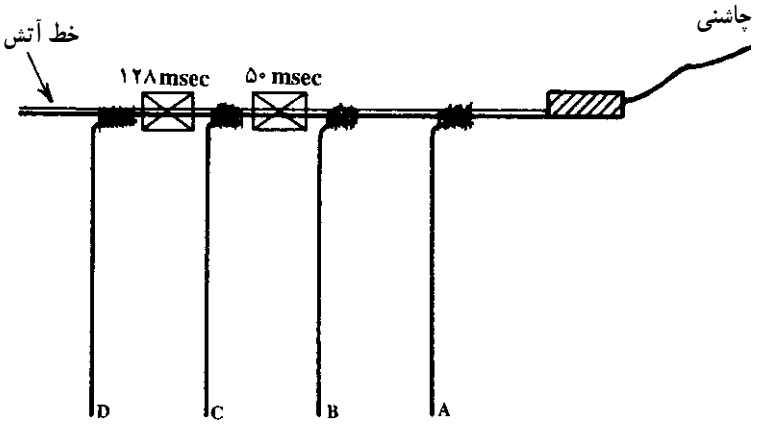
برای سهولت تشخیص، رله‌های مختلف را با رنگ‌های متفاوت مشخص می‌کنند که هر رنگ زمان تأخیر خاصی را نشان می‌دهد.

علاوه بر چاشنی‌های تأخیری، خود فتیله انفجاری نیز می‌تواند به عنوان تأخیردهنده مورد استفاده قرار گیرد ؛ مثلاً اگر سرعت انفجار فتیله برابر ۷۰۰۰ متردرثانیه باشد، هر یک متر آن در $\frac{۱}{۷۰۰۰}$ ثانیه منفجر می‌شود ؛ مثلاً در فتیله‌ای به طول ۷متر ، زمان لازم برای رسیدن انفجار از یک سر به سردیگر آن $\frac{۱}{۱۰۰۰}$ ثانیه است و برای داشتن زمان تأخیر ۲۵ میلی‌ثانیه لازم است ۱۷۵متر فتیله مصرف کرد. این کار از نظر اقتصادی درست نیست ؛ زیرا که قیمت تأخیردهنده (چاشنی تأخیری) ۲۵میلی‌ثانیه به مراتب کمتر از قیمت ۱۷۵متر فتیله انفجاری است. حال اگر مطابق شکل چهارچال خرج‌گذاری شده و برای آتشکاری از فتیله انفجاری استفاده شده باشد، چنانچه هر چهارچال مطابق شکل ۲۸ــ۷ به خط آتش بسته شوند، همگی همراه هم منفجر می‌شوند.



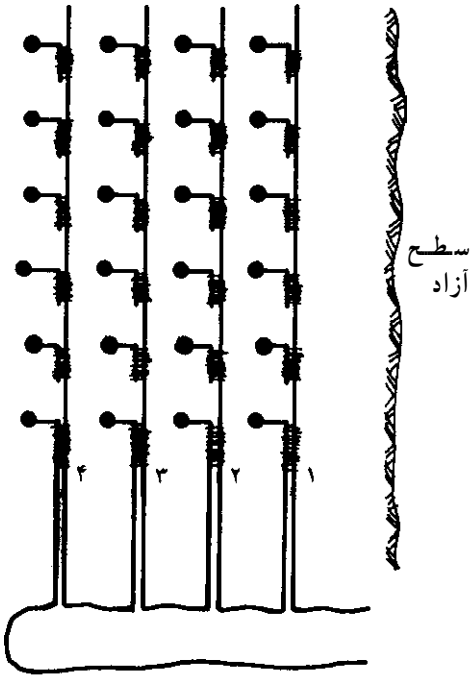

شکل ۲۸ــ۷ــهر چهار چال با هم منفجر خواهند شد.

اگر میان چال C و B چاشنی شماره ۲ و میان چال C و D چاشنی شماره ۵ کار گذاشته شود، وقتی که آتش آغاز می‌شود، چال A و B همراه هم منفجر می‌شوند. چال C مدت ۵۰ میلی‌ثانیه بعد از چال A و B و چال D مدت ۱۲۸ میلی‌ثانیه بعداز چال A و B یـا ۷۸ میلی‌ثانیه بعداز چال C منفجر می‌شود (شکل ۲۹ــ ۷).



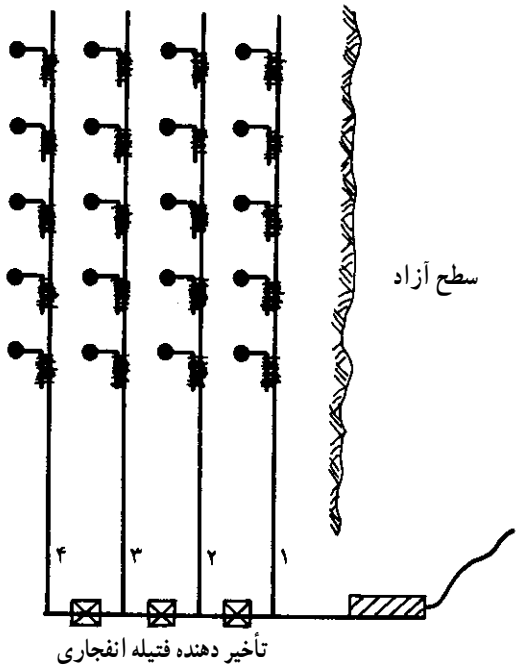

**شکل ۲۹ــ۷ــانفجار تأخیری با فتیله انفجاری**

ــ مجموع فتیله انفجاری و چاشنی برقی موارد استعمال متعددی دارد و اگر تأخیردهنده فتیله انفجاری در دست نباشد، می‌توان آتشکاری‌های تأخیری را به کمک چاشنی برقی تأخیری انجام داد (شکل ۳۰ــ ۷).




**شکل ۳۰ــ۷ــانفجار تأخیری در معادن روباز به کمک فتیله انفجاری و چاشنی برقی**

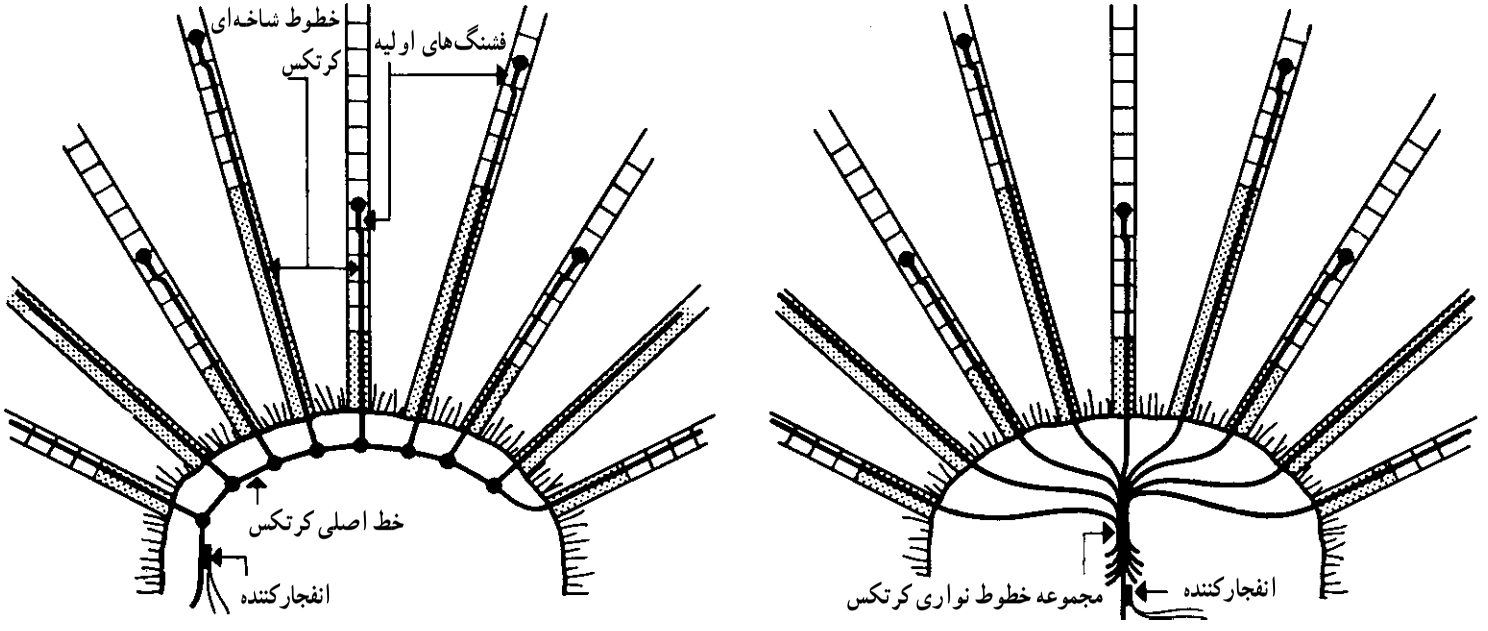
ـ اگر بخواهیم چند ردیف چال را به نوبت آتش کنیم، برای هر ردیف یک خط آتش در نظر می‌گیریم و میان خطوط آتش تأخیردهنده فتیله انفجاری قرار می‌دهیم. در این صورت ردیف‌های چال به نوبت آتش می‌شوند (شکل ۳۱ـ ۷).



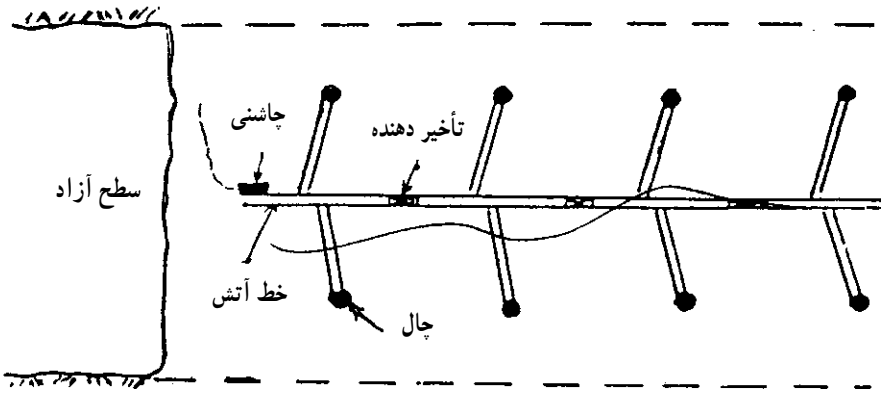

**شکل ۳۱ـ۷ـانفجار تأخیری با فتیله انفجاری و تأخیر دهنده فتیله انفجاری ردیف‌های ۱ و ۲ و ۳ و ۴ به نوبت آتش خواهند گرفت.**

به طور کلی، در بسیاری از عملیات حفاری و انفجار می‌توان از فتیله انفجاری استفاده کرد. به نمونه‌هایی از آن در شکل‌های ۳۰ ــ ۷ تا ۳۴ــ ۷ توجه کنید.

شکل ۳۲ــ۷ــ خرج‌گذاری دینامیت سنگین وزن با فتیله انفجاری




شکل ۳۳ــ۷ــاستفاده از فتیله انفجاری در استخراج معادن زیرزمینی با روش Caving مانند Sub -level




شکل ۳۴ــ۷ــاستفاده از فتیله انفجاری و تأخیر دهنده در حفر ترانشه

**۵ــ ۳ــ ۷ــ به کار بردن فتیله انفجاری در زیر آب :** برای آتشکاری در زیرآب می‌توان از فتیله انفجاری استفاده کرد. نظر به این که در زیر آب امکان نفوذ آب از قسمت بریده شده به درون فتیله وجود دارد، بهتر است انتهای آن را با پوکه مخصوص و به کمک لاک و گریس ببندند. اگر از فتیله انفجاری در محیط مرطوب استفاده شود و زمان خرج‌گذاری چند روز باشد، بهتر است ۱تا۱/۵ متر بیشتر از طول مورد نیاز به انتهای فتیله اضافه کرد تا در مدتی که آب در آن نفوذ می‌کند، به جایی که محل تماس خرج و فتیله است، نرسد. همان طور که گفتیم چاشنی‌های تأخیری را (تأخیردهنده فتیله انفجاری) نباید در زیر آب به کار برد.

**۶ــ۳ــ۷ــ احتیاط‌های لازم در کاربرد فتیله انفجاری:**

۱ــ جهت حرکت موج انفجار در نظر گرفته شود.

۲ــ فتیله نباید به صورت گره روی هم بیافتد. در غیر این صورت انفجار در همان محل قطع می‌شود.

۳ــ فتیله را قبلاً باید به طول مورد نیاز برید. بریدن فتیله از حلقه اصلی در حالی که قسمتی از آن درون چال قراردارد، ممنوع است.

۴ــ فاصله دو رشته فتیله موازی دست کم ۲۰سانتی‌متر است.

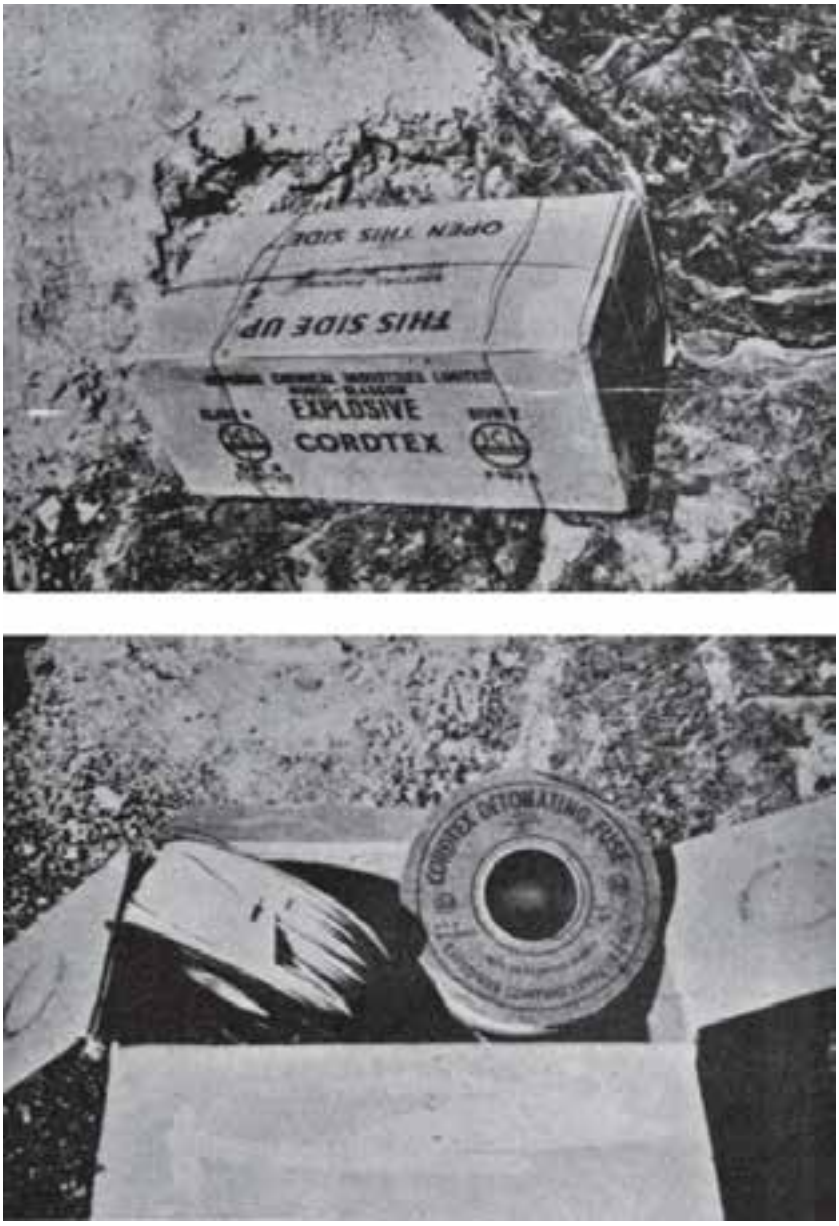
۵ــ اگر بناچار دو رشته فتیله باید از روی هم عبور کنند، لازم است میان آنها جسمی مثل تخته به ضخامت دست کم ۱۰سانتی‌متر قرارداد.

۶ــ فتیله انفجاری نباید با سایر مواد منفجره در یک محل انبار شود.

۷ــ در معدن‌های زغال سنگ که گاز و گرد زغال دارند، نباید فتیلهٔ انفجاری به کار برده شود.

**۷ــ ۳ــ ۷ــ بسته‌بندی فتیله انفجاری:** فتیله انفجاری معمولاً به طول ۵۰تا ۱۵۰متر به دور

قرقره‌ای پیچیده شده است و هر ۲، ۳، ۴یا۶ قرقره در یک جعبه قراردارد (شکل ۳۵ــ۷). هر صد عدد تأخیردهنده را در یک قوطی و هر ۴۰قوطی را در یک جعبه قرار می‌دهند.




**شکل ۳۵ــ۷ــبسته‌بندی فتیله انفجاری**

**۸ــ۳ــ۷ــ مزایا و معایب فتیله انفجاری:**

***الف: مزایا***

ــ کاربرد آن آسان است.

ــ هر جا که به سبب صاعقه و عوامل دیگر کاربرد چاشنی برقی ممنوع باشد، با اطمینان خاطر می‌توان از فتیله انفجاری استفاده کرد.

ــ با تأخیردهنده فتیله انفجاری به هر تعداد می‌توان چال را با تأخیر آتش کرد.

ــ مجموعه فتیله انفجاری و چاشنی برقی موارد استعمال متعددی دارند. اگر تأخیردهنده فتیله انفجاری در اختیار نباشد، می‌توان با چاشنی برقی تأخیری این کار را انجام داد.

ــ از آن جا که فتیله در تمام طول چال با خرج در تماس است، امکان این که قسمتی از خرج منفجر نشود، بسیار کم است.

ــ برای بریدن لوله‌های چدنی نیز می‌توان از فتیله انفجاری استفاده کرد. اگر روی لوله‌ای به قطر ۲۵سانتی‌متر و ضخامت ۱۴میلی‌متر ۵دور فتیله انفجاری بپیچیم و آن را منفجر کنیم، لوله مزبور بریده خواهدشد.

***ب: معایب***

ــ ایجاد سروصدای زیاد به هنگام انفجار و این امر در نزدیکی مناطق مسکونی بسیار ناگوار است.

ــ کم کردن کارآیی ماده منفجره.

## ۴ــ ۷ــ آتشکاری با چاشنی برقی

در این روش آتشکاری، چاشنی مصرف شده به کمک جریان برق منفجر می‌شود و انفجار آن، خرج موجود در چال را منفجر خواهدکرد.

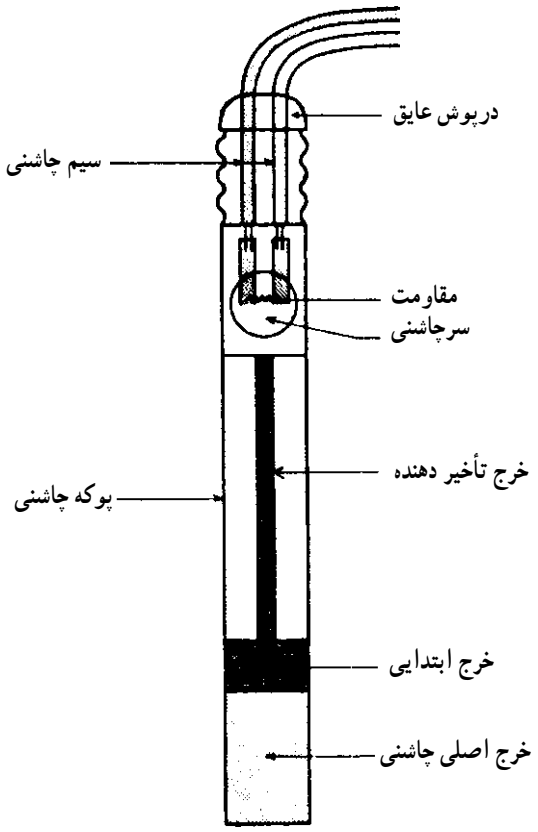
**۱ــ۴ــ۷ــ چاشنی برقی**[1]: چاشنی برقی از یک پوکه مسی یا آلومینیومی تشکیل شده که یک طرف آن بسته است و از طرف دیگر آن دو رشته سیم خارج می‌شود. در داخل پوکه از پایین به بالا اجزایی مانند خرج چاشنی، خرج تأخیردهنده، سرچاشنی و درپوش قرار دارند (شکل ۳۶ــ ۷).

در قسمت سرچاشنی یک مقاومت الکتریکی وجود دارد که دو رشته سیم به آن لحیم شده است و این دو رشته سیم از دهانه چاشنی خارج می‌شوند. وقتی که دو سیم چاشنی را به جریان برق وصل کنیم، مقاومت مزبور گرم می‌شود و سبب آتش زدن و انفجار خرج موجود در چاشنی خواهدشد که آن

---

۱ــ Electric detonator

هم به نوبهٔ خود خرج موجود در چال را منفجر خواهدکرد.




**شکل ۳۶ــ۷ــ ساختمان داخلی چاشنی برقی**

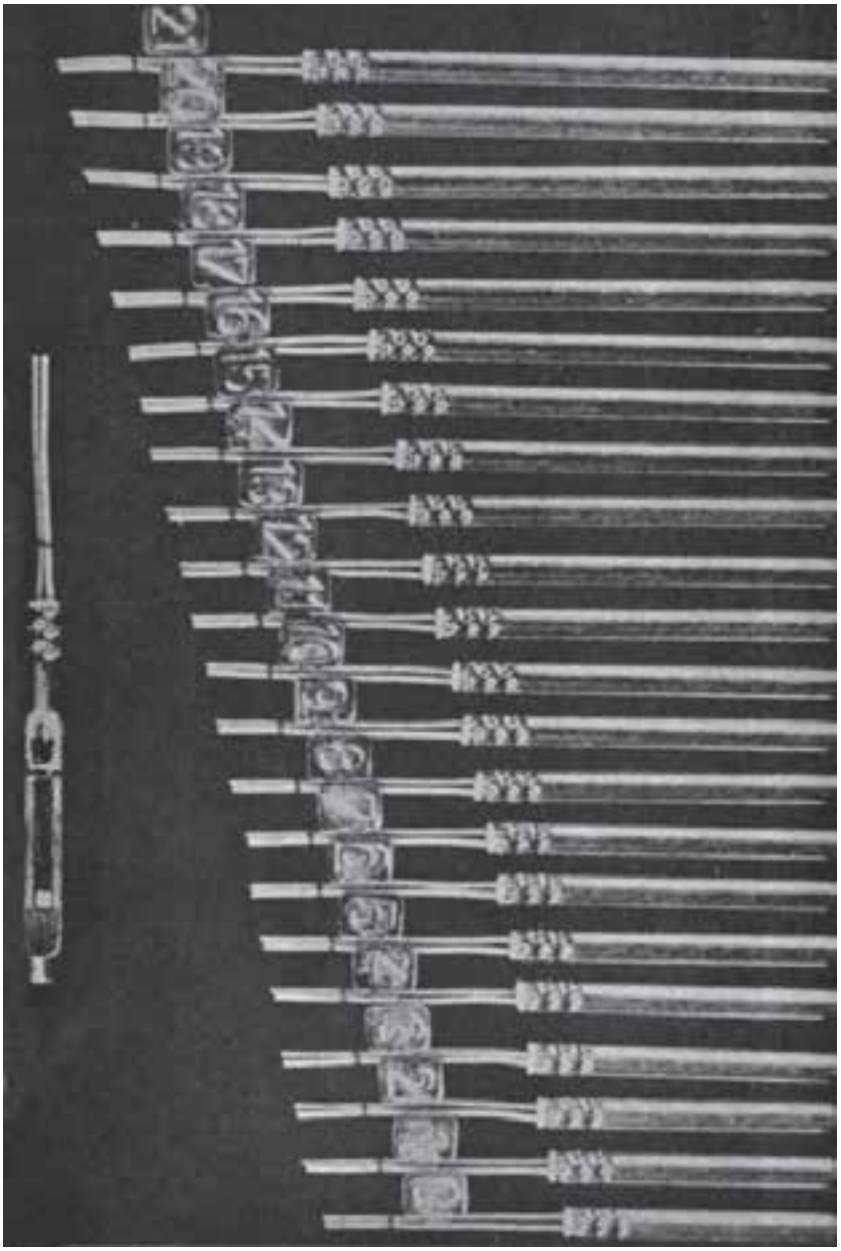
چاشنی‌های برقی را برحسب زمان انفجار به سه دسته تقسیم می‌کنند :

چاشنی فوری  چاشنی کم تأخیری  چاشنی تأخیری

چاشنی فوری آن است که به محض وصل جریان برق منفجر می‌شود. این چاشنی را«چاشنی نمرهٔ صفر» هم می‌گویند.

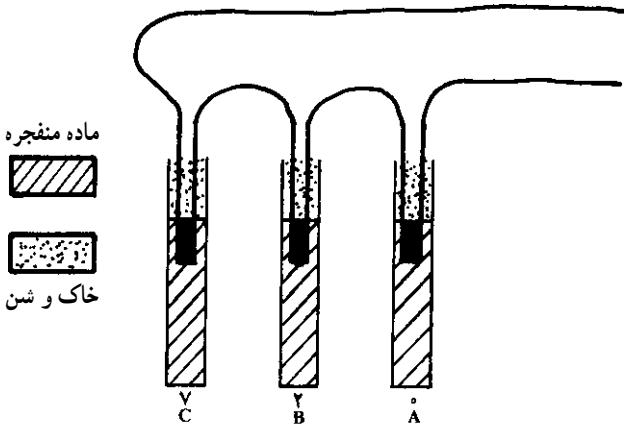
در چاشنی‌های کم تأخیری و تأخیری بعد از وصل شدن به جریان برق زمانی اندک طول می‌کشد تا چاشنی منفجر شود. این زمان را «زمان تأخیر چاشنی» می‌نامند. در ساختمان این چاشنی‌ها پس از این که مقاومت‌های سرچاشنی گرم شد، خرج تأخیردهنده باید بسوزد تا آتش به خرج اصلی چاشنی برسد و این امر نیازمند گذشت زمان است.

هرچه زمان تأخیر بیشتر باشد، طول چاشنی زیادتر می‌شود (شکل ۳۷ــ ۷). چاشنی‌های تأخیری و کم تأخیری با شماره‌ای مشخص می‌شوند که در ته پوکه آنها و برچسب متصل به سیم چاشنی نوشته شده است. هر شماره چاشنی زمان تأخیر خاصی دارد که از طرف کارخانه سازنده مشخص می‌شود ؛ مثلاً طبق جدول ۱ــ ۷ چاشنی کم تأخیری شماره ۲ نیترونوبل ۲۰ میلی‌ثانیه بعد از



شکل ۳۷ــ۷ــسری چاشنی‌های برقی تأخیری از شماره صفر تا ۲۱ ــ ساخت چکسلواکی

وصل جریان برق و چاشنی شماره ۷ آن ۷۹ میلی‌ثانیه بعد از وصل جریان برق منفجر خواهند شد. اگر فرض کنیم مطابق شکل ۳۸ ــ ۷ سه عدد چال را با چاشنی‌های نمره صفر، ۲و۷ کم تأخیری نیرو و نوبل خرج‌گذاری و منفجر کنیم، چال A به محض وصل جریان برق منفجر می‌شود ؛ چال B در زمان ۲۰میلی‌ثانیه بعد از چال A و چال C در زمانی برابر ۵۹ میلی‌ثانیه بعد از چال B منفجر خواهدشد.




**شکل ۳۸ــ۷ــسه نوع چاشنی برقی کم تأخیری در یک مدار انفجار**

اگر سه چال A و B و C با چاشنی‌های تأخیری نمره ۲، ۳، ۴ نیترونوبل خرج‌گذاری شوند، با ملاحظه زمان تأخیر مربوط به هر یک که از جدول ۲ــ ۷ استخراج می‌شود، چال A در زمانی برابر ۱ثانیه بعد از وصل جریان برق، چال Bدر زمان ۱/۵ثانیه و چال C در زمان ۲ثانیه بعد از وصل جریان برق منفجر می‌شوند. جدول‌های ۱ــ۷ و ۲ــ ۷ شماره و زمان تأخیر تعدادی از چاشنی‌های کم تأخیری و تأخیری چند کارخانه را نشان می‌دهند. به طوری که در این جدول‌ها می‌بینید اختلاف زمان بین هر دو شماره متوالی در چاشنی‌های کم تأخیری کمتر از $\frac{۱}{۱۰}$ یا $\frac{۱۰۰}{۱۰۰۰}$ ثانیه و در چاشنی‌های تأخیری برابر ۰/۵ثانیه یا $\frac{۵۰۰}{۱۰۰۰}$ ثانیه است.

برای این که آتشکاران شماره چاشنی را بسرعت تشخیص دهند، معمولاً سیم‌های آنها را به رنگ‌های متفاوت می‌سازند ؛ مثلاً رنگ سیم چاشنی در چاشنی‌های فوری ساخت نیترونوبل خاکستری،سفید و در چاشنی‌های میلی‌ثانیه یا کم تأخیری زرد، سبز و خاکستری و سبز و در چاشنی‌های تأخیری زرد و قرمز است. چاشنی‌های کم تأخیری را با علامت MS مخفف Milli Second به معنای هزارم ثانیه و چاشنی تأخیری را با علامت HS مخفف Half Second به معنای نیم ثانیه نیز

نشان می‌دهند. شدت جریان لازم برای انفجار چاشنی‌های برقی تا ۱/۵آمپر است اما برای موارد خاص، چاشنی‌هایی ساخته شده است که تا شدت جریان ۳۰ آمپر برای انفجار لازم دارند.

## مطالعهٔ آزاد

**جدول ۱ــ۷ــ انواع چاشنی‌های کم تأخیری و زمان تأخیر آنها به هزارم ثانیه**

| شماره چاشنی | کارخانه سازنده | | | |
|---|---|---|---|---|
| | نیترونوبل سوئد | اطلس امریکا | دوپونت امریکا | انگلیس ICI |
| ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۱ | ۹ | ۱۱ | ۲۵ | ۲۵ |
| ۲ | ۲۰ | ۲۵ | ۵۰ | ۵۰ |
| ۳ | ۳۰ | ۵۰ | ۷۵ | ۷۵ |
| ۴ | ۴۰ | ۷۵ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| ۵ | ۵۱ | ۱۰۰ | ۱۲۵ | ۱۴۰ |
| ۶ | ۶۵ | ۱۲۵ | ۱۵۰ | ۱۸۰ |
| ۷ | ۷۹ | ۱۵۰ | ۱۷۵ | ۲۲۰ |
| ۸ | ۹۴ | ۱۷۵ | ۲۰۰ | ۲۶۰ |
| ۹ | ۱۰۶ | ۲۰۰ | ۲۵۰ | ۳۰۰ |
| ۱۰ | ۱۲۰ | ۲۵۰ | ۳۰۰ | ۳۵۰ |
| ۱۱ | ۱۳۴ | ۳۰۰ | ۳۵۰ | ۴۰۰ |
| ۱۲ | ۱۴۸ | ۳۵۰ | ۴۰۰ | ۴۶۰ |
| ۱۳ | ۱۶۱ | ۴۰۰ | ۴۵۰ | ۵۳۰ |
| ۱۴ | ۱۷۴ | ۴۵۰ | ۵۰۰ | ۶۲۰ |
| ۱۵ | ۱۸۸ | ۵۰۰ | ۶۰۰ | ۷۱۰ |
| ۱۶ | ۲۰۲ | ۵۵۰ | ۷۰۰ | ۸۰۰ |
| ۱۷ | ۲۱۵ | ۶۵۰ | ۸۰۰ | ۹۰۰ |
| ۱۸ | ۲۲۹ | ۷۵۰ | ۹۰۰ | ۱۵۰۰ |
| ۱۹ | ۲۴۲ | ۸۷۵ | ۱۰۰۰ | – |
| ۲۰ | ۲۵۶ | ۱۰۰۰ | – | – |

## مطالعهٔ آزاد

جدول ۲ــ۷ــ انواع چاشنی‌های تأخیری و زمان تأخیر آنها به ثانیه

| شماره چاشنی | کارخانه سازنده | | | |
|---|---|---|---|---|
| | نیترونوبل سوئد | اطلس امریکا | دوپونت امریکا | انگلیس ICI |
| ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۱ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۰۲ | ۰/۵ |
| ۲ | ۱ | ۱ | ۰/۳ | ۱ |
| ۳ | ۱/۵ | ۱/۵ | ۰/۵ | ۱/۵ |
| ۴ | ۲ | ۲ | ۰/۷ | ۲ |
| ۵ | ۲/۵ | ۲/۵ | ۱ | ۲/۵ |
| ۶ | ۳ | ۳ | ۱/۶ | ۳ |
| ۷ | ۳/۵ | ۳/۵ | ۳ | ۳/۵ |
| ۸ | ۴ | ۴ | ۳/۸ | ۴ |
| ۹ | ۴/۵ | ۴/۵ | ۴/۶ | ۴/۵ |
| ۱۰ | ۵ | ۵ | ۵/۵ | ۵ |
| ۱۱ | ۵/۵ | ۵/۵ | ۶/۴ | ۵/۵ |
| ۱۲ | ۶ | ۶ | ۷/۴ | ۶ |
| ۱۳ | ــ | ۶/۵ | ۸/۵ | ــ |
| ۱۴ | ــ | ۷ | ۹/۶ | ــ |
| ۱۵ | ــ | ۷/۵ | ۱۰/۸ | ــ |
| ۱۶ | ــ | ــ | ۱۲ | ــ |

طول سیم چاشنی برقی باید به اندازه‌ای باشد که بتواند همراه خرج به درون چال برود و آن قدر از دهانه چال بیرون باشد که به آسانی بتوان آن را به چاشنی مجاور وصل کرد ؛ مثلاً در یک معدن که عمق چال‌ها ۵ متر و فاصله آنها از هم سه متر است، طول سیم چاشنی دست کم برابر۶/۵متر است :

$$۵+\frac{۳}{۲} \quad ۶/۵$$

چنانچه سیم چاشنی به این اندازه نباشد، باید سیم جدید به آن افزوده شود ؛ در این صورت لازم است محل اتصال کاملاً عایق بندی شود.

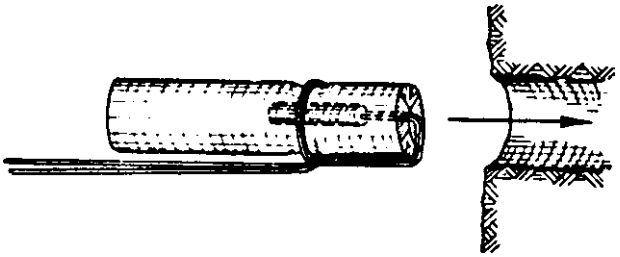
### ۲ــ۴ ــ۷ــ مراحل آتشکاری با چاشنی برقی:

ــ باید قبل از آتشکاری از سلامتی چاشنی اطمینان حاصل کرد. برای این کار رعایت اصول

انبارداری امری الزامی است. با این حال هنگام مصرف تنها آزمایشی که می‌توان انجام داد، این است که به کمک یک اهم متر ( مقاومت‌سنج) مشخص کنیم آیا جریان از چاشنی عبور می‌کند یا خیر. درصورتی که جریان برق از چاشنی عبور نکند، باید از مصرف این چاشنی خودداری کرد اما اگر جریان برق از آن عبور کند احتمال سالم بودن چاشنی زیاد است. چنانچه در عمل، چاشنی اخیر منفجر نشود،حتماً انبارداری ناقص بوده یا عمر مفید چاشنی تمام شده است. در این صورت باید از مصرف سایر چاشنی‌ها خودداری شود. اضافه می‌کنیم که باید حتماً از اهم متر مخصوص آتشکاری استفاده کرد. کارکردن با اهم‌مترهای رادیوسازی و برقکاری اکیداً ممنوع است. نوعی از اهم‌متر آتشکاری را در شکل۳۹ــ ۷ می‌بینید.

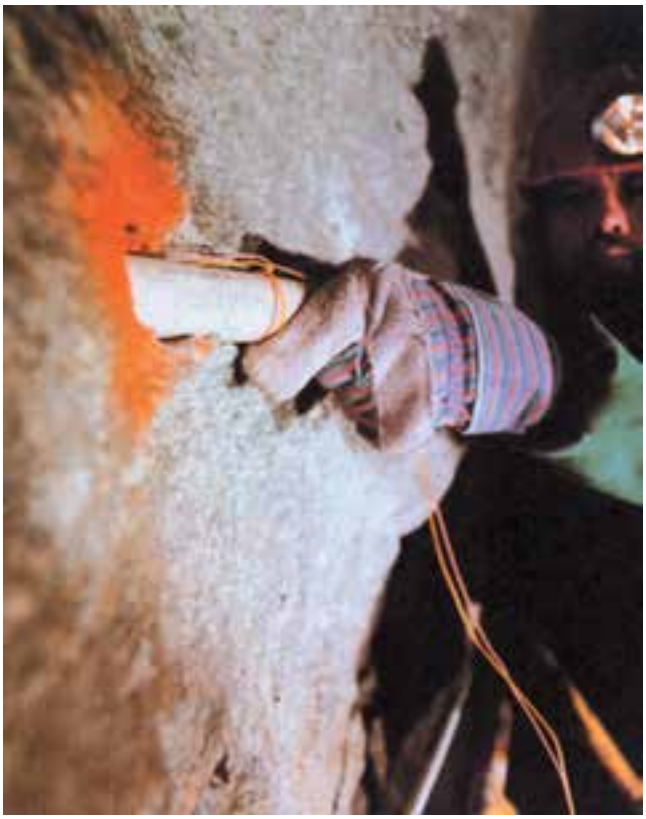
**شکل ۳۹ــ۷ــاهم متر ساخت نیترونوبل سوئد**

ــ دینامیت را سوراخ می‌کنند و چاشنی برقی را درون آن می‌گذارند ؛ سپس سیم چاشنی را یک یا دو دور به دینامیت گره می‌زنند و گره را محکم می‌کنند. سیم چاشنی نباید آن‌قدر محکم کشیده شود که به عایق بندی سیم لطمه وارد آید (شکل ۴۰ ــ ۷).



**شکل ۴۰ــ۷ــقرار دادن چاشنی برقی در دینامیت**

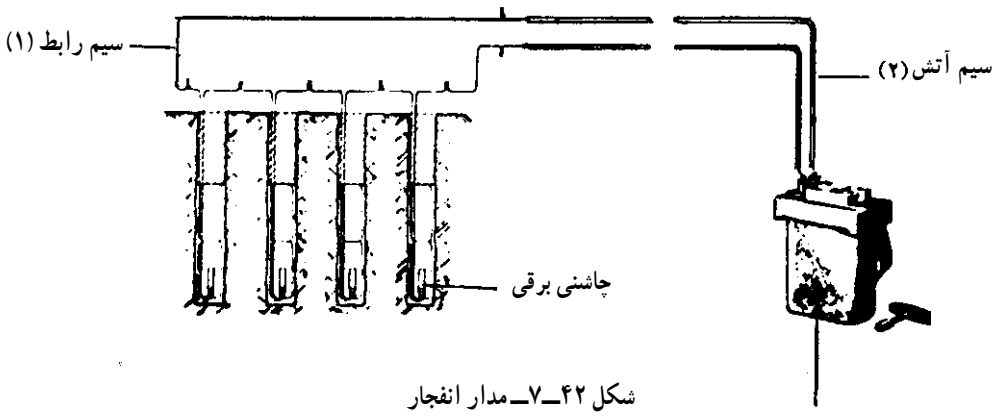
ــ این فشنگ برای قرارگرفتن در چال آماده است. در هنگام این کار، سیم چاشنی باید در یک طرف قرارگیرد و به دور فشنگ پیچیده نشود و مراقبت کافی صورت گیرد که سیم خراشیده نشود (شکل ۴۱ــ ۷).



**شکل ۴۱ــ۷ــقرار دادن فشنگ چاشنی‌دار در چال**

ــ هنگام قراردادن فشنگ‌های دیگر دینامیت و گِل‌گذاری برای بستن دهانه چال، باید دقت شود که به عایق سیم چاشنی لطمه‌ای وارد نیاید.

ــ پس از خرج‌گذاری چال‌ها، چاشنی‌ها را که در حقیقت هریک مقاومت الکتریکی خاصی دارند، به هم وصل می‌کنند و به کمک یک یا دو قطعه سیم دیگر آنها را نزدیک منبع برق که در محلی امن قراردارد، می‌برند. این سیم‌ها «سیم رابط » و «سیم آتش» نام دارند. کل مجموعه چاشنی‌ها، سیم رابط، سیم آتش و منبع برق را «مدار انفجار» می‌نامند (شکل ۴۲ــ ۷). باید دقت شود که تمام اتصال‌ها بخوبی عایق بندی گردند.




شکل ۴۲ــ۷ــ مدار انفجار

ــ مدار انفجار را آزمایش می‌کنند. آزمایش مدار انفجار شامل محاسبه مقاومت مدار و اطمینان از عایق بودن مدار است که در جای خود آن را توضیح خواهیم داد.

ــ پس از اطمینان از صحت مدار، آتشکار جریان برق را وصل می‌کند.

ــ بعد از وصل جریان برق، چاشنی‌های فوری بلافاصله منفجر می‌شوند اما در چاشنی‌های کم تأخیری و تأخیری خرج تأخیردهنده شروع به سوختن می‌کند تا نوبت انفجار یکایک آنها برسد. لازم به توضیح است که با اولین انفجار، جریان برق به مدار قطع می‌شود و اگر منبع برق ماشین‌های آتش‌کن برقی باشد، زمان ورود جریان به مدار انفجار حدود $\frac{۴}{۱۰۰۰}$ ثانیه است. در این مدت کلیه چاشنی‌ها اعم از فوری و تأخیری و کم تأخیری آتش می‌گیرند و دیگر نیازی به برق ندارند اما نوبت انفجار آنها متفاوت خواهد بود.

**۳ــ ۴ــ ۷ــ به هم بستن چاشنی‌ها:** بعد از خرج‌گذاری هر چال و بستن دهانه آنها، دو رشته سیم مربوط به چاشنی برقی خارج از چال قرار دارد. اما در عملیات آتشکاری تنها با یک چال روبرو نیستیم؛ بلکه تعداد چال‌ها ممکن است به ۱۰۰۰ تا یا بیشتر هم برسد و در عمل پس از پایان خرج‌گذاری با هزاران رشته سیم رنگارنگ سروکار خواهیم داشت. چاشنی‌ها را باید با این سیم‌ها به هم بست. اکنون می‌توان چاشنی‌های برقی را به منزلهٔ مقاومت الکتریکی تصور کرد و بستن آنها به هم بر اساس قوانین اهم و کیرشهف صورت می‌گیرد. روش به هم بستن چاشنی‌ها به صورت‌های زیر است:

***الف ــ به هم بستن چاشنی‌ها به روش سری:*** در این روش، یک سیم از یک چاشنی به سیمی از چاشنی مجاور وصل می‌شود. سیم دوم چاشنی اخیر به سیم اول چاشنی سوم متصل می‌گردد. این کار در مورد همه چاشنی‌ها ادامه می‌یابد و سرانجام دو رشته سیم آزاد یکی از چاشنی اولی و دیگری از چاشنی آخری باقی می‌ماند (شکل ۴۳ــ ۷).

اگر r مقاومت یک چاشنی به اهم  n تعداد چاشنی‌ها

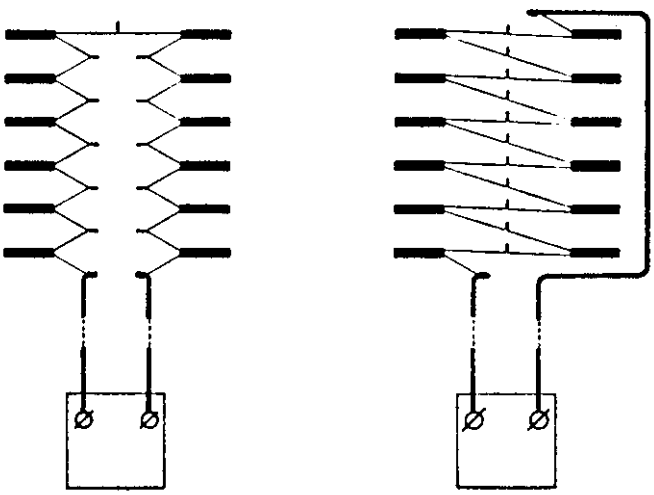
$R_1$ مقاومت سیم رابط به اهم  $R_2$ مقاومت سیم آتش به اهم

R مقاومت کل مدار به اهم  I شدت جریان مدار به آمپر

وV اختلاف پتانسیل الکتریکی به ولت باشد، روابط زیر را خواهیم داشت :

$R \quad R_1 + R_2 + nr$

$V \quad RI$



**شکل ۴۳ــ۷ــبه هم بستن چاشنی ها به طریق سری**

**مثال ۱:** ۳۰عدد چاشنی برقی هر یک با مقاومت ۲/۱اهم به صورت سری به هم وصل شده‌اند و به کمک ۳۰متر سیم مسی دولا که دارای مقاومت ۰/۰۰۳۳اهم بر متر است، به منبع برق متصل می‌شوند. اگر شدت جریان لازم برای انفجار چاشنی‌ها ۱/۵آمپر باشد، اختلاف پتانسیل لازم را حساب کنید.

**راه حل:** در این پرسش سیم رابط و سیم آتش یکجا به صورت ۳۰۰متر سیم دولا است. چون مقاومت هر متر سیم ۰/۰۰۳۳اهم است، پس :

$R_1 \quad 2 . 300 . 0/0033 \quad 1/98$ اهم

مقاومت کل مدار : $R \quad R_1 + nr$

$R \quad 1/98 + (30 . 2/1) \quad 64/98$ اهم

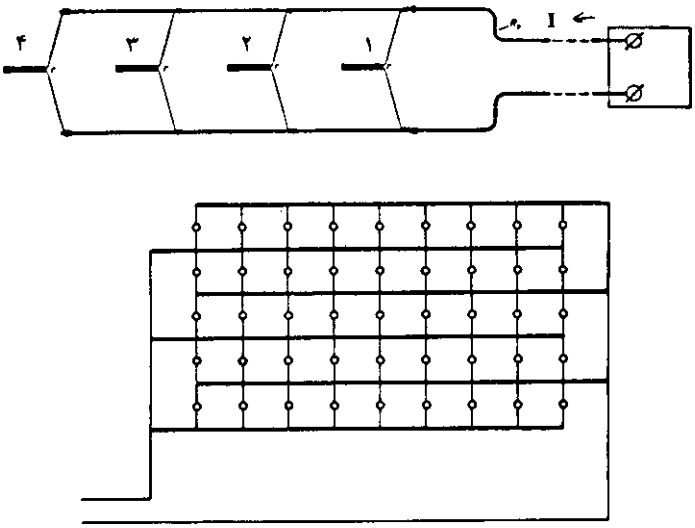
$V \quad 64/98 . 1/5 \quad 94/47$ ولت

اگر از برق مستقیم(D.C.) برای انفجار چاشنی‌ها استفاده می‌شود، رقم به دست آمده را ۱/۵ تا ۲برابر می‌کنند و اگر برق متناوب (A.C.) وارد مدار انفجار می‌شود، رقم محاسبه شده را برای اختلاف پتانسیل ۲ تا۳برابر می‌کنند. در مسألهٔ بالا اگر برق D.C. به کار رود، اختلاف پتانسیل لازم ۱۴۲ تا ۱۸۹ ولت و اگر برق متناوب( A.C.) باشد، اختلاف پتانسیل لازم ۱۸۹ تا ۲۸۳ ولت است.

**مثال ۲:** محاسبات بالا را در یک مدارسری با مشخصات زیر تکرار کنید :

تعداد چاشنی‌ها ۴۰عدد، مقاومت یک چاشنی ۲/۲اهم، شدت جریان لازم ۱/۲ آمپر، مقاومت سیم رابط ۳ اهم، مقاومت سیم آتش ۵ اهم.

***ب ــ به هم بستن چاشنی‌ها به روش موازی:*** در این روش، با یک سیم همه چاشنی‌ها به هم‌بسته می‌شوند و سیم دیگر چاشنی‌ها نیز به هم متصل می‌گردند. سرانجام دو رشته سیم خواهیم داشت که باید با کمک سیم رابط و سیم آتش به منبع برق وصل شوند (شکل ۴۴ــ۷).




**شکل ۴۴ــ۷ــبه هم بستن چاشنی‌ها به طریق موازی**

معمولاً در این روش اتصال، زمانی پیش می‌آید که فاصله چال‌ها از هم زیاد باشد . اگر i شدت جریان لازم برای انفجار یک چاشنی باشد، شدت جریان کل و مقاومت کل مدار از روابط زیر محاسبه می‌شود :

$$I \quad ni$$

$$R \quad R_1 + R_2 + \frac{r}{n}$$

**مثال ۱:** ۱۰عدد چاشنی برقی هر یک به مقاومت ۲/۵اهم به روش موازی به هم بسته شده‌اند. شدت جریان لازم برای انفجار هر چاشنی ۱/۸آمپر، مقاومت سیم رابط ۳/۴ اهم و مقاومت سیم آتش ۵/۲اهم است. اختلاف پتانسیل الکتریکی لازم را حساب کنید.

$$R \quad ۳/۴+۵/۲+\frac{۲/۵}{۱۰} \quad ۸/۸۵ \quad \text{اهم}$$

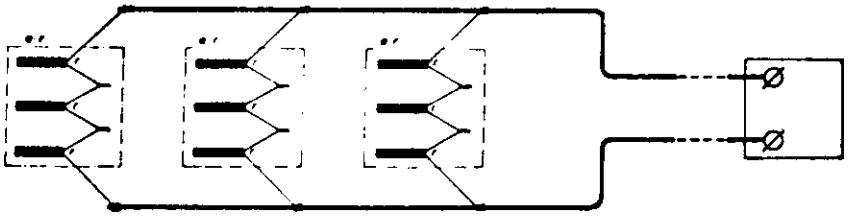
$$I \quad ۱۰.۱/۸ \quad ۱۸ \quad \text{آمپر}$$

$$V \quad RJ \quad ۸/۸۵.۱۸ \quad ۱۵۹/۳ \quad \text{ولت}$$

در این حالت هم اگر از برق D.C. استفاده شود، اختلاف پتانسیل لازم ۲۳۹ تا ۳۱۸ ولت و اگر از برق A.C. استفاده شود، اختلاف پتانسیل لازم ۳۱۸ تا ۴۷۸ ولت است.

**مثال ۲:** محاسبات بالا را برای ۱۱عدد چاشنی که به صورت موازی بسته شده‌اند، تکرار کنید. مقاومت هر چاشنی ۲/۲اهم، شدت جریان لازم ۱آمپر و مقاومت سیم رابط و سیم آتش روی هم ۴/۷۸اهم است.

***ج ــ به هم بستن چاشنی‌های برقی به روش سری موازی یا مختلط:*** در این روش، همهٔ چاشنی‌ها را به چند دسته مساوی تقسیم می‌کنند. چاشنی‌های هر دسته را به صورت سری به هم می‌بندند و سپس سری‌ها را به صورت موازی به هم وصل می‌کنند (شکل ۴۵ــ ۷).



شکل ۴۵ــ۷

**مثال ۱:** ۴۰عدد چاشنی برقی را به ۴دسته ده‌تایی تقسیم می‌کنند. هر ۱۰عدد را به صورت سری به هم می‌بندند و چهار دسته سری را به صورت موازی به یکدیگر وصل می‌کنند. اگر مقاومت سیم رابط و سیم آتش ۷ اهم و شدت جریان لازم برای انفجار یک چاشنی ۱/۵آمپر باشد، اختلاف پتانسیل الکتریکی را محاسبه کنید. مقاومت هر چاشنی برقی ۲اهم است.

**حل:** مقاومت یک مدار سری ۱۰.۲ ۲۰ اهم

مقاومت ۴مدار موازی ۲۰.۴ ۵ اهم

| | | |
|---|---|---|
| مقاومت کل مدارها | اهم | ۵+۷=۱۲ |
| شدت جریان لازم برای یک سری | آمپر | ۱/۵ |
| شدت جریان لازم برای کل مدارها | آمپر | ۶ ۴ .۱/۵ |
| اختلاف پتانسیل لازم | ولت | ۷۲ ۶ .۱۲ |
| اختلاف پتانسیل با برق.D.C | | ۱۰۸ تا۱۴۴ ولت |
| اختلاف پتانسیل با برق.A.C | | ۱۴۴ تا ۲۱۶ ولت |

**مثال ۲ :** محاسبات بالا را در حالتی تکرار کنید که چاشنی‌های مثال ۱ در ۵دسته ۸ تایی به هم وصل شوند.

**۴ــ ۴ــ ۷ــ عیب‌یابی مدار انفجار:** بعد از این که چاشنی‌ها به یکی از سه روش به هم بسته شدند و به وسیله سیم رابط و سیم آتش تا محل امن و پناهگاه آتشکار ادامه یافتند، قبل از این که برق را وارد مدار کنیم، می‌توانیم صحت مدار را آزمایش نماییم. با توجه به مقاومت کل مدار که از راه محاسبه به دست آمده است، اکنون مقاومت مدار را با اهم متر اندازه‌گیری می‌کنیم.

ــ اگر اهم متر مقاومت مدار را مساوی مقدار محاسبه با اختلاف ۵ .٪ نشان دهد، مدار درست بسته شده است ؛ مثلاً اگر مقاومت مدار از راه محاسبه ۲۰اهم به دست آمده باشد، از راه اندازه‌گیری، اهم متر باید بین ۱۹تا۲۱اهم را نشان دهد. مقاومت محاسبه شده را با احتساب خطای ۵ .٪ «مقدار مجاز» می‌نامیم.

ــ اگر اهم‌متر عددی را نشان دهد که بیش از مقدار مجاز باشد، دلیل بر این است که چند چاشنی نادرست بسته شده‌اند.

ــ اگر اهم متر عددی را نشان دهد که کمتر از تعداد مجاز باشد، دلیل بر این است که چند چاشنی از مدار خارج هستند یا نادرست بسته شده‌اند.

ــ اگر اهم‌متر عددی را نشان دهد که خیلی بیشتر از مقدار مجاز است، دلیل بر نادرست بودن مدار است و اگر اهم‌متر عدد بی‌نهایت را نشان دهد، دلیل بر قطع بودن مدار در یک یا چند نقطه است.

ــ اگر اهم‌متر عددی را نشان دهد که خیلی کمتر از مقدار مجاز است، دلیل بر نادرست بودن مدار یا اتصالی در مدار است.

**۵ ــ ۴ــ ۷ــ روش رفع عیب مدار انفجار:** در صورتی که بر اساس حالت‌های یاد شده ایرادی در مدار انفجار وجود داشته باشد، باید مدار را به دو قسمت کنند و در هر دو نیمه کنترل صورت گیرد تا مشخص شود که ایراد در کدام قسمت مدار است. این قسمت را دو نیمه کرده و

دوباره عیب‌یابی می‌کنند. این کار آن‌قدر تکرار می‌شود تا محل معیوب مشخص گردد. سپس اقدام به رفع عیب می‌شود. از اجزای دیگر مدار انفجار که باید عیب‌یابی شود، سیم آتش و ماشین آتش کن است.

**۶ــ ۴ــ ۷ــ سیم آتش:** سیم دولایی است که دور قرقره پیچیده شده است و هر بار هنگام انفجار از پناهگاه تا سیم رابط (محل چاشنی‌ها) روی زمین پهن می‌شود. سیم آتش باید کلفت و مقاوم باشد اما بر اثر برخورد با سنگ‌های نوک تیز احتمال زخمی شدن و اتصالی کردن (اتصال کوتاه) آن وجود دارد. برای پی‌بردن به عیب‌های آن باید هرماه یک بار سیم آتش را به شرح زیر آزمایش کرد.

ــ در یک طرف سیم آتش دو سرسیم را به اهم‌متر وصل می‌کنیم. اگر عبور جریان نشان داده نشد، سیم سالم است اما عبور جریان، دلیل بر اتصال دو رشته سیم و ایجاد مدار کوتاه است.

ــ دو سر هر رشته سیم آتش را به اهم‌متر وصل می‌کنیم. اهم‌متر مقاومت سیم آتش را نشان خواهدداد. اگر مقاومت بیش از آن باشد، دلیل بر پارگی سیم اما نه قطع کامل آن است و اگر مقاومت بی‌نهایت نشان داده شود، دلیل بر پارگی سیم است. سیم آتش ناسالم را باید عوض کرد و از تعمیر آن چشم پوشید.

**۷ــ۴ ــ۷ــ ماشین آتش‌کن**[1]: ماشین آتش کن بهترین منبع تولید برق برای مدار انفجار است. این ماشین در حقیقت یک مولد جریان برق است که با گرداندن دسته‌ای برق در خازن ذخیره می‌شود و با فشار دکمه‌ای برق ذخیره شده در خازن در مدار تخلیه می‌گردد. ماشین‌های آتش کن ظرفیت منفجر کردن تعداد معینی چاشنی را دارند. معمولاً ظرفیت هر ماشین روی آن نوشته شده است و بخوبی می‌توان پی برد که یک ماشین آتش کن توانایی انفجار چند چاشنی در مدارهای سری، سری موازی و موازی را دارد. نظر به این که با گذشت زمان از قدرت ماشین کاسته می‌شود و این امر ممکن است به آتش شدن چند چال در عملیات آتشکاری منجر بشود، بهتر است هر ماه یک بار ماشین آتش‌کن را از نظر قدرت و کارایی آزمایش کرد. ماشین آتش‌کن را برای ۱/۵ برابر ظرفیت آن آزمایش می‌کنند. برای آزمایش ماشین، چند چاشنی در مدار می‌گذارند و به جای سایر چاشنی‌ها مقاومت الکتریکی قرار می‌دهند. ماشین باید توانایی منفجر کردن چاشنی‌ها را داشته باشد.

از جریان برق صنعتی نیز می‌توان برای انفجار چال‌ها استفاده کرد اما این کار به دلیل سیم‌کشی جداگانه، عایق‌بندی و سایر ملزومات گران تمام می‌شود. به هیچ وجه نباید از باتری ماشین یا هر باتری دیگری برای منفجر کردن چاشنی‌ها استفاده کرد. چند نوع ماشین آتش‌کن ساخت سوئد را در شکل

---

۱ــ Explosox (Blasting machine)

۴۶ ــ ۷ مشاهده می‌کنید. در جدول ۳ــ ۷ مشخصات چند ماشین آتش‌کن برای انفجار چاشنی‌هایی که ۱/۵ آمپر شدت جریان برق لازم دارند، نوشته شده است.

شکل ۴۶ــ۷ــ چند نوع ماشین آتش‌کن برقی[1] ساخت نیترو نوبل

## مطالعهٔ آزاد

جدول ۳ــ۷ــ مشخصات تعداد ماشین آتش کن برای چاشنی‌های ۱/۵ آمپری

| نوع ماشین | مقاومت سیم آتش اهم | تعداد چاشنی | تعداد چاشنی در سری | تعداد سری |
|---|---|---|---|---|
| CI۵۰ | ۱۰ | ۵۰ | ۵۰ | ۱ |
| CI۱۵VA | ۵ | ۴۸۰ | ۸۰ | ۶ |
| CI۱۰۰VA | ۱۰ | ۳۰۰ | ۳۰۰ | ۱ |
| CI۱۰۰VA | ۵ | ۲۴۰۰ | ۱۲۰ | ۲۰ |
| CI۱۰۰VA | ۱۰ | ۱۸۰۰ | ۱۲۰ | ۱۵ |
| CI۲۷۵VA | ۱۰ | ۷۰۰ | ۷۰۰ | ۱ |
| CI۲۷۵VA | ۲ | ۹۰۰۰ | ۳۰۰ | ۳۰ |
| CI۷۰۰VA | ۵ | ۱۸۰۰۰ | ۳۰۰ | ۶۰ |

۱ــ EXPLOSOR

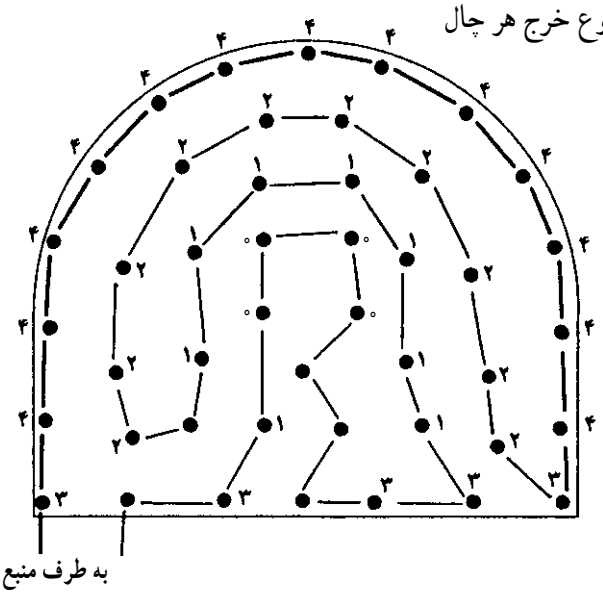
**۸ــ۴ــ۷ــ دستور آتش:** بعد از پایان عملیات خرج‌گذاری، عیب‌یابی مدار انفجار و رفع عیب‌های آن و اطمینان از درستی عملکرد سیم آتش و ماشین آتش‌کن، شخص آتشکار یا سرپرست آتشکاری در محلی امن که دور از محوطه انفجار است و سیم آتش تا آنجا کشیده شده، حاضر می‌شود. علائم صوتی و نوری برای اخطار به دیگران اجرا می‌شود تا محوطه از افراد و ماشین‌آلات تخلیه گردد. کلید ماشین‌آتش‌کن تنها در دست آتشکار یا سرپرست آتشکاری است. با کلید مزبور ماشین به راه می‌افتد و با اعلام کلمه «آتش» با صدای بلند، برق در مدار تخلیه می‌شود. پانزده دقیقه بعد از انفجار، سرپرست آتشکاری به تنهایی از محل بازدید می‌کند و درصورت انجام بدون نقص انفجار اجازه می‌دهد که سایر کارگران برای ادامه کار به محل بیایند. چنانچه یک یا چند چال منفجر نشده باشد تا انفجار یا تخلیه آنها کسی غیر از آتشکاران نباید در محوطه حضور یابد.

**۹ــ ۴ ــ ۷ــ انواع مدارهای انفجار:** با وارد کردن چاشنی‌های کم تأخیری و تأخیری در مدار انفجار، می‌توان آتشکاری تأخیری را انجام داد و با ذکر این نکته که قسمت اعظم انفجارها در معادن، تأخیری است، اهمیت چاشنی‌های تأخیری و کم تأخیری بیشتر نمایان می‌شود. طرح‌های آتشکاری با چاشنی برقی به صورت نقشه‌های انفجار ارائه می‌گردد که مدار انفجار نیز بخشی از آن است. در نقشه انفجار اطلاعات زیر گنجانده می‌شود :

ــ محل حفر چال‌ها

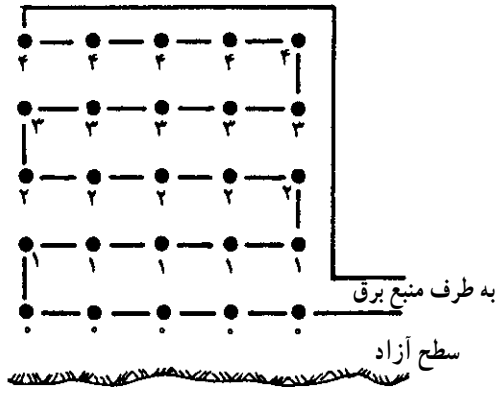
ــ قطر و عمق چال‌ها

ــ مقدار و نوع خرج هر چال

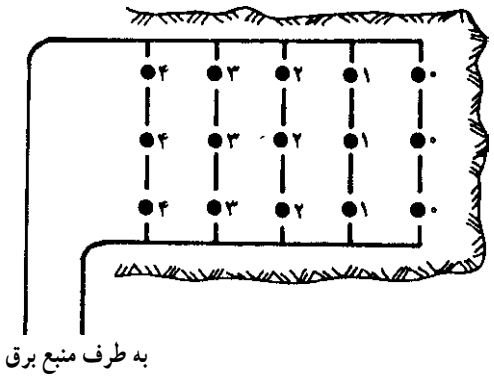



**شکل ۴۷ــ۷ــ به هم بستن سری چاشنی‌های برقی در حفر یک تونل چاشنی‌های به کار رفته از ۰ تا ۴ هستند و تعداد آنها برابر ۳۷ عدد می باشد.**

ـ نوبت انفجار چال‌ها به صورت عددی کنار چال نوشته شده است. این عددها که معمولاً شماره چاشنی برقی مصرفی هستند، معرف نوبت انفجار چال‌ها نیز می‌باشند. در شکل‌های زیر، چند طرح آتشکاری با چاشنی برقی را می‌بینید.

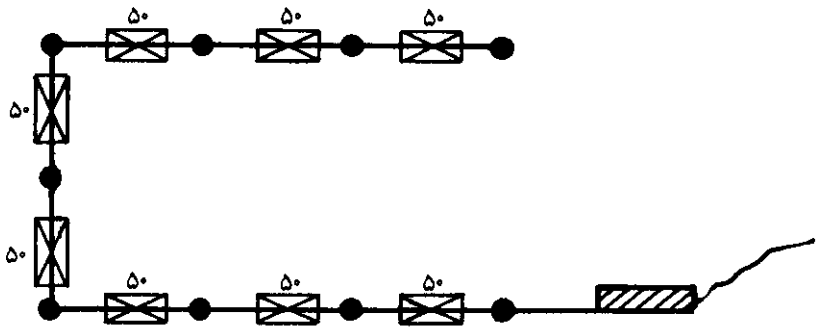



شکل ۴۸ــ۷ــاتصال سری پنج دسته چاشنی برقی تأخیری در یک معدن روباز



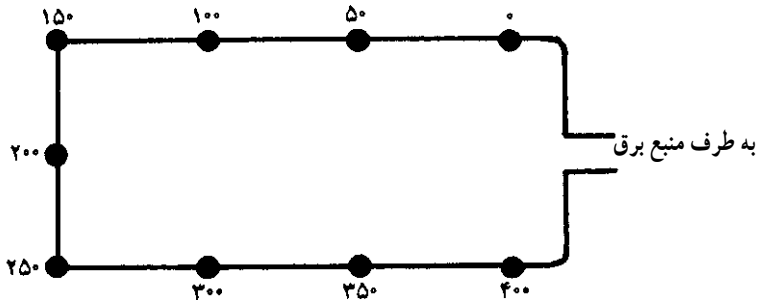

شکل ۴۹ــ۷ــاتصال سری موازی پنج دسته سه تایی چاشنی برقی در حفر ترانشه

نکته قابل توجه این است که تعداد تأخیرها در آتشکاری برقی محدود است ؛ در حالی که با فتیله انفجاری تعداد تأخیرها می‌تواند نامحدود باشد ؛ مثلاً اگر نوعی چاشنی تأخیری فتیله انفجاری ۵۰میلی‌ثانیه به تعداد کافی در اختیار داشته باشیم، با قراردادن هر چاشنی میان دو چال متوالی تعداد زیادی چال را می‌توان با فاصله زمانی $\frac{۵۰}{۱۰۰۰}$ ثانیه از یکدیگر منفجر کرد (شکل ۵۰ــ ۷).



شکل ۵۰ــ۷ــانفجار تعداد زیادی چال با فاصله زمانی ۵۰ میلی ثانیه به وسیله فتیله انفجاری و تأخیر دهنده آن

اگر بخواهیم همین کار را با چاشنی برقی انجام دهیم، یعنی تعداد زیادی چال را با فاصله زمانی ۵۰میلی‌ثانیه از یکدیگر منفجر کنیم، لازم است در مدار انفجار چاشنی نمره صفر را در نخستین چال قراردهیم و در چال‌های بعدی، چاشنی‌هایی را بگذاریم که به ترتیب ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰و... میلی‌ثانیه بعد از وصل جریان برق منفجر شوند. چون تعداد تأخیرهای چاشنی برقی محدود است، بنابراین تعداد معدودی چال را می‌توان با فاصله زمانی ۵۰میلی‌ثانیه از یکدیگر منفجر کرد (شکل ۵۱ــ۷).




**شکل ۵۱ــ۷ــانفجار تعدادی چال با فاصله زمانی ۵۰ میلی‌ثانیه به وسیله چاشنی برقی کم تأخیری.چون تعداد چاشنی‌ها محدود است تعداد چال‌ها نیز محدود خواهد بود.**

### ۱۰ــ۴ــ۷ــ احتیاط‌های لازم در کاربرد چاشنی برقی:

ــ برای انواع چاشنی‌ها شدت جریان لازم تعیین شده است و برای هر سری از آنها شدت جریان مورد نظر را باید وارد کرد. برای چاشنی‌های معمولی برقی در مدارسری ۱/۵ آمپر و در مدار موازی ۰/۵آمپر شدت جریان در نظر می‌گیرند.

ــ بهتر است تعداد چاشنی‌ها در سری بیش از ۵۰عدد نباشد.

ــ چاشنی‌های کارخانه‌های مختلف با هم در یک مدار انفجار بسته نشوند.

ــ در مدار موازی، مقاومت همه مدارها باید با هم مساوی باشد. نباید یک جا مثلاً ۲۰عدد چاشنی را به صورت سری بست و در قسمت دیگر همان مدار ۳۰عدد چاشنی را سری کرد.

ــ کنترل چاشنی‌ها و مدار، قبل از آغاز انفجار باید با حوصله و دقت انجام گیرد.

ــ کلید دستگاه آتش‌کن فقط نزد شخص آتشکار است و نباید به دیگری سپرده شود.

ــ علائم صوتی و نوری برای اجرای آتش الزامی است.

**۱۱ ــ۴ ــ ۷ــ مزایا و معایب آتشکاری برقی:** این روش آتشکاری هم مثل سایر روش‌ها دارای مزایا و عیب‌هایی به شرح زیر است :

***الف: مزایا***

ــ هر چاشنی و مدار انفجار قبل از انفجار با وسایل مختلف قابل بررسی و کنترل است ؛ درحالی که در مورد سایر روش‌های آتشکاری، این کار تنها با مشاهده مستقیم و ملاحظه مدار از ابتدا تا انتهای آن امکان‌پذیر است.

ــ انفجارهای تأخیری و کم تأخیری در وضعیت‌های مختلف میسر است.

ــ در چال‌های بلند، زیرآب و کارهای دقیق ژئوفیزیکی چاشنی برقی ابزار بسیار مناسبی است. برای انجام عملیات لرزه‌نگاری در ژئوفیزیک، چاشنی برقی مخصوص این کار ساخته شده است و «چاشنی لرزه‌نگاری» نام دارد.

ــ برای آتشکاری در معدن‌های زغال سنگ مناسب‌ترین چاشنی است ؛ زیرا انفجار آن مثل فتیله اطمینان و فتیله انفجاری شعله ندارد.

ــ برای انفجار پرایمر( چاشنی تقویت شده) بسیار مناسب است.

ــ ترکیب چاشنی برقی و فتیله انفجاری وسیله‌ای بسیار مناسب برای اجرای آتشکاری‌های فوری و تأخیری در انواع عملیات استخراج معدن است.

ــ پس از این که جریان برق وارد مدار انفجار می‌شود، کلیه چاشنی‌ها آغاز به کار می‌کنند و برحسب شماره تأخیر، به نوبت منفجر خواهندشد. قطع جریان برق در این هنگام هیچ گونه ایرادی در کار چاشنی‌ها به وجود نخواهدآورد و اصولاً بعداز انفجار نخستین چال، جریان برق مدار حتماً قطع خواهد شد.

ــ عموماً ایمنی آتشکاری برقی بیش از فتیله اطمینان است.

***ب: عیب‌ها***

با وجود تمام مزیت‌هایی که برای چاشنی‌های برقی برشمردیم، در بعضی موارد کارکردن با آنها غیرممکن است یا باید همراه با احتیاط شدید باشد. این موارد عبارتند از : انفجار ناخواسته چاشنی‌ها در توفان شن، توفان برف، نزدیک نوار نقاله‌های معدن که در حال کار هستند، نزدیک فرستنده رادیو تلویزیون، هنگام صاعقه و رعدوبرق، نزدیک خطوط انتقال نیرو و در معدن‌های زیرزمینی فلزی مرطوب که سیم برق به درون آن راه یافته است. اکنون شرح مختصری درباره هر یک می‌دهیم.

## مطالعهٔ آزاد

**الکتریسیته ساکن:** توفان شن،توفان برف، حرکت نوار نقاله و حتی ریختن آنفو در چال موجب تشکیل الکتریسیته ساکن می‌شود. در چنین فضایی اگر کارگر معدن چاشنی را در دست داشته باشد و در این حالت، سیم چاشنی با زمین اتصال پیدا کند، ممکن است جریان برق از چاشنی عبور کند و آن را منفجر نماید. برای خرج‌گذاری در این شرایط، آتشکار باید میله‌ای آهنی را در زمین فرو کند و مقداری آب در پای آن بریزد ؛ سپس سیم مسی را به یک دست خود و سر دیگر آن را به میله‌ای فلزی ببندد. در این حالت می‌گویند که آتشکار اتصال زمین شده است. سپس سیم چاشنی را به‌آرامی روی زمین پهن کند و اتصالی‌ها را به گونه‌ای انجام دهد که جریان برق از چاشنی عبور نکند.

**امواج الکترومغناطیسی:** فرستنده‌های رادیو تلویزیون و رادار، امواج الکترومغناطیسی را منتشر می‌کنند که ممکن است موجب انفجار بی‌موقع چاشنی برقی شود. در چنین شرایطی یا نباید از چاشنی برقی استفاده کرد یا مطابق جدول ۴ــ ۷ فاصله ایمنی را رعایت کرد. گفتن این نکته ضرورت دارد که فاصله ایمنی فرستنده‌های انفرادی سیّار واکی‌ــ تاکی از چاشنی برقی ۳۰متر است.

**جدول ۴ــ۷ــ فاصله ایمنی چاشنی برقی از فرستنده‌های A .M .**

| قدرت ایستگاه فرستنده به وات | حداقل فاصله ایمنی به متر |
|---|---|
| ۴۰۰۰ | ۲۳۰ |
| ۵۰۰۰ | ۲۶۰ |
| ۱۰۰۰۰ | ۳۹۶ |
| ۲۵۰۰۰ | ۶۱۰ |
| ۵۰۰۰۰ | ۸۵۰ |

**برق سرگردان:** در معدن‌هایی که لوازم برقی مثل پمپ آب، جرثقیل، بادبزن تهویه و لامپ‌های روشنایی به کار رفته و مخصوصاً در معدن‌های فلزی مرطوب، امکان نشت جریان برق در معدن زیاد است ؛ زیرا بدنه معدن به دلیل فلزی بودن و رطوبت و وجود ریل و لوله و نظایر آن هادی جریان برق است و چون عایق‌بندی اتصالی‌ها بخوبی انجام نمی‌گیرد یا پس از مدتی کارایی خود را از دست می‌دهد، احتمال وجود برق سرگردان

زیاد است. اگر مدار انفجار با این برق تماس پیدا کند، ممکن است چاشنی برقی بی‌موقع منفجر شود. برای جبران عیب‌های ناشی از برق سرگردان باید اقدامات زیر را انجام داد :

ــ در صورت لزوم جریان برق معدن قطع شود.

ــ تمام دستگاه‌های برقی معدن مثل پمپ و جرثقیل اتصال زمین شوند.

ــ سر لخت سیم چاشنی‌ها نباید روی زمین بیافتد و اگر رعایت این کار مشکل است، قبل از وارد کردن چاشنی، در معدن سر لخت سیم آنها را با نوار چسب عایق‌بندی کنند و در موقع لزوم، عایق را باز کنند و اتصالی‌ها را برقرار نمایند. البته در این موقع باید کوشید که سرسیم چاشنی با زمین، ریل یا دیوار معدن تماس پیدا نکند.

**صاعقه :** صاعقه می‌تواند موجب انفجار چاشنی‌های برقی شود. فاصله امن چاشنی برقی از محل رعدوبرق برای چاشنی‌های حساس ۱۱کیلومتر و برای چاشنی غیرحساس ۷کیلومتر است . اخیراً دستگاهی ساخته شده که خطرناک بودن صاعقه را با علامت‌های صوتی و نوری نشان می‌دهد. چنانچه کاربرد چاشنی برقی خطرناک تشخیص داده شود، باید از آتشکاری برقی صرف‌نظر کرد. فاصله محل رعدوبرق را از محل آتشکاری می‌توان با کمی دقت و توجه محاسبه کرد. محاسبه بر این اساس است که نور با سرعت ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه و صوت با سرعت ۳۴۰ متردر ثانیه حرکت می‌کنند. اگر محل رعدوبرق از محل آتشکاری x کیلومتر فاصله داشته باشد، زمان لازم برای طی کردن نور به ثانیه $\frac{x}{۳۰۰۰۰۰}$ و برای صدا $\frac{x}{۰/۳۴}$ است. حال از زمانی که نور برق آسمان( صاعقه) به چشم می‌خورد کرونومتر را به کار می‌اندازند و زمانی را که طول می‌کشد تا صدای رعد به گوش برسد، اندازه‌گیری می‌کنند. اگر این زمان t ثانیه باشد، رابطه زیر را خواهیم داشت :

$$\frac{x}{۰/۳۴} - \frac{x}{۳۰۰۰۰۰} t$$

$$x \quad \frac{۱۰۲۰۰۰}{۲۹۹۹۹۹/۶۶}$$

$$x \quad ۰/۳۴ \text{ کیلومتر}$$

یعنی از هنگام مشاهدهٔ نور رعد تا شنیدن صدای آن هر چند ثانیه که طول بکشد، ضرب‌در عدد ۰/۳۴ می‌کنیم تا فاصله به حسب کیلومتر به دست آید ؛ مثلاً اگر زمان یاد

شده ۵ ثانیه باشد، فاصله محل رعدوبرق از محل آتشکاری ۱/۷ کیلومتر است.

**خطوط انتقال نیرو**: انفجار در نزدیکی خطوط انتقال نیرو که معمولاً ولتاژ بالایی دارد، به مراقبت‌های مخصوص نیازمند است ؛ زیرا جریان القایی می‌تواند چاشنی را نابهنگام منفجر کند. خطوط انتقال نیروی برق تقریباً در بسیاری از نقاط ایران وجود دارد و لازم است که چاشنی‌های برقی با فاصله‌ای مطمئن از این خطوط مورد استعمال قرار گیرند. فاصله ایمنی برای برخی از چاشنی‌ها به این شرح است :

| پتانسیل خط نیرو به کیلوولت (هزارولت) | فاصله چاشنی معمولی برقی به متر |
|---|---|
| ۷۰ | ۲۰ |
| ۱۳۰ | ۳۰ |
| ۲۲۰ | ۴۰ |
| ۴۰۰ | ۶۰ |

## ۵ــ ۷ــ سیستم آتشکاری با نانل[1]

برای اجرای آتشکاری مطمئن و بدون اشکال در شرایط متفاوت روش نانل ابداع شده است. این روش هم اکنون در بسیاری از کشورهای دنیا اجرا می‌شود. در ایران نیز طرز کار آن به نمایش گذاشته شده و قرار است در آینده نزدیک از آن در معدن‌ها استفاده شود. نانل ترکیبی از حروف اول کلمات Non electric به معنی«غیرالکتریکی» است. هر واحد نانل اجزای زیر را شامل می‌شود :

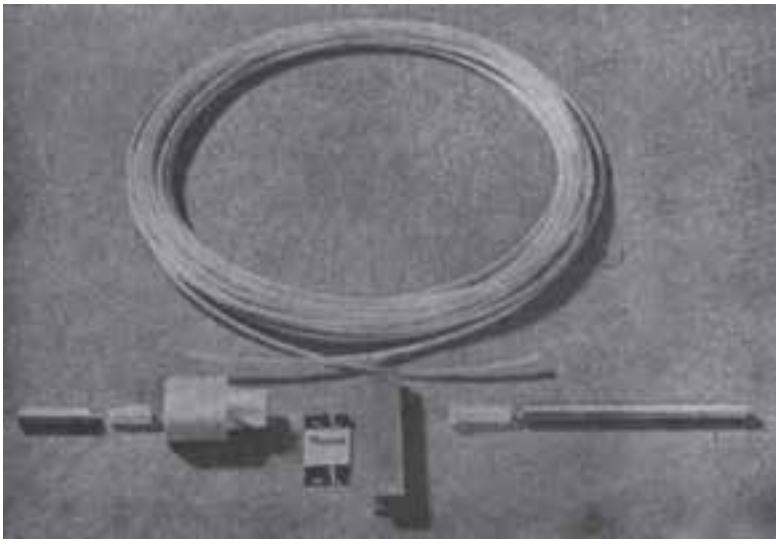
ــ چاشنی نانل که باید خرج موجود در چال را منفجر کند و برحسب زمان انفجار به چاشنی‌های فوری، کم‌تأخیری و تأخیری تقسیم‌بندی می‌شود.

ــ لوله نانل که از جنس پلاستیکی محکم ساخته شده است. قطر خارجی لوله ۳ میلی‌متر، قطر داخلی آن ۲ میلی‌متر و وزن هر متر لوله نانل ۵/۵ گرم است. درون لوله اندودی از مواد منفجره به میزان ۰/۰۲ گرم در متر موجود است. موج انفجار درون این لوله با سرعت ۲۰۰۰ متربرثانیه حرکت می‌کند.

ــ رابط نانل که وظیفه آن متصل کردن رشته‌های مختلف نانل به یکدیگر است.

---

۱ــ Nonel



شکل ۵۲ــ۷ ــ اجزای مختلف نانل

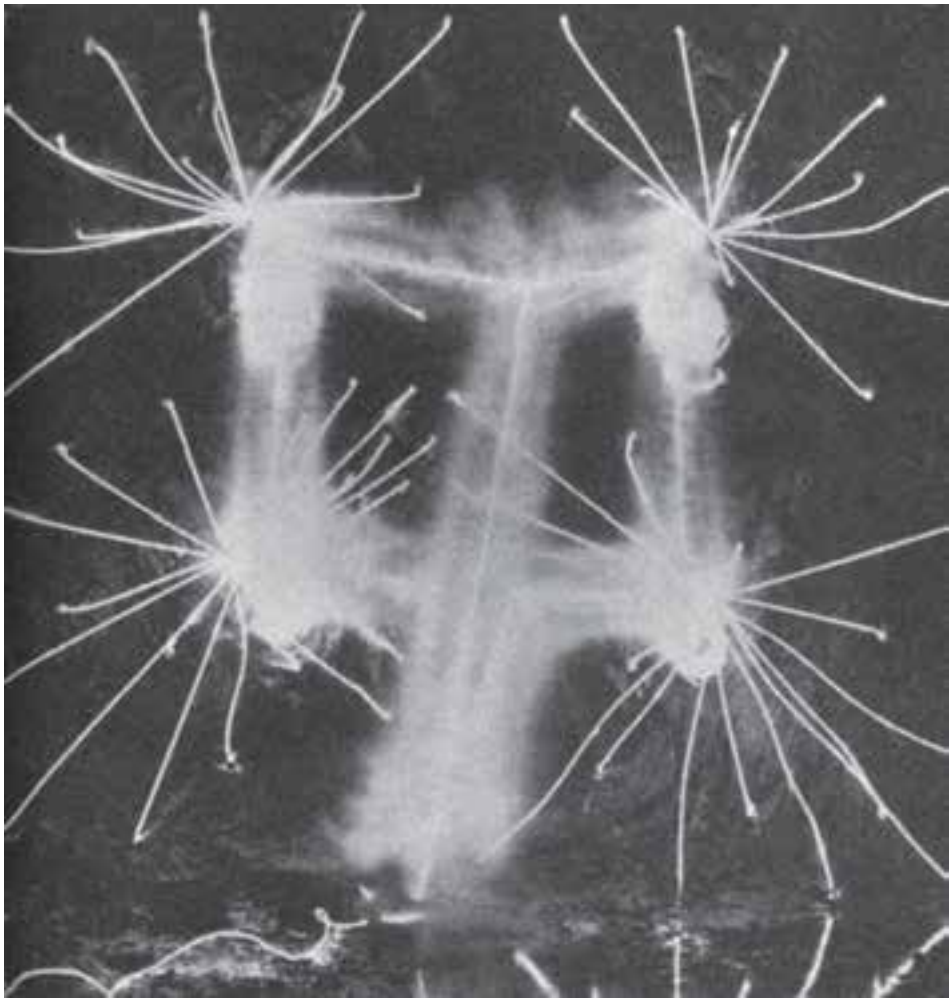
**۱ ــ ۵ــ ۷ــ خرج‌گذاری و انفجار با نانل:** خرج‌گذاری با نانل شبیه چاشنی برقی و شامل مراحل زیر است :

ــ چاشنی داخل یکی از فشنگ‌های خرج گذاشته می‌شود و در ته چال قرارمی‌گیرد و لوله نانل تا بیرون ادامه می‌یابد. لوله‌های نانل با رابط مخصوصی به یکدیگر وصل می‌شوند.

ــ آتش زدن نانل با تفنگ مخصوصی که برای این کار ساخته شده یا با چاشنی برقی انجام می‌گیرد. تفنگ مزبور را در شکل ۵۳ــ ۷ مشاهده می‌کنید. در شکل ۵۴ــ ۷ سینه کار یک تونل در حال آتش شدن را با نانل می‌بینید.

شکل ۵۳ــ۷ــ تفنگ مخصوص آتش کردن نانل

**۲ــ ۵ ــ ۷ــ مزایای نانل:** نانل برای انواع آتشکاری‌ها مناسب است و هر جا که شرایط موجود، آتشکاری با چاشنی برقی یا فتیله انفجاری را ممنوع کند، کاربرد نانل خالی از اشکال است. نانل ضدآب و در محیطی تا درجه حرارت ۵۰+ درجه سانتی‌گراد قابل مصرف است.



**شکل ۵۴ــ۷ــ سینه کار یک تونل در حال آتش شدن با نانل**

## مطالعهٔ آزاد

### ۶ــ۷ــ آتشکاری ثانویه

آتشکاری ثانویه یعنی عمل کردن بر سنگ‌هایی که به علت اندازه بزرگشان در عملیات بعدی مثل خاک‌برداری ــ انتقال و خردکردن خلل ایجاد می‌کنند.

جابجا کردن تکه سنگ‌های بزرگ معمولاً بسیار گران تمام می‌شود و هدف همه آتشکاری‌ها باید جلوگیری از انجام آتشکاری ثانویه باشد. طراحی و اجرای دقیق آتشکاری ممکن است نیاز به آتشکاری ثانویه را به حداقل کاهش دهد.

با آنکه جلوگیری از ایجاد تکه سنگ‌های بزرگ در عملیات آتشکاری اجتناب‌ناپذیر است باید این مشکل در عملیات آتشکاری در نظر گرفته شود.

روش آتشکاری تکه سنگ‌های بزرگ توسط یک یا چند چال انفجاری انجام می‌شود. این چال یا چال‌های انفجاری طوری حفاری می‌شوند که ماده منفجره در مرکز توده سنگ بزرگ جا بگیرد. برای این کار لازم است که این چال یا چال‌ها کمی عمیق‌تر از نصف ضخامت تکه سنگ باشند.

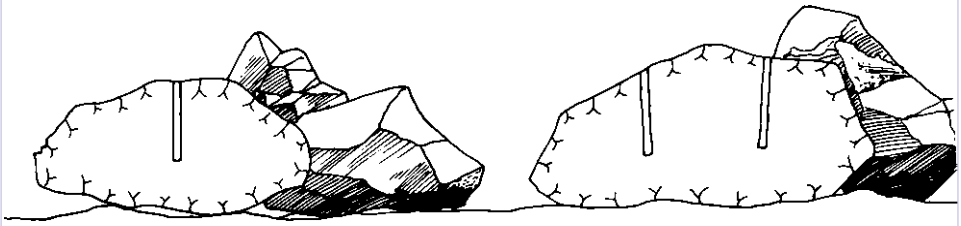
همان‌طوری‌که می‌دانیم این تکه سنگ‌ها ناشی از آتشکاری هستند بنابراین در خلال انفجار در معرض فشار انفجار قرار گرفته‌اند و تعداد زیادی ترک‌های میکروسکوپی دارند بنابراین نسبتاً راحت‌تر از سنگ‌های طبیعی خرد می‌شوند.

جهت آتشکاری تکه سنگ‌هایی که از انفجار بوجود آمده‌اند خرج ویژه حدود ۰/۰۶ kg/cu.m مورد نیاز است.

**آتشکاری ثانویه**

| اندازه تکه سنگ متر مکعب | ضخامت تکه سنگ متر | عمق چال حفاری متر | تعداد چال حفاری | خرج کیلوگرم برای هر چال |
|---|---|---|---|---|
| ۰/۵ | ۰/۸ | ۰/۴۵ | ۱ | ۰/۰۳ |
| ۱ | ۱/۱ | ۰/۵۵ | ۱ | ۰/۰۶ |
| ۲ | ۱/۱ | ۰/۵۵ | ۲ | ۰/۰۶ |
| ۳ | ۱/۵ | ۰/۸۰ | ۲ | ۰/۰۹ |

هنگامی که چند چال انفجاری در یک قطعه سنگ حفر می‌شوند. آتش کردن باید با چاشنی‌های فوری یا چاشنی‌هایی با شماره تأخیر یکسان انجام شود.



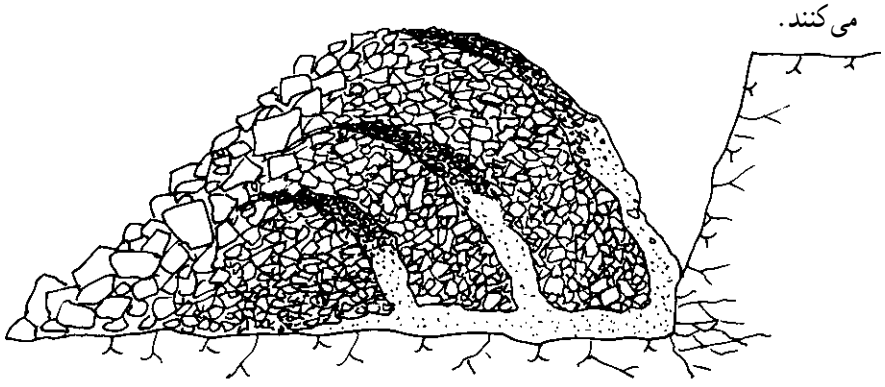
شکل ۵۵ــ۷ــ آتشکاری ثانویه

## ۷ــ۷ــ تورم

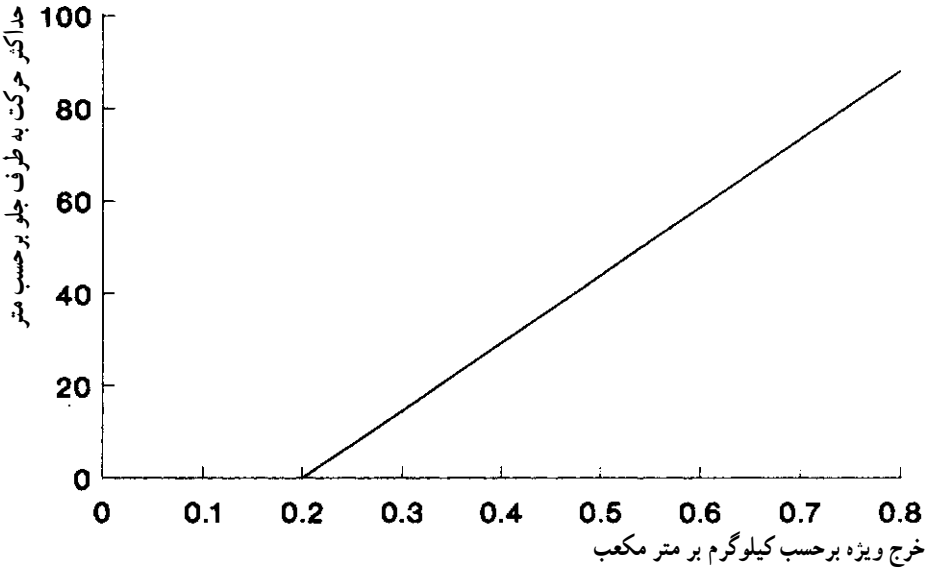
هنگامی که سنگ بر اثر انفجار خرد می‌شود، حجم آن بطور قابل توجه‌ای تا ۵۰٪ افزایش می‌یابد و این عمل تورم نامیده می‌شود. افزایش حجم سنگ نیاز به فضای بیشتری دارد و اگر فضای کافی در جلو وجود نداشته باشد سنگ‌ها به سمت بالا حرکت می‌کنند.

اگر توده منفجر شده قبلی حمل نگردد خرج ویژه باید افزایش یابد. طبق نظریه لانژفورس در کتاب آتشکاری سنگ، خرج ویژه زیادتر برای بلند کردن توده سنگ در شیب چال‌های ۱ :۲ برابر با (ارتفاع پله) k . ۴٪ است. اگر شیب چال تند مثلاً ۱ :۳ باشد خرج ویژه باید بیشتر و به k . ۰/۰۸ برسد. به علاوه، ارتفاع پله نباید بلند باشد در پله‌های بلند باید از خرج ویژه بیشتری استفاده کرد تا تورم را جبران و از پرتاب سنگ جلوگیری کند.

برای انفجارهای با طول زیاد، قاعده عملی وجود دارد که ارتفاع تورم در آن قابل توجه است و آن زمانی است که طول آتشکاری از ۵۰٪ پهنای آن بیشتر باشد. آتشکاران ماهر برای جبران تورم از افزایش خرج‌گذاری در ردیف‌های عقبی استفاده می‌کنند.



شکل ۵۶ــ۷




**شکل ۵۷ــ۷ــ ماکزیمم حرکت به سمت جلو به عنوان یک تابع از خرج ویژه**

## ۸ــ۷ــ پرتاب سنگ

در آتشکاری پله باید میان دو نوع حرکت سنگ تفاوت قائل شد. اول حرکت توده اصلی سنگ به سمت جلو که اساساً افقی است و دوم سنگ‌هایی که از محل انفجار پراکنده می‌شوند.

حرکت به سمت جلو توده منفجر شده به خرج ویژه بستگی دارد. تحقیقات انجام شده به وسیله اسودفو (SVEDEFO)[1] نشان می‌دهد که خرج ویژه ۰/۲ کیلوگرم بر متر مکعب(kg/cu.m) سبب حرکت سنگ به سمت جلو نمی‌شود بلکه فقط سنگ را می‌شکند.

خرج ویژه معمولی ۰/۴ (kg/cu.m) سنگ را ۲۰ تا ۳۰ متر به سمت جلو حرکت می‌دهد که این عمل در جابجایی معمولی توده سنگ مورد انتظار است.

همچنین حرکت اندک به سمت جلو یک توده زبر یا سخت برجا می‌گذارد که به‌سختی خاکبرداری یا بارگیری می‌شود زمانی که حرکت به سمت جلو زیاد شود توده منفجر شده را پخش می‌کند و در نتیجه باعث افزایش هزینه بارگیری می‌شود. حرکت به‌سمت جلو توده سنگ بندرت خطری در عملیات آتشکاری ایجاد می‌کند، اما در صورت عدم محاسبه درست موجب زحمت می‌شود.

---

۱ــ مؤسسه تحقیقات آتشکاری کشور سوئد Swedish Detonic Research foundation

سنگ‌های پرتابی، سنگ‌هایی هستند که از آتشکاری دفع شده‌اند و تمایل به رفتن به فاصله دورتر را دارند و علت اصلی حادثه در محل و خسارت به تجهیزات از عمل این سنگ‌ها ناشی می‌شود.

سنگ‌های پرتابی اکثر ناشی از یک طراحی نادرست یا خرج‌گذاری غلط هستند. تحقیقات انجام شده از سوی اسودفو[1] نشان می‌دهد که حداکثر پرتاب سنگ‌های دفع شده تابعی از قطر چال انفجاری است که برای خرج ویژه داده شده معتبر می‌باشد.

$L_{max}$ برحسب متر $\quad L_{max} \quad ۲۶۰(\frac{d}{۲۵۰})^{\frac{۲}{۳}}$

d برحسب میلی‌متر

## خودآزمایی

۱ــ مراحل آتشکاری چیست؟
۲ــ ابزارهای آتشکاری را نام ببرید.
۳ــ برای انفجار خرج ته چال چه مواردی لازم است؟
۴ــ انواع فتیله اطمینان را ذکر کند.
۵ــ مراحل آتشکاری با فتیله اطمینان و چاشنی معمولی را شرح دهید.
۶ــ موارد ایمنی حین کار با فتیله اطمینان چیست؟
۷ــ هرکدام از وسایل آتش زدن فتیله اطمینان را نام برده و نحوه کار آن را شرح دهید.
۸ــ انواع آتشکاری با فتیله اطمینان را نام ببرید و شرح دهید.
۹ــ آتشکاری با فتیله انفجاری و مراحل آن را شرح دهید.
۱۰ــ آتشکاری تأخیری با فتیله انفجاری را شرح دهید.
۱۱ــ احتیاط‌های لازم در کاربرد فتیله انفجاری چیست؟
۱۲ــ مزایا و معایب فتیله انفجاری چیست؟
۱۳ــ آتشکاری با چاشنی برقی را شرح دهید.
۱۴ــ ساختمان داخلی چاشنی برقی را شرح دهید.
۱۵ــ انواع چاشنی برقی را برحسب زمان انفجار نام ببرید.
۱۶ــ مراحل آتشکاری با چاشنی برقی را شرح دهید.

---

۱ــ SVEDEFO

۱۷ــ انواع روش‌های به هم بستن چاشنی‌ها را نام برده شرح دهید.
۱۸ــ عیب‌یابی مدار انفجار چگونه صورت می‌گیرد؟
۱۹ــ سیم آتش و ماشین آتش‌کن چیست؟
۲۰ــ مزایا و معایب آتشکاری برقی چیست؟
۲۱ــ سیستم آتشکاری با نانل را شرح دهید و مزایا و معایب آنها را بگویید.

## مطالعهٔ آزاد

۲۲ــ آتشکاری ثانویه را توضیح دهید.
۲۳ــ تورم چیست؟
۲۴ــ علل پرتاب سنگ در آتشکاری را بررسی نمایید.