دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک
گروه استخراج معدن

سمینار درس آتشباری پیشرفته

آتشباری کنترل‌شده و کاربردهای آن

تهیه و تنظیم:
محسن حاجی‌حسنی

استاد راهنما:
جناب آقای دکتر جلالی

بهار و تابستان ۱۳۸۴

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

پیش‌گفتار ۱
۱- مقدمه ۲
۲- مکانیزم‌های ایجاد عقب‌زدگی ۴
۲-۱- شکست توسط Cracking , Crushing ۵
۲-۲- خردشدگی توسط پوسته شدن ۵
۲-۳- بازشدگی ترکها توسط گازها ۶
۳- تئوری انفجار کنترل‌شده ۷
۴- انواع روشهای آتشباری کنترل‌شده ۹
۴-۱- روش آتشباری حفاری خطی ۱۰
۴-۲- روش آتشباری ضربه‌گیر ۱۳
۴-۳- آتشباری کنترل‌شکاف ۱۶
۴-۴- آتشباری پیش‌شکافی ۱۸
۴-۴-۱-تئوری پیش‌شکافی ۲۰
۴-۴-۲- روش اجرای آتشباری پیش‌شکافی ۲۲
۴-۴-۳-خصوصیات روش پیش‌شکافی ۲۷
۴-۴-۴- مکانیزم بوجود آمدن شکاف در آتشباری پیش‌شکافی ۲۹
۴-۴-۵- سایر کاربردهای آتشباری پیش‌شکافی ۳۵
۴-۴-۶- مطالعه موردی: کاربرد روش پیش‌شکافی در ایران ۳۶
۴-۴-۷- نکاتی دیگر در مورد پیش‌شکافی ۳۹
۴-۵-آتشباری بالشتکی ۴۱
۴-۵-۱-جزئیات آتشباری بالشتکی ۴۲
۴-۵-۲-مزایا و معایب آتشباری بالشتکی ۴۶
۴-۶-آتشباری آرام ۴۸
۴-۶-۱- جزئیات آتشباری آرام ۵۱
۴-۶-۲-آتشباری آرام در حفر ترانشه ۵۷
۴-۶-۳- مزایا و معایب آتشباری آرام ۵۸
۵- جنبه‌های اقتصادی آتشباری کنترل‌شده ۵۹
۶- روشهای ترکیبی ۶۰
۷- عوامل مؤثر در نتایج آتشباری کنترل شده ۶۱

۷-۱-خصوصیات ماده منفجره ۶۱
۷-۱-۱- مواد مورد استفاده در آتشباری کنترل‌شده: ۶۱
۷-۱-۲-فشار چال ۶۵
۷-۲- خصوصیات زمین شناسی ۶۵
۷-۲-۱- میزان شکستگی ۶۵
۷-۲-۲- فاصله شکافها ۶۶
۷-۲-۳- جهت درزه‌ها ۶۷
۷-۲-۴- شرایط درزه‌ها ۶۸
۷-۳- طراحی آتشباری ۶۸
۷-۳-۱- حفر چال‌های کنترل ۶۸
۷-۳-۲- آرایش و خرجگذاری چالهای کنترل ۶۹
۷-۳-۳- آرایش و خرجگذاری چالهای ضربه‌گیر ۶۹
۷-۳-۴- سیستمهای آتشباری ۷۰
۸- ارزیابی آتشباری کنترل شده با ضریب HCF ۷۱
۹- پیشرفت‌های آتشباری کنترل‌شده ۷۲
۹-۱- پیش‌بـــرش بـا Air Spacers ۷۲
۹-۲- آتشباری Rip Rap ۷۳
۹-۳- آخرین دستاوردها ۷۴
۱۰- خلاصه و نتیجه ۷۶
پیوست I شیوه حفر مغارهای طرح توسعه نیروگاه سد مسجدسلیمان ۷۹
۱- مشخصات پروژه ۸۰
۲-حفریات زیرزمینی ۸۰
۳- مشخصات عمومی مغار نیروگاه طرح توسعه ۸۳
۴- شیوه حفر مغار نیروگاه ۸۴
۵- مراحل حفاری و مسیرهای تردد مغار نیروگاه طرح توسعه ۸۶

پیوست II
استخراج سنگهای ساختمانی به وسیله روشهای آتشباری آرام و آتشباری پیش‌شکافی ۹۵
۱- استخراج سنگ ساختمانی بوسیله روش آتشباری آرام ۹۵
۲- پیش‌شکافی در استخراج سنگهای ساختمانی ۹۷
منابع ۱۰۰

فهرست اشکال

صفحه

شکل ۳-۱ تنشهای ایجاد شده در اثر انفجار دو چال مجاور هم و تاثیر متقابل آنها ۷

شکل ۳-۲ انواع چالها به تفکیک نقش در آتشباری کنترل‌شده ۸

شکل ۴-۱ حفاری خطی ۱۰

شکل ۴-۲ بکارگیری روش چالهای خالی ۱۲

شکل ۴-۳ نمایی شماتیک از روش آتشباری ضربه‌گیر ۱۳

شکل ۴-۴ آرایش چالها در روش آتشباری ضربه‌گیر ۱۴

شکل ۴-۵ ابعاد شیار در چالهای کنترل ۱۶

شکل ۴-۶ قطعه شیاردهنده سوار بر میله حفر چال ۱۷

شکل ۴-۷ آرایش و نوبت انفجار در چالهای تولید و پیش‌شکافی ۱۹

شکل ۴-۸ آرایش و نوبت انفجار در چالهای تولید و پیش شکافی ۲۰

شکل ۴-۹ یک الگوی ساده از روش آتشباری پیش‌شکافی ۲۱

شکل ۴-۱۰ تئوری پیش‌شکافی ۲۲

شکل ۴-۱۱ چالهای کمکی در روش آتشباری پیش‌شکافی ۲۳

شکل ۴-۱۲ انفجار چالها با تأخیر بسیار کم در صورت وجود مشکل لرزش ۲۳

شکل ۴-۱۳ مقدار فاصله‌داری و بارسنگ در آتشباری پیش‌شکافی ۲۳

شکل ۴-۱۴ تعیین فواصل بین چالهای پیش‌شکافی برای انواع مختلف سنگ ۲۵

شکل ۴-۱۵ پوشاندن چالها در روش آتشباری پیش‌شکافی ۲۶

شکل ۴-۱۶ تغییرات فشار دینامیکی بر دیواره چال بر حسب زمان ۳۰

شکل ۴-۱۷ تغییرات ناشی از موج ضربه در فاصله معین برحسب زمان ۳۰

شکل ۴-۱۸ بوجود آمدن شکاف در اثر فشارهای دینامیکی ۳۲

شکل ۴-۱۹ مراحل مختلف ایجاد شکاف در آتشباری پیش‌شکافی ۳۳
شکل ۴-۲۰ مکانیزم اعمال فشار تولید شده بر دیواره چال ۳۳
شکل ۴-۲۱ ۳۷
شکل۴-۲۲ ۳۸
شکل ۴-۲۳ ۳۸
شکل ۴-۲۴ ۴۰
شکل ۴-۲۵ ۴۰
شکل ۴-۲۶ ۴۰
شکل ۴-۲۷ یک الگوی ساده از روش آتشباری بالشتکی ۴۱
شکل ۴-۲۸ نحوه خرجگذاری در روش آتشباری بالشتکی ۴۲
شکل ۴-۲۹ (الف) حفر چال خالی در سرپیچ در روش آتشباری بالشتکی (ب) حفر چال خالی و چال خرجگذاری شده در روش آتشباری بالشتکی ۴۴
شکل ۴-۳۰ طریقه خرجگذاری چالهای کنترل در روش آتشباری بالشتکی ۴۵
شکل ۴-۳۱ ترکیب چال خالی و چال خرجگذاری شده در روش آتشباری بالشتکی ۴۶
شکل ۴-۳۲ منطقه شکسته شده حاصل از : آتشباری مواد منفجره معمولی (الف) و آتشباری آرام با گوریت ۵۰۰ × ۱۷ میلیمتر (ب) ۴۸
شکل ۴-۳۳ چالهای مجاور چالهای پیرامون ممکن است خسارت بیشتری به دیواره نسبت به چالهای پیرامون وارد کنند. ۴۹
شکل ۴-۳۴ چالهای مجاور بایستی به دقت منفجر گردند. ۴۹
شکل ۴-۳۵ سرعت لرزش V به عنوان تابعی از فاصله R با تراکم خرج مختلف ۵۰
شکل ۴-۳۶ گسترش شکستگی با مواد منفجره مختلف ۵۰
شکل ۴-۳۷ فشار گاز توپی را با نیروی هر چه بیشتر به دیواره چال قفل می‌کند ۵۱
شکل ۴-۳۸ خرجگذاری فشنگهای مواد منفجره با پره‌های پلاستیکی برای جلوگیری از تماس خرج با دیواره چال در آتشباری آرام ۵۲

شکل ۴-۳۹ خرج ته‌چال در چالهای کناری آتشباری آرام ۵۲

شکل ۴-۴۰ شکستگی جدار تونل در جایی که $\frac{S}{B}=2$ باشد. ۵۳

شکل ۴-۴۱ تولید شکاف بین چالهای متوالی در جایی که $\frac{S}{B}=0.5$ باشد. ۵۴

شکل ۴-۴۲ چالهای کنترل با فاصله زمانی بیش از ۱۰۰ میلی‌ثانیه و یک‌به‌یک آتش شده‌اند ۵۶

شکل ۴-۴۳ چالهای کنترل با چاشنی کم‌تاخیری کمتر از ۱۰۰ میلی‌ثانیه آتش شده‌اند. سطح بوجود آمده صافتر از حالت قبلی است ۵۷

شکل ۴-۴۴ چالهای کنترل با چاشنی فوری آتش شده‌اند، در این حالت سطح باقیمانده صافتر از حالات قبلی است ۵۷

شکل ۴-۴۵ آرایش چالهای تولید و چالهای آتشباری آرام در حفر ترانشه ۵۸

شکل ۵-۱ تونل آبی ۵۹

شکل ۶-۱ ترکیب‌هایی از روشهای آتشباری کنترل شده در زوایای ۹۰ درجه ۶۰

شکل ۷-۱ یک نوع خرجگذاری برای آتشباری کنترل‌شده با قطر چالهای متفاوت ۶۲

شکل ۷-۲ خرجگذاری با کرتکسهای با خرج مرکزی بالا در چالها برای آتشباری کنترل شده ۶۲

شکل ۷-۳ فاصله‌گذار چوبی برای خرجگذاری ناپیوسته آنفو با قطرهای بزرگ ۶۳

شکل ۷-۴ نتایج حاصل از اجرای تکنیک آتشباری کنترل‌شده presplitting با در نظر گرفتن فاصله کوتاه بین چال‌های کنترل ۶۶

شکل ۷-۵ نتایج حاصل از اجرای تکنیک presplitting با در نظر گرفتن فاصله بسیار زیاد بین چال‌های کنترل ۶۶

شکل ۷-۶ اجرای آتشباری پیش‌شکافی در حالتی که درزه‌ها عمود بر امتداد ردیف چالهای کنترل و سطح آزاد می‌باشند ۶۷

شکل ۷-۷ اجرای آتشباری پیش‌شکافی هنگامیکه درزه‌ها دارای زاویه کمتر از ۱۵ درجه نسبت به سطح آزاد باشند ۶۸

شکل۷-۸- محاسبه چالهای ضربه‌گیر ۷۰

شکل ۸-۱ بدست آوردن ضریب HCF ۷۱

شکل ۹-۱ روش پیش برشی ADP با ستون هوا ۷۲
شکل ۹-۲ کاربرد روش برای انواع مختلف آتشباریها ۷۴
شکل ۹-۳ اصول ایجاد صفحه شکاف در حفاری ترک‌دار ۷۵
شکل ۱۵-۴ فشار چال به عنوان تابعی از مقدار خرج مصرفی برای بعضی از مواد منفجره ۷۵

پیوست ۱

شکل ۱ نقشه دوبعدی جانمایی تونلها ۸۲
شکل۲ نقشه سه‌بعدی جانمایی تونلها ۸۲
شکل ۳ مقطع عرضی مغارها و نقشه زمین‌شناسی آنها ۸۳
شکل ۴ مراحل حفر مغار نیروگاه سد مسجد سلیمان ۸۶
شکل ۵ نقشه انفجار ادیت دسترسی به مغار نیروگاه ۸۸
شکل ۶ نقشه انفجار سقف مغار نیروگاه ۸۹
شکل ۷ نقشه انفجار قسمت بالایی ادیت دسترسی تا سقف مغار نیروگاه ۸۹
شکل ۸ نقشه انفجار عملیات کف‌برداری مغار نیروگاه ۹۰

پیوست ۲

شکل ۱ مرحله اول استخراج بلوک ۹۶
شکل ۲ مرحله دوم استخارج بلوک ۹۶
شکل ۳ مرحله سوم استخراج بلوک ۹۷
شکل ۴ مرحله چهارم استخراج بلوک ۹۷
شکل ۵ خرد شدن سنگ در سر پیچ(الف)کنترل خرد شدن در سر پیچ (ب) ۹۸
شکل ۶ شکاف بوجود آمده(الف)کنترل شکاف با خرجگذاری نکردن چالهای انتهایی(ب) ۹۹
شکل ۷ خرد شدن سنگ در سطح آزاد(الف) کنترل خرد شدن در سطح آزاد (ب) ۹۹

فهرست جداول

صفحه

جدول ۲-۱ سرعت جزئی بحرانی انواع سنگ‌های متفاوت ۶

جدول ۴-۱ خرجگذاری و فاصله پیشنهادی جهت روش پیش‌شکافی ۲۵

جدول ۴-۲ خرج ته‌چال توصیه شده برای چالها با عمق مختلف ۲۶

جدول ۴-۳ آرایش و خرجگذاری چالها در آتشباری پیش‌شکافی (Du Pont) ۳۴

جدول ۴-۴ آرایش و خرجگذاری چالها در آتشباری پیش‌شکافی (نیترونوبل) ۳۴

جدول ۴-۵ آرایش و خرجگذاری چالها در آتشباری پیش‌شکافی (تامراک) ۳۵

جدول ۴-۶ آرایش و خرجگذاری چال در آتشباری Cushion Blasting ۴۳

جدول ۴-۷ ۵۱

جدول ۴-۸ خرج ته‌چال در تونلها ۵۳

جدول ۴-۹ مقادیر B , S در آتشباری آرام در تونل برای دو نوع سنگ ۵۴

جدول ۴-۱۰ آرایش چالها در آتشباری تونلها ۵۵

جدول ۴-۱۱ آرایش و خرجگذاری چالها در آتشباری آرام ۵۵

جدول ۴-۱۲ حداقل تراکم خرج در آتشباری آرام ۵۶

جدول ۴-۱۳ خرجگذاری چالهای ضربه‌گیر ۵۷

جدول ۷-۱ برخی از مواد منفجره مناسب آتشباری کنترل‌شده ۶۴

جدول ۱۰-۱ آسیب احتمالی ناشی از اجرای روش کنترل آتشباری برای دیواره جدید و حلهای آن ۷۷

پیوست ۱

جدول ۱ مشخصات فنی تونلها ۸۱

جدول ۲ حجم تقریبی خاکبرداری و مصرف دینامیت و آنفو در مراحل مختلف حفاری مغار نیروگاه طرح توسعه ۸۷

پیش گفتار :

از جمله مسایلی که همواره ذهن معدنکاران را به خود مشغول داشته است، اثرات حاصل از آتشباری می‌باشد. فعالیتهای زیادی جهت کاهش میزان تخریب سنگ برجا در اثر آتشباری در عملیات استخراج صورت گرفته است که یکی از نتایج آن ابداع روشهای مختلف انفجارات کنترل شده می‌باشد که امروزه تعداد آنها به بیش از ۵۰ روش می‌رسد.

امروزه انجام انفجارات کنترل شده در صنعت معدنکاری و مهندسی عمران جزء لاینفک انجام هر پروژه‌ای از قبیل حفر تونل، سد سازی، ایجاد شیب مناسب در معادن روباز، ایجاد ترانشه‌های جاده‌ای و غیره است. در تونلسازی و حفر فضاهای زیرزمینی آتشباری دقیق حایز اهمیت فوق‌العاده‌ای است چراکه محل شکستگی‌ها اغلب با بتن که پرهزینه است پر خواهد شد و درصورت اجرای آتشباری ناموفق، هزینه‌ها به طور چشمگیری افزایش خواهد یافت.

در سالهای اخیر در کشور ما پیشرفتهای بسیار زیادی در زمینه حفر تونلها و همچنین صنعت سدسازی دیده می‌شود که استفاده از آتشباری کنترل‌شده جزء جدانشدنی انجام این پروژه‌ها می‌باشد و تحقیق بیشتر در این زمینه ضروری می‌باشد.

در پایان وظیفه خود می‌دانم از استاد گرانقدر خود جناب آقای دکتر جلالی که بنده را در طول تهیه مطالب این سمینار با صبر و حوصله راهنمایی نمودند کمال تشکر و امتنان را داشته باشم.

محسن حاجی‌حسنی

بهار و تابستان ۱۳۸٤

۱- مقدمه

با طراحی انفجار کنترل‌شده می‌توان یک دیواره سنگی شیبدار صاف و مستحکم را برای کاهش مشکلات ایجاد کرد.

مقدار زمان و دقت صرف شده در گسترش و تکمیل طرحهای کاربردی آتشباری و ضریب اطمینان مورد نیاز دیواره، در برابر ریزشهای آتی تعیین می‌شود. اینکه چه مقدار اطمینان مورد نیاز می‌باشد سؤالی است که همواره مطرح است. جواب این سوال به فاکتورهای محلی ذیل بستگی دارد:

- شرایط زمین‌شناسی و آب‌شناسی
- شکل شیب
- مدت زمان نیاز به دیواره شیبدار سنگی (یک سال، ۵ سال، یا بیشتر)
- هزینه استخراج

از نقطه نظر تولیدی هدف انفجارهای کنترل‌شده دیواره‌های سنگی، دستیابی به یک دیواره صاف می‌باشد. این امر به واسطه فاکتورهای بسیاری که در تخریب دیواره مؤثر می‌باشند، بررسی می‌شود. برای کاربردی ساختن طراحی‌ها، بایستی مطالعات اساسی و دقیقی از مکانیزم‌های شکست دیواره و نیز محدودیتهای موجود در روشهای مختلف کنترل دیواره وجود داشته باشد. به علاوه طرح باید بر اساس معیارهایی به دقت تکمیل، ارزیابی و موشکافی شود.

چهار فاکتور اصلی ذیل در استحکام و کنترل پایداری مؤثر می‌باشند:

- زمین‌شناسی
- طرح دیواره سنگی شیبدار
- الگوی انفجار
- کنترل عملیات به منظور تکمیل طرح

به طوری که مشاهده می‌شود، در پایداری و استحکام دیواره‌ها، زمین‌شناسی محلی از پارامترهای اساسی می‌باشد که باید در انفجار کنترل‌شده به آن دقت کافی شود تا منجر به آسیب محدوده دیواره نگردد.

هنگام ارزیابی ساختمان توده‌سنگ، نوع، اندازه، استحکام، جهت‌یابی (امتداد و شیب)، پرشدگی و تناوب شکستگی‌ها بایستی در نظر گرفته شوند.

پایداری شیب سنگی تابعی از مقاومت برشی، کششی و فشاری توده‌سنگ می‌باشد. در طول مرحله استخراج با شناسایی بیشتر شرایط محلی، شیب نهایی اصلاح می‌شود. همچنین تغییرات طرح معدن، مقدار شیب را تغییر می‌دهد. پارامترهای کلیدی طراحی از قبیل شیب، عمق معدن، ارتفاع پله، زاویه شکست و عرض پله مقدار شیب نهایی را مشخص می‌کنند.

بعضاً بیش از ۸۵ درصد انرژی انفجاری در جهت کاهش مقاومت ساختمانی توده‌سنگ تلف می‌شود و مابقی انرژی صرف فرآیند خردشدگی و حرکت توده‌سنگ می‌گردد. شکاف‌های جدید و سطوح ضعیف ایجادشده و درزه‌ها و سطوح بحرانی که ابتدا در حد بحرانی نمی‌باشند، در اثر بازشدگی مقداری از پیوستگی توده‌سنگ را کاهش می‌دهند و همین امر باعث عقب‌زدگی و باقی‌گذاردن توده ترک‌دار با پتانسیل ریزشی می‌شود. نتایج منفی مشاهده‌شده عبارتند از :

- اختلاط بیشتر باطله و ماده معدنی درمعادن فلزی
- افزایش هزینه‌های بارگیری و باربری در اثر حجم بالای توده‌سنگ
- افزایش در هزینه بتن در مهندسی عمران، تونل‌ها، تاسیسات هیدروالکتریک، انبارهای ذخیره‌سازی، فونداسیون‌ها، دیواره‌ها و غیره
- ضرورت استفاده از نگهداری و حصول اطمینان از سالم بودن توده‌سنگ
- ریزش قسمت‌های ناپایدار به محوطه کاری بواسطه بازشدگی شکستگی‌ها و درزه‌های توده‌سنگ افزایش می‌یابد.

همچنین در معدنکاری روباز، آتشباری کنترل‌شده در شیب نهایی توده‌سنگ دارای مزایای ذیل می‌باشد :

- افزایش زاویه شیب دیواره سنگی باعث کاهش نسبت باطله به ماده معدنی می‌گردد.
- کاهش احتمال ریزش، کم کردن نیاز به پله‌های عریض و افزایش ایمنی تولید و کار

در همین حال، در عملیات‌های زیرزمینی، بکارگیری انفجارهای کنترل‌شده دارای مزایای ذیل می‌باشد:

- تهویه بهتر بدلیل اصطکاک کمتر هوا در طول دیواره‌های چاه
- افزایش راندمان و ایمنی تولید
- کاهش حجم بتن‌ریزی یا لارده‌گذاری در نگهداری

بنابراین کوشش‌های بعمل آمده در جهت کاربرد آتشباری کنترل‌شده در عملیات مختلف زیرزمینی و روباز از نظر اقتصادی و ایمنی کاملاً توجیه دارند.

۲- مکانیزم‌های ایجاد عقب‌زدگی

مکانیزم‌هایی که برای پیدایش عقب‌زدگی تعریف می‌شوند، دقیقاً با فرایند خردشدگی سنگ که در طول انفجار گسترش می‌یابد در ارتباط می‌باشند.

به منظور کنترل عقب‌زدگی نکات ذیل را بایستی درنظر داشت:

- مقاومت فشاری دینامیکی سنگ (مقاومت توده‌سنگ تحت بار دینامیکی گذرا) نباید از بار خردکننده ماده منفجره بیشتر باشد.
- بکارگیری مواد منفجره مناسب بر حسب نوع سنگ برای جلوگیری از بازشدگی ترکها بوسیله انبساط گازها

ذیلاً به بررسی مکانیزم‌های اساسی شکست که منجر به عقب‌زدگی می‌شود، می پردازیم.

۲-۱- شکست توسط Cracking , Crushing

جاییکه تنش فشاری موج که به صورت شعاعی انتشار می‌یابد از مقاومت فشاری دینامیکی شکست یا نقطه تسلیم سنگ تجاوز کند یک محدوده حلقوی خرد شده در اطراف دیواره چال شکل می گیرد.

در هنگام انتشار امواج فشاری، پوسته استوانه‌ای شکلی از سنگ در اطراف چال انفجاری در معرض تنشهای فشاری و مماسی شدیدی قرار می گیرد. اگر مقدار این تنشها از مقاومت کششی دینامیکی سنگ تجاوز کند، محدوده‌ای با شکستگی‌های زیاد شکل می گیرد. در فاصله‌ای که امواج کرنشی مماسی بطور ناگهانی به اندازه‌ای کم شوند که دیگر نتوانند ترک قابل توجهی را شکل دهند،شکست قطع می‌شود[۳].

۲-۲- خردشدگی توسط پوسته شدن

بر اثر برخورد امواج فشاری به سطح آزاد، امواج کششی انعکاسی بوجود می‌آید. اگر این امواج انعکاسی بقدر کافی قوی باشد پوسته شدن یا ورقه‌ورقه شدن توده‌سنگ از سطح آزاد به طرف چال انفجاری پیش می‌رود. همچنین اگر تنشهای تولید شده بر مقاومت کششی دینامیکی سنگ غلبه کنند، سطح ارتعاشهای تولید شده در انفجار، می‌تواند شکستگی را با پوسته‌پوسته شدن سنگ گسترش دهد. روابطی برای تعیین تنشهای وارده به سنگ براساس مشخصات امواج ارتعاشی ارائه گردیده است که ذیلاً به آنها اشاره می گردد[۳].

$$\sigma = \upsilon \times \frac{E}{VC} = \rho_r . \upsilon . VC$$

σ : تنشهای وارده به سنگ

υ : سرعت جزئی بحرانی

ρ_r.: چگالی سنگ

VC.: سرعت موج طولی

تاثیر نوع مواد پرکننده درزه‌ها و سطوح ناپیوستگی بایستی لحاظ گردد. امواج فشاری و یا کششی که منتقل و منعکس شده اند عبارتند از [۳] :

$$\sigma_t = 2\left(\frac{\sigma_i}{1+n_2'}\right)$$

$$\sigma_r = \sigma_i\left(\frac{1-n_2'}{1+n_2'}\right)$$

n_2' : نسبت امپدانس سنگ و مواد پرکننده

σ_i : تنش کششی موج وارده

σ_t : تنش کششی موج منتقل شده

σ_r : تنش کششی موج برگشتی

سرعت جزئی ماکزیمم طبق رابطه زیر بدست می آید[۳]:

$$V_{crit} = \frac{RT}{\rho_r.VC}$$

جدول ۲-۱ سرعت جزئی بحرانی انواع سنگ‌های متفاوت [۳]

سرعت جزئی بحرانی mm/sec	نوع سنگ / درزه‌ها
٤٠٠	سنگ نرم ، درزه سست
٧٠٠ – ٨٠٠	سنگ متوسط تا سخت ، درزه‌های سست
١٠٠٠	سنگ سخت و محکم ، درزه‌های بسته‌شده

۲-۳- بازشدگی ترکها توسط گازها

گازها در فشار و حرارت بالا،شکستگی‌های ایجادشده توسط امواج فشاری و کششی را توسعه می‌دهند، این امر تاثیر زیادی بر کنترل عقب‌زدگی خواهد داشت. بدین معنی که در سنگ‌های نرم و سنگ‌هایی با شکستگی زیاد، مواد منفجره مصرفی بایستی حجم گاز تولیدی کمی داشته باشند.

۳- تئوری انفجار کنترل‌شده

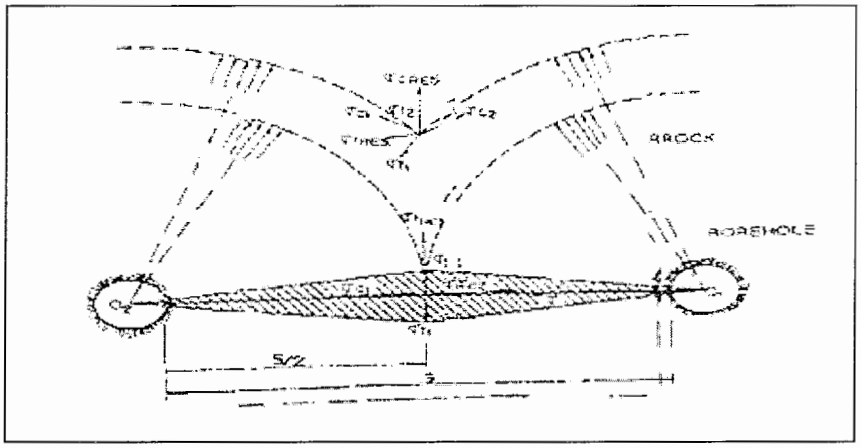
خرجی که بطور کامل چال ایجاد شده را پر می‌کند در جریان انفجار، یک منطقه با تنشهای دینامیکی بالا ایجاد می‌کند و سنگ تحت این تنشها خرد می‌شود. خارج از این زون، نیروی تنشی به همراه امواج فشاری ایجاد شده یک منطقه دایره‌ای‌مانند اطراف چال ایجاد می‌کند.

هنگام انفجار همزمان دو چال خرجگذاری شده، ترکهای شعاعی در همه جهت‌ها بطور یکسان گسترش می‌یابند. زمانی که دو موج فشاری بین دو چال با یکدیگر تلاقی پیدا می‌کنند، نیروهای کششی به طور همزمان ایجاد می‌شوند(شکل ۳-۱). اگر تنشهای کششی از مقاومت کششی دینامیکی سنگ تجاوز کنند، شکاف جدیدی در امتداد برش مورد نظر شکل می‌گیرد و سپس ترک‌های شعاعی گسترش می‌یابند.

در مرحله اخیر گسترش ترک‌ها در اثر ورود گازها به داخل ترک‌ها صورت می‌گیرد. گسترش سطح شکاف و بازشدگی آن توسط گازهای انفجاری، سطح شکافی مطابق با برش طراحی شده بوجود می‌آورد.

فشار گازها یک عنصر کلیدی در اجرای انفجار کنترل‌شده می‌باشد و برای این منظور باید گازها تا زمانی که ترک‌ها و شکستگی‌های مجاور چالهای انفجاری یکدیگر را قطع کنند، محبوس بمانند. برای رسیدن به این منظور باید ارتفاع گل‌گذاری کافی باشد تا از فرار گازها به بیرون از محدوده توده‌سنگ جلوگیری کند.

در نتیجه می‌توان گفت مکانیزم شکست در انفجار کنترل شده توسط دو پدیده متفاوت به دست می‌آید. یکی موج انفجار و دیگری تاثیر گازهای مواد منفجره است که بین هر دو یک رابطه متقابل وجود دارد. [۵]



شکل ۳-۱ تنشهای ایجاد شده در اثر انفجار دو چال مجاور هم و تاثیر متقابل آنها [۵]

چالهای مربوط به آتشباری کنترل‌شده آنطور که در شکل ۳-۲ دیده می‌شود به سه دسته تقسیم می‌شوند:

۱. چالهای مربوط به آتشباری کنترل شده که چالهای کنترل نامیده می‌شوند. (چالهای کناری)
۲. آخرین ردیف چالهای تولید که چالهای ضربه‌گیر نام دارند و نزدیک چالهای کنترل قرار دارند.
۳. سایر چالهای موجود در سینه کار که چال اصلی یا چال تولید (Production Shot) نامیده می‌شوند.

٤- انواع روشهای آتشباری کنترل‌شده

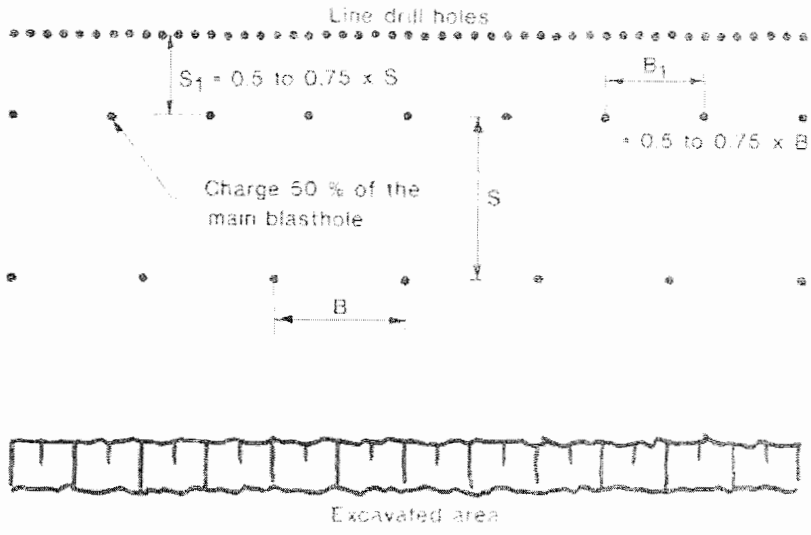
انواع روشهای آتشباری کنترل‌شده به قرار زیر است :

- آتشباری حفاری خطی — Line Drilling
- آتشباری ضربه‌گیر (سپری) — Buffer Blasting
- آتشباری کنترل شکاف — Fracture control
- آتشباری پیش شکافی — Pre splitting
- آتشباری بالشتکی — Cushion Blasting
- آتشباری آرام — Smooth Blasting

٤-١- روش آتشباری حفاری خطی Line Drilling

روش آتشباری حفاری خطی(که به انفجار خطی یا چالهای خالی نیز معروف است) برای کاهش شکستگی و ایجاد دیواره صاف در آتشباری مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش اولین بار در امریکا به کار برده شد و تا سالهای متمادی تنها روش ایجاد دیواره صاف بوده و روشهای دیگر از آن نتیجه شده‌اند. اساس این روش حفر تعدادی چال نزدیک به هم پیرامون محیط محدوده مورد نظر می‌باشد. در این روش آتشباری از روش حفاری در طول یک خط با فاصله نزدیک، جهت ایجاد یک سطح ضعیف که به وسیله چال‌هایی با قطر کوچک در طول حاشیه منطقه استخراج به وجود آمده است و به راحتی در اثر انفجار شکسته می‌شود استفاده می‌گردد .

قطر چال حفاری خطی در این روش نبایستی از ۷۵ میلیمتر یا ۳ اینچ بیشتر باشد و فاصله چالها نیز از ۲ تا ٤ برابر قطر چال نباید بیشتر باشد. دقت در حفاری در جهت کسب نتیجه خوب بسیار مهم است. هر انحرافی در صفحه حفاری اثر معکوس در نتیجه به بار خواهد آورد. چالهای هم جوار با چالهای حفاری خطی معمولاً به هم نزدیکتر هستند و همچنین به خرجگذاری کمتری نیاز دارند. به طور معمول ۲۵ تا ۵۰ درصد کاهش فاصله چالها در ردیف انتهایی (S) و فاصله از ردیف چالهای حفاری خطی(B_1)و ۵۰ درصد کاهش خرج اعمال می‌شود [۲] (شکل ٤-۱).



شکل ٤-۱ حفاری خطی [۲]

خرج بایستی در طول چال به خوبی توزیع گردد. یعنی از امولیت ۱۵۰ و یا دینامکس‌ام فشنگ‌های ۲۰۰×۲۵ که به فتیله انفجاری در طول چال بسته شده‌اند استفاده شود. بهترین نتیجه در تشکیلات هموژن با حداقل درزه و

شکاف و رگه‌های خالص به دست می‌آید. در تشکیلات و سنگهای شکسته، آتشباری آرام و پیش شکافی نتیجه بهتری را به دنبال خواهند داشت. جزئیات کامل این روش به قرار زیر است:

- قطر چالهای خالی معمولاً کمتر از قطر سایر چالها بوده و بین ۵۰ تا ۷۵ میلیمتر (۲ تا ۳ اینچ) می‌باشد.
- فاصله چالهای خالی از یکدیگر ۲ تا ٤ برابر قطر آنها یعنی از ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلیمتر(٤ تا ۱۲ اینچ) تغییر می کند.
- چالهای کناری (خالی) خرجگذاری نمی‌شوند اما اگر از هر چند تا یکی را خرجگذاری و منفجر کنیم ممکن است نتیجه کار رضایت‌بخش‌تر باشد. علت عدم خرجگذاری این ردیف چال، جلوگیری از گسترش امواج انفجار به قمست‌های خارج از محدوده مورد نظر بوده و در حقیقت این ردیف چال باعث ایجاد یک سطح ضعیف شده که پیش از آتشباری براحتی بلوک مورد نظر را از بقیهٔ قسمتها جدا می کند.
- فاصله آخرین ردیف چال‌های اصلی (ضربه‌گیر) از چالهای کناری(خالی) برابر ۵۰ تا ۷۵ درصد فاصله ردیف چالهای اصلی از یکدیگر است و معادل ۵۰ درصد چالهای اصلی تولید خرجگذاری می‌شوند.
- آن تعداد از چالها مفید هستند که کاملاً موازی حفر شده باشند. لذا حفظ امتداد چال در موقع چالزنی بسیار اهمیت دارد.
- برای اینکه دیواره نهایی کمتر آسیب ببیند بهتر است چالهای ضربه‌گیر پس از چالهای تولید و با چاشنی کم‌تأخیری آتش شوند.
- بهترین نتیجه از روش آتشباری چالهای خالی زمانی حاصل می‌شود که در سنگ همگن با حداقل درزه و شکاف و یا هرگونه صفحه ضعیف دیگری انجام شود و در صورت وجود ناپیوستگی در توده‌سنگ، تمرکز تنش برشی در امتداد ردیف چالهای خالی(کنترل) ایجاد شده و در نتیجه از حصول نتیجه مناسب جلوگیری خواهد شد . بنابراین لایه‌های نازک رسوبی و سنگ‌های متامورفیک تحکیم نیافته با اجرای این روش نتیجه مطلوبی به دست نخواهند داد، حتی اگر چالهای خالی عمود بر آنها حفر شده باشند.
- این روش معمولاً درکارهای زیرزمینی وبه تنهایی کاربردی ندارد.
- در بعضی جاها چالهای خالی را با کرتکس خرجگذاری می کنند. این کرتکس‌ها معمولاً دارای ٤ تا ۱۳ گرم خرج مرکزی می‌باشند.

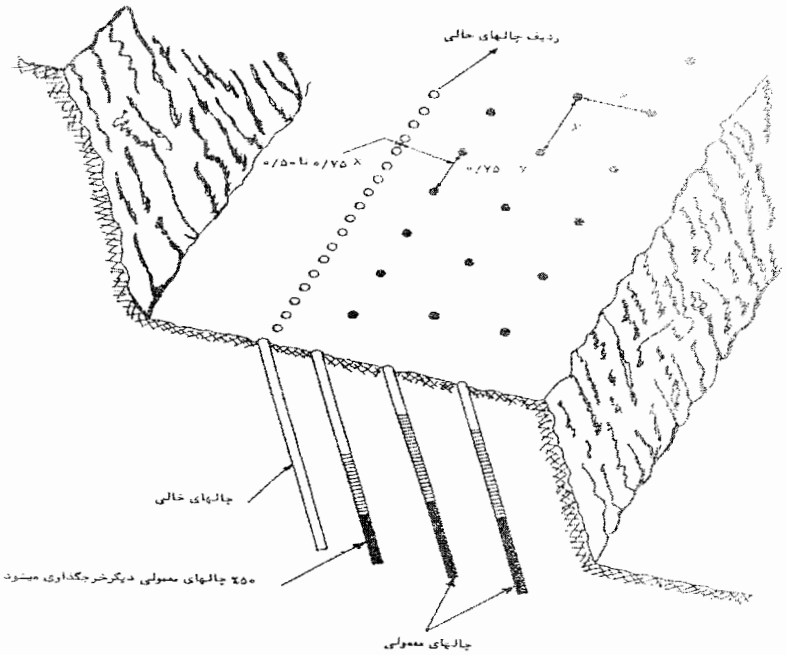
مزایا و معایت این روش به شرح ذیل است [۱]:

مزایا :

- درجاهایی که حتی خرج‌های ضعیف ممکن است به سنگ‌های باقی‌مانده صدمه بزند می‌توان از این روش استفاده کرد.

معایب :

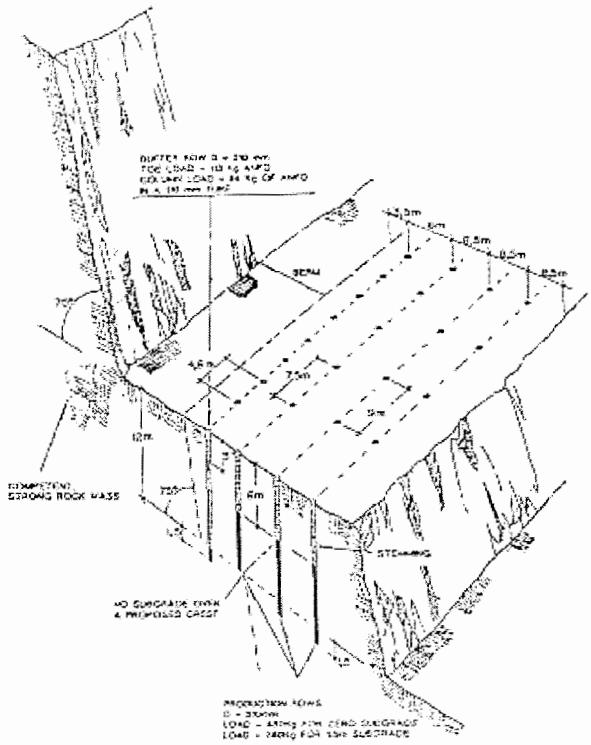
- غیر قابل پیش‌بینی بودن نتیجه آتشباری به جز در سنگهای هموژن
- بالاتر رفتن هزینه حفاری در نتیجه نزدیکتر شدن چالها به هم
- صرف وقت زیاد در نتیجه بیشتر شدن زمان حفاری
- حتی انحراف ناچیز در حفاری سبب یک نتیجه ضعیف می گردد.



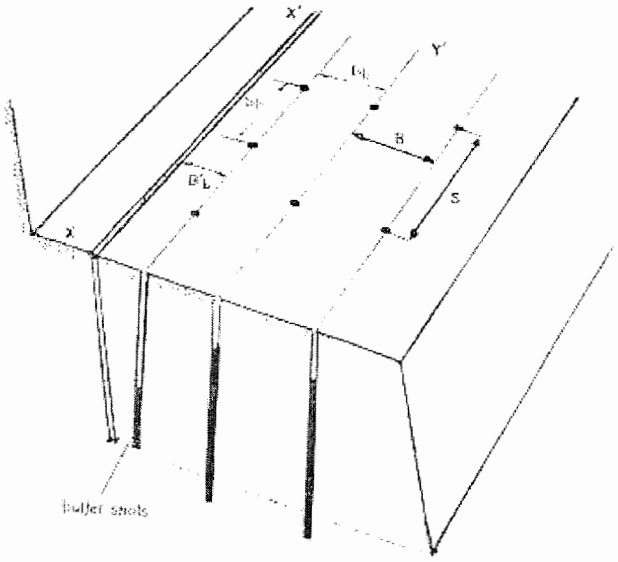
شکل ٤-٢ بکارگیری روش چالهای خالی [۱]

٤-٢- روش آتشباری ضربه‌گیر Buffer Blasting

روش آتشباری ضربه‌گیر(آتشباری سپری یا آتشباری مقاوم) در نزدیک محدوده‌های استخراجی با بعضی از روشهای آتشباری کنترل‌شده مانند پیش‌شکافی یا حفاری خطی به کار می‌رود. برای اجرای آتشباری ضربه‌گیر باید یک ناپیوستگی در محدوده حفاری موجود باشد. ناپیوستگی ممکن است لایه‌بندی و یا گسل طبیعی بوده و یا پیش‌شکافی مصنوعی باشد. مهم این است که به هنگام انفجار چالهای اصلی و چالهای کناری این ناپیوستگی وجود داشته باشد. چالها به موازات ناپیوستگی حفر می‌شوند و اضافه حفاری(Sub drilling) ندارند. در شکلهای ۴-۳ و ۴-۴ یک نمای شماتیک از روش و همچنین آرایش چالها در این روش آتشباری دیده می‌شود. همانطور که از شکل‌ها پیداست فواصل B و S چالهای کناری کمتر از چالهای اصلی می‌باشند و معمولاً مقادیر آنها ۰/۵ تا ۰/۷۵ مقادیر مربوط به چالهای اصلی هستند. قطر و عمق چالهای ضربه‌گیر بستگی به اندازه چالهای استخراجی دارد، ولی این چالها به طور سبک خرجگذاری می‌شوند. قطر خرج این چالها کمتر از قطر چال و فضای بین دیواره چال و خرج را با شن و ماسه پر می‌کنند. چالهای کناری به هنگام عملکرد دارای دو سطح آزاد در طرفین خود می‌باشند. یک سطح آزاد از انفجار چالهای اصلی به وجود می‌آید و دیگری همان ناپیوستگی موجود است . [۱و۳]



شکل ٤-٣ نمایی شماتیک از روش آتشباری ضربه‌گیر[۵]



شکل ٤-٤ آرایش چالها در روش آتشباری ضربه‌گیر [١]

فشار چال در روش انفجار ضربه‌گیر بر اساس پارامترهای هندسی انفجار محاسبه می‌شود[٦].

$$(P_b)_{Bu}=\frac{0.6\times(P_b)_{PR}\times r_{PR}\times B_{Bu}\times S_{Bu}}{r_{Bu}\times S_{PR}\times B_{PR}}$$

که در این رابطه :

P_b : فشار چال

r : شعاع چال

B : اندازه بارسنگ

S : فاصله ردیفی

Bu : نشاندهندهٔ انفجار سپری

PR : نشاندهندهٔ انفجار استخراجی

اگر فشار چال محاسبه شده «چالهای ضربه‌گیر» بیش از ٠/٦ فشار چالهای استخراجی باشد، به منظور کاهش آن بایستی مقدار چگالی خرجگذاری تغییر کند. مقدار چگالی با معادله زیر مشخص می شود[٦]:

$$(C.R)^{2.4}=\frac{(P_b)_{Bu}}{(P_b)_{PR}}$$

اگر ردیف سپری همراه با دیگر روشهای انفجار کنترل‌شده به‌کارگرفته شود فاصله از این ردیف برای ردیف نهایی از رابطه ذیل محاسبه می‌شود[٦]:

$$D_{Bu} = \left[\frac{(P_h)_{Bu}}{(P_h)_{PR}}\right]^{1/2} \times \left[\frac{R_f \times r_{Bu}}{r_{PR}}\right]$$

که D فاصله از ردیف سپری با ردیف روش همراه و R_f فاصله عقب‌زدگی(شعاع شکست) از ردیف تولید است .

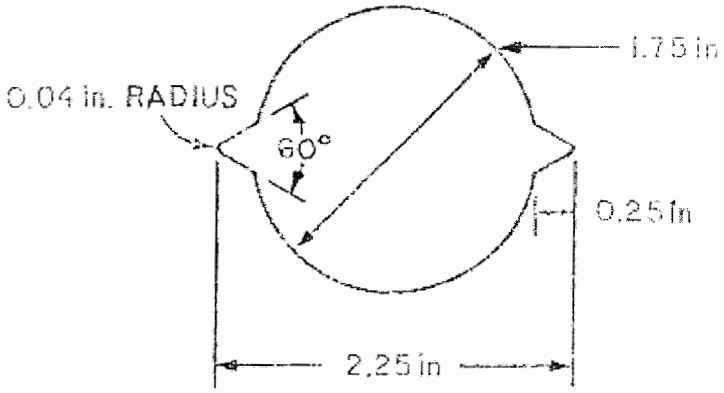
٤-٣- آتشباری کنترل‌شکاف Fracture–Plane Control Blasting

در روش آتشباری کنترل شکاف، با کنترل شکستگی در حقیقت حالتی از پیش‌شکافی را انجام می‌دهیم. در این روش چالهای کناری(پیرامون محدوده مورد نظر) موازی و نزدیک به هم حفر می‌شوند. سپس با ابزار مخصوصی که به دستگاه چالزنی وصل می‌شود، شیاری در چال و در راستای مورد نظر شکستگی به وجود می‌آورند. این شیار موقع انفجار چال به هدایت شکاف در راستای مزبور کمک می‌کند. لذا مقدار خرج کمتری از روش پیش‌شکافی نیاز است و همچنین فاصله چالها می‌تواند بیشتر از روش پیش‌شکافی باشد.

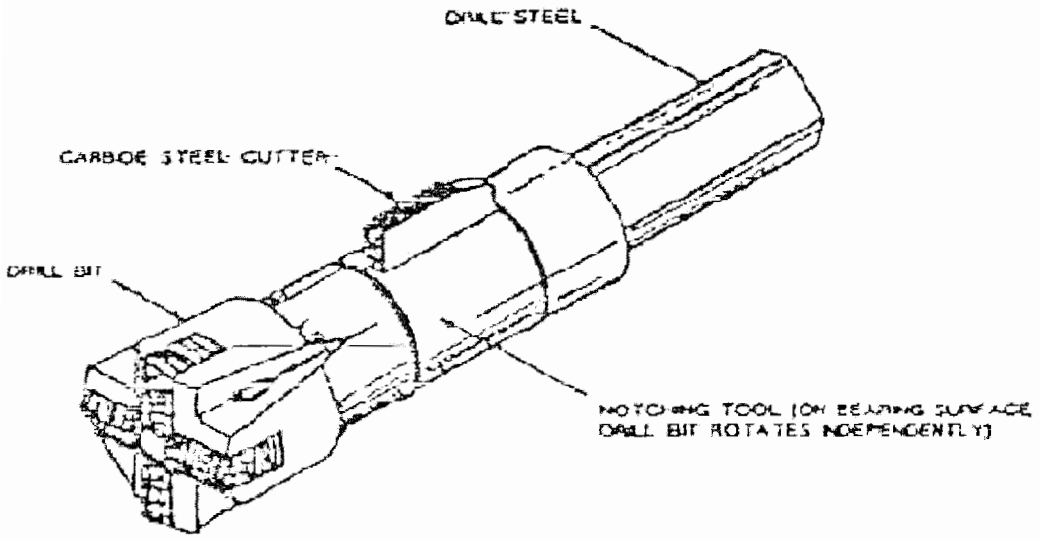
از آنجایی که برای ایجاد شیار باید بعد از حفر چال اقدام نمود و این عمل مستلزم صرف زمان می‌باشد و عملاً بر هزینه‌های حفر چال افزوده می‌شود، به همین علت این روش فقط برای استفاده در موارد ضروری رایج گردیده است.

خرجگذاری باید به صورتی باشد که خرج با دیواره چال تماس پیدا نکند و هنگام انفجار، دهانه چال بسته باشد. مقدار خرج با آزمایش تعیین می‌شود. مثلاً اگر چالها دارای قطر ۳۵ تا ۵۰ میلیمتر باشند، فاصله چالها از یکدیگر ۰/۹ متر و تراکم خرج ۰/۵ تا ۰/۹ کیلوگرم بر متر می‌باشد [۱].

در شکل‌های ٤-٥ و ٤-٦ ابعاد شیار در چال ٤٤ میلیمتری و همچنین قطعه شیاردهنده که روی لوله‌های حفر چال نصب می‌شود مشاهده می‌شود.



شکل ٤-٥ ابعاد شیار در چالهای کنترل ـ قطر چال ٤٤ میلیمتر است [۱]



شکل ٤-٦ قطعه شیاردهنده سوار بر میله حفر چال [٥]

٤-٤- آتشباری پیش‌شکافی

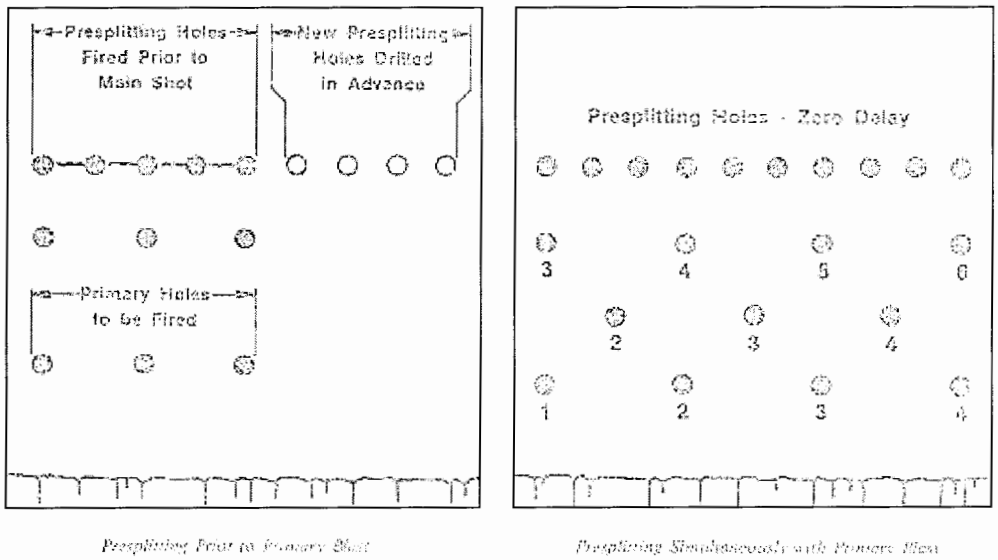
Pre splitting

جدا از خشونت ظاهری که در آتشباری احساس می‌شود، این فن از ضرافتهای خاص خود برخوردار است و یکی از ظرافتهای خاص همانا آتشباری پیش‌شکافی است. امروزه در جهان استفاده از این روش در سازه‌های مختلف معدنی و عمرانی اهمیت ویژه‌ای یافته است و کاربرد روز افزونی دارد. در کشور ما نیز در پروژه‌های مختلف این روش آتشباری به کار گرفته شده است. با استفاده از پیش‌شکافی سطح یا دیواره صاف با کمترین میزان شکستگی و ترک به دست می‌آید. طبعاً چنین سطحی از پایداری بالایی برخوردار خواهد بود.

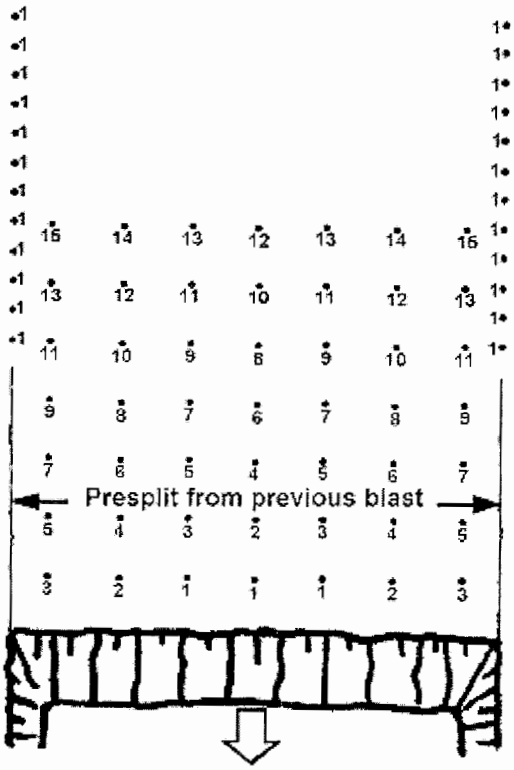
در سازه‌های حساس نیز سطح طراحی شده را توسط پیش‌شکافی می‌توان با کمترین میزان اضافه حفاری (Over Break)بدست آورد. در مقایسه با دیگر روش مشهور آتشباری کنترل‌شده یعنی آتشباری آرام (Smooth Blasting)می‌توان گفت پیش‌شکافی از دقت بالاتری برخوردار است. زیرا پیش‌شکافی در محدوده‌ای که می‌خواهیم استخراج یا حفاری کنیم یک سطح مصنوعی به وجود می‌آورد که سبب می‌شود پس از انفجار، دیواره‌ای صاف با کمی اضافه حفاری یا بدون اضافه حفاری ایجاد گردد[٤].

پیش‌شکافی یعنی ب‌وجود آوردن شکاف در پیرامون محدوده سنگ قبل از انفجار چالهای اصلی و در بعضی موارد قبل از حفر چالهای اصلی. با اجرای عمل پیش‌شکافی یک شکاف بین سنگ مورد استخراج و توده‌سنگ ایجاد می‌شود. پیش‌شکافی در کارهای روباز و زیرزمینی قابل اجراست.

چالهای آتشباری پیش‌شکافی بر عکس چالهای آتشباری آرام، ٥٠ میلی‌ثانیه یا بیشتر، قبل از چالهای اصلی آتش می‌شوند. به هر حال فاصله زمانی انفجار بین چالهای کنترل و چالهای ضربه‌گیر باید ٢٠٠ میلی‌ثانیه یا بیشتر باشد. در شکلهای ٤-٧ و ٤-٨ آرایش و نوبت انفجار در چالهای تولید و پیش‌شکافی دیده می‌شود .



شکل ٤-٧ آرایش و نوبت انفجار در چالهای تولید و پیش‌شکافی [١]



شکل ٤-٨ آرایش و نوبت انفجار در چالهای تولید و پیش شکافی [۲]

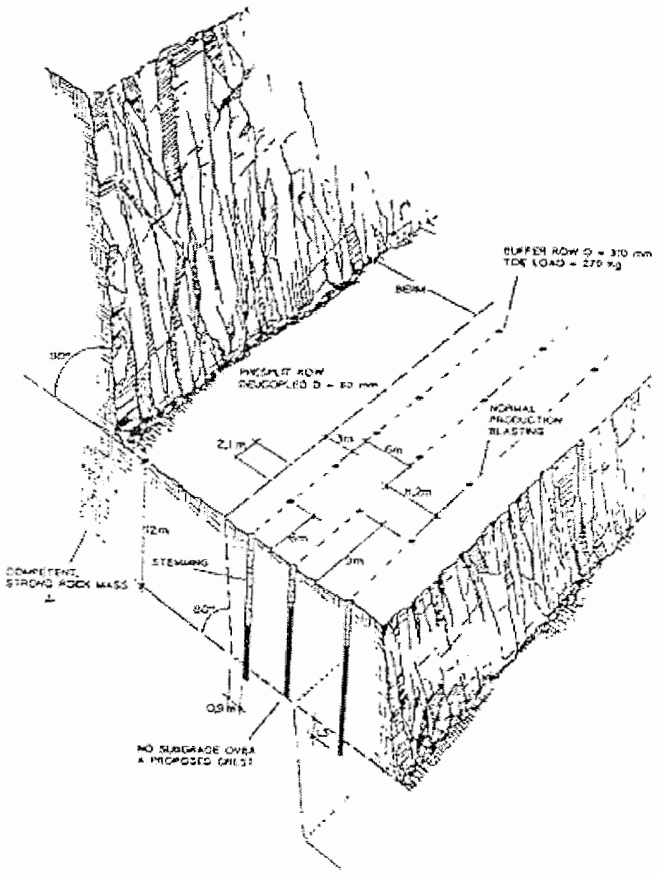
مشخصات سنگ مانند سختی، شکنندگی، وجود درزه و شکاف از عواملی هستند که در پیش‌شکافی مؤثرند . وجود شکاف مانع از لرزش زمین(Ground Vibration)در برابر انفجار چالهای اصلی است. لذا در آتشباری چالهای اصلی می‌توان تعداد تأخیرها را کم کرده و خرج هر تأخیر را بالا برد[۱].

روش پیش‌شکافی در چالهایی با قطر ۵۰ تا ۱۵۰ میلیمتر و عمق ۱۲ تا ۱۸ متر انجام می‌شود. چالهایی با قطر ۲۳۰ تا ۳۱۳ میلیمتر نیز در این روش به کار گرفته شده‌اند که در این صورت باید فاصله ردیفی بزرگتر انتخاب شود. به عنوان الگو فاصله ردیفی (S) ۰/٦ متر تا ۱/۲ متر و با عمق حدود ۱۵ متر به کار می‌رود [۵].

در شکل ٤-۹ یک الگوی ساده از روش دیده می‌شود.

٤-٤-۱-تئوری پیش‌شکافی

هدف از پیش‌شکافی ایجاد یک سطح ترک مصنوعی برای جلوگیری از حرکت موج انفجار به درون تشکیلات سنگی اصلی(باقیمانده) است. این کار با حفاری چال در اطراف محیط آتشباری(بطوریکه محیط را ببندد) در یک ردیف انجام می‌گیرد. تئوری آتشباری پیش‌شکافی این گونه مطرح می‌شود که در اثر انفجار همزمان چالهای پیش‌شکافی خرجگذاری شده، امواج دایره‌ای شکلی به سمت مرکز چال پدید می‌آیندکه در اثر برخورد و تداخل با همدیگر نیروی کششی مناسبی پدید می‌آورند که توسط آن سنگ در بین چالهای

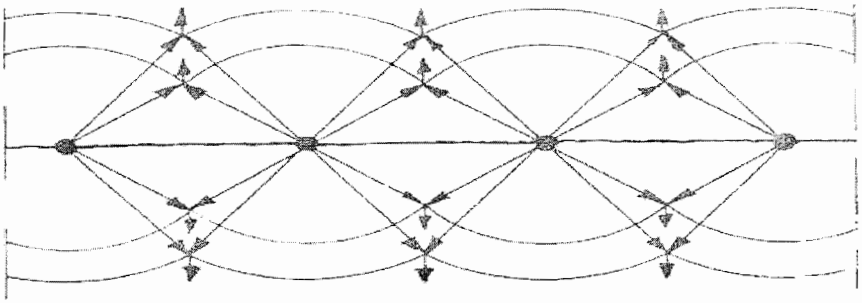


شکل ٤-٩ یک الگوی ساده از روش آتشباری پیش‌شکافی [٥]

پیش‌شکافی ترک می‌خورد. در نتیجه تمام چالها به وسیله این ترک به هم مرتبط می‌شوند و به عبارتی یک سطح شکست به وجود می‌آید. برای نیل به این هدف می‌بایست کلیه چالهای پیش‌شکافی با یک تأخیر زمانی کم یا در کمترین فاصله زمانی نسبت به یکدیگر منفجر گردند. سپس با تأخیرهای بعدی، انفجار خرج اصلی (main charge)صورت می‌پذیرد که قسمت قابل توجهی از موجهای انفجاری مربوط به خرج اصلی توسط سطح پیش‌شکافی شده برگردانده می‌شود و این سطح از عبور آن به درون تشکیلات سنگی پشت سر ممانعت کرده و از ایجاد ترک و شکستگی جلوگیری می‌کند.

با توجه به مطالب فوق می‌توان نتیجه گرفت که نسبت به روشهای دیگر، پیش شکافی در سنگهای هموژن نتایج عالی و در سنگهای نامناسب نتایجی بهتر دارد.

برای کسب بهترین نتیجه در پیش‌شکافی لازم است از فتیله انفجاری یاچاشنی فوری استفاده کرد(برای چالهای پیش‌شکافی)[٤و٢] .

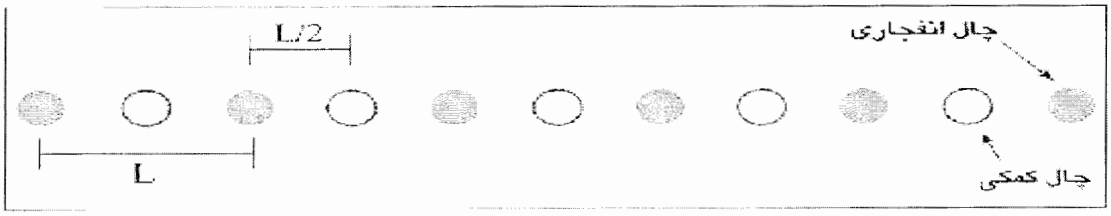


شکل ٤-١٠ تئوری پیش‌شکافی [٢]

٤-٤-٢- روش اجرای آتشباری پیش‌شکافی

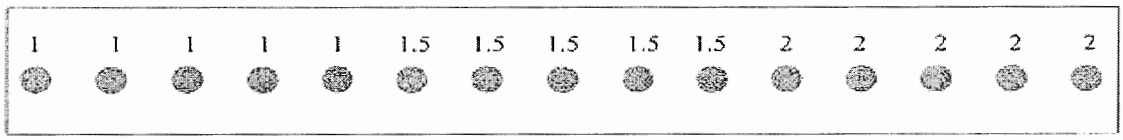
همانگونه که ذکر شد، منظور از پیش‌شکافی بوجود آوردن یک ترک مصنوعی برای جلوگیری از حرکت موج به درون سنگهای باقی‌مانده است. برای نیل به این مقصود، حفاری چالهای انفجاری در اطراف محیط آتشباری(به طوری که محیط را ببندد) یا در یک خط (که طی آن باید یک سطح یکدست بدست آید) در یک ردیف انجام می‌گیرد. این چالها معمولاً خرجگذاری می‌شوند. در این روش ابتدا چالهای پیش‌شکافنده آتشباری می‌شوند. این روش ممکن است با آتشباری اصلی انجام پذیرد، اما با شماره تأخیر کمتری کار می‌شود و نیز گاهی اوقات حفاری پیش‌شکافی محیط آتشباری زودتر از حفاری اصلی انجام می‌گیرد. برای بدست آوردن بهترین نتیجه در شروع باید از چاشنی‌های آنی یا فتیله‌های انفجاری استفاده شود. برای کاهش لرزش زمین و صدای ناشی از انفجار می‌توانیم فاصله بین چالها را کم کنیم. دقت در حفاری برای نتایج نهایی اهمیت زیادی دارد. حتی انحراف کوچکی ممکن است اثر مخالف بر پیش‌شکافی داشته باشد. همان طور که قبلاً اشاره شد بهترین نتیجه به وسیله آتش چالها به طور همزمان با استفاده از فتیله‌های انفجاری به دست می‌آید. طول خطوط پیش‌شکافی ممکن است به چندین تکه تقسیم شده باشد که آنها را با یک تقویت‌کننده تأخیری به هم اتصال می‌دهند. در سنگهایی که مناسب نیستند می‌توانیم به وسیله حفاری چالهای هدایت‌کننده(Guide Hole) بین چالهای خرجگذاری شده در طول سطح برش نتیجه بهتری بگیریم. چالهای هدایت کننده که در بین چالهای خرجگذاری شده قرار دارند در همه نوع تشکیلات سنگی نتیجه بهتری می‌دهند. اما به علت هزینه حفاری، از این روش کمتر استفاده می‌شود [٤] (شکل ٤-١١).

چالهای پیش‌شکافی نسبت به چالهای آتشباری آرام(Smooth blasting) به طور نرمال به هم نزدیکترند. چالها با خرج ویژه سبک شارژ می‌شوند، ولی برای افزایش برش در انتهای چال، قسمت انتهایی چالهای پیش‌شکافی با تمرکز خرجگذاری بیشتری انجام می‌گیرد. قطر خرجگذاری باید کمتر از قطر چال باشد یا به عبارت دیگر فشنگهای خرجگذاری نباید با دیواره چال در تماس باشند. دلیلش این است که حتی‌الامکان از نفوذ موج به دیواره سنگی ممانعت به عمل آید و اثرات مخرب آن به حداقل برسد. تنها تا حدود ٧٥ درصد از ارتفاع چال باید خرجگذاری شود(در صورت خرد بودن سنگ تا حدود ٦٠ درصد هم کاهش می‌یابد) و عمل



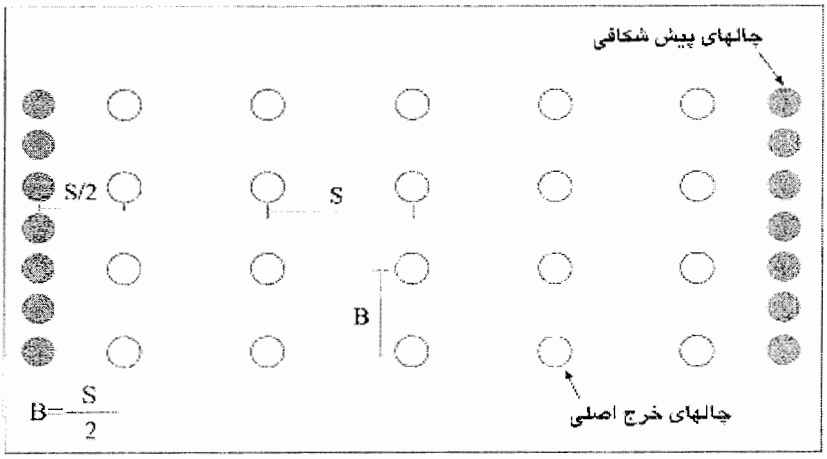
شکل ٤-١١ چالهای کمکی در روش آتشباری پیش‌شکافی[٤]

گل‌گذاری (Stemming) به هیچ عنوان انجام نمی‌گیرد . در جاهایی که مشکل لرزش (Vibration) داشته باشیم می‌توانیم چالهای پیش‌شکافی را با تأخیرهای بسیار نزدیک به هم منفجر کنیم (شکل٤-١٢) . در غیر این صورت تمامی چالهای پیش شکافی را با یک شماره تأخیر منفجر می‌کنیم [٤] .



شکل ٤-١٢ انفجار چالها با تأخیر بسیار کم در صورت وجود مشکل لرزش [٤]

در سنگهایی که چالهای طراحی افقی باشند ممکن است نیاز باشد از مقدار مواد ناریه بیشتری در چالها استفاده شود تا برش بهتری در بخش فوقانی مقطع مورد نظر حاصل شود. فاصله چالهای پیش‌شکافی با چالهای نزدیکش باید نیمی از فاصله چالها در قسمت ردیف باشند(شکل ٤-١٣)[٤] .



شکل ٤-١٣ مقدار فاصله‌داری و بارسنگ در آتشباری پیش‌شکافی [٤] .

در پیش‌شکافی ترانشه‌ها، اغلب برای کاهش اضافه حفاری دو لبه خارجی، یک خط تئوری در نظر گرفته می‌شود. در پیش‌شکافی دو خط موازی اگر فاصله آنها کمتر از چهارمتر باشد، نمی‌توانند به صورت همزمان آتش شوند. چون امواج شوک دهنده در اثر انفجار این دو خط پیش‌شکافی یکدیگر را خنثی می‌کنند و هیچگونه کشش واقعی در شبکه بین خط چالها رخ نمی‌دهد. اگر بخواهیم دو خط پیش‌شکافی موازی را در یک زمان آتش کنیم یکی از خطوط باید حداقل ۵۰ میلی‌ثانیه تأخیر داشته باشد. سه عامل محدود کننده در استفاده از پیش‌شکافی در خط نهایی آتش عبارتند از: لرزش زمین، موج انفجار و صدای آن. لرزش زمین معمولاً نسبت به روشهای دیگر روی خط نهایی اثر بیشتری می‌گذارد. زیرا چالهای پیش‌شکافی فاقد سطح آزاد هستند. موج و صدای انفجار در روشهای دیگر، اثرشان در خط نهایی بیشتر است چرا که چالهای پیش‌شکافی بعد از خرجگذاری، گل‌گذاری و بسته نمی‌شوند و به طور نرمال برای انفجار آنها از فتیله انفجاری استفاده می‌شود. حتی اگر چاشنیهای الکتریکی فوری هم استفاده شود به نظر می‌آید که باز هم با مسأله موج انفجار مواجه باشیم.

نکته ای که نباید از نظر دور داشت این است که در هر سنگ بسته به کاراکتر و خصوصیات آن، خرج ویژه و آرایش و فاصله چالها از یکدیگر تفاوت خواهد داشت. شناخت این پارامترها(خرج ویژه، فاصله بین چال‌ها و...) برای هر سنگ تا اندازه بسیار زیادی می‌تواند کیفیت آتشباری پیش‌شکافی را ارتقاء بخشد [٤] .

در ادامه به بررسی جزئیات کامل این روش می‌پردازیم:

٤-٤-٢-١-فواصل بین چالهای پیش‌شکافی :

فواصل بین چالهای پیش‌شکافی با قطر چال تناسب دارد و تابعی از نسبت مقاومت فشاری به مقاومت کششی به شمار می‌رود. در مورد بسیاری از سنگهای سخت و قوی، این نسبت از ۱: ۱۲ تا ۱ : ۱۵ در نوسان است.

در نمودارشکل ٤-١٤، نسبت فواصل بین چالها با قطر چالها (E/D) بین ۱۱ تا ١٤ می باشد [4A] .

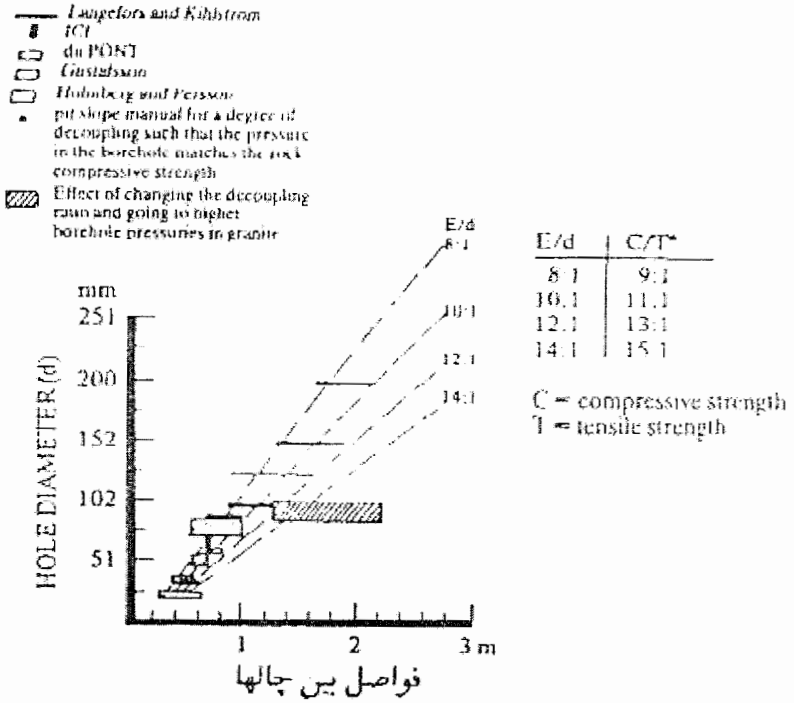
E: فاصله بین چالها (mm)

D : قطر چالها (mm)

$$E=11-13D$$

از طرفی رابطه بین قطر چال و Spacing هم برابر است با :

$$S=8-12D$$



شکل ٤-١٤ تعیین فواصل بین چالهای پیش‌شکافی برای انواع مختلف سنگ [4A]

٤-٤-٢-٢-خرجگذاری چال پیش‌شکافی :

چالهای روش پیش‌شکافی به طور معمول نزدیکتر به همدیگر نسبت به روش آتشباری آرام حفاری می‌گردند و چالها با خرجهای ملایم ویژه «گوریت» خرجگذاری شده و معمولاً با فتیله انفجاری آتش می‌شوند. در جدول٤-١ خرجگذاری و فاصله پیشنهادی جهت روش پیش‌شکافی مشاهده می‌شود.

جدول ٤-١ خرجگذاری و فاصله پیشنهادی جهت روش پیش‌شکافی [٢]

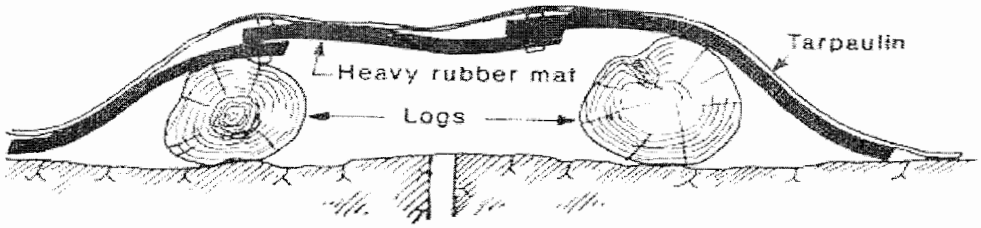
قطرچال انفجاری mm	تراکم خرج cc	نوع ماده منفجره توصیه شده	فاصله چالها S m
٢٥/٣٢	٠/١١	١١mm Gurit	٠/٢-٠/٣
٣٥-٤١	٠/٢٣	١٧mm Gurit	٠/٤-٠/٦
٤١-٥١	٠/٤٦	٢×١٧mm Gurit	٠/٥-٠/٧
٤١-٥١	٠/٤٢	٢٢mm Gurit	٠/٥-٠/٧
٥١-٦٤	٠/٤٥	٢٢mm Emulite	٠/٦-٠/٨

انتهای چال را با تراکم خرج بیشتر جهت افزایش برش خرجگذاری می‌کنند. امولیت ۱۵۰ یا دینامکس‌ام برای چنین منظوری مناسب است. اگر عمق چال کمتر از ۱/۵ متر باشد، کاهش فاصله بین چالها لازم است. خرج ته‌چال توصیه شده برای چالها با عمق مختلف به شرح جدول٤-۲ است [۲] .

جدول ٤-۲ خرج ته‌چال توصیه شده برای چالها با عمق مختلف [۲]

عمق چال	خرج ته چال کیلوگرم
2	0/5
2-4	0/10
4-6	0/20
6-10	0/30

چالها بایستی تا ۳/٤ عمق چال خرجگذاری شوند. چالها در این روش نباید مسدود(گل‌گذاری)شوند. خطر پرتاب سنگ در روش پیش‌شکافی بسیار زیاد است و پوشاندن چالها باید به خوبی انجام گیرد(درصورت لزوم). مواد پوشاننده نبایستی نزدیک سطح سنگ قرار گیرند. فضای خالی برای انبساط گاز بایستی در نظر گرفته شود.



شکل ٤-۱۵ پوشاندن چالها در روش آتشباری پیش‌شکافی [۲]

٤-٤-۲-۳-زمانبندی انفجار :

خط پیش‌شکافی یا پیش از حفر چال انفجار منفجر می‌شود و یا ۱۰۰ یا ۱۵۰ هزارم ثانیه پیش از چالهای انفجاری منفجر می‌شود. آتشباری با تأخیرهای هزارم ثانیه‌ای در انفجار تولیدی معمولاً به صورت مرحله‌ای و ردیف به ردیف صورت می‌گیرد. در این حالت زمانبندی تأخیر خطر ورود مقادیر زیاد گازهای پرفشار به داخل ردیف پیش‌شکافی را در همان زمان از بین می‌برد و ارتعاشات ناشی از انفجار را به حداقل می‌رساند .[4 A]

٤-٤-٣-خصوصیات روش پیش‌شکافی

۱- هدف از آتشباری پیش‌شکافی جدا کردن سنگ مورد آتشباری از توده‌سنگ اصلی با تشکیل یک شکاف بین این دو می‌باشد .

۲- قطر چال بیش از قطر خرج مصرفی می‌باشد. $\varphi_h \geq 2\varphi_c$

۳- کیفیت سنگ مهمترین عامل تعیین کننده در آرایش چالها و مقدار خرج چال است.

٤- در چالهای پیش‌شکافی خرج نباید با دیواره چال در تماس باشد.

٥- اگر از فتیله انفجاری (Detonation Cord) در خرجگذاری استفاده می‌شود باید با تمام فشنگهای موجود در چال در تماس باشد و اگر چاشنی برقی به کار می‌رود بهتر است در ته چال کار گذاشته شود.

٦- در مورد سنگ سخت ۷۵ درصد و برای سنگ سست ٥٥ درصد طول چال خرجگذاری می‌شود.

۷- وجود خرج ته‌چال(bottom Charge) در آتشباری پیش‌شکافی لازم است. اگر انفجار در چند پله متوالی صورت می‌گیرد، از استعمال ماده منفجره قوی به عنوان خرج ته‌چال باید خودداری کرد. اما به هر حال وجود خرج ته‌چال که با دیواره چال در تماس باشد الزامی است.

۸- از نظر تئوری محدودیتی برای حجم کار با روش پیش‌شکافی وجود ندارد. تغییرات زمین‌شناسی توده‌سنگ که آرایش و خرجگذاری‌های متفاوت را در نقاط مختلف لازم دارد، موجب می‌شود که ابعاد توده‌سنگ را محدود اختیار کرد.

۹- بر اساس تئوری مربوط به تشریح پیش‌شکافی که به آن اشاره شد، مهمترین عامل مورد نیاز، توسعه فشار گاز به طور همزمان و یکنواخت در هر یک از چالهای ایجاد کننده شکاف اولیه است و بدین منظور می‌توان از چاشنی‌های الکتریکی فوری یا کم‌تأخیری استفاده کرد. در صورت طولانی بودن مدار و به منظور جلوگیری از لرزش زمین می‌توان هر چند چال را با فتیله انفجاری به هم بست و سپس آنها را با چاشنی‌های الکتریکی کم تأخیری آتش نمود. چالهای تولید نیز باید بعد از چال‌های پیش‌شکافی آتش شوند تا سنگ خردشده با وسائل مکانیکی از محل دور شوند. بدیهی است که این انفجار نباید تأثیری بر روی شکاف اصلی ایجاد شده وشیب طراحی شده داشته باشد. این امر تابع نوع ماده منفجره، روش خرجگذاری و مشخصات سنگ می‌باشد. چال‌های ضربه‌گیر که نزدیک‌ترین چالهای تولید به شکاف هستند نقش مهمی در حفاظت آن بر عهده دارند. این چالها باید دارای خرج کمتری نسبت به سایر چالهای تولید باشند.

برای جلوگیری از هرگونه صدمه مکانیکی به شیب طراحی شده، انتقال مواد خرد شده جبهه‌کار بایستی با دقت بسیار انجام شود. کارهای تکمیلی برای تقویت پایداری شیب ایجاد شده نیز که قرار است طبق طرح بر روی جبهه‌کار باقیمانده(شیب طراحی شده) انجام شود بهتر است که توام با عمل انتقال مواد انجام شود. زیرا چنانچه تمام جبهه‌کار به طور کامل از مواد خرد شده تخلیه شود امکان دستیابی به قسمتهای مرتفع جبهه‌کار وجود نخواهد داشت.

۱۰- حفاری و انفجار با استفاده از آتشباری پیش‌شکافی در مناطق مسکونی باید به صورتی اجرا شوند که ناپایداری‌های القا شده به دیواره را به حداقل برسانند. اگر هیچ نوع ناپیوستگی عمده طبیعی در سنگ وجود نداشته باشد روش پیش‌شکافی اجرا می‌شود. ولی چنانچه در این سنگها ناپیوستگی‌های عمده طبیعی وجود داشته باشد که جهت و امتداد آن تقریباً به موازات جهت و امتداد دامنه‌ای است که قرار است ایجاد شود، از این ناپیوستگی‌ها می‌توان به عنوان شکاف طبیعی اولیه استفاده کرد و از کاربرد روش پیش‌شکافی خودداری نمود.

۱۱- هنگامیکه در سنگهای شکسته شده آتشباری پیش‌شکافی اجرا می‌شود، بهتر است تعدادی چال کمکی بین چالها حفر شود. عمق چالهای کمکی بسته به عمق شکستگی یا هوازدگی توده‌سنگ تا حداکثر عمق چالهای کنترل می‌باشد. در چنین سنگهایی میزان خرج مصرفی در چالهای کنترل نیز یکسان نمی‌باشد.

۱۲- چالهای پیش‌شکافی باید قبل از چال‌های تولید آتش شوند. فاصله زمانی بین انفجار چال‌های پیش‌شکافی و چالهای تولید حدود ۵۰ میلی‌ثانیه است و اجرای آن با چاشنی‌های مختلف به خوبی میسر است. اگر به عللی چال‌های تولید با فاصله زمانی نسبتاً زیاد پس از چالهای پیش‌شکافی آتش شوند، به مرور زمان ممکن است خرده‌ریزه‌سنگ در اثر ریزش دیواره شکاف یا بوسیله آب وارد شکاف شده و کارایی آن را به منزله سپری در انتقال امواج ناشی از انفجار کاهش دهد. این امر مخصوصاً در سنگهایی که احتمال ریزش آنها در شکاف می‌باشد باید اکیداً مورد توجه قرار گیرد.

۱۳- در صورتیکه فاصله چالها از یکدیگر و میزان خرج مصرفی در درون این چالها به اندازه مناسب در نظر گرفته شود، برش مورد نظر بین چالهای پیش‌شکافی بطور کامل و با عرض کم تشکیل شده و بدینوسیله هنگام انفجار چالهای اصلی تولید از عبور امواج به خارج از سنگ مورد آتشباری و نهایتاً صدمه به توده‌سنگ باقیمانده جلوگیری بعمل خواهد آمد.

۱٤- در چالهای پیش‌شکافی خرج نباید با دیوار چال در تماس باشد و مثل روش آتشباری آرام از پره‌های پلاستیکی استفاده می‌کنند.

۱۵- اگر چند چال خالی مابین چالهای پیش‌شکافی حفر کنیم، به تشکیل شکاف کمک خواهند کرد. در سنگهای سخت به عوض افزودن مواد منفجره مصرفی داخل چال، می‌توان چند چال کمکی حفر کرد و موقع انفجار آنها را خالی نگاه داشت.

۱٦- چنانچه گفتیم بین خرج و دیواره چال فضای خالی وجود دارد، اگر توده‌سنگ مورد آتشباری درزه‌دار بوده و مواد تشکیل دهنده آن چسبندگی نداشته باشند، برای جلوگیری از فرار گازها بهتر است فضای بین خرج و دیواره چال با مواد پرکننده مثل پودرسنگ یا خرده‌ریزه حفاری پرشود، ولی چنانچه درزه و شکاف وجود نداشته باشد، حتی با وجود سطوح لایه‌بندی لزومی به ریختن مواد باطله درچال نیست.

۱۷- عمق چالها بستگی به دقت در حفر و حفظ امتداد آنها در یک صفحه دارد. انحراف بیش از ۱۵ سانتیمتر چال‌ها از صفحه برش طراحی شده باعث نامطلوب شدن نتایج حاصله خواهد گردید.

بطور کلی حداکثر عمق قابل حفاری چالهای کنترل با قطر ۲ تا ۲/۵ اینچ در حدود ۱۵ متر می‌باشد. چالهای پیش‌شکافی تا یک متر پایین‌تر از کف پله حفر می‌شوند.

۱۸- بصورت تئوری طول توده‌سنگ وحفر چال‌های پیش‌شکافی در پیرامون آن دارای محدودیت نمی‌باشد، ولی در عمل به علت تغییرات زمین‌شناسی سنگها در منطقه، همواره باید دقت نمود که ابعاد توده‌سنگ مورد آتشباری به گونه‌ای انتخاب شود که وضعیت زمین‌شناسی در طول آن تغییر ننماید. در غیر این صورت در قسمت ضعیف‌تر امکان عقب‌زدگی و سایر لطمه‌های ناشی از انفجار وجود خواهد داشت. لذا تعداد محدودی از چالهای پیش‌شکافی و چال‌های تولید آتش شده و بعد از برداشت مواد حاصل و بازدید وضعیت زمین‌شناسی دیواره جدید، اصلاحات لازم در میزان خرجگذاری دیگر چالها انجام خواهد گردید[۱] .

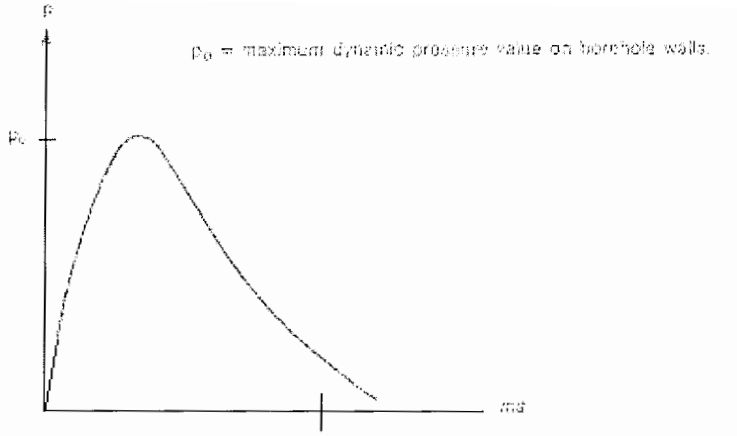
۱۹- بکارگیری روش پیش‌شکافی بدون گل‌گذاری در سنگهایی با لایه‌بندی افقی مناسب می‌باشد. جایی که ناپیوستگی بین چالها وجود داشته باشد ، فشار گازها کاهش می‌یابد که منجر به خروج گازهای حاصل از انفجار می شود.در صورت نیاز مقدار گل‌گذاری ۷ تا ۱۰ برابر قطر چال مناسب می‌باشد. برای سنگ‌های با هوازدگی بالا و با درزه‌های باز طول گل‌گذاری بیشتر می‌شود. برای سنگ‌های سخت (با مقاومت فشاری تقریباً ۲۰۰ مگاپاسکال) طول گل‌گذاری ۱۲ برابر قطر چال درنظر گرفته می‌شود درصورتیکه برای سنگ غیر متراکم (با مقاومت فشاری تقریباً ۳۶ مگاپاسکال) ۳۰ برابر قطر چال درنظر گرفته می‌شود. طول گل‌گذاری به عمق چال نیز بستگی دارد. [۳].

٤-٤-٤- مکانیزم بوجود آمدن شکاف در آتشباری پیش‌شکافی

برای تولید شکاف بین دو چال متوالی نظریات متفاوتی ارائه شده است. برخی تولید شکاف را به سبب فشار دینامیکی(Dynamic Pressure)حاصل از انفجار مواد منفجره داخل چال بیان می‌کنند و عده‌ای آن را معلول فشار استاتیک(Static Pressure) ناشی از انبساط گازها می‌دانند. آنچه مسلم است هر دو فشار درتولید شکاف نقش دارند. اما به سبب تماس نداشتن خرج با دیواره چال نقش فشار استاتیکی بیش از فشار دینامیکی است. فشارهای ذکر شده به صورت زیر در تولید شکاف بین دو چال متوالی تاثیر می‌گذارند:

٤-٤-٤-١-مکانیزم بوجود آمدن شکاف در اثر فشار دینامیکی:

فشار دینامیکی حاصل از انفجار به صورت منحنی شکل٤-١٦ بر دیواره چال اثر می‌گذارد. این فشار دارای ماکزیمم P_0 بوده و مدت دوام آن حدود یک میلی‌ثانیه می‌باشد.



The build-up of dynamic pressure p on the hole wall as a function of time resulting from the firing of a shot.

شکل ٤-١٦ تغییرات فشار دینامیکی بر دیواره چال بر حسب زمان [١]

تنش‌های وارد شده به سنگ به صورت مؤلفه‌های شعاعی υ_r و مماس υ_t در مدت زمان یک میلی‌ثانیه سنگ را تحت تاثیر فشار و کشش قرار می‌دهد. (شکل٤-١٧)

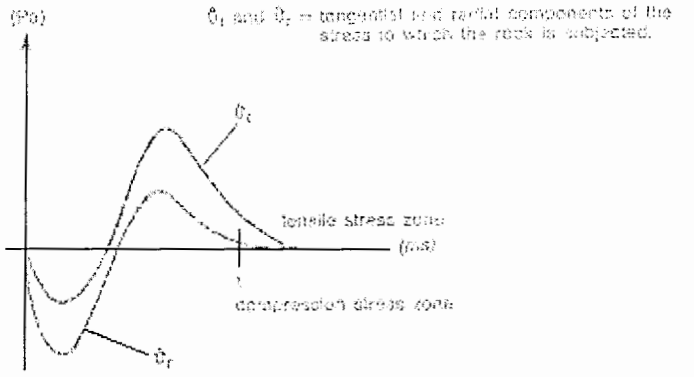


Fig. III.13 *Variation in time of the shock wave generated by an explosion recorded at a distance.*

شکل ٤-١٧ تغییرات ناشی از موج ضربه در فاصله معین برحسب زمان [١]

در ناحیه بلافصل چال تنش‌های وارد شده به سنگ به مراتب بیشتر از مقاومت سنگ است و سنگ در این ناحیه شکسته و کاملاً خرد می‌شود. ناحیه کاملاً خرد شده شعاعی برابر O-A خواهد داشت که O مرکز چال و A مرز بین ناحیه کاملاً خرد شده و سنگ سالم است. در نقطه A میزان تنش وارد بر سنگ υ_{tr} معادل مقاومت سنگ σ_{tr} خواهد بود. هر چه از نقطه O دورتر شویم تنش وارد بر سنگ طبق فرمول ذیل کاهش می‌یابد:

$$\upsilon_{tr} = P_0 \frac{r_0}{R}$$

P_0 : فشار ماکزیمم روی دیواره چال

r_0 : شعاع چال

R : فاصله محل مورد نظر از مرکز چال (O)

فرض کنیم دو عدد چال در نقاط O_1 , O_2 و بلافاصله S از یکدیگر به منظور آتشباری پیش‌شکافی خرجگذاری و همزمان منفجر می‌شوند. انرژی حاصل از انفجار این دو چال در نقطه M وسط A , B به هم رسیده و با هم ترکیب می‌شوند. برای تولید شکاف در این نقطه بایستی رابطه ذیل تحقق یابد:

$$\upsilon_{tr} = \frac{\sigma_{tr}}{2}$$

حال روابط بدست آمده را با یکدیگر مقایسه می‌کنیم :

تنش در نقطه A

$$\upsilon_{tr}(A) = \sigma_{tr} = P_0 \frac{r_0}{O_1 A}$$

تنش در نقطه M

$$\upsilon_{tr}(M) = \frac{\sigma_{tr}}{2} = P_0 \frac{r_0}{O_1 M}$$

از تقسیم دو رابطه فوق نتیجه می‌شود که

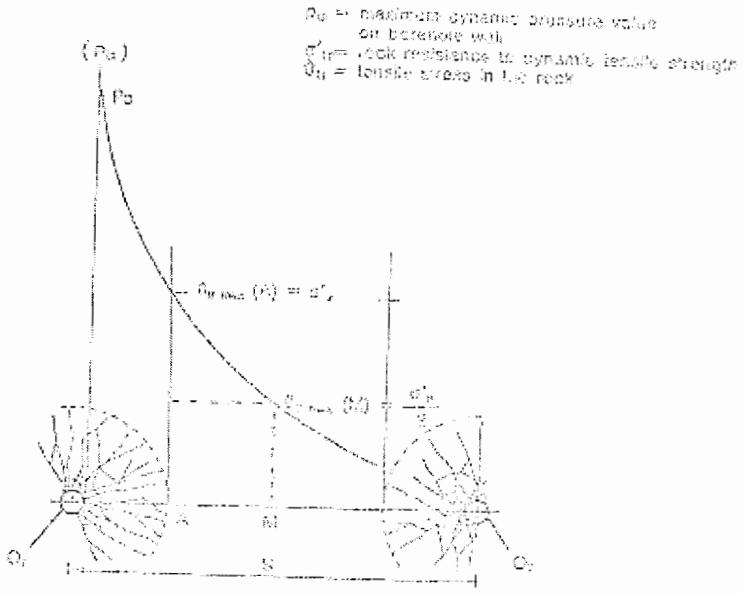
$$\frac{\upsilon_{tr}(A)}{\upsilon_{tr}(M)} = \frac{O_1 M}{O_1 A} = 2$$

و بالاخره با توجه به شکل٤-١٨ که اجزا مشخصات روی آن نشان داده شده است داریم :

$$S = 4O_1A$$

یعنی فاصله چالها در آتشباری پیش‌شکافی باید چهار برابر قطر ناحیه کاملاً تخریب شده باشد. قطر این ناحیه حدود ۲ تا ۲/۵ برابر قطر چال است. برای تشکیل شکاف لازم است که بخشی از اطراف چال خرد شود. لذا لازم می‌باشد که شرایط ذیل برقرار باشد:

- ماده منفجره مصرفی باید فشار بسیار زیادی روی دیواره چال اعمال کند. بدین منظور ماده منفجره باید دارای سرعت انفجار بالا باشد. زیرا فشار حاصل از انفجار با مربع سرعت انفجار نسبت مستقیم دارد.
- چالها حتماً همزمان آتش شوند تا تاثیر حاصل از برخورد دو موج ضربه در بین هر دو چال مجاور قطعی باشد [۱].



شکل ٤-١٨ بوجود آمدن شکاف در اثر فشارهای دینامیکی [١]

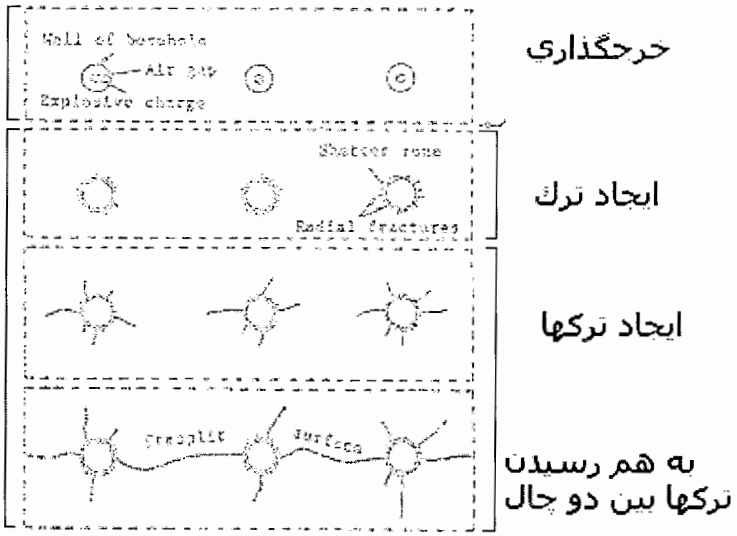
٤-٤-٤-٢- مکانیزم به وجود آمدن شکاف در اثر فشار استاتیک:

به علت تماس نداشتن ماده منفجره با دیواره چال(Decoupling) اثر موج ضربه یا فشار دینامیکی حاصل از انفجار روی سنگ کمتر از حالت عادی است. با این حال شکافهای ریز ممکن است در اطراف چال بوجود آید. اما نقش عمده را در تولید شکاف، فشار استاتیکی (فشار حاصل از انبساط گازهای حاصل از انفجار) بر عهده دارد. در اینجا شکافهای ریز معبری برای تاثیر فشار استاتیکی می‌باشد. وقتی که تمام چالها همزمان آتش شوند فشار استاتیک در تمام چالها همراه با هم تاثیر کرده و در جهتی اثر خواهند بخشید که کمترین مقاومت را در مقابل این فشار ایجاد کند. با توجه به اینکه فاصله چالها از یکدیگر خیلی کم است، طبیعی است که شکاف ایجاد شده از هر چال به چال مجاور سرایت کرده و در نهایت همه چالها را در بر می‌گیرد. یعنی در امتداد خواسته شده یک شکاف سراسری بوجود می‌آید. اگرچه لازم است که همه چالها همزمان آتش شوند اما فاصله زمانی تأخیر ١٠ تا ٢٠ میلی‌ثانیه بین چالها نیز در تولید شکاف اشکالی ایجاد نمی‌کند.(اگر چه این زمان به مراتب بیشتر از زمان دوام فشار دینامیک (حدود یک میلی‌ثانیه) می‌باشد) و همین امر مؤید آن است که موج ضربه نقشی چندان در به وجود آمدن شکاف ندارد. در غیر اینصورت در صورت همزمان بودن آتش چالها تأثیر موج ضربه چالها هم همزمان بوده و شکاف تولید شده با وضعیت انفجار تأخیری تفاوت اساسی می‌داشت. در حالی که نتیجه چنین نیست [١].

٤-٤-٤-٣- سایر موارد :

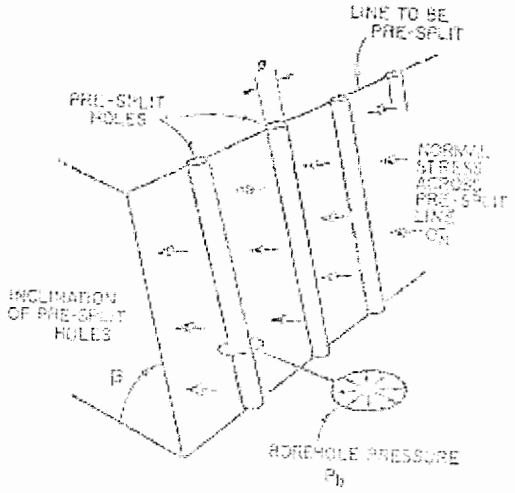
نوع ماده منفجره در نتیجه عمل تأثیری ندارد. می‌دانیم که مواد منفجره دارای سرعت انفجار از ٢٠٠٠ تا ٨٠٠٠

متر بر ثانیه هستند. از طرف دیگر فشار دینامیک حاصل از انفجار با مربع سرعت انفجار نسبت مستقیم دارد. با این حال کاربرد مواد منفجره متفاوت تأثیری در نتیجه عمل ندارد و این هم نشانه دیگری است که فشار دینامیک(موج ضربه)در روش پیش‌شکافی نقش اساسی ندارد. مراحل مختلف آتشباری پیش‌شکافی از خرجگذاری تا تشکیل شکاف در شکل ٤-١٩ نشان داده شده است .



شکل ٤-١٩ مراحل مختلف ایجاد شکاف در آتشباری پیش‌شکافی [١]

همچنین مکانیزم اعمال فشار تولید شده بر دیواره چال در ٤-٢٠ ذیل دیده می‌شود.



شکل ٤-٢٠ مکانیزم اعمال فشار تولید شده بر دیواره چال [١]

آرایش و خرجگذاری چالهای پیش‌شکافی از روابط تجربی زیر محاسبه می‌شود:

$S \le 10\,\varphi h$

$q = 0.815\,S^2$

S فاصله چالها از یکدیگر به متر، φh قطر چال به متر و q چگالی خرجگذاری به کیلوگرم در متر است [۱].

جداول ذیل می‌توانند الگویی برای آرایش چال و خرجگذاری در آتشباری پیش‌شکافی بـه حـساب آینـد. در این جداول آرایش چالها براساس فرمولهای فوق و اعـداد پیـشنهادی Du Pont (امریکـا) ، نیترونوبـل سـوئد (Nitro Nobel) و تامراک فندلاند (Tom Rock) نوشته شده است.

جدول ٤-٣ آرایش و خرجگذاری چالها در آتشباری پیش‌شکافی (Du Pont) [1]

قطر چال میلیمتر	فاصله چالها ازهم متر	غلظت خرج گذاری به کیلوگرم درمتر محاسبله شده	غلظت خرج گذاری به کیلوگرم درمتر پیشنهادی DU pont
۴۴-۳۸	۰/۴۵-۰/۳۰	۰/۱۷-۰/۰۷	۰/۳۸-۰/۱۲
۶۴-۵۱	۰/۶۰-۰/۴۵	۰/۲۹-۰/۱۷	۰/۳۸-۰/۱۲
۸۹-۷۶	۰/۹۰-۰/۴۵	۰/۶۶-۰/۱۷	۰/۷۵-۰/۲۰
۱۰۲	۱/۲۰-۰/۶۰	۱/۱۷-۰/۲۹	۱/۱۲-۰/۳۸

جدول ٤-٤ آرایش و خرجگذاری چالها در آتشباری پیش‌شکافی (نیترونوبل) [۱]

قطر چال(mm)	فاصله چالها از هم(m)	نوع خرج	غلظت خرج kg/m
۳۲-۲۵	/۳-۰/۲	گوریت ۱۱mm	۰/۰۷
۳۲-۲۵	۰/۶۰-۰/۳۵	گوریت ۱۷mm	۰/۱۶
٤۰	۰/۵۰-۰/۳۵	گوریت ۱۷mm	۰/۱۶
۵۱	۰/۵۰-۰/٤۰	گوریت ۲*۱۷ mm	۰/۳۲
۶٤	۰/۸۰-۰/۶	نابیت ۲٤mm	۰/۳۶

جدول ٤-٥ آرایش و خرجگذاری چالها در آتشباری پیش‌شکافی (تامراک)[١]

قطر چال (mm)	قطر خرج (mm)	تراکم خرج Kg/m	فاصله چالها بهم (m)
٣٠	٢٢	٠/٢١	٠/٦ - ٠/٩٥
٣٢	٢٥	٠/٢٩	٠/٧ - ٠/٤٥
٣٥	٢٢	٠/٢٩	٠/٧ - ٠/٤٥
٣٨	١٥	٠/٢٥	٠/٧ - ٠/٩٥
٥١	٣٢	٠/٣٨	٠/٨ - ٠/٥٠
٥١	٣٢	٠/٣٧	٠/٨ - ٠/٥٠
٤٦	٣٢	٠/٣٨	٠/٧ - ٠/٥
٤٠	٣٢	٠/٣٧	٠/٧ - ٠/٥
٤٤	٢٥	٠/٥٥	٠/٩ - ٠/٧ خرج آخر
٤٠	١٥	٠/٥٥	٠/٩ - ٠/٧ خرج آخر
٤٠	٢٠	٠/٧	٠/٩ - ٠/٦
٤٩	٣٢	٠/٩	١ - ٠/٧ خرج آخر
٥٩	٥٠	١/٣٢	١/١ - ٠/٨
١٠٠	٣٢	٠/٩	١ - ٠/٧ خرج آخر
١٠٠	٥٠	١/٣٢	١/٢ - ٠/٨

❖ اگر برای جلوگیری از لرزش زمین بایستی به جای انفجار فوری، چالها با جانشینی تاخیری آتش شوند از مقادیر فاصله ذکر شده برای چالها باید ٤٠ تا ٥٠ درصد کم شود.

٤-٤-٥- سایر کاربردهای آتشباری پیش‌شکافی

٤-٤-٥-١- پیش‌شکافی در ترانشه‌زنی:

در حفر ترانشه‌ها چون که طرفین چالهای اصلی دیواره ترانشه بسته شده است، امکان لطمه خوردن به دیواره‌ها بیشتر از معادن روباز است، لذا بهتر است اجرای آتشباری پیش‌شکافی قبل از حفر چالهای عمومی صورت گیرد، زیرا ممکن است انفجار چالهای کناری موجب جابجایی لایه‌ها شود و در نتیجه چال وضعیت اولیه خود را از دست بدهد. فاصله آخرین ردیف چالهای اصلی از چالهای پیش‌شکافی نصف فاصله ردیفها از هم می‌باشد[١].

٤-٤-٥-٢-پیش‌شکافی در مناطق مسکونی:

نظر به‌اینکه لرزش زمین وجود دارد و به سبب بسته بودن اطراف چال امکان پرتاب سنگ نیز زیاد است معمولاً آتشباری پیش‌شکافی در نزدیک ساختمان‌های مسکونی اجرا نمی‌شود. هر چند که برای جلوگیری از پرتاب سنگ می توان از پوشش‌های سبک و سنگین استفاده کرد. به هر حال در صورت نیاز باید مخلوطی از روش‌های پیش‌شکافی و چال خالی را بکار برد. یعنی از هر چند چال، یک چال را خرجگذاری کرد و فاصله چالها از هم کمتر از پیش‌شکافی در نظر گرفته شود [۱] .

٤-٤-٥-٣-پیش‌شکافی در زیر زمین :

خاطر نشان می‌سازد که در اجرای روش پیش‌شکافی قطعه سنگ یا محل مورد عمل نباید تحت فشار لیتواستاتیک باشد. لذا اجرای آن در زیر زمین بخوبی کار در سطح زمین نخواهد بود. مخصوصاًوقتی که برش مورد نظر افقی باشد، اجرای آن با روش پیش‌شکافی در زیر زمین مشکلات زیادی خواهد داشت. با این حال در حفر چاه از پیش‌شکافی استفاده شده است [۱] .

٤-٤-٥-٤-پیش‌شکافی برای پایه‌ها :

وقتی که بخواهیم محوطه کوچکی را گود کنیم(مانند تعبیه جای نصب پایه در زمین سنگی که احتیاج به حفره‌ای با مساحت کم می‌باشد)می‌توان از پیش‌شکافی استفاده کرد. بدین منظور محدوده حفر را چالزنی کرده و هر ضلع را به نوبت آتشباری می‌کنند. برای خرد کردن قطعه سنگ حاصل در صورت نیاز می‌توان یک یا چند چال در وسط آن حفر و خرجگذاری کرد. انفجار چالها موجب شکسته شدن سنگ می‌گردد [۱].

٤-٤-٦- مطالعه موردی: کاربرد روش پیش‌شکافی در ایران

در ایران نیز از این روش در پروژه ملی سد و نیروگاه ۲۰۰۰ مگاواتی مسجد سلیمان(گدارلندر) در جریان فعالیتهای زیر زمینی (حفاری مغار نیروگاه و ترانسفورمر) و همچنین فعالیتهای روباز (حفاری شیب‌شکنها Berms) و دیواره‌های حایل از این روش آتشباری به طور گسترده استفاده شده است و به خوبی توانسته است رضایت طراحان و مهندسان را جلب کند[٤].

٤-٤-٦-١-پیش‌شکافی در حفاریهای زیر زمینی :

این نوع آتشباری کنترل‌شده در پروژه سد و نیروگاه مسجد سلیمان در حفاری کف مغار نیروگاه مورد استفاده قرار گرفت. نحوه کار در سه کلاس به طریقه زیر طبقه‌بندی وانجام شد:

الف: سنگ از نوع چینی یا سیلت

در این نوع سنگ چالهایی با قطر ۷٦ میلیمتر و با فواصل ۰/۸ متر حفاری شده است. به ازای هر متر طول چال به طور متوسط ۱۲۵ گرم دینامیت ۲۲ و دو لاین کرتکس از نوع 20 gr/m استفاده شد. چنانچه ضریب تبدیل کرتکس به دینامیت ۱/٤ در نظر گرفته شود، مجموعاً به طور متوسط به ازاء هر متر طول چال ۱۸۱ گرم دینامیت استفاده می گردد(شکل ٤-۲۱).

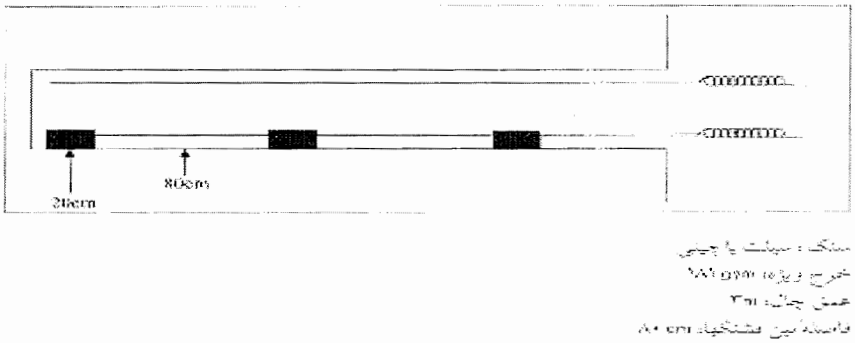
ب :سنگ از نوع ماسه‌ای

در این نوع سنگ نیز چالهایی با قطر ۷٦ میلیمتر و با فواصل ۰/۵ متر از یکدیگر حفاری می‌شود. به ازای هر متر طول چال به طور متوسط ۱٦٦ گرم دینامیت از نوع ۲۲ میلیمتری و دو لاین کرتکس از نوع 20gr/m استفاده شده است .

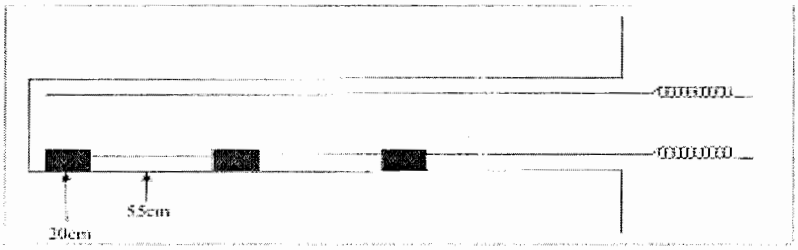
چنانچه ضریب تبدیل کرتکس به دینامیت ۱/٤ باشد ، مجموعاً به طور متوسط به ازای هر متر طول چال ۲۲۲ گرم دینامیت مصرف می گردد(شکل٤-۲۲) .

ج : سنگ از نوع کنگلومرا

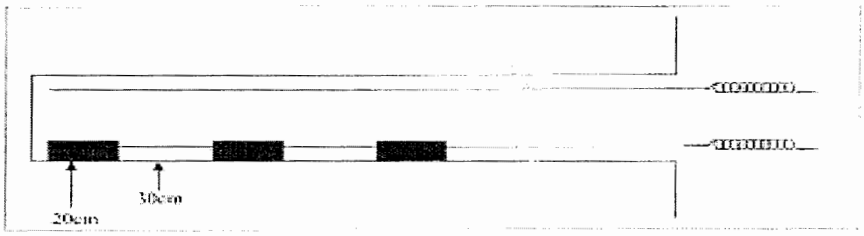
چالزنی در این دسته همانند موارد قبلی است. برای خرجگذاری در این نوع سنگ به ازای هر متر طول چال به طور متوسط ۳۳۳ گرم دینامیت ۲۲ و دو لاین کرتکس 20gr/m استفاده می‌شود و با در نظر گرفتن ضریب تبدیل ۱/٤ به ازای هر متر طول چال، ۳۸۹ گرم دینامیت مصرف می گردد(شکل٤-۲۳).



شکل ۴-۲۱ [٤]



شکل٤-٢٢ [٤]



شکل ۴-۲۳ [٤]

٤-٤-٦-٢-پیش‌شکافی در حفاریهای روباز :

از این روش آتشباری برای حفاری دیواره‌های حایل و نیز حفاری شیب‌شکنها (Berm) استفاده شده است. به خاطر تنوع ابعاد، ارتفاع چالها متفاوت است و پیش‌شکافی برای چالهایی به ارتفاع ۹،٦،۳،۱۲و ... انجام پذیرفته است. برای اجرای پیش‌شکافی سه کلاس سنگ معرفی و طبقه‌بندی شده و برای هر یک به طریقه ذیل عملیات آتشباری صورت پذیرفته است:

الف) سنگ از نوع چینی یا سیلیت

بوسیله دریل‌واگن چالهایی با قطر ٧٦ میلیمتر حفاری می‌شود و فاصله بین چالها حداکثر ۰/٦ متر است. برای خرج ته‌چال یک دینامیت ۵۰ مورد استفاده قرار می‌گیرد و بعد به فواصل ۱/۲ تا ۱/٤ متر یک عدد دینامیت ۲۲ قرار می‌گیرد و از فتیله انفجاری کرتکس از نوع gr/m ۲۰ استفاده می‌شود، و حدود ۲۵ درصد از سر چال خالی باقی گذاشته می‌شود(شکل ٤-٢٤).

ب) سنگ از نوع ماسه‌ای

به وسیله دریل‌واگن چالهایی باقطر ٧٦ میلیمتر حفاری می‌شود و فاصله بین چالها از ۰/۲ تا ۰/٦ متر متغیر است. برای خرج ته‌چال یک عدد دینامیت ۵۰ مورد استفاده قرار می‌گیرد و بعد به فواصل ۰/۹ تا ۱ یک لول

دینامیت ۲۲ قرار می‌گیرد. از فتیله انفجاری کرتکس از نوع gr/m ۲۰ استفاده می‌شود و حدود ۲۵ درصد از سرچال خالی گذاشته می‌شود(شکل ٤-۲۵).

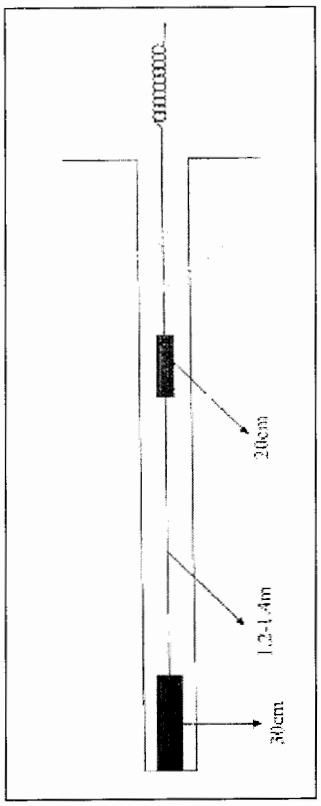
ج) سنگ از نوع کنگلومرا (conglomerate)

بوسیله دریل‌واگن چالهایی با قطر ۷٦ میلیمتر حفاری می‌شود و فاصله بین چالها از ۰/۲ تا ۰/٦ متر متغیر است. برای خرج ته‌چال یک عدد دینامیت ۵۰ مورد استفاده قرار می‌گیرد و بعد به فواصل ۰/۷ تا ۰/۸ متر ، یک لول دینامیت ۲۲ قرار می‌گیرد. از فتیله انفجاری کرتکس از نوع gr/m ۲۰ استفاده می‌شود و حدود ۲۵ درصد از سر چال خالی گذاشته می‌شود(شکل ٤-۲٦).

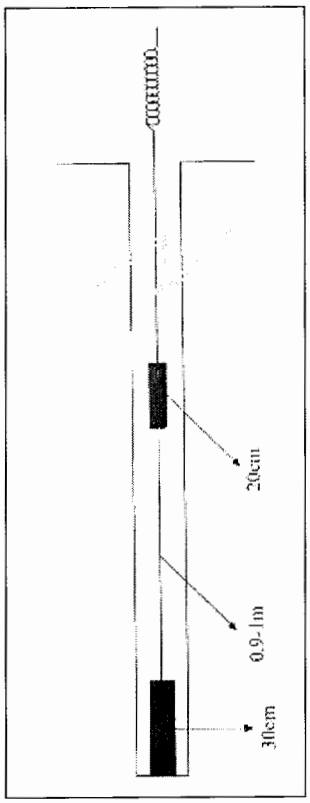
برای آشنایی بیشتر با نحوه حفر مغارهای زیرزمینی، نحوه حفر مغار نیروگاه سد مسجد سلیمان در پیوست ۱ آورده شده است.

٤-٤-۷-نکاتی دیگر در مورد پیش‌شکافی

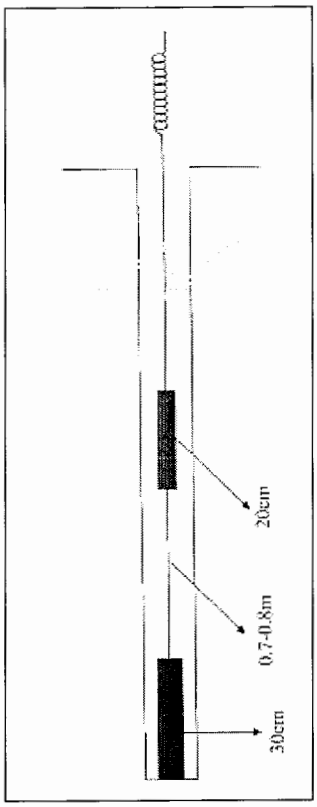
- هر سنگ به راحتی در امتداد کلیواژش شکاف می‌خورد، به شرطی که زاویه مناسبی برای حفاری چالهای پیش‌شکافی در نظر گرفته شود.
- میدانهای تنش موجود در سنگ تأثیر مهمی در گسترش درزه و ترک بین چالهای پیش‌شکافی دارد و اگر این تنشهای درجا(In-Situ) از سطح پیش‌شکافی دور شود، می‌تواند نتیجه انفجار را خراب کند(برای حفظ این شرایط چالها را نزدیک به هم حفاری می‌کنند).
- در الگوهای طراحی پیش‌شکافی، میزان تمرکز مواد منفجره بستگی به قطر گمانه، قطر خرجگذاری و سطح در نظر گرفته شده برای پیش‌شکافی دارد.
- در هنگام خرجگذاری (Charging) بهتر است که مهندس طراح آتشباری در محل حضور یابد تا بر کیفیت خرجگذاری و بخصوص رعایت فواصل بین فشنگها نظارت داشته باشد. در مورد حفاری نیز در صورتی که چالها زاویه‌دار باشند یا عمقهای متفاوتی داشته باشند، نظارت دائمی توصیه می‌گردد، زیرا کوچکترین اهمال و اشتباهی در طول این دو مرحله میتواند انفجار پیش‌شکافی راخراب کند[٤].



شکل ٤-٢٤ [٤]



شکل ٤-٢٥ [٤]

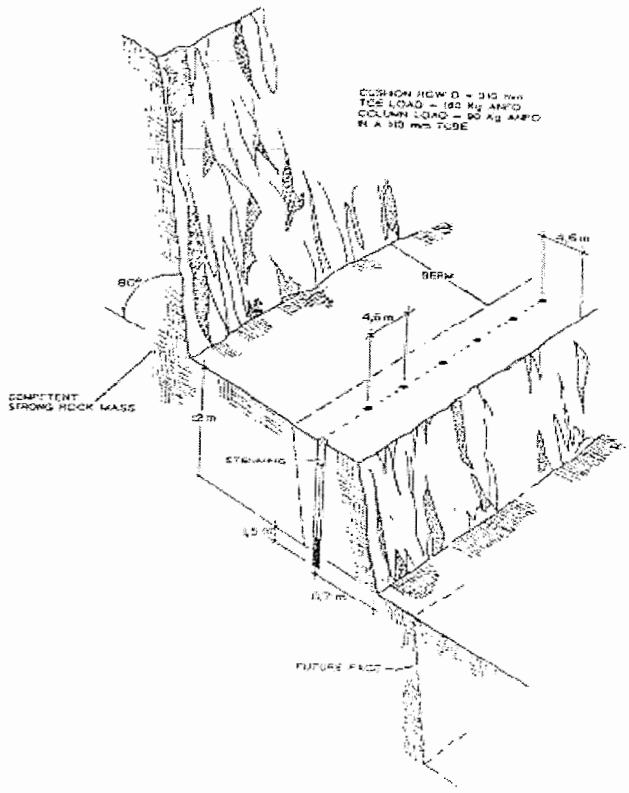


شکل ٤-٢٦ [٤]

٤-٥-آتشباری بالشتکی Cushion Blasting

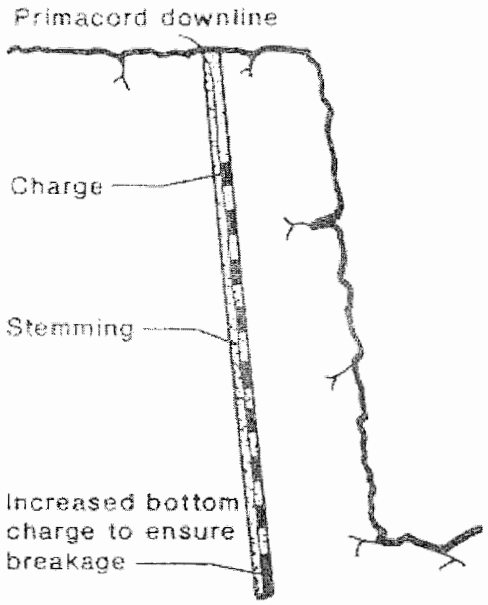
یکی از روشهایی که برای کاهش شکستگی‌ها در پشت خط حفاری و ایجاد دیواری صاف در آتشباری به کار می‌رود روش آتشباری بالشتکی می‌باشد که به نامهای slabbing و Trimming و Slashing نیز معروف است. زادگاه این روش کشور کانادا می‌باشد. این روش شامل یک ردیف چال انفجاری با خرجگذاری کم و بطور ناپیوسته (خرج ویژه ۰/۱۲ تا ۲/۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب)می‌باشد. در این روش شکستگی سنگ به طرف سطح آزاد صورت می‌گیرد. فاصله ردیفی چالها در این روش بزرگتر از روش پیش‌شکافی و با هزینه‌های کمتری می‌باشد. درمعدنکاری سطحی، هنگامیکه قطر چالهای انفجاری بالشتکی با قطر چالهای اصلی یا تولید یکسان می‌باشند روش را Trim Blasting می‌گویند. فاصله ردیفی چالها و خرجگذاری چالها بستگی به شرایط دیواره باقی‌مانده، بارسنگ واقعی و نتایج انفجار اصلی دارد. این روش در چالهایی با قطر ۵۰ میلیمتر یا ۲ اینچ تا ١٦٤ میلیمتر یا ٦/٥ اینچ قابل اجراست. به عنوان الگو فاصله ردیفی چالها ۰/۹ متر تا ۲/۱ متر و بار سنگ ۱/۲ متر تا ۳/۲ متر می‌باشد. چالهای راهنما(چالهای خرجگذاری نشده بین چالها) برای ایجاد نتایج بهتر در سنگ هوازده و ترک‌خورده خصوصا در گوشه‌ها استفاده می‌شود. به منظور برش مناسب کف، معمولا خرج کف به کار می‌رود تا چگالی خرجگذاری در کف بالا باشد، به ویژه هنگامیکه بارسنگ در کف چال بزرگتر از بارسنگ در سر پله باشد(پله شیب‌دار باشد).

در شکل ٤-٢٧ یک الگوی ساده از این روش دیده می‌شود.



شکل ٤-٢٧ یک الگوی ساده از روش آتشباری بالشتکی [٥]

انفجار بالشتکی با خرج کم و توزیع مناسب و مسدود نمودن چال‌های انفجاری بعد از آتشباری اصلی انجام می‌گیرد. مسدود نمودن بالشتک‌ها ضربه مواد منفجره را در سنگ نگه می‌دارد و باعث حداقل شکستگی و کشش می‌گردد. فتیله انفجاری برای زمانی که موج انفجار مسأله حادی نباشد بهترین وسیله آتش کردن است. در این روش نیروی خرجها همسو شده و فاصله بین چالها را برش داده و یک سطح صاف تشکیل می‌دهد. دقت در حفاری بسیار مهم است و انحراف بیش از ۱۵ سانتیمتر از صفحه برش مورد نظر، نتیجه ضعیفی را خواهد داشت. زمانی که آتشباری بالشتکی در گوشه‌های قائم (۹۰ درجه) انجام می‌گیرد می‌توان آن را با روش پیش‌شکافی برای کسب نتیجه بهتر ادغام کرد. در شکل ٤-۲۸ نحوه خرجگذاری در این روش دیده می‌شود.



شکل ٤-۲۸ نحوه خرجگذاری در روش آتشباری بالشتکی [۲]

٤-٥-۱-جزئیات آتشباری بالشتکی

۱- تعدادی چال قائم یا نزدیک به قائم در محدوده مورد نظر حفر می‌کنند. قطر چالها بسته به شرایط از ۵۱ میلیمتر (۲ اینچ) تا ١٦٤ میلیمتر (١٦/٥ اینچ) می‌باشد. حفر این چالها می‌تواند همزمان با حفر چالهای تولید یا پس از انفجار چالهای تولید باشد ولی انفجار آنها باید پس از انفجار چالهای تولید انجام پذیرد.

۲- فاصله بین چالهای کنترل(چالهای ردیف روش بالشتکی)و فاصله ردیف آنها از آخرین ردیف چالهای معمولی و یا تا سطح آزاد متغیر بوده و به قطر چال انتخاب شده و مشخصات سنگ مورد آتشباری بستگی دارد. در جدول ٤-٦ الگویی برای تعیین فاصله چالها، فاصله ردیف چالها تا سطح آزاد و مقدارخرجگذاری

متناسب با قطر چال ذکر شده است که ارقام ارائه شده میانگین بوده و بسته به نوع و مشخصات سنگ بایستی بهترین مقدار تجربی به دست آید.

جدول ٤-٦ آرایش و خرجگذاری چال در آتشباری Cushion Blasting [1]

قطر چال (mm)	تراکم خرج (kg/m)	طول گل‌گذاری (m)	S (m)	B (m)
۶۴-۵۱	۰/۳۸-۰/۱۲	۱/۲۰	۰/۹	۱/۲۰
۸۹-۷۶	۰/۷۵-۰/۲۰	۱/۵	۱/۲۰	۱/۵
۱۱۵-۱۰۲	۱/۱۲-۰/۳۸	۱/۸	۱/۵	۱/۸
۱۴۰-۱۲۸	۱/۵-۱/۱۲	۲/۱	۱/۸	۲/۱
۱۶۶-۱۵۳	۲/۲۵-۱/۵۰	۲/۷	۲/۱	۲/۷

S: فاصله چالها از یکدیگر $S/D = 13 - 16$

D: قطر چالها $B = 1.25\ S$

B: فاصله ردیف چالها تا سطح آزاد

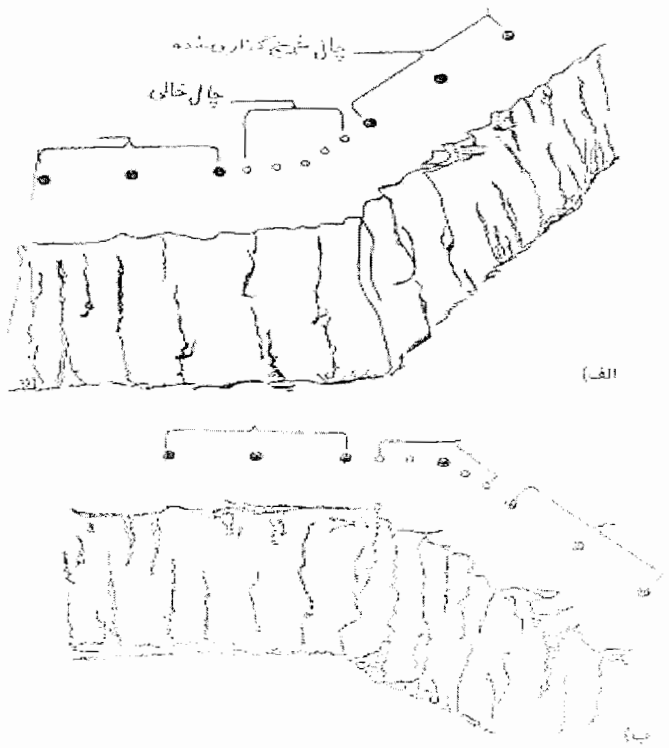
۳- حداکثر عمق چال‌ها در این روش بستگی به دقت حفاری چالها در یک صفحه و یک امتداد داشته که بدین منظور و برای افزایش عمق چالها و افزایش دقت می‌توان از چالهای با قطر بزرگتر استفاده کرد. البته افزایش قطر چالها دارای محدودیت می‌باشد و طبق تجربیات حاصله، افزایش قطر چالها به بیش از ١٦ اینچ باعث ناهموار شدن دیواره نهایی خواهد شد. چال تا عمق ۳۰ متری برای آتشباری بالشتکی نیز حفر شده است. در صورتی که از نظر اقتصادی حفر قطورتر برای دسترسی به عمق بیشتر به صرفه نباشد می‌توان از روش پله‌سازی (تبدیل مقطعی یک پله به دو یا سه پله) استفاده نمود.

٤- برای خرجگذاری، فشنگ‌های دینامیت را یک‌به‌یک به کمک ریسمان به فتیله انفجاری می‌بندند. قطر فشنگ‌ها نصف قطر چال و فاصله فشنگ‌ها از هم ۳۰ تا ٦٠ سانتیمتر می‌باشد. نظر به اینکه مقاومت سنگ در ته چال بیش از سایر جاهای چال در مقابل شکسته شدن می‌باشد خرج ته چال ۲ تا ۳ برابر خرج میان چال در نظر گرفته می‌شود. خرج ته چال را با سنبه چوبی می‌فشارند و فتیله انفجاری را طوری می‌کشند که فشنگ‌های دینامیت رو به طرف سطح آزاد به دیواره چال بچسبند. فتیله انفجاری و فشنگ‌های دینامیت را در این حالت نگه داشته و تدریجاً پودرسنگ یا خرده‌ریزه‌های حفاری را داخل چال می‌ریزند تا بقیه فضای چال را پر کند.

۵- چالهای بالشتکی را بایستی پس از چالهای محدوده اصلی آتش نمود. در این صورت می‌توان این چالها را همراه سایر چالها و با استفاده از چاشنی‌های میکروتأخیری آتش کرد و یا اینکه ابتدا محدوده اصلی را آتش نمود و فقط مقداری از آن را در جلوی حفاری برای چالهای کنترل (بالشتکی) باقی گذاشت و سپس این چالها را هنگام بارگیری و باربری سنگ‌های منفجر شده قبلی حفر کرد و آنگاه آتش نمود.

در سنگ‌های همگن در صورتیکه فاقد شکاف و یا درزه باشد، می‌توان فاصله بین خرج‌ها را در طول چال خالی گذاشت و تنها نیم متر تا یک متر بالای چال را با مواد پرکننده پر کرد. اما در سنگهای رسوبی دارای لایه‌بندی و یا سنگهای دارای درزه و شکستگی بایستی طول چال را با مواد پرکننده پر کرد . در غیر اینصورت گازهای حاصل از انفجار بدون داشتن نتیجه مفید از لابلای درزه‌ها و شکستگی‌ها خارج می‌گردند.

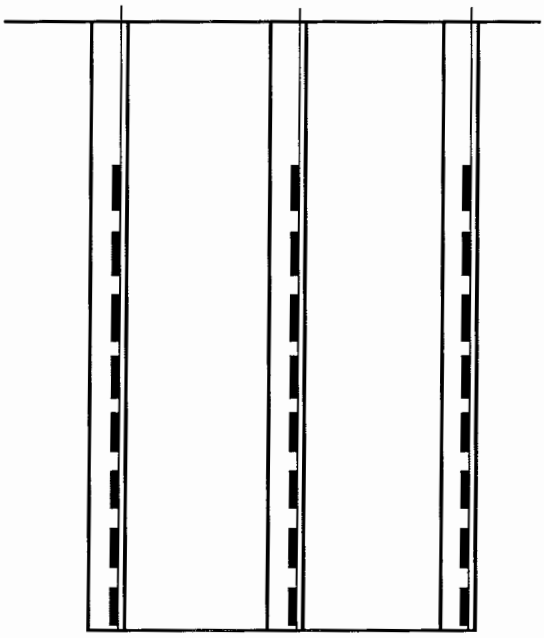
٦- هنگامیکه از روش بالشتکی در محلهای مدور یا گوشه‌های پله استفاده می‌شود باید فواصل چالهای کنترل به یکدیگر نزدیکتر شود. همچنین در این موارد می‌توان با حفر چالهای کمکی(چالهای اضافی که معمولاً بین چالهای دیگر حفر می‌گردند)به بهبود نتایج حاصله کمک نمود. در صورتیکه زاویه گوشه‌های بلوک مورد آتشباری، ۹۰ درجه باشد باید ترکیبی از متد بالشتکی و سایر تکنیکهای آتشباری مورد استفاده قرار گیرد. در شکل ذیل ترکیبی از روش مورد بحث و روش چالهای خالی که در حقیقت همان چالهای کمکی است دیده می‌شود. فاصله‌ای که در آن چال خالی حفر می‌شود نیم تا یک متر از طرفین گوشه کار است.



شکل ٤-۲۹ (الف) حفر چال خالی در سرپیچ در روش آتشباری بالشتکی (ب) حفر چال خالی و چال خرجگذاری شده در روش آتشباری بالشتکی [۱]

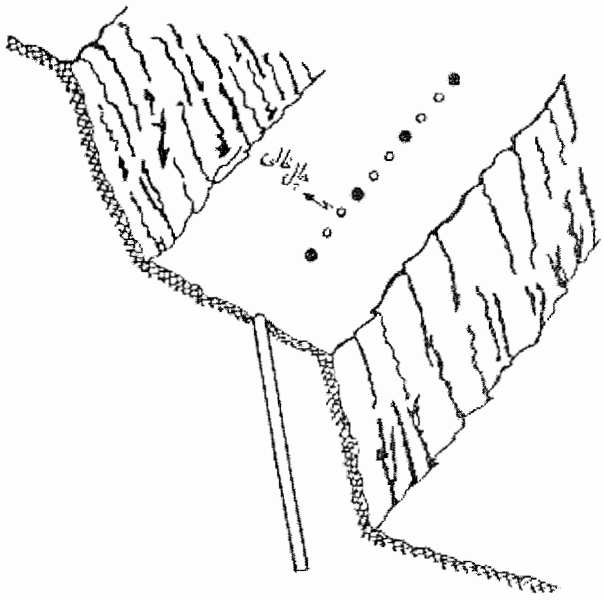
۷- طبق تجارب انجام شده با گل‌گذاری ٦٠ تا ۹۰ سانتیمتر و خالی گذاشتن فاصله بین فشنگ‌های دینامیت می‌توان به نتایج مطلوب در آتشباری بالشتکی دست یافت. برای جدا نگهداشتن فشنگ‌های دینامیت از یکدیگر یا لوله‌های تو خالی بین آنها در چال قرار می‌دهند و یا اینکه آنها را مطابق شکل ٤-۳۰ به فتیله انفجاری می‌بندند.

با انجام این عمل هوای موجود بین خرج و دیواره چال، آتشباری را مهار کرده و موجب عدم عقب‌زدگی خواهد شد. اما این خطر نیز وجود دارد که در صورت وجود درزه یا شکاف یا هر نقطه ضعیف شبیه آن، گازهای حاصل از انفجار از چال خارج شده و امکان ایجاد صفحه برش کاهش یابد و چه بسا که گازها به داخل پله مورد نظر نیز نفوذ کرده و باعث خردشدگی و عقب‌زدگی در دیواره نهایی گردد . لذا همانطور که ذکر شد روش فوق برای سنگهای همگن و سخت که دارای هیچگونه شکستگی و صفحه ضعیفی نیستند قابل اجرا بوده و در ساختارهای غیر همگن حتماً باید فضای بین خرجهای مصرفی به طور کامل پر گردد که بدین منظور بعد از وصل نمودن دینامیتها به فتیله انفجاری و کارگذاشتن آنها در چال، پودر سنگ یا خرده‌ریزه‌های حاصل از حفاری و یا هر ماده دیگری که به راحتی قابل جریان یافتن در چال باشد به داخل چال ریخته می‌شود.



شکل ٤-۳۰ طریقه خرجگذاری چالهای کنترل در روش آتشباری بالشتکی [۱]

از راههای دیگر بهبود نتایج حاصل از این روش، خرجگذاری چالها به صورت یک در میان می‌باشد، همان‌طور که در شکل ٤-۳۱ مشاهده می‌شود.



شکل ٤-٣١ ترکیب چال خالی و چال خرجگذاری شده در روش آتشباری بالشتکی [1]

۸- آتشباری بالشتکی علاوه بر چالهای قائم در چالهای شیبدار نیز می‌تواند به نحو مطلوبی انجام گیرد. اما تنها اشکال عمده موجود در چالهای شیبدار اجرای خرجگذاری می‌باشد به نحوی که فشنگ خرج به طرف سطح آزاد دیواره چال بچسبد . یادآوری می‌شود که در هر دو حالت حفظ امتداد چالها بسیار اهمیت دارد.

۹- روش آتشباری بالشتکی در کارهای زیرزمینی کاربرد چندانی ندارد. به دلیل اینکه نتیجه مطلوب آن به دقت حفاری و به خصوص چگونگی استفاده از مواد پرکننده بین خرج و دیواره بستگی دارد. در صورتیکه در اغلب کارهای زیرزمینی ازچالهای افقی و با قطر کم استفاده می‌گردد که طبعاً خرجگذاری این چالها با این روش چندان عملی نیست و فقط در حفر چاهها و دیگر حفاری های زیرزمینی قائم می‌توان آن را شبیه به آنچه در معادن روباز استفاده می‌شود به کار برد.

٤-٥-٢-مزایا و معایب آتشباری بالشتکی

از مزایای این روش می‌توان موارد ذیل را ذکر نمود:

۱-افزایش فاصله چالها از یکدیگر و درنتیجه کاهش هزینه‌های حفاری

۲-حصول نتایج مطلوب در ساختارهای تحکیم نیافته (هوازده ـ شکسته شده)

۳-با توجه به اینکه در این روش ابتدا چالهای تولید منفجر شده و مواد حاصل بارگیری و حمل می‌گردند، با بررسی وضعیت زمین‌شناسی دیواره جدید حاصل شده از انفجار چالهای تولید می‌توان نسبت به نحوه خرجگذاری چالهای کنترل اقدام نمود که بدین ترتیب از میزان خطا در عمل کاسته می‌شود.

معایب اجرای این روش به شرح ذیل است :

۱-قبل از انفجار چالهای کنترل باید اقدام به انفجار، بارگیری و حمل مواد بلوک استخراجی نمود که در نتیجه بر هزینه‌های آتشباری، بارگیری و حمل افزوده خواهد گشت.

۲-در گوشه های ۹۰ درجه این روش به تنهایی قابل اجرا نیست و باید با روشهای دیگر آتشباری کنترل‌شده ادغام گردد.

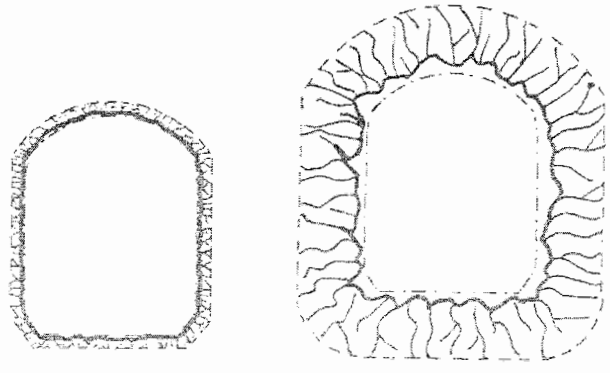
۳-چون اغلب عقب‌زدگی و خردشدگی ناشی از انفجار چالهای تولید در خارج از محدوده بلوک مورد آتشباری به وقوع می‌پیوندد، بارسنگ ردیف چالهای کنترل یکنواخت باقی نمانده و خرجگذاری چالهای این ردیف یکنواخت و مشابه نخواهد بود. لذا باید در این زمینه دقت کافی که مستلزم صرف وقت و هزینه بیشتری است مبذول گردد تا نتیجه مورد نظر عاید گردد.

٤-٦-آتشباری آرام Smooth Blasting

آتشباری آرام(که به آتشباری ملایم نیز معروف است)در خلال سالهای ۱۹۵۰ تا ۱۹۶۰ تکامل یافت. اساس این روش شبیه به روش آتشباری بالشتکی است. اما چالهای آتشباری آرام ممکن است با کل چالها آتش شوند و همچنین از قبل نیاز به خاکبرداری اصلی نیست. مواد منفجره جدیدی جهت آتشباری آرام ساخته شدند. این مواد منفجره با قطرهای کوچک و سرعت انفجار و مقدار گاز کم نتایج خوبی داشتند. آزمایشها به ساخت گوریت که اساس آن نیتروگلیسیرین می‌باشد منجر شد. گوریت حاوی خاک دیاتومه‌دار kieselguhr و ترکیبات دیگر جهت بدست آوردن یک ماده منفجره مناسب است. گوریت در فشنگ‌های به قطر ۱۱، ۱۷ و ۲۲ میلیمتر در دسترس است که برای کاربردهای مختلف مناسب است.

در این روش آتشباری نه تنها چالهای پیرامون (محیطی) بایستی دارای خرج سبک باشند، بلکه چالهای مجاور چالهای پیرامون نیز باید دارای خرج‌های میزان شده باشند. زیرا خرج اضافی در این چالها ممکن است ناحیه بیشتری از خط پیرامون حفاری مورد نظر را قبل از اینکه چالهای پیرامون منفجر شوند بشکندو دیواره نهایی را خراب کند. چالهای پیرامون بایستی به دقت با خرجهای متصله خرجگذاری گردد و با مواد مسدودکننده به خوبی مسدود گردد. برای جلوگیری از پایین رفتن خاک و سنگ ریزه‌ها برای گل‌گذاری، یک توپی کاغذی روی آخرین فشنگ قرار داده می‌شود.

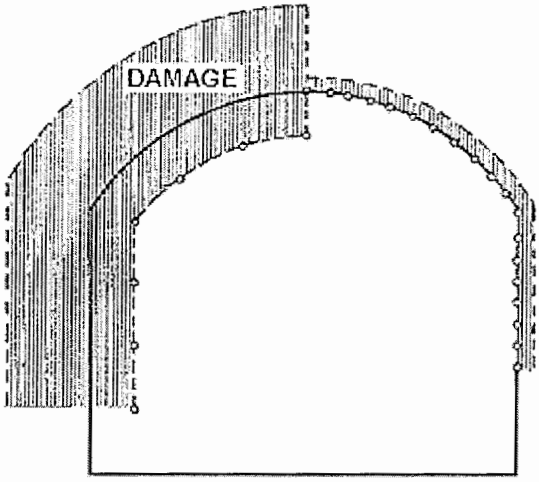
کیفیت سنگهای باقی مانده بستگی به رابطه بین فاصله چالها در ردیف (S) و فاصله ردیف چالها (B) دارد. برای کسب یک نتیجه خوب نسبت S/B بایستی کوچکتر یا مساوی ۰/۸ باشد. در حفاری زیرزمینی، آتشباری آرام با موفقیت کامل صورت می‌گیرد. افزایش تقاضا جهت ایجاد سطوح صاف و بدون ترک در فضاهای زیرزمینی باعث گردید که روش آتشباری آرام به عنوان یک روش استاندارد جهت آتشباری در فضاهای زیرزمینی شناخته شود. در این روش نه تنها یک سطح صاف مورد نظر است بلکه شکستگی خیلی کم در سنگهای اطراف سبب کاهش کارهای تقویتی و نگهداری بعدی خواهد شد. در شکل ٤-۳۲ این مطلب به وضوح دیده می‌شود.



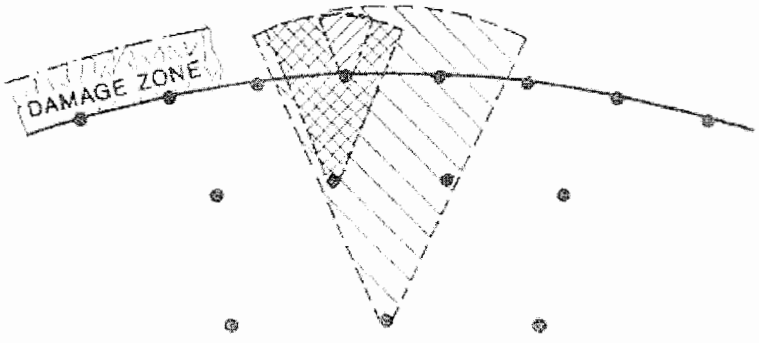
(ب) (الف)

شکل ٤-۳۲ منطقه شکسته شده حاصل از : آتشباری مواد منفجره معمولی (الف) و آتشباری آرام با گوریت ۵۰۰ × ۱۷ میلیمتر (ب) [۲]

در آتشباری زیرزمینی دقت در خرجگذاری چالهای مجاور چالهای پیرامون مهمتر از آتشباری روباز است. به طور معمول چالها در آتشباری تونل نزدیکتر از آتشباری سطحی است و بیشتر تحت فشار هستند. اگر چالهای منقطه استخراج با خرج اضافی پر شوند ممکن است تشکیل ترک این چالها از دیواره پیرامون نهایی بیشتر شود. برای کسب بهترین نتیجه، وجود خرجهای خوب بالانس شده در چالهای مجاور حاشیه ضروریست. (شکل‌های ٤-٣٣ و ٤-٣٤)



شکل ٤-٣٣ چالهای مجاور چالهای پیرامون ممکن است خسارت بیشتری به دیواره نسبت به چالهای پیرامون وارد کنند. [٢]



شکل ٤-٣٤ چالهای مجاور بایستی به دقت منفجر گردند. [٢]

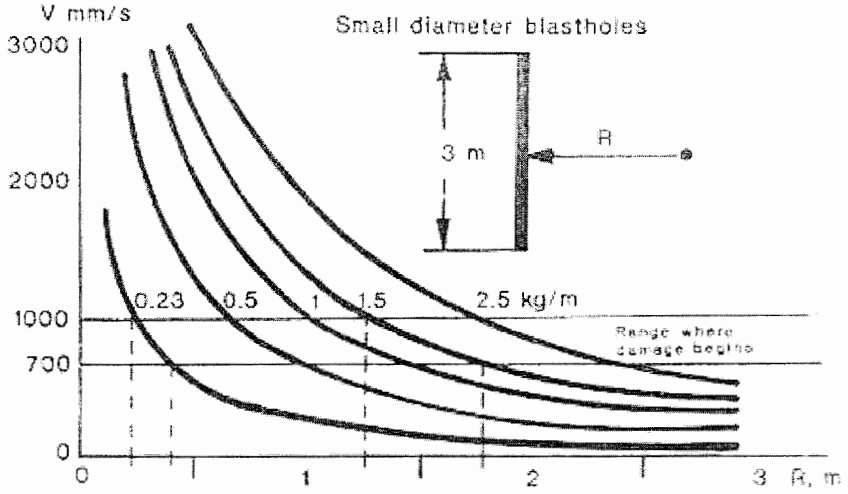
شرکت تحقیقات آتشباری سوئد (SVEDEFO) یک فرمول تجربی جهت پیش‌بینی سرعت لرزشی که از دانسیته خرجهای مختلف در فواصل طولی گوناگون پیش می‌آید ارائه کرده است [٢] :

$$V = 700 \times Q^{0.7} / R^{1.5} \qquad (mm/\sec)$$

V : سرعت لرزش (mm/sec)

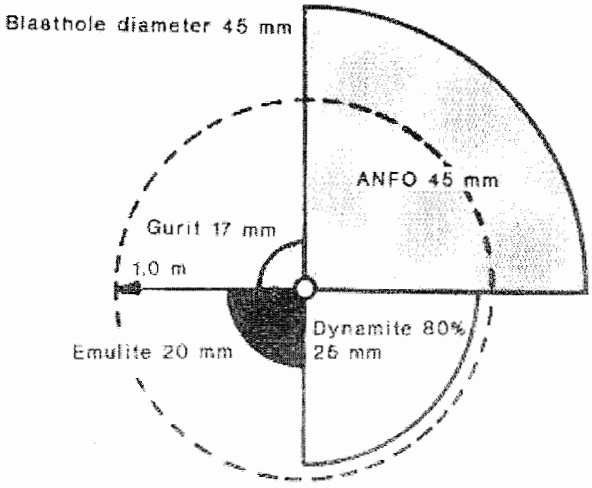
Q : خرج (kg)

R : فاصله (m)



شکل ٤-٣٥ سرعت لرزش V به عنوان تابعی از فاصله R با تراکم خرج مختلف [٢]

این منحنی نشان می‌دهد که یک چال ٤٥ میلیمتری که به طور کامل با تراکم ۱/۵ kg/m با آنفو خرجگذاری گردد، تشکیل یک حلقه ترک خورده از ۱/۲ تا ۱/۸ متر می‌دهد. در حالی که گوریت ۱۷ میلیمتری (۰/۲۳ kg/m) یک منطقه شکستگی از ۰/۲ تا ۰/۳ متر ایجاد می‌کند[۲].



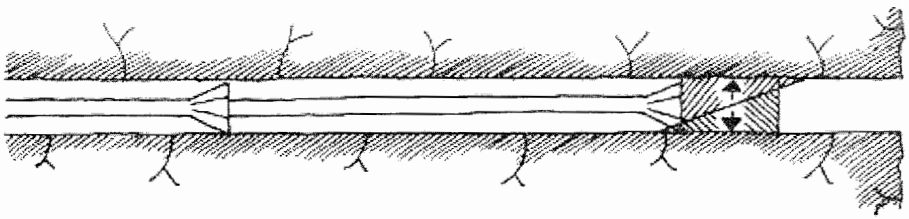
شکل ٤-٣٦ گسترش شکستگی با مواد منفجره مختلف [٢]

در آتشباری آرام، مواد منفجره خاصی را در چالهایی که به فاصله نزدیک حفر شده‌اند به کار می‌برند. جدول ٤-٧ مقدار خرج توصیه شده و الگوی حفاری را برای قطرهای مختلف چال حاشیه ارائه می دهد[٢].

جدول ٤-٧ [٢]

فاصله چالها در ردیف m	چال ردیف حاشیه از مجاور m	نوع خرج	تراکم خرج kg/m	قطر چال حاشیه mm
٠/٢٥-٠/٣٥	٠/٣-٠/٥	١١mm Gurit	٠/١١	٣٢-٣٦
٠/٥٠-٠/٧٠	٠/٧-٠/٩	١٧mm Gurit	٠/٢٣	٤٨-٥٢
٠/٨٠-٠/٩٠	١/٠-١/١	٢٢mm Gurit	٠/٤٢	٦٤-٥١
٠/٨٠-٠/٩٠	١/١-١/٢	٢٢mm GEmmulit	٠/٤٥	٦٤-٥١

این خرجها باید به یکدیگر وصل گردند و به شکل یک رشته خرج درآیند و چالها بایستی با توپی مسدود گردند. یک نوع توپی خاص ساخته شده است که خرج را به طور مؤثر در چال قفل می‌کند. آتش کردن چالهای حاشیه باید با شماره تناوب یکسان جهت کسب نتیجه مناسب‌تر انجام شود [٢].



شکل ٤-٣٧ فشار گاز توپی را با نیروی هر چه بیشتر به دیواره چال قفل می‌کند[٢] .

٤-٦-١- جزئیات آتشباری آرام

٤-٦-١-١- چال:

مانند همه روش‌های آتشباری کنترل‌شده چالها در پیرامون محوطه مورد نظر حفر می‌شوند. دقت در حفر چال برای رسیدن به نتیجه مطلوب بسیار مهم است. دهانه چال بایستی در جای تعیین شده حفر گردد زیرا ممکن است در اثر لرزش مته موقعیت چال عوض شود و اثر آن تأثیر نامطلوب در نتیجه انفجار داشته باشد. همچنین حفظ امتداد چال باید مورد توجه قرار گیرد. قطر چالها معمولاً از ٢٥ تا ٦٤ میلیمتر تغییر می‌کند. هر چه قطر چالها کمتر باشد توزیع چال و خرج یکنواخت‌تر بوده و سطح سینه‌کار پس از انفجار صافتر خواهد بود [١].

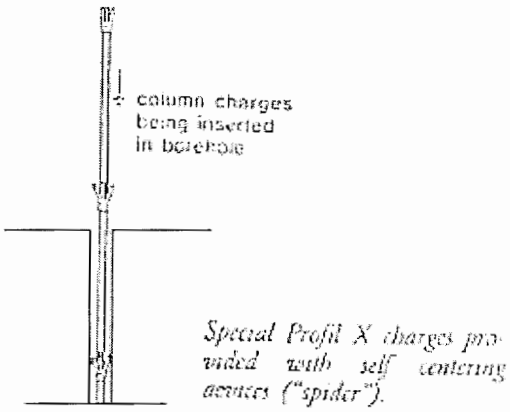
٤-٦-١-٢- ماده منفجره :

در روش آتشباری آرام غلظت خرگذاری (میزان خرج در هر متر چال) باید کم باشد و سرعت انفجار و انرژی حاصل از انفجار پائین باشد، بدین منظور از مواد منفجره ویژه استفاده می‌شود.

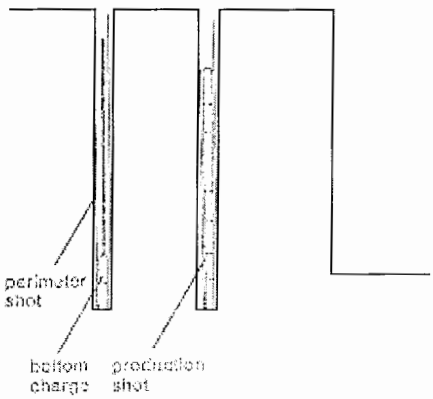
٤-٦-١-٣- خرجگذاری :

در خرجگذاری، فشنگ ماده منفجره نباید با دیواره چال در تماس باشد. لذا خرج در پوشش پلاستیکی نسبتاً محکم قرار می‌گیرد و حد فاصل فشنگ‌ها پره‌های پلاستیکی مخصوص قرار گرفته تا فشنگ مواد منفجره در محور چال مستقر شود. (شکل ٤-٣٨) قطر خرج φc همیشه از قطر چال φh کوچکتر است ($\varphi h \geq 2\varphi c$).

مقدار خرج ته چال حدود ١٠٠ گرم برای هر چال است. البته مقدار آن بسته به قطر چال‌های کنترل و شرایط آنها ممکن است مقداری تغییر کند. جدول ٤-٨ مقدار خرج ته‌چال را در آتشباری آرام در تونل‌ها نشان می‌دهد، البته بهتر است همیشه در محل، آزمایش لازم برای تعیین خرج ته‌چال به عمل آید.



شکل ٤-٣٨ خرجگذاری فشنگهای مواد منفجره با پره‌های پلاستیکی برای جلوگیری از تماس خرج با دیواره چال در آتشباری آرام [١]



شکل ٤-٣٩ خرج ته‌چال در چالهای کناری آتشباری آرام [١]

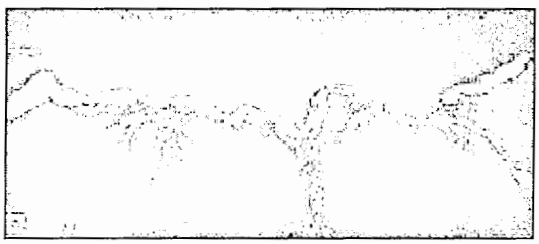
جدول ٤-٨ خرج ته‌چال در تونلها [١]

قطر چال (میلیمتر)	خرج ته‌چال برای چالهای سقف (گرم)	خرج ته‌چال برای چالهای دیوار (گرم)
٣٠	١٠٠	٢٠٠
٤٠	١٧٥	٣٥٠
٥٠	٣٣٠	٦٦٠

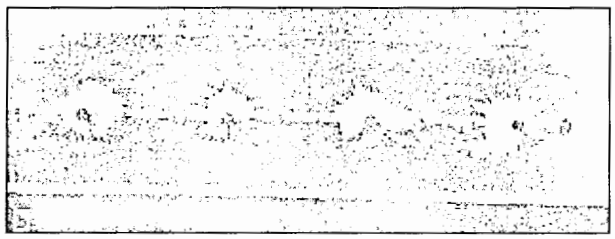
٤-٦-١-٤- آرایش چالها و محاسبات مربوطه :

فاصله چالها از یکدیگر تابع وضعیت سنگ است. در حالتی که سنگ مورد آتشباری یکدست و شکننده باشد فاصله مزبور زیاد می‌شود و موقعی که سنگ شکسته شده باشد فاصله چالها را از یکدیگر کم اختیار می‌کنند. چگونگی شکافها و صافی سطح سنگ باقیمانده تا حد زیادی تابع آرایش چالها می‌باشد. اگر فاصله چالها در هر ردیف را با S و فاصله دو ردیف متوالی را با B نشان دهیم مناسب‌ترین آرایش $\frac{S}{B} \leq 0.8$ است.

در شکل٤-٤٠ $\frac{S}{B} = 2$ می‌باشد و ملاحظه می‌شود که سطح سنگ باقیمانده چقدر ناصاف است. اما در شکل ٤-٤١ که $\frac{S}{B} = 0.5$ می‌باشد ، می‌بینیم که شکافها از هر چال به چال بعدی منتقل شده و سطح سنگ باقیمانده صاف در می‌آید. البته در این شکل از هر سه چال یکی خرجگذاری شده است. اما اگر هر سه چال نیز خرجگذاری می‌شد سطح بدست آمده خیلی صافتر از حالت قبلی به دست می‌آمد. فاصله چالها از هم حدود ٣٠ سانتیمتر و فاصله هر دو چال خرجگذاری شده حدود ٦٠ سانتیمتر می‌باشد. وجود چالهای خالی در محل‌های منحنی شکل لازم است [١].



شکل ٤-٤٠ شکستگی جدار تونل در جایی که $\frac{S}{B} = 2$ باشد. [١]



شکل ٤-٤١ تولید شکاف بین چالهای متوالی در جایی که $\frac{S}{B} = 0.5$ باشد. [١]

در جدول٤-٩ مقادیر B و S در آتشباری آرام در تونل برای دو نوع سنگ و براساس رابطه بین فشار وارده به سنگ و مقاومت کششی آن داده شده است. در این جدول نوع خرج مصرفی Profilx می‌باشد. در آتشباری آرام برای محاسبه آرایش چالها فرمول ذیل نیز به کار می‌رود که φh قطر چال به متر و B و S نیز بر حسب متر هستند.

$$\begin{cases} S = (15-20)\varphi h \\ B = 1.25S \end{cases}$$

آرایش چالها براساس محاسبات انجام شده می‌تواند خیلی متغیر باشد. اگر از فرمول ارائه شده استفاده می‌شود ، شایسته است که اعداد بدست آمده مبنای تجربه قرار گیرند و فواصل حقیقی آرایش چالها پس از تجارب متعدد تعیین گردد. به هر حال در ادامه جداولی حاصل از نتایج عملی آتشباری آرام ارائه می‌گردد. بهترین نتیجه از انفجار زمانی حاصل می‌شود که تمامی طول چال خرجگذاری شود. بستن دهانه چال درصورتی انجام می‌گیرد که در اثر انفجار تاخیری ، امکان پرتاب خرج در برخی از چالها به بیرون چال باشد. به هر حال این روش آتشباری کنترل‌شده برای سنگ‌های نسبتاً مقاوم مناسب است. [١]

جدول ٤-٩ مقادیر B , S در آتشباری آرام در تونل برای دو نوع سنگ [١]

نوع سنگ	قطر چال میلیمتر	قطر خرج میلیمتر	S متر	B متر
سنگ آهک	٣٢	١٧	٠/٧٨	٠/٩٨
6t- 5Mpq	٥١	٢٥	١/٠٦	١/٣٣
گرافیت	٣٢	١٧	٠/٥٠	٠/٦٣
6t= 8Mpq	٥١	٢٥	٠/٦٨	٠/٨٥

جدول ٤-١٠ آرایش چالها در آتشباری تونلها [۱]

ارائه کننده	قطر چال میلیمتر	قطر خرج میلیمتر	غلظت خرج kg/m	S متر	B متر
Du Pont	۳۲	–	۰/۳۸-۰/۱۸	۰/۶	۰/۹
	۵۱	–	۰/۳۸-۰/۱۸	۰/۷۵	۱/۰۵
تیترو نوبل	۳۲-۲۵	۱۱	۰/۰۷	۰/۳۵	۰/۴۵
	۴۳-۲۵	۱۷	۰/۱۶	۰/۶ ۰/۵	۰/۸-۰/۷
	۵۱-۴۸	۱۷	۰/۱۶	۰/۷-۰/۶	۰/۹-۰/۸
	۴۸	۲۲	۰/۳	۰/۸	۱
	۶۴	۲۲	۰/۳۶	۰/۹-۰/۸	۱/۱-۱
برخی ارقام عملی	۳۲	۱۷	۰/۲۲	۰/۶-۰/۴	۰/۷۵-۰/۵۵
	۵۱	۲۵	۰/۵۰	۰/۹-۰/۶۵	۱/۲۰-۰/۸۰

جدول ٤-١١ آرایش و خرجگذاری چالها در آتشباری آرام [۱]

قطر چال میلیمتر	قطر خرج میلیمتر	تراکم خرج کیلوگرم‌درمتر	فاصله‌چالهاازهم متر	بارسنگ متر
۳۲	۲۲	۰/۲۱	۰/۸-۰/۶	۱/۱-۰/۹
۳۲	۲۵	۰/۲۱	۰/۸-۰/۶	۱/۱-۰/۹
۳۸	۲۲	۰/۲۱	۰/۸-۰/۶	۱/۱ ۰/۹
۳۸	۲۵	۰/۲۱	۰/۸-۰/۶	۱/۱-۰/۹
۵۱	۳۲	۰/۳۸	۱-۰/۷	۱/۳-۰/۹
۵۱	۳۲	۰/۴۷	۱-۰/۸	۱/۴-۱
۶۲	۳۲	۰/۳۸	۱-۰/۷	۱/۳-۰/۹
۶۴	۳۲	۰/۴۷	۱-۰/۸	۱/۴-۱
۶۲	۲۵	۰/۵۵	۱/۳-۱	۱/۶-۱/۲
۷۶	۲۵	۰/۵۵	۱/۳-۱	۱/۶-۱/۲
۷۶	۲۰	۰/۷۱	۱/۳-۱	۱/۷-۱/۳
۸۹	۳۲	۰/۹	۱/۴-۱/۲	۱/۹-۱/۷
۸۹	۵۰	۱/۳۲	۱/۵-۱/۳	۲/-۱۸
۱۰۲	۳۲	۰/۹	۱/۴-۱/۲	۱/۹ ۱/۷
۱۰۲	۵۰	۱/۳۲	۱/۵-۱/۳	۲ ۱/۸

جدول ٤-١٢ حداقل تراکم خرج در آتشباری آرام

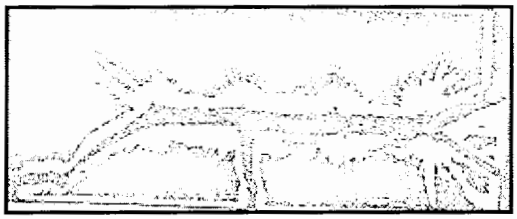
قطر چال میلیمتر	حداقل خرج کیلوگرم در متر
٣٢	٠/١٠
٣٨	٠/١٥
٤٥	٠/٢٠
٥١	٠/٢٥
٦٤	٠/٤٠
٧٦	٠/٥٥
٨٩	٠/٧٠
١٠٢	٠/٩٠

٤-٦-١-٥- انفجار :

بطور کلی دو دسته چال باید منفجر شوند. ابتدا چالهای تولید که قسمت عمده عملیات را از نظر حجم کار تشکیل می‌دهند و سپس چالهای کنترل منفجر خواهند شد. بهتر است انفجار چالهای کنترل فوری باشد و برای این کار از چاشنی برقی یا فتیله انفجاری استفاده شود، درصورتیکه بنا به ملاحظاتی مانند لرزش زمین بخواهیم از مقدار خرجی که هر بار منفجر می‌شود بکاهیم می‌توان چالهای کنترل را با تاخیر منفجر نمود و در چنین وضعیتی فاصله زمانی تاخیر باید کمتر از ١٠٠ میلی‌ثانیه باشد. برای مقایسه سطح نهائی، پس از انفجار چالهای کنترل به اشکال ذیل توجه شود[١].

شکل ٤-٤٢ چالهای کنترل با فاصله زمانی بیش از ١٠٠ میلی‌ثانیه و یک‌به‌یک آتش شده‌اند[١].

شکل ٤-٤٣ چالهای کنترل با چاشنی کم‌تاخیری کمتر از ۱۰۰ میلی‌ثانیه آتش شده‌اند. سطح بوجود آمده صافتر از حالت قبلی است[۱].



شکل ٤-٤٤ چالهای کنترل با چاشنی فوری آتش شده‌اند، در این حالت سطح باقیمانده صافتر از حالات قبلی است [۱].

برای محافظت چالهای آتشباری آرام چالهای ضربه‌گیر که به چالهای کنترل نزدیک‌اند باید طوری خرجگذاری شوند که انفجار آنها به چالهای کنترل لطمه نزند (جدول ذیل)[۱].

جدول ٤-۱۳ خرجگذاری چالهای ضربه‌گیر[۱]

قطر چال میلیمتر	خرج ته‌چال گرم	خرج میان‌چال گرم
۳۰	۳۰۰	٤۰۰
٤۰	٤٥۰	٦۰۰
٥۰	۷٥۰	۱۰۰۰

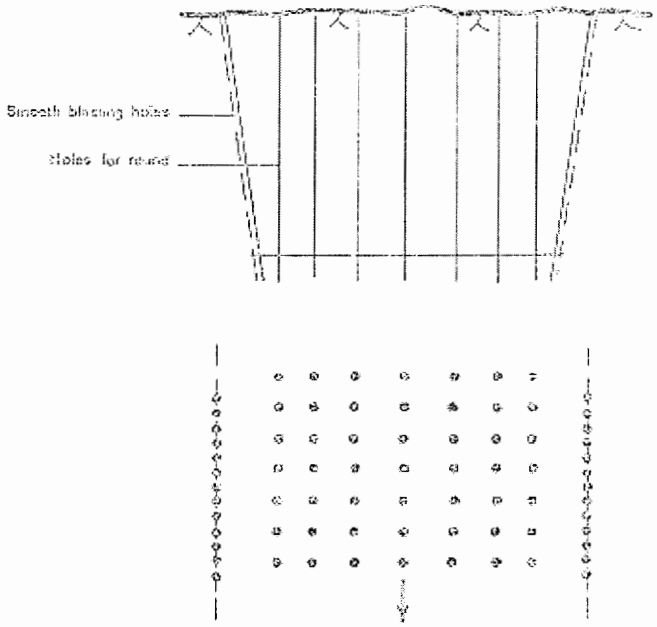
٤-٦-۲-آتشباری آرام در حفر ترانشه

چالهای اصلی یا عمومی حفر ترانشه به صورت قائم حفر می‌شوند و چالهای کنترل که سطح شیبدار و نمائی دیواره ترانشه را بوجود می‌آورند به صورت مایل و نزدیک به یکدیگر حفر می‌گردند(شکل٤-٤٥). چالهای کنترل پس از انفجار چالهای اصلی آتش می‌شوند. وجود خرج ته‌چال در چالهای کناری لازم است و مقدار آن تابع عمق چالها است. هر چه چال عمیق‌تر باشد به مقدار خرج ته‌چال افزوده می‌شود و به هر حال از

استعمال مواد منفجره خیلی قوی باید خودداری کرد. مثلاً مقدار خرج ته‌چال برای چال ۸ متری حدود ۴۰۰ گرم است.

نظر به اینکه ممکن است در اثر انفجار چالهای اصلی، خرج چالهای کنترل به بیرون پرتاب شود دهانه آنها را با درپوش مطمئن می‌بندند. همچنین آخرین ردیف چالهای اصلی که در واقع نزدیک‌ترین ردیف به چالهای کناری هستند باید به نحوی خرجگذاری شوند که انفجار آنها موجب لطمه زدن به چالهای کناری نشود.

از محاسن آتشباری کنترل شده آرام اینست که سقف تونل و یا دیواره ترانشه به وسائل نگهداری کمتری نیاز دارد و از معایب آن اینست که در همه نوع سنگی کاربرد ندارد، این روش در سنگهای خیلی نرم و شکافدار کاربردی ندارد[۱].



شکل ٤-٤٥ آرایش چالهای تولید و چالهای آتشباری آرام در حفر ترانشه[۱].

٤-٦-٣- مزایا و معایب آتشباری آرام [۱و۲]

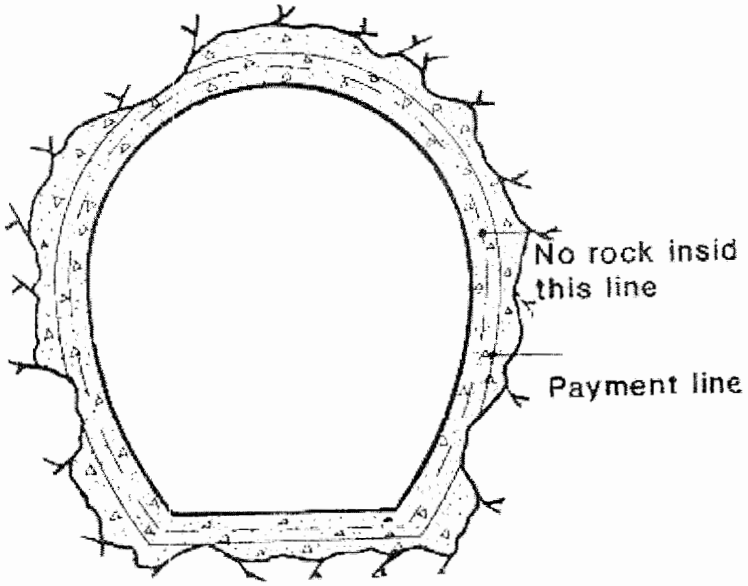
مزایا :

- افزایش فاصله چالها باعث کاهش نرخ حفاری می‌شود.
- بهترین نتیجه در تشکیلات سنگهای غیر همگن به وجود می‌آید.
- نیاز به خاکبرداری قبل از اینکه آتشباری آرام انجام شود نیست.
- خرجهای ویژه باعث توزیع مناسبتر در چالهای کنترل می‌شود.
- در سقف تونل یا دیواره ترانشه به وسایل نگهداری کمتری نیاز می باشد(به دلیل ایجاد درزه و شکاف کم)
- **معایب :**
- این روش در سنگهای خیلی نرم و شکافدار کاربرد ندارد.

۵- جنبه‌های اقتصادی آتشباری کنترل‌شده

مزایای اقتصادی آتشباری کنترل‌شده اساسا در آتشباری تونلی ظاهر می‌گردد. در سنگهای مقاوم شکستگی بیش از اندازه به پیرامون تونل منتقل می‌شود. به عنوان مثال شکستگی بیش از یک متر مکعب در هر متر طول تونل باعث جابجایی ۱۰۰۰ متر مکعب سنگ اضافه در هر کیلومتر می‌شود.

این مسئله در سنگهای ناهمگن بسیار جدی‌تر است و نیاز به بتن‌ریزی دیواره دارد.

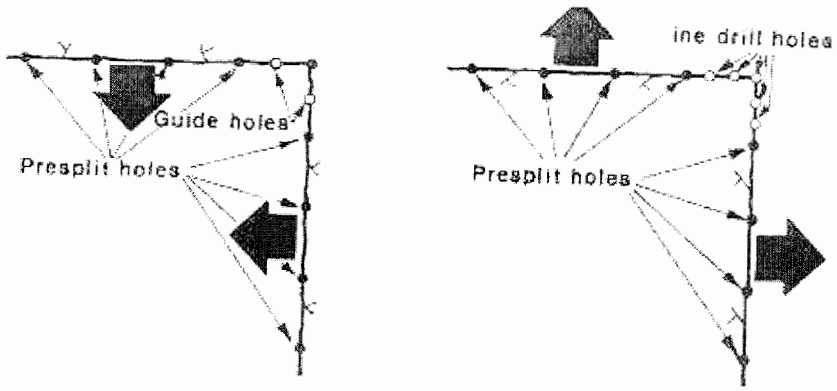


شکل ۵-۱ تونل آبی [۷]

به عنوان مثال آتشباری یک تونل آب‌بر با طول ۵۰۰۰ متر را با استفاده از آتشباری متعارف و آتشباری کنترل‌شده بررسی می‌کنیم. سطح مقطع عرضی این تونل ۵۵ متر مربع و محیط سقف و دیواره‌های آن ۲۰ متر است. هزینه اضافی برای آتشباری کنترل‌شده ۱۹ دلار به ازای هر متر مربع می‌باشد و هزینه بتن آن ۱۳۰ دلار برمتر مکعب می‌باشد(قیمت ۱۹۸٤). اگر از آتشباری متعارف استفاده شود بدون تردید اضافه حفاری ۳۰ سانتیمتری بیشتر از زمانی که از آتشباری آرام استفاده شود خواهیم داشت. این اضافه حفاری نیاز به پر کردن با بتن دارد. در مورد این تونل ٦ متر مکعب بتن اضافه در هر متر طول تونل نیاز خواهد بود. در نتیجه برای ۵۰۰۰ متر طول تونل احتیاج به ۳۰۰۰۰ متر مکعب بتن اضافه به ازای هر متر مکعب ۱۳۰ دلار می‌باشد که در مجموع ۳۹۰۰۰۰۰ دلار هزینه خواهیم داشت. اگر از آتشباری آرام استفاده شود هزینه برابر $20 \times 5000 \times 19 = 1900000$ خواهد شد. در این مثال هیچ هزینه‌ای بابت مخارج اضافی دیگر مانند باربری، بولت‌گذاری و شاتکریت در طول عملیات در نظر نگرفته شده است. اما ممکن است مجموع این مخارج اضافی نیز مبلغ قابل توجهی شود[۷].

٦- روشهای ترکیبی

همانطور که قبلاً اشاره شد ممکن است روشهای ترکیبی مختلف برای آتشباری کنترل‌شده مورد استفاده قرارگیرد. در سنگهای غیر متراکم، ترکیبی از حفاری خطی، آتشباری آرام و یا روش پیش‌شکافی نتیجه بهتری را نسبت به حالتی که فقط یکی از روشهای قبلی مورد استفاده قرار می‌گیرد ارائه می‌دهد. حفاری خطی در بین چالهای آتشباری آرام و یا چالهای پیش‌شکافی به عنوان راهنما یا هادی برای برش بین چالها عمل می‌کند. همچنین بایستی توجه کرد که فاصله نزدیکتر چالها در آتشباری خط مستقیم مورد نیاز است. زوایای ۹۰ درجه ممکن است پیش‌شکافی یا حفاری خطی گردند. اگر لرزش زمین، صدا و عوامل دیگر در انفجار محدودیتهایی به وجود نیاورد روش پیش‌شکافی ترجیح داده می‌شود.



شکل ٦-١ ترکیب‌هایی از روشهای آتشباری کنترل شده در زوایای ۹۰ درجه [۷]

۷- عوامل مؤثر در نتایج آتشباری کنترل شده

عوامل متعددی در نتیجه انفجار این نوع آتشباری‌ها مؤثرند که عمده آنها به قرار زیراند:

- خصوصیات ماده منفجره
- خصوصیات زمین شناسی
- طرح آتشباری

۷-۱-خصوصیات ماده منفجره

ماده منفجره بایستی بین دو چال متوالی شکاف ایجاد کند و کمترین لطمه را به دیواره نهایی وارد نماید. بدین منظور مواد منفجره در آتشباری کنترل‌شده باید ویژگیهای زیر را داشته باشند:

الف) ماده منفجره می‌بایست به گونه‌ای باشد که تراکم خرج آن کم باشد .

ب) فشار انفجار ماده منفجره در چال پایین باشد .

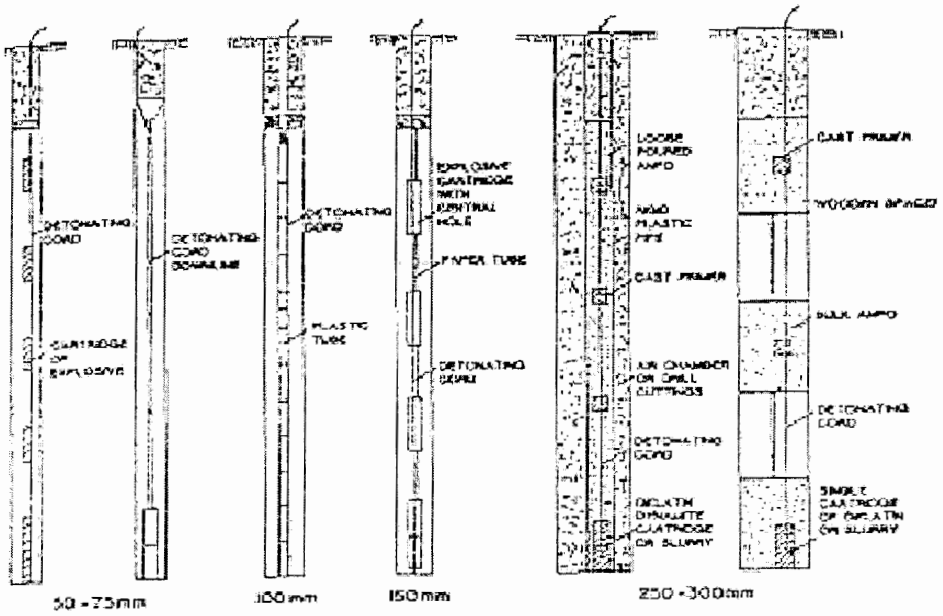
۷-۱-۱- مواد مورد استفاده در آتشباری کنترل‌شده:

۷-۱-۱-۱-خرجگذاری های مرسوم:

مواد منفجره اولیه در انفجارهای کنترل‌شده ترکیبی از دینامیت با کرتکس بوده که به منظور دستیابی به چگالی خرجگذاری مناسب، دینامیت ها به صورت فاصله‌دار قرار می‌گیرند .

۷-۱-۱-۲-بسته بندی های ویژه:

کارخانه‌های مواد منفجره طرحهای بسته‌بندی ویژه‌ای را برای خرجگذاری سریع و آسان چالهای انفجاری در بازار عرضه کرده‌اند. برای مثال، در بعضی کشورها مواد منفجره با چگالی کم در لوله‌های طولی قرار داده می‌شوند که دارای طولهای ۵۵۰ و ۶۰۰ میلیمتر و قطرهای ۱۱ و۱۷ و۲۲ میلیمتر می‌باشند. می‌توان آنها را در انتها به یکدیگر متصل نمود که به آتشبار امکان خرجگذاری سریعی را می‌دهد(شکل ۷-۱). در انتهای چال خرج متفاوتی قرار می‌گیرد و این لوله‌های حاوی مواد منفجره، توسط کرتکس به یکدیگر متصل شده‌اند. اکنون در اسپانیا بسته‌بندیهای مواد منفجره ژله‌ای در لوله‌های پلاستیکی قابل انعطاف با کالیبرهای ۱۷ و۱۹ میلیمتر با چگالی ۲۵۰ و ۳۰۰ گرم برمتر وجود دارد [۷].



شکل ۷-۱ یک نوع خرجگذاری برای آتشباری کنترل‌شده با قطر چالهای متفاوت [۵]

۷-۱-۱-۳-کرتکس‌های انفجاری :

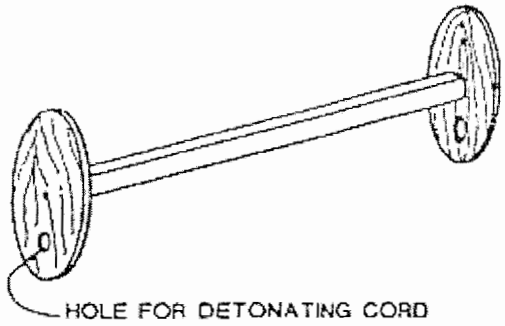
اخیراً در اسپانیا کرتکس‌ها با خرج مرکزی بالا (۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ گرم پنتریت در متر) به بازار عرضه شده است که به علت پیوسته بودن آن توزیع انرژی بهتر و خرجگذاری آن سریعتر می‌باشد.

شکل ۷-۲ خرجگذاری با کرتکسهای با خرج مرکزی بالا در چالها برای آتشباری کنترل شده [۵]

در کف چالهای انفجاری بایستی مواد منفجره ژلاتینی قرار گیرد. کرتکس‌ها در عملیاتهای تخریبی و برای برش سنگهای تزئینی که برشهای صاف و دقیق ضروری می باشد استفاده می‌شوند. اخیراً از کرتکسهای با چگالی بالا در اجرای حفاری‌های کنترل شده با قطر ۷۶ و ۸۹ میلیمتر استفاده می‌شود [۷] .

۷-۱-۱-٤-نوعی از آنفو با چگالی کم :

در انفجارهای با قطر بزرگ برای خرجگذاری ناپیوسته آنفو، بایستی آنرا داخل بسته‌های پلاستیکی قرار داد. این روش بسیار گران و خسته کننده می‌باشد و باید از فاصله‌گذار چوبی استفاده شود.



شکل ۷-۳ فاصله‌گذار چوبی برای خرجگذاری ناپیوسته آنفو با قطرهای بزرگ [۵]

امروزه سه روش برای کاهش انرژی خرجگذاری ناپیوسته وجود دارد که عبارتند از:

۱- برای کاهش چگالی ماده منفجره می‌توان به مقدار حداکثر ۲۰ درصد از نمک به صورت مخلوط استفاده کرد. نمک دو نقش دارد، اول به عنوان کاهش دهنده فیزیکی شدت انرژی و دوم به عنوان یک سرد کننده ماده منفجره سرعت انفجار و دمای انفجار را کاهش می دهد. مزایای مهم دیگر آن کاهش حساسیت اولیه و افزایش قطر بحرانی می‌باشد. یک نکته اینکه اگر چه نمک با آنفو واکنش شیمیایی ندارد ولی در زمان انفجار نمک می تواند اثر سردکنندگی زیادی که ترکیبات ناقص و گازهای سمی از احتراق ناقص تولید می‌کنند داشته باشد.

۲- روش دیگر بر اساس ثابت نگه‌داشتن چگالی و کاهش میزان گازوئیل به کمتر از ٦ درصد است که کاربرد خیلی کمی دارد. بنابراین، مقدار انرژی آنفوی ۹٤/٦ درصد ۳۷۸۰ واحد و آنفوی ۹۸/۵ درصدی فقط ۲۲۹۳ واحد انرژی می‌باشد.

۳- این روش که در حال حاضر مرسوم است ترکیب آنفو با دانه‌های پلی‌استرین می‌باشد که ANFOPS نامیده می‌شود. کاهش چگالی آنفو به مقدار ۰/۰۳، انفجار مطمئنی را در چالهایی با قطر زیاد نتیجه می‌دهد. با این ماده منفجره، مقدار انرژی و چگالی آنفو در هر متر تا حد ۱۰ درصد آنفوی خالص می‌باشد. بنابراین ترکیب ANFOPS با نسبت حجمی ۱ به ۳ ، چگالی ۰/۲ برای چال انفجاری با قطر ۳۱۰ میلیمتر حاصل

می‌شود که فشاری به نسبت ۱۲ برابر کمتر از آنفو می‌دهد. با کاهش شدت موج انفجاری و حجم گازهای انفجاری مقدار عقب‌زدگی کمتری را در آتشباریهای کنترل‌شده خواهیم داشت.

در جدول ۷-۱ انواع مواد منفجره برای آتشباری کنترل‌شده برای برخی از کشورهای سازنده نوشته شده است. در مواردی که اینگونه مواد در دسترس نباشد می‌توان فشنگهای مواد منفجره معمولی را نصف کرده و آنها را به فتیله انفجاری یا چوب به فواصل معین بسته و در چال خرجگذاری نمود. در هر صورت بهتر است انفجار با فتیله انفجاری صورت گیرد.

جدول ۷-۱ برخی از مواد منفجره مناسب آتشباری کنترل‌شده[۱]

اسم (تجارتی) ماده منفجره	کشور سازنده	قطرفشنگ به میلیمتر	طول‌فشنگ به‌میلیمتر	وزن مخصوص	نوع پوشش	مقدارخرج درمترمربه گرم
profil X	ایتالیا	۱۷	۴۶۰	۱/۲	پلاستیک	۲۲۰
profil X	ایتالیا	۲۵	۴۶۰	۱/۲	پلاستیک	۵۰۰
Gurit	سوئد	۱۱	۴۶۰	۱/۳	پلاستیک	۱۰۸
Gurit	سوئد	۱۷	۴۶۰	۱/۳	پلاستیک	۲۴۰
Nabit	سوئد	۲۲	۱۰۰۰	۱/۲	پلاستیک	۴۰۰
Nabit	سوئد	۲۵	۱۰۰۰	۱/۲	پلاستیک	۵۴۰
Nabit	سوئد	۲۹	۱۰۰۰	۱/۲	پلاستیک	۷۱۰
K-Tubecharge	فنلاند	۱۱	–	–	–	۳۰
K-Tubecharge	فنلاند	۱۷	–	–	–	۵۰
K-Tubecharge	فنلاند	۲۵	–	–	–	۲۰۰
K-Tubecharge	فنلاند	۳۲	–	–	–	۳۲۰
K-Tubecharge	فنلاند	۳۹	–	–	–	۴۴۰
F-Tubecharge	فنلاند	۱۱	–	–	–	۶۰
F-Tubecharge	فنلاند	۱۷	–	–	–	۱۳۰
Anfo	فنلاند	۳۸	–	–	–	۸۹۰
Anfo	فنلاند	۴۵	–	–	–	۱۲۶۰
Anfo	فنلاند	۵۱	–	–	–	۱۶۰۰
Anfo	فنلاند	۶۴	–	–	–	۲۷۰۰
Dynamic	فنلاند	۲۴	–	–	–	۶۰۰
Dynamic	فنلاند	۴۰	–	–	–	۱۷۰۰
Dynamic	فنلاند	۵۰	–	–	–	۲۶۰۰
Dynamic	فنلاند	۶۰	–	–	–	۳۰۰۰

۷-۱-۲-فشار چال

اصل معمول در انفجار کنترل‌شده ایجاد شکاف با پهنای کافی بین چالها با کمترین مقدار خرج می‌باشد. انواع گوناگون مواد منفجره، سطوح مختلفی از فشار را بر دیواره چال وارد می‌کنند. هر قدر فشار ایجاد شده کمتر باشد، سطح توده‌سنگ به همان اندازه صافتر و یکپارچه‌تر خواهد بود[۱].

۷-۲- خصوصیات زمین شناسی

از آنجائیکه عوامل زمین‌شناسی نقش بسیار مهمی در مشخصات فیزیکی و مکانیکی سنگ دارند، بدون شک در آتشباری کنترل‌شده نیز باید مورد توجه قرار گیرند و به منظور کاهش لطمه‌های ناشی از انفجار باید تأثیر عوامل زمین‌شناسی بر سنگ مورد انفجار مطالعه گردد. این مطالعات از منابع زیر صورت می‌پذیرد:

نمودارهای حفر چال، نمودارهای ژئوفیزیکی، مغزه‌های حاصل از اکتشافات و بالاخره آزمایش‌های انجام شده برای تعیین کیفیت و عکس‌العمل سنگ در مقابل انفجارها. مقاومت کششی و فشاری سنگ‌ها از نقطه نظر خرد شدن حائز اهمیت است. هوازدگی می‌تواند موجب کاهش مقاومت سنگ شود و چه بسا که برای خردکردن آن نیازی به آتشباری نباشد و اگر قرار است در چنین سنگی انفجار صورت گیرد باید بر تعداد چالها افزود و خرج هر چال را کاهش داد.در غیر این صورت عقب‌زدگی بوجود می‌آید.

❖ خواص ژئوفیزیکی توده‌سنگ نیز روی نتایج آتشباری تأثیر می‌گذارد این خواص به قرار زیراند:

الف) میزان شکستگی　　ب)فاصله شکافها

ج)جهت درزه‌ها　　د)شرایط درزه‌ها

۷-۲-۱- میزان شکستگی

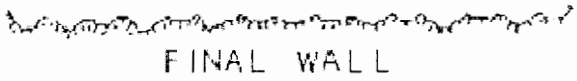
میزان شکستگی توده‌سنگها را می‌توان توسط مغزه‌های استاندارد به قطر ۵٤/۷ میلیمتر و یا با مغزه‌های بزرگتر و با استفاده از RQD تعیین نمود. در روش RQD میزان درصد تکه‌های بازیابی شده با ابعاد بیش از ۱۰ سانتیمتر در مغزه حاصله نسبت به طول مغزه به عنوان درصد بازیابی مغزه به حساب آمده و تکه‌های کوچکتر از ابعاد فوق، به عنوان نتیجه درزه‌ها وشکافها و گسلها و یا هوازدگی در توده‌سنگ تلقی شده و به حساب آورده نمی‌شود.

در توده‌سنگی که درصد بازیابی آن ٪۱۰۰ باشد بهترین نتیجه کنترل آتشباری حاصل خواهد گردید و در صورتی که میزان بازیابی به کمتر از ٪۵۰ کاهش یابد، توده‌سنگ ضعیف و خردشده تلقی شده و باید فواصل چالهای کنترل و میزان خرج آنها کاهش یافته و علاوه بر آن از چالهای بدون خرجگذاری در ردیف چالهای کنترل استفاده نمود تا نتیجه انفجار رضایت بخش باشد.

۷-۲-۲- فاصله شکافها

منظور از فاصله شکافها فاصله عمودی بین صفحات شکستگی نظیر درزه‌ها و صفحات لایه‌بندی ضعیف و غیره در توده‌سنگ می‌باشد. فاصله ذکر شده فوق از میانگین فاصله یکسری درزه بدست آمده و بهترین اندازه‌گیری در این مورد در سنگهای رخنمون یا در قسمتهای بریده شده امکان‌پذیر است.

در صورتی که فاصله شکافها کمتر از ۸ اینچ باشد، شکستگی در توده‌سنگ زیاد بوده و لذا در عملیات آتشباری کنترل‌شده باید با کم نمودن فاصله چالها و کاهش میزان خرجگذاری نتیجه را به حد مطلوب رساند. از طرف دیگر اگر سنگ مورد آتشباری یکپارچه و دارای تعداد کمی ناپیوستگی باشد با در نظر گرفتن فاصله بسیار کم برای چالهای کنترل همانطور که در شکل ۷-۴ ملاحظه می‌شود منطقه بین این چالها بجای ایجاد ترک، خرد شده و سنگهای لق از دیواره جدید در حین عملیات بارگیری جدا خواهند شد که نتیجه آن ایجاد یک دیواره غیر یکنواخت می‌باشد. بالعکس در صورتی که فاصله چالهای کنترل از یکدیگر بسیار زیاد در نظر گرفته شود، دیواره جدید حاصله نظیر آنچه در شکل ۷-۵ نشان داده شده غیر یکنواخت خواهد گردید. همچنین در صورت مصرف بیش از حد مواد ناریه در چالهای کنترل، دیواره این چالها به شدت خرد گردیده و در دیواره جدید اثری از چالها باقی نخواهد ماند.



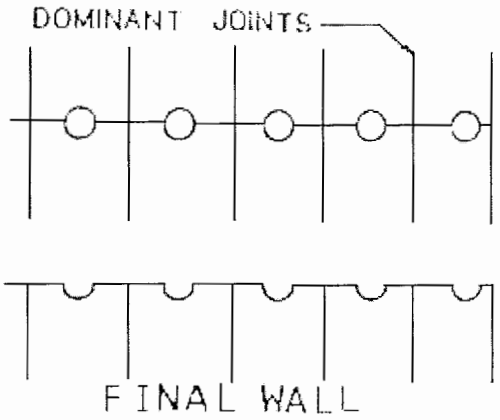
شکل ۷-٤ نتایج حاصل از اجرای تکنیک آتشباری کنترل‌شده presplitting با در نظر گرفتن فاصله کوتاه بین چال‌های کنترل [۱]

شکل ۷-۵ نتایج حاصل از اجرای تکنیک presplitting با در نظر گرفتن فاصله بسیار زیاد بین چال‌های کنترل [۱]

۷-۲-۳- جهت درزه‌ها

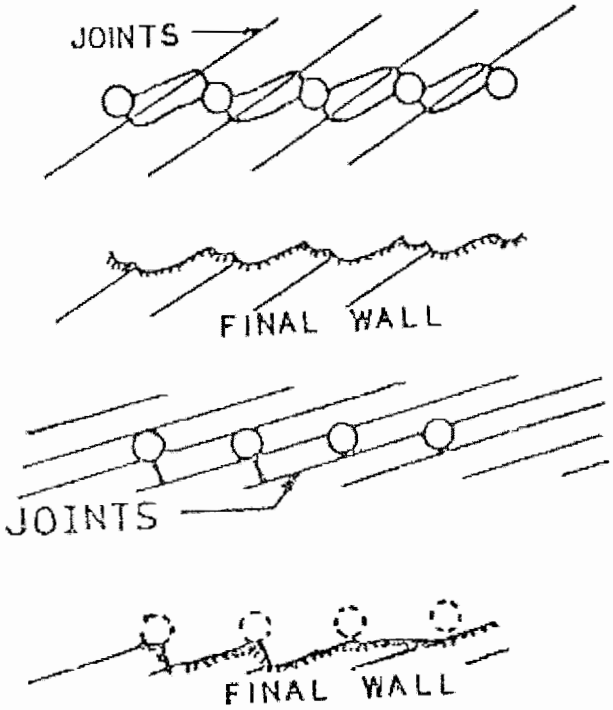
جهت یا موقعیت ناپیوستگیها بطور کلی بوسیله امتداد و شیب صفحه آنها تعریف می‌شود. در آتشباری کنترل‌شده جهت ناپیوستگی‌های توده‌سنگ نسبت به سطح زمین می‌تواند بزرگترین اثر را در نتیجه حاصله داشته باشد. بنحوی که نقش روش انفجار، نوع سنگ و شدت ناپیوستگی‌ها را می‌توان نادیده گرفت. طبق تجربیات و مشاهدات انجام شده وجود ناپیوستگی‌های ذکر شده با زاویه کمتر از ۱۵ درجه نسبت به ردیف چالهای کنترل، اثر منفی در نتیجه آتشباری با روش پیش‌شکافی خواهد داشت و این صفحات برخی اوقات به عنوان صفحات پیش‌شکاف طبیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

هنگامیکه سنگ مورد آتشباری دارای تعداد زیادی درزه باشد و این درزه‌ها با زاویه ۹۰ درجه سطح آزاد را قطع نموده و امتداد ردیف چالهای کنترل نیز عمود بر امتداد این درزه‌ها باشد، دیواره جدید را امتداد این ردیف چال تشکیل و اثرات چالهای کنترل بر آن باقی خواهد ماند. همچنین اگر درزه‌های مذکور همانطور که ذکر شد دارای زاویه ای کمتر از ۱۵ درجه با سطح آزاد باشند دیواره جدید حاصله، دندانه‌ای شده و اثری از چالهای کنترل بر آن نخواهد ماند. در این حالت نتایج حاصل از آتشباری بسیار شبیه به حالتی خواهد بود که چالهای کنترل با فاصله نزدیک نسبت به یکدیگر حفر می‌گردند.



شکل ۷-٦ اجرای آتشباری پیش‌شکافی در حالتی که درزه‌ها عمود بر امتداد ردیف چالهای کنترل و سطح آزاد می‌باشند [۱] .

نتایج حاصله از تجربیات انجام شده بر این نکته دلالت دارد که بهترین حالت برای آتشباریهای کنترل‌شده را هنگامی می‌توان انتظار داشت که جهت درزه با زاویه‌ای بیش از ۳۰ درجه نسبت به ردیف چالهای کنترل قرار گیرند(متذکر می‌شود که چالهای پیش‌شکافی باید با زاویه‌ای معادل زاویه شیب درزه‌های اصلی حفر گردند).



شکل ۷-۷ اجرای آتشباری پیش‌شکافی هنگامیکه درزه‌ها دارای زاویه کمتر از ۱۵ درجه نسبت به سطح آزاد باشند [۱] .

۷-۲-٤- شرایط درزه‌ها

درزه‌ها از سه نقطه نظر می توانند در کنترل آتشباری مؤثر باشند:

- پیوستگی
- ابعاد شکاف
- درجه هوازدگی دیواره درزه

هنگامیکه عرض شکافها از یک میلیمتر بیشتر و ادامه آنها ردیف چالها را قطع نموده باشد، گازهای حاصل از انفجار حتی اگر بالای چال بطور کامل از مواد باطله پر شود، از شکافهای مذکور خارج خواهند گردید. همچنین احتمال عقب‌زدگی بر اثر اینگونه شکافها نیز وجود دارد. در صورتیکه دیواره درزه‌ها هوازده باشد مسأله ذکر شده تشدید خواهد شد.

۷-۳- طراحی آتشباری

۷-۳-۱- حفر چال‌های کنترل

چالهای کنترل باید موازی یکدیگر و بسیار منظم حفر شوند. تمامی چالهای کنترل باید در یک صفحه قرار گیرند که این صفحه در معادن روباز یا دیواره تونل مستوی و در سقف تونلها منحنی خواهد بود. چالهای کنترل و چالهای ردیف آخر تولید و چالهای ضربه‌گیر باید با یکدیگر موازی باشند تا فاصله این دو ردیف که

در حقیقت بارسنگ چالهای کنترل می‌باشد در همه جا به یک اندازه باشد. زیرا در نتیجه عملیات تأثیر مستقیم دارد. بهتر است دستگاهی که برای حفر چال در نظر گرفته می‌شود قادر به حفر چالهای تولید و کنترل باشد. زیرا عموماً قطر چالهای تولید بیش از چالهای کنترل است. چال باید مستقیم حفر شود و برای این منظور نه تنها دستگاه حفر چال باید مناسب باشد بلکه میله‌های حفاری(Rod) نیز مقاومت کافی در مقابل خمش را داشته باشند تا انحرافی در چال پیش نیاید. اگر چالهای کنترل با انحراف حفر شوند، نتیجه آن ناهمواری سطح نهائی و عقب‌زدگی می‌باشد. نظر به اینکه انحراف چال تابع طول چال نیز می‌باشد برای حفر چالهای عمیق بایستی دقتی درخور توجه به کار برد. این امر تحت تأثیر ارتفاع جبهه‌کار، مهارت حفار و کیفیت تجهیزات می باشد. مقدار انحراف چال معادل $\frac{1}{3}$ فاصله ردیفی چالها در صفحه مار بر چالها و ۱/۵ برابر فاصله ردیف چالها در خارج از صفحه مزبور می‌تواند قابل قبول باشد [۱] .

۷-۳-۲- آرایش و خرجگذاری چالهای کنترل

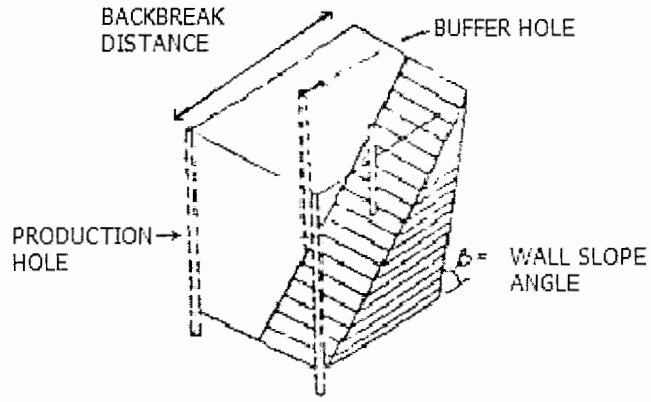
وجه مشترک تمامی روشهای آتشباری کنترل‌شده اینست که خرج در ته چال متراکم است و در سایر قسمتهای چال، تراکم خرج کمتر است و برای این منظور بایستی از خرجهای ویژه این نوع آتشباری استفاده شود.بهتر است قبل از انجام آتشباری آزمایش‌هایی بر اساس آرایش و خرجگذاری‌های معمول انجام و پس از تغییر لازم و حصول نتیجه مطلوب، آتشباری اصلی را اجرا کرد.

۷-۳-۳- آرایش و خرجگذاری چالهای ضربه‌گیر

چالهای ردیف آخر تولید یا چالهای ضربه‌گیر باید از بابت آرایش و خرجگذاری مورد توجه قرار گیرند. خرجگذاری بیش از اندازه آنها موجب عقب‌زدگی خواهد شد. اگر فاصله ردیف چالهای ضربه‌گیر از چالهای کنترل کمتر باشد امکان عقب‌زدگی زیاد می‌شود.

چالهای ردیف آخر کاملاً باید با چالهای کنترل موازی باشند و میزان خرج آنها $\frac{1}{2}$ تا $\frac{2}{3}$ چالهای تولید باشد. برای محاسبه موفقیت‌آمیز این چالها به شکل ۷-۸- توجه شود. در این شکل α شیب نهایی معدن، H ارتفاع پله و B فاصله محل عقب‌زدگی از چالهای تولید و B_{bvf} بارسنگ چالهای ضربه‌گیر می‌باشد [۱] .

$$B_{bvf} = \frac{B - H\cot\alpha}{2}$$



شکل 7-۸- محاسبه چالهای ضربه‌گیر [۱]

۷-۳-٤- سیستمهای آتشباری

در آتشباری خطوط کنترل، تأخیرهای آتشباری بین چالهای مجاور باید تا حد امکان کوتاه باشد. چه برای انفجار به روش پیش‌شکافی و چه انفجار آرام استفاده از فتیله انفجاری را می‌توان توصیه کرد. زیرا سرعت انفجار آن زیاد است (٦٥٠٠ تا ۷۰۰۰ متر بر ثانیه) و آتشباری همزمان چالهای مختلف را تسهیل می‌کن . لیکن در نقاط شهری، مجری انفجار موظف است خطر ارتعاش زمین را (مخصوصاً اگر خطوط کنترل طولانی‌تری در یک مرحله منفجر می‌شوند) درنظر بگیرد.

هنگامی که از چاشنی‌های تأخیری استفاده می‌شود ممکن است تأخیرهای مختصری بین چالها به وجود آید که این وقفه‌ها با زیاد شدن تعداد چاشنی‌ها افزایش می‌یابند.

۸- ارزیابی آتشباری کنترل شده با ضریب HCF (Half cast factor)

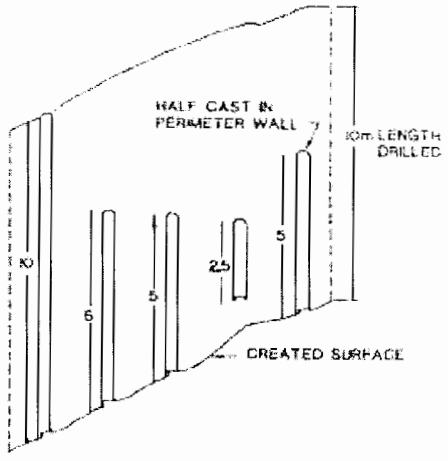
برای ارزیابی نتیجه آتشباری کنترل‌شده میزان عقب‌زدگی توسط نقشه‌برداری و سطح آزاد ایجاد شده جهت تعیین وضعیت ترکها و درزه‌ها با دقت مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرد.

به هر حال این بررسی و اندازه‌گیری‌ها در سنگ‌های باقیمانده علاوه بر اینکه وقت‌گیر است، معمولاً با انجام آنها به شرایط واقعی سنگ باقی مانده نیز دقیقاً پی برده نمی‌شود. در راستای این منظور نیاز به روشی آسان و سریع و کم خرج می‌باشد که یکی از آنها روش HCF است.

در این روش مجموع طول اثرات چال‌های باقی‌مانده در دیواره پله را بر مجموع طول چالهای حفر شده تقسیم نموده و به این ترتیب ضریب HCF را بدست می‌آورند(شکل۸-۱).

$$HCF = \frac{\text{مجموع طول نیم استوانه قابل مشاهده چال ها پس از انفجار}}{\text{مجموع طول کل چال‌های حفر شده}}$$

فاکتور HCF بدست آمده از این طریق رابطه مستقیم با نتیجه آتشباری دارد. بدین ترتیب که هر چه مقدار این فاکتور افزایش یابد، مؤید آتشباری مطلوبتر بوده و ٪۱۰۰ = HCF نشاندهنده بهترین حالت ممکن انفجار است. با ارزیابی HCF در انفجارهای قبلی و تغییرات لازم در روش کنترل آتشباری، می‌توان با توجه به مسائل اقتصادی به HCF از قبل طراحی شده دست یافت.

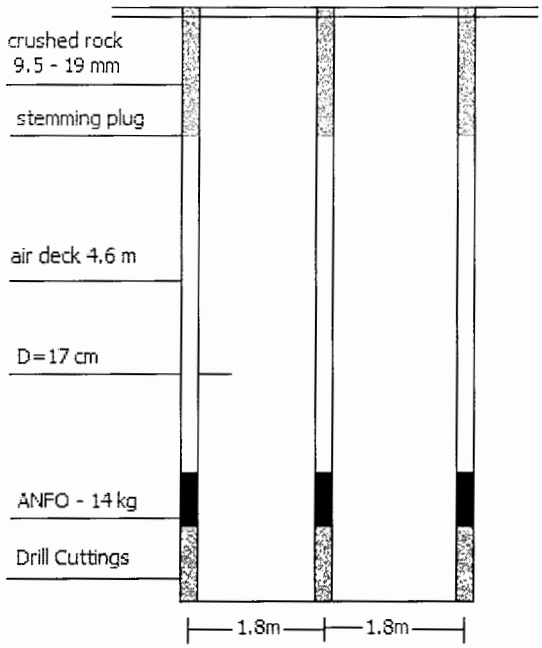


شکل ۸-۱ بدست آوردن ضریب HCF [۱]

۹- پیشرفت‌های آتشباری کنترل‌شده

۹-۱- پیش‌بـــرش بـا Air Spacers

یک روش جدیدکه در ایالات متحده به کار می‌رود و پرکننده با هوا ADP (Air Deck Presplitting) نامیده می‌شود. این روش عبارت از قرار دادن ماده منفجره به مقدارکم در کـف چـال انفجـاری و رهـا کـردن فضای خالی تا حد گل‌گذاری می‌باشد. گل‌گذاری متشکل از یک پلاژ می‌باشـد کـه در عمـق مـشخص قـرار دارد و بر روی این پلاژ گل‌گذاری خواهد شد.



شکل ۹-۱ روش پیش برشی ADP با ستون هوا [۵]

اصول اساسی این روش توسط دانشمندان روسی (Melhivov (1940 , Marchenko(1945)) بیان شد که یک انفجار با راندمان خوب با تنظیم خردشدگی و تغییر مکان حاصل می‌شود.

مشخصات چالهای انفجاری از طریق روابط زیر به دست آمده است [۳] :

D : قطر چال انفجاری (m) — S=(16-24) D

S : فاصله ردیفی چالها (m) — T=(12-18)D

T : ضخامت گل گذاری (m) — Q=(0.39-1.4)HD

Q : خرجگذاری ماده منفجره در ته‌چال — B=12D

B : فاصله از ردیف انفجاری (m)

انواع متفاوتی از پلاژها وجود دارند:پنوماتیکی و شیمیایی. اولین و پر مـصرف‌تـرین آن یـک جعبـه پلاسـتیکی می‌باشد که با فشار هوا از سطح زمین باد می‌شود تـا جعبه در عمق مناسب قـرار گیرد. این پلاژها بـا قطرهـای

۷۵ تا ۳۸۰ میلیمتر می‌باشند. پلاژهای شیمیایی کـــه شـــامل دو ترکیب polyol و Isocyanate می‌باشـند در یک بسته‌بندی قرار می‌گیرند و زمان تأثیر واکنش آنها با یکدیگر حدوداً ۲ تا ۵ دقیقه طـول مـی‌کـشد. ایـن زمان بستگی به درجه حرارت چال انفجاری دارد.

سیستم ADP ، در حال حاضر در قطرهای حفاری بین ۱۲۷ تا ۳۱۰ میلیمتر انجام می‌گیرد.

روش هزینه‌های کمتری در هر متر مربع نسبت به روش پیش‌شکافی دارد. این کاهش هزینـه‌هـا بـه دلایـل زیـر صورت می‌گیرد:

- به کار گیری مواد منفجره مرسوم، اقتصادی‌تر از مواد منفجره مخصوص پیش‌شکافی می‌باشد.
- افزایش فاصله ردیفی چالهای انفجاری
- مشکلات به کارگیری حفاری با قطر کوچکتر
- نیاز کمتر به افراد متخصص

در انفجار کنترل شده به کارگیری سیستم ADP مزایای از این قبیل دارد [۳] :

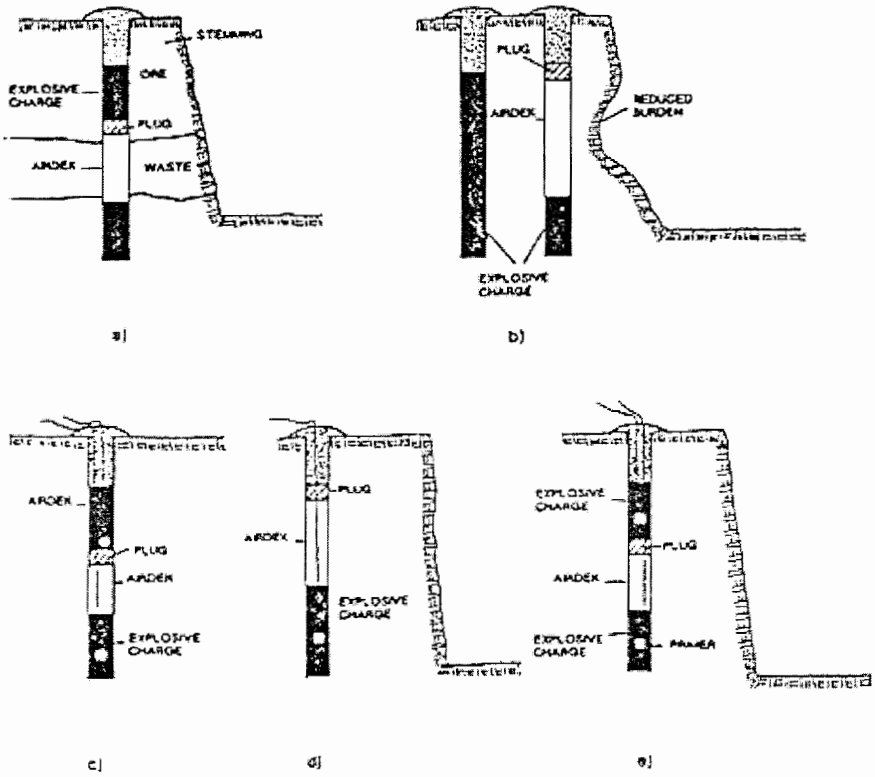
- برای جداسازی باطله و کانه، مواد منفجره در ناحیـه کانـه خرجگـذاری مـی‌شـوند کـه خـرد شـدگی کوچکی را تولید می‌کند و باطله، جایی که ستون هوا واقع مـی‌باشـد قطعـات درشـت‌تـری بـه دسـت می‌دهد که سبب جداسازی آشکاری می‌شود (شکل a ۹-۲).
- کنترل پرتاب سنگ در ردیف اول از چالهای انفجـاری ، هنگامیکـه انـدازه بارسـنگ کمتـر از مقـدار اسمی باشد و یا زمین شناسی مطلوب نباشد . (شکل b ۹-۲)
- کاهش نرمه‌ها و خردشدگی‌های زیاد

در برخی از کانه‌ها تولید نرمه زیان‌بخش می‌باشد به طوریکه با اصلاح روش خرجگـذاری یـا Air Spacer نرمه در حدود ۵۰ درصد کاهش می‌یابد و خرج ویژه بین ۱۵ تا ۲۰ درصد مقدار مرسوم تغییر می یابـد (شـکل ۹-۲c).

۹-۲- آتشباری Rip Rap

این تکنیک با موفقیت در آتشباری کنترل‌شده به کار رفته است. هر کیلو ماده منفجره توانایی شکـستن ۲۰ تـن سنگ را دارد و قطر چالهای حفاری شده ۱۶۵ میلیمتر می‌باشد. این روش برای چالهای افقی و قائم حفـر شـده برای استخراج سنگهای تزئینی به کار می‌رود [۳] .

در روش Rip Rap از خرجگذاری فاصله‌دار و رشته‌ای استفاده می‌کنند تا میزان ارتعاش را کاهش دهنـد و در عین حال دیواره سنگی هموارتری به دست آید. از این روش به عنوان روش کنترل ارتعاش یـاد مـی‌کننـد. (اشکال e,d ۹-۲)



شکل ۹-۲ کاربرد روش برای انواع مختلف آتشباریها [۵]

۹-۳- آخرین دستاوردها

از چند سال پیش محققین در طراحی انفجارهای کنترل‌شده به ایجاد شکاف در چالها توجه خاصی داشته اند. مزایای این روشها به شرح ذیل است [۳] :

- حفاظت از آسیب رساندن به ساختمانها و دیواره باقیمانده سنگ
- مطابقت مناسب بلوکهای استخراجی به اندازه‌های پروفیل طراحی
- خرج ویژه کمتر بر واحد سطح انفجار شده
- افزایش فاصله ردیفی چالها و در نتیجه حفاری کمتر

تکنیکهایی که در حال توسعه می‌باشند عبارتند از:

- خرجگذاری خطی ویژه
- انفجارهای شکافی
- چال شکاف‌دار برای کنترل شکاف

خرجگذاری‌های ویژه خطی، شکل خاصی از خرجگذاریهای توخالی می‌باشد که جهت‌گیری انرژی ماده منفجره به طرفین دو شکاف روی دیواره (کناره های مقابل) چال انفجاری می باشد (شکل ۹-۳) .

چالهای انفجاری شکاف‌دار دارای شکاف گوه‌ای در طرفین دیواره چال می‌باشند. جهت‌گیری مستقیم شکستگی ایجاد شده توسط فشار گاز به سمت شکافهای ذکر شده می‌شود.

با این روش نتایج مناسب به دست آمده و مقدار خرج ویژه بین ۵۰-۲۰ درصد کاهش می‌یابد (شکل ۹-٤).

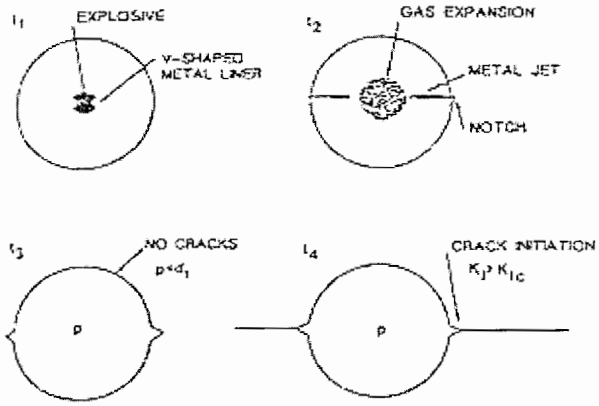
برای ایجاد شکاف در سنگ چندین روش وجود دارد:

۱- ابزارهای مخصوص حفاری

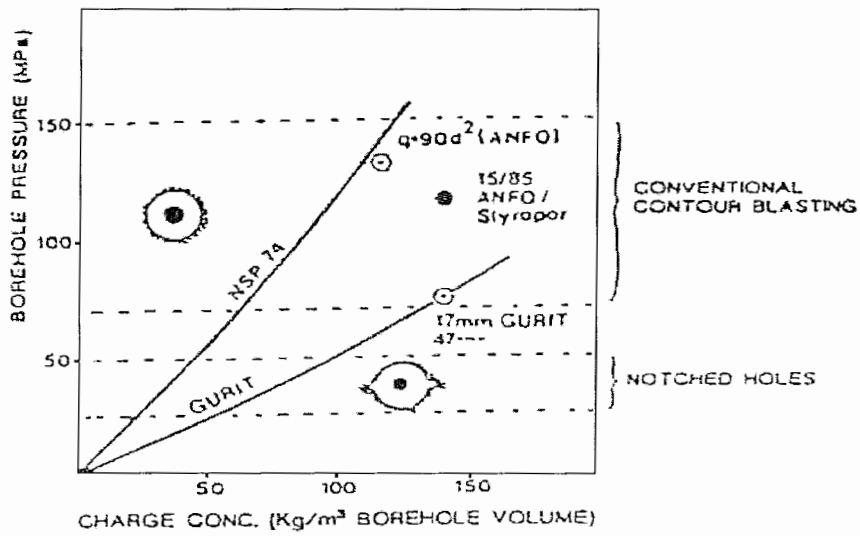
۲- جت آب

۳- به کار گیری خرجگذاریهای خطی شکل

٤- روش خرجگذاریهایی با لوله‌های شکافدار متصل شونده که مرکب از استوانه‌های فلزی شامل ماده منفجره و بازشدگیهایی در طرفین می‌باشد.حلقه فلزی دارای دو کاربرد می‌باشد. یکی ایجاد مجرایی جهت خروج انرژی ماده منفجره (در شکافهایی که مقابل یکدیگر می باشند) و دیگری حفاظت از بقیه دیواره چال.



شکل ۹-۳ اصول ایجاد صفحه شکاف در حفاری ترک‌دار [۵]



شکل ۱۵-٤ فشار چال به عنوان تابعی از مقدار خرج مصرفی برای بعضی از مواد منفجره [۵]

۱۰- خلاصه و نتیجه

به طور کلی جهت کنترل عقب‌زدگی درسنگها موارد ذیل باید مد نظر قرار گیرد [۱] :

۱- در صورتی که با توجه به شرایط سنگ از آتشباری کنترل‌شده استفاده شود، از هزینه‌های اضافی نظیر لق‌گیری، پایدارسازی سطح آزاد ایجاد شده و سایر موارد دیگر جلوگیری بعمل خواهد آمد.

۲- در چالهای کنترل و چالهای ضربه‌گیر ابعاد خرج مصرفی کاهش و پراکندگی آنها افزایش یابد.

۳- با کاهش فاصله چالهای کنترل تا ردیف آخر چالهای تولید، گازهای تولید شده ناشی از انفجار آخرین ردیف چال تولید به جای عبور از حدود بلوک مورد انفجار، راه خود را به سطح آزاد نزدیک خود باز خواهند نمود و موجب عقب‌زدگی می‌گردند.

٤- با توجه به مسیرهای محدود عبور گاز در داخل سنگ، با انفجار تعداد کمتر چال به طور همزمان، از تولید مقدار زیادی گاز در یک زمان جلوگیری به عمل آمده که بدین ترتیب حرکت گازهای تولید شده به خارج از محدوده مورد نظر کنترل خواهد گردید.

۵- با بررسی اطلاعات موجود در مورد سنگ و حضور مستقیم و بررسی رخنمونها و سایر قسمت‌های معدن که دارای سنگهای بریده و نمایان باشند، بهترین روش آتشباری انتخاب می‌گردد. بعضی از پارامترهای مؤثر در این انتخاب به شرح ذیل است :

- مقاومت و یکپارچگی سنگها
- میزان شکستگی در توده‌سنگ و ابعاد ناپیوستگی‌ها
- جهت ناپیوستگی‌ها و زاویه تقاطع آنها با ردیف چال‌های کنترل
- شرایط درزه‌ها

٦-در محل‌هائی که شکستگی و یا هوازدگی درسنگ‌ها مشاهده می‌شود، فاصله و خرجگذاری چالهای کنترل باید کاهش یافته و در صورت ضرورت از چالهای کمکی بین چالهای کنترل که خرجگذاری نمی‌گردند استفاده شود .

۷-با استفاده از ضریب HCF نتیجه آتشباری کنترل‌شده ارزیابی گردیده و با تغییرات لازم در آرایش احتمالی و خرجگذاری چالهای کنترل ، فاکتور HCF را می‌توان تا حد پیش‌بینی شده در طرح افزایش داد.

۸-در مورد آسیب‌های احتمالی بوجود آمده ناشی از کاربرد یکی از روش‌های کنترل آتشباری برای دیواره جدید با رجوع به جداول ۱۰-۱ نسبت به رفع آن می‌توان اقدام نمود.

۹-برای شروع کار و اجرای آزمایش تا نتیجه‌گیری نهایی از جداول و فرمولهای معرفی شده استفاده شود.

۱۰-چالهای کنترل تا آنجا که ممکن است فوری آتش شوند. انفجارهای کم‌تأخیری زمانی به کار می‌روند که خطر لرزش زمین یا تغییر وضعیت سنگ مشهود است.

۱۱-چالهای کنترل باید در قسمت صلب سنگ و به دور از شکافها حفر گردند. در صورتیکه درزه‌ها موجب تقسیم توده‌سنگ به قطعات مختلف شده باشند در هر قطعه حداقل ۲ عدد چال حفر شود.

۱۲-معمولاً چالهای روباز قطورتراز چالهای زیرزمینی هستند.

جدول ۱۰-۱ آسیب احتمالی ناشی از اجرای روش کنترل آتشباری برای دیواره جدید و حلهای آن [۱]

نوع آسیب	علت بروز آسیب	راه‌حلهای ممکن
۱-عقب‌زدگی در دیواره جدید به گونه‌ای است که اثری از چالهای کنترل بر روی این دیواره باقی نمانده است.	الف:ردیف چالهای ضربه‌گیر بیش از اندازه خرجگذاری شده یا فاصله این ردیف تا ردیف چالهای کنترل بسیار کم بوده است.	الف:فاصله بین ردیفهای کنترل و ضربه‌گیر افزایش داده شود و ضمن کاهش میزان خرج مصرفی در درون چالهای ضربه‌گیر،این چالها با تاخیری معادل ۱۵ میلی‌ثانیه نسبت به یکدیگر منفجر گردند.
	ب:میزان خرج مصرفی در درون چالهای کنترل بیش از اندازه لازم بوده است.	ب:فاصله چالهای کنترل از یکدیگر افزایش و یا میزان خرج مصرفی در آنها کاهش داده شود.
۲-عقب‌زدگی فقط در محدوده هر چال ایجاد گردیده است .	فشار تولیدی در درون چالهای کنترل از مقاومت فشاری سنگ مورد انفجار بیشتر بوده است.	کاهش مقدار خرج در چال با ازدیاد ضریب جفت‌شدگی یا خرجگذاری مرحله ای – همچنین در مورد روش Cushion Blasting باید از بارسنگ ردیف چالهای کنترل کاسته شود.
۳- عقب‌زدگی در بین فاصله چالهای کنترل به وقوع پیوسته است.	فاصله چالهای ضربه‌گیر از یکدیگر بسیار کم بوده است.	ضمن افزایش فاصله چالهای ضربه‌گیر از یکدیگر باید نسبت به کاهش خرج با ازدیاد ضریب جفت‌شدگی و خرجگذاری مرحله‌ای اقدام نمود.
٤- میزان خردشدگی سنگها در حد نهایی بسیار کم می‌باشد.	فاصله بین ردیفهای ضربه‌گیر و کنترل زیاد انتخاب شده است.	فاصله بین دو ردیف ذکر شده کاهش داده شود.

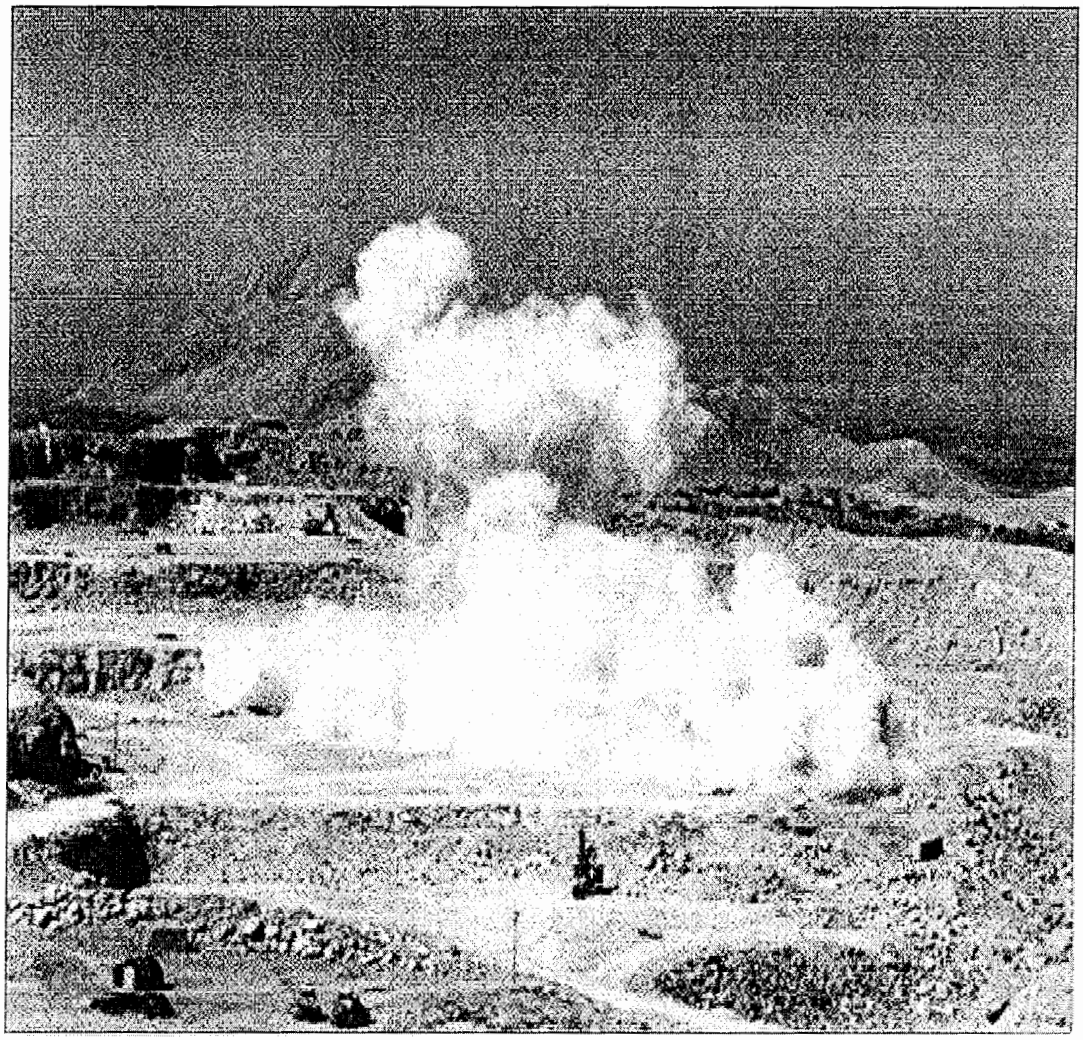
ادامه جدول ۱۰-۱

نوع آسیب	علت بروز آسیب	راه‌حلهای ممکن
۵-دیواره جدید یکنواخت نبوده و دارای فرورفتگی و برآمدگی می‌باشد.	الف : فاصله چالهای کنترل از یکدیگر بسیار زیاد بوده است.	الف : فاصله چالهای کنترل از یکدیگر و خرج مصرفی در آنها کاهش داده شود.
	ب : بارسنگ ردیف چالهای کنترل کم بوده است .	ب : بارسنگ ردیف چالهای کنترل نسبت به فاصله این چالها از یکدیگر بیشتر انتخاب گردد.
	ج :میزان تاخیر بین انفجار چالهای کنترل زیاد در نظر گرفته شده است .	ج : چالهای کنترل همزمان انفجار شوند.
٦-لبه دیواره جدید ترکدار شده است .	الف : ارتفاع انسداد چالهای کنترل کم بوده است.	الف : ارتفاع انسداد چالهای کنترل افزایش داده شود.
	ب : سنگهای بالای چالها به علت هوازدگی یا درزه و شکاف فراوان ضعیف بوده‌اند.	ب : مابین خرجهای مصرفی در بالای چالهای کنترل خالی از هرگونه مواد باطله (در حقیقت مملو از هوا) باقی بماند. همچنین مابین چالهای کنترل از چالهای راهنما با قطر کم استفاده شود.

پیوست I

شیوه حفر مغارهای طرح توسعه نیروگاه سد مسجدسلیمان

(مطالب این فصل عمدتاً از منبع [4B] می‌باشد)



۱- مشخصات پروژه

پروژه سد و نیروگاه آبی مسجد سلیمان واقع در ۲۵ کیلومتری شمال‌شرقی شهر مسجد سلیمان و ۱۶۰ کیلومتری شهر اهواز در کوههای زاگرس و بر روی رودخانه کارون در حال اجرا می‌باشد(مراحل پایانی طرح). منظور از احداث سد عظمیم خاکی مسجد سلیمان، مهار انرژی آب و تبدیل آن به انرژی برق تا ۱۰۰۰ مگاوات در فاز اول و افزایش آن تا ۲۰۰۰ مگاوات در طرح توسعه نیروگاه می‌باشد. کارفرمای طرح شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران است و طراحی و نظارت بر اجرا بر عهده شرکت مشانیر، نیپون کویی ژاپن و لامایر آلمان می‌باشد. در بخش طرح توسعه نیروگاه، موسسه حرا کارهای ساختمانی این طرح عظیم را بر عهده دارد. (حفر مغارها و تونلهای دسترسی و آب‌بر)

۲-حفریات زیرزمینی

تونل T1: حفر این تونل جهت دسترسی اصلی به مغار نیروگاه (P.H.C) طرح توسعه، مانیفولدهای بالادست و پائین‌دست (U/S & D/S MANIFOLDS) می‌باشد.

تونل T5: حفر این تونل جهت دسترسی به تونلهای سرآب (HEAD RACE TUNNELS) و شفتهای فشار (PRESSURE SHAFTS) می‌باشد.

تونلهای سرآب راست و چپ : RIGHT & LEFT HEAD RACE TUNNEL

هدف از حفر این تونلها، انتقال آب به شفتهای فشار (PRESSURE SHAFTS) و مغار نیروگاه طرح توسعه می‌باشد.

پایلوت شفت راست : RIGHT SHAFT PILOT

پایلوت راست با قطر ۳ متر و به طول ۱۱۲/۰۳ متر، از تراز ۳۲٤/۹۲ در بالای قوس قائم بالایی حفر می‌گردد که در انتها با تونل T4 در قوس قائم پایین، تلاقی خواهد کرد و به منظور تخلیه در هنگام گشادسازی شفت از آن استفاده خواهد شد.

پایلوت شفت چپ: LEFT SHAFT PILOT

پایلوت چپ با قطر ۳ متر و به طول ۱۱٦/۸۹ متر، از تراز ۳۲۹/۷۷ در بالای قوس قائم بالایی حفر می‌گردد که در انتها با تونل T4 در قوس قائم پایین، تلاقی خواهد کرد و به منظور تخلیه در هنگام گشادسازی شفت از آن استفاده خواهد شد.

گالری XLPE 400 :

هدف از حفر این تونل دسترسی به مغار ترانسفورمر (TRANSFORMER CAVERN) و انتقال کابلهای برق به سطح زمین می‌باشد.

تونل T4:

این تونل در انتها از یک طرف با پایلوت شفتها در قوس قائم پایین تلاقی خواهد کرد و به منظور تخلیه در هنگام گشادسازی شفتها از آن استفاده خواهد شد و از طرف دیگر جهت حفاری مانیفولدهای بالادست و حفاری مغار نیروگاه از ارتفاع ۲۱۲ تا ۲۰۵ می‌باشد.

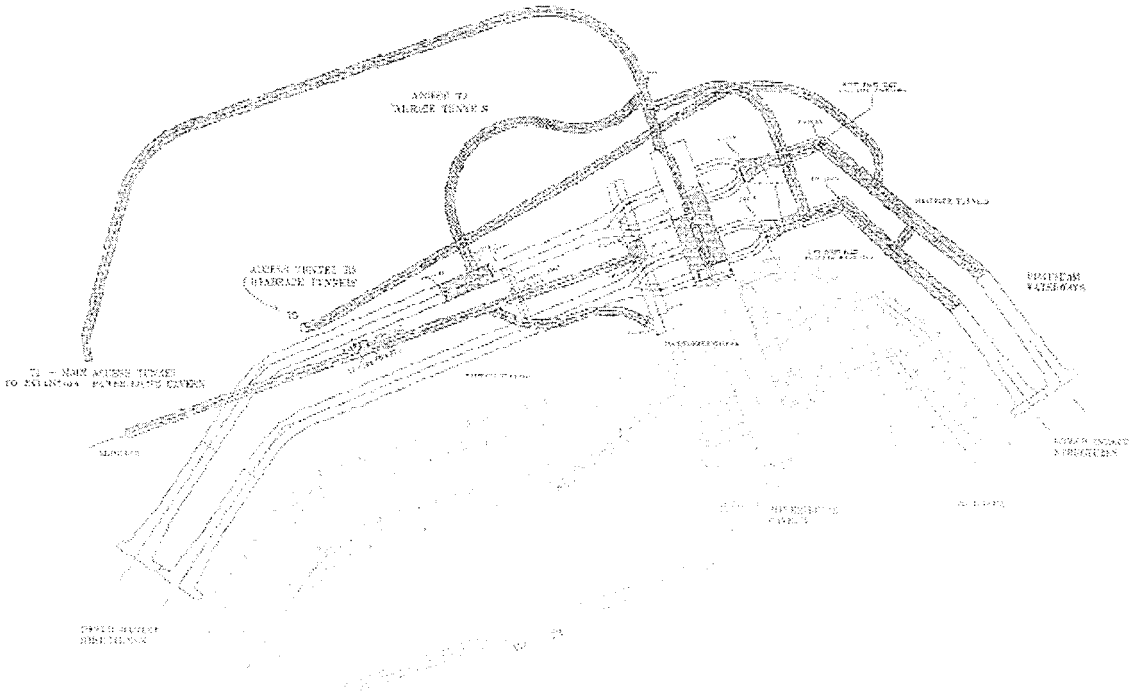
تونل دسترسی به تونل های پایاب: ADIT NO.1

هدف از حفاری این تونل، دسترسی به آبراهه‌های پایین‌دست و کف مغار نیروگاه از ارتفاع ۲۰۵ به پایین است. مشخصات فنی این حفریات در جدول۱ و همچنین نقشه دو بعدی و سه بعدی جانمایی تونلها در شکلهای ۱ و ۲ دیده می‌شود.

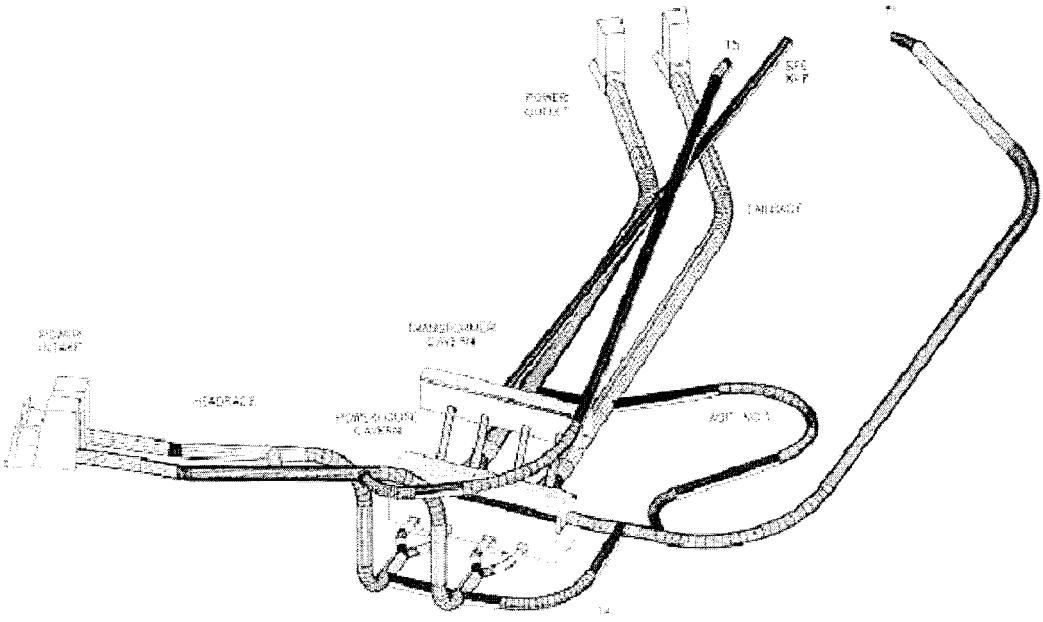
جدول ۱ مشخصات فنی تونلها

نام تونل	طول (متر)	سطح مقطع (متر مربع)	حجم کل (متر مکعب)	درصد از کل
تونل T1	۶۵۵/۸۴	۵۹/۰۳۸	۳۸۴۸٤	۸/٤۱
تونل T5	۵۳۵/۷۵	٤۰/۲٤	۲۱٦۷۵	٤/۹۷
سراب راست	۱۲٦	۹٦/۷	۱۲۱۹۳	۲/۷۳
سراب چپ	۸۳/۸٤	۹٦/۷٦	۸۱۱۳	۱/۸۱
قوس قائم بالایی راست	۵۹/۰٤	۹۷	۵۷۲۷	۱/۲۷
قوس قائم بالایی چپ	۵۹/۰٤	۹۷	۵۷۲۷	۱/۲۷
پایلوت شفت راست	۱۱۲/۰۳	۷/۰٦۸	۷۹۱/۸۲	۰/۱۳
پایلوت شفت چپ	۱۱٦/۸۹	۷/۰٦۸	۸۲٦/۱۷	۰/۱٤
گالری XLPE400	٤۱۵/۸۰	٤۲/٦۷	۱۷۷۰۸	۳/۹٤
تونل T4	۱۸۸/۰۸	٤۰/۲٤	۷۱۰٤	۱/۵۵
ADIT NO.1	۳۱۰/۷۵	۵۹/۰۳	۱۷۲۳۰	۳/۷۷
ADIT NO.2	۱۳۵/۵۳	٤۰/۲٤	۵۳۵۷	۱/۱٦

نام مغار	حجم کل	درصد از کل
مغار نیروگاه	۱۲٤۸۹۱	۲۷/۰۹
مغار ترانسفورمر	۲۵٦۲۲	۵/۵٦



شکل ۱ نقشه دوبعدی جانمایی تونلها



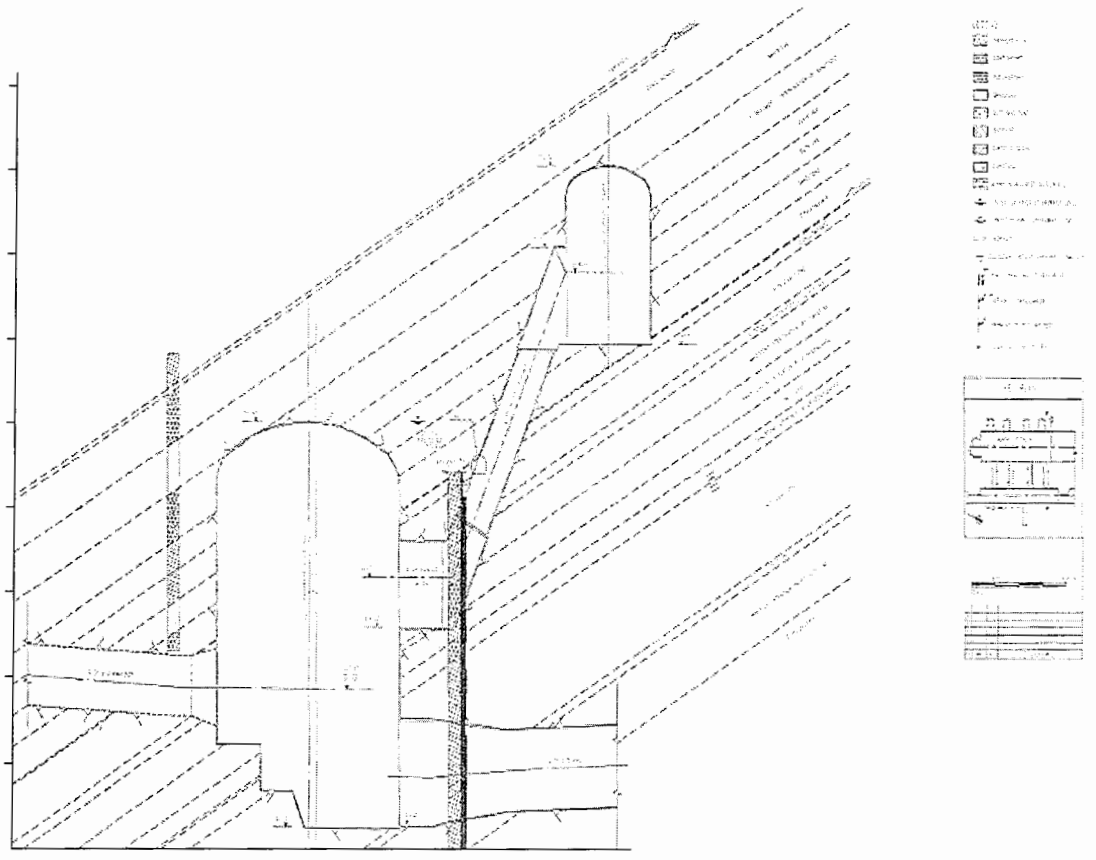
شکل۲ نقشه سه‌بعدی جانمایی تونلها

۳- مشخصات عمومی مغار نیروگاه طرح توسعه

این مغار دارای طول ۱۱۲ متر، عرض ۳۰ متر و ارتفاع ۵۰/۵ متر(فاصله بین پائین‌ترین و بالاترین نقطه مغار) می‌باشد. بخش تاج مغار از سه قوس تشکیل شده که شعاع قوس مرکزی ۲۵ متر و شعاع قوسهای کناری ۵ متر می‌باشد و زاویه کمان روبرو به کلیه قوسها (مرکزی ، کناری شرقی و غربی) ۶۰ درجه می‌باشد.

وضعیت زمین‌شناسی مغار به‌گونه‌ای است که سازند دربرگیرنده مغار به طور عمده شامل کنگلومرا، سنگهای سیلتی، ماسه‌سنگ با کنگلومرا می‌باشد. لایه‌های ذکر شده دارای شیب ۲۷ درجه می‌باشند و امتداد لایه‌ها در جهت امتداد محور طولی مغار بوده و همچنین جهت شیب لایه‌ها از سمت دیواره غربی به سمت دیواره شرقی مغار می‌باشد.

آگاهی از وضعیت عمومی لایه‌ها همچون محل تقاطع لایه‌ها با سقف و دیواره‌های مغار، محل تقاطع صفحه فصل مشترک دو لایه با سقف و دیواره مغار دارای اهمیت می‌باشد و می‌توان از این اطلاعات جهت ارائه طرحهای مناسب آتشباری و انفجارهای کنترل‌شده استفاده نمود. در شکل ۳ مقطع عرضی مغارها و نقشه زمین‌شناسی آنها دیده می‌شود.



شکل ۳ مقطع عرضی مغارها و نقشه زمین‌شناسی آنها

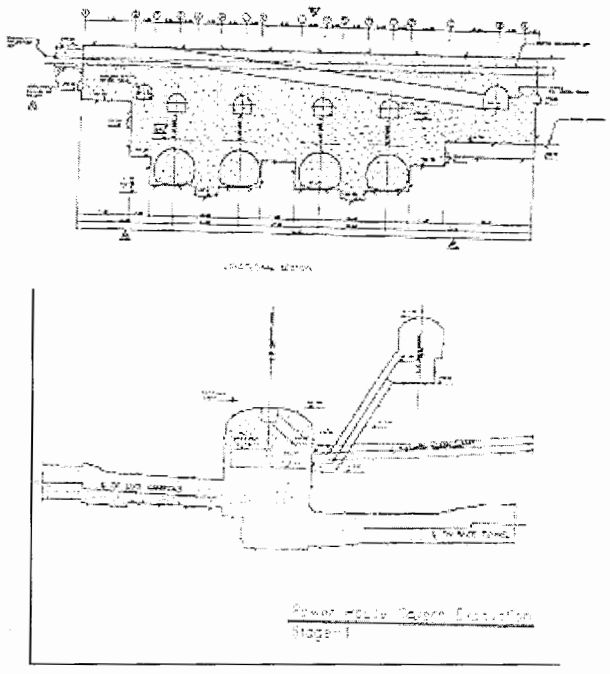
٤- شیوه حفر مغار نیروگاه

دسترسی به محل دو مغار از طریق حفر تونلی موسوم به تونل اصلی دسترسی امکان‌پذیر گردیده است. این تونل در تراز ۲۲۱ متر(تراز کف تونل)منتهی‌الیه دیوار پائین‌دست مغار نیروگاه را قطع می کند. از این محل یک تونل کوچک (راهنما) با شیب تقریبی ۱۲ درصد به طرف سقف مغار حفر شده است که تقریبا در متراژ ۱۱۲ متر به سقف رسیده و از آن پس به حالت افقی تا نقطه انتهایی محل مغار(متراژ ۱۵۵/٤ متر) ادامه یافته است(شکل ٤). از این مرحله به بعد عملیات ا صلی حفاری مغار نیروگاه به ترتیب زیر می‌باشد:

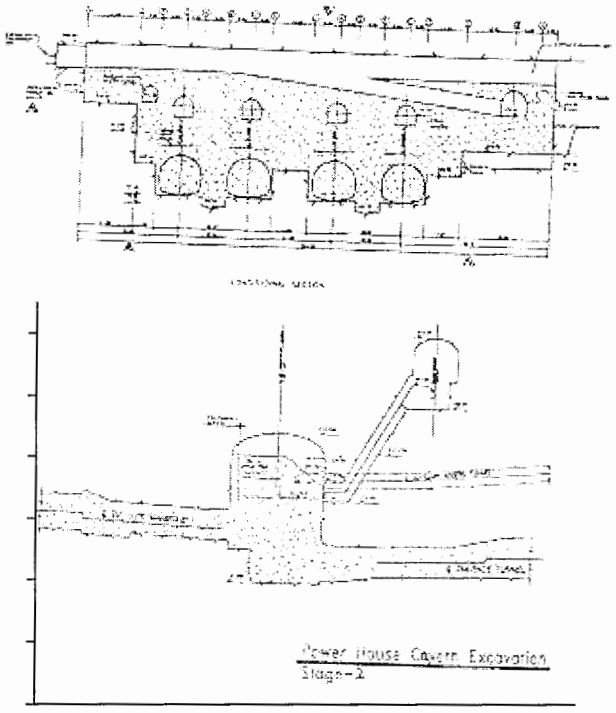
- حفاری تاج مغار از تراز ۲٤۰/۵ تا تراز ۲۳۳ متر و تخلیه مصالح از طریق تونلهای راهنما و دسترسی
- کف‌برداری از تراز ۲۳۳ متر تا تراز آبراهه‌های بالادست (حدود ۲۱۳ متر) و تخلیه مصالح از طریق تونل دسترسی با احداث یک سطح شیب‌دار با شیب حداکثر ١٤ درصد
- ادامه کف‌برداری تا تراز حدود ۲۰۵ متر و تخلیه مصالح از طریق آبراهه‌های بالادست و ادامه تونل دسترسی
- کف‌برداری بخشهای باقیمانده از تراز ۲۰۵ متر تا کف نهایی مغار(حداقل تراز ۱۸۹/۵ متر) و تخلیه مصالح از طریق آبراهه‌های پائین‌دست

لازم به ذکر است که در تمامی مراحل حفر از روش چالزنی و آتشباری استفاده شده و مواد منفجره مصرفی دینامیت‌هایی به قطر ۲۲ و ۳۰ میلیمتر و چاشنی‌ها از نوع الکتریکی بوده است.

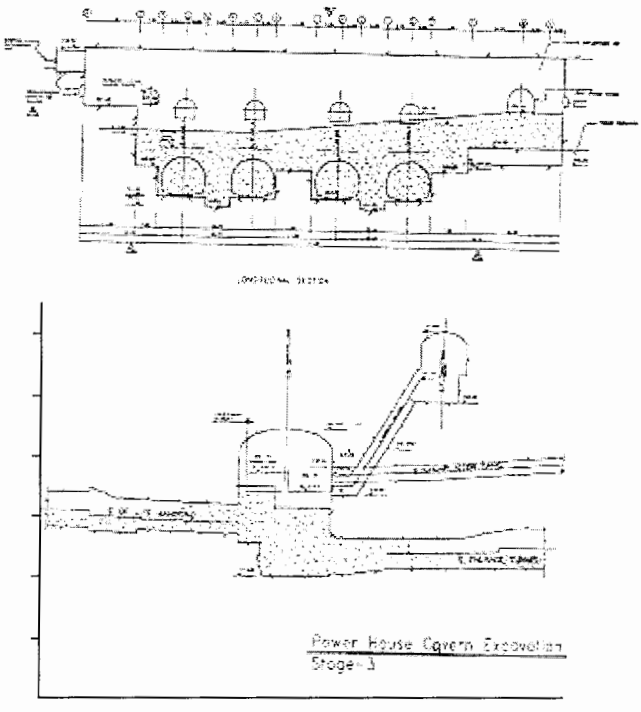
در مجاورت دیوارهای مغار برای به حداقل رسانیدن آسیب‌دیدگی سنگها بر اثر آتشباری از روش پیش‌شکافی (توسط فتیله انفجاری و دینامیت) استفاده شده است.



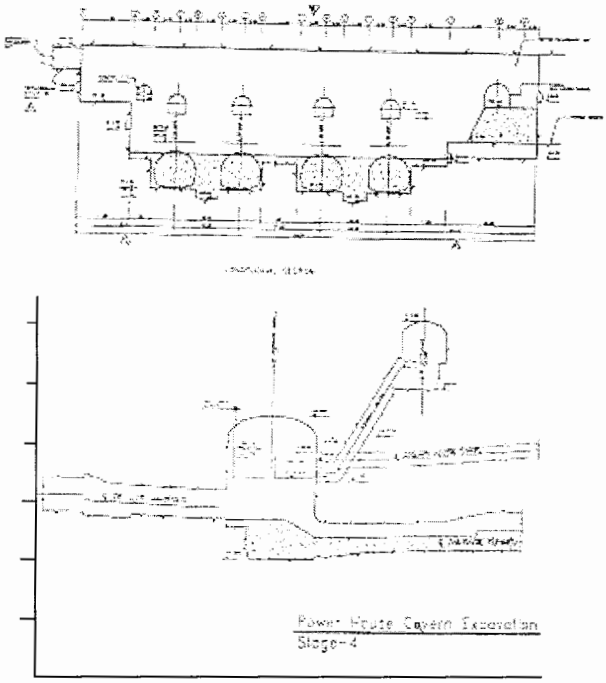
الف


Power House Cavern Excavation
Stage-2

ب


Power House Cavern Excavation
Stage-3

ج



شکل ٤ مراحل حفر مغار نیروگاه سد مسجد سلیمان

۵- مراحل حفاری و مسیرهای تردد مغار نیروگاه طرح توسعه

حفاری ادیت دسترسی به سقف مغار و همچنین اولین برش زیر سقف مغار نیروگاه توسط دو دستگاه جامبو انجام گردیده و برای کلیه بنچ‌برداریها، در هر سینه‌کار از یک دستگاه دریل واگن استفاده می‌شود. تعداد سینه‌کارها بستگی به تعداد مسیرهای تردد، ظرفیت و حجم کاری در مغار، کنترل بین بخشهای مختلف وهمچنین شرایط فنی و ایمنی مغار دارد.

با توجه به نقشه مقطع زمین شناسی مغار نیروگاه (شکل۳) مشاهده می‌گردد که شیب لایه‌ها حدود ۲۷ درجه و امتداد لایه‌ها در امتداد محور طولی مغار (شمالی – جنوبی) و جهت شیب لایه‌ها از سمت دیواره غربی به دیواره شرقی می‌باشد. به همین علت بهتر است جهت سینه‌کارها طوری انتخاب شود که از جهت شمال‌شرقی به سمت جنوب‌غربی باشد تا از جابجایی‌های بزرگ و ریزش در دیواره مغار جلوگیری گردد. قبل از شروع به حفاری فاز II مغار نیروگاه، دیوار حائلی دردیواره جنوبی مغار فاز II بین دو مغار فاز I و II ایجاد می‌گردد. وظیفه این دیوار حائل جلوگیری از پرتاب شدن سنگهای ناشی از انفجار و همچنین جلوگیری از انتقال امواج ناشی از انفجار مغار فاز II به مغار فاز I می‌باشد. در ذیل به بررسی مراحل مختلف دسترسی و حفاری مغار نیروگاه پرداخته می‌شود .جدول ۲ برآورد تقریبی از حجم حفاری و مصرف دینامیت و آنفو در مراحل مختلف حفاری مغار و همچنین جمع کل موارد ذکر شده را نشان می‌دهد.

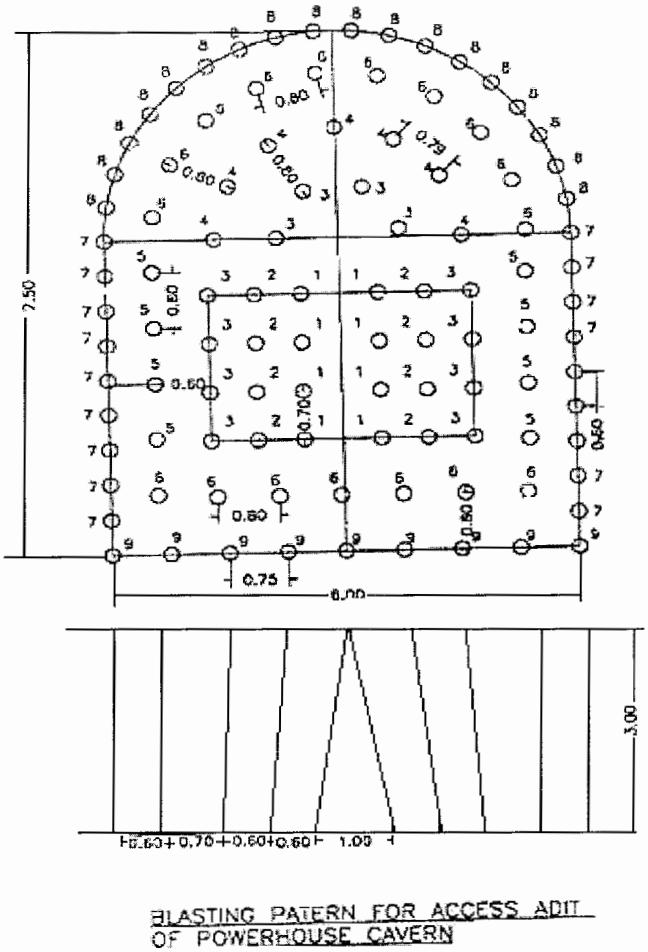
جدول ۲ حجم تقریبی خاکبرداری و مصرف دینامیت و آنفو در مراحل مختلف حفاری مغار نیروگاه طرح توسعه

مرحله	نوع فعالیت	حجم تقریبی خاکبرداری (متر مکعب)	دینامیت (تن)	آنفو (تن)	زمان نسبی مرحله (روز)	حجم خاکبرداری (متر مکعب در روز)
STAGE 1	حفاری تونل دسترسی	٦٤٧٨	١١/٦٦٠٤	٠/٠٠	٦٠	١٠٧/٩٧
STAGE 2	عملیات سقف‌برداری	٢٣٤٤١	٤٢/١٩٣٨	٠/٠٠	١٢٦	١٨٦/٠٤
STAGE 3	عملیات کف‌برداری	٨٥٦٤	٠/٠٠	٨/٥٦	٨٢	١٠٤/٤٤
STAGE 4	عملیات کف‌برداری	٨٥٦٤	٠/٠٠	٨/٥٦	٣٤	٢٥١/٨٨
STAGE 5	عملیات کف‌برداری	٩٣٨٢	٠/٠٠	٩/٣٨	٥٢	١٨٠/٤٢
STAGE 6	عملیات کف‌برداری	٨٠٢٥	١/٤٢١	٨/٠٣	٣٨	٢١١/١٨
STAGE 7	ایجاد رمپ و کف‌برداری	٧٩١٦	٠/٠٠	٧/٩٢	٢٦	٣٠٤/٤٦
STAGE 8	ایجاد رمپ و کف‌برداری	٧٥٢٩	٠/٠٠	٧/٥٣	٦٨	١١٠/٧٢
STAGE 9	ایجاد رمپ و کف‌برداری	٧١٤٣	٠/٠٠	٧/١٤	٢٨	٢٥٥/١١
STAGE 10	ایجاد رمپ و کف‌برداری	٧٥٤٥	٠/٠٠	٧/٥٥	٢٠	٣٧٧/٢٥
STAGE 11	عملیات برداشت رمپ	٥٠١٨	٠/٠٠	٥/٠٢	٣٠	١٦٧/٢٧
STAGE 12	عملیات کف‌برداری	٨٤٦٠	٠/٠٠	٨/٤٦	٣٤	٢٤٨/٨٢
STAGE 13	عملیات کف‌برداری	٨٤٦٠	٠/٠٠	٨/٤٦	٤٨	١٧٦/٢٥
STAGE 14	عملیات کف‌برداری	٥٠٩١	٠/٠٠	٥/٠٩	٣٩	١٣٠/٥٤
STAGE 15	عملیات کف‌برداری	٣٩٠١	٠/٠٠	٣/٩٠	٣٣	١١٨/٢١
STAGE 16	عملیات کف‌برداری	٣٩٠١	٠/٠٠	٣/٩٠	٣٣	١١٨/٢١
STAGE 17	عملیات کف‌برداری	٧٨٥	٠/٠٠	٠/٧٩	١٠	٧٨/٥٠
جمع		١٣٠٢٠٣	٥٥/٢٨	١٠٠	٧٦١	١٨٣/٩٦

۵-۱- مرحله ۱ (STAGE 1) :

در این مرحله حفاری ادیت دسترسی از دیوار شمالی مغار نیروگاه از تراز ۲۲۳ به سمت دیوار جنوبی انجام می‌شود. شیب این ادیت ۱۱/٦۳ درصد و مقطع حفاری آن ٦×۷/۵ متر می‌باشد. طول افقی آن تا رسیدن به تاج مغار۸٦ متر است و از متراژ ۸٦ به بعد تا دیوار حائل نصب شده در دیواره جنوبی مغار به صورت افقی و به سمت دیواره‌های شرقی و غربی به صورت گشادشده حفاری می‌شود. گوشه‌دار نمودن دیواره‌ها باعث می‌شود تا جا برای مانور جامبو ایجاد گردد. در ضمن بین حفاری دو سینه کار دیوارهای U/S و D/S اختلاف

فاصله‌ای بین ٤٠ تا ٤٥ متر وجود خواهد داشت. حفاری در این مرحله با جامبو، ماده منفجره مصرفی دینامیت و با توجه به خرج ویژه ۱/۸ کیلوگرم بر متر مکعب برای دینامیت، متوسط مقدار دینامیت مصرفی در این مرحله برابر ۱۱٦٦۰ کیلوگرم، متوسط حجم حفاری و خاکبرداری در این مرحله برابر ٦٤٧٨ مترمکعب و تردد تجهیزات و مسیر حمل و نقل مواد آتشباری شده از طریق ادیت دسترسی و تونل TI می‌باشد. نمونه‌ای از آرایش چالها و طرح آتشباری ادیت دسترسی در شکل ٥ آورده شده است .

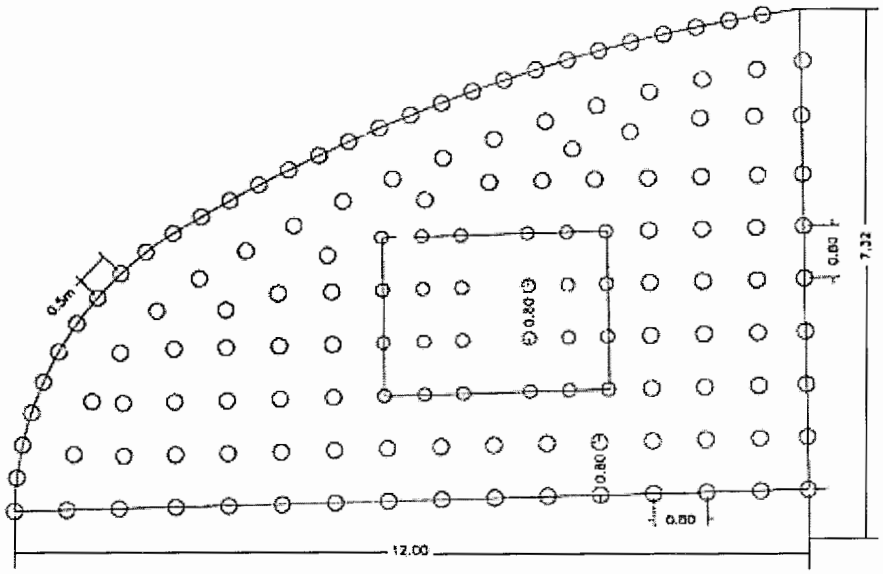


شکل ٥ نقشه انفجار ادیت دسترسی به مغار نیروگاه

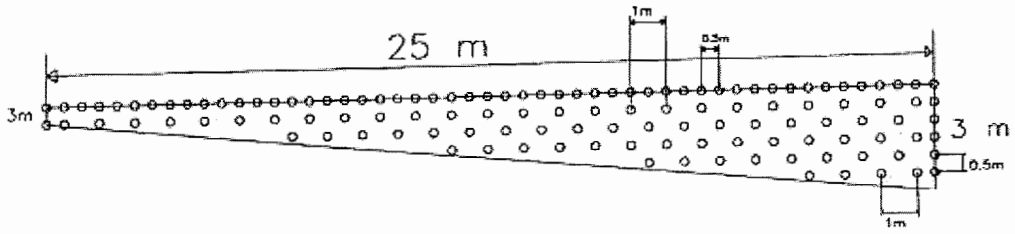
٥-۲- مرحله ۲ (STAGE 2) :

در این مرحله حفاری در دو سینه‌کار دیواره‌های U/S و D/S انجام می‌شود و همانطور که ذکر گردید فاصله بین سینه کارها حدود ٤٠ تا ٤٥ متر می‌باشد. سقف ادیت دسترسی نیز پس از هر مرحله پیشروی سینه‌کارها برداشته خواهد شد. پس از پایان حفاری در این مرحله زیر سقف مغار به ارتفاع ۷/٥ متر حفاری و

خاکبرداری شده است. در این مرحله کف مغار به تراز ۲۳۳ خواهد رسید و نگهداری سقف صورت می‌گیرد. حفاری در این مرحله در دو سینه‌کار و توسط جامبو انجام می‌شود. ماده منفجره مصرفی دینامیت و با توجه به خرج ویژه ۱/۸ کیلوگرم بر متر مکعب برای دینامیت، مقدار متوسط دینامیت مصرفی در این مرحله برابر ٤٢١٩٤ کیلوگرم، متوسط حجم حفاری و خاکبرداری نیز برابر ٢٣٤٤١ متر مکعب و مسیر تردد تجهیزات و حمل و نقل از ادیت دسترسی و تونل TI می‌باشد. نمونه آرایش چالها و طرح آتشباری این مرحله در شکل ٦ آورده شده است. همچنین نمونه‌ای از طرح آتشباری جهت برداشتن سقف ادیت دسترسی در شکل۷ نشان داده شده است.



شکل ٦ نقشه انفجار سقف مغار نیروگاه

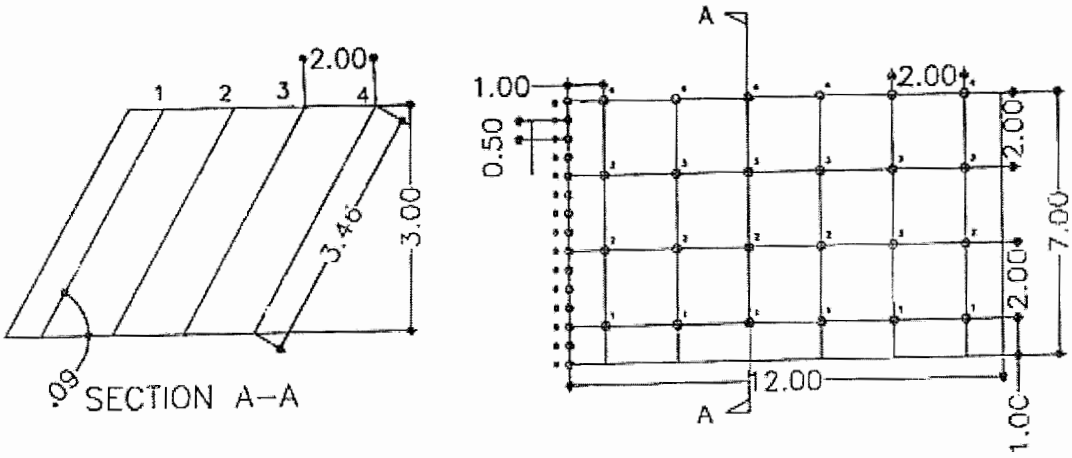


شکل ۷ نقشه انفجار قسمت بالایی ادیت دسترسی تا سقف مغار نیروگاه

۵-۳- مرحله ۳ (STAGE 3) :

در مرحله ۳ بنچ‌برداری از ارتفاع ۲۳۳ تا ارتفاع ۲۳۰ انجام می‌شود. چالزنی این مرحله توسط دریل‌واگن، ماده منفجره مصرفی آنفو و با توجه به خرج ویژه ۱ کیلوگرم بر متر مکعب برای آنفو، متوسط آنفوی مصرفی در این مرحله برابر ٨٥٦٤ کیلوگرم ، متوسط حجم حفاری و خاکبرداری در این مرحله برابر ٨٥٦٤ متر مکعب و

مسیر حمل و نقل در این مرحله از ادیت دسترسی و تونل TI می‌باشد. نگهداری‌های دیواره تراز حفاری شده در این مرحله پس از حفاری و خاکبرداری نصب می گردد. در این مرحله نصب بیم (Beam) جرثقیل و انکرهای ۱۰ درجه انجام می‌شود. از مرحله ۳ به بعد امکان حفاری در چند سینه کار وجود خواهد داشت. نمونه آرایش چالهای آتشباری هنگام بنچ برداری درشکل۸ آورده شده است.



شکل ۸ نقشه انفجار عملیات کف‌برداری مغار نیروگاه

۵-۴- مرحله ٤ (STAGE 4) :

در این مرحله بنچ‌برداری از تراز ۲۳۰ تا تراز ۲۲۷ انجام می‌شود. چالزنی این مرحله توسط دریل واگن، خرج مصرفی آنفو و متوسط آنفو مصرفی در این مرحله برابر ۸٥٦٤ کیلوگرم، متوسط حجم حفاری و خاکبرداری در این مرحله برابر ۸٥٦٤ متر مکعب و مسیر حمل و نقل در این مرحله از ادیت دسترسی و تونل TI می‌باشد. نگهداری مربوط به این تراز در این مرحله نصب می گردد.

۵-۵- مرحله ٥ (STAGE 5) :

در این مرحله بنچ‌برداری از تراز ۲۲۷ تا تراز ۲۲٤ انجام می‌شود. در این مرحله انکرهای ٦۰ درجه بیم جرثقیل و همچنین انکرهای ۱۰ درجه (TENDON M.B.) به سمت پائین در ارتفاع‌های ۲۲۷ و ۲۲٥ در دیواره D/S و ارتفاع ۲۲٥ در دیواره U/S نصب می گردد. همچنین بخشی از تاج قسمت افقی تونلهای باس‌داکت نیز در این مرحله قابل حفاری می‌باشند. چالزنی این مرحله توسط دریل واگن، ماده منفجره مصرفی آنفو و متوسط آنفو مصرفی در این مرحله برابر ۹۳۸۲ کیلوگرم، متوسط حجم حفاری و خاکبرداری در این مرحله برابر ۹۳۸۲ متر مکعب و مسیر حمل و نقل در این مرحله از ادیت دسترسی و تونل TI می‌باشد. نگهداری مربوط به ا ین تراز در این مرحله پس از حفاری و خاکبرداری نصب می گردد.

۵-٦- مرحله ٦ (STAGE 6) :

در مرحله ٦ بنچ‌برداری از تراز ۲۲٤ تا تراز ۲۲۱،۵ انجام می‌گیرد. همچنین بخش افقی پائینی از گالری باس‌داکت را در این مرحله می‌توان حفاری نمود. بخش افقی بالایی گالریهای باس‌داکت (به صورت تمام مقطع) و پایلوت قسمت شیبدار آن قبلاً از مغار ترانسفومر حفاری شده و عملیات گشادسازی قسمت شیبدار گالری‌های باس‌داکت در این مرحله و همچنین در مراحل ۷ و ۸ انجام می‌شود. در این مرحله حفر چالها توسط دریل واگن و جامبو و چکش دستی انجام می‌شود. ماده منفجره مصرفی آنفو و دینامیت و متوسط مقدار آنفوی مصرفی در این مرحله برابر ۸۰۲۵ کیلوگرم و مقدار دینامیت مصرفی نیز برابر ۱٤۲۱ کیلوگرم ، متوسط حجم حفاری و خاکبرداری در این مرحله برابر ۸۰۲۵ مترمکعب و مسیر حمل و نقل از ادیت دسترسی و تونل TI می‌باشد. نگهداری مربوط به این تراز (دیوار مغار وگالریهای باس‌دا کت) در این مرحله پس از حفاری و خاکبرداری نصب می گردد.

پس از پایان مرحله ٦ عملیات ایجاد رمپ شروع می‌شود. هدف از ایجاد رمپ، دسترسی به مانیفولدهای بالادست می‌باشد تا بدین شکل همزمان با پائین آمدن کف مغار و از دسترس خارج شدن تونل TI بتوان از این تونلها جهت تردد و حمل و نقل استفاده نمود.

حین ایجاد رمپ، هنگامیکه ارتفاع بین شروع و انتهای رمپ به ۳ متر رسید، اقدام به بنچ‌برداری ۳ متری می‌شود. شیب این رمپ ۱٤/۹۵ درصد و طول رمپ ۸٦ متر می‌باشد. پس از دسترسی به مانیفولدهای بالا دست عملیات رمپ‌برداری انجام شده و مسیر تردد و حمل و نقل از طریق مانیفولدها انجام می‌گیرد. در ضمن طبق برنامه زمانبندی، حفاری مانیفولدها که قبلاً شروع شده، قبل از رسیدن رمپ به تراز آنها خاتمه خواهد یافت.

۵-۷- مرحله۷ (STAGE 7) :

اولین بخش رمپ دسترسی در این مرحله ایجاد می‌گردد. نقطه شروع رمپ تقریباً در وسط عرض سکوی جلوی دیواره شمالی مغار(UNLOASING BAY) در تراز ۲۲۱/۵ بوده و به تدریج به سمت دیواره غربی پیش می‌رود. وقتیکه اختلاف تراز نقطه شروع و انتهای رمپ به ۳ متر رسید یک مرحله بنچ برداری در کل مغار و به ارتفاع ۳ متر انجام خواهد شد. با این بنچ‌برداری تراز کف مغار به ۲۱۸/۵ خواهد رسید. لازم به ذکر است که با توجه به اختلاف ارتفاع بین تراز سکوی UNLOASING BAY (۲۲۱/۵) و تراز کف تونل TI (۲۲۳) (۱/۵ متر اختلاف ارتفاع) باید با خاکریزی روی سکوی UNLOASING BAY رمپی در این محل ایجاد نمود.

چالزنی این مرحله توسط دریل‌وا گن، ماده منفجره مصرفی آنفو و متوسط مقدار آنفو مصرفی در این مرحله برابر ۷۹۱٦ کیلوگرم، متوسط حجم حفاری و خاکبرداری نیز برابر ۷۹۱٦ متر مکعب و مسیر حمل و نقل در این مرحله از رمپ ایجاد شده و تونل TI می‌باشد. نگهداری دیواره‌های این تراز در این مرحله پس از حفاری و خاکبرداری نصب می گردد.

۵-۸- مرحله ۸ (STAGE 8) :

در این مرحله عملیات ایجاد رمپ از تراز ۲۱۸/۵ تا تراز ۲۱۵/۵ ادامه می‌یابد. همچنین بیم جرثقیل موقت در تراز ۲۱۷ نصب می‌گردد. (وظیفه اصلی جرثقیل موقت جابجایی قالب‌های بتن در مغار می‌باشد). چالزنی این مرحله توسط دریل واگن، ماده منفجره مصرفی آنفو و متوسط آنفو مصرفی در این مرحله برابر ۷۵۲۹ کیلوگرم، متوسط حجم حفاری و خاکبرداری در این مرحله برابر ۷۵۲۹ مترمکعب و مسیر حمل و نقل در این مرحله از رمپ و تونل TI می‌باشد. نگهداری مربوط به این تراز در این مرحله نصب می‌گردد.

۵-۹- مرحله ۹ (STAGE 9) :

حفاری رمپ در این مرحله از تراز ۲۱۵/۵ تا تراز ۲۱۲/۵ ادامه خواهد یافت و بنچ‌برداری۳ متری پس از رسیدن رمپ به تراز ۲۱۲/۵ انجام می‌شود. چالزنی این مرحله توسط دریل واگن، ماده منفجره مصرفی آنفو و متوسط مقدار آنفو مصرفی در این مرحله برابر ۷۱۴۳ کیلوگرم، مسیر حمل و نقل در این مرحله از رمپ ایجاد شده و تونل TI و متوسط حجم حفاری و خاکبرداری در این مرحله برابر ۷۱۴۳ مترمکعب می‌باشد. نگهداری مربوط به این تراز در این مرحله و پس از پایان حفاری و خاکبرداری نصب می‌گردد.

۵-۱۰- مرحله ۱۰ (STAGE 10) :

در ابتدای این مرحله کف مغار در تراز ۲۱۲/۵ و همچنین سقف و کف تونلهای مانیفولد بالادست به ترتیب در ترازهای ۲۱۳/۲۵ و ۲۰۴/۵۵ می‌باشند. در این مرحله با ادامه رمپ تا ارتفاع ۳/۵ متر، کف رمپ به تراز ۲۰۹ می‌رسد. ارتفاع بنچ‌برداری در این مرحله ۳/۵ متری بوده و مسیر حمل و نقل و تردد از طریق رمپ ایجاد شده و تونل TI می‌باشد. چالزنی این مرحله توسط دریل‌واگن، ماده منفجره مصرفی آنفو و متوسط آنفو مصرفی در این مرحله برابر ۵۰۱۸ کیلوگرم، متوسط حجم حفاری و خاکبرداری در این مرحله برابر ۵۰۱۸ مترمکعب می‌باشد. نگهداری مربوط به این تراز پس از خاکبرداری نصب می‌گردد. در پایان این مرحله با رسیدن کف مغاز به تراز ۲۰۹ می‌توان از مانیفولدهای بالادست به منظور تردد و حمل و نقل استفاده نمود.

۵-۱۱- مرحله ۱۱ (STAGE 11) :

در مرحله ۱۱ عملیات برداشتن ترانشه مطابق با سیکلهای نشان داده شده در مرحله ۱۱ انجام می‌گیرد. بدین شکل دسترسی به تونل TI از بین خواهد رفت. با بازگردیدن دهانه مانیفولدهای بالادست از مرحله قبل، مسیرهای تردد و حمل و نقل از طریق این تونلها انجام خواهد گرفت. چالزنی این مرحله توسط دریل واگن، ماده منفجره مصرفی آنفو و متوسط مقدار آنفو مصرفی در این مرحله برابر ۷۵۴۵ کیلوگرم، متوسط حجم حفاری و خاکبرداری در این مرحله برابر ۷۵۴۵ مترمکعب می‌باشد. نگهداری مربوط به این تراز در این مرحله پس از خاکبرداری نصب می‌گردد. در پایان این مرحله، کف مغار به تراز ۲۰۹ خواهد رسید.

۵-۱۲- مرحله ۱۲ (STAGE 12) :

در این مرحله با بنچ‌برداری ۳ متری، کف مغار از تراز ۲۰۹ به تراز ۲۰۶ خواهد رسید. تاندونهای M.B با شیب صفر درجه در تراز ۲۰۹ و همچنین با شیب (۲۰-) درجه در تراز ۲۰۷/۱۴ با فواصل ۲ متر در امتداد طول مغار با توجه به نقشه‌های اجرایی در این مرحله در دیواره D/S نصب می‌گردند (تنها تاندونهای تراز ۲۰۹ در طول مغار بطورکامل نصب می‌شوند و باقی تاندونها از تراز ۲۰۷/۱۴ به پایین بین ستونهای مانیفولد پایین‌دست در دیواره مغار نصب می‌شوند). طول این تاندونها به ترتیب ۲۵ و ۲۳ متر و آرایش ۱/۸۶ × ۲ متر و ظرفیت ٦٢٤ کیلونیوتن می‌باشد. چالزنی این مرحله توسط دریل‌واگن و ماده منفجره مصرفی آنفو و متوسط مقدار آنفو مصرفی در این مرحله برابر ۸٤٦۰ کیلوگرم، متوسط حجم حفاری و خاکبرداری در این مرحله برابر ۸٤٦۰ مترمکعب و مسیرهای تردد و حمل و نقل در این مرحله از طریق مانیفولدهای بالادست انجام خواهد شد. نگهداری دیواره مربوط به این تراز در این مرحله نصب می‌گردد.

۵-۱۳- مرحله ۱۳ (STAGE 13) :

در این مرحله با بنچ‌برداری ۳/۵ متری، کف مغار از تراز ۲۰٦ به تراز ۲۰۲/۵ (تراز سکوی داخل مغار) می‌رسد. اگر حفاری مانیفولدهای پایین‌دست بصورت تمام مقطع انجام شده باشد جهت استفاده از آنها به عنوان مسیر حمل و نقل و تردد، باید بخشی از جلوی مانیفولدهای پایین‌دست که متصل به دیواره مغار می‌باشد خاکریزی گردد و همچنین از سمت مغار نیز جلوی دهانه این مانیفولدها بیشتر از تراز ۲۰۲/۵ حفاری گردد. تاندونهای با شیب (۲۰-) درجه در ترازهای ۲۰۵/۲۸ و ۲۰۳/٤۲ در این مرحله نصب می‌شوند. طول این تاندونها به ترتیب ۲۳ و ۲۱ متر با آرایش ۱/۸٦ × ۲ متر (با توجه به نقشه‌های اجرایی) و ظرفیت ٦٢٤ کیلونیوتن می‌باشد. در این مرحله چالزنی توسط دریل‌واگن، ماده منفجره مورد استفاده آنفو و متوسط مقدار آنفو مصرفی در این مرحله برابر ۸٤٦۰ کیلوگرم، متوسط حجم حفاری و خاکبرداری در این مرحله برابر ۸٤٦۰ مترمکعب می‌باشد. مسیرهای تردد و حمل و نقل دراین مرحله از طریق تونلهای مانیفولد پایین‌دست (در ابتدای بنچ‌برداریها از طریق مانیفولد پایین‌دست شماره ۸) انجام خواهد شد. نگهداری مربوط به این تراز در این مرحله و پس از هر مرحله خاکبرداری نصب می‌گردد.

۵-۱٤- مراحل ۱٤ و ۱۵ و ۱٦ و ۱۷ (STAGE 14, 15, 16, 17) :

در طی این مراحل تراز کف مغار از ۲۰۲/۵ با بنچ‌برداریهای ۳ متری به تراز ۱۹۳ خواهد رسید و ایجاد سکو و پیت در کف مغار انجام می‌گیرد. چالزنی این مرحله توسط دریل‌واگن و ماده منفجره مصرفی آنفو و متوسط مقدار آنفو مصرفی در هر یک از مراحل ۱٤ و ۱۵ و ۱٦ و ۱۷ به ترتیب برابر۵۰۹۱ ، ۳۹۰۱ ، ۳۹۰۱ و ۷۸۵ کیلوگرم و متوسط حجم حفاری و خاکبرداری نیز به ترتیب برابر ۵۰۹۱ ، ۳۹۰۱ ، ۳۹۰۱ و ۷۸۵ مترمکعب می‌باشد. مسیرهای تردد و حمل و نقل در این مرحله از طریق مانیفولدهای پایین‌دست انجام خواهد شد.

نگهداری مربوط به این مراحل (دیواره ،کف و همچنین در سکوها) در این مرحله نصب می گردد. درضمن تاندونهای .M.B با شیب ۱۰- درجه در ترازهای ۲۰۱/۵٦ و ۱۹۹/۹۷ و ۱۹۷/۸٤ و ۱۹۵/۹۸ به ترتیب با طولهای ۱۹ ، ۱۷ ، ۱۵ ، ۱۳ متر و ظرفیت ٦۲٤ کیلونیوتن و آرایش ۱/۸٦ × ۲ متر (با توجه به نقشه‌های اجرایی) در این مراحل در دیواره D/S نصب می گردند.

در مجموع به طور متوسط مقدار تقریبی دینامیت و آنفو مصرفی در حفاری مغار فاز II طرح توسعه نیروگاه سد مسجد سلیمان به ترتیب برابر ۵۵/۲۸ و ۱۰۰/۲۸تن می‌باشد.

پیوست II

استخراج سنگهای ساختمانی به وسیله روشهای آتشباری آرام و آتشباری پیش‌شکافی

(مطالب این فصل عمدتاً از منبع [4C] می‌باشد)

۱- استخراج سنگ ساختمانی بوسیله روش آتشباری آرام

قبل از شروع به عملیات استخراج در یک معدن سنگ ابتدا مواد باطله روی کانسار در سطح مناسبی برداشته می‌شود تا امکان ایجاد کارگاه فراهم گردد. خاک و مواد نرم به کمک بولدوزر، بیل مکانیکی و یا لودر جابجا می‌گردند. مواد باطله سخت و سنگهای تزئینی خردشده و درزه‌دار را نیز به کمک مواد ناریه و با استفاده از وسایل حفاری مناسب جابجا می‌کنند. دقت در کندن مواد باطله بنحوی که به قسمت اصلی کانسار آسیب نرسد حائز اهیمت است. پس از انجام باطله‌برداری و آماده کردن پله‌ها کار استخراج بلوکهای سنگ از کانسار به ترتیب زیر آغاز می گردد:

مرحله اول : هدف جدا کردن بلوکهائی بین ۳۰۰ تا ٤۰۰۰ مترمکعب از کانسار است. برای این کار باید چالهای افقی و قائم در کف و پشت بلوک ایجاد نمود(شکل ۱). در دوطرف این بلوک بزرگ باید شکافهائی را ایجاد و سپس در چالهای افقی و قائم بطور همزمان آتشباری نمود.

مرحله دوم : بلوک اولیه به چند قسمت تقسیم می‌شود و برای این کار چالهای قائم در امتداد مورد نظر حفر می‌گردد و به کمک آتشباری بلوک را جدا می‌نمایند(شکل ۲).

مرحله سوم : بلوکهای مرحله قبل مجدداً به ابعاد کوچکتری تقسیم می‌شوند. این کار با حفر چالهای قائم و استفاده از نعل و پارس و یا مواد ناریه انجام می‌شود. بلوک بدست آمده را برای قواره کردن به کمک جک و یا سایر ابزار به سطح زمین که قبلاً با ماسه و یا خاک جهت جلوگیری از خرد شدن پوشیده شده برمی‌گردانند. (شکل ۳).

مرحله چهارم : قواره کردن- در این مرحله چالهای قائم در امتداد سطوح مکعب مستطیل بلوک نهایی مورد نظر که باید به بازار عرضه شود حفر می‌نمایند. در این مرحله معمولاً پس از حفر چالهای قائم با استفاده از نعل و پارس، قطعات مورد نظر از رینگ جدا می شود(شکل ٤) .

از آنجائیکه در استخراج سنگهای تزئینی بدست آوردن بلوکهای بزرگ بدون ضایع کردن سنگ هدف اصلی است، بدین منظور در استخراج سنگهای ساختمانی با استفاده از روش چال موازی، حفر تعداد قابل ملاحظه‌ای چال یکی از مهمترین اقدامات بشمار می‌رود. قبلاً حفر چال دستی انجام می‌شد و امروزه این کار به کمک ابزار مکانیکی انجام می‌شود. در یک معدن سنگ تعداد چالهایی که باید در یک نوبت کاری حفر شوند

مهمترین عامل در انتخاب ماشین‌آلات است که با در نظر گرفتن میزان استخراج وکمترین هزینه ممکن برای یک متر حفاری مناسبترین ماشین‌آلات حفاری انتخاب می‌شود. حفر چال در استخراج سنگ ساختمانی با توجه به مراحل کاری ذکر شده به سه دسته تقسیم می‌شود:

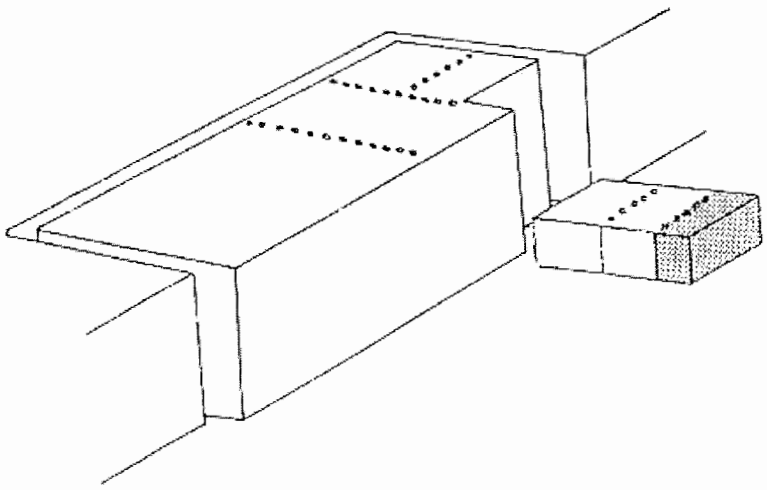
۱) حفر چالهای اولیه به منظور آزاد کردن بلوکهای بزرگ از کانسار

۲) حفر چالهای ثانویه به منظور تقسیم بلوکهای بزرگ به قطعات کوچکتر (در چند مرحله)

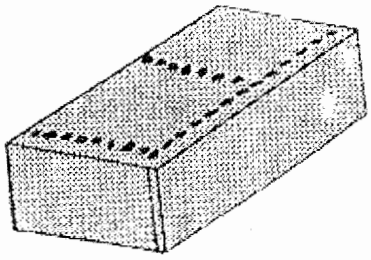
۳) حفر چال به منظور قواره کردن

حفر چال در تمام مراحل فوق مشابه است و معمولاً چالهای موازی در طول یک خط در سنگ حفر می‌شوند و ماشین‌آلاتی که برای حفر چالها مورد استفاده قرار می‌گیرند با توجه به عمق چالها، تعداد چالها و غیره تغییر می‌کند. بعلاوه تمامی ابزار مکانیکی که در مراحل مختلف حفر چال مورد استفاده قرار می‌گیرند بایستی دارای امتیازات زیر نیز باشند:

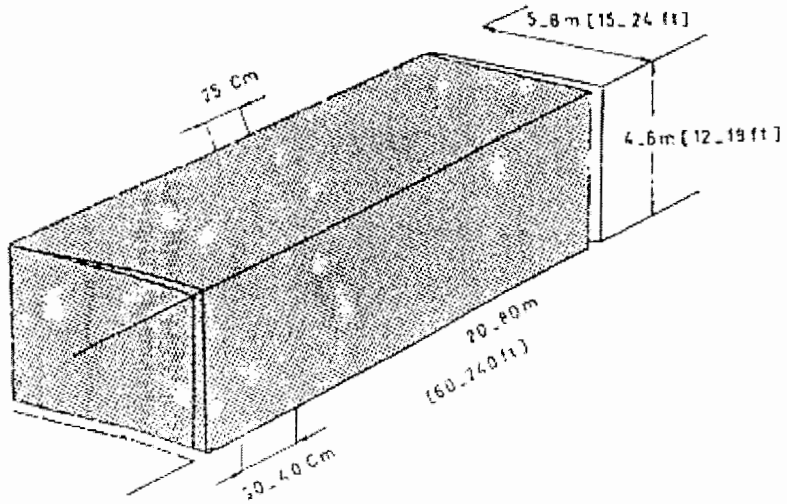
- ظرفیت زیاد حفر چال
- هزینه کمتر حفاری
- ایمنی و حفظ شرایط بهداشتی محیط کار



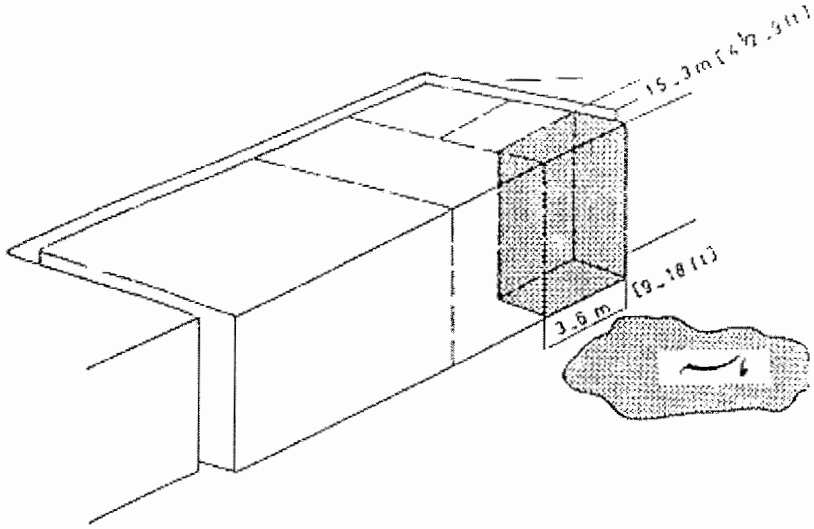
شکل ۱ مرحله اول استخراج بلوک



شکل ۲ مرحله دوم استخارج بلوک



شکل ۳ مرحله سوم استخراج بلوک



شکل ٤ مرحله چهارم استخراج بلوک

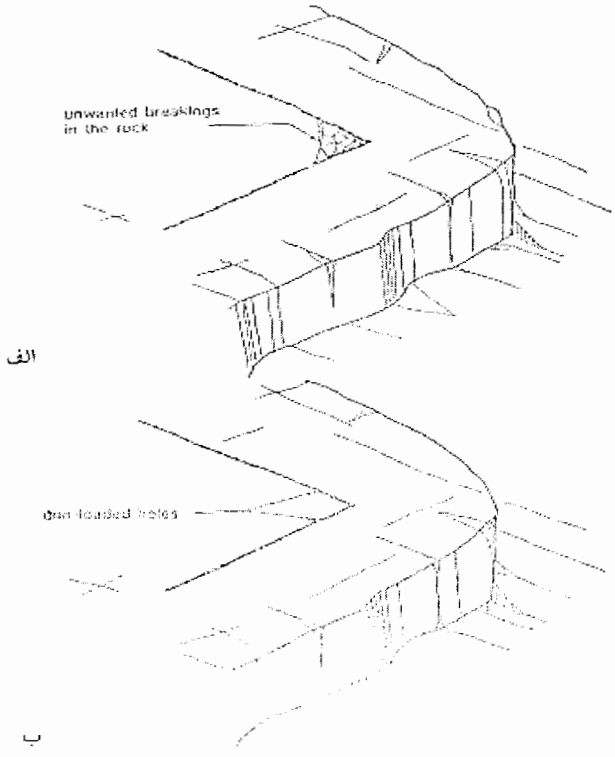
۲- پیش‌شکافی در استخراج سنگهای ساختمانی

در استخراج سنگ های ساختمانی اعم از نما یا تزئینی هدف کندن قطعات بزرگ سنگ می‌باشد. برای این منظور براساس روابط موجود در پیرامون سنگ چالهای متعدد حفر کرده و با آتشباری پیش شکافی قطعه سنگ را از توده اصلی سنگ جدا می کنند. در استخراج سنگهای ساختمانی نیازی به حفر چالهای اصلی نیست و فقط چالهای پیش‌شکافی حفر می‌شوند تا در اثر انفجار آنها قطعات بزرگ سنگ بدست آید.

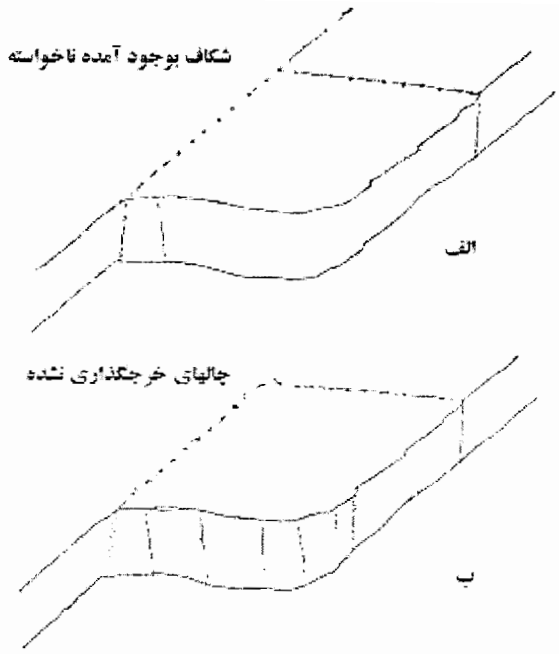
چنانچه توده‌سنگ دارای لایه‌بندی افقی بوده و اتصال بین لایه‌ها سست باشد چالها را معادل ضخامت هر لایه حفر و اقدام به آتشباری می‌نمایند و درصورتی که لایه‌بندی سست نبوده و یا اصولاً لایه‌بندی وجود نداشته

باشد پیش‌شکافی تنها در اطراف سنگ ایجاد شکاف می‌کند و برای جدا کردن کف قطعه‌سنگ از توده اصلی باید اقدام دیگری بعمل آورد. در استخراج سنگهای ساختمانی با آتشباری پیش‌شکافی رعایت نکات زیر ضروری است:

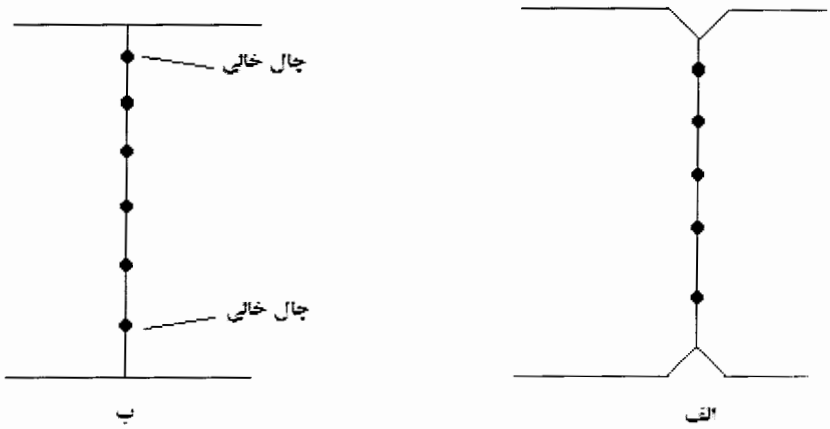
- وقتی آتشباری پیش‌شکافی باید در دو جهت انجام گیرد ممکن است در محل برخورد این دو جهت یعنی در سر پیچ، شکاف در امتدادی ناخواسته ادامه پیدا کند. برای جلوگیری از این پیشامد باید از اختلاط پیش‌شکافی و چال خالی استفاده کرد و چند چال را در سر پیچ خرجگذاری نکرد.
- حالت دیگری که ممکن است در اجرای پیش‌شکافی با آن مواجه شویم بریدن سنگ در دوجهت عمود بر هم است که در سر پیچ مواجه با شکسته شدن سنگ خواهیم بود(شکل۵) و برای رفع این اشکال باید از خرجگذاری چالها سرپیچ خودداری کرد.
- حالتی که مخصوصاً در استخراج سنگهای تزئینی پیش می‌آید قطعه کردن سنگ است به صورتی که شکاف یا برش مورد نظر عمود بر سطح آزاد می‌باشد. در اینجا هم امکان شکسته شدن سنگ در دو انتهای شکاف می‌باشد (شکل ٦) که برای جلوگیری از این وضعیت بهتر است چالهای نهائی خرجگذاری نشوند. (شکل ۷).



شکل ۵ خرد شدن سنگ در سر پیچ(الف)کنترل خرد شدن در سر پیچ (ب)



شکل ٦ شکاف بوجود آمده(الف)کنترل شکاف با خرجگذاری نکردن چالهای انتهایی(ب)



شکل ۷ خرد شدن سنگ در سطح آزاد(الف) کنترل خرد شدن در سطح آزاد (ب)

منابع:

۱- استوار؛رحمت ا... ؛"آتشباری کنترل‌شده"؛دانشگاه صنعتی امیرکبیر؛جزوه درسی.

۲- شرکت خدمات استخراج و آموزش معادن ایران؛"فن‌آوری مواد منفجره در ساختمان و معدن"؛۱۳۷۸.

۳- رنجی؛مرتضی؛"آتشباری کنترل‌شده و کاربرد آن در استخراج سنگهای ساختمانی"؛دانشگاه صنعتی شاهرود؛سمینار کارشناسی ارشد.

٤- "فصلنامه علمی،فنی و اقتصادی فراز"؛شماره ۱۹ زمستان ۱۳۷۹.

۴A- حجازی؛مرتضی؛"حفاری معادن سطحی"؛شرکت تولید و فرآوری مواد معدنی ایران؛آبان ۱۳۷۰.

۴B- "روش اجرای حفاری مغار نیروگاه سد مسجد سلیمان"؛گزارشات پیمانکار طرح در دفتر فنی.

۴C- مشرفی؛سهیل؛"آتشباری کنترل‌شده و کاربرد آن در استخراج سنگهای ساختمانی"؛دانشگاه صنعتی امیرکبیر؛سمینار کارشناسی ارشد؛۱۳۷۸

5-" Drilling & Blasting of Rock",Carlos Lopez Jimeno,Emilo Lopez Jimeno ,Francisco Javier Ayala Carcedo,1995.

6- "Critical Parameters of Wall Control Blasting Methods",by S.K.Khoshrou, B.Mohanty Mc Gill University,Montreal,Canada

7- Applied Explosives Technology for Construction and Mining, by Stig o Olofsson,1998.