اصول مهندسی تونل

جلسهٔ چهارم
حفر تونل با روش آتشباری

Principles of Tunnel Engineering

تجهیز کارگاه تونل سازی

۱- احداث جاده دسترسی

۲- احداث ترانشه و تسطیح دهانهٔ تونل

۳- احداث بنچ مارک یا پیلار نقشه برداری در محوطهٔ خارج تونل

۴- احداث اطاقک نگهبانی، پشتیبانی و ایمنی (HSE)

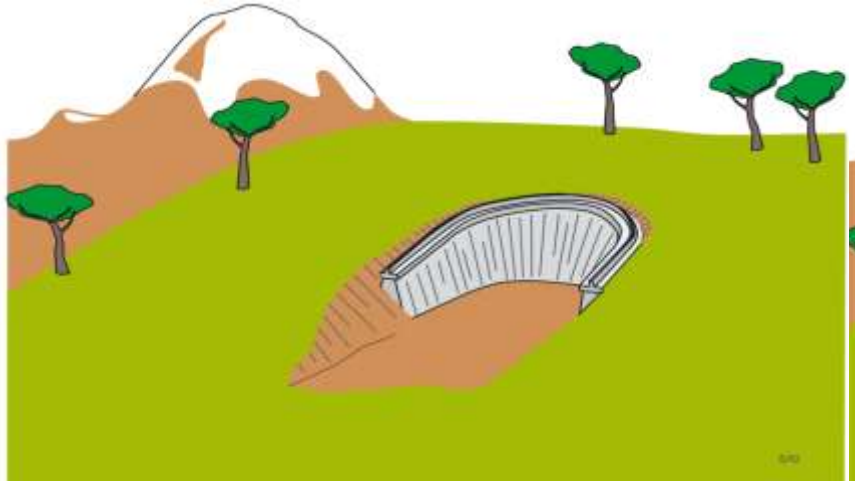
۵- جانمایی تاسیسات صنعتی (کمپرسور، ژنراتور، مخزن آب و ...)

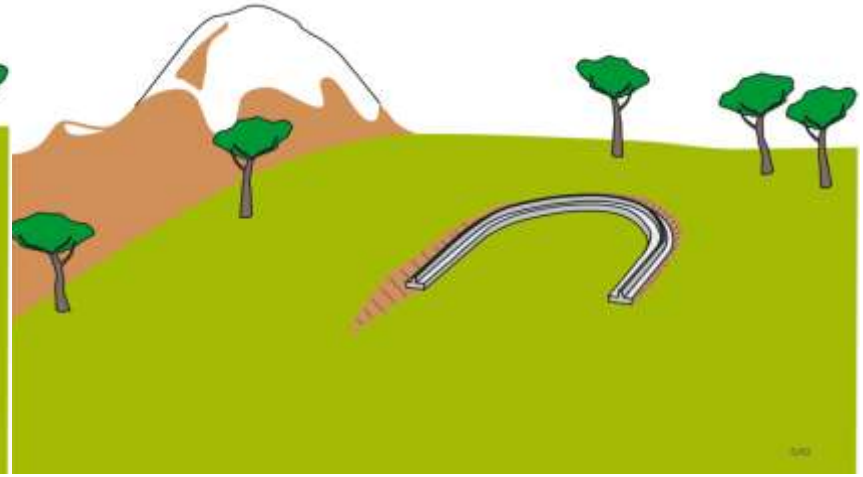
۶- احداث تاسیسات اداری رفاهی

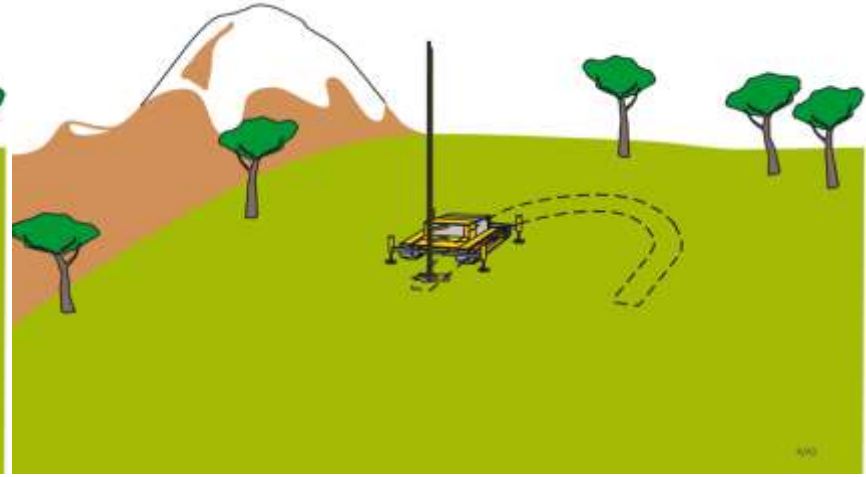
۷- زاغه مواد منفجره و ناریه

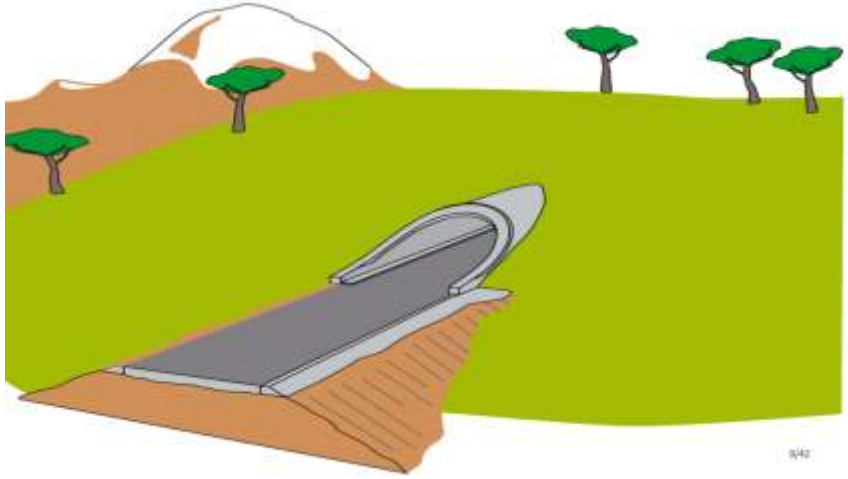
نکته: تمامی تجهیزات بایستی برای ۳ شیفت کاری طراحی شوند.

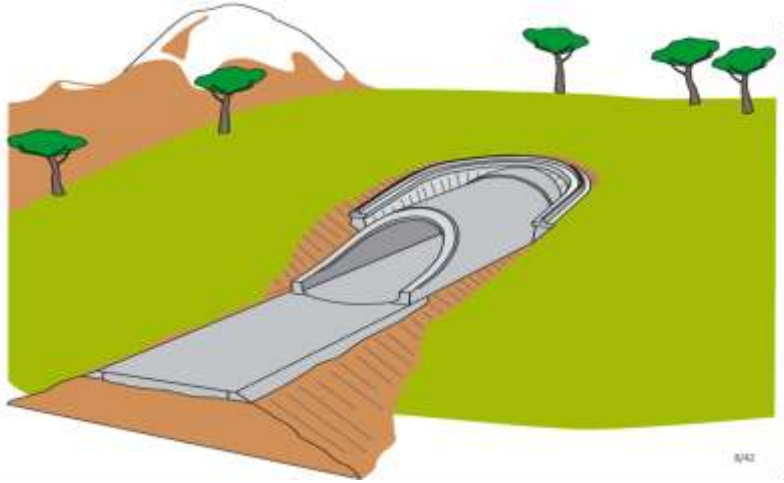
اولین مرحلهٔ اجرا

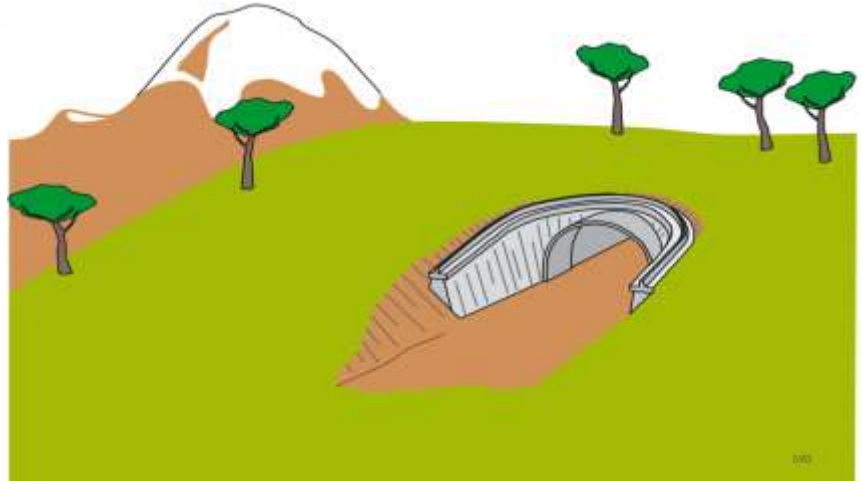


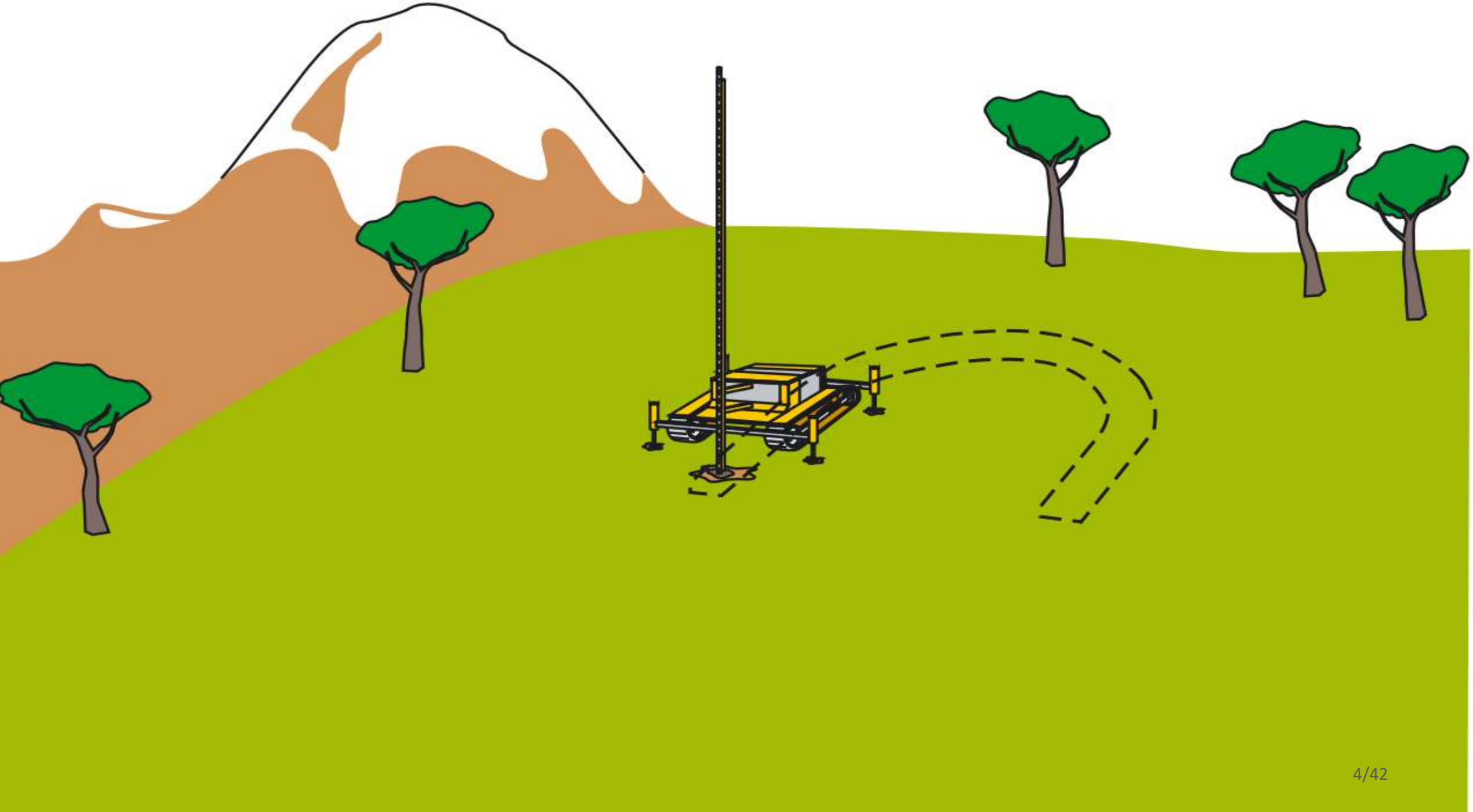


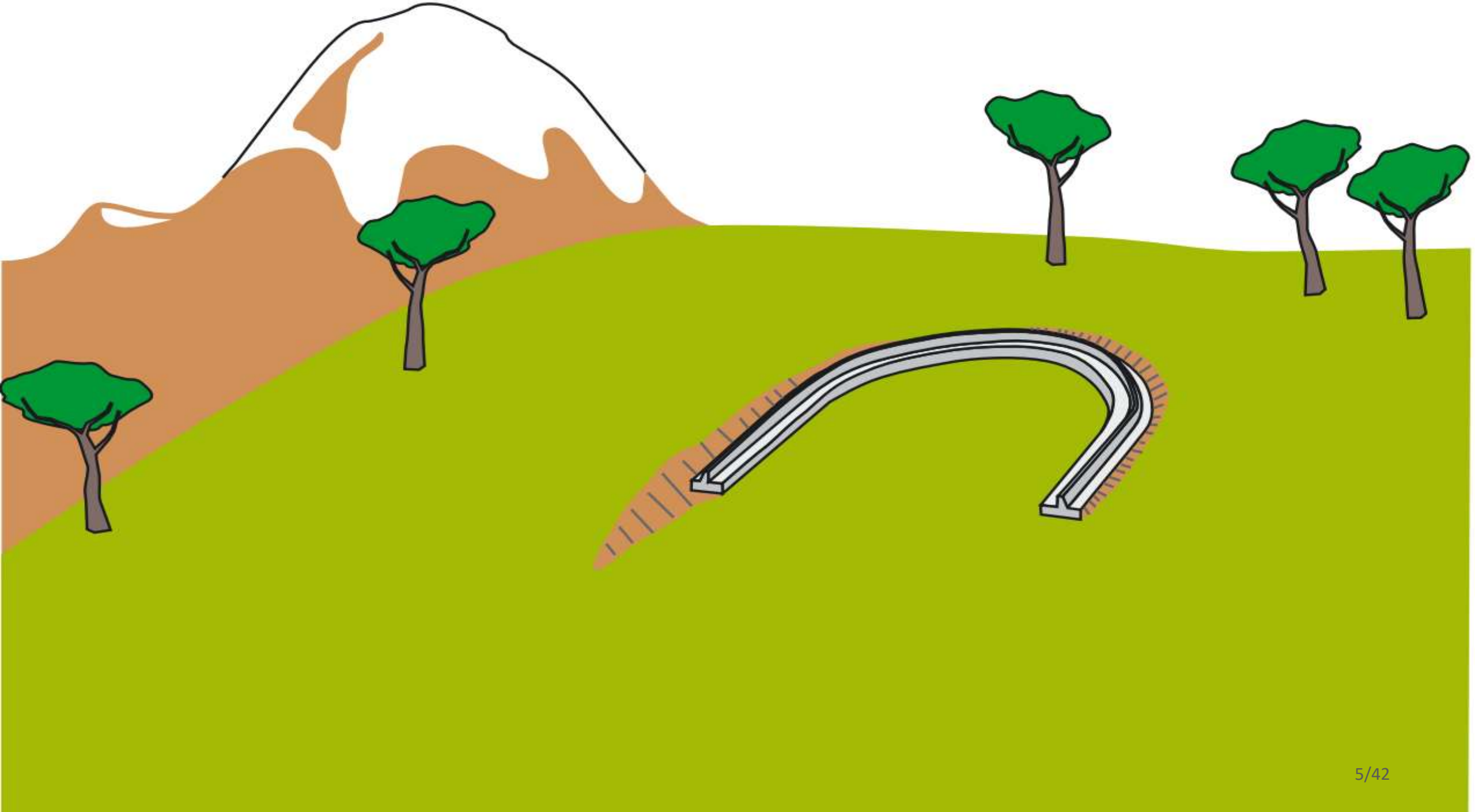


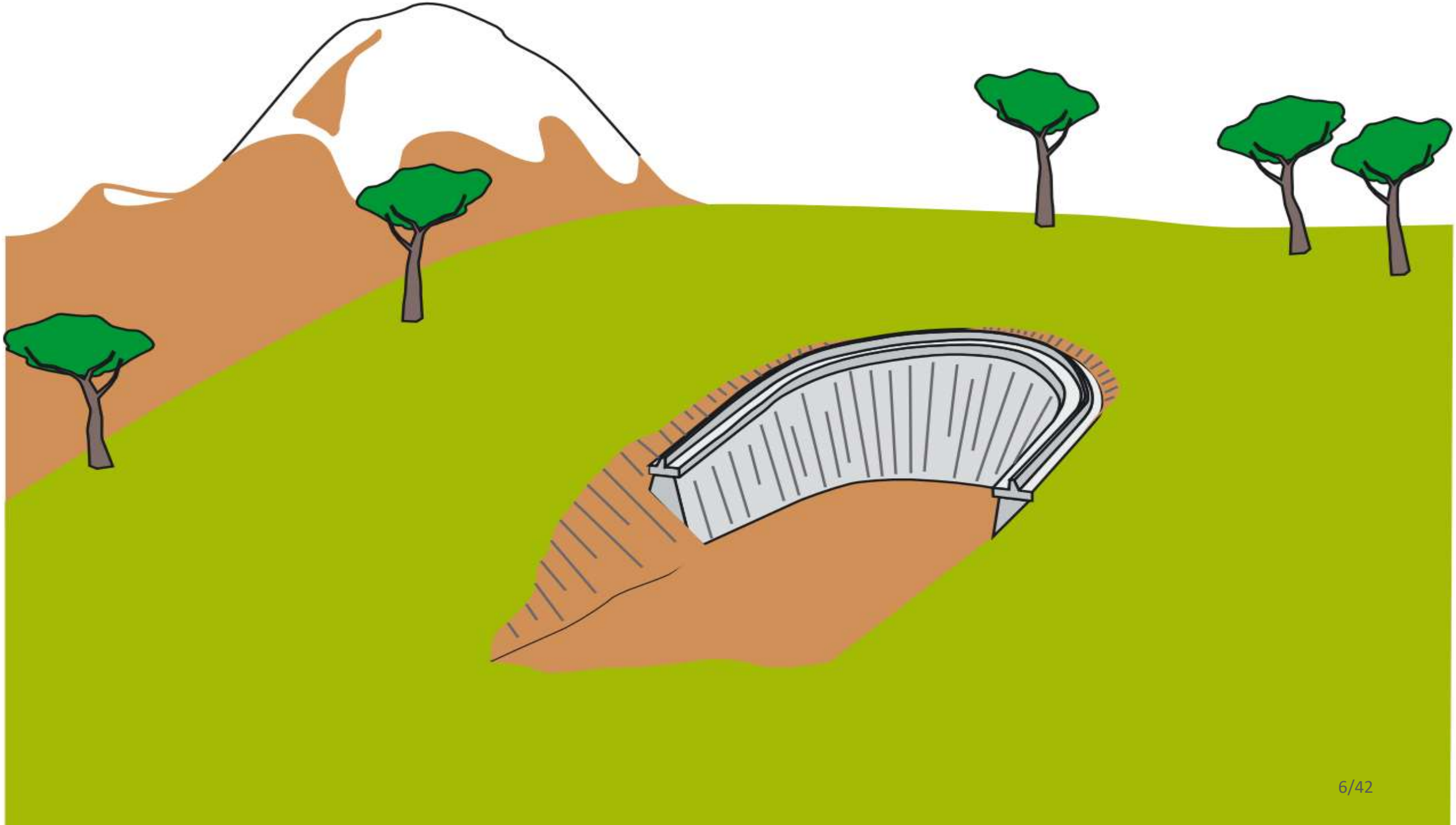


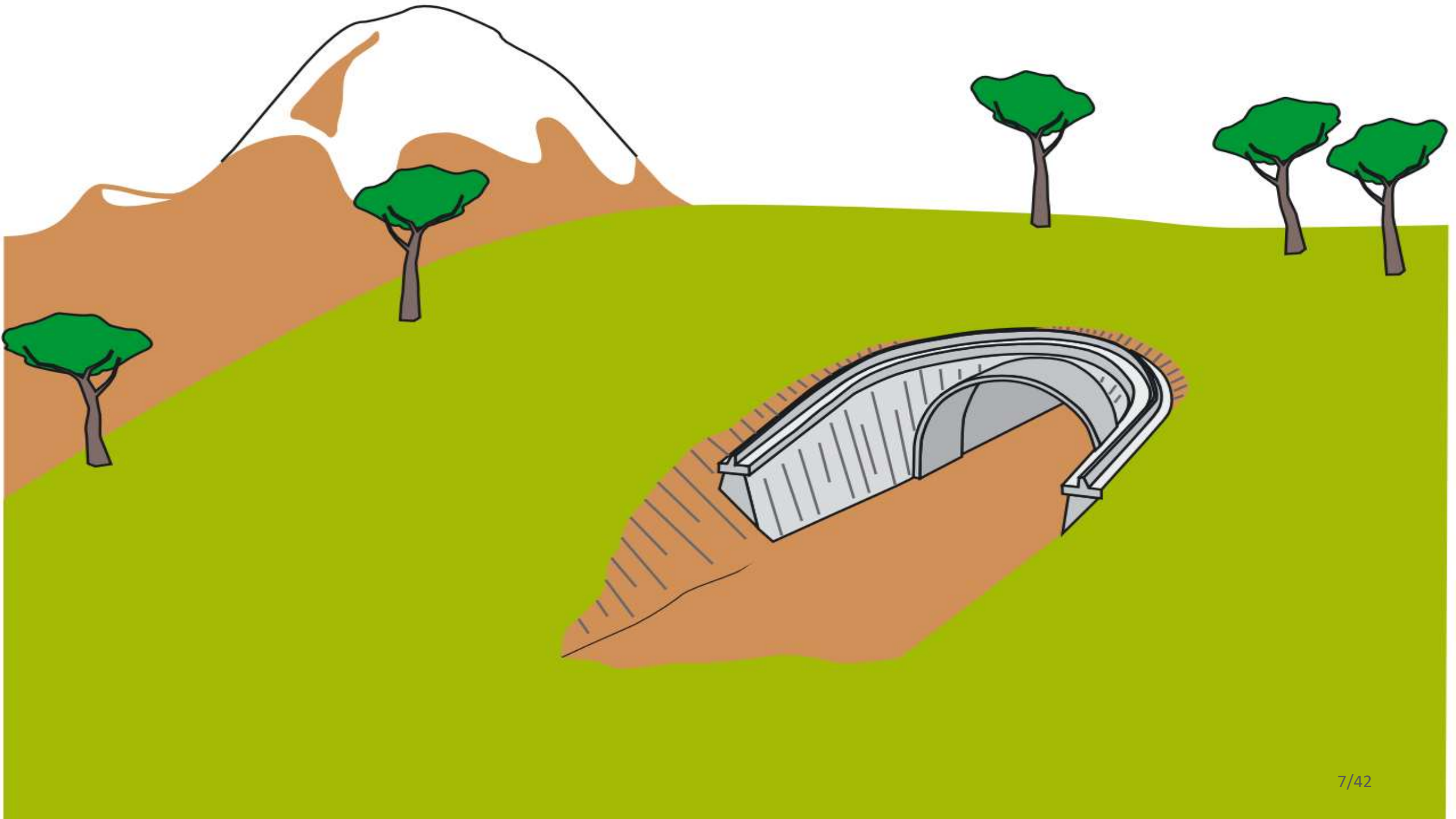


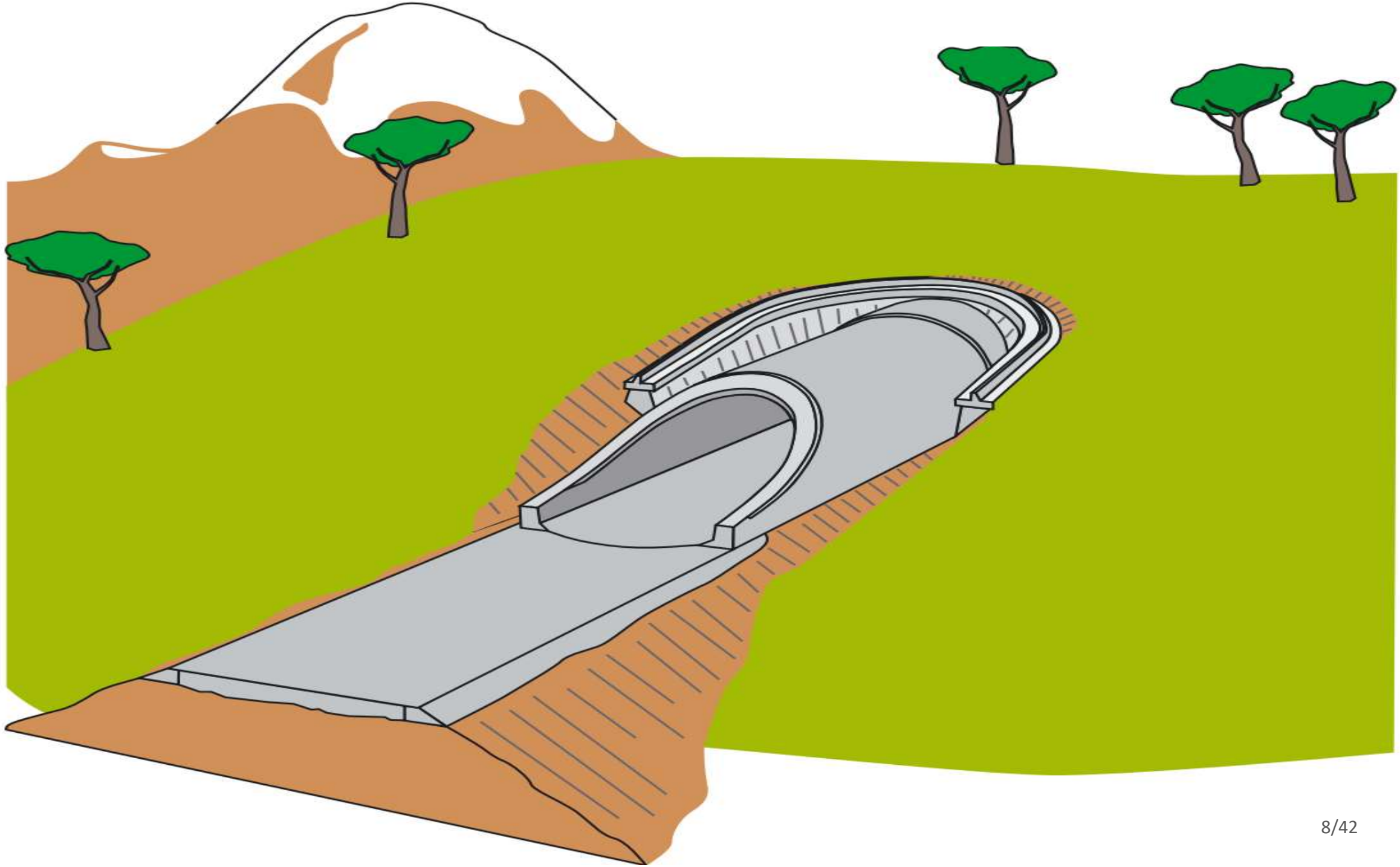


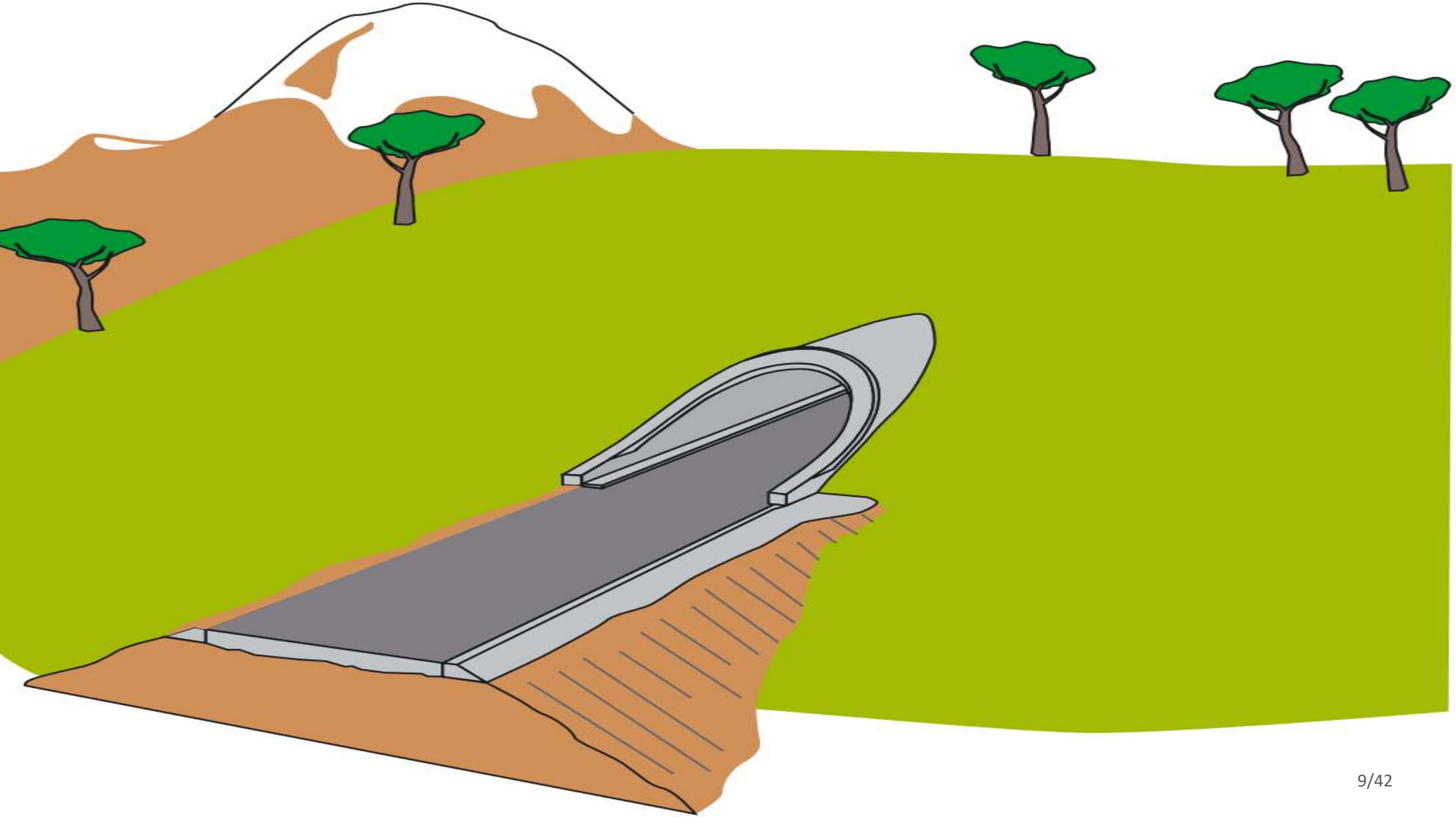












حفر تونل با روش چال زنی و آتشباری

Drill and Blasting

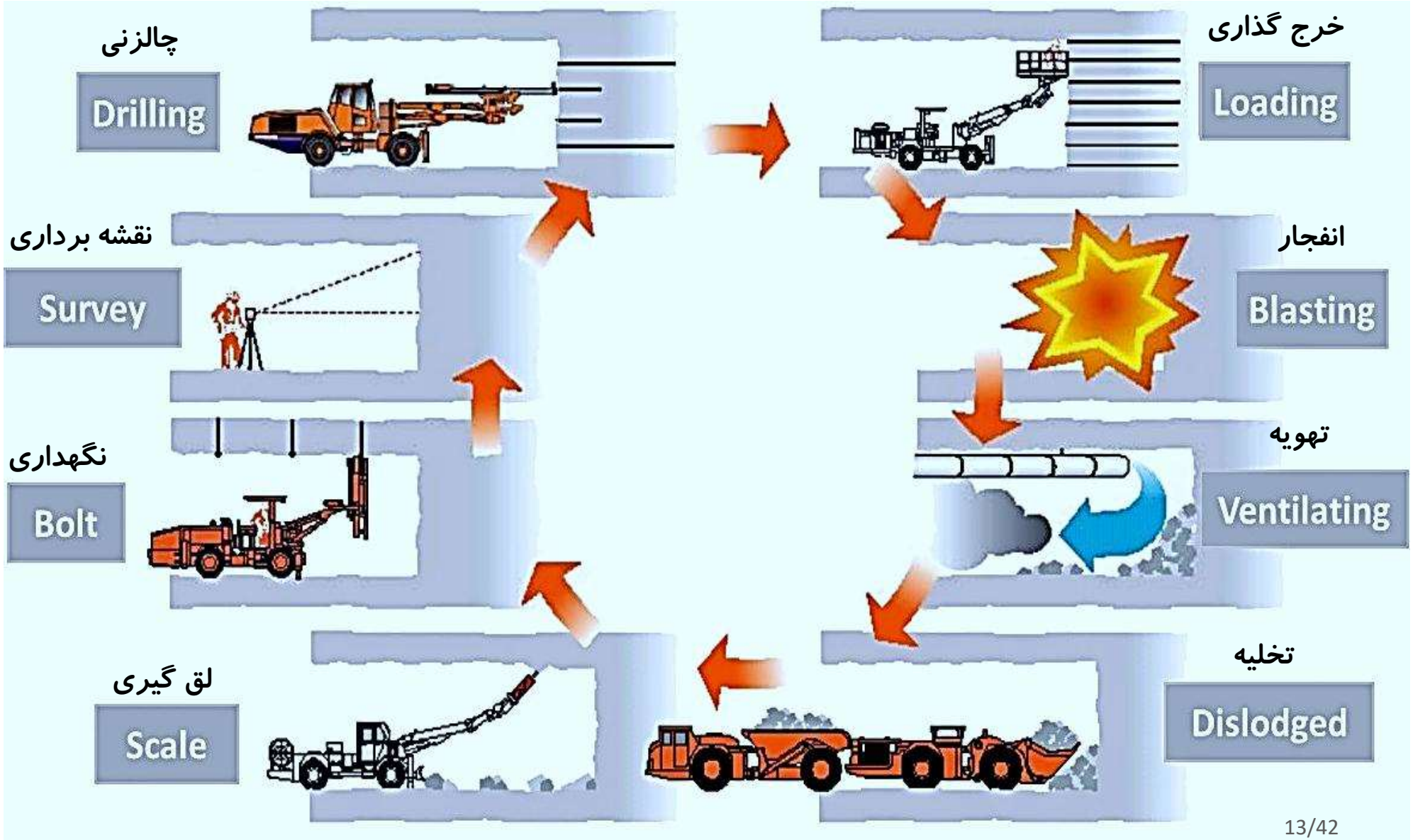
مقدمه

فیلم انیمیشن چالزنی و آتشباری

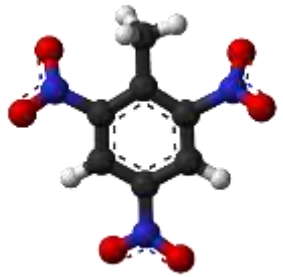
چالزنی

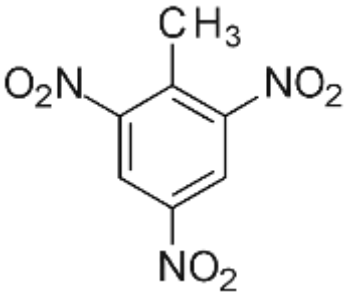
Jumbo Drill

چالزنی و آتشباری (Drill and Blast)

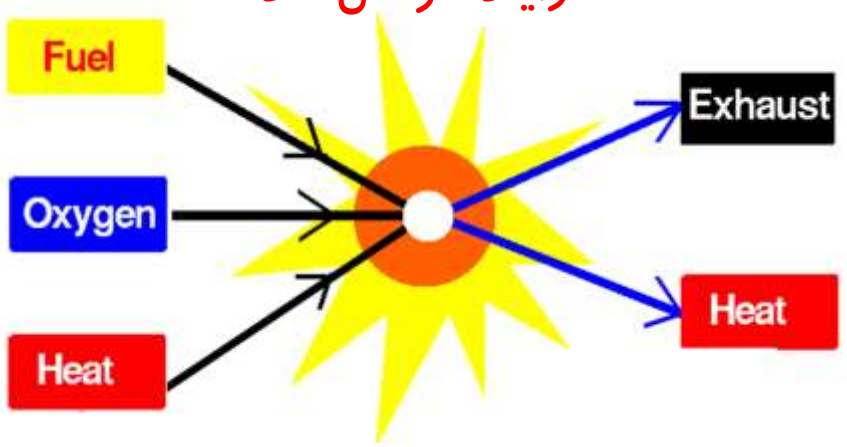


چرا مواد ناریه منفجر می شوند؟





فرایند سوختن کند

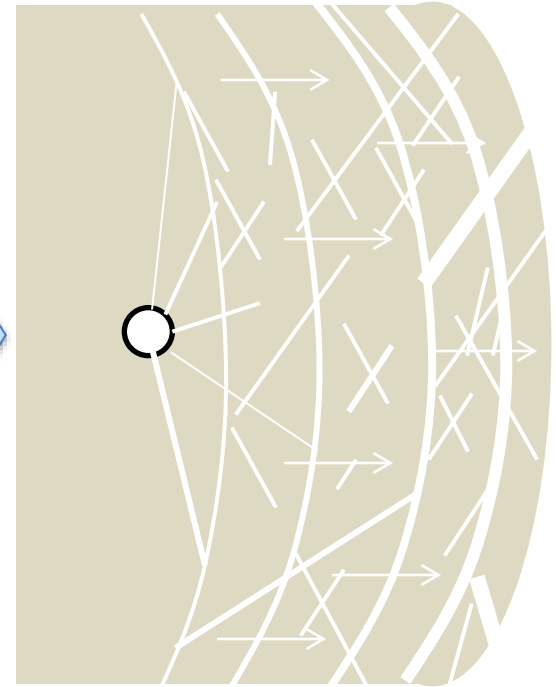


فرایند انفجار یا سوختن سریع

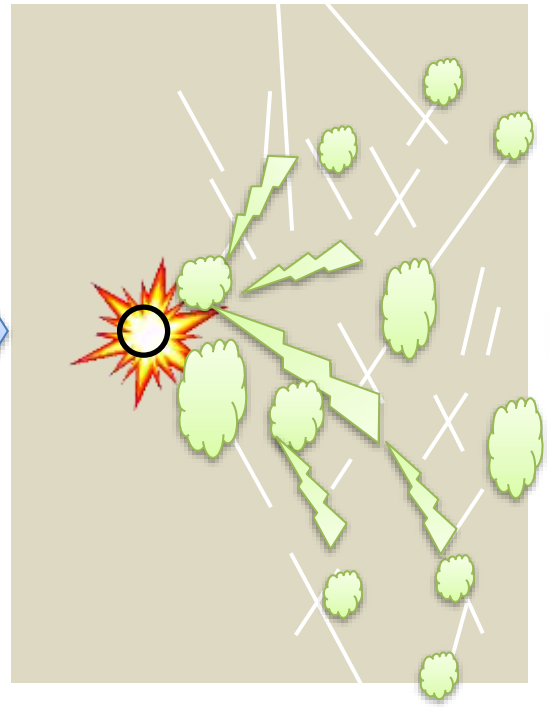
$$C_6H_2(NO_2)_3CH_3 \rightarrow 6CO + 2.5H_2 + 1.5N_2 + C$$

چگونه انفجار موجب خردایش سنگ می شود؟

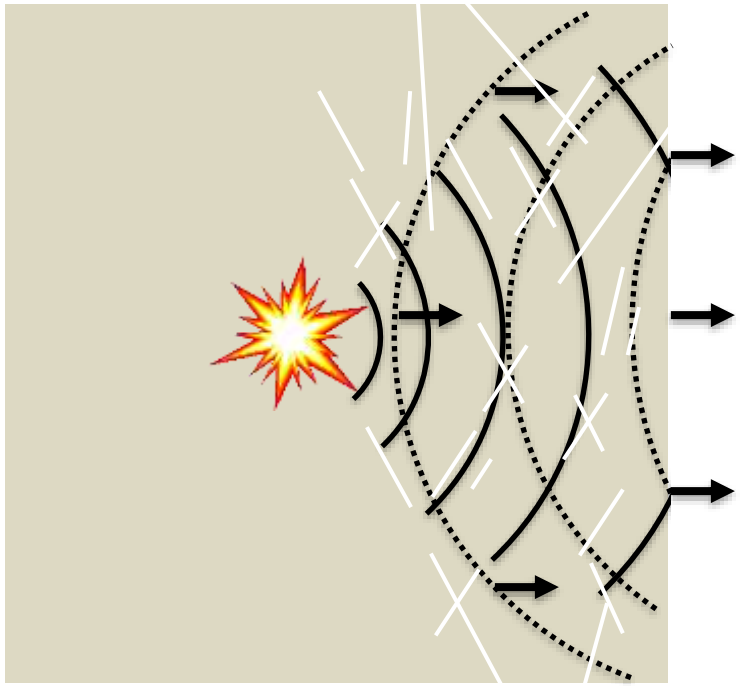
خردایش و جابجایی توده سنگ

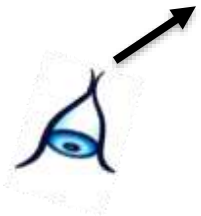


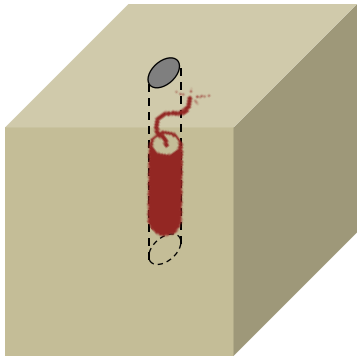
انتشار گازهای حاصل از انفجار



انتشار و انعکاس امواج







سازوکار و محاسبات آتشباری

برای اینکه عملیات حفر تونل اقتصادی بوده و با راندمان مناسب انجام شود، لازم است که تعداد چال، مشخصات چالها و میزان خرج گذاری تعیین شود.

خرج ویژه (Specific Charge): وزن مادۀ منفجرۀ لازم برای حفر یک مترمکعب از سنگ را خرج ویژه می نامند. مقدار خرج ویژه به سه عامل اصلی نوع مادۀ منفجره، مقاومت توده سنگ و سطح مقطع تونل بستگی دارد.

روابط پروتودیاکنوف (Protodyaknov) و بوگومولوف (Bogomolov) از روش های مرسوم برای محاسبۀ خرج ویژه هستند (کتاب تونل سازی- جلد اول).

$$q = \sqrt{\frac{f}{s}}$$

ضریب مقاومت سنگ

سطح مقطع تونل

سازوکار و محاسبات آتشباری

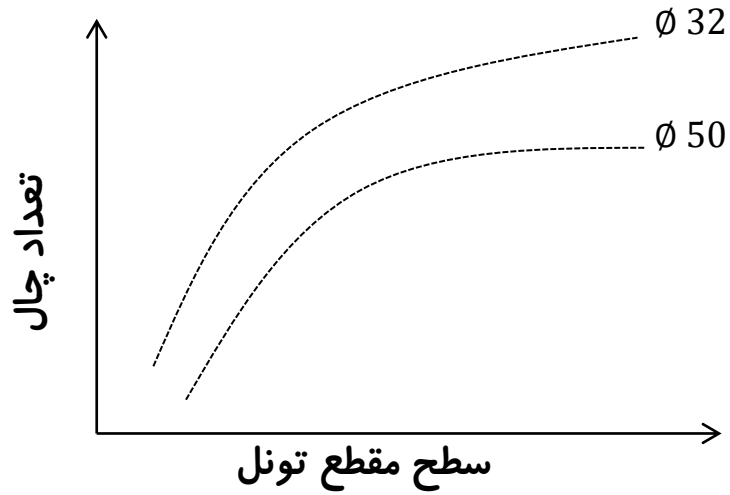
تعیین تعداد چال لازم در جبهه کار:

تعداد چال مورد نیاز تابع عوامل متعددی از قبیل مقاومت توده سنگ، سطح مقطع تونل، قدرت مادهٔ منفجره، میزان تراکم خرجگذاری، قطر چال، دقت آتشباری و ...

هرچقدر سطح مقطع بزرگتر باشد تعداد چال در واحد سطح کمتری مورد نیاز است.

تعیین یک رابطهٔ واحد کار دشواری است و عموماً از نمودارهای تجربی استفاده می شود.

$$N = 2.86\sqrt{\frac{f}{s}}$$



سازوکار و محاسبات آتشباری

تعیین عمق چال:

عمق چال از مهمترین عوامل تعیین کنندۀ پیشروی است و در راندمان حفاری بسیار موثر است به طوری که بسیاری از پارامترهای طراحی آتشباری بر اساس عمق چال تعیین می شوند.

عمق چال تابع مقاومت سنگ، قابلیت دستگاه چال زنی، قابلیت پایداری دیواره ها و ...

میزان پیشروی همواره کمتر از عمق چال خواهد بود، بنابراین میزان عمق چال بایستی باتوجه به پیشروی مورد نیاز و ضریب بهره وری چال و سایر عوامل به صورت تجربی تعیین شود

سازوکار و محاسبات آتشباری

تعیین قطر چال:

قطر چال علاوه بر مقاومت توده سنگ و توانایی ماشین چال زنی مستقیماً تابع نوع مادهٔ منفجره است (استاندارد کشورها یا قابلیت انفجار مادهٔ منفجره).

دینامیت های ایران دارای قطر ۲۲ میلیمتر هستند پس چال حداقل باید ۲۵ میلیمتر باشد.

دینامیت های مخصوص معدن ذغال قطر بیشتری دارند.

روش های آتشباری تونل

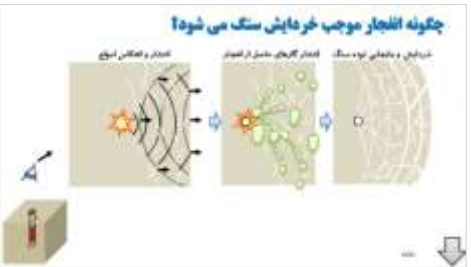
در تونل های کوچک مقطع عموماً از روش حفاری تک مرحله ای و چال های برش استفاده می شود.

برش (Cut):

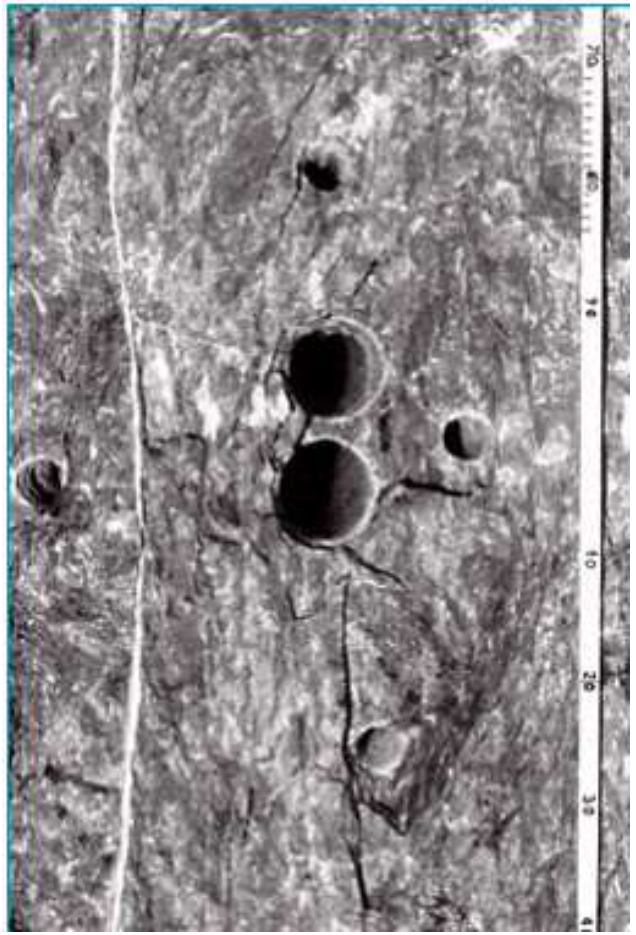
چالهایی نزدیک به هم و با زوایای مخصوص که در ابتدا منفجر می شوند و یک سطح آزاد برای سایر چالها فراهم می سازند.

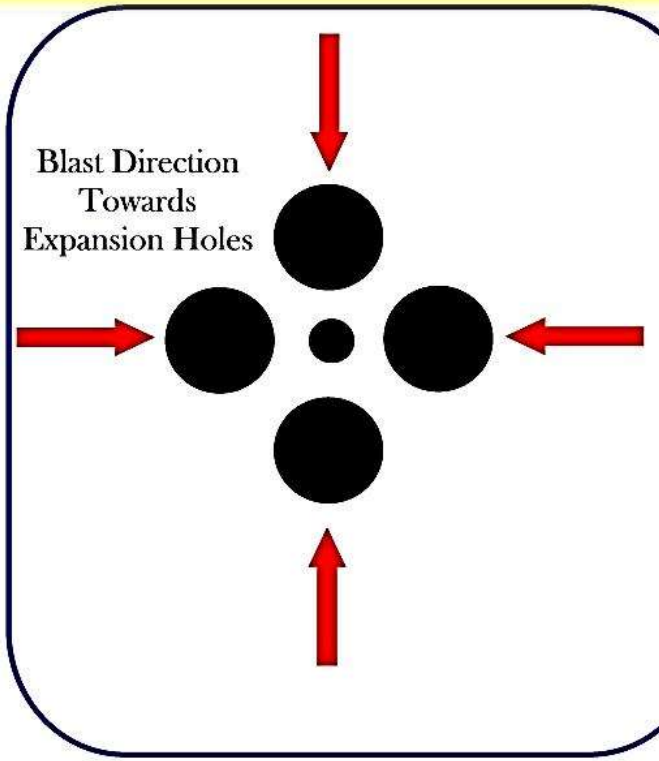
نوع چالهای برش و مشخصات آنها با توجه به خصوصیات توده سنگ، ماده منفجره و تونل انتخاب می شوند.

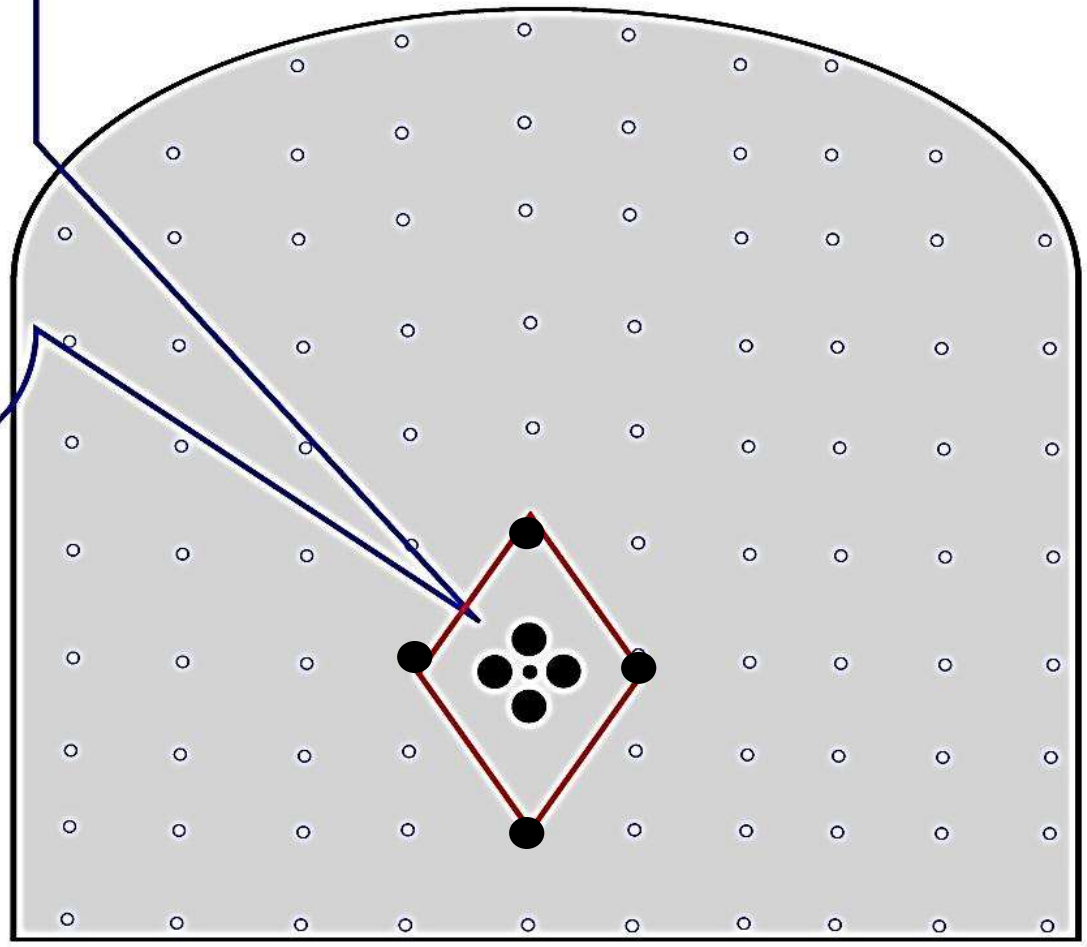
بار سنگ (Burden): پس از انفجار چال برش، فاصلهٔ ردیف چال بعدی تا سطح آزاد ایجاد شده را بار سنگ گویند.



روش های آتشباری تونل



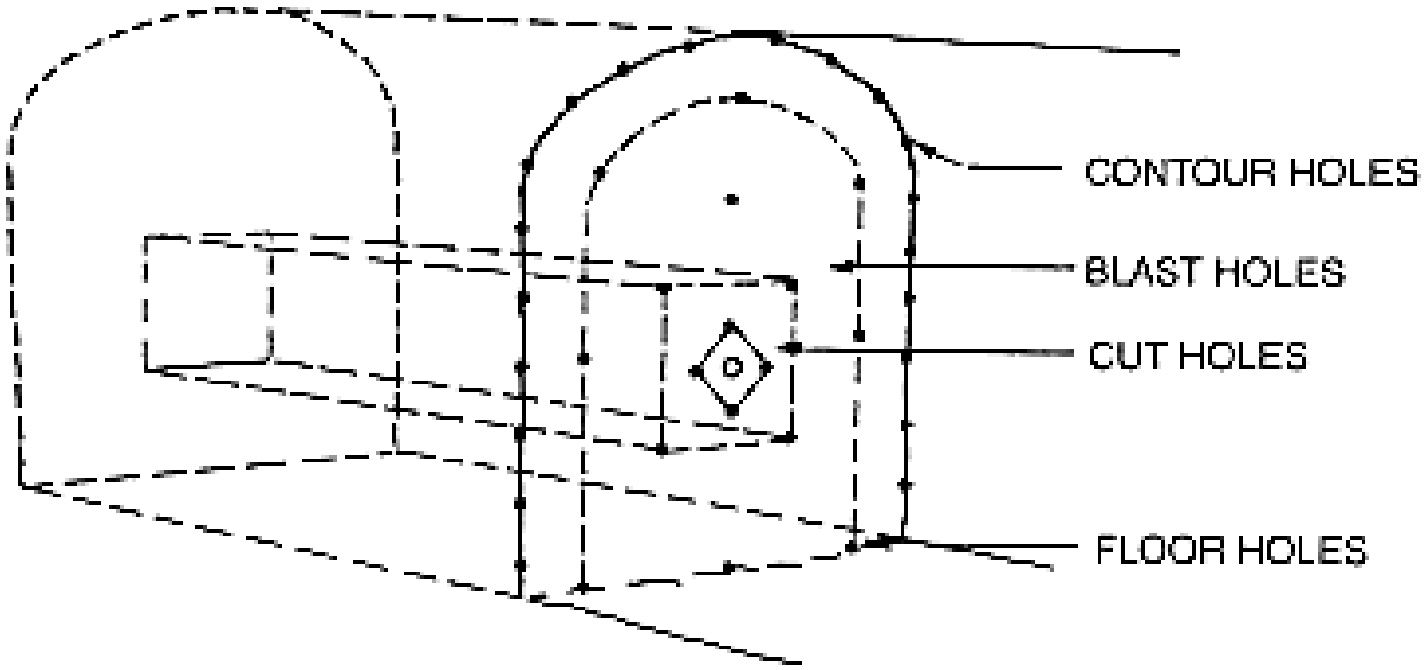


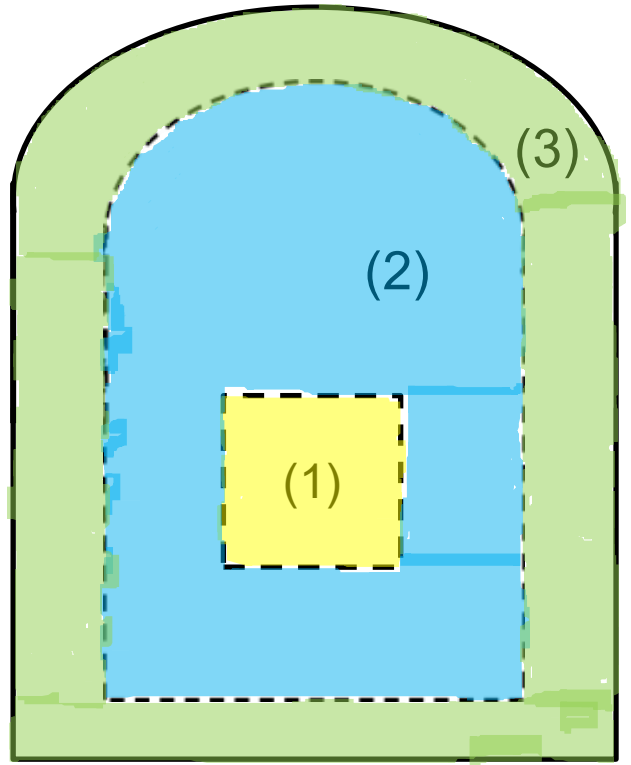


بخش های مختلف سینه کار آتشباری

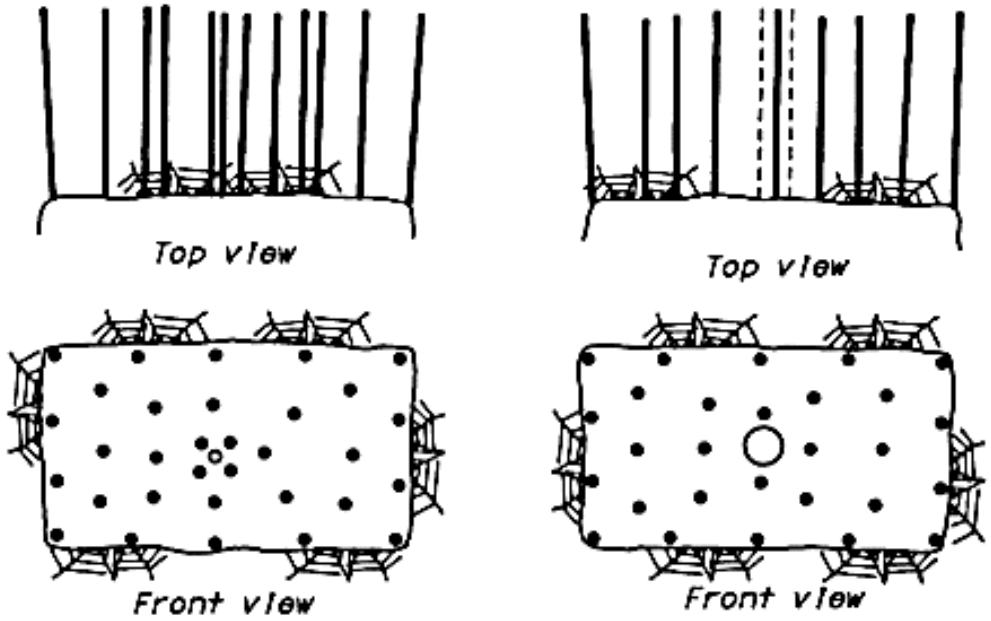
در روش های آتشباری زیرزمینی سینه کار به سه بخش تقسیم می شود:

۱) بخش برش ۲) بخش پیشروی ۳) بخش محیط





انواع برش در آتشباری تونل



1) برش های موازی

a) برش سیلندری

b) برش سوخته

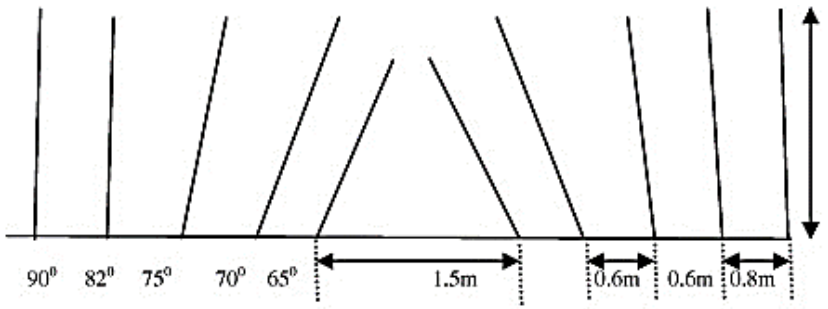
c)برش حفره ای

1) برش های زاویه ای

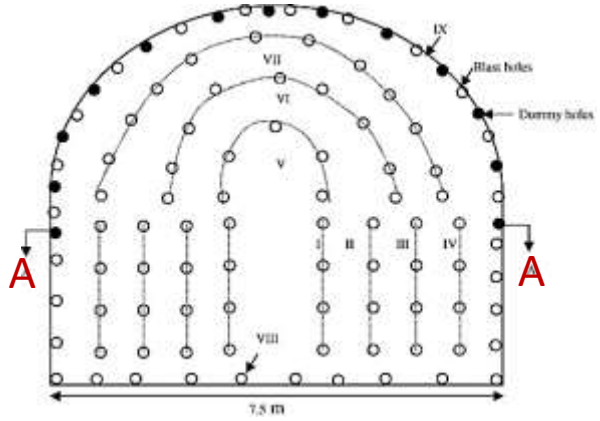
a) برش گوه ای

b) برش فوری هرمی

c) برش بادبزنی



Section A-A



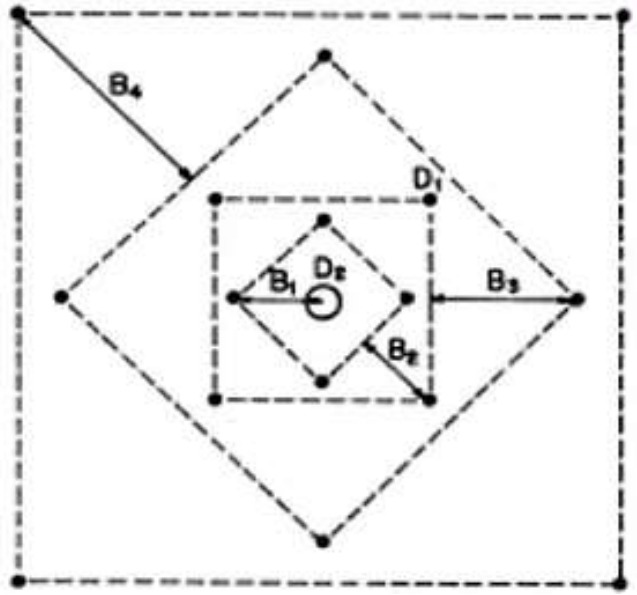
انواع برش در آتشباری تونل

1) برش های موازی

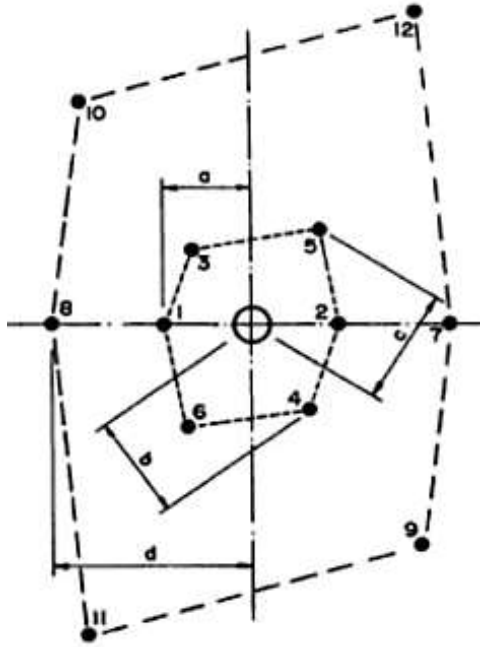
a) برش **سیلندری** (Cylinder cut):

پرکاربرد، دارای یک یا چند چال خالی با قطر بزرگتر از چال انفجاری در مرکز، بار سنگ به مرور بیشتر می شود.

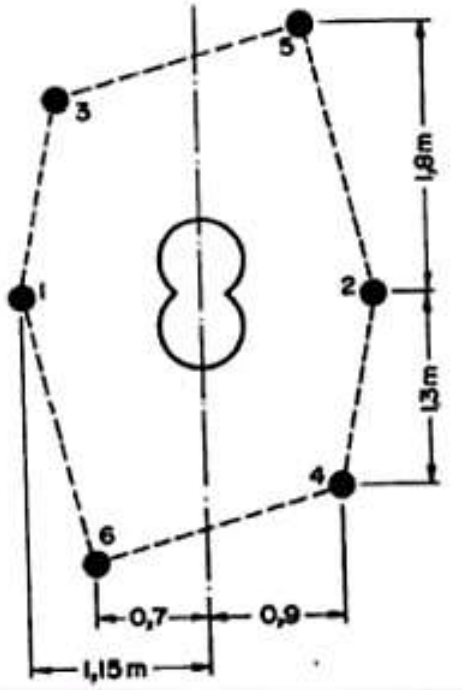
چهار مقطع



مارپیچی



کرومانت

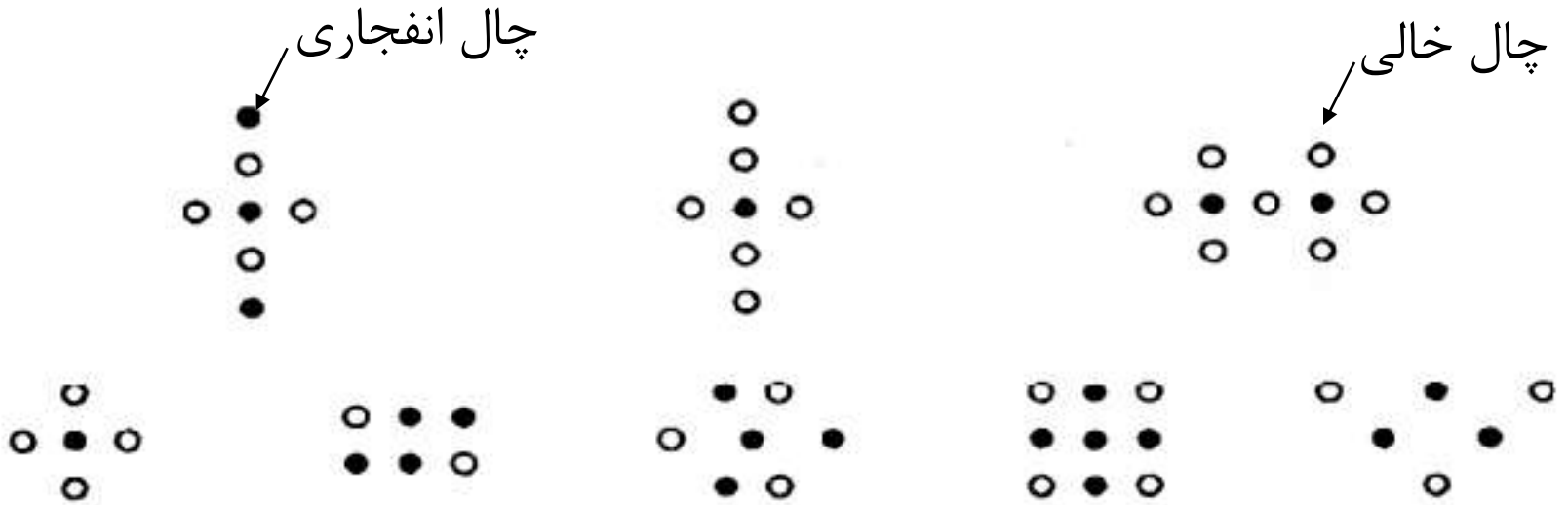


انواع برش در آتشباری تونل

1) **برش های موازی**

a) **برش سوخته** (Burn cut):

قطر چال خالی و انفجاری برابر است، حفر چندین چال خالی، فواصل چال های خالی و انفجاری برابر است.

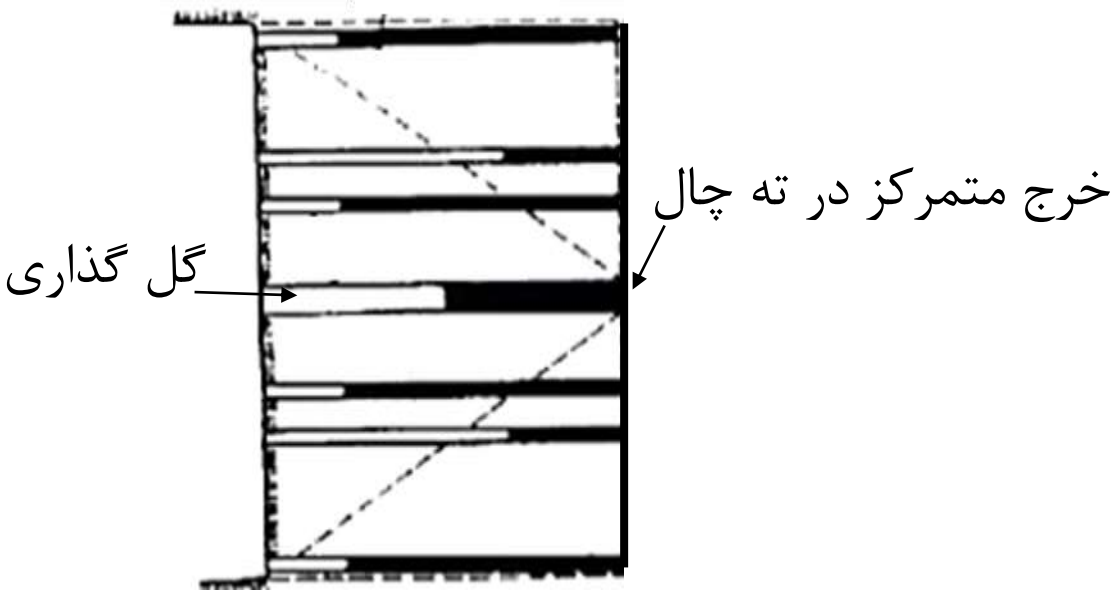


انواع برش در آتشباری تونل

1) برش های موازی

a) برش حفره ای:

چال خالی وجود ندارد، در یک چال بزرگتر در مرکز خرج فشرده در ته چال گذاشته شده و گل گذاری می شود، پس از انفجار چال مرکزی یک حفره ایجاد می شود که سطح آزاد چال های انفجاری بعدی را تامین می کند، در این روش پیشروی کم، لرزش زمین و پرتاب سنگ زیاد.

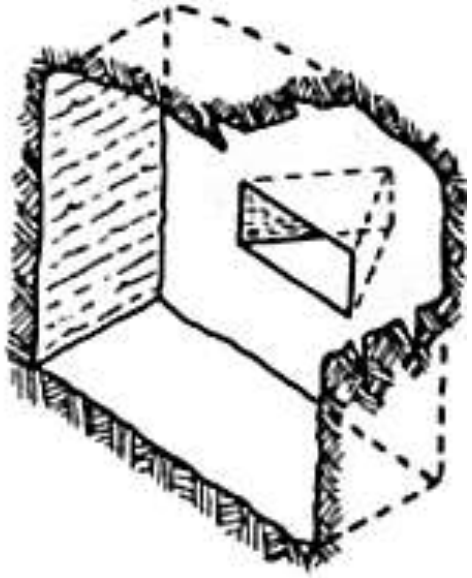


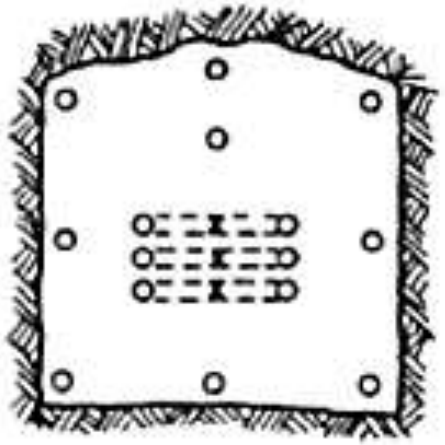
انواع برش در آتشباری تونل

1) برش های زاویه ای

a) برش **گوه ای** (Wedge cut):

چال زنی دشوار است، برش گوه ای از سایر برش های زاویه ای پرکاربردتر است،
در برش های زاویه ای طول چال با عمق برش متفاوت است.





دید از روبرو

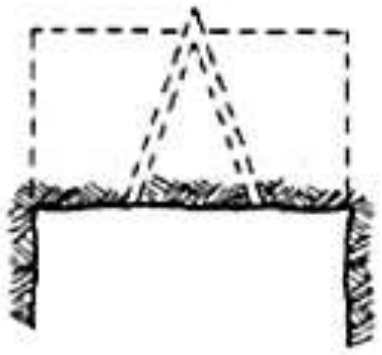
دید از بالا

انواع برش در آتشباری تونل

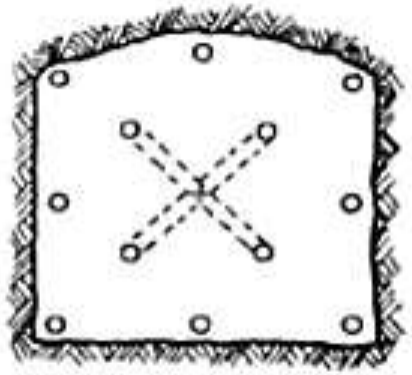
1) برش های زاویه ای

a) برش **فوری هرمی:**

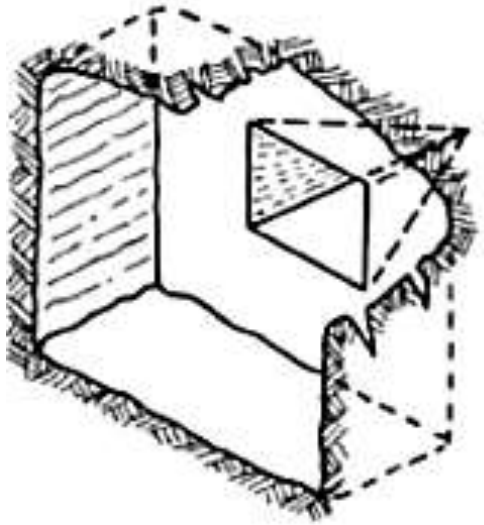
انتهای چال های برش به یک نقطه ختم می شود، چال ها همگی همزمان منفجر می شوند،
اغلب در سنگ های خیلی مقاوم کاربرد دارد، پرتاب سنگ و لرزش زیاد است.



دید از بالا



دید از روبرو



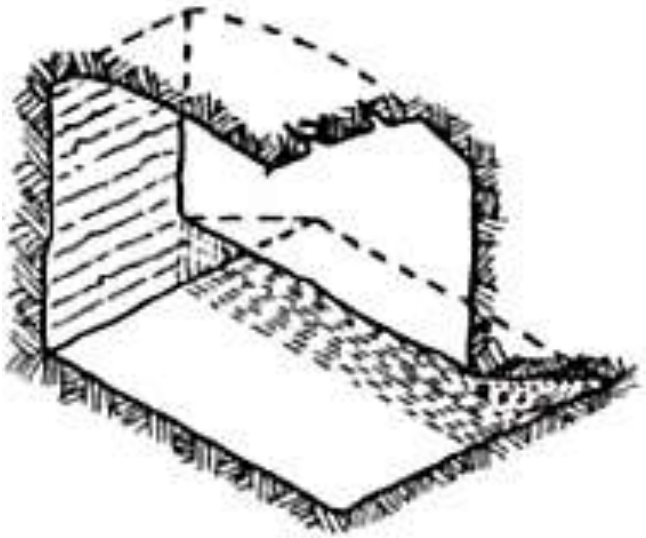
انواع برش در آتشباری تونل

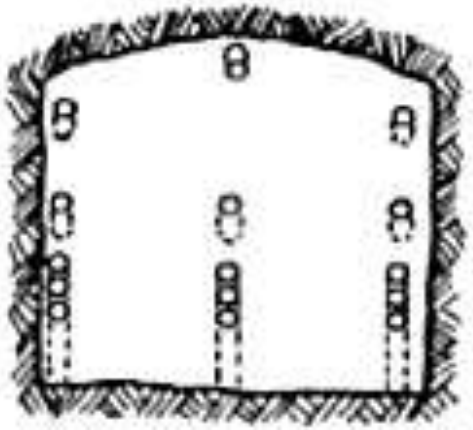
1) برش های زاویه ای

a) برش بادبزنی:

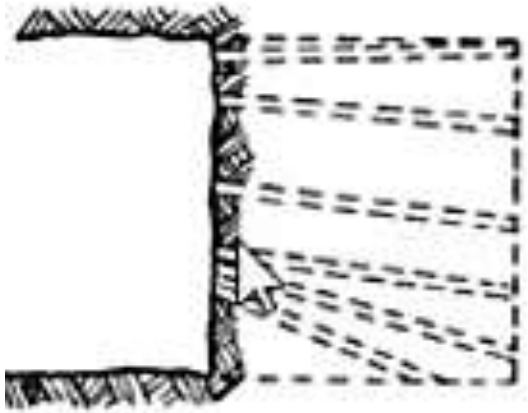
کاربرد چندانی ندارد زیرا چالزنی این روش پیچیده و دشوار است،

اول چالهای با بیشترین زاویه منفجر می شوند تا سطح آزاد برای انفجار چال های بعدی فراهم شود



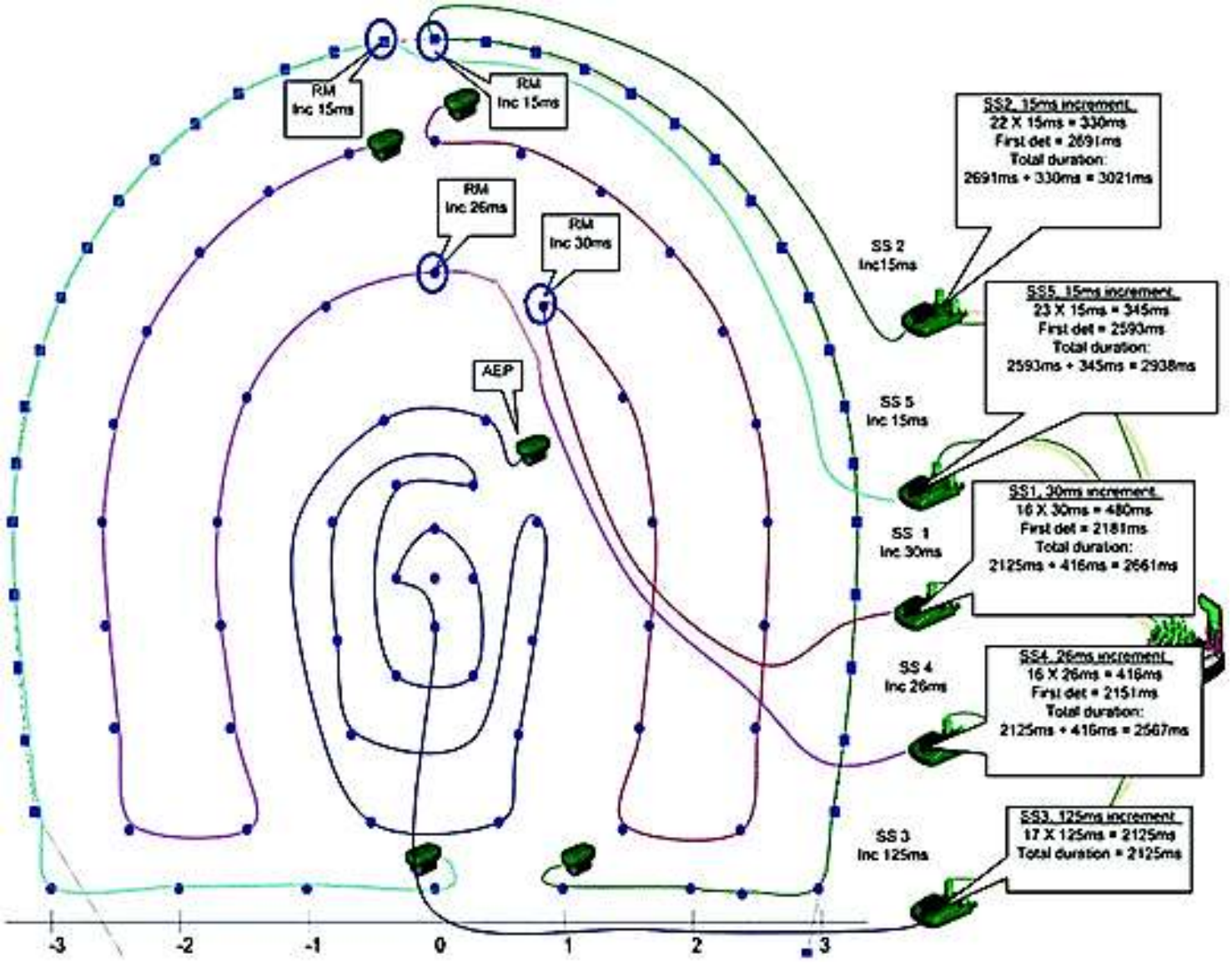


دید از روبرو



دید از جانب

طراحی الگو یا پترن آتشباری تونل



برای اینکه عملیات حفر تونل اقتصادی بوده و با راندمان مناسب انجام شود، لازم است که الگوی آتشباری طراحی شود.

منظور از **طراحی الگوی آتشباری**، تعیین نوع برش، تعداد چال، طول چال ها، قطر چال ها، زاویهٔ چال ها، فاصلهٔ چال ها، فواصل تاخیر انفجار، بار سنگ، نوع مادهٔ منفجره، خرج ویژه (یا فاکتور پودر) و انتخاب روش اجرای محاسبات آتشباری (تئوری یا تجربی)، تماماً بر اساس خصوصیات مکانیکی و ساختاری توده سنگ است.

روش های طراحی الگوی آتشباری تونل

انتقال انرژی

برش موازی و برش زاویه ای

↓

بر مبنای محاسبات تئوری استوار است،
تعداد پارامترهای ورودی متعددی دارد،
روش تئوری در سنگ قابل اعتماد نیست

سوئدی (نیترو نوبل)

برش موازی و برش زاویه ای

↓

بر مبنای محاسبات تجربی استوار است،
سینه کار به بخش های متعدد تقسیم می شود،

↓

- لوپز
- اولافسون
- کونیا
- هلمبرگ & پرسون
- گوستافسون

نروژی (NTNU)

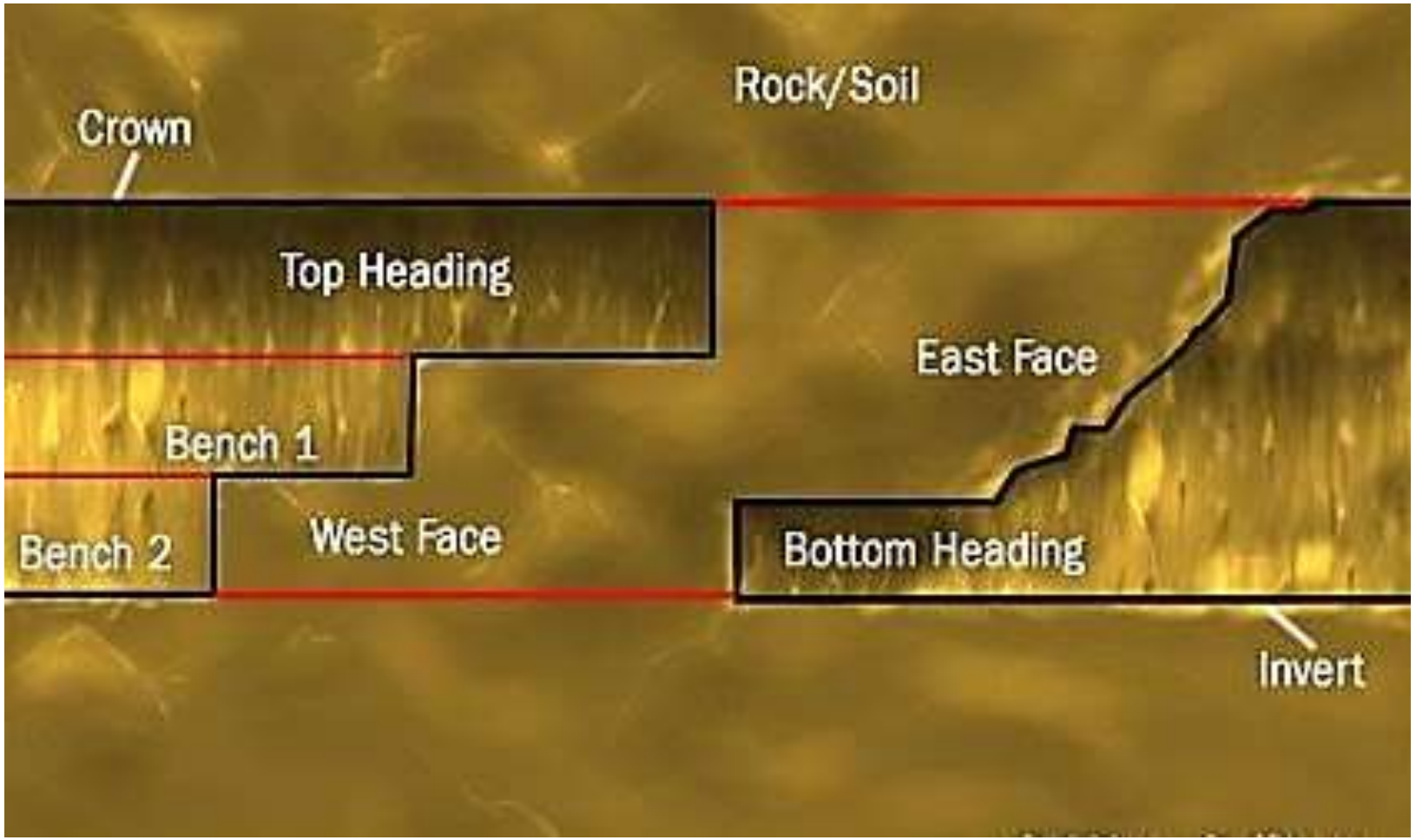
فقط برای برش موازی

↓

این روش نیز بر مبنای محاسبات تجربی است،
سینه کار به بخش های مختلف تقسم می شود،
به قابلیت انفجار پذیری توده سنگ توجه شده است،

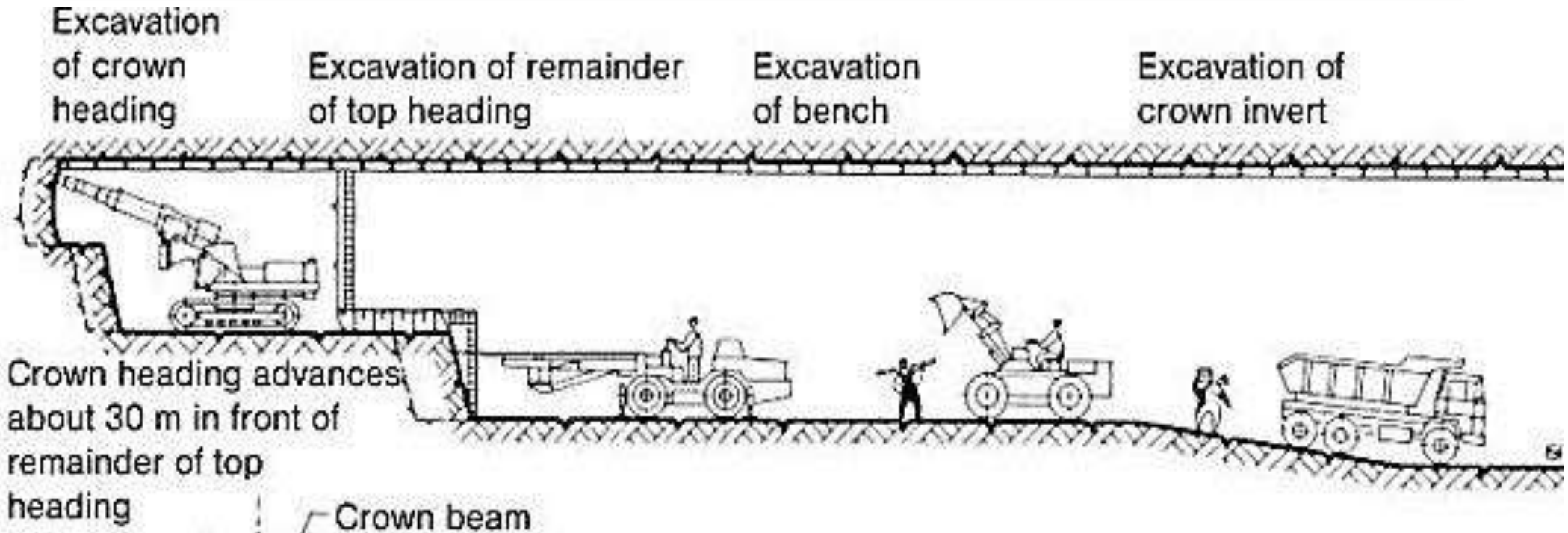
فیلم سیستم انفجاری نانل

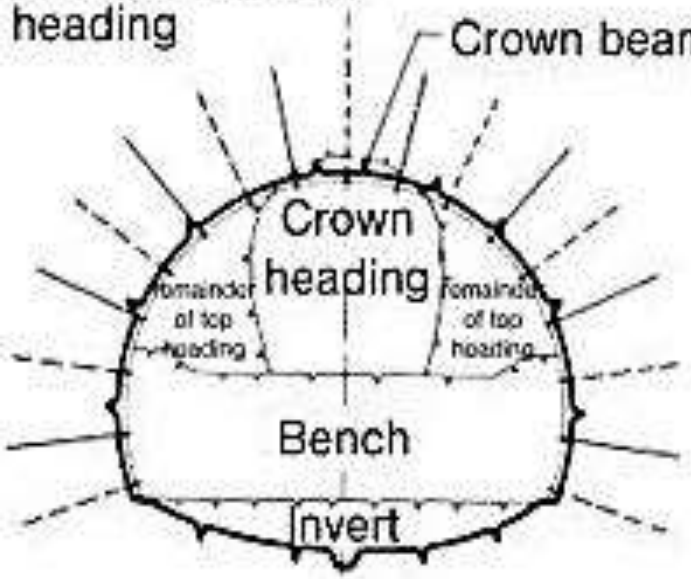
آتشباری تونل بزرگ مقطع



حفر تونل در دو مرحله کمک می کند تا یک سطح آزاد ایجاد شده و راندمان حفاری مرحلهٔ دوم افزایش می یابد. نگهداری تونل های بزرگ مقطع در حفاری چند مرحله ای ساده تر است.

آتشباری تونل بزرگ مقطع





به عنوان یک قاعدهٔ کلی هر چقدر تعداد مراحل حفر بیشتر شود مصرف مواد منفجره بیشتر می شود.

سایر الزامات آتشباری تونل

گل گذاری چال (Stemming):

بعد از خرج گذاری بایستی دهانهٔ چال را مسدود کرد تا گازهای حاصله از انفجار مواد ناریه نتوانند از چال خارج شوند و انرژی آنها صرف متلاشی کردن سنگها شود. برای گل گذاری از استوانه های ساخته شده از مخلوط ماسهٔ ریز و رس مرطوب استفاده می شود. طول گل گذاری نیز بایستی با دقت تعیین شود.

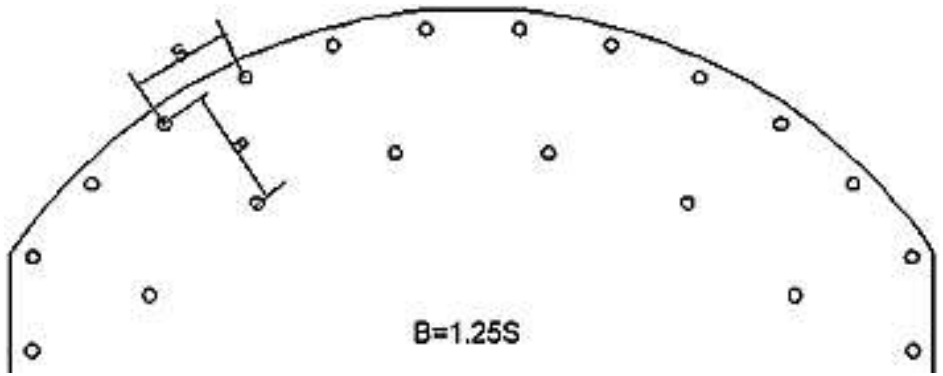
انفجار آنی یا دارای تاخیر:

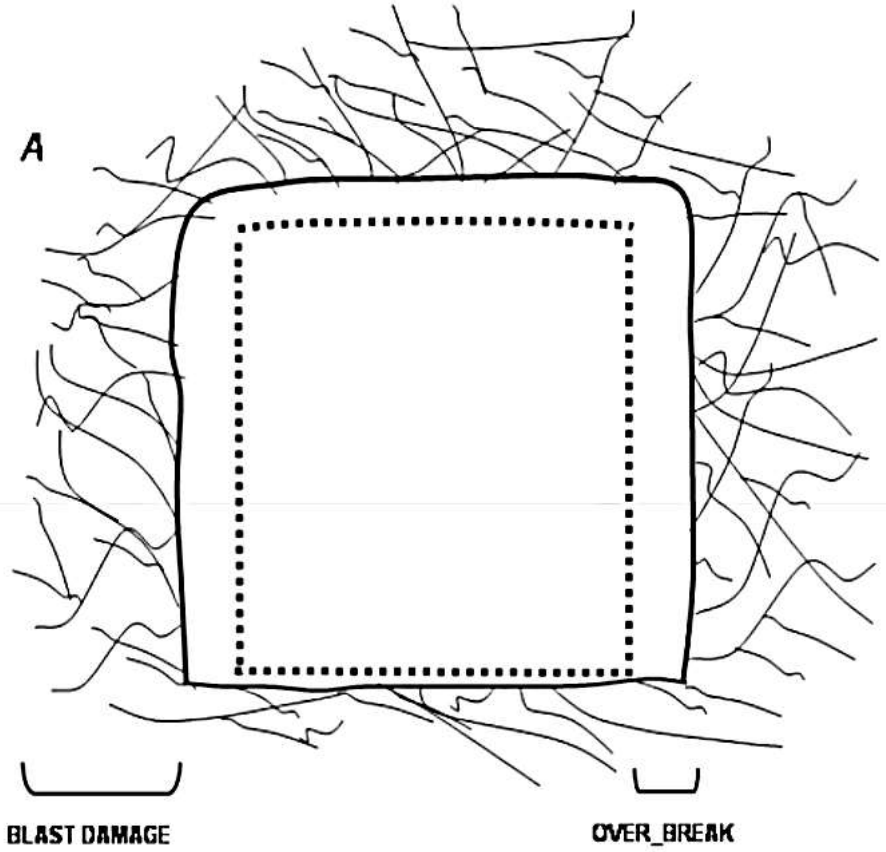
انفجار تاخیری به ایجاد سطح آزاد و جابجایی مناسب مواد حفاری بسیار کمک می کند.

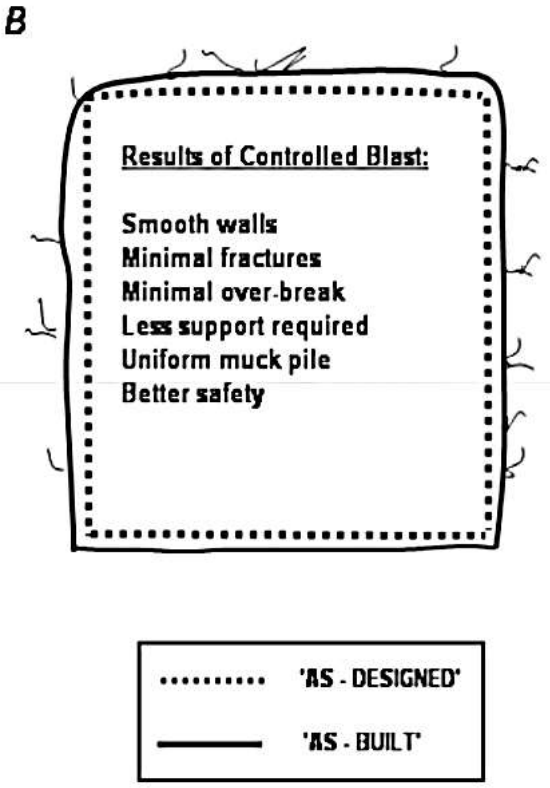
Bremanger Quarry AS

سایر الزامات آتشباری تونل

انفجار نرم (Smooth Blasting): جلوگیری از عقب زدگی توده سنگ

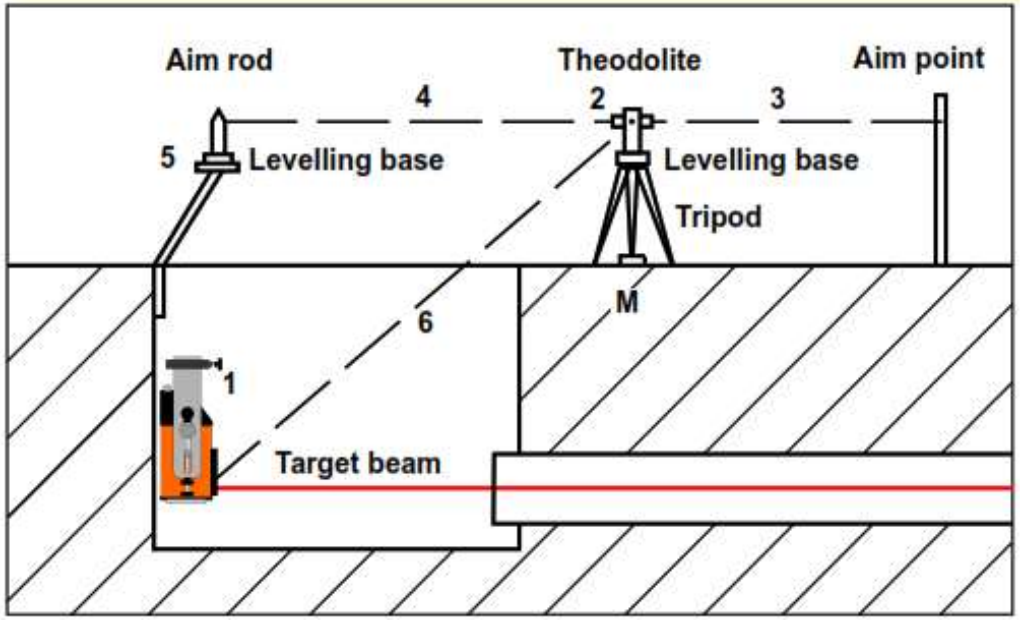


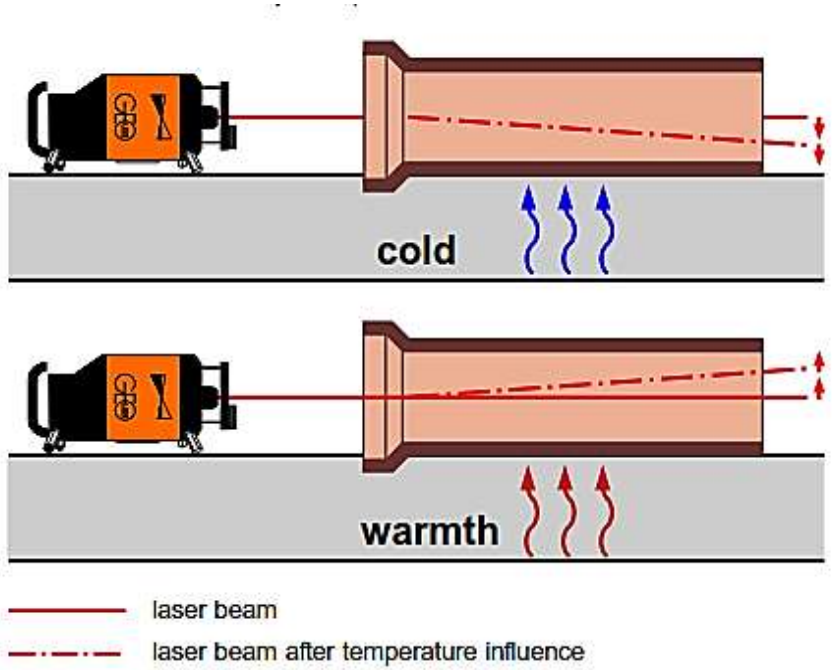




کنترل امتداد تونل

کنترل شیب و امتداد مسیر با لیزر:





خسته
نباشید