

اصول مهندسی تونل

جلسه سوم

ایده های کلی طراحی تونل

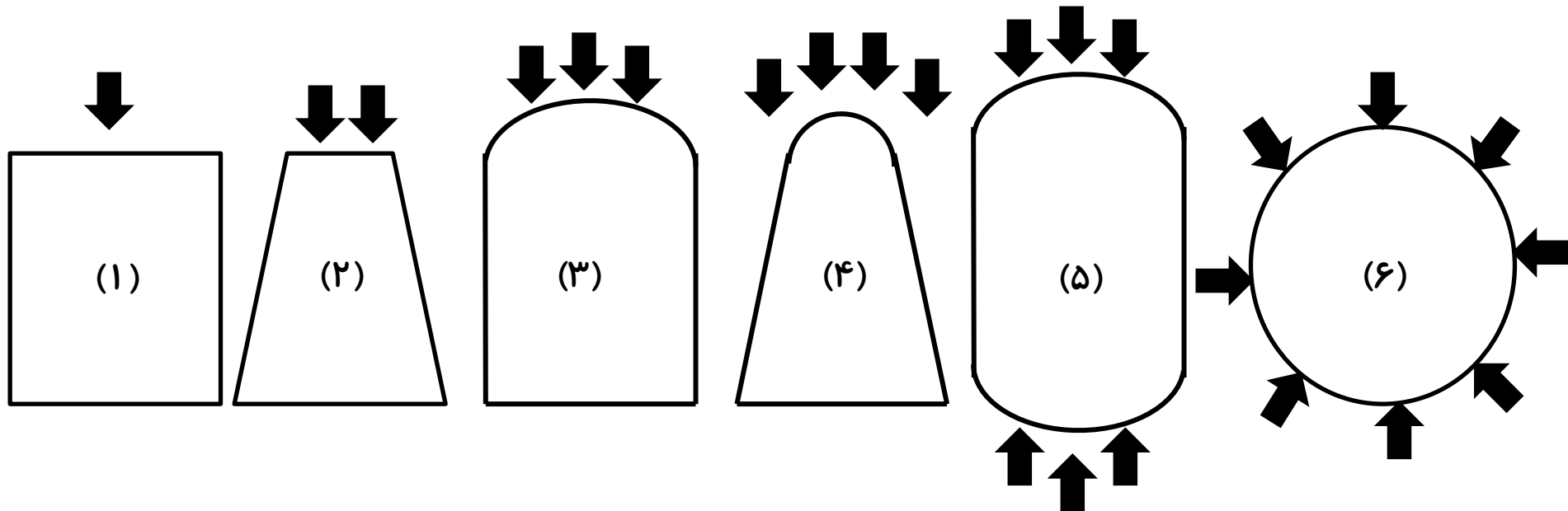
Principles of Tunnel Engineering

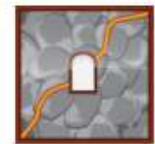
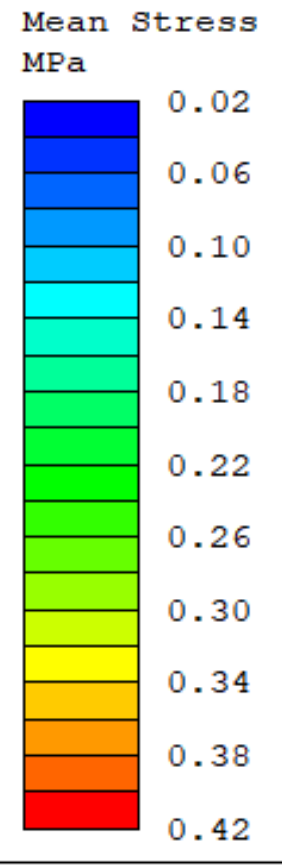
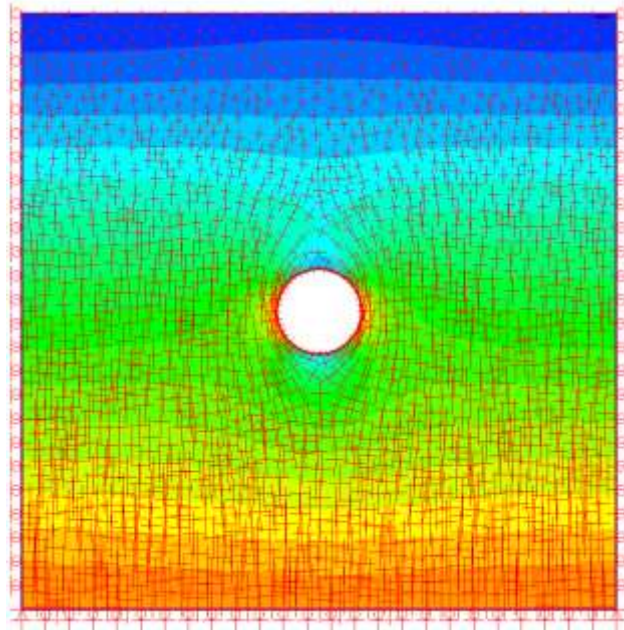
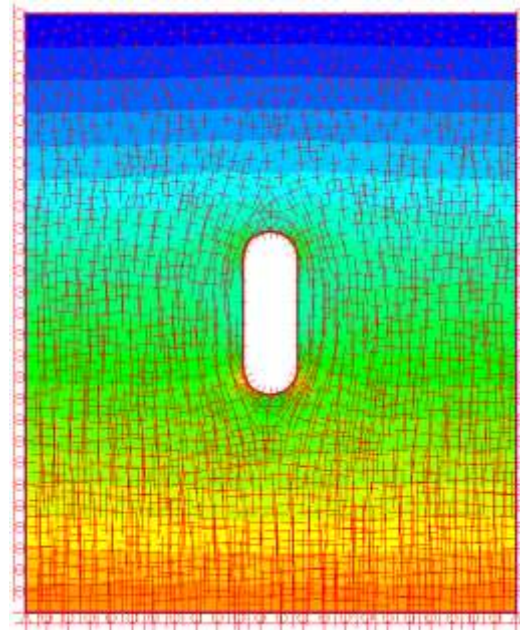
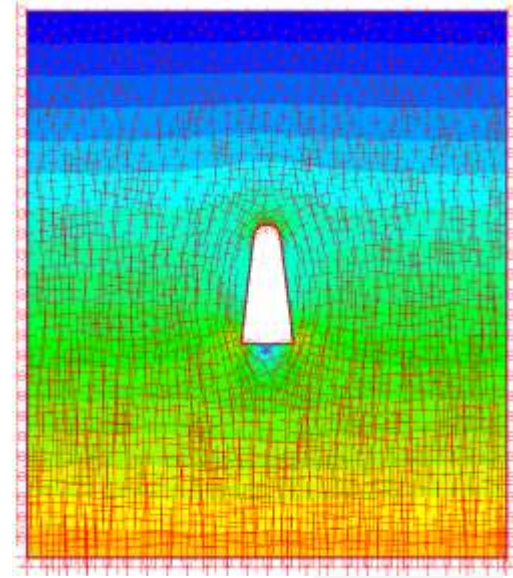
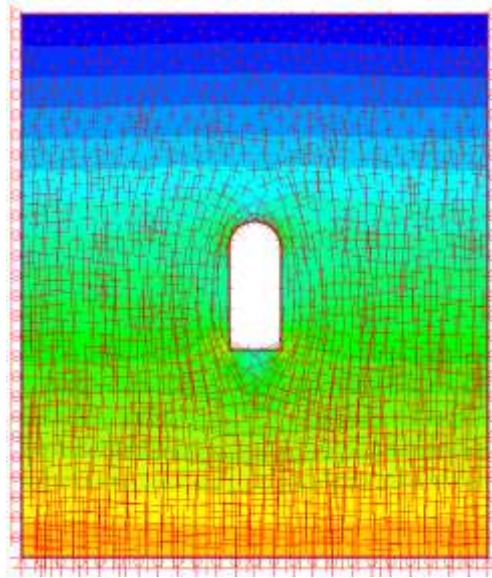
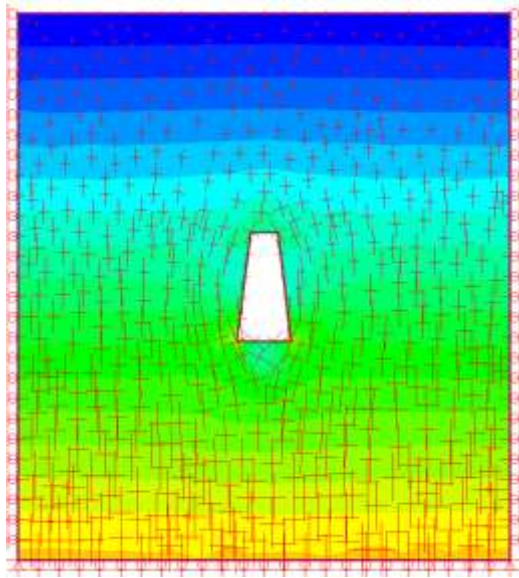
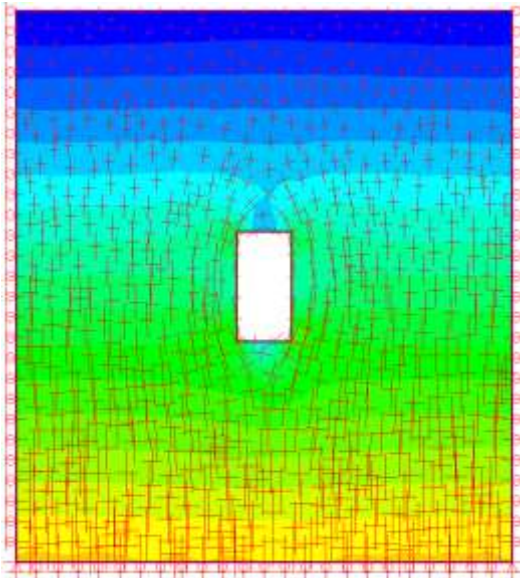
شکل و ابعاد مقطع تونل

شکل و ابعاد مقطع تونل به ترتیب تابع هدف احداث تونل، روش حفر تونل و روش نگهداری دائمی تونل است.

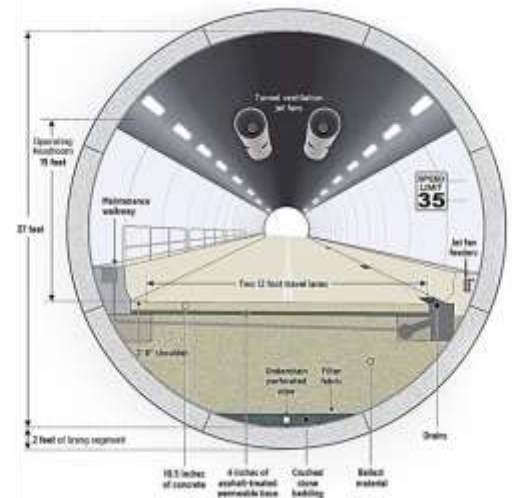
در مواردی که استفاده از شکل و مقاطع مختلف امکان پذیر باشد، می بایست بهینه ترین شکل و ابعاد را از نظر اقتصادی و پایداری انتخاب کرد.

شکل زیر ارتباط بین شکل مقطع و تنش های وارده بر تونل را شرح می دهد:

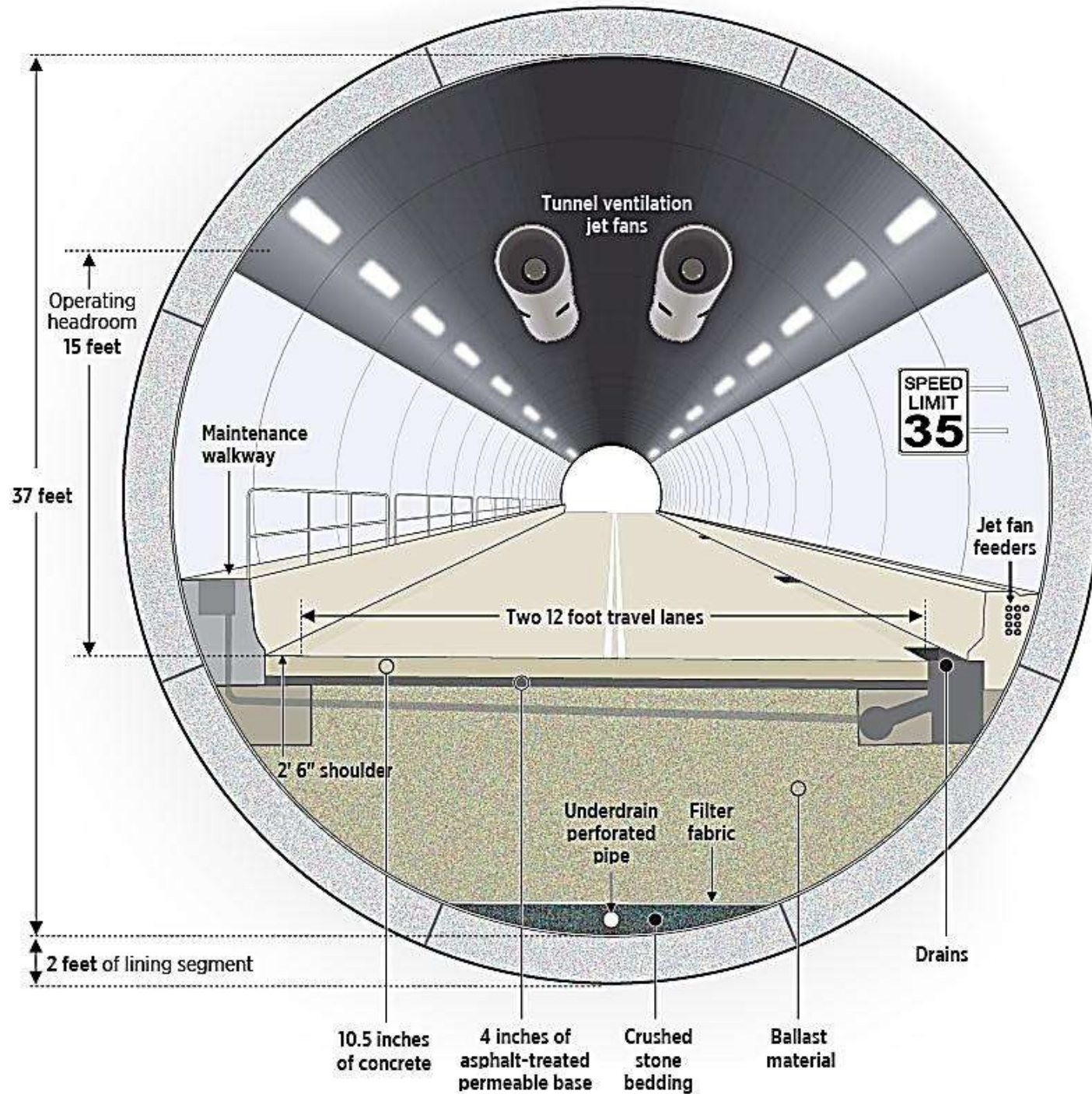




Phase2







شکل و ابعاد مقطع - تونل های معدنی

شکل تونل های دسترسی به ماده معدنی عموماً ذوزنقه متساوی الساقین بوده که با قاعده کوچک (سقف) به طول ۲ متر، قاعده بزرگ (کف) به طول ۲/۵ متر و ارتفاع ۲/۲ متر ساخته می شود.

اگر تونل به منظور بهره برداری و حمل باشد، بایستی دو خط ریل آهن (به عرض ۰/۶ متر) در آن اجرا شود، پس حداقل عرض آن ۳ متر و ارتفاع ۲/۲ متر در نظر گرفته می شود.

تونل های اصلی گشایش معدن عمدتاً به شکل نعل اسبی ساخته می شوند تا به کمک قاب های فولادی یا قوس های بتنی استاندارد قابل نگهداری باشند. به طوری که سطح مقطع مفید تونل پس از نصب نگهداری می بایست ۱۲ مترمربع باشد.



شکل و ابعاد مقطع - تونل های راه

تونل های راه عموماً به شکل هلالی (D شکل) یا نعل اسبی هستند به طوری که در مقطع نعل اسبی شعاع قوس دیواره ها دو برابر شعاع قوس سقف است.

ابعاد تونل های راه مستقیماً به نوع کاربرد آنها بستگی دارد.

طبق استاندارد AASHO آمریکا حداقل عرض برای یک باند حرکت خودرو $3/65$ متر است بعلاوه $0/45$ متر جهت نصب تجهیزات و $0/9$ متر جهت پیاده رو. حداقل ارتفاع تونل های راه که کامیون هم عبور می کند پس از نصب نگهداری بایستی حداقل $4/87$ متر باشد.





شکل و ابعاد مقطع - تونل های راه آهن

برای تونل های راه آهن مقاطع دایره، چهار گوش، هلالی و نعل اسبی مرسوم هستند. در زمین های نامناسب، مقطع دایره از نظر حفاری و نگهداری مقرون به صرفه است. چنانچه بار جانبی کم بوده و عمده بار وارده از سقف باشد، مقطع چهار گوش با دیوارهای قائم و سقف قوسی (طاق) اقتصادی است.

طبق استاندارد AREA آمریکا حداقل عرض تمام شده تونل برای یک خط ریل ۴/۸۷ متر (۱۶ فوت) و حداقل ارتفاع تمام شد ۶/۷ متر (۲۲ فوت) است. همچنین به ازای هر درجه انحنای مسیر (پیچ)، ۲/۵۴ سانتی متر (۱") عرض تونل میبایست بیشتر شود. با اضافه شدن هر رشته ریل، عرض تونل باید ۲/۵ متر بزرگتر شود.



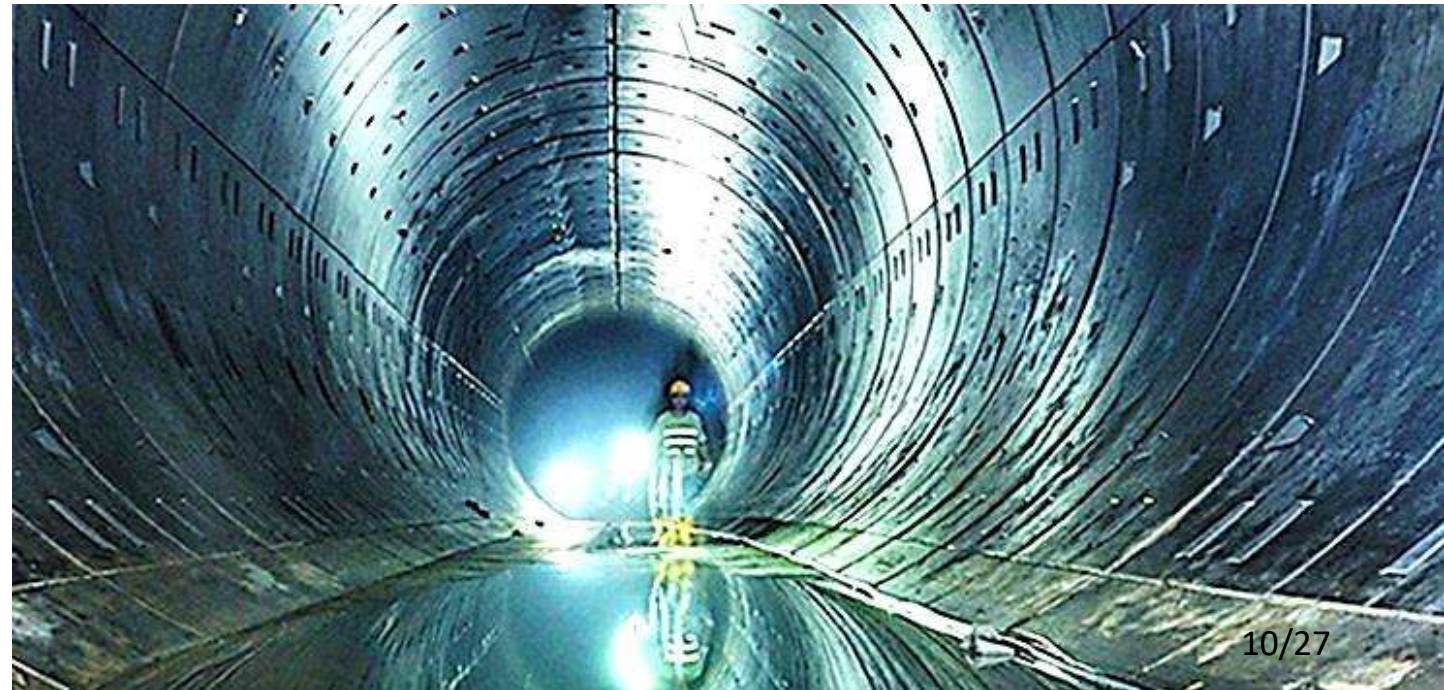
شکل و ابعاد مقطع

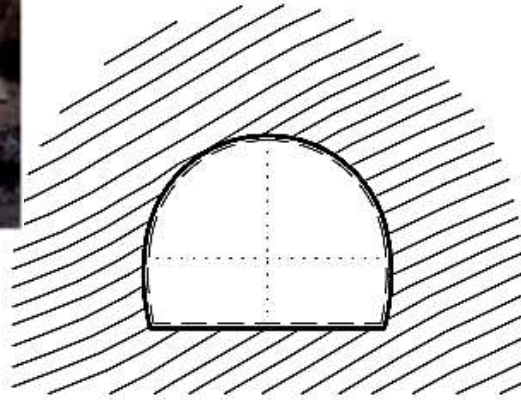
تونل های مترو و تونل های آبرسان

ابعاد و شکل تونل های مترو و تونل های آبرسان به یک سری عوامل فنی بستگی دارد. به عنوان مثال:

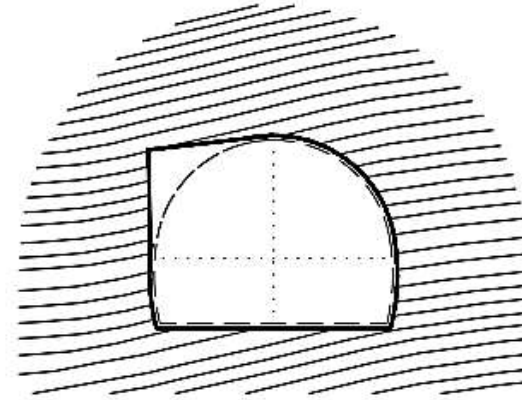
شکل و ابعاد مقطع تونل مترو تابع نوع قطار مترو، سرعت حرکت قطار، تنش های وارده از طرف زمین و خدمات فنی مورد نیاز حین بهره برداری است.

شکل و ابعاد مقطع تونل آب تابع ظرفیت مورد نیاز انتقال آب، فشار آب داخل تونل، سرعت حرکت آب، تجهیزات عبوری از تونل و تنش های وارده از طرف زمین است.

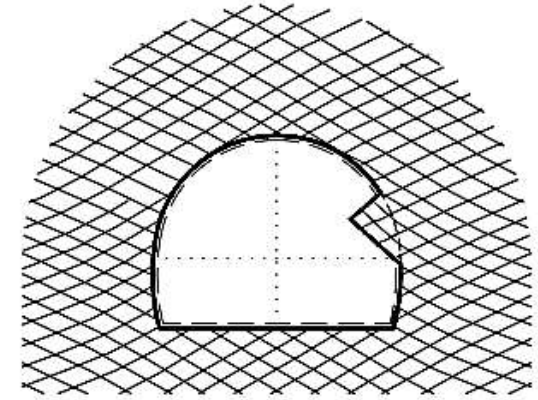




PERFECT PROFILE



PROFILE OVERBREAK



PROFILE UNDERBREAK



THEORETICAL PROFILE OF THE EXCAVATION



ACTUAL PROFILE OF THE EXCAVATION

امتداد تونل

تونل های اصلی معادن، چنانچه دلیل خاصی وجود نداشته باشد، عموماً مستقیم ساخته می شوند. اما تونل های دنبال لایه تابع امتداد حرکت لایه هستند.

تونل های راه حدالمقدور مستقیم حفر می شوند. چنانچه نیاز به ایجاد انحنا یا پیچ وجود داشته باشد، شعاع انحنا بایستی متناسب با فاصله دید توقف در نظر گرفته شود. چند مثال در جدول زیر آورده شده است:

سرعت (Km/H)	50	65	80	95	110
حداقل شعاع انحنا (m)	61	84	107	145	183

تونل های راه آهن و مترو نیز حدالمقدور مستقیم حفر می شوند. چنانچه الزام به ایجاد انحنا در مسیر وجود داشته باشد، شعاع انحنا تابع سرعت حرکت قطار، طول هر واگن و سایر قوانین ویژه کشورهاست.

شیب تونل

- شیب تونل های معدنی عموماً بین ۳ الی ۵ متر در هر هزار متر به سمت خروجی در نظر گرفته می شود. این شیب هم به خروج آبهای زیر زمینی کمک کرده و هم حرکت واگن های پر در تونل آسان تر می شود.
- شیب تونل های راه یک طرفه در سر بالایی بین ۳ تا ۵ متر در هر صد متر (1.8° - 2.8°) در نظر گرفته می شود.
 - در تونل های دو طرفه طویل حداکثر شیب مجاز ۳ درصد است.
 - در تونل های یک طرفه سرازیری شیب بیشتر از ۵ درصد هم مجاز است (تاشیب استاندارد راه).
- در تونل های راه آهن توصیه شده است که شیب چه در سرازیری و چه در سر بالایی محدود به ۱ درصد باشد. چنانچه نیاز به شیب بیشتر وجود داشته باشد، مقدار شیب نباید از ۷۵٪ شیب لغزشی خط تجاوز کند و این محدودیت بایستی در ۳۰۰ متر قبل از تونل و ۱۰۰۰ متر بعد از تونل حفظ شود.
- در تونل های مترو حداکثر شیب مجاز در طول مسیر ۳ درصد و در ایستگاه ۱ درصد است. البته حداقل شیب در ایستگاه ها ۰/۵ درصد است.

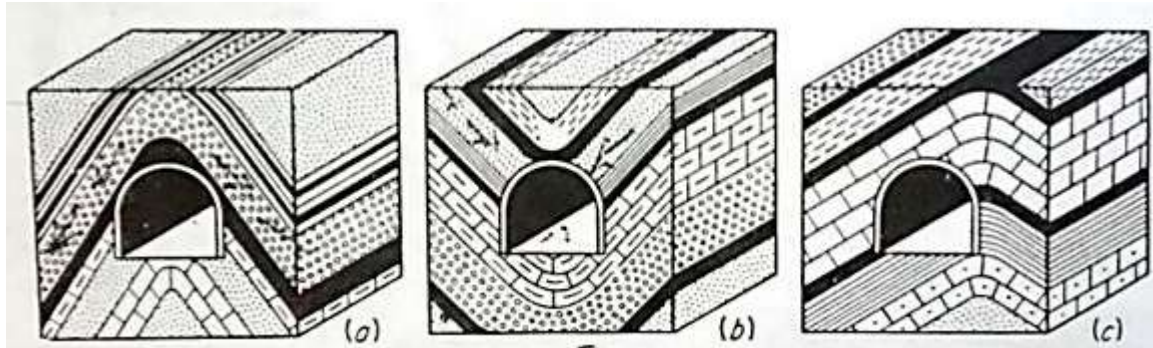
وضعیت سنگ شناسی منطقه

- سنگ های آذرین: عموماً دارای مقاومت فشاری بالا هستند در نتیجه تونل های حفر شده در آنها خود نگهدار اند اما حفاری در این سنگها دشوار است.
- سنگ رسوبی: ضعیف تر از آذرین هستند و حفاری در آن آسان تر است و ماشین حفاری قابلیت کاربرد دارد ولی نیاز به نگهداری دارد.
- سنگ های دگرگونی: عموماً دارای شیستوزیته بوده و دارای صفحات ضعیف هستند ولی برخی سنگهای دگرگونی نیز وجود دارند که کاملاً مقاوم اند.
- در تمامی انواع سنگها عامل هوازدگی می تواند تاثیرات بسیار نامطلوبی بر خواص سنگها بگذارد ولی عمدتاً مربوط به اعماق کم و لایه های سطحی است. با توجه به برخی تحولات زمین شناسی، گاهی سنگهای هوازده در اعماق زیاد نیز مشاهده می شوند.

وضعیت ساختاری منطقه: چین خوردگی

• بسیاری از سنگها در طبیعت دچار این پدیده ساختاری شده اند که البته تنها در سنگهای لایه ای با چشم قابل تشخیص است. چین خوردگی سبب بروز برخی تغییرات ژئوتکنیکی می شود که مهمترین آنها عبارتند از:

- ایجاد درزه و ترک که موجب لغزش گوه ای یا سقوط بلوک می شود.
- تمرکز تنش (یا ذخیره شدن انرژی) در سنگ ها که در حین حفر منجر به انفجار سنگ می شود.
- کاهش مقاومت توده سنگ
- خطر گازهای سمی و انفجاری



طاقدیس (Anticline)

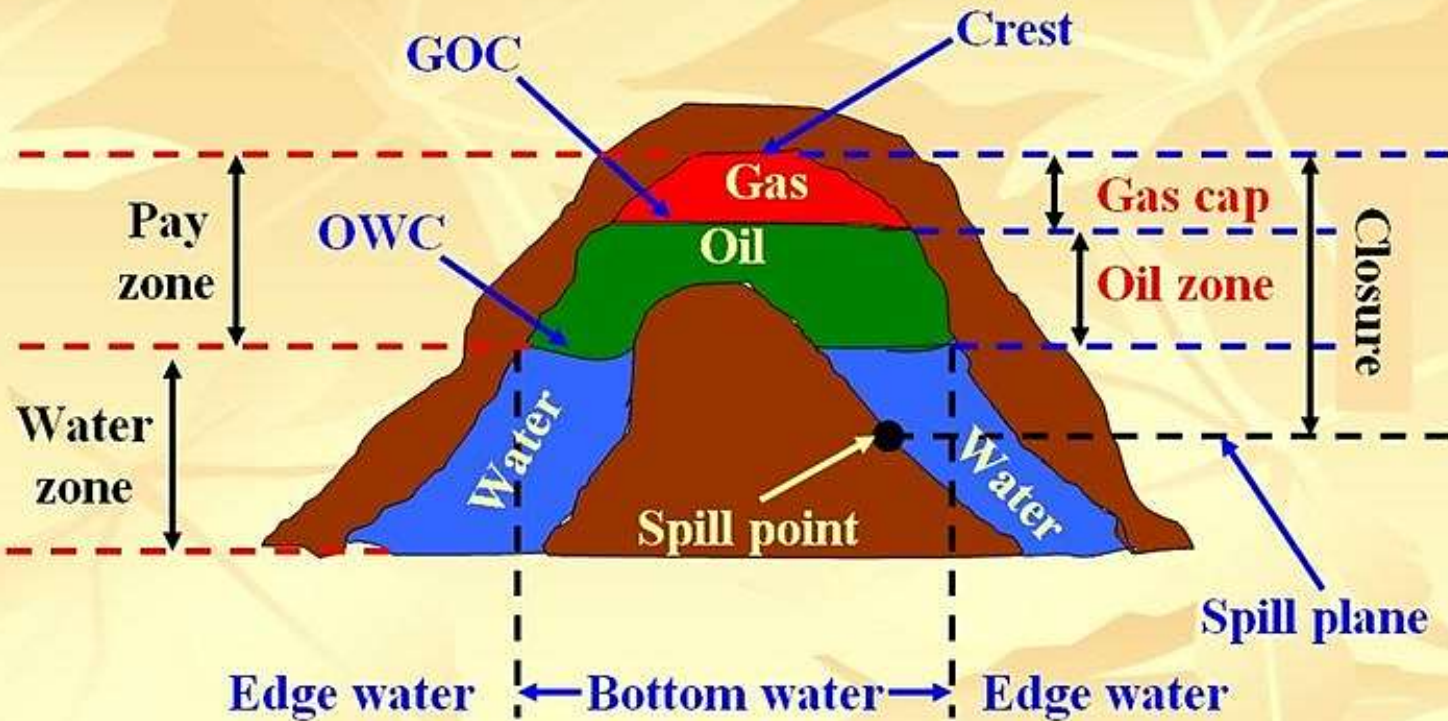
ناودیس (Syncline)

حفر تونل در طاقدیس سبب رهایی تنش در سقف شده و فشار کمتری به لاینینگ تونل وارد می شود در حالی که حفر تونل در ناودیس موجب افزایش فشار وارده بر سقف می شود.

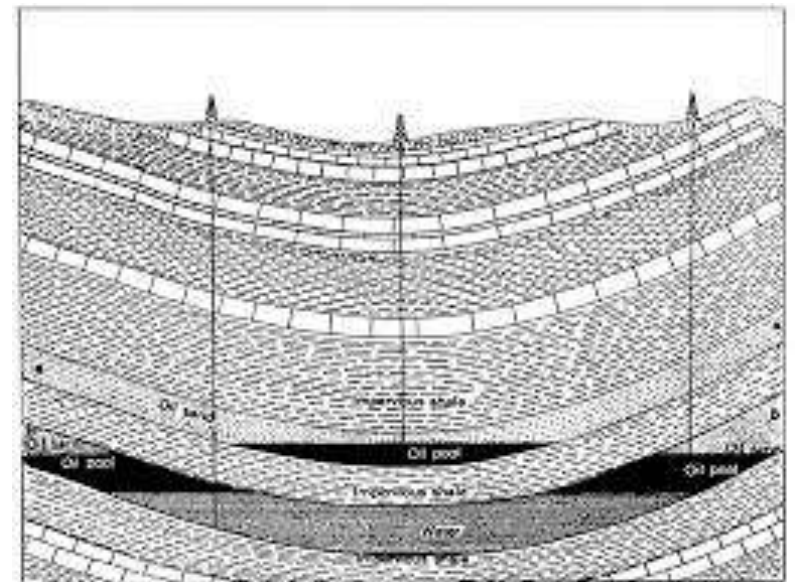
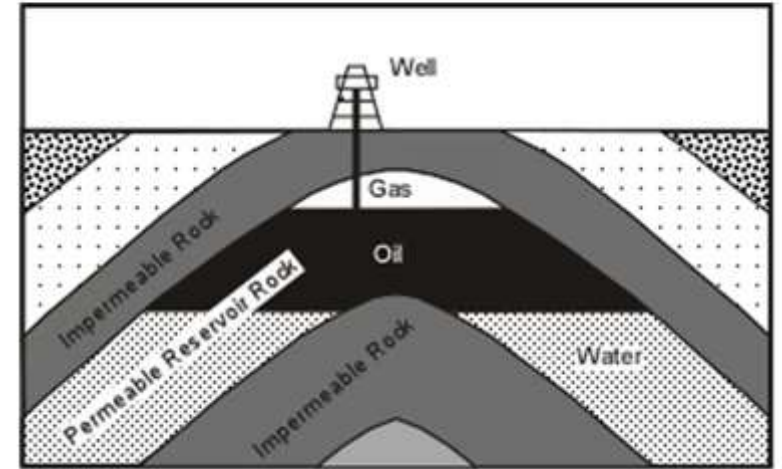
چنانچه لایه های زمین آبدار باشند، در ناودیس، آبهای زیرزمینی به داخل تونل هجوم می آورند در حالی که در طاقدیس آب در لایه های فرو می رود.

وضعیت ساختاری منطقه: چین خوردگی

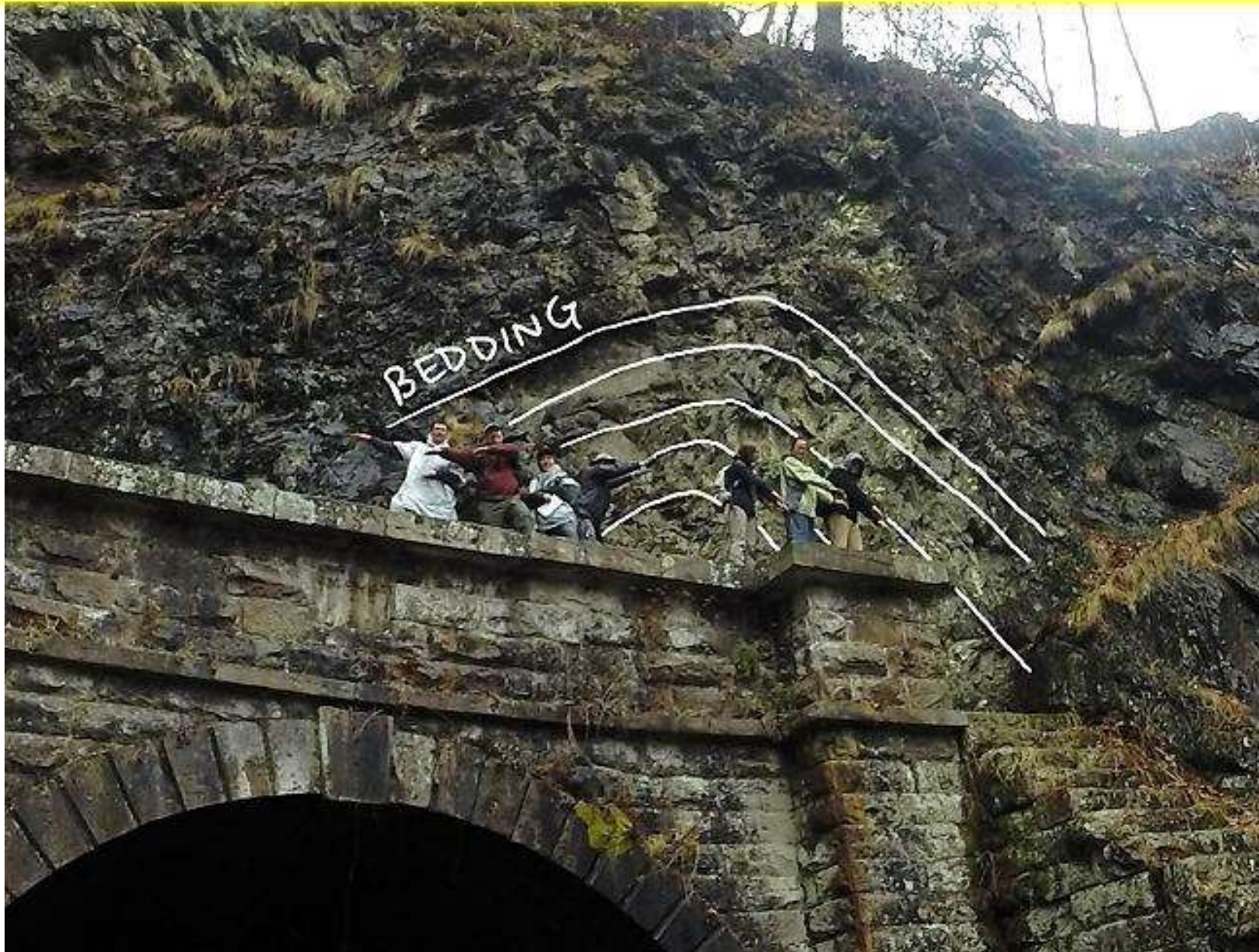
Cross section thru a simple anticlinal reservoir trap



A simple anticlinal trap

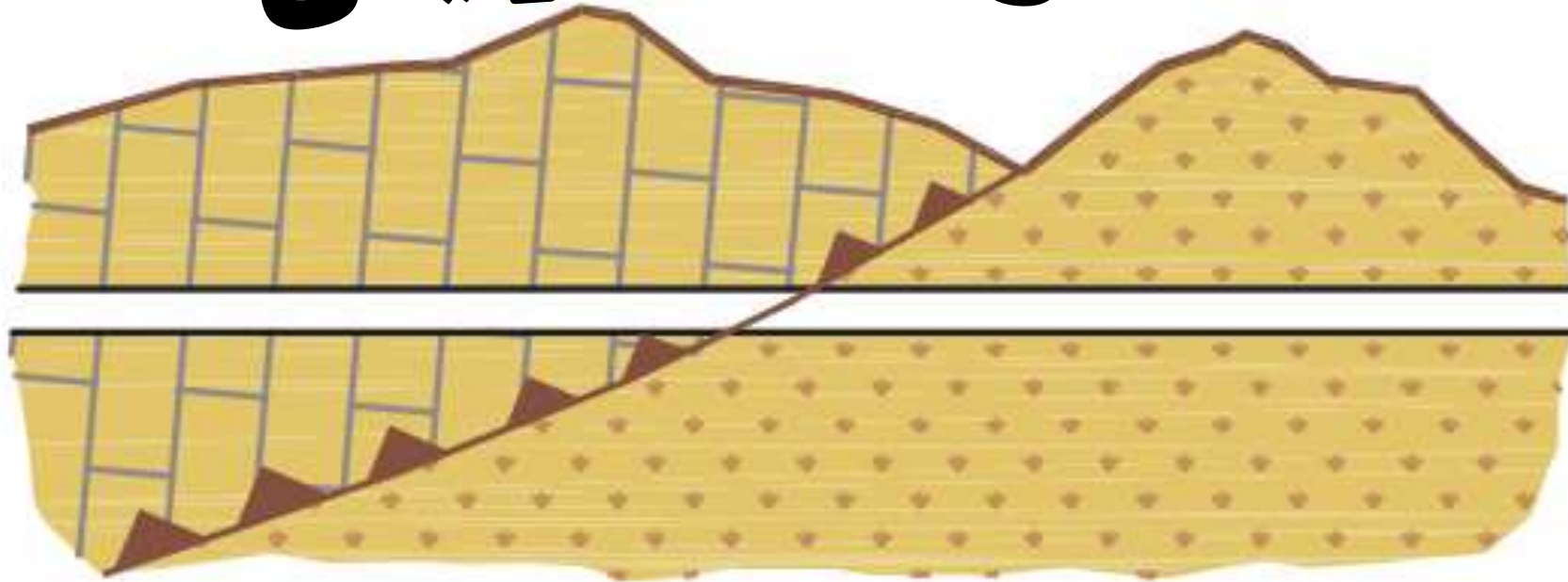


وضعیت ساختاری منطقه: چین خوردگی



وضعیت ساختاری منطقه: گسل

تماس های تکتونیکی



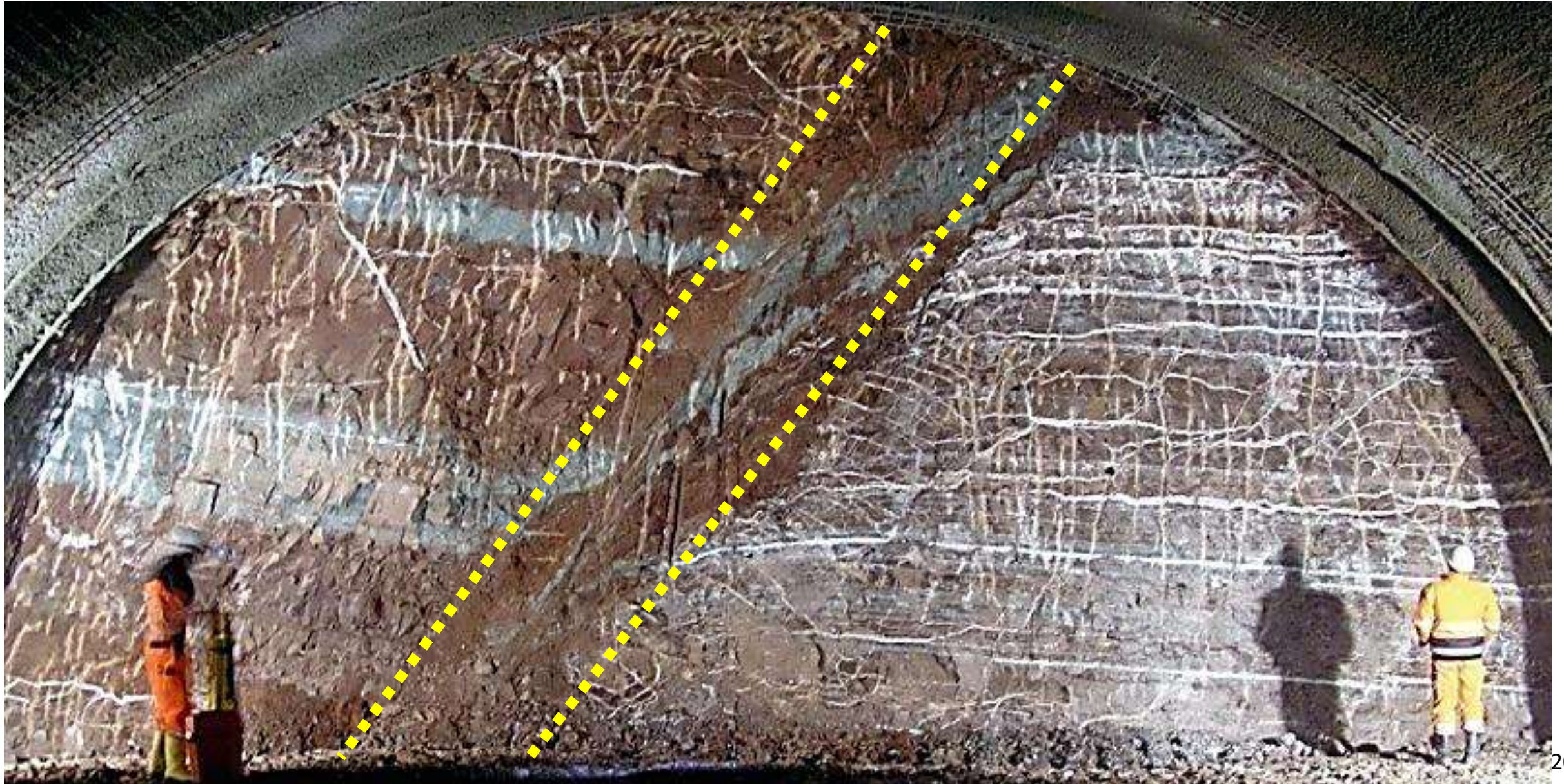
Tectonic contacts

وضعیت ساختاری منطقه: گسل

وجود گسل چه در زمان حفاری و چه در زمان بهره برداری همواره پیامدهای نامطلوبی را در پی دارد که مهم ترین آنها عبارتند از:

- حرکت ادواری گسل در مناطق فعال تکتونیکی.
- زون خرد شده گسله همواره معبری برای عبور آب زیر زمینی است که موجب دگرسانی توده سنگ و کاهش مقاومت آن می شود.
- بعضاً گسل با جابجا کردن لایه های نفوذ ناپذیر سد های زیرزمینی ایجاد می کند.
- در دو طرف گسل عموماً زون های دگرگونی به وجود می آید.
- ضخامت زون خرد شده گسله (Breccia) گاهاً به ۱۰ ها متر می رسد.
- مواد گوژ (Gouge) گسل عموماً از کانی های رسی تشکیل شده اند که در صورت برخورد با آب و تورم موجب رانش های خطرناکی می شوند.
- گسل های فرعی در اطراف گسل اصلی موجب ناپایداری های ساختاری می شوند.
- تعیین وضعیت نسبی گسل و امتداد تونل در زمان طراحی بسیار مهم است.

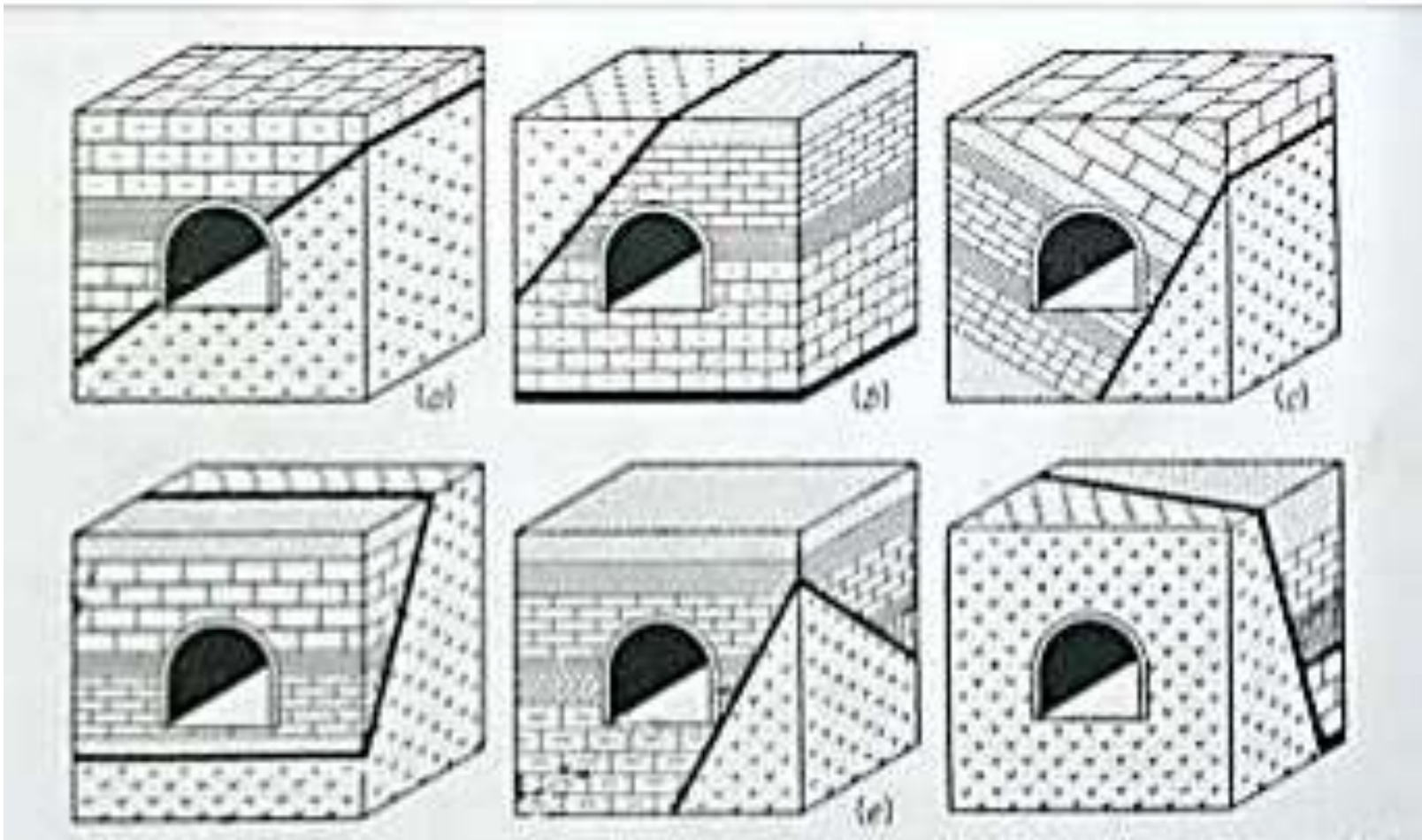
وضعیت ساختاری منطقه: گسل



وضعیت ساختاری منطقه: گسل

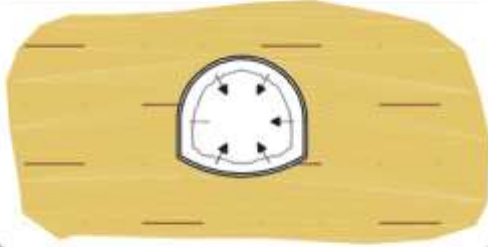
اگر تونل از کمر بالای گسل (Hanging wall) عبور کند رخنمون گسل از کف نمایان می شود، بنابراین فرصت کافی برای اعمال نگهداری های مضاعف وجود دارد.

اما اگر تونل در کمر پایین گسل (Foot wall) حفر شود، صفحه گسله در سقف نمایان شده و ممکن است موجب بروز ناپایداری های ناگهانی شود.



سایر موارد

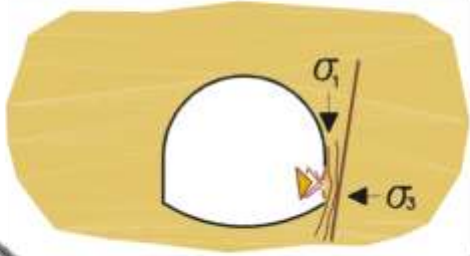
زمین آماس پذیر (سولانس محدود) و پدیده هوازدگی



Swelling and Weathering Phenomena

25/27

انفجار سنگ



Rock Burst

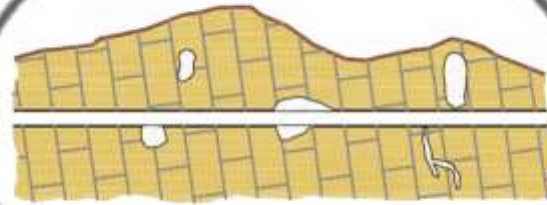
نشست آب و گازهای محبوس در توده سنگ



CO_2, CH_4, SO_2, H_2S

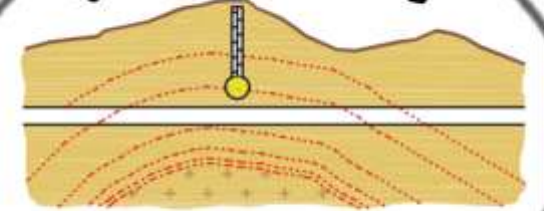
25/27

حفرات کارستی



Karsts

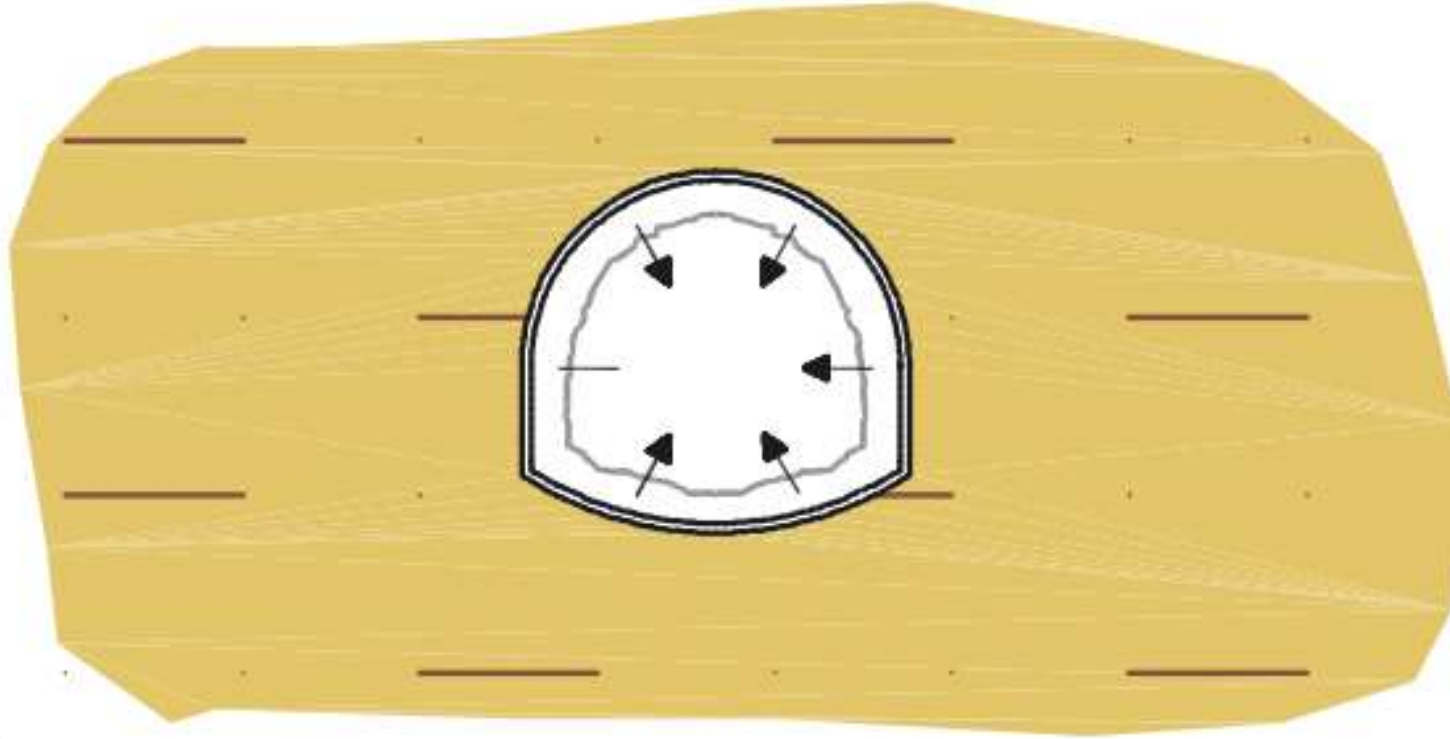
گرادیان حرارتی سنگها



High Thermal Gradients

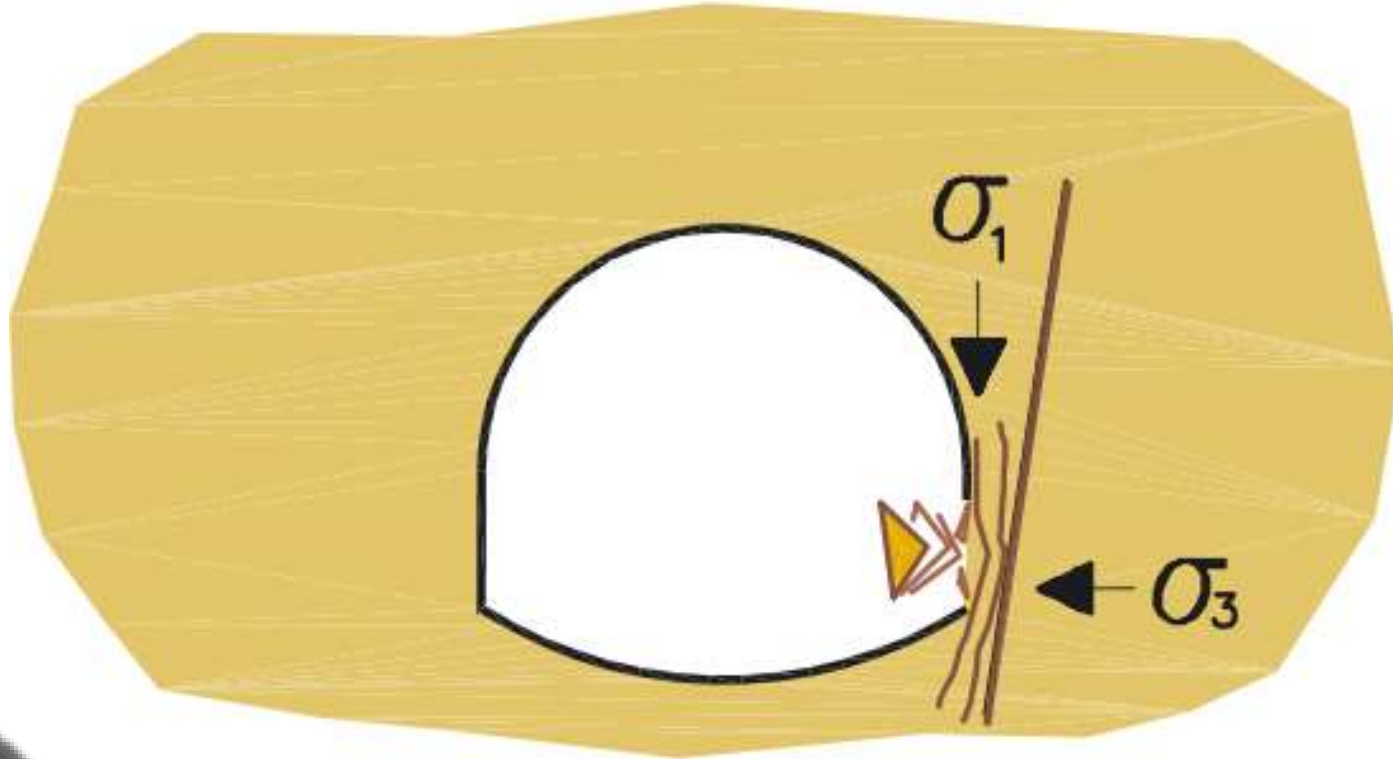
26/27

زمین آماس پذیر (عموماً آماس کف تول) و پدیده هواز دگی



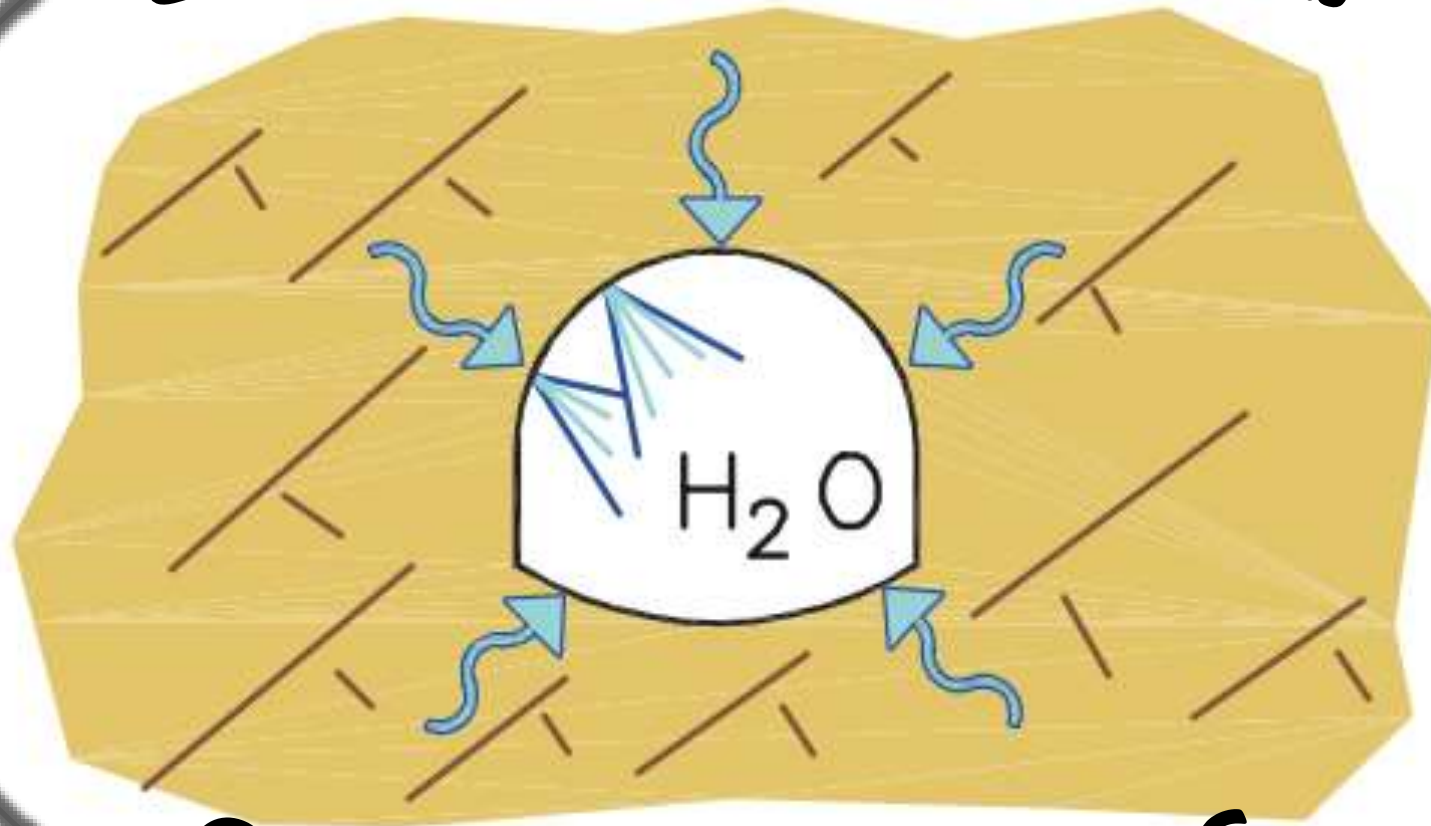
Swelling and Weathering Phenomena

انفجار سنگ



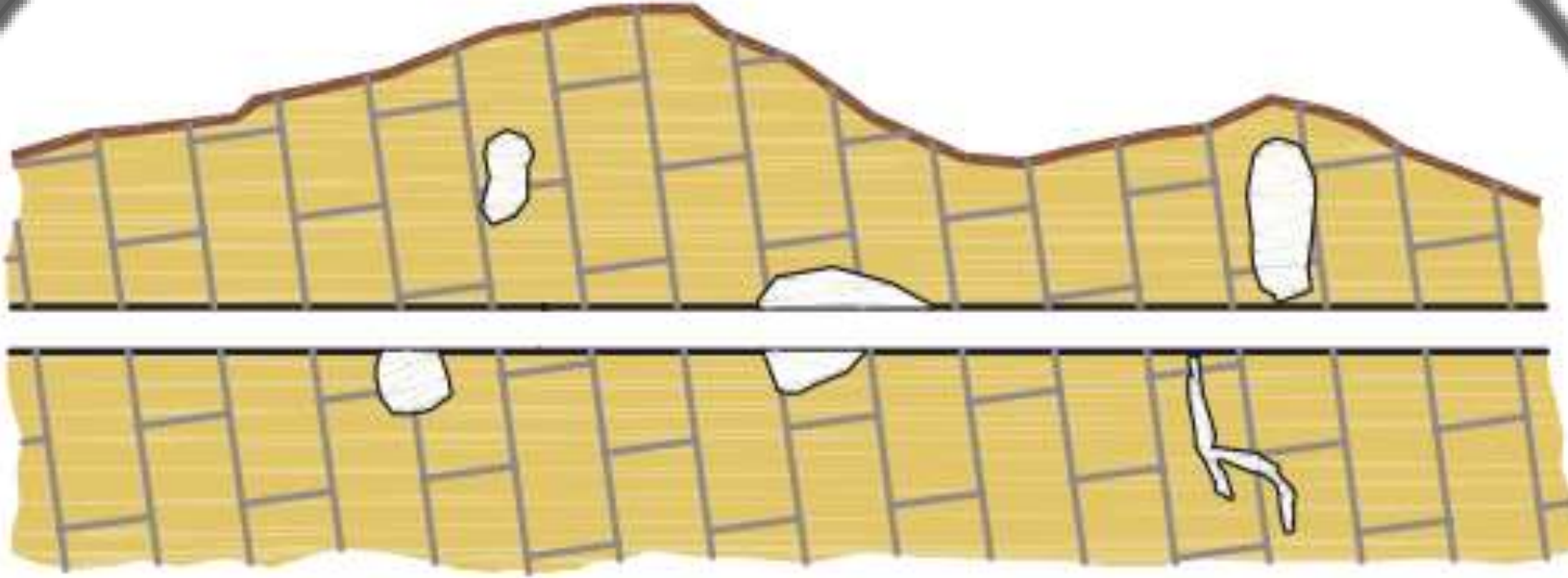
Rock Burst

نشست آب و گازهای محبوس در توده سنگ



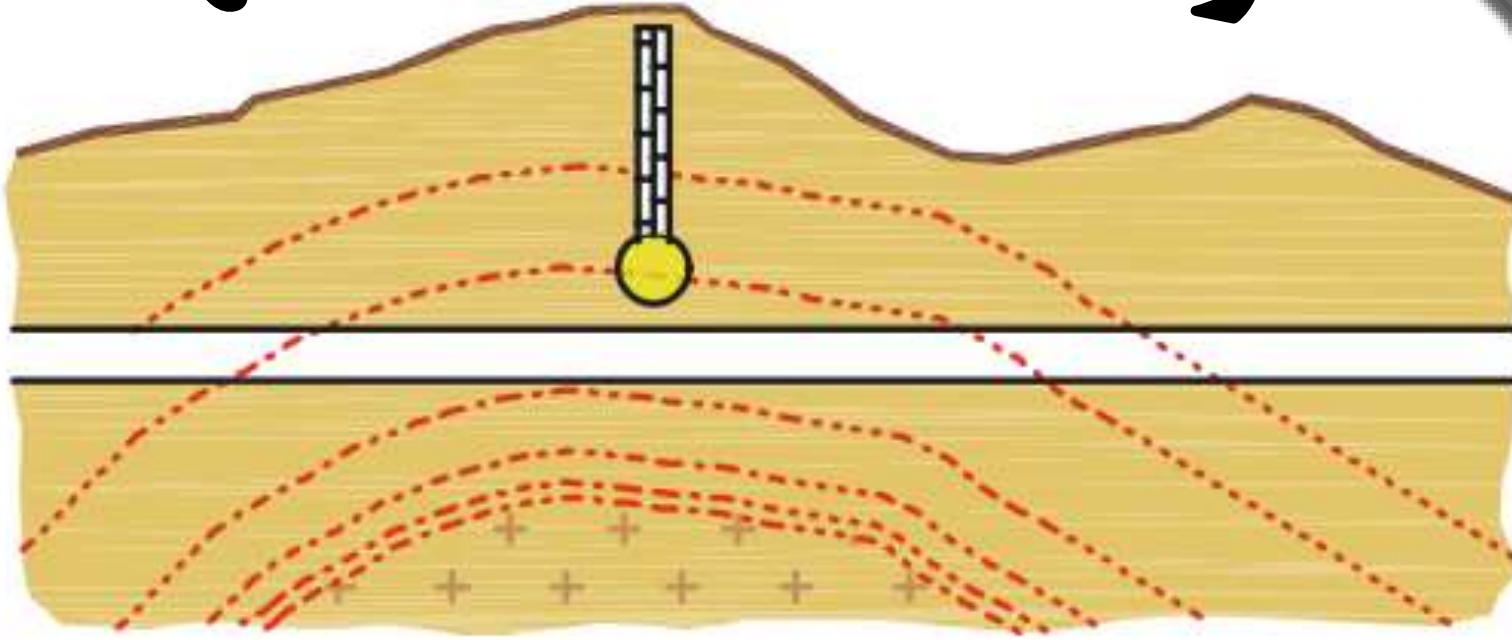
CO_2 , CH_4 , SO_2 , H_2S

حفرات کارستی



Karsts

گرادیان حرارتی سنگها



High Thermal Gradients

از بذل توجه شما سپاسگذارم

