

مهندسی ریسک در پروژه های تونل سازی



برسعی

انجمن تونل ایران برگزار می کند:
مختصرانی علمی - کاربردی

مهندسی ریسک در پروژه های تونلسازی

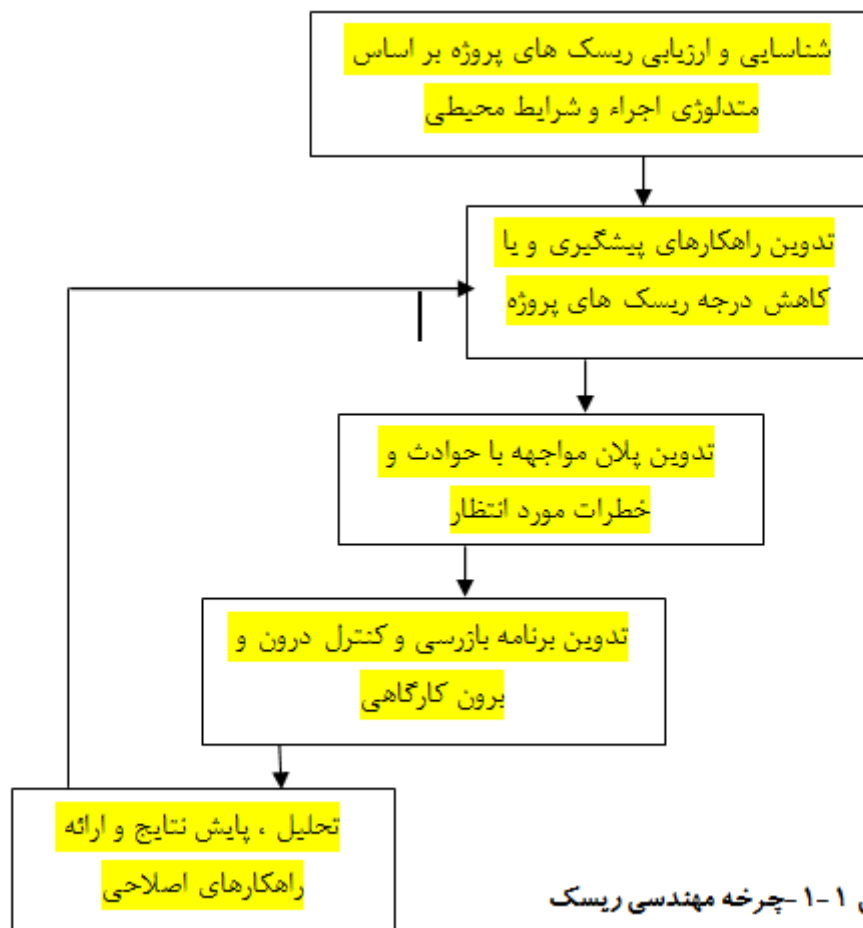
کارگروه بهداشت و ایمنی کار
ارائه دهنده: آقای مهندس محسن هدایتی فر
(شرکت جنرال مکالیک)

زمان: روز چهارشنبه مورخ: ۱۳۹۴/۱۱/۲۸ ساعت: ۱۶ الی ۱۸
مکان: تهران، بزرگراه شهید همت، مجتمع ونک پارک، برج ۵
سالن همایش شرکت سابیر

ملازمان می توانند جهت کسب اطلاعات بیشتر از ساعت ۹ الی ۱۶ با شماره تلفن ۰۲۱-۸۸۶۶۰۲۲۵-۶ دفتر انجمن تونل ایران تماس حاصل نمایند.
Email: info@irta.ir

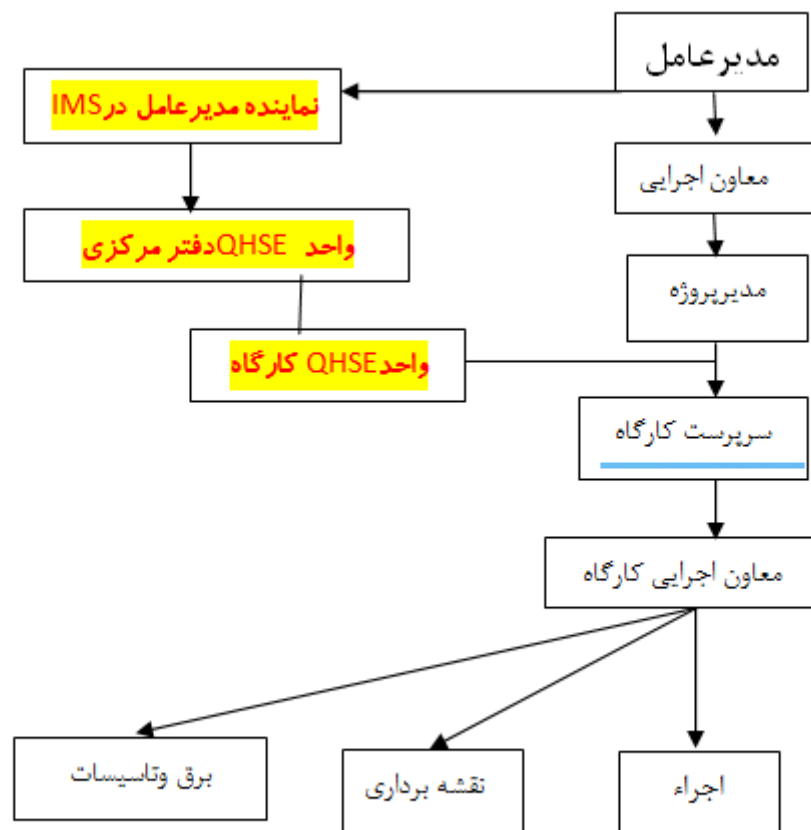
شرکت مهندسی و طراحی تونل سازی

چرخه مهندسی ریسک



شکل ۱-۱- چرخه مهندسی ریسک

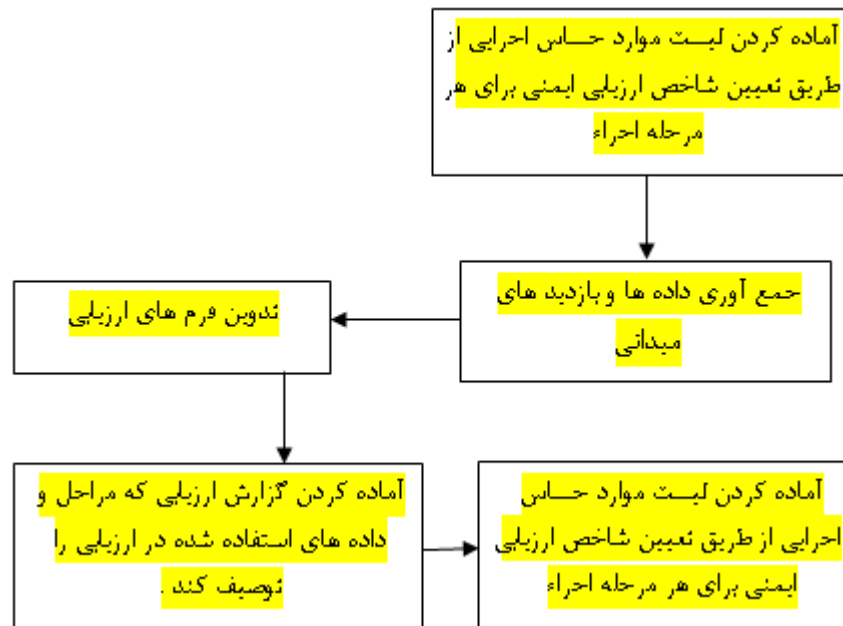
چارت سازمانی کارگاه جهت حذف ریسک های مدیریتی



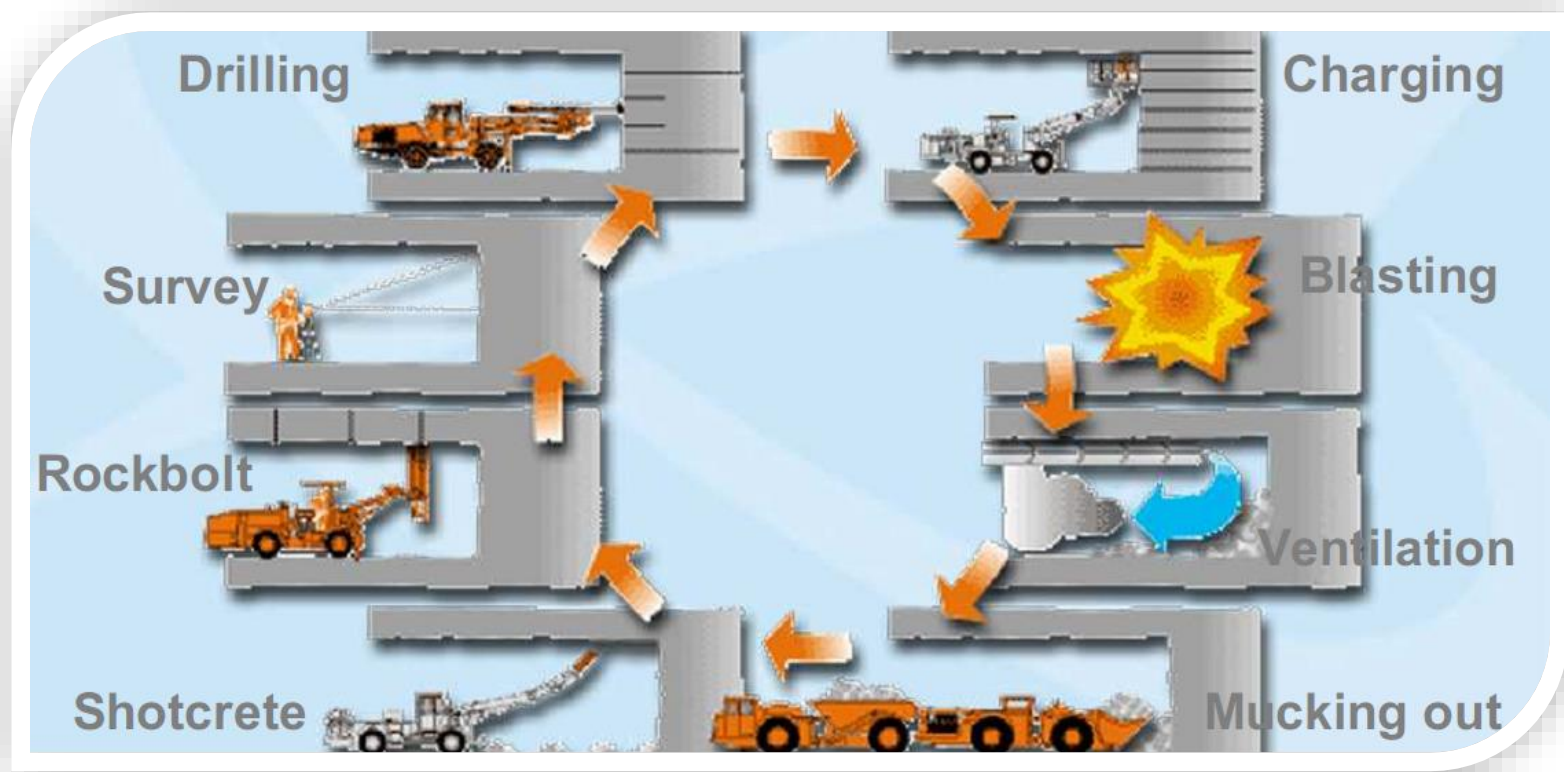
شکل ۱-۲ - چارت سازمانی کارگاه جهت حذف ریسک های مدیریتی

شناسایی ریسک ها

اولین گام ، بررسی روند عملیات اجرایی در عملیات ساخت تونل است ، بعد از آن باید در هر مرحله از عملیات اجرایی ، بر اساس الزامات قانونی و تجربیات ، ریسک ها شناسایی شده و میزان ریسک تعیین شود .



بررسی ریسک در عملیات اجرایی تونلسازی



بررسی ریسک در عملیات نقشه برداری

معمو لاً نقشه برداری ، پس از تحکیم تونل انجام می شود ، از این جهت جزء کارهای کم خطر تونل بوده ولی بی خطر نیست ! ریسک های تجربه شده در کار نقشه برداری به قرار زیر است :

۱- سقوط پرسنل در زمان برداشت ، در مواقعی که از وسایل غیر استاندارد ، مانند باکت لودر و یا نردهبان برای دسترسی به سقف تونل استفاده شده است (**ریسک خطرناک**).

۲- برخورد وسایل سنگین مانند لودر یا کمپرسی با پرسنل در زمان هایی که کار نقشه برداری هم زمان با عملیات دیگری انجام می گرفته است (**ریسک خطرناک**).

روش های پیشگیرانه جهت کاهش ریسک در عملیات نقشه برداری:

۱- استفاده از بالا برنده های استاندارد (**الزامی است**) .

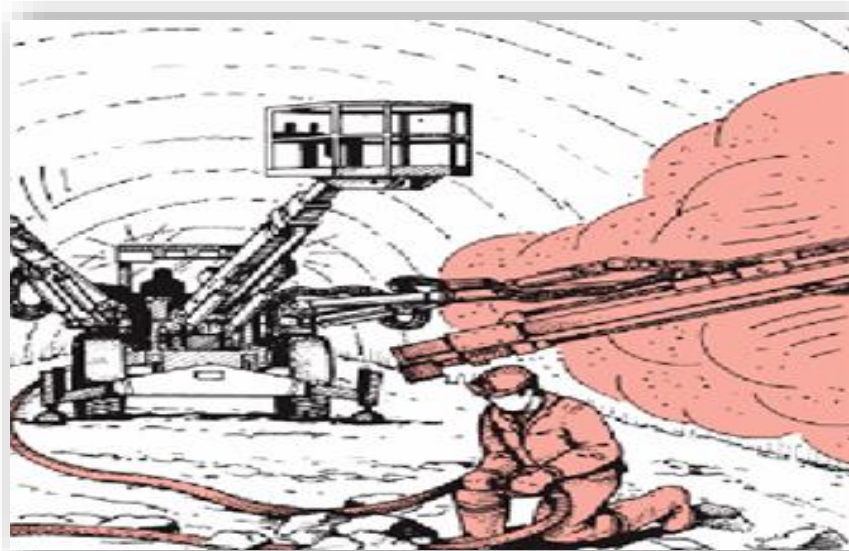
۲- **جلو گیری** از تداخل عملیات اجرایی (**الزامی است**) .



بررسی ریسک در عملیات حفاری

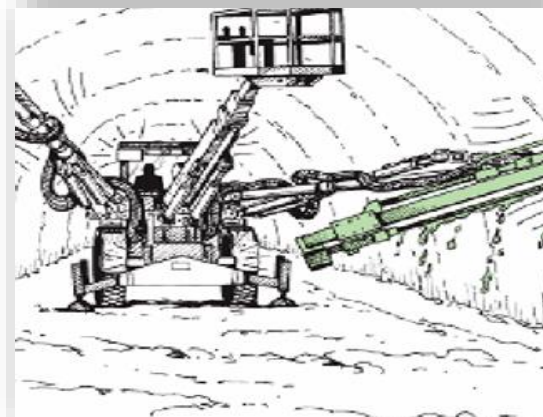
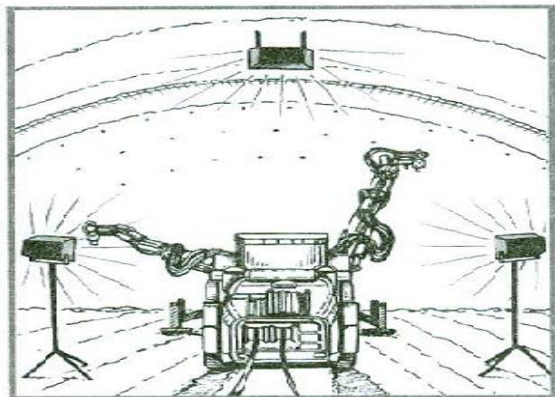
حفاری در تونل ها معمولاً "به وسیله جابو دریل ، انجام می گردد . بر اساس این پیش فرض ، ریسک های کار حفاری به صورت زیر لیست می شود:

- ۱- ریزش بلوک های سنگی از سقف یا دیواره بر اثر لرزش ایجاد شده در سنگ بدلیل حفاری (ریسک خطرناک).
- ۲- برخورد مته حفاری با موادناریه باقی مانده در ته چالهای مرحله قبل (ریسک غیرقابل پذیرش)
- ۳- خطر برق گرفتگی (ریسک خطرناک).
- ۴- ایجاد گرد و غبار در زمان حفاری (ریسک متوسط).
- ۵- ایجاد اختلالات شنوایی در پرسنل ، که بر اثر صدای دستگاه جابو حین حفاری ناشی می شود (ریسک متوسط).



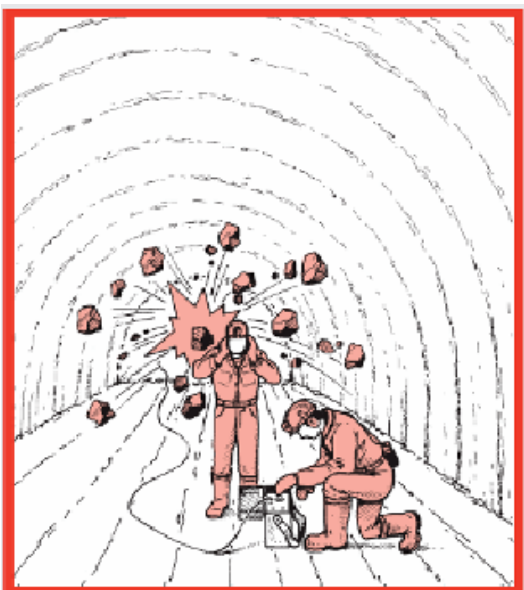
روش های پیشگیرانه جهت کاهش ریسک در عملیات حفاری:

- ۱- لق گیری سقف و دیواره های تونل و تحکیمات لازم (شاتکریت) ، قبل از شروع حفاری و صدور تأییدیه ایمن بودن محیط کار، از سوی مسئول تونل (بعد از بازرسی های دقیق و اطمینان لازم از ایمن بودن شرایط سقف و دیواره) .
- ۲- قبل از شروع حفاری ، مسئول آتشباری کارگاه باید از سینه کار بازدید کند و پس از اطمینان از عاری بودن سینه کار از موادناریه ، نسبت به صدور مجوز شروع حفاری اقدام نماید .
- ۳- دور نگه داشتن پرسنل از سینه کار در زمان حفاری (الزامی است) .
- ۴- استفاده از تجهیزات ایمنی فردی مانند کلاه ، لباس شبرنگ و گوشی ایمنی برای اپراتور دستگاه جامبو و پرسنل کمکی (الزامی است) .
- ۵- استفاده از کلیدها و سوکت های ایمن ، برای اتصال کابل برق جامبو به تابلوی برق (الزامی است) .
- ۶- استفاده از سیستم تهویه مکشی در زمان حفاری، جهت جلوگیری از آلوده شدن کل طول تونل (الزامی است) .
- ۷- حفاری مرطوب ، (استفاده از آب به جای هوا) ، برای خارج کردن خرده سنگ های ناشی از حفاری از چال ها جهت کاهش گرد و غبار (الزامی است) .
- ۸- ایجاد روشنایی لازم طبق الزامات در جبهه کار (الزامی است) .



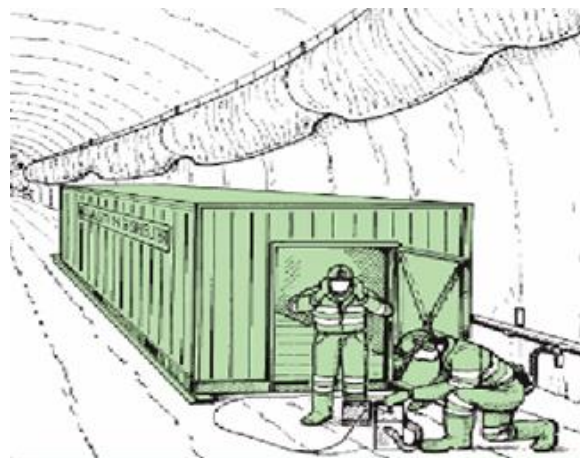
بررسی ریسک در عملیات آتشباری:

- ۱- عدم رعایت فاصله امن از طرف پرسنل آتشباری ، در زمان انفجار (ریسک غیر قابل)
- ۲- عدم رعایت ضوابط در انتقال مواد ناریه از انبار به جبهه کار تونل (ریسک خطرناک).
- ۳- عدم رعایت مقررات کار با مواد ناریه (ریسک خطرناک).
- ۴- استفاده از وسایل حادثه آفرین مانند لودر ، بیل و نردبان برای شارژ مواد ناریه در چالها (ریسک خطرناک).
- ۵- عدم تهویه مناسب بعد از انفجار (ریسک غیر قابل قبول).



روش های پیشگیرانه جهت کاهش ریسک در عملیات آتشباری:

- ۱- استفاده از گوشی تلفن همراه و هر نوع فرستنده ، گیرنده الکتریکی توسط آتشکار و یا سایر پرسنلی که در جبهه کار حضوردارند ، ممنوع است .
- ۲- استفاده از وسایل و ابزار آلات ایمنی مانند دستکش نخی ، لباس کار نخی ، کفش و کلاه ایمنی و سیم چین ضد جرقه و ... ضروری می باشد .
- ۳- استفاده از اکسپلوزر و اهمتر استاندارد ضروری می باشد .
- ۴- قبل از شارژ و خرج گذاری چالها ، انتهای سیم های چاشنی ها را لخت و بهم تابانیده تا ، بصورت یک مدار با دو سر آزاد عمل نکند .
- ۵- حمل و نقل مواد ناریه با استفاده از ماشین مخصوص و با رعایت ضوابط انجام پذیرد، وسیله نقلیه مورد استفاده برای حمل مواد ناریه در داخل تونل از نظر سیستم الکتریکی باید مورد بازرسی دقیق قرار گرفته و نتایج حاصل از بازرسی ها در دفتر کارگاه ثبت گردد.
- ۶- (برای مثال وانت مورد استفاده برای جابجایی مواد ناریه باید چوبکاری و عایق باشد)
- ۷- چک کردن مدار و و صدور تأییدیه کتبی مبنی بر درست بودن کار و اجازه انفجار توسط مسئول تیم آتشباری، قبل از انفجار.

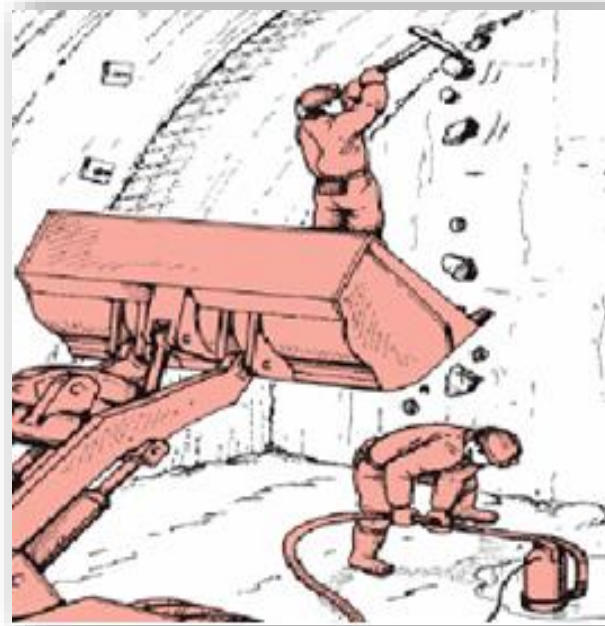


بررسی ریسک در عملیات لق گیری

ریسکهای لق گیری ، متأسفانه خطر مرگ را در پی دارد و آمار آن نیز نسبت به دیگر ریسک ها بیشتر است که عمده ی آنها عبارتند از :

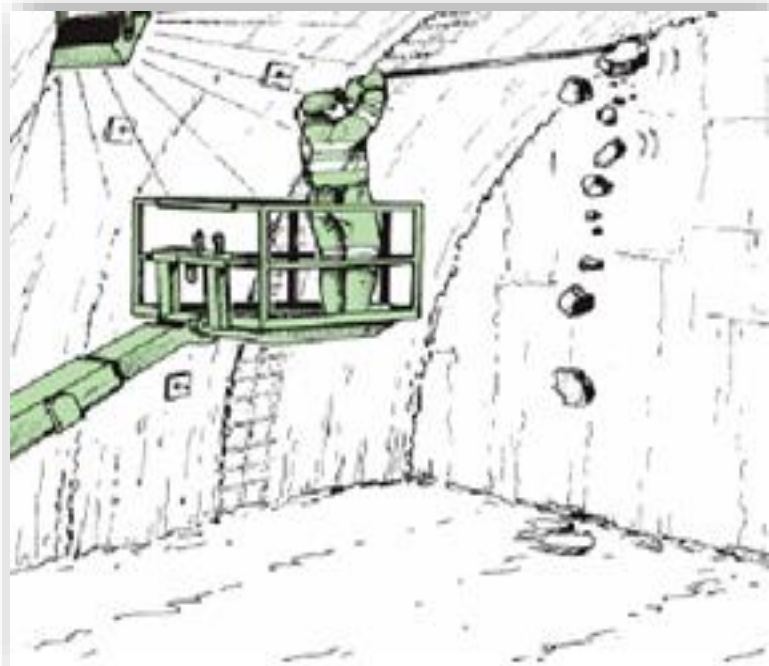
۱- سقوط کارگران از ارتفاع به دلیل استفاده از پلتفرم های غیر استاندارد (ریسک خطرناک).

۲- ریزش بلوک سنگ های سقف و دیوار بر روی کارگران (ریسک غیر قابل پذیرش).



روش های پیشگیرانه جهت کاهش ریسک در عملیات لق گیری:

- ۱- استفاده از بالابرهای استاندارد (الزامی است) .
- ۲- استفاده از بیل مکانیکی برای لق گیری (توصیه می گردد).
- ۳- رعایت فاصله ایمن از سقف و دیوار ناامن و لق گیری نشده با استفاده از دیلم های بلند (الزامی است).
- ۴- تامین روشنایی لازم (الزامی است).



بررسی ریسک در عملیات تخلیه

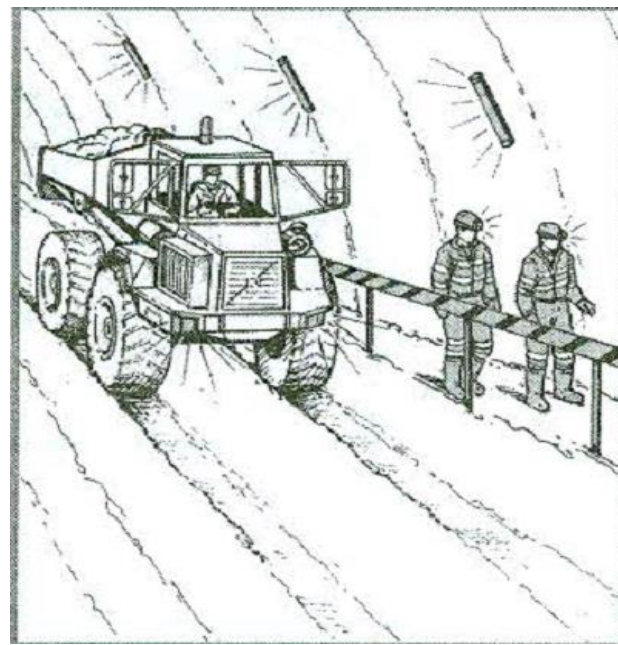
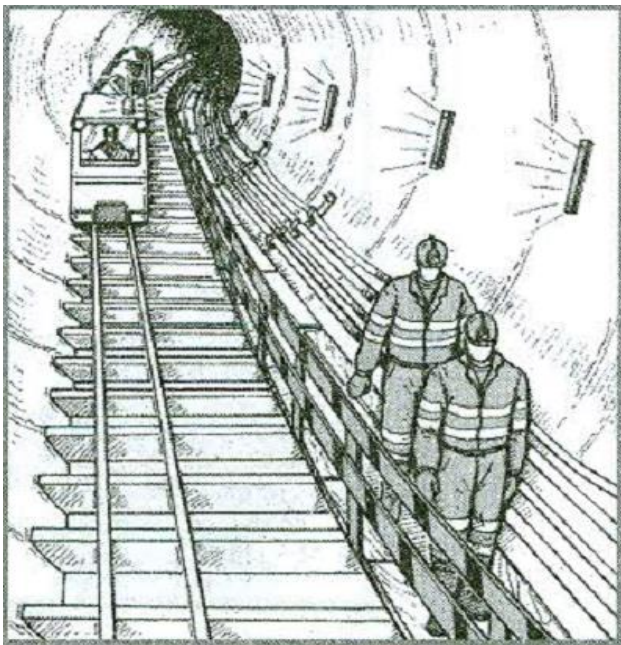
ریسک های بارگیری و تخلیه عبارتند از :

- ۱- آلودگی ناشی از احتراق دیزل DCP (ریسک غیر قابل قبول)
- ۲- برخورد ماشین آلات حمل با پرسنل (ریسک خطرناک)
- ۳- برخورد تجهیزات و ماشین آلات حمل با دیوار های تونل (ریسک خطرناک)



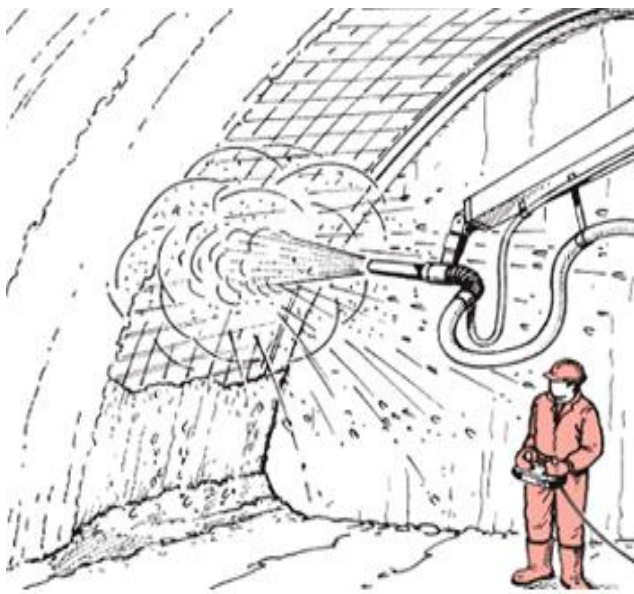
روش های پیشگیرانه جهت کاهش ریسک در عملیات بارگیری و تخلیه:

- ۱- جداسازی محل عبور و مرور پرسنل با محل تردد ماشین آلات حمل (الزامی است).
- ۲- موتورهای دیزلی بایستی به فیلتر مجهز بوده و به طور منظم بازرسی گردند (الزامی است).
- ۳- میزان آلودگی در زمان تخلیه باید مرتباً "اندازه گیری و در صورت بالا رفتن آلودگی از حد مجاز، طبق دستورالعمل ذکر شده در بخش تهویه رفتار گردد (الزامی است).
- ۴- تامین روشنایی تونل مطابق استاندارد های ذکر شده در بخش روشنایی (الزامی است).



بررسی ریسک در عملیات شاتکریت

- ۱- سقوط کارگران از ارتفاع (ریسک خطرناک)
- ۲- برخورد ریباند شاتکریت به صورت و بدن پرسنل و گرد و غبار (ریسک خطرناک).
- ۳- ورود افزودنی های شیمیایی شاتکریت و پودر سیمان به ریه پرسنل، در اثر آلودگی هوا (ریسک غیر قابل پذیرش).
- ۴- خطر ریزش در زمان شاتکریت (ریسک خطرناک)



روش های پیشگیرانه جهت کاهش ریسک در عملیات شاتکریت:

- ۱- استفاده از شاتکریت تر در فضاهای بسته (تونل) ، به جای شاتکریت خشک (الزامی است).
- ۲- رعایت فاصله امن (حداقل ۵/۱ متر) ، از دیواره (الزامی است).
- ۳- استفاده از پلتفرم های ایمن و استاندارد برای شاتکریت در ارتفاع (الزامی است)
- ۴- استفاده از نقاب محافظ صورت و لباس محافظ (الزامی است).
- ۵- در صورت امکان ، به کارگیری دستگاه های موبایل شاتکریت دارای تجهیزات کنترل از راه دور، (توصیه می گردد).
- ۶- تهویه مکشی در زمان شاتکریت جهت جلوگیری از آلودگی هوای تونل (الزامی است).
- ۷- عدم ورود به ناحیه ناامن و تحکیم نشده در موقع شاتکریت (الزامی است)



بررسی ریسک عبور تونل از مناطق آبدار

- تجربه سالهای اخیر در صنعت تونل سازی نشان می دهد که در بسیاری از پروژه های تونل سازی ، متأسفانه به دلیل عدم بررسی های کافی در مرحله طراحی ، حفر تونل باعث برهم خوردن اکوسیستم طبیعی شده ، مانند :
- وارد آوردن **خسارات زیست محیطی**
- وارد آوردن **خسارات اقتصادی** مانند **وارد آمدن خسارت به ماشین آلات و توقف کار**
- در پاره ای موارد به دلیل برخورد با سفره های آب زیر زمینی و خشکاندن چشمه های مرتبط با سفره ، باعث نابودی روستاهای مجاور و بروز مشکلات عدیده اجتماعی نیز در منطقه گردیده است .

روشهای پیشگیرانه در مواجهه با سفره آب زیر زمینی در تونل:

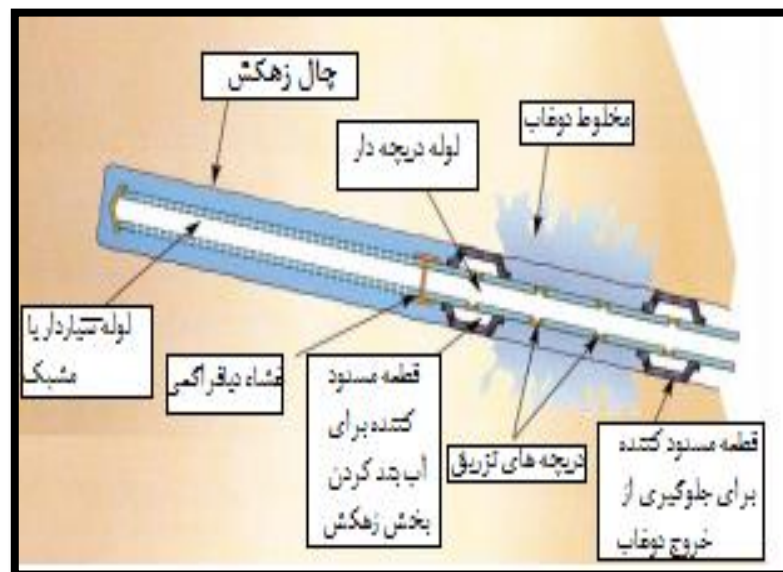
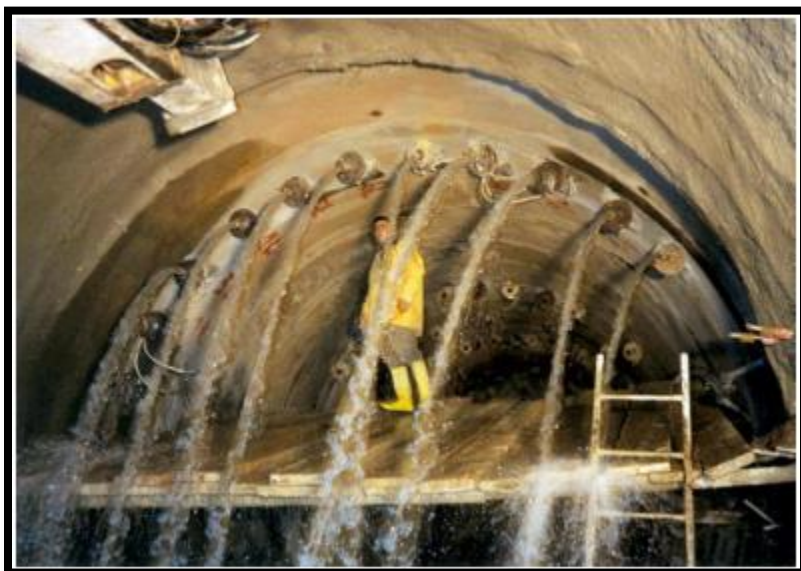
○ مطالعات هیدرولوژی:

○ مطالعات هیدرولوژی قبل از حفر تونل و اتخاذ روشهای مهندسی برای عبور از منطقه آبدار (injection system for waterproofing tunnel)، از الزامات حرفه ای برخورد با

چنین ریسکی می باشد

○ زهکشی آب تونل :

○ در صورتی که سوراخ کردن سفره آب زیر زمینی باعث صدمات زیست محیطی یا اجتماعی نگردد ، با خارج کردن آب با استفاده از تکنیک های زهکشی (داخل تونل ، خارج تونل)، از محیط پیرامونی تونل می توان باعث افزایش مقاومت سنگ جداره تونل شد . و بدین روش می توان با کمترین هزینه از محیط آبدار عبور کرد





تزریق با بیس سیمانی:

در مواقعی که به دلیل محدودیت های زیست محیطی ، اجتماعی و یا فنی امکان زهکشی کل آب مخزن بالای تونل وجود نداشته باشد ، می بایستی با استفاده از سیستم پیش تزریق سیمان ، کل محیط داخلی تونل (دیواره ، سقف، سینه کار و کف) را به طول حداقل **۱۵ متر** نفوذ ناپذیر کرد و بعد از پیشروی حداکثر **۱۲ متر** مجدداً " با پیش تزریق ، آب را از محیط تونل دور کرد ، با دور کردن آب از توده محیطی تونل با استفاده از سیستم تزریق ، ضمن آب بند شدن تونل ، مقاومت سنگ نیز افزایش پیدا خواهد کرد و ریسک عبور تونل از این مناطق بشدت کاهش پیدا می کند .



روشهای پیشگیرانه در مواجهه با سفره آب زیر زمینی در تونل:

● پیش تزریق شیمیایی :

- در بسیاری از ساختارهای سنگی و خاکی ، به دلیل ریز بودن روزنه ها و یا فشار بالای آب ، امکان آب بند کردن محیط پیرامونی تونل با استفاده از سیستم پیش تزریق با پایه سیمانی وجود ندارد . بر اساس تجربه های موفق و همچنین شکست خورده ، در روشهای تزریق برای کنترل نفوذ آب به داخل تونل ، روش های تزریق شیمیایی (موادی که در برخورد با آب منبسط شده و درزه ها را مسدود می کند) از تزریق دوغاب با پایه سیمانی موفق تر بوده و بهتر عمل کرده است .

- جدول زیر راهنمایی کاربردی برای نوع تزریق بر اساس میزان نفوذ پذیری و میزان بازشدگی درزه ها می باشد.

Product	Particle size (μm)	Specific surface (m^2/g)
Colloidal silica (suspension)	0.016	80-900
Silica fume	0.2	15-25
Precipitated silica	5	10-15
Fine crystalline silica	5	10-15
Crystalline silica (mesh 200)	15	0.4

روشهای پیشگیرانه در مواجهه با سفره آب زیر زمینی در تونل:

◉ پارامترهای موثر در انتخاب نوع تزریق تونل در مواجهه با سفره آب زیر زمینی عبارتند از :

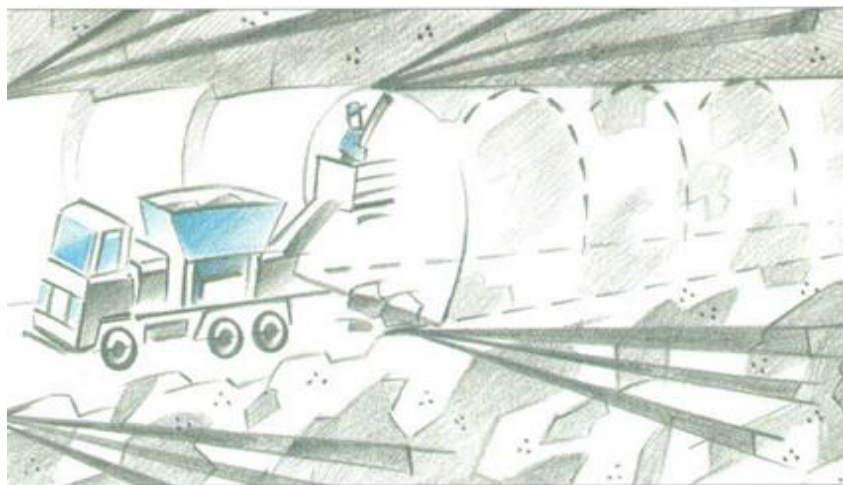
◉ ۱- زمان در دسترس برای عبور از سفره آب زیر زمینی

◉ ۲- امکانات قابل استفاده (در دسترس)

◉ ۳- مقدار و فشار آب

◉ ۴- مشخصات ژئوتکنیکی سنگ پیرامونی تونل

◉ ۵- میزان مهارت پرسنل



روشهای پیشگیرانه در مواجهه با سفره آب زیر زمینی در تونل:

❶ - فریزینگ freezing:

❶ یکی از روش های نوین برای عبور تونل از توده سنگ های آبدار ، انجماد می باشد . عموماً " در زمین های با استعداد روانگرایی ، سطح آب بالا و همچنین وجود لایه های سست آبدار و نشتی آب فراوان ، عملیات های اجرائی با مشکلات عدیده ای مواجه می شود . بجای استفاده از روش های قدیمی تحکیم و بهسازی همانند تزریق ، زهکشی و... می توانیم با منجمد کردن آب درون لایه ای ، یک دیواره کاملاً " محکم ایجاد کرده و شرایط را برای انجام پروژه فراهم سازیم . پس از تکمیل سازه ، دیواره بدون هیچگونه آسیبی به سازه اصلی جمع آوری میشود .

❷ این روش اجرائی کاملاً " سازگار با محیط زیست بوده و هیچ گونه آلودگی تولید نمی کند.

روشهای پیشگیرانه در مواجهه با سفره آب زیر زمینی در تونل:



Pipes prior to freezing



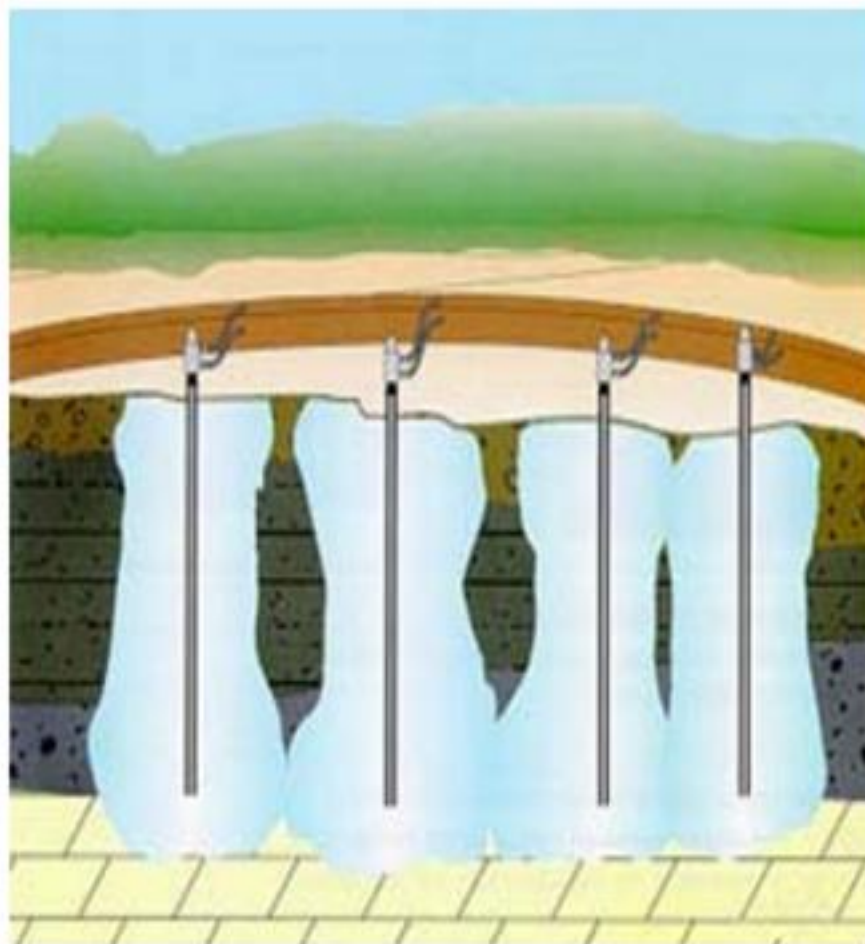
Following initiation of freeze



Closure of frozen earth wall



Complete frozen earth wall



روش نوین احداث پرتال تونل در زمین های سست و مشکل دار

چکیده :

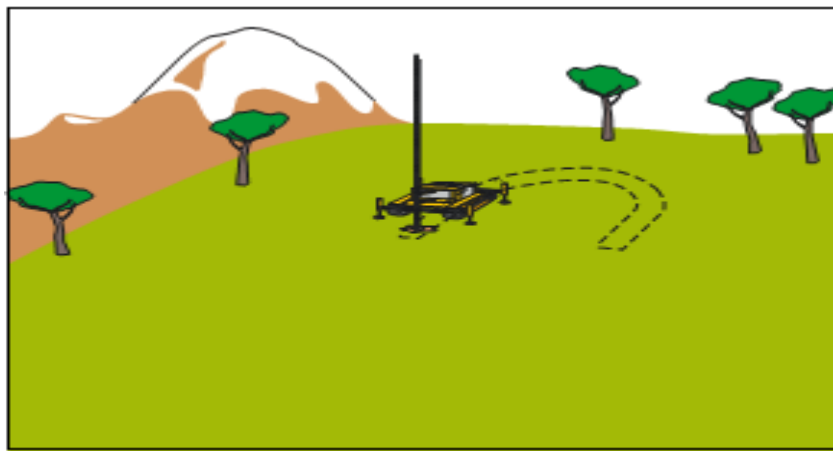
به دلیل بروز مشکلات عدیده در ساخت و ساز پرتال تونل ، در زمین های سست و ضعیف ، مانند بروز لغزش زمین ، تخریب تاسیسات ساختمانی (جاده ، راه آهن ، پل ، ساختمان و.. در محیط پیرامونی پرتال تونل) و تخریب محیط زیست ، لازم بود که در این زمینه ، راهکاری برای جلوگیری از این مشکلات ارائه شود ، لذا در سالهای اخیر با ابداع روش تحکیم پوسته پرتال و محیط پیرامونی تونل ، با استفاده از تکنیک جت گروتینگ و بکارگیری آن در چند پروژه ، مشخص گردید که این روش ابداعی نه تنها از بروز مشکلات ذکر شده ، جلوگیری می کند ، بلکه همزمان با حفظ محیط زیست ، ایمنی و ثبات تاسیسات پیرامونی پرتال ، در زمان ساخت و ساز ، سرعت اجرای عملیات را افزایش و هزینه عملیات اجرایی را نیز کاهش می دهد .

تکنیک بهبود پوسته زمین با استفاده از سیستم جت گروتینگ

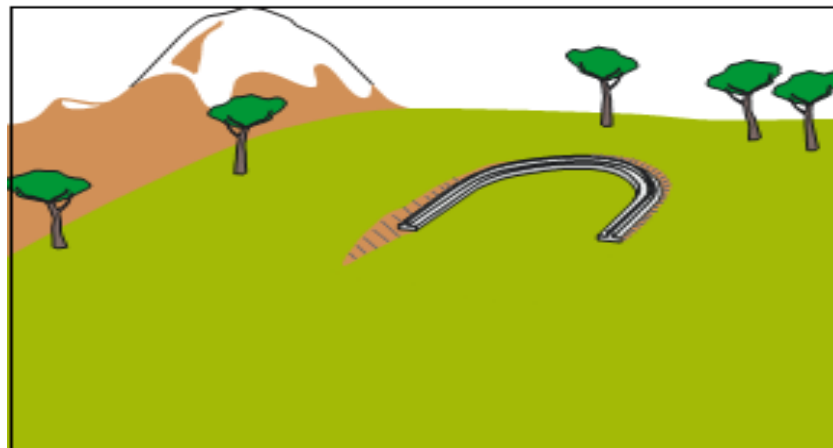
بر اساس این ایده نوین ، قبل از شروع حفاری پرتال ، با استفاده از تکنیک جت گروتینگ ، یک پوسته بهسازی شده در منطقه تونل مصنوعی ایجاد می شود .

بر اساس وضعیت ژئوتکنیک زمین ، عملیات جت گروتینگ (عمق چال ها ، فاصله چالها و فشار تزریق و...) طراحی و اجراء می شود .

روش نوین کنترل ریسک در عملیات پرتال تونل



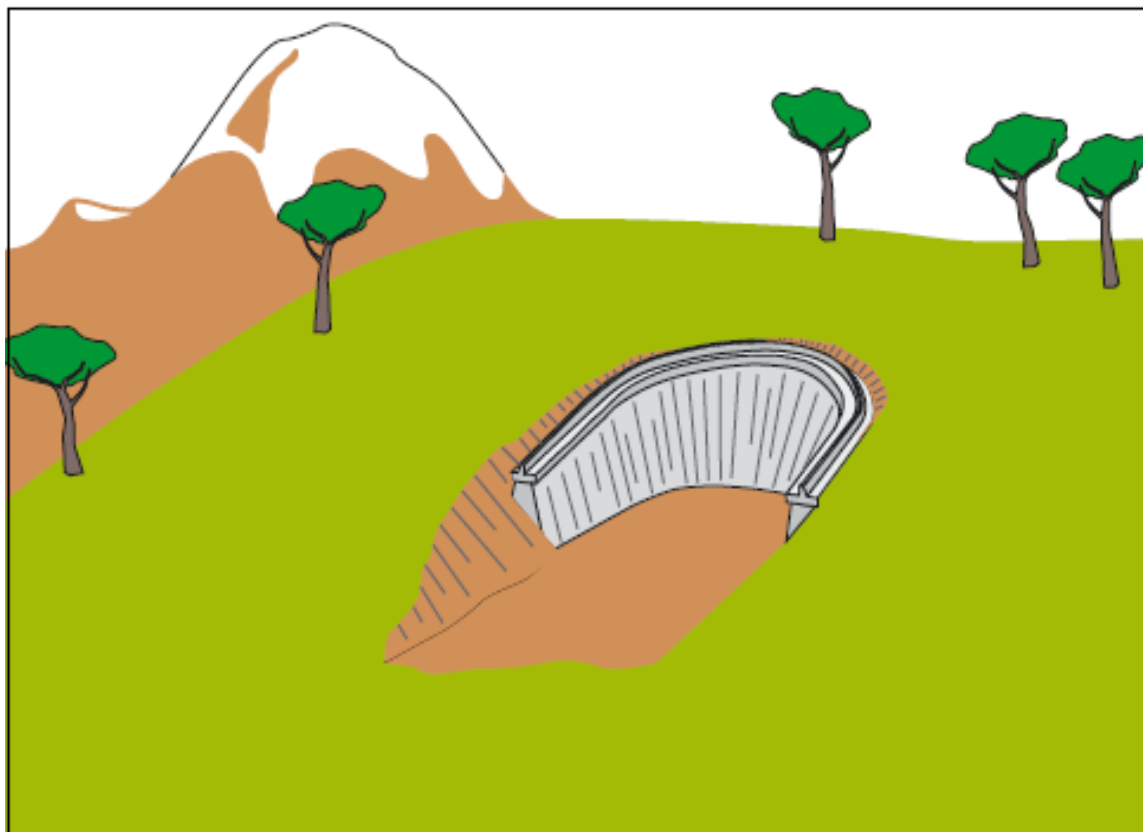
- پس از اجرای عملیات جت گروتینگ ، بالای شمع های ایجاد شده ، بوسیله یک دیواره بتنی ، به هم متصل می شوند تا ساختاری سفت و سخت ، ایجاد شود .



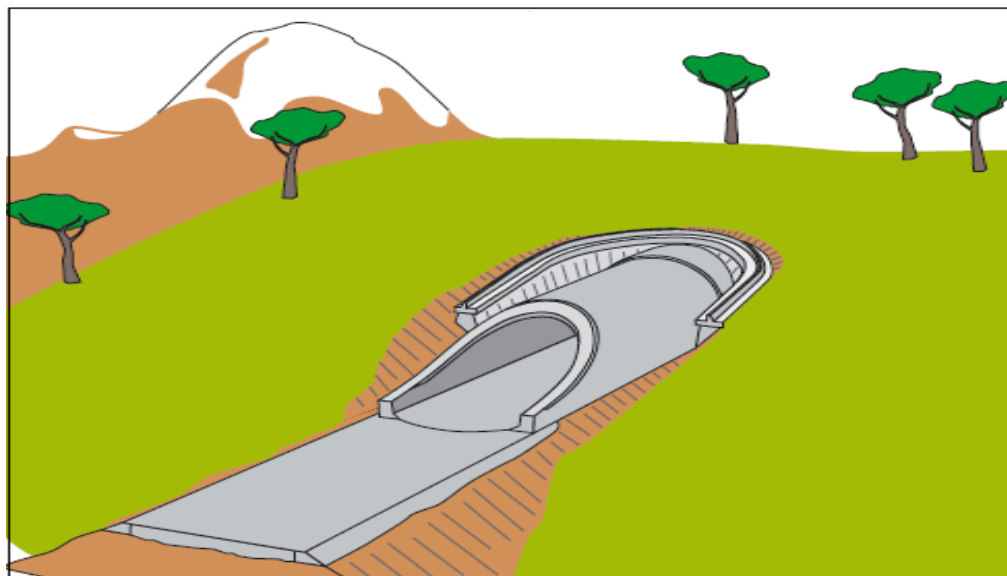
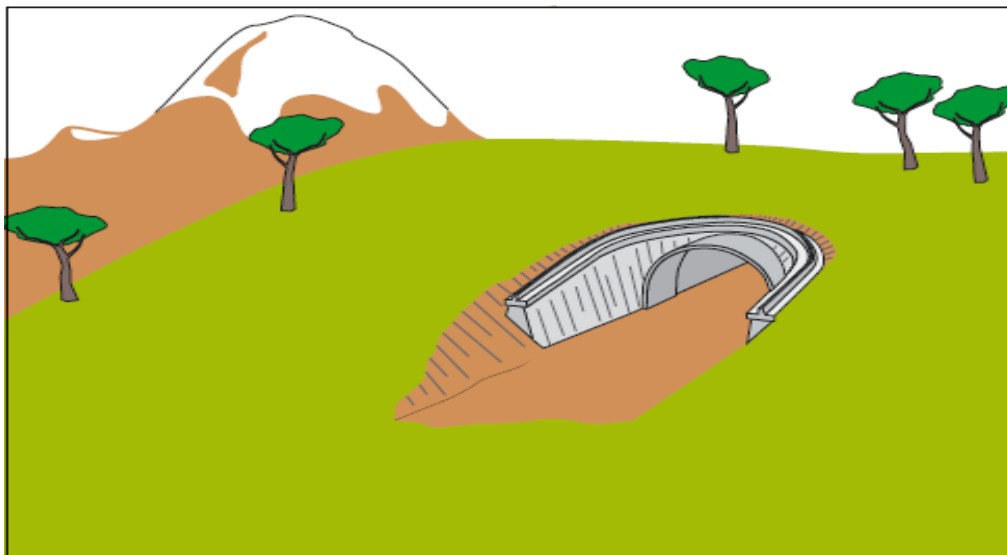
پس از اجرای دیواره بتنی، در بالای شمع ها، عملیات خاکبرداری ترانشه اجراء می شود

در عملیات خاکبرداری ترانشه، موارد زیر نیز باید در نظر گرفته شود:

- الف- اجرای یک لایه شاتکریت و مش بندی (در صورت نیاز)، در کل سطح دیواره ترانشه.
- ب- نصب لوله های زهکشی آب، به صورت افقی، در قسمت پائین ترانشه، برای خروج آب زمین و جلوگیری از ایجاد فشار هیدرولیکی بر دیواره تحکیم شده.

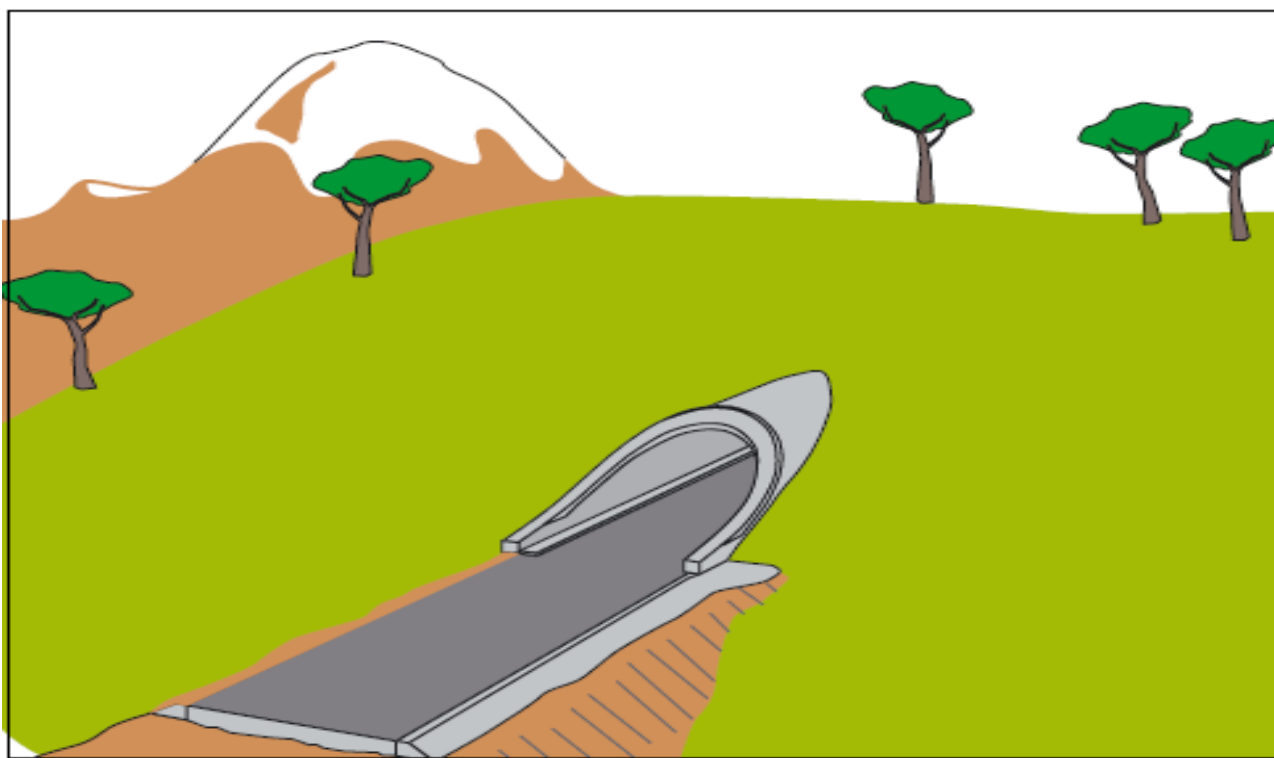


پس از خاکبرداری ترانشه ، شاتکریت دیواره، نصب لوله های زهکشی و... ، عملیات ساخت تونل مصنوعی اجراء می شود .



روش نوین کنترل ریسک در عملیات پرتال تونل

بعد از ساخت وساز تونل مصنوعی ، برای احیا و بازسازی محیط زیست در پرتال تونل ، قسمتی از تونل مصنوعی (متناسب با شیب طبیعی زمین) خاک ریزی می شود



ملاحظات نهایی :

تجارب بروز ، در مورد استفاده از تکنولوژی جت گروتینگ عمودی ، نشان داده است که ، این سیستم ، ساخت و ساز پرتال تونل ، در زمین های سست و نرم را ، کاملاً برطرف می کند و با استفاده از این تکنیک ، ساخت و ساز پرتال تونل در زمین های سست ، غیر چسبنده و ضعیف ، بدون ایجاد هرگونه ، حرکت در زمین های اطراف عملی می باشد .

همچنین استفاده از سیستم جت گروتینگ افقی ، در حفاری تونل ، این امکان را بوجود می آورد که ، حفاری تونل در زمین های سست و ضعیف ، با سر باره کم (کمی بیشتر از ۱ متر) ، بدون ایجاد هیچگونه مشکل ، برای ساختمان ها و جاده های اطراف تونل ، و بدون وارد شدن خسارت به محیط زیست ، انجام شود . دیگر مزایای استفاده از این سیستم نوین ، در عملیات ساخت و ساز پرتال و حفاری تونل در زمین های سست ، غیر چسبنده و ضعیف به قرار زیر می باشد :

۱- انطباق پذیری زیاد ، در تطبیق با هرگونه وضعیت ظاهری محیط.

۲- تسریع در زمان ساخت و ساز .

۳- کاهش هزینه های اجرایی برای ساخت و ساز .

اگر چه ، استفاده از ، تکنولوژی جت گروتینگ ، خود ، هزینه های قابل توجهی دارد اما استفاده از این تکنیک با ایجاد ایمنی و کیفیت بالا ، هزینه های ناشی از خسارات وارده به محیط اطراف (جاده ها ، ساختمان ها ، محیط زیست و ...) را بشدت کاهش می دهد . که تجربیات گذشته نشان داده است هزینه این تکنیک نوین ، بسیار کمتر از خسارات فوق می باشد .

جدای مزایای ناشی از ، عدم ایجاد اختلال در ترافیک ، استفاده از این تکنیک در ساخت و ساز پرتال و حفاری تونل ایلیا ، صرفه جویی های اقتصادی را در هزینه های ساخت و ساز ، را نیز ، در بر داشته است که ، در جدول زیر، نشان داده شده است .

سود ناشی از استفاده از تکنیک نوین جت گروتینگ ، به جای روش سنتی ، در ساخت و ساز پرتال و تونل ایلیا ، ۱۰۹ میلیون لیر

شرح	هزینه (میلیون لیر)	صرف جویی (میلیون لیر)
هزینه بهسازی زمین با استفاده از سیستم جت گروتینگ ، بدون ایجاد اختلال در ترافیک جاده محلی	۶۱۰	
خاکریزی بالای تونل مصنوعی ، به طول ۲۰ متر	۲۵	
افزایش طول تونل ، به جای ایجاد تونل مصنوعی ، به طول ۳۹ متر	۲۷۵	
حذف هزینه ساخت و ساز تونل مصنوعی به طول ۵۹ متر		۵۷۵
صرف جویی اقتصادی ناشی از جلوگیری از تغییر مسیر جاده های محلی		۱۵۶
صرفه جویی ناشی از بهبود شیب زمین		۳۱۹
صرفه جویی ناشی از عدم نیاز به تملیک زمین در محوطه پرتال تونل		۶۹
جمع	۹۱۰	۱۰۱۹

روش رفع ریسک تونلسازی در مناطق سست با روش PRECUTTING

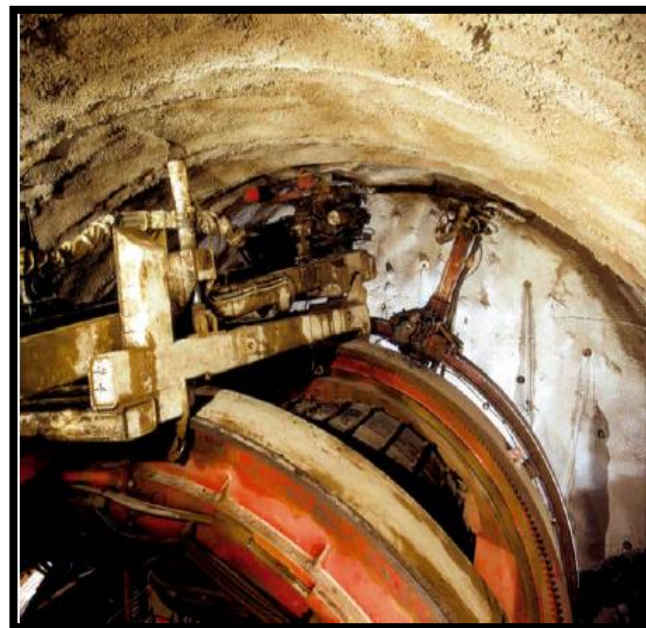
در سیستم پیش برش مکانیکی ، قبل از حفاری سینه کار ، با دستگاه پیش برش (precutting) که بر اساس طرح مقطع تونل ساخته شده است، یک شیار به ضخامت حدود ۲۴ سانتی متر ، در محیط پیرامونی تونل ، به طول حدود ۵/۴ متر ایجاد می شود و سپس با پر کردن این شکاف با استفاده از بتن همراه با الیاف فلزی و افزودنی های زودگیر ، یک جداره با ثبات و محکم ، سریعاً " ، در محیط تونل ایجاد می شود، که همین سازه باعث می شود ، حفاری مقطع تونل بر محیط پیرامونی تونل تاثیری نگذارد .



روش رفع ریسک تونلسازی در مناطق سست با روش

PRECUTTING

در روش precutting با ایجاد شکافی در محیط پیرامونی تونل و پرکردن آن با بتنی مسلح (بتن + فایبر فلزی) ، در محیط تونل قبل از حفاری ، یک دیواره بتنی با ویژگی های خوب مکانیکی ایجاد می شود . ایجاد این جدار بتنی ، قبل از حفاری ، سبب می شود که حفاری ، باعث ایجاد تنش و فشار بر توده سنگ های سست اطراف تونل نگردد .



مزایای اساسی روش precutting mechanical، (پیش برش مکانیکی) به شرح زیر است :

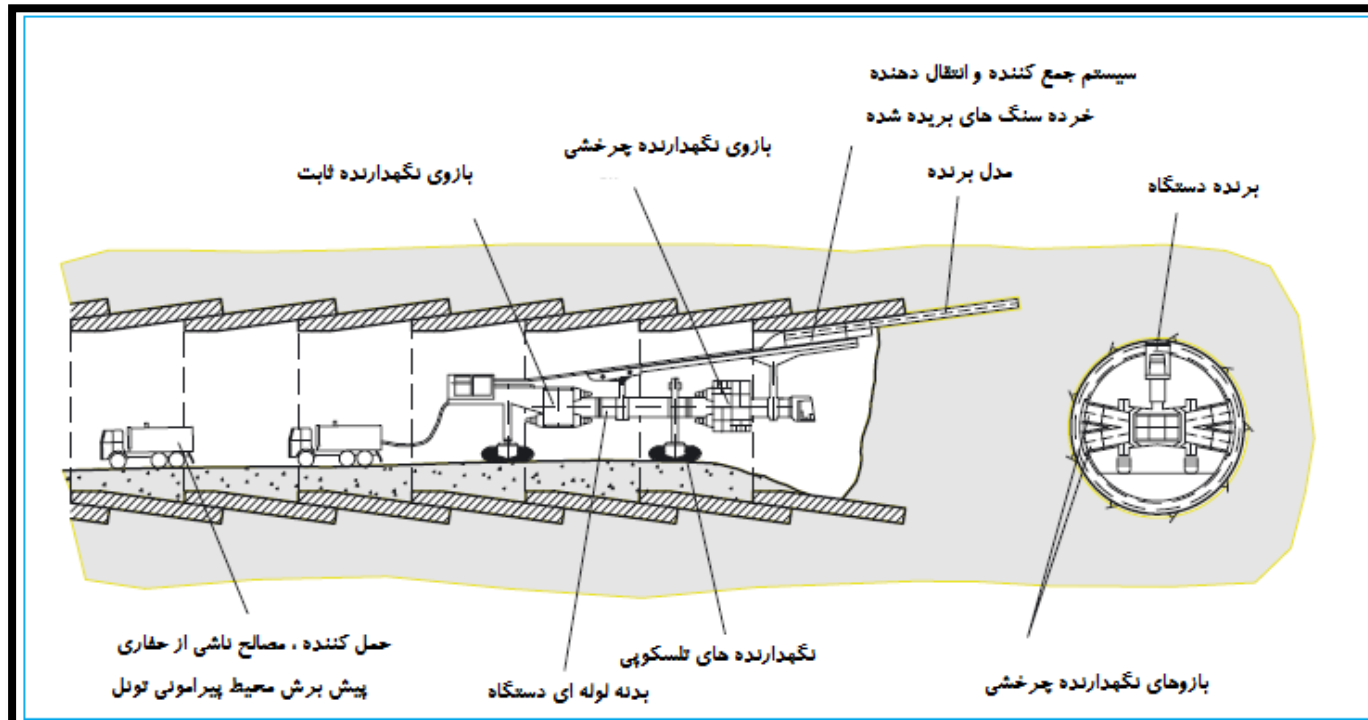
- ۱- با بکارگیری این متد ، تقریباً " **کل اضافه حفاری ، حذف می شود** که همین باعث کاهش نیاز به تزریق ، جهت پرکردن فضای بین پوشش تونل و زمین می شود .
- ۲- با ایجاد یک پوسته سفت و سخت در محیط پیرامونی تونل ، قبل از حفاری ، عملاً " **کلا" ، جابجایی در محیط پیرامونی تونل کاهش می یابد .**
- ۳- استفاده ، بسیار زیادی از مکانیزاسیون ، در این متد ، باعث پیشروی در ساخت وساز تونل ، به طور منظم ، با **سودمندی ، در نرخ و هزینه ساخت وساز تونل شده است .**
- ۴- در تکنیک **precutting mechanical**، (پیش برش مکانیکی) ، با ایجاد یک پوشش لاینینگ قبل از حفاری ، باعث می شود تنش وارده به لاینینگ نهایی تونل کاهش یابد ، در نتیجه ضخامت لاینینگ نهایی کمتر خواهد شد .



روش رفع ریسک تونلسازی در مناطق سست با روش PRETUNNELLING

در این فن آوری نوین ، دیگر نیازی به تقویت و بهسازی زمین اطراف و مقطع تونل ، برای حفاری ندارد . همچنین با توجه به ثبات و پایداری لاینینگ اجراء شده ، قبل از حفاری ، دیگر نیازی به عملیات نگهداری موقت ، مانند قاب گذاری و شاتکریت فایبر دار نخواهد بود .

در فن آوری نوین pretunnel ، با ایجاد یک ساختار بتنی مخروطی شکل ، بدون سر ، در جلوی سینه کار حفاری (شکل ۲۴) ، بسته به ، تصمیم گیران طراح و ضخامت جداره بتنی ، می تواند برای پوشش نهایی تونل نیز ، مورد استفاده قرار گیرد .



تفاوت اساسی تکنولوژی pretunnel با روش precutting مکانیکی ، به شرح زیر می باشد :

- ۱- در تکنولوژی pretunnel ، ضخامت جداره بتنی ، قبل از حفاری ، به جای ۱۸ الی ۲۴ سانتی متر (در روش پیش برش مکانیکی) ، ۴۰ الی ۸۰ سانتیمتر و طول جداره بتنی به جای ۳ الی ۴ متر (در روش پیش برش مکانیکی) ۸ الی ۱۰ متر می باشد .
- ۲- استفاده از بتن ، برای پر کردن فضای پیش برش محیطی تونل ، به جای شاتکریت .
- ۳- حفاری مقطع تونل ، پس از لاینینگ تونل انجام می شود .
- ۴- رینگ پوشش بتنی ، بلافاصله با کف بندی بتنی یا فلزی ، بسته می شود .

مزیت به دست آمده از این فن آوری نوین مشخص و به قرار زیر است :

- ۱- با ایجاد لاینینگ تونل ، قبل از حفاری ، نگهداری و ثبات حفاری سینه کار تونل ، بهتر خواهد بود .
- ۲- ایجاد حداکثر ایمنی ، برای پرسنل کارگاه با ایجاد یک پوشش بتنی در مقطع تونل ، قبل از حفاری .
- ۳- کاهش قابل توجه بیرون زدگی و همگرایی در مقطع تونل .
- ۴- کاهش شدید نشست سطحی

در تکنیک نوین ، pretunnel ، با ایجاد یک پوشش بتنی کاملاً محصور ، قبل از حفاری مقطع تونل ، بسادگی ، حفاری تونل اجراء می شود . البته طول حفاری ، کمتر از طول پیش لاینینگ اجراء شده می باشد . این پارامتر نیز باعث بوجود آمدن یک همپوشانی به هم پیوسته و ایجاد یک حاشیه ایمن و باثبات برای سینه کار تونل می گردد .



در عملیات اجرایی ساخت و ساز تونل ، با استفاده از تکنیک pretunnel، پیشروی تونل ، به صورت پیوسته انجام می شود و در صورتیکه در زمان ، عدم استفاده از این تکنیک ، حداقل ۴ فاز عملیاتی ، برای هر گام پیشروی باید انجام شود :

۱- تقویت سینه کار با استفاده از المنت های فایبر گلاس .

۲- ایجاد یک جداره بتنی ، قبل از حفاری سینه کار .

۳- حفاری سینه کار تونل در محدوده جداره پیش ساخته بتنی .

۴- نگهداری موقت مقطع تونل (شاتکریت + مش بندی + قاب گذاری و....) و همچنین بستن رینگ تونل با کف بندی تونل با لاینینگ کف تونل .

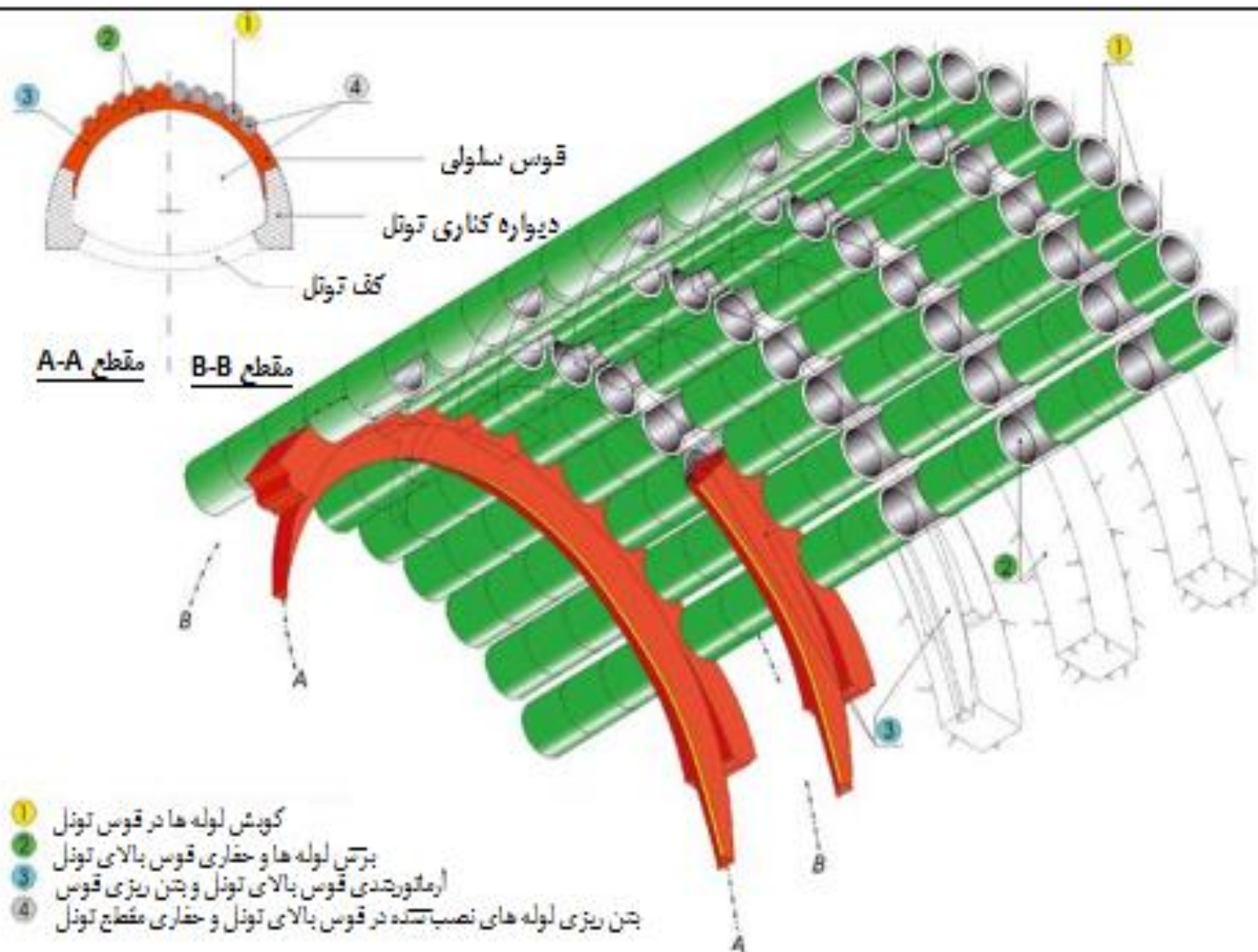


روش رفع ریسک تونلسازی در مناطق شهری

با روش سلول سازی افقی

طاق های سلولی ، یک تکنولوژی نوآورانه طراحی شده ، برای ساخت و ساز تونل ، با دهانه بزرگ در محیط های شهری می باشد ، بخصوص ، زمانی که سرباره کم عمق باشد و وضعیت زمین ، از لحاظ مشخصات ژئوتکنیکی ضعیف باشد . برای ساخت و ساز تونل های با مقطع بزرگ در محیط های شهری ، با سرباره های کوتاه و ضعیف ، همزمان با رفع ، اثر بر سازه های سطحی ، ارائه این متد نوین تونل سازی ، برای جلوگیری از کاهش ایمنی و حفظ رقابت اقتصادی ، لازم بود .

این متد نوین ساخت و ساز ، دارای ساختاری مانند داربست است ، در این متد ، در قوس بالای مقطع تونل ، سلول های طولی ، شامل تونل های کوچک مقطع و لوله هایی است که با یک سری متصل کننده های عرضی ، به هم وصل می شوند و سپس با بتن پر می شوند . (شکل ۱) مطالعات انجام شده در این زمینه ، نشان داده است که با این متد نوین ، ساخت و ساز تونل با عرض حتی بیش از ۶۰ متر در زمین های سست ، زیر سطح ایستابی آب ، بدون ایجاد هرگونه مشکل در ساختار سطحی ، ممکن می باشد . یکی از مزیت های این تکنیک نوین ، نسبت به ساخت و ساز تونل ، به روش های سنتی ، در این است که ، با بکارگیری از این تکنیک ، این امکان وجود دارد ، که بدون هیچگونه تاثیر و جابجایی در سطح زمین ، پروژه ساخت و ساز تونل ، به پایان می رسد .

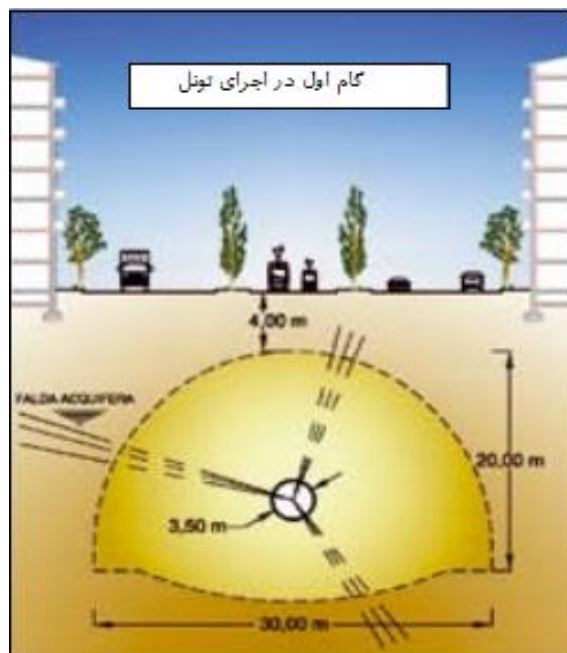


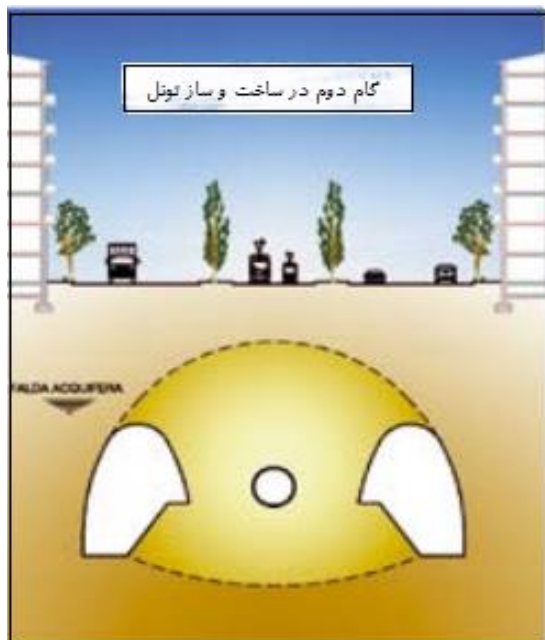
روش رفع ریسک تونلسازی در مناطق شهری با روش سلول سازی افقی

مراحل اجرایی ساخت و ساز تونل های بزرگ شهری ، با استفاده از تکنیک قوس سلولی :

برای بهسازی ساختار زمین ، با استفاده از تکنیک نوین ، قوس سلولی ، طبق مراحل زیر عملیات اجرایی ، انجام می شود

حفاری یک تونل پایلوت در مرکز تونل اصلی و ، بهسازی کل محدوده تونل ، با استفاده از تکنیک





حفاری قسمتی از دیواره های کناری تونل .



پس از اتمام حفاری قسمت های کناری تونل و بتن ریزی دیواره در آنها ، در یک سایت کاملاً مستقل ، یک سری تونل های کوچک همراه با نصب لوله بوسیله سیستم **pipe jacking** در محیط جداره آنها ، به قطر ۱۰/۲ متر، در محیط پیرامونی تونل در قسمت فوقانی اجراء می شود .



قسمتی از جدار طرفین لوله ها بریده می شوند و سپس با آرماتور بندی ، بتن ریزی ، برای اتصال سلول های ایجاد شده در قوس بالای تونل ، به هم ، استفاده می شود



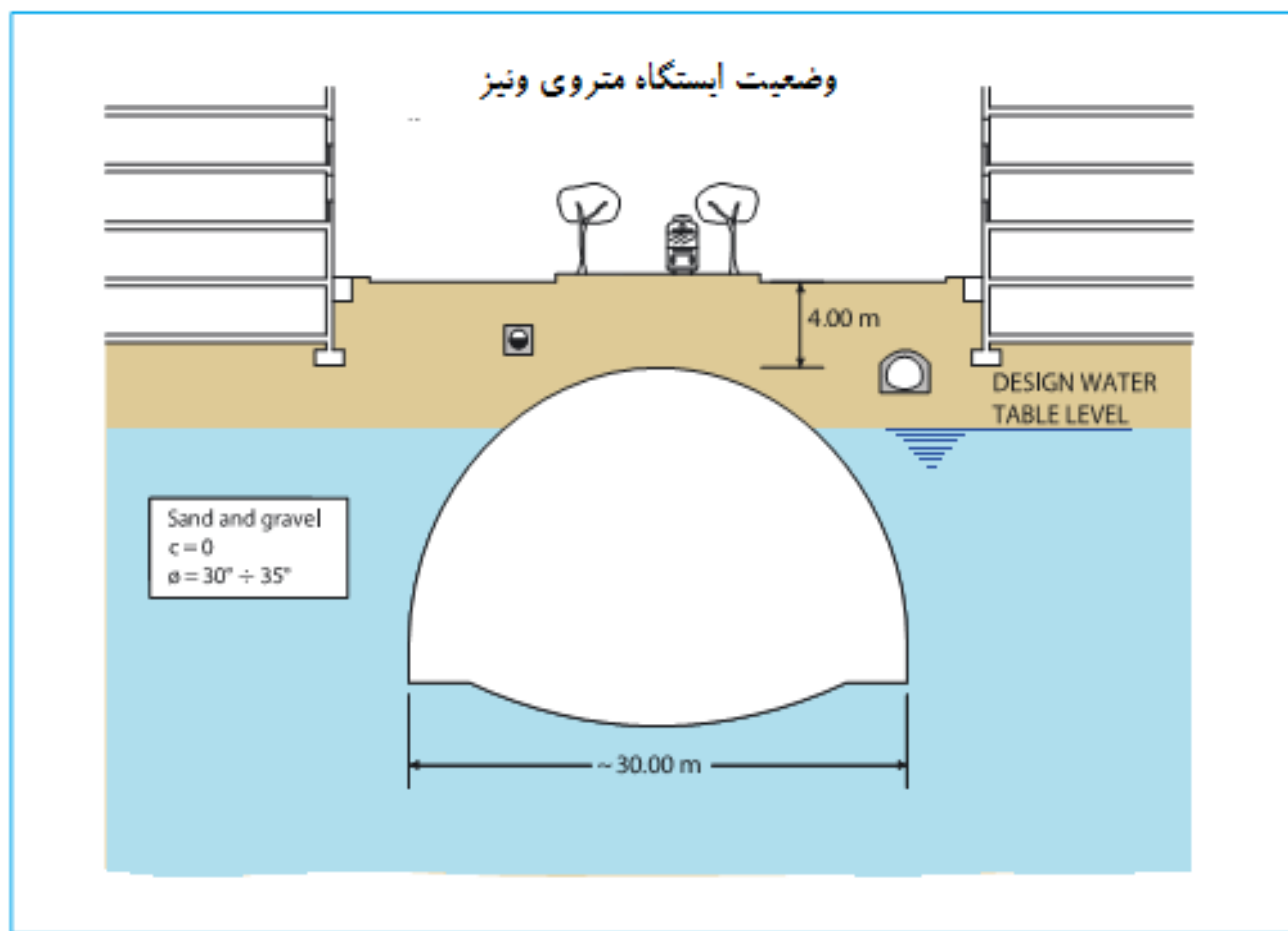
۱۰ تونل کوچک حفاری شده در قسمت قوس بالایی ، تونل اصلی ، با بتن ریزی پر می شوند . سپس حفاری ایستگاه در زیر سلول های مقاوم ایجاد شده ، در قوس بالایی ، شروع می شود .



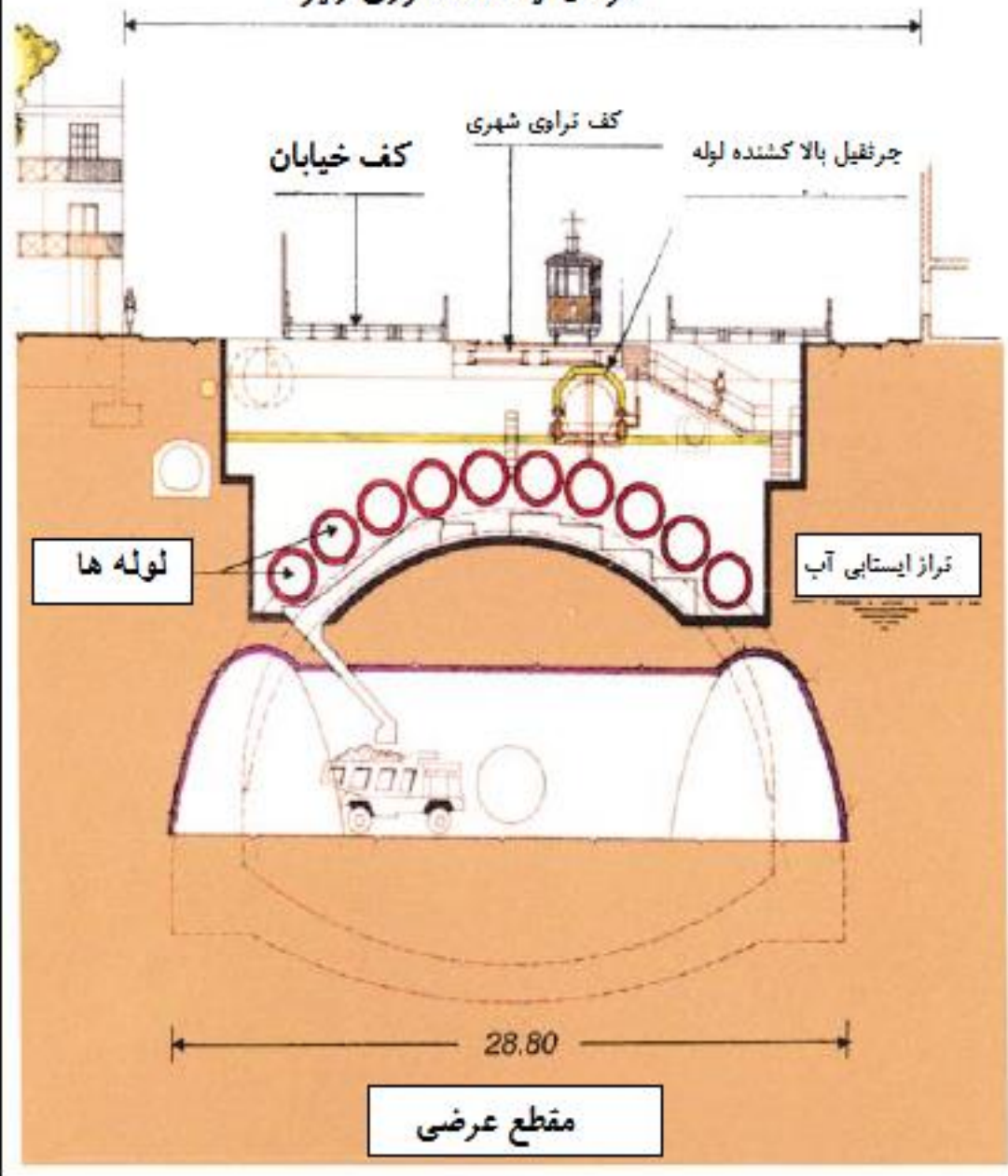
حفاری بنچ تونل اصلی و لاینینگ کف تونل

این روش نوآورانه ، برای ساخت و ساز تونل های بزرگ شهری ، برای اولین بار ، برای ساخت ایستگاه راه آهن شهری ، ونیز مورد استفاده قرار گرفت . با توجه به ساختار ضعیف زمین در محدوده ایستگاه مترو و ساختمان ها و تاسیسات شهری بالای ایستگاه ، اگر از سیستم های رایج استفاده می شد ، قطعا " با مشکلات عدیده و پرهزینه ای روبرو می شد یا اگر این سیستم نوین ، ابداع نمی شد ، عملا " ساخت و ساز این ایستگاه ، غیر ممکن بود

ایستگاه متروی ونیز ، با مقطع ۴۴۰ متر مربع ، ۶ برابر ، از مقطع تونل های دو قلوئی نرمال مترو بزرگتر و تقریبا " دو برابر ایستگاه ساخته شده در میلان بود . در این شرایط ، قطعا " بدون استفاده از این تکنیک نوین قوس سلولی در طاق بالای ایستگاه ، برای ایجاد یک دیواره مقاوم ، قبل از حفاری ، ساخت و ساز ایستگاه متروی ونیز ، در ساختار ضعیف و غیر چسبنده زمین ، با سرباره ای حدود ۵ متر ، در زیر فونداسیون ساختمان های قدیمی با حدود ۴ الی ۵ متر، غیر ممکن بود .



گودال ایستگاه متروی ونیز



گودال ایستگاه متروی ونیز

جرثقیل بالا کشنده لوله ها

تجهیزات حفاری

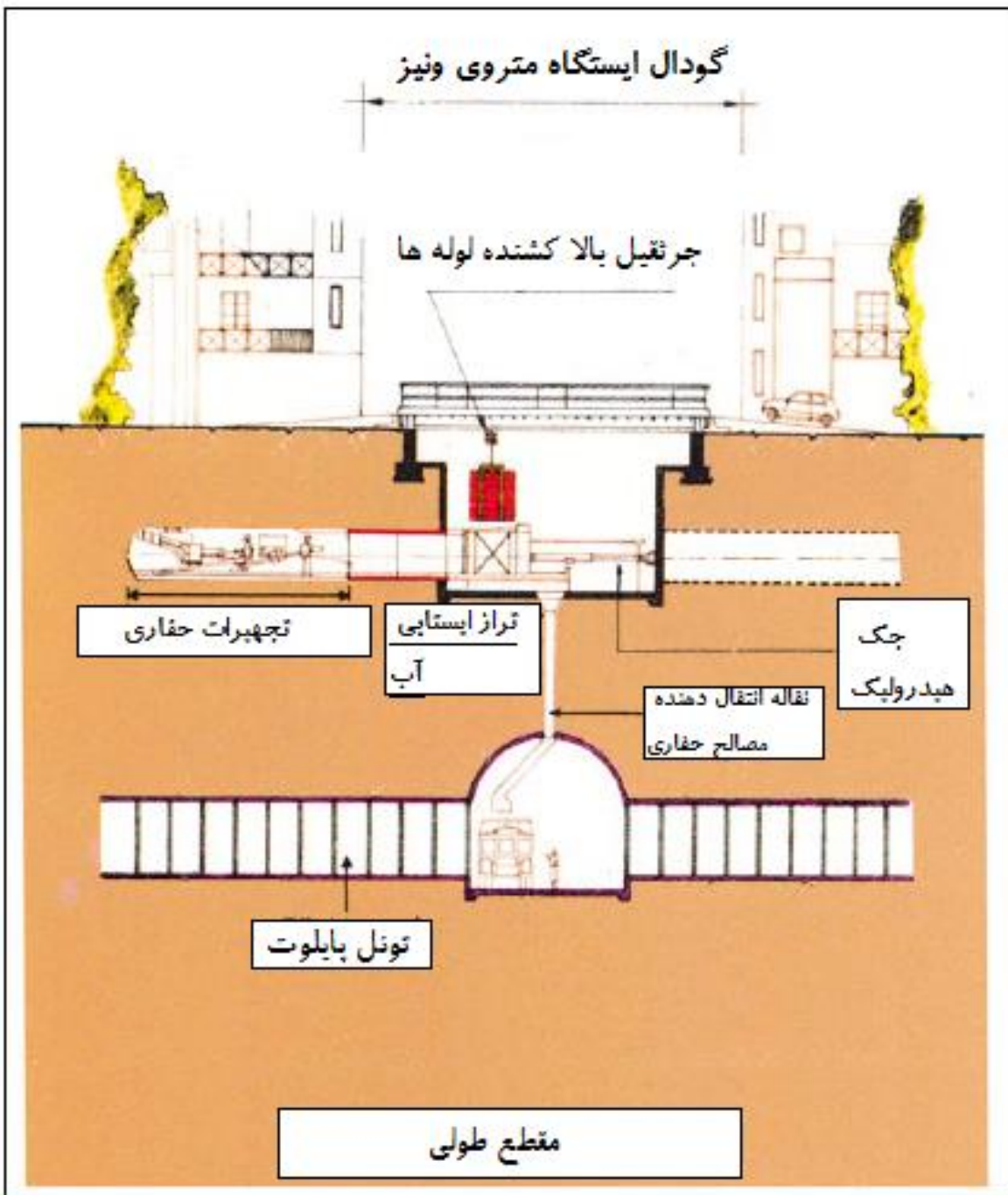
تراز ایستابی
آب

چک
هیدرولیک

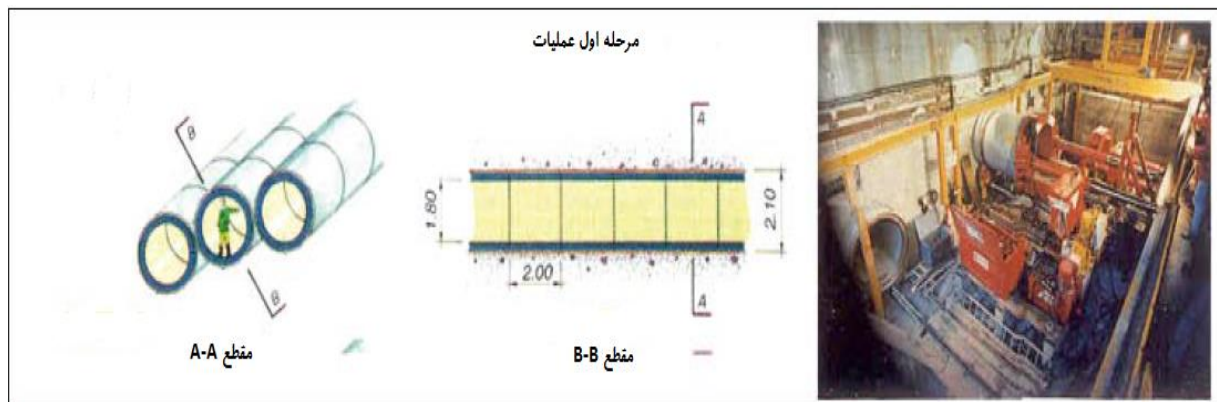
نقاله انتقال دهنده
مصالص حفاری

تونل پایلوت

مقطع طولی



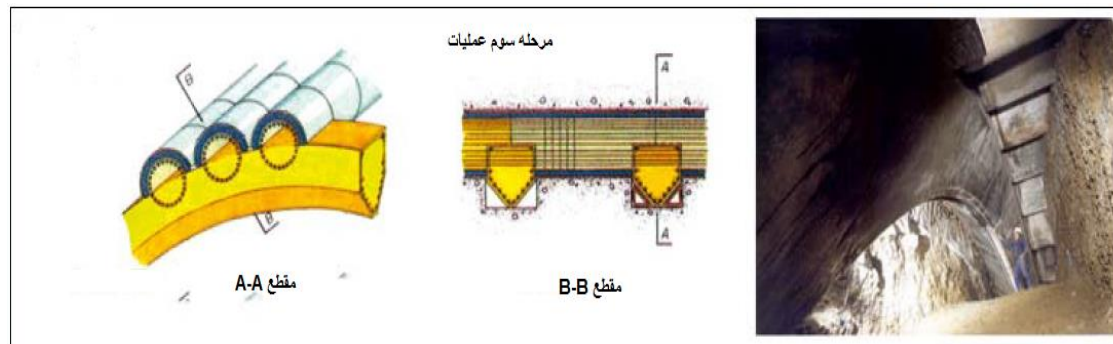
مرحله اول ، لوله رانی در قوس بالای تونل اصلی



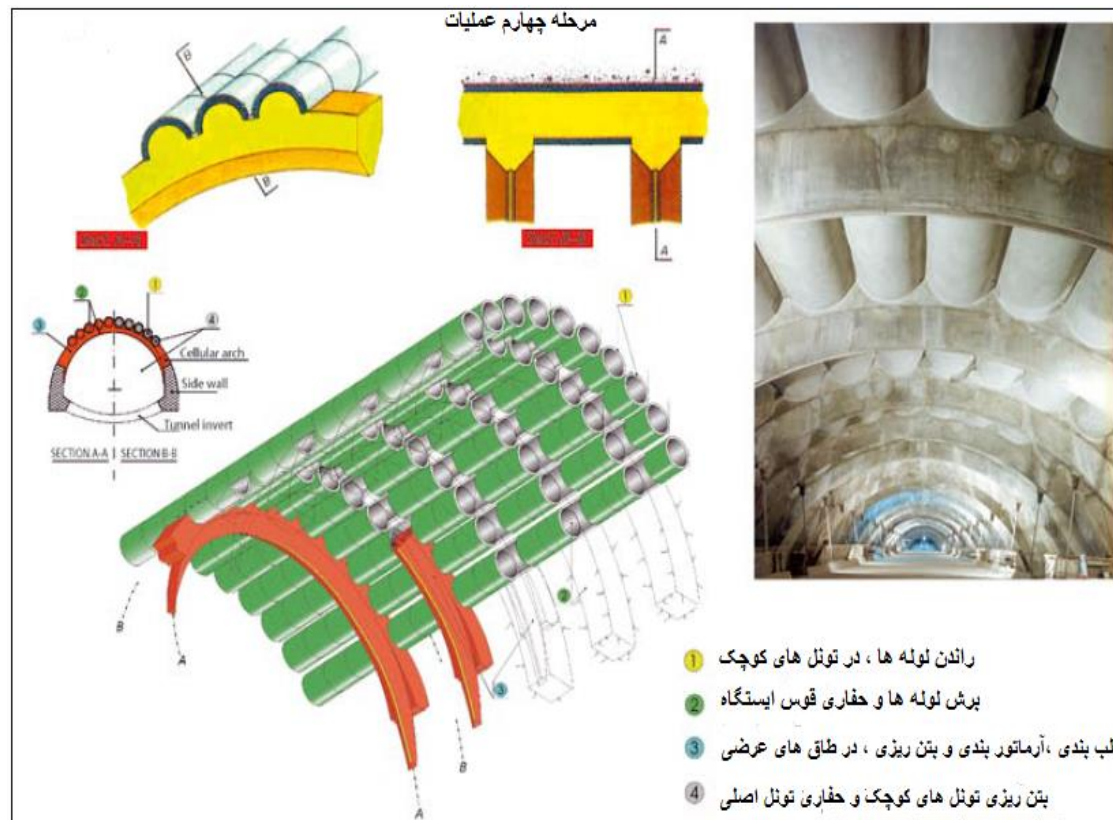
برش لوله ها ، برای اتصال لوله ها به هم در طول تونل اصلی



آرماتور بندی و بتن ریزی طاق های اتصال دهنده لوله ها

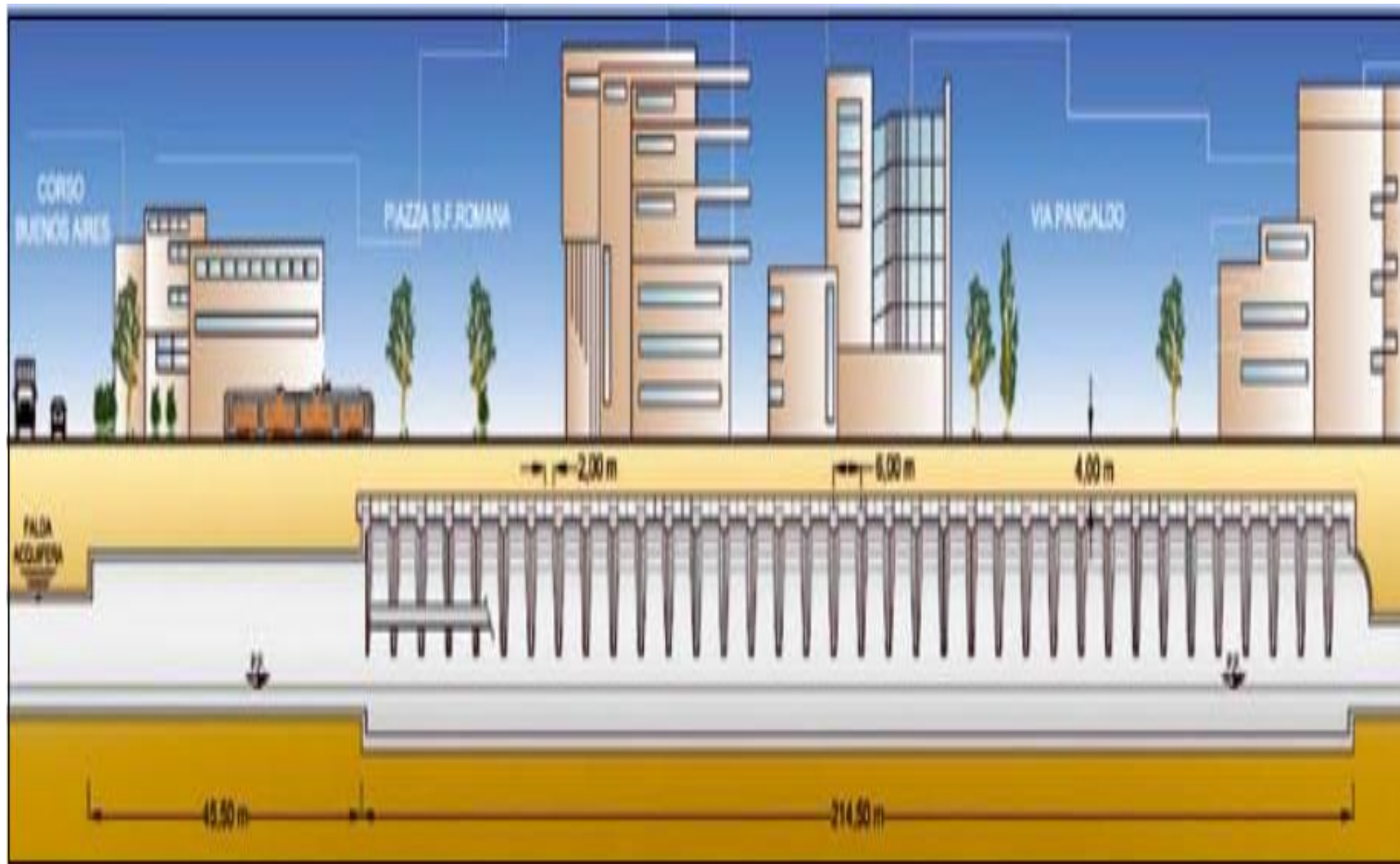


بتن ریزی لوله ها



روش رفع ریسک تونلسازی در مناطق شهری

با روش سلول سازی افقی



روش رفع ریسک تونلسازی در مناطق سست با روش JETGROUTING

نگهداری زمین اطراف تونل ، بوسیله ستون های افقی بهسازی شده ، به شکل مخروط ناقص ، ایجاد شده با سیستم جت گروتینگ:

سیستم جت گروتینگ ، یک سیستم اساسی برای بهسازی زمین می باشد . در این سیستم ، بهسازی ، با تزریق کنترل شده سیمان و اختلاط آن با مصالح زمین ، با فشار بالا (حدود ۳۰۰ الی ۶۰۰ بار) ، از طریق نازل با قطر مناسب ، ایجاد می شود.

اگر چه ، روش های مختلفی برای سیستم جت گروتینگ (یک مایعی ، دو مایعی و سه مایعی) وجود دارد ولی در عملیات بهسازی تونلسازی با چال افقی ، معمولاً "از دوغاب سیمان استفاده می شود .

میزان و حجم تزریق ، بوسیله میزان نفوذ پذیری و حد اشباع زمین مشخص می شود . بنابر این مقدار جت گروتینگ به میزان درزه و شکاف و تخلخل زمین ، وابسته می باشد .

با استفاده از سیستم جت گروتینگ ، درزه و شکاف های زمین ، بوسیله تزریق ملات سیمان ، با فشار و سرعت بالا ، با مصالح زمین مخلوط می شود . همین باعث می شود که خواص مکانیکی زمین بهسازی و بهبود می یابد . تا جائیکه خواص زمین ، با این روش ، قابل مقایسه با یک سازه بتنی می شود .

عملیات اجرایی برای تکمیل این پروسه (جت گروتینگ) ، شامل دو مرحله جدا از هم می باشند :

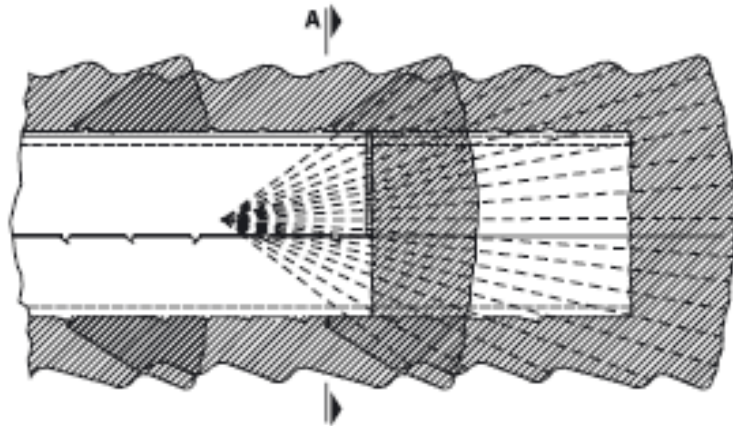
۱. حفاری چال های تزریق ، تا عمقی کمتر از قطر تونل بوسیله دستگاه ویژه ای که در آن ، وسیله تزریق
۲. (نازل تزریق) در انتهای راد حفاری، فیکس شده است .
۳. تزریق به طور همزمان با چرخش و خارج شدن راد حفاری از چال ، سرعت خروج راد حفاری و فشار تزریق ، وابسته به نوع زمین از قبل طراحی و مشخص می شود .



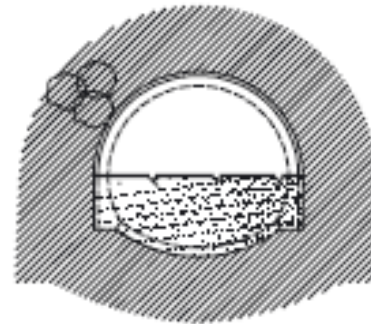
CONVENTIONAL INJECTIONS

AHEAD OF THE FACE

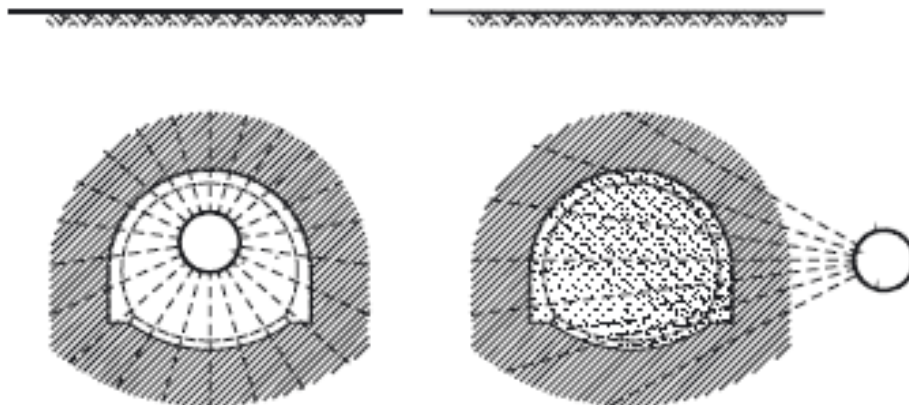
LONGITUDINAL PROFILE



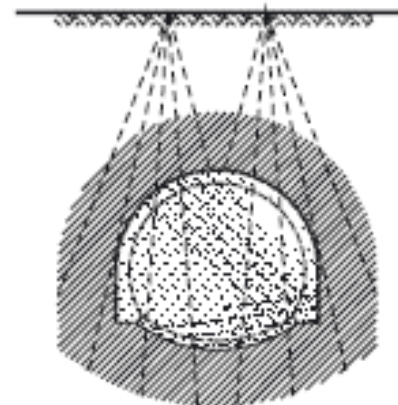
SECTION A-A



FROM A PILOT TUNNEL

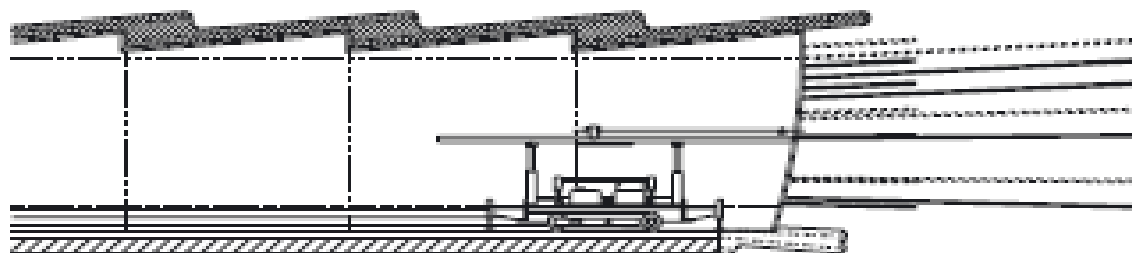


FROM THE SURFACE



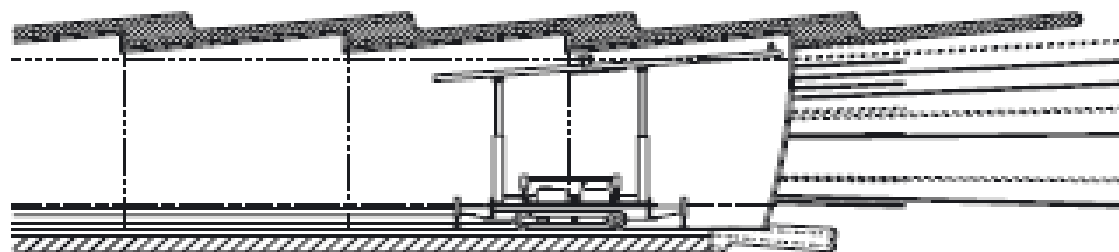
مرحله اول :

تقویت سینه کار بوسیله المنت های فایبرگلاس یا بهسازی
بوسیله ایجاد ستون های افقی بوسیله سیستم جت گروتینگ



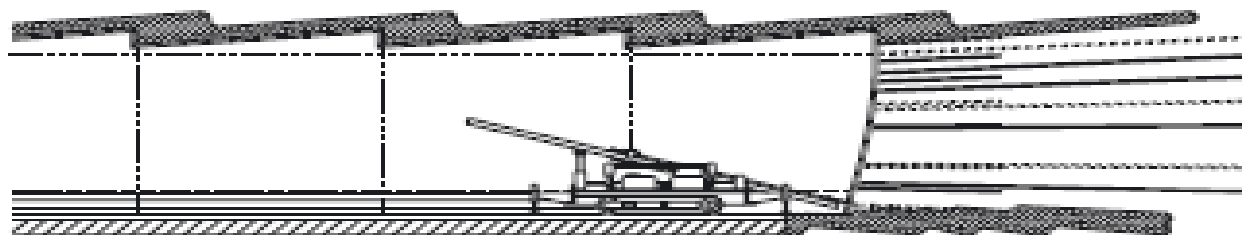
مرحله دوم :

ایجاد ستون های افقی بهسازی شده در جلوی سینه کار تونل



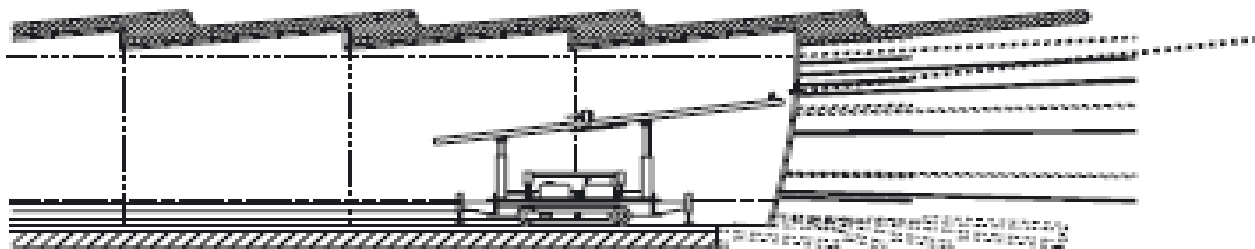
مرحله سوم :

ایجاد ستون های افقی برای تقویت زمین در زیر کف تونل



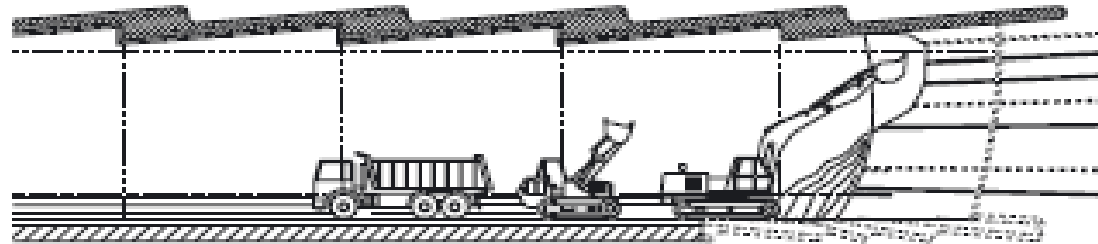
مرحله چهارم :

نصب یک رینگ از لوله های زهکشی در سینه کار تونل در صورت نیاز



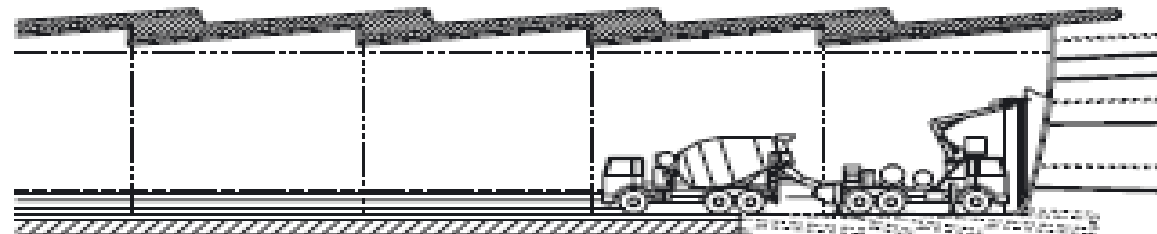
مرحله پنجم :

حفری تونل به صورت تمام مقطع همراه با نصب رینگ های فلزی و شاتکریت



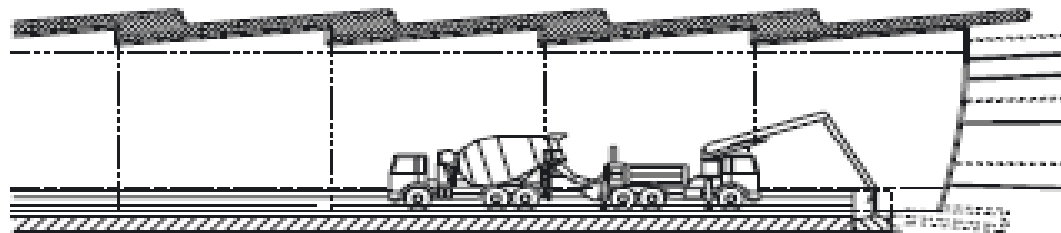
مرحله ششم :

سینه کار به صورت مقطع حفری می شود و سپس با شاتکریت پوشانده می شود



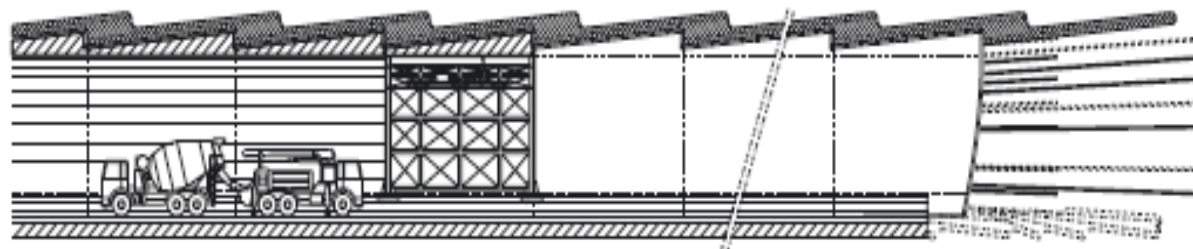
مرحله هفتم :

حفری پاشنه و کف تونل و سپس قالب بندی و بتن ریزی با فاصله ای کمتر از قطر تونل از سپینه کار



مرحله هشتم :

نصب لایه های جلوگیری کننده از عبور آب و سپس اجرای لاینیگ نهایی تونل تا فاصله ای کمتر از ۲ الی ۳ برابر قطر تونل



روش رفع ریسک تونلسازی در مناطق سست با روش FOREPOLING

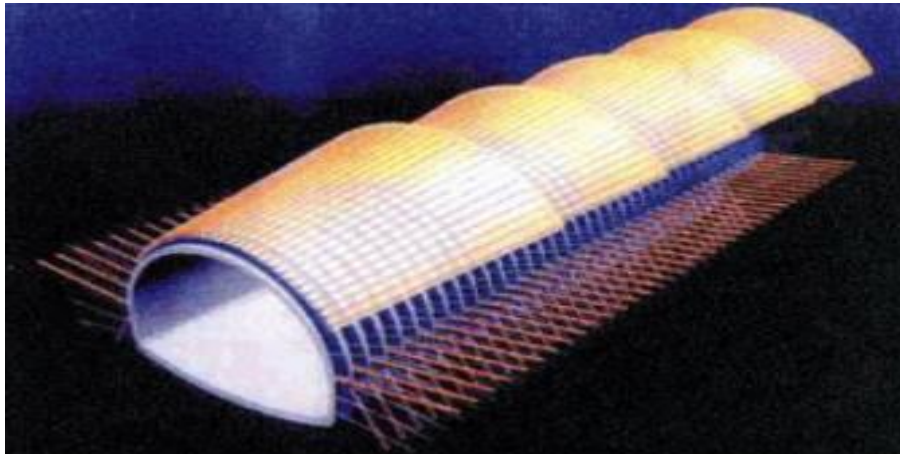
روش اجرای عملیات forepoling:

- ۱- فاصله لوله ها در اجرا حدوداً « بین ۳۵ الی ۴۵ سانتی متر اجرا می گردد که معمولاً » در بدترین نوع خاکها از نظر طراحی و اجرا ، جوابگو بوده است . قطر لوله ها ، وابسته به شرایط محیطی تونل ، بین ۶۰ الی ۲۰۰ میلی متر است
- ۲- میزان نفوذ تزریق ، وابسته به فشار تزریق (حدود ۲۰ اتمسفر) و نوع ساختار زمین می باشد ، براساس تجربیات گذشته قطر ستون بهسازی شده حدود ۱,۶ قطر حفاری می باشد ، برای مثال در چال حفاری به قطر ۱۳۰ میلیمتر ، قطر ستون افقی بهسازی شده حدود ۱۹۵ میلیمتر بوده است .
- ۳- زاویه حفاری برای چالهای فورپولینگ ، معمولاً « بین ۳ الی ۶ درجه انتخاب می شود .
- ۴- طول حفاری در این روش ، معمولاً « حداقل ۶ متر و حداکثر ۳۰ متر بوده است .



روش رفع ریسک تونلسازی در مناطق سست با روش FOREPOLING

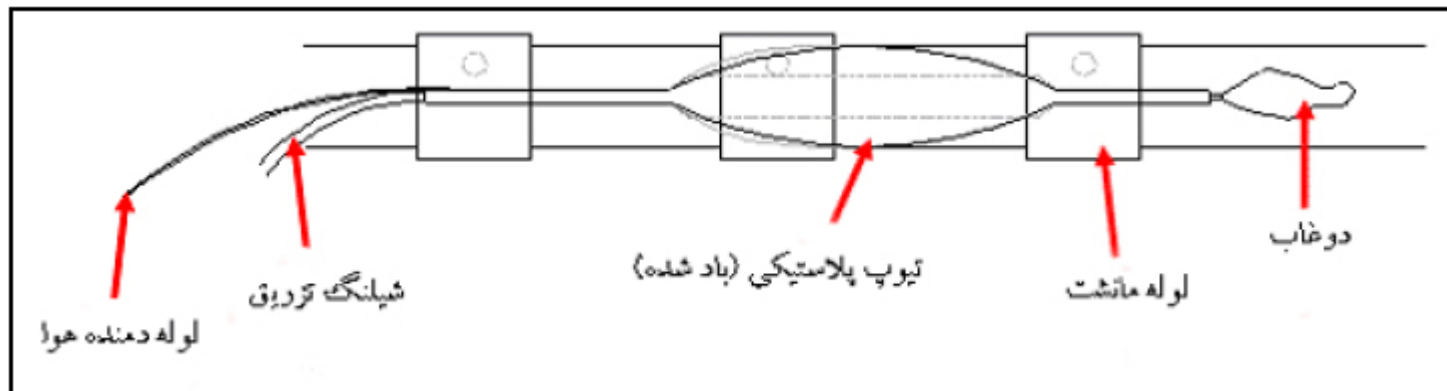
۵- بر اساس تجربیات گذشته ، سرعت حفاری معمولاً « ۵۰ متر در ساعت بوده است .



روش رفع ریسک تونلسازی در مناطق سست با روش

FOREPOLING

۶- میزان همپوشانی لوله ها در طراحی مشخص می شود و معمولا « حداقل ۲ متر می باشد (لوله ها مشبک می باشند ، در هر ۵۰ سانتی متر ، ۳ سوراخ به قطر ۱۰ الی ۱۵ میلیمتر).



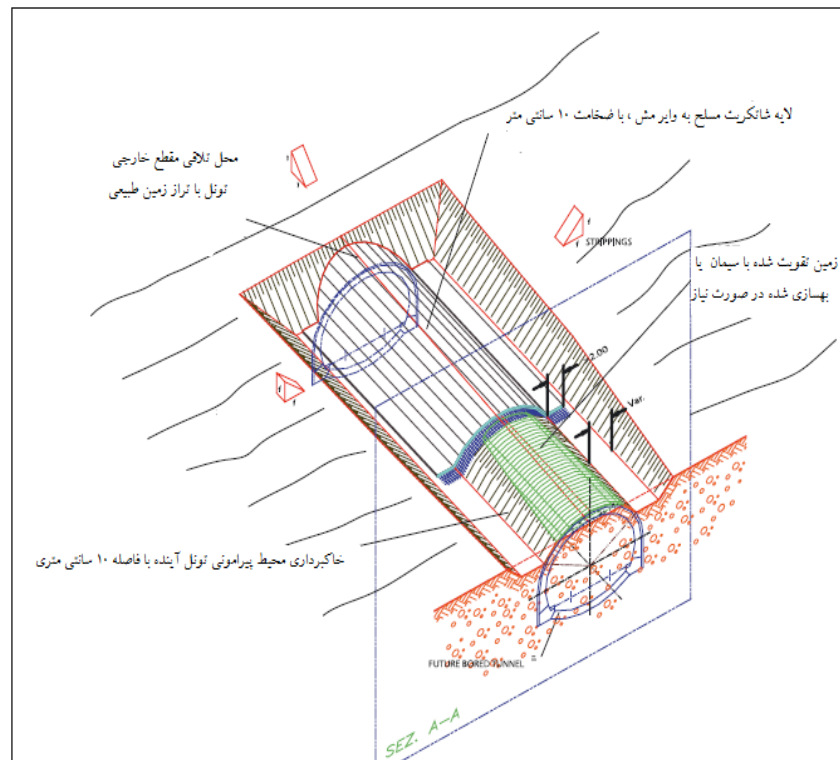
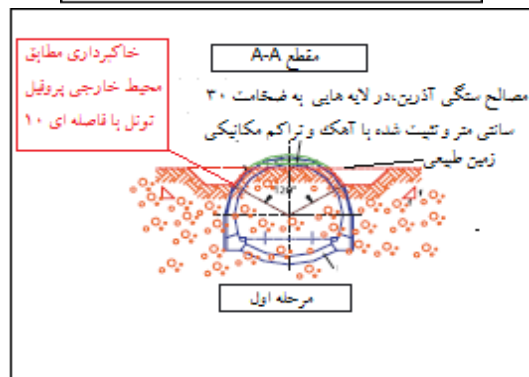
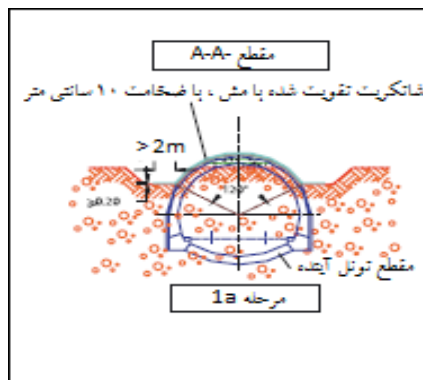
تکنیک نوین ساخت و ساز سرباره مصنوعی زمین ، در تونل سازی

- استفاده از تکنیک سرباره مصنوعی ، دیگر نیازی به حفاری پرتال عمیق ندارد و مزایای زیر را نیز ، اتخاذ این روش در بر دارد :
- ۱- حفظ ایمنی با توجه ثبات شیب طبیعی در این روش .
- ۲- عدم نیاز به حفاری زیاد زمین در پرتال تونل .
- ۳- عدم بروز مسائل مربوط به تاثیر عملیات ساخت و ساز (حفاری پرتال) ، بر ساختمان ها و تاسیسات مجاور سطحی .
- ۴- کاربرد این سیستم در صورت بروز زلزله در منطقه ، مقاوم تر است .
- ۵- عدم بروز خسارت و تخریب محیط زیست .
- ۶- عدم ایجاد محدودیت در محیط طبیعی و مسائل اجتماعی (با ایجاد ترانشه)
- لذا با توجه به مزایای ذکر شده در مورد تکنیک نوین سرباره مصنوعی ، و پیش بینی هزینه های ناشی از بروز مشکلات در صورت استفاده از سیستم های سنتی ، مسئولین پروژه تصمیم گرفتند از این سیستم نوین ، برای ساخت و ساز پروژه استفاده کنند .

تکنیک نوین ساخت و ساز سرباره مصنوعی زمین ، در تونل سازی

● مرحله حفاری و خاکبرداری :

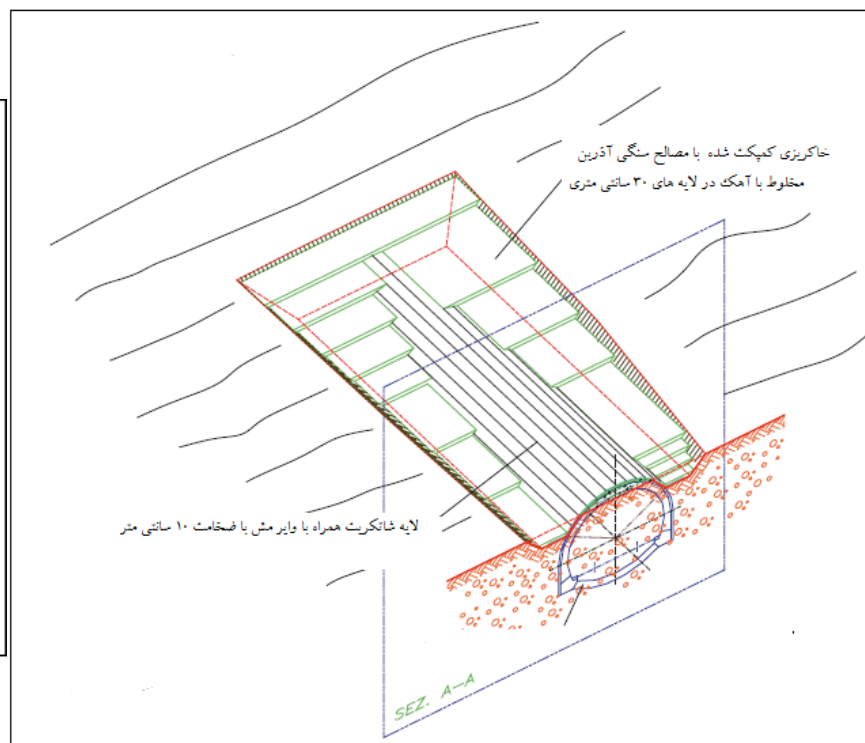
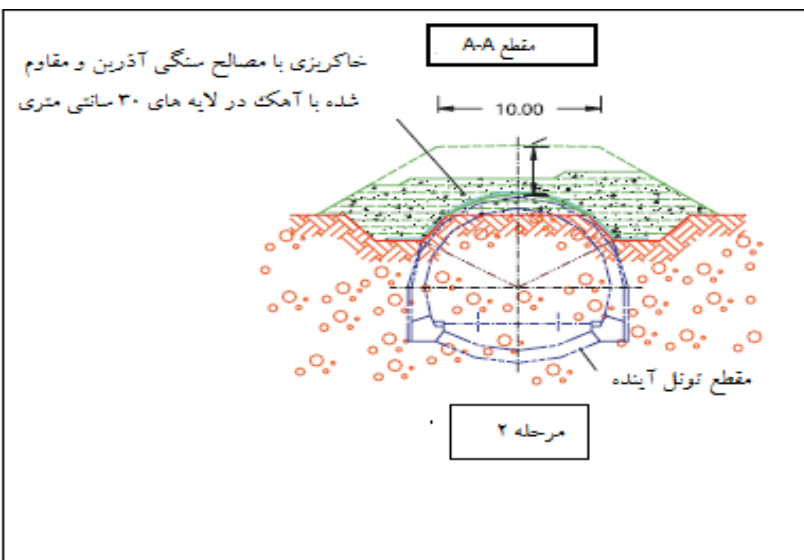
● در اولین مرحله ، بر اساس توپوگرافی زمین طبیعی و هندسه تونل آینده ، برای دستیابی به محیط خارجی تونل آینده ، در قسمت هایی باید خاکبرداری انجام شود و در قسمت هایی خاک ریزی (مصالح آذین مخلوط با آهک) ، پس از دستیابی به محیط خارجی تونل آینده ، یک لایه شاتکریت همراه با وایر مش ، با ضخامت ۱۰ سانتی متر در قسمت قوس تاج تونل آینده ایجاد می شود .



تکنیک نوین ساخت و ساز سرباره مصنوعی زمین ، در تونل سازی

⊙ خاکریزی و کوبش سرباره مصنوعی :

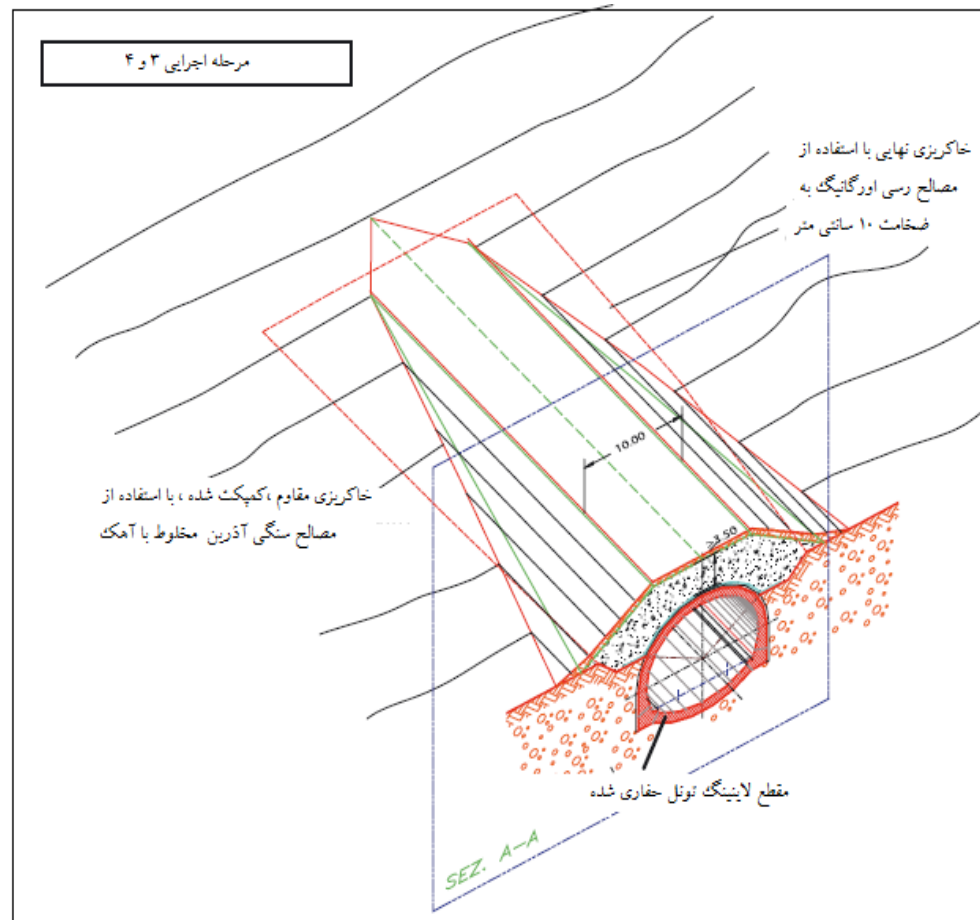
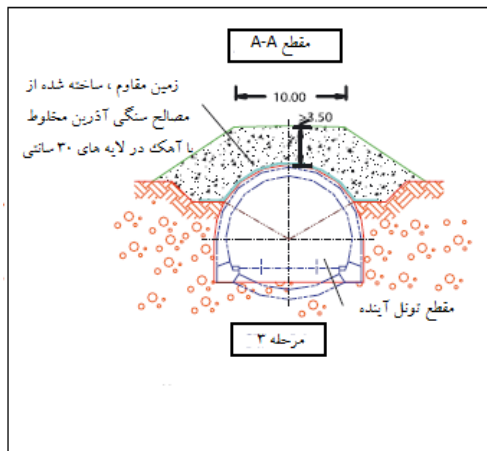
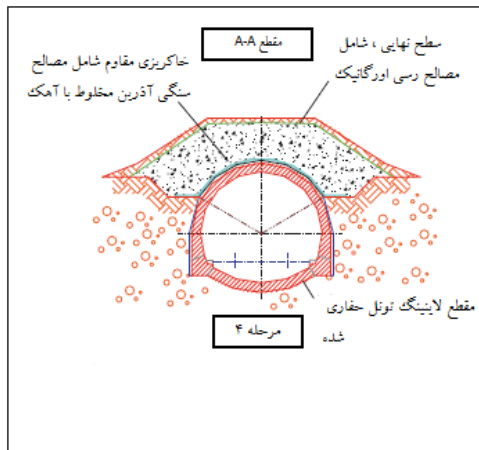
- ⊙ پس از شکل دهی قوس بالای تونل آینده و اجرای یک لایه شاتکریت همراه با نصب وایر مش به ضخامت ۱۰ سانتی متر ، عملیات مرحله دوم ، خاکریزی و کوبش سرباره مصنوعی ، با اختلاط مصالح سنگی آذرین با ۳ الی ۶ درصد آهک ، برای افزایش مقاومت مصالح خاکریزی ، با ، لایه هایی ۳۰ سانتی متری ، تا حداقل ۳/۵ متر ضخامت ، اجراء می گردد .



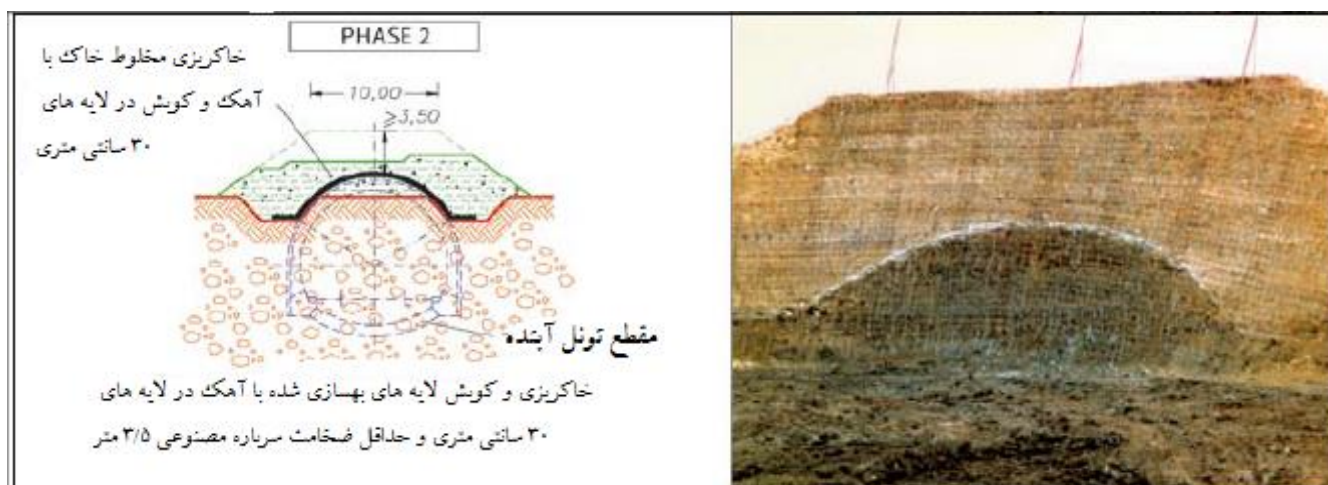
تکنیک نوین ساخت و ساز سرباره مصنوعی زمین ، در تونل سازی

● مرحله نهایی خاکریزی و پوشش رویه سرباره :

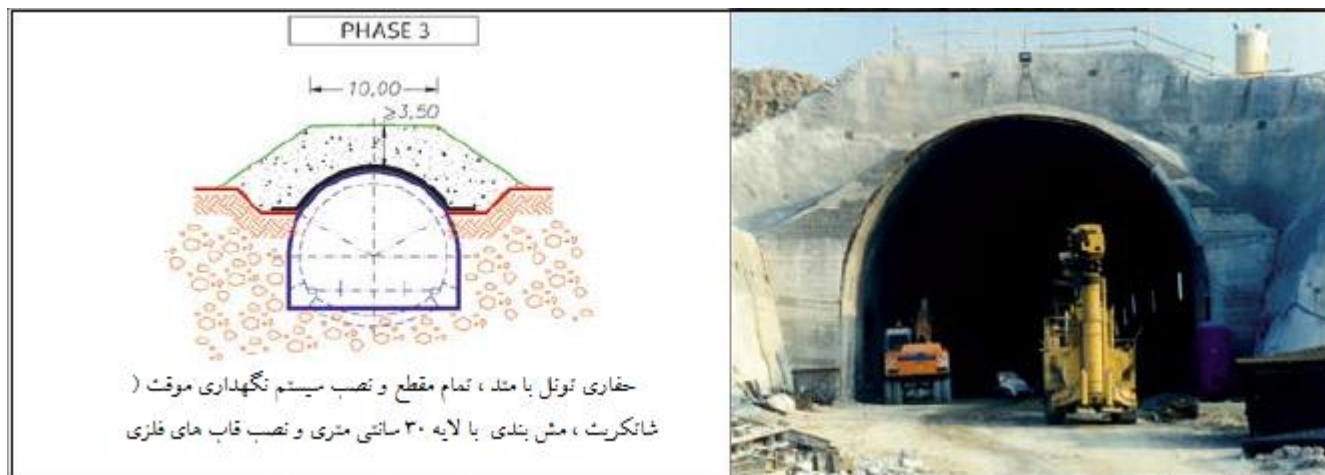
● پس از تکمیل خاکریزی بالای محیط خارجی تونل آینده (حداقل ۳/۵ متر) جهت بازسازی محیط زیست ، بهسازی چشم انداز منطقه و ایجاد شرایطی برای ایجاد فضای سبز ، یک لایه ۱۰ سانتی متری ، با مصالح رسی اورگانیک ، بر روی سرباره مصنوعی ، خاکریزی می گردد .



تکنیک نوین ساخت و ساز سرباره مصنوعی زمین ، در تونل سازی



تکنیک نوین ساخت و ساز سرباره مصنوعی زمین ، در تونل سازی



با تقدیر و تشکر از همراهی شما عزیزان

انجمن تونل ایران

