متخصصین ریلی ایران

Iranian Railway Experts(IRREs)

پویا عبای کوچه باغ

محمد خالقی

روش های نوین حفاری تونل و مترو

متخصصین ریلی ایران

Iranian Railway Experts(IRREs)

روش های نوین حفاری تونل و مترو

روش های مورد بحث در این پروژه :

۱- روش سنتی و انفجاری

۲- روش اتریشی جدید

۳-روش ماشین TBM

۴- روش Cut and Cover

حفاری تونل

۱- روش سنتی و انفجاری

(Drill-and-Blast)

گام های حفاری تونل به روش انفجار ، شامل موارد زیر میباشد

این ماشین که به ماشین تونل سازی تنومند معروف است ، جهت حفاری و ایجاد سوراخ های داخل تونل و قرار دادن مواد منفجره در داخل آن ها و انجام عملیات انفجار به کار می رود . این ماشین توسط کامپیوتر کنترل میشود و در هر لحظه میتواند سه سوراخ را با جهت و زاویه تنظیم شده و دقیق ، حفاری کند .

انواع الگوهای طراحی سوراخ های انفجار :

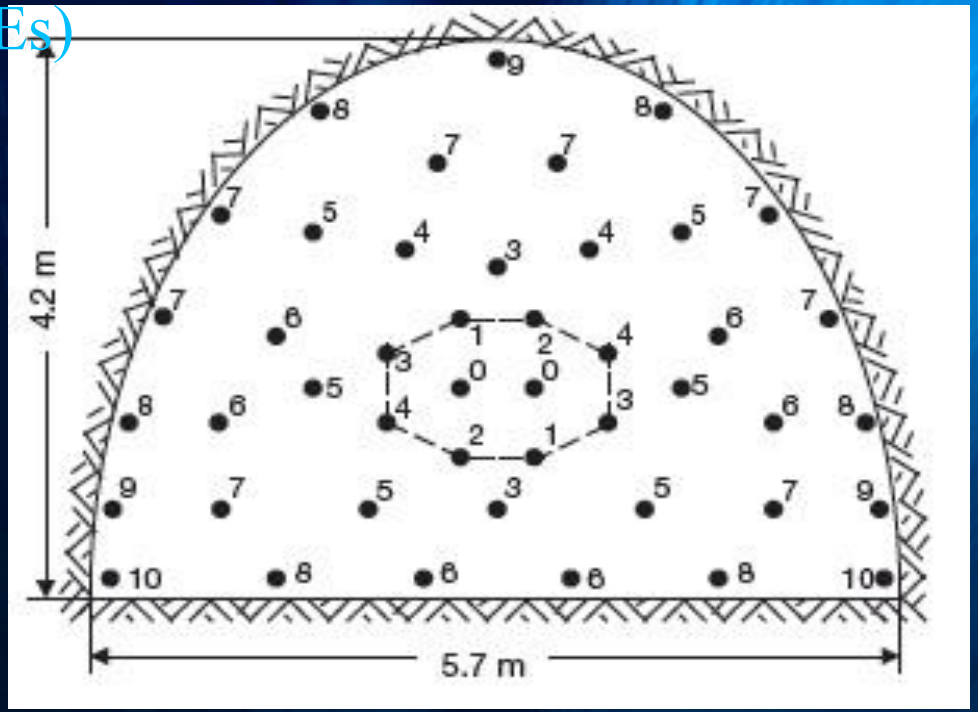
۱- موازی : در این روش سوراخ ها ، موازی با مسیر تونل حفاری می شوند

۲- زاویه ای یا غیر موازی : در این روش سوراخ ها ، با مسیر مستقیم تونل زاویه دارند .

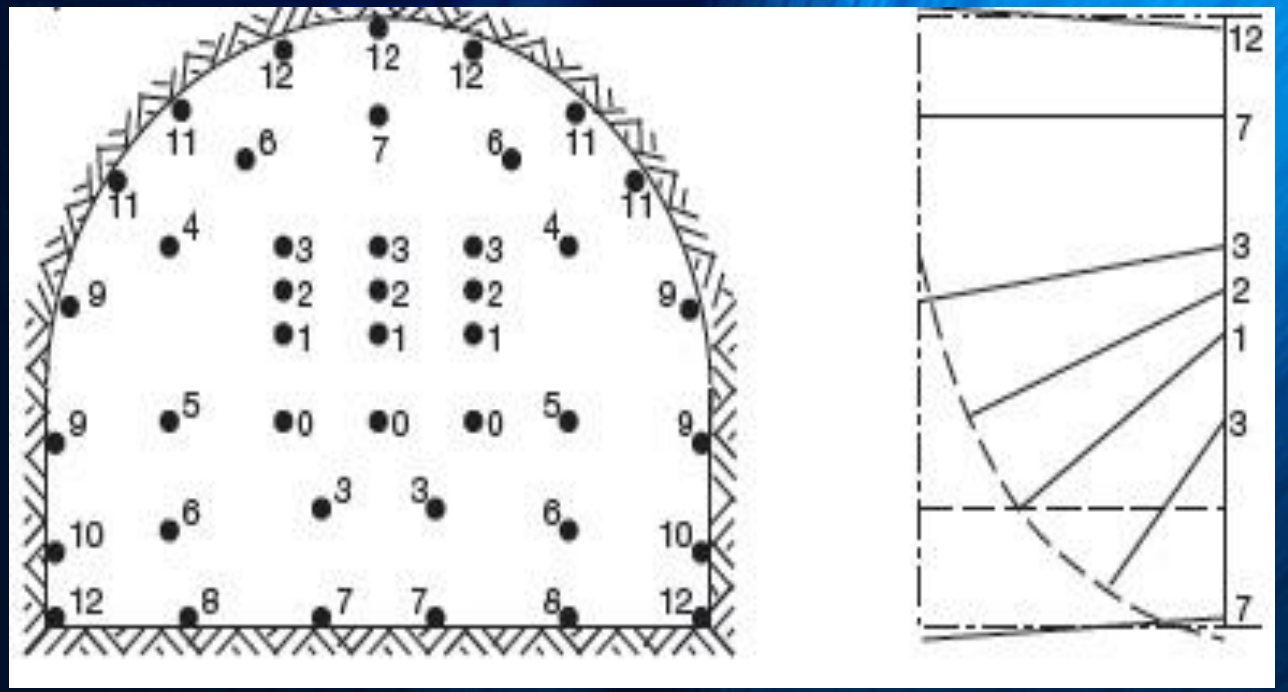
- انواع الگوهای طراحی سوراخ های انفجار :

۱- موازی : در این روش سوراخ ها ، موازی با مسیر تونل حفاری می شوند . این الگو ، برای زمین های با سختی کم مناسب میباشد .

۲- زاویه ای یا غیر موازی : در این روش سوراخ ها ، با مسیر مستقیم تونل زاویه دارند .

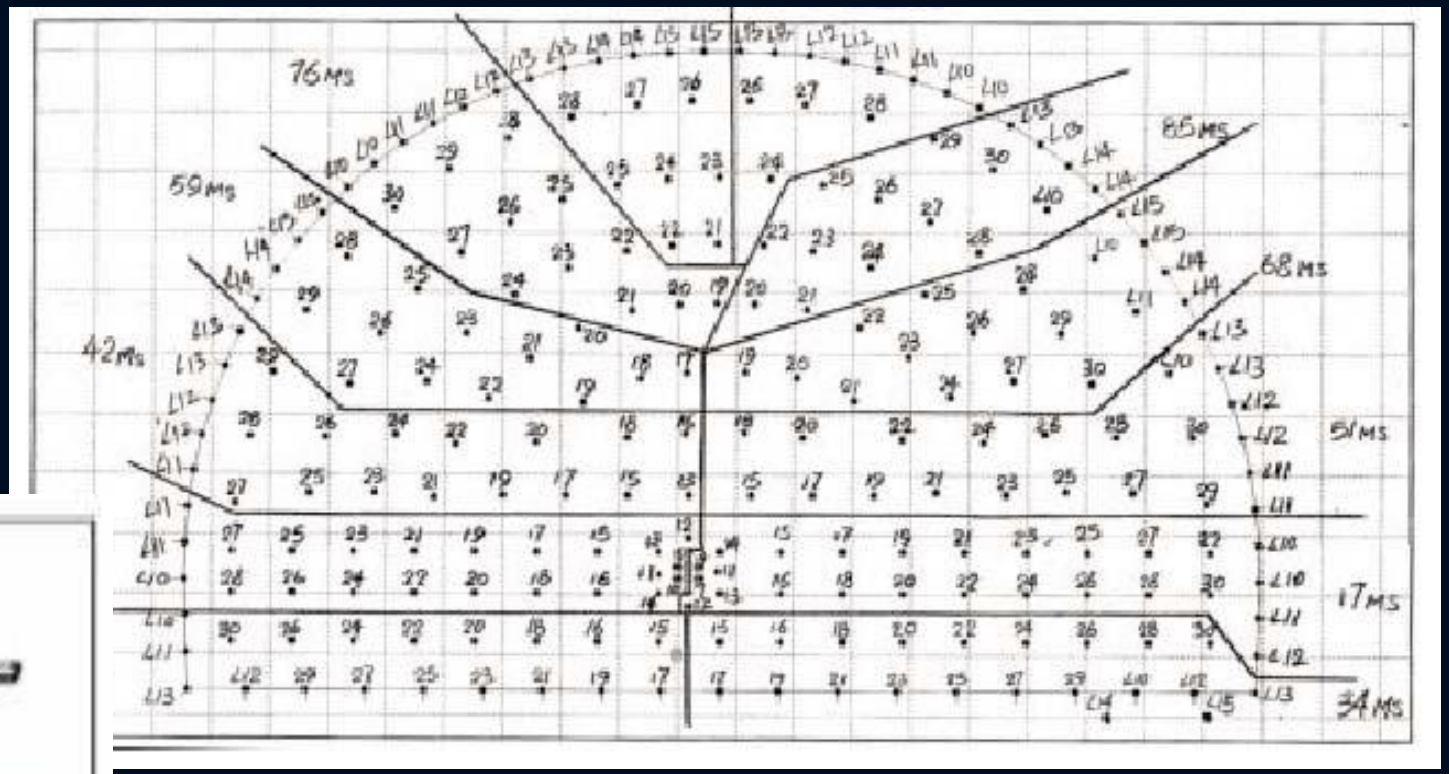


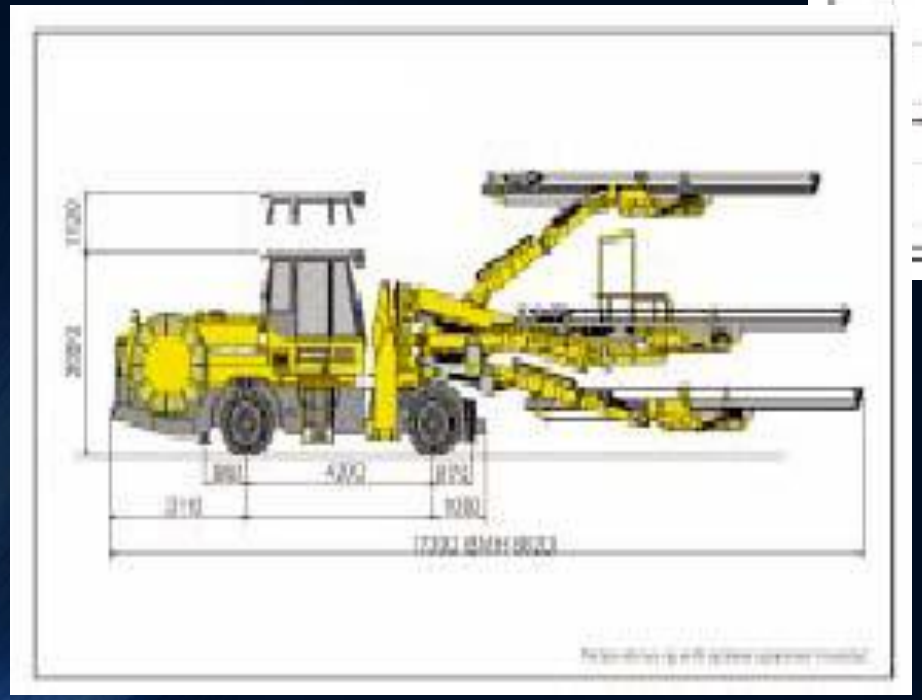
الگوی سوراخ های موازی. در این الگو ، سوراخ های حفاری شده طول ها ی برابری دارند و موازی با یکدیگر میباشند . فاصله و محل قرار گرفتن سوراخ های وسط ، در موفق آمیز بودن انفجار تاثیر زیادی دارد .بسته به نوع زمین و مواد منفجره ، فاصله حفره ها از هم ، نباید بیش از ۳۰ ، ۵۰ سانتیمتر باشد .



طرح FAN-CUT . این طرح یک طرح زاویه ای یا غیر موازی میباشد .نحوه حفاری سوراخ ها در این الگو ، به شکل فن میباشد . طول سوراخ ها در این نوع حفاری ، متفاوت میباشد . از مزایای این روش ، تعداد سوراخ های حفاری شده کمتر و مصرف مواد منفجره کمتر میباشد .

الگوی طرح سوراخ های انفجار



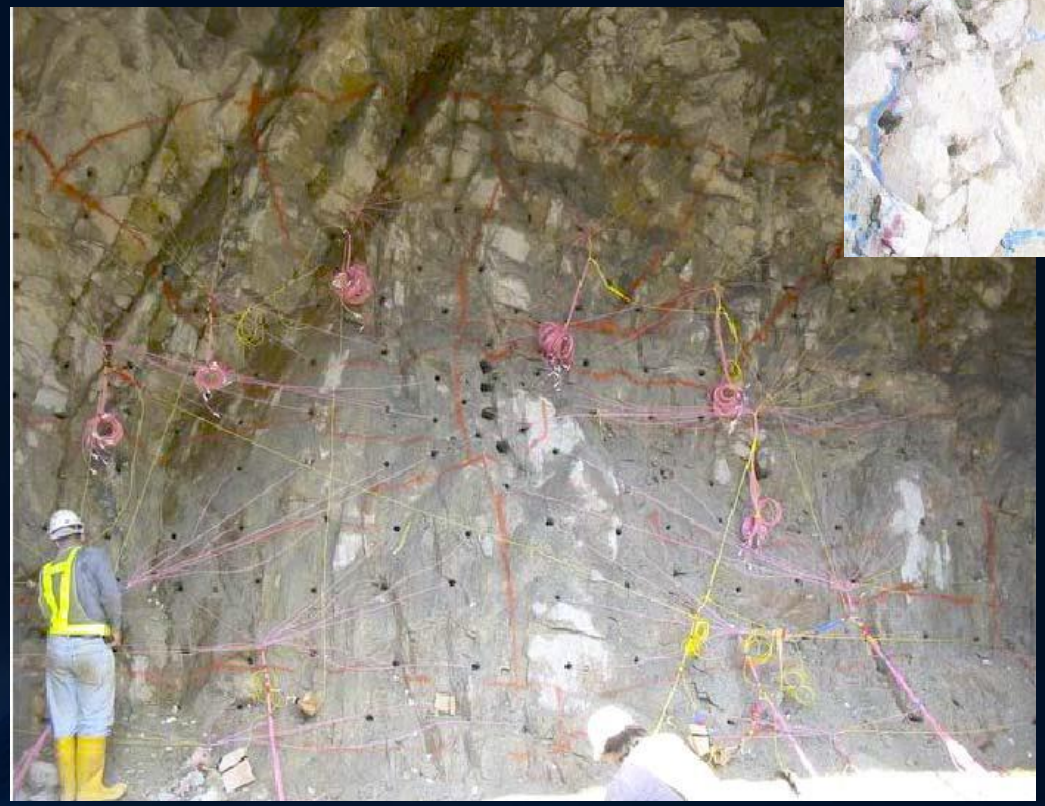


ماشین مورد استفاده برای حفاری سوراخ های انفجار

متخصصین ریلی ایران

Iranian Railway Experts(IRREs)

قرار دادن مواد منفجره
در سوراخ های انفجار



بعد از انجام عملیات انفجار ، به عملیات تمیز کاری پرداخته میشود و مقاطع سنگی حفاری شده ، به خارج از تونل انتقال داده میشوند . بسته به شرایط تونل ، از ماشین های مخصوصی برای این انتقال استفاده میشود . معمولا از یک تسمه نقاله هم برای انتقال استفاده میشود .

متخصصین ریلی ایران

Iranian Railway Experts(IRREs)

بعد از اینکه تونل با استفاده از روش حفاری و انفجار ایجاد شد ، سطح تونل ایجاد شده بایستی توسط پوشش بتنی درجا ، پوشش داده شود تا سنگ ها و خاک های منفجر شده ، تثبیت شوند . عکس بالا ، قالب بندی نوع دروازه ای را نشان میدهد که برای ایجاد پوشش بتنی در جا به کار گرفته شده است .

تونل San Cristóbal

در شیلی

به روش انفجار

حفاری تونل

۲- روش اتریشی جدید

(NATM)

❑ تاریخچه NATM :

- حفاری تونل به روش اتریشی جدید ، که به روش NATM معروف میباشد ، اسم خود را از Salzburg (اتریش) گرفته است .
- این روش اولین بار توسط Rabcewicz در سال ۱۹۶۲ معرفی شد
- اولین بار از این روش در تونل با زمین نرم در مترو فرانکفورت در سال ۱۹۶۹ استفاده شد .
- هدف اصلی این روش ، ایجاد دوام و پایداری زیاد در تونل و سیستم های اقتصادی تر تثبیت تونل میباشد .

❑ تعریف NATM :

روش اتریشی جدید ، یک روش تقویتی برای تثبیت محیط تونل با استفاده از ابزارهایی مانند بتن پاشیده ، مهاربندی و سایر شیوه های تقویتی در ضمن نظارت جهت کنترل دوام میباشد.

❑ مزایای استفاده از NATM :

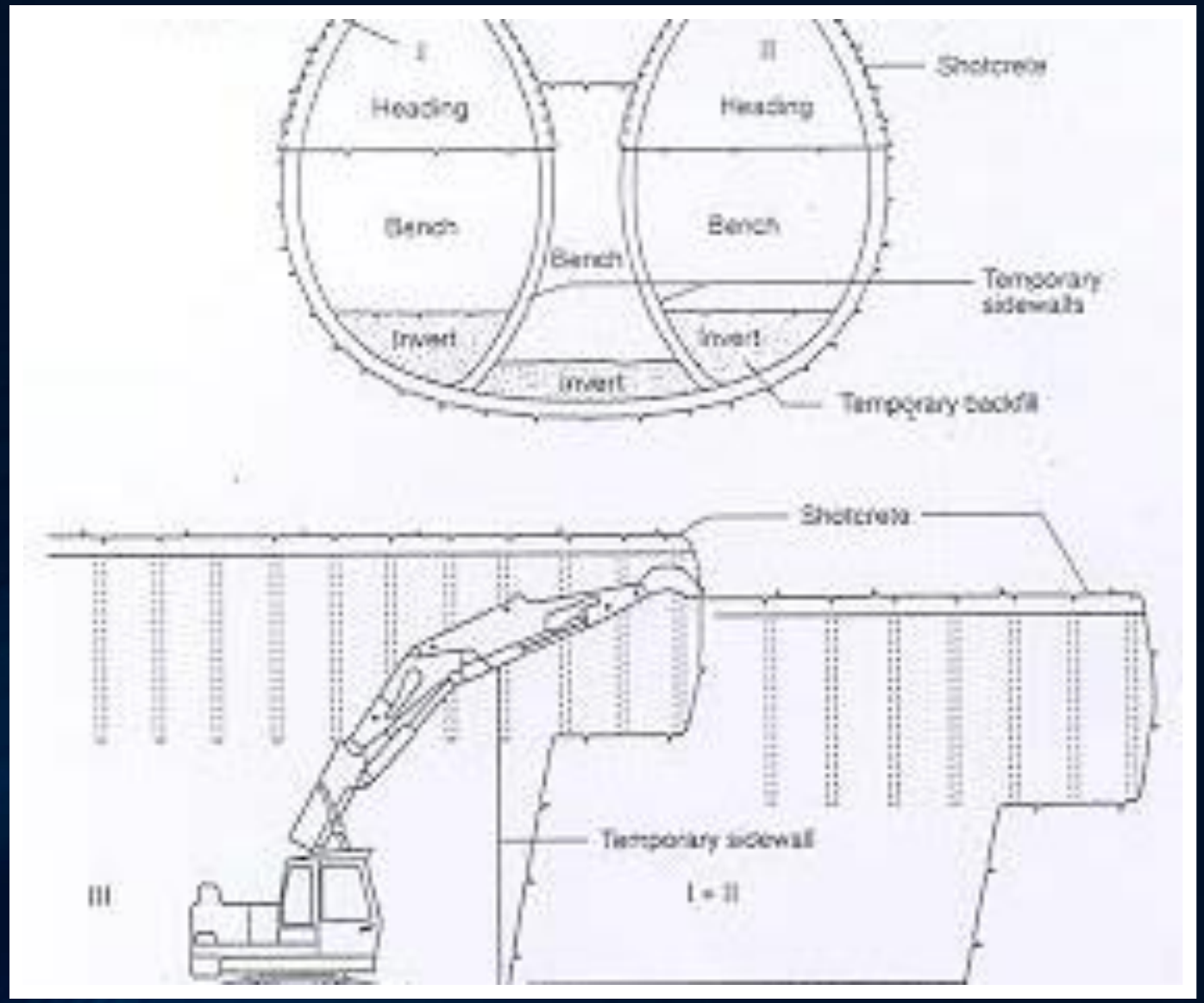
- امکان اتخاذ شکل های هندسی مختلف حفاری را دارد .
- امکان انجام اقدامات تقویتی اضافه ، پیچ و مهره سنگی ،میخ های پرچی ، نبشی های فولادی و ... را دارد .
- امکان نصب غشای ضد آب وجود دارد .
- امکان انجام آسان شاتکریت

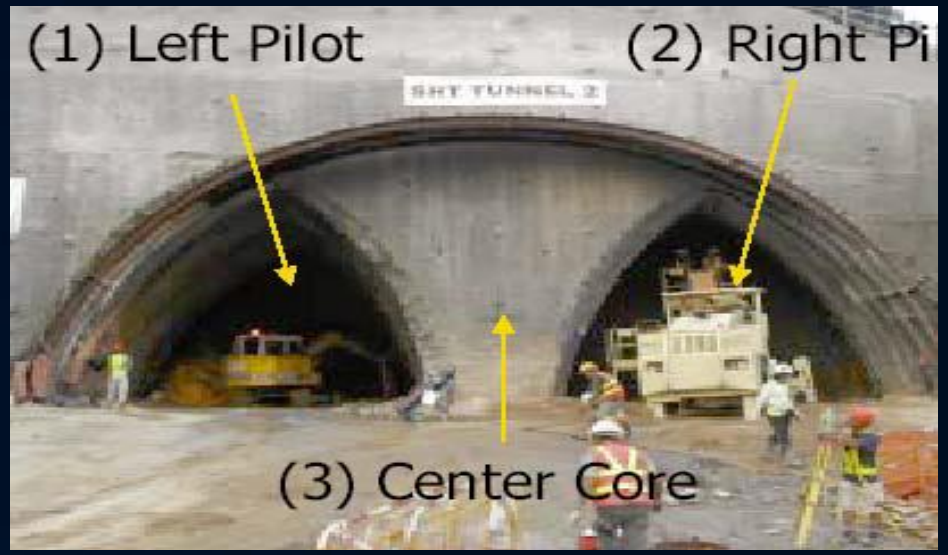
❑ خلاصه ای از روش تونل سازیNATM :

- شاتکریت در محل حفاری شده
- قرار دادن شبکه سیمی در طول جبهه تونل
- نصب تیر حمال مشبک در تمام طول جبهه تونل
- شاتکریت تمام مسیر (پوشش ثانویه)

این شکل ، مراحل حفاری با استفاده از روش اتریشی (NATM) را نشان میدهد .اساس ساخت و ساز مقطع تونل در این روش ، تقسیم مقطع تونل به چند مقطع قوس دار کوچک میباشد تا در طول حفاری کنترل آسانتر و ایمنی بیشتری داشته باشیم .

سطوح تازه شکل یافته ، اغلب نیازمند حمایت موقت توسط مقاطع تیر ورق ، شاتکریت ، نیلینگ و یا مهار بندی میباشند .





حفاری تونل با استفاده از روش
اتریشی جدید

متخصصین ریلی ایران

Iranian Railway Experts(IRREs)

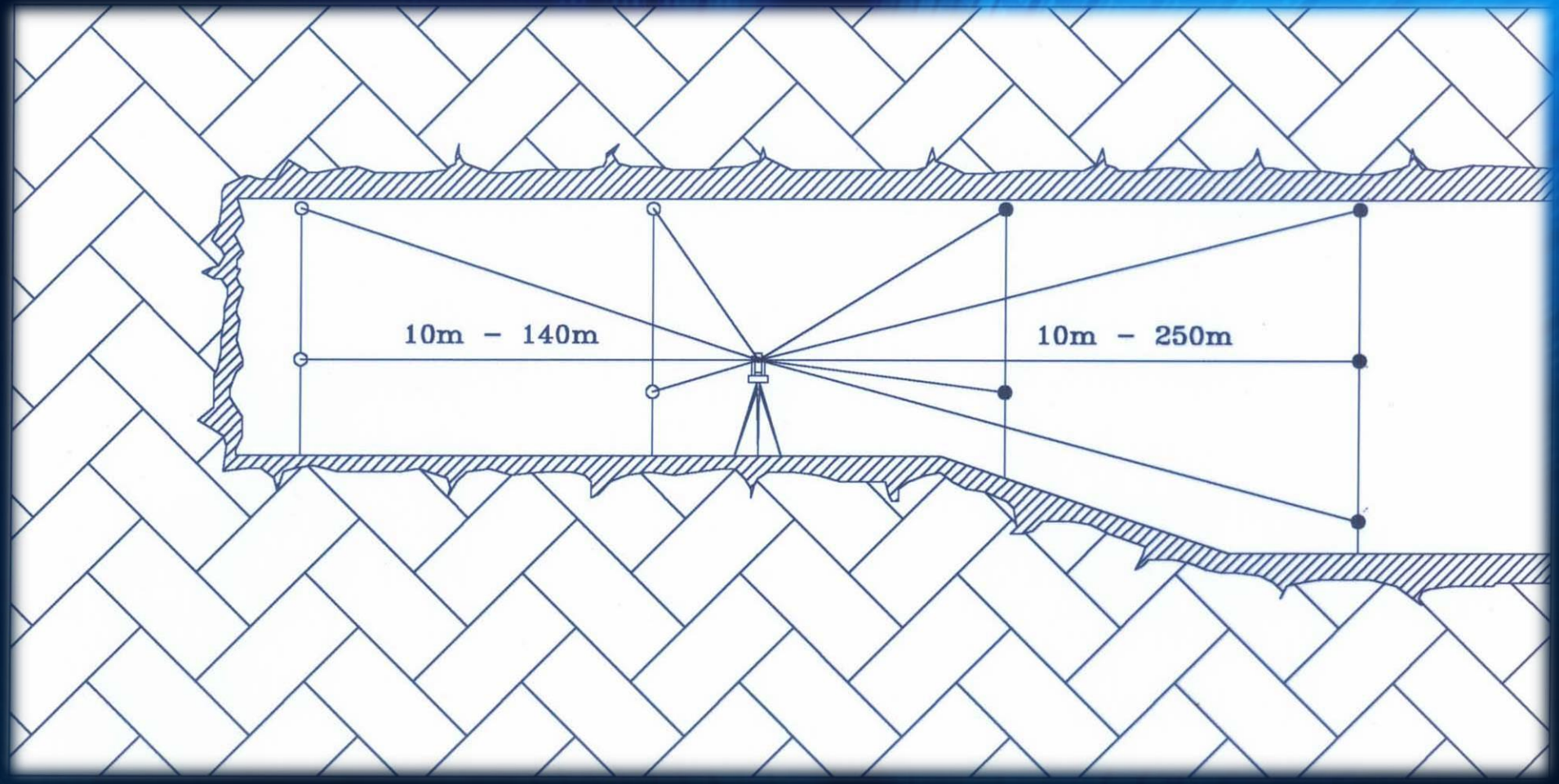
نظارت بر حفاری با استفاده از دوربین

❑ مفهوم نظارت 3D :

- نظارت سه بعدی ، روش جدیدی است که برای کنترل مسیر صحیح تونل ، مورد استفاده قرار می گیرد.
- نظارت بصری برای تعیین مختصات و بررسی های بعدی استفاده میشود.

مختصات باید هر روز مورد برسی قرار بگیرند .

- با استفاده از این نظارت ما قادر خواهیم بود که هر گونه تغییر مکان و اشتباه بودن مسیر را متوجه شویم.



نظارت بر تغییر مکان

بعد از حفاری :
ایجاد پوشش بتنی-
راه اندازی پوسته ضد
آب و نصب میلگرد
های فولادی قبل از
بتن ریزی

نکاتی برای انجام موفق آمیز عملیات با استفاده از NATM :

- بررسی خواص خاک و سنگ
- انتخاب پروفیل مناسب
- حفاری با دقت بالا
- نظارت بر مقاومت صخره و سنگ ، جلوگیری از شل شدگی و شکستگی زیاد
- تماس مستقیم سنگ و خاک و وسایل تقویتی
- بررسی های نقشه برداری
- نصب عوامل تقویتی بدون تاخیر و در مراحل صحیح

مترو Santiago در شیلی

به روش اتریشی جدید

حفاری تونل

۳- روش TBM

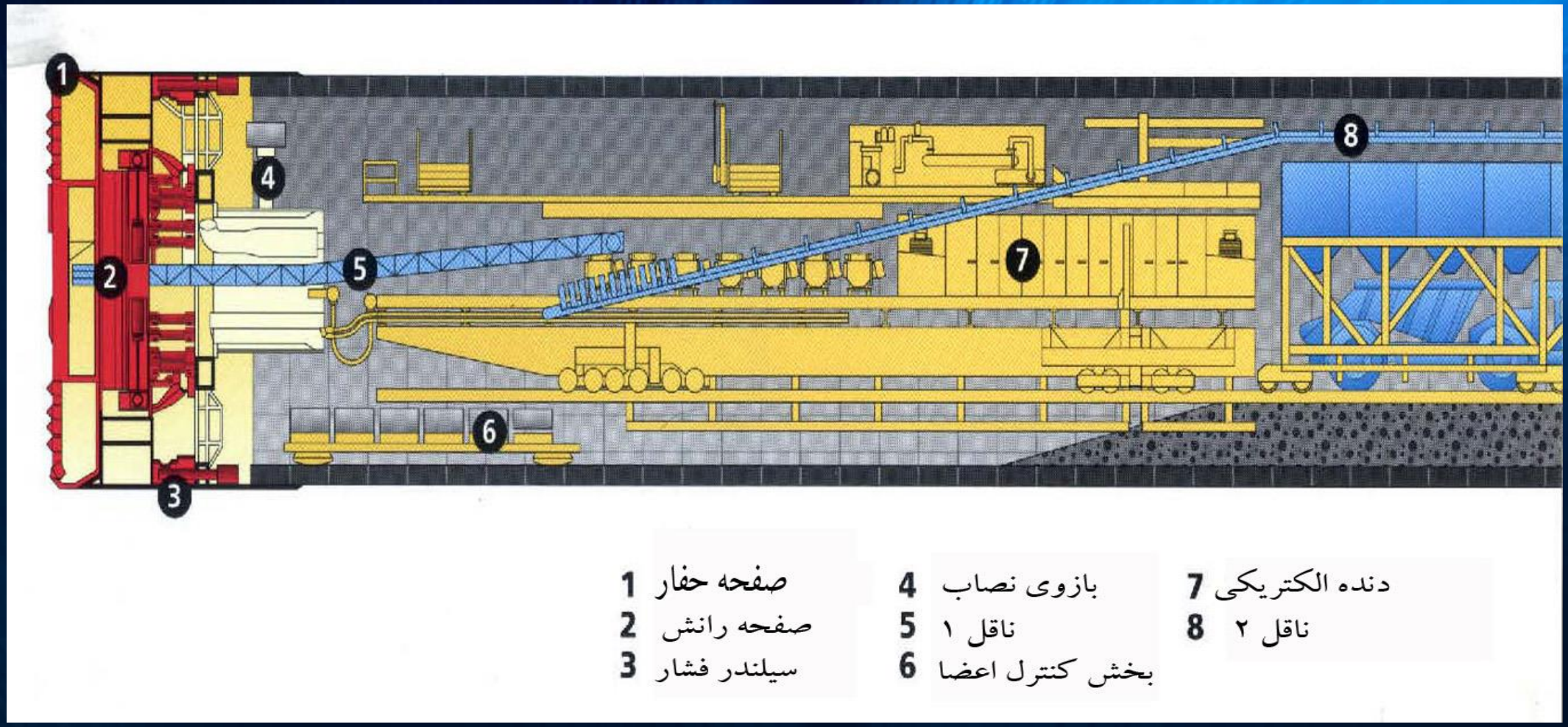
ماشین حفاری تونل برای ایجاد تونلی به قطر ۳/۸ متر در اطرف دره BUTTERFLY

نمای نزدیک از قسمت تراش ماشین . صفحه برش ، توانایی برش صخره های سخت را دارد و مواد زاید دانه دانه شده ، توسط یک سیستم ناقل ، جمع آوری شده و حذف میشوند . این سیستم ناقل ، درست در پشت قسمت صفحه برش قرار گرفته است .

واگن های دفع خاک در ناحیه ای قابل دسترس . مواد زاید در این محل نگه داری خواهند شد و در ادامه توسط وسایل تخلیه کننده ، از محیط حذف خواهند شد .

خروجی تونل . ناحیه حذف مواد زاید در سمت راست خروجی تونل قرار گرفته است که مواد زاید توسط ریل هایی به محل مورد نظر انتقال داده میشوند . مسیر ریل موجود در سمت چپ ، مرکز انبار و نگهداری برای واگن های دفع خاک و همچنین برای اهداف بارگیری و تخلیه میباشد .

تصاویری از داخل تونل . در این مرحله قسمتی از عملیات پوشش انجام گرفته و مسیر ریل برای واگن دفع خاک نیز به همراه لوله تهویه و سایر خطوط لوله ، مشاهده میشود .



قسمت های مختلف ماشین TBM

۱- صفحه حفار :

به طور کلی این بخش از دستگاه مهمترین قسمت دستگاه میباشد که در جلو ان قرار دارد و دیسک های برش بر روی این صفحه نصب میشوند

۲- صفحه رانش :

برای اینکه ماشین راندمان بهتری از خود نشان بدهد ، نیروی رانشی بر صفحه حفار آن اعمال میشود .

۳- سیلندر فشار:

سیلند های فشار وظیفه رانش صفحه حفار به سمت جلو را بر عهده دارند .

۴- بازوی نصاب :

بازوی نصاب بازوی هیدرولیکی میباشد که به کمک آن میتوان قطعات بتنی یا فلزی را که برای نگه داری تونل به کار میروند را برجای خود نصب کرد .

۵- سیستم ناقل ۱:

این بخش از دستگاه ، قطعات سنگی که توسط صفحه حفار ، کنده شده اند را به پشت ماشین انتقال میدهد تا دستگاه بتواند به حفاری خود ادامه دهد .

۶- بخش کنترل :

این قسمت از دستگاه وظیفه کنترل بخش های مختلف دستگاه را بر عهده دارد .

۷- جعبه دنده :

با استفاده از جعبه دنده الکتریکی ، می توان سرعت ها و گشتاورهای مختلفی را تامین کرد .

۸- بخش ناقل ۲ :

این قسمت از دستگاه وظیفه انتقال قطعات سنگی حفاری شده را به خارج از دستگاه بر عهده دارد .

ساخت مترو دهلی

به روش TBM

IRANIAN RAILWAY IRRE STREPXE

حفاری تونل

۴- روش Cut-and-Cover

❑ معرفی :

- ساخت تونل به روش Cut and Cover دستاوردی برای ساخت و ساز های زیر زمینی میباشد .
- این روش شامل ساخت تونل به صورت حفاری گودال گونه و مهار بندی شده (Cut) میباشد که متعاقبا تحت خاکریزی (cover) قرار میگیرد .
- خطوط لوله مثل فاضلاب رو ها و تونل های وسایل نقلیه و مترو ها به این روش ساخته میشوند.

مزایای روش Cut and Cover :

- ارزان تر میباشد .
- برای ساخت تونل های کم عمق عملی میباشد.
- در مقایسه با سایر روش های ساخت و ساز زیر زمینی ، ریسک کمتری دارد و از ایمنی بالاتری برخوردار است.

- دو شکل اصلی ساخت تونل به روش Cut and Cover

  - روش پایین – بالا
  - روش بالا – پایین

روش پایین – بالا

عملیات حفاری از سطح زمین انجام میشود و کناره های مقطع ، تقویت میشوند و تونل در طول این حفاری ساخته میشود . تونل ممکن است به صورت بتن ریزی درجا و یا بتن پیش ساخته ، ساخته شود . در ادامه محل حفاری ، خاکریزی میشود و در آخر سطح مورد نظر باز ترمیم میشود . این روش مزیتی دارد که آن دسترسی بهتر به محیط اطراف میباشد ولی این نکته را هم باید در نظر داشت که ترمیم سطح دیرتر انجام می پذیرد .

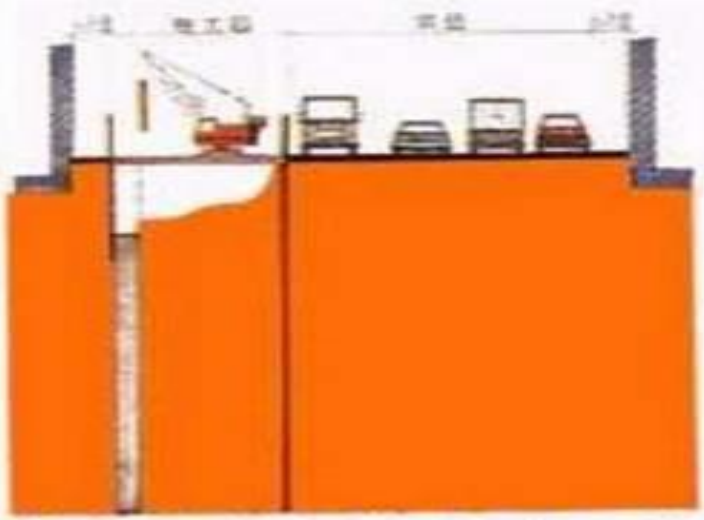
روش بالا – پایین

از سطح زمین دیوارهای تکیه گاهی و تیرهای کلاهکی ساخته میشوند.

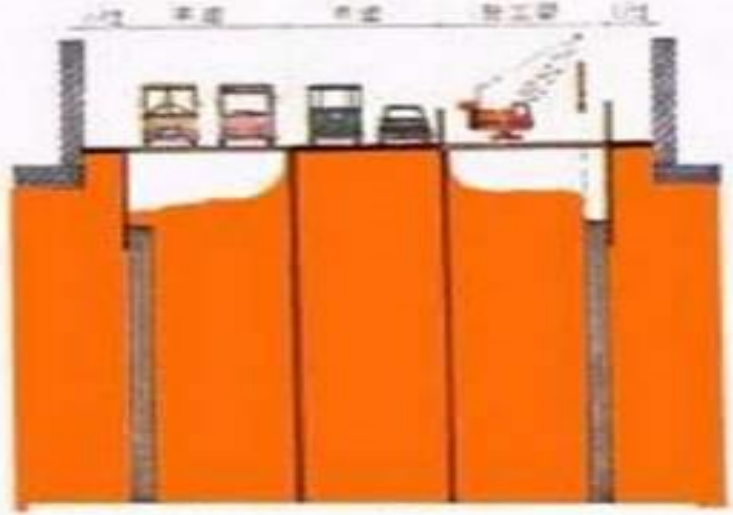
در مرحله بعدی سقف تونل از طریق حفاری کم عمق نزدیک به سطح زمین ساخته میشود . دهانه های قابل دسترس در سقف قرار داده میشوند و میتوان بقیه سطح زمین را باز ترمیم کرد . ساخت وساز باقی مانده ، از زیر این سقف و از طریق دهانه های قابل دسترسی ، انجام می پذیرد . به این دلیل که میتوان سطح زمین را خیلی زود باز ترمیم کرد ، اختلال های شهری در این روش به حداقل می رسد . در عین حال محدودیت هایی در شرایط کار وجود دارد .

گام های کلی ساخت تونل به روش Cut and Cover

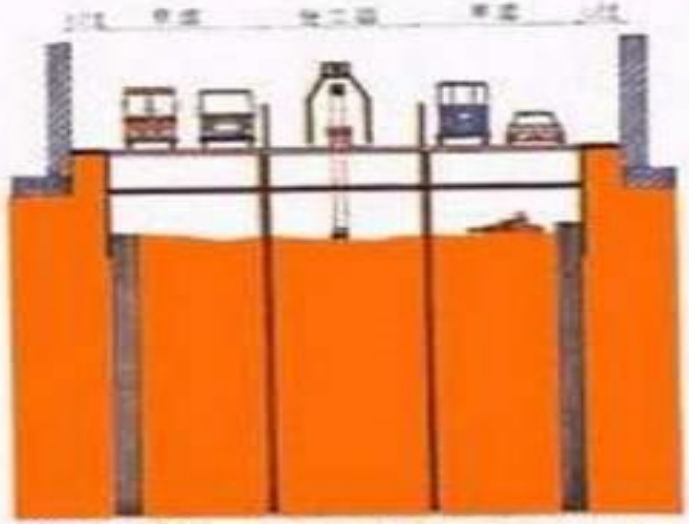
مراحل حفاری و ساخت تونل به روش Cut and Cover



۱. ساخت دیوارهای حایل ، پوشانه و شمع های میخی در سمت چپ



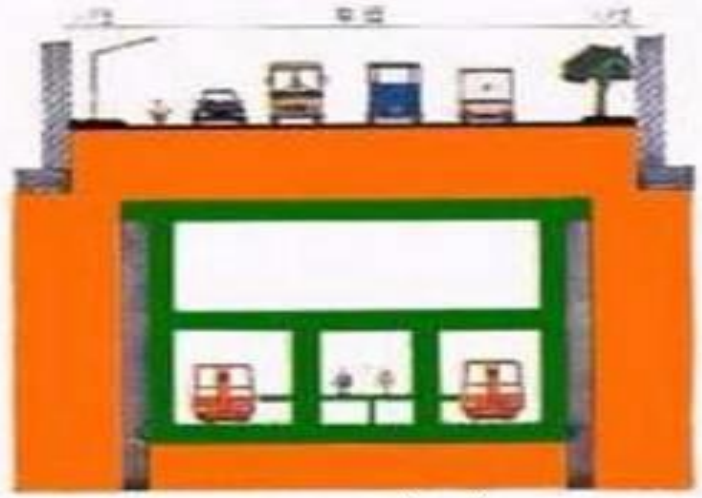
۲. ساخت دیوار های حایل ، پوشانه و شمع های میخی در سمت راست



۳. حفاری و نصب بازوی فشار در ناحیه مرکزی

۴ .ساخت سازه اصلی

۵ . ترمیم روسازی در مقطع



۶ اتمام کارهای زیرزمینی

روش CUT AND COVER ، AIRPORT RAILWAY در هنگ کنگ .
نمای هوایی ، نشان دهنده طرح کلی از ایستگاه هنگ کنگ و تونل های دسترسی به مترو فرودگاه میباشد .

روش cut and cover ،
Airport railway در هنگ کنک .

نمای هوایی ، نشان دهنده طرح کلی از ایستگاه هنگ کنگ و تونل های دسترسی به مترو فرودگاه میباشد .

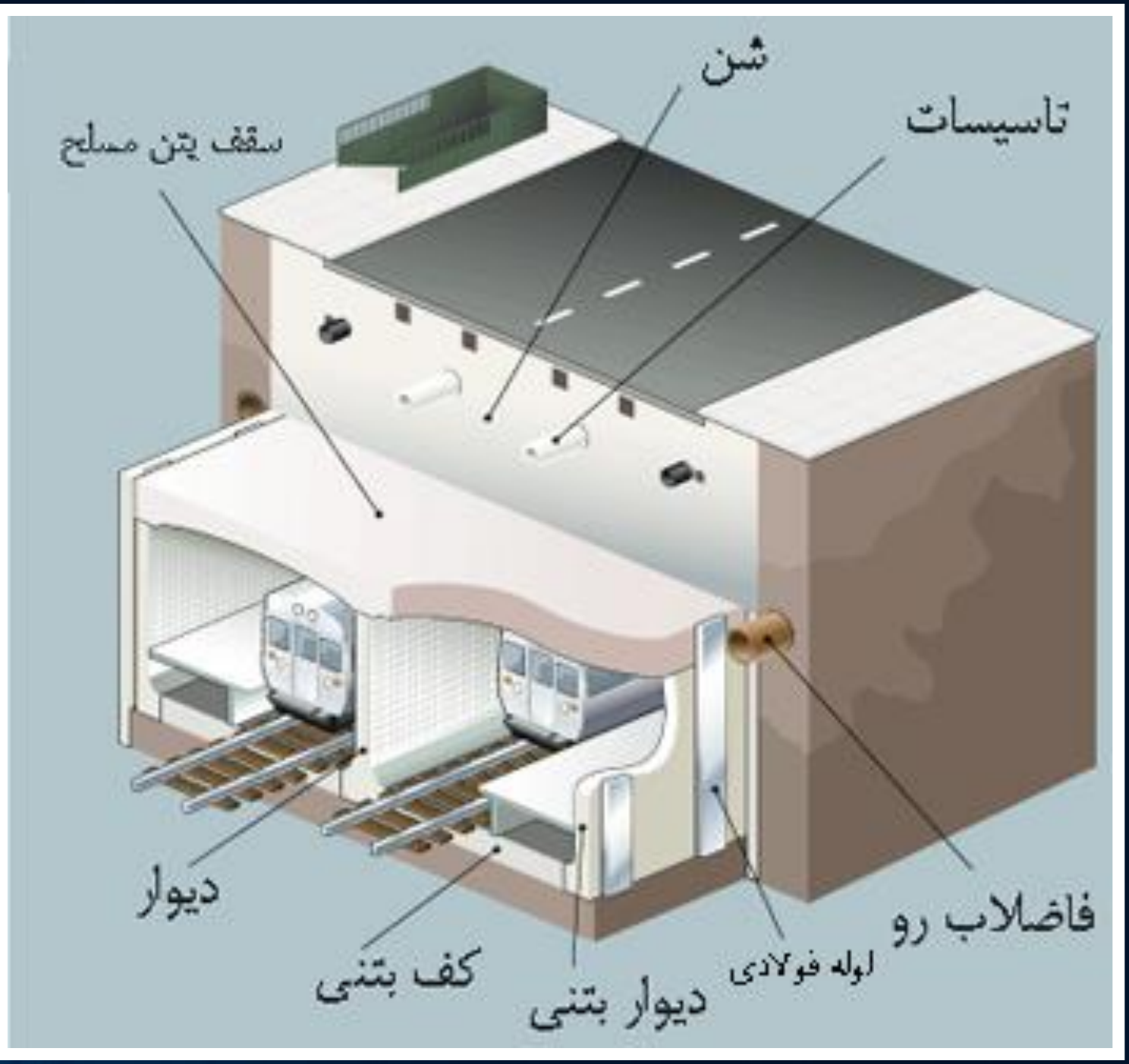
مقطع ۴۰۰ متری از ساخت تونل به روش Cut and Cover که به ایستگاه هنگ کنگ و تونل های غوطه ور بندر متصل میباشد .
این روش برای ساخت تونل های کم عمق در زمین های نرم ، بسیار موثر و اقتصادی تر میباشد .

مقطع گودال تونل که توسط دیوار حایل ایجاد شده و با استفاده از لوله های فولادی تقویت شده است .

ساخت وساز مقطع تونل با استفاده از روش بتن ریزی درجا ، در داخل گودال دیده میشود .

مقطع گودال تونل که توسط دیوار SOLDIER PILE ، ایجاد شده و در ادامه توسط انکرها ، تقویت شده است . ساخت تونل با انجام خاکریزی در مرحله بعدی ، به پایان میرسد .

اتمام ساخت مترو



تونل در ژاپن

به روش Cut and Cover

IRRE
IRANIAN RAILWAY
STREPXE

منابع :

- Introduction to Tunnel construction,David Chapman ,Nicole Metje ,Alfred Stark
- Design and construction of tunnels, Pietro Lunardi
- Tunnel construction , Raymond Wong

متخصصین ریلی ایران

Iranian Railway Experts(IRREs)

@IRREs

@IRRE s

@IRREs1

با تشکر