www.icivil.ir

پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

ارائه کتابها و جزوات رایگان مهندسی عمران

بهترین و برترین مقالات روز عمران

انجمن های تخصصی مهندسی عمران

فروشگاه تخصصی مهندسی عمران

تهیه کننده

سید احسان رنجبر

دانشگاه آزاد واحد اردستان

مدیر سایت تخصصی عمران

www.Qso.ir

Tunnel-Boring-Machine

T.B.M

دستگاه ماشین آلات حفاری تونل

تاریخچه دستگاه T.B.M

نخستین سپر محافظ تونل، توسط سر مارک ایزامبارد برونل در سال ۱۸۲۵ و برای حفاری تونل تِیمز ساخته شد. اگرچه این ابتکار تنها به منظور ساخت یک سپر بوده و شامل ساختن یک دستگاه حفاری تونل کامل نبود؛ اما عملیات حفر تونل‌ها نیاز داشت که با استفاده از روش‌های استاندارد حفاری به سرانجام برسد.

مشهور است که نخستین دستگاه حفاری ساخته شده، هنری-جوزف ماوس یک دستگاه برش کوه بوده‌است. این دستگاه در سال ۱۸۴۵ به سفارش پادشاه ساردینیا و به منظور حفر تونل ریلی فرجوس از میان رشته‌کوه‌های آلپ، بین دو کشور فرانسه و ایتالیا ساخته شده بود. عملیات ساخت این دستگاه در یک کارخانه اسلحه‌سازی در نزدیکی تورین و در سال ۱۸۴۶ به پایان رسید. این دستگاه عبارت بوده‌است از بیش از ۱۰۰ مته کوبه‌ای که در قسمت جلویی دستگاهی به اندازه لوکوموتیو نصب شده بود که نیروی رانشی آناز ورودی تونل به صورت مکانیکی اعمال می‌شد. بودجه این پروژه تحت تاثیرانقلاب سال ۱۸۴۸ قرار گرفته و تونل هنوز کامل نشده بود؛ تا اینکه با استفاده از روش‌های مبتکرانه و کم‌هزینه‌ای همچون استفاده ازمته پنوماتیک، پس از ۱۰ سال به بهره‌برداری رسید.

نخستین ماشین حفر تونل ساخته شده در ایالات متحده برای ساختن تونل هوساکدر سال ۱۸۵۳ مورد استفاده قرار گرفت. این دستگاه، با چدن ساخته شده و به نام ماشین برش سنگ انحصاری ویلسون و به نام مخترعی به اسم ویلسون نام گذاری شد. این ماشین، قبل از شکستن زمین سنگی، ۱۰ فوت را درون سنگ حفاری کرد. تونل مذکور سرانجام بعد از بیش از ۲۰ سال به پایان رسید. در ساخت آن همانند تونل ریلی فرجوس از روش‌های جاه‌طلبانه، کمتر استفاده شد.

در اوایل دهه ۱۹۵۰، ف. ک. مایتری برنده مناقصه احداث سد انحرافی اوه واقع در پییر در ایالت داموتای جنوبی شد که با مشاورهٔ جیمز س. رابینز (بنیان‌گذار شرکت رابینز) حفاری زمین‌های سنگ رسی پییر شیل را که مشکل‌ترین عملیات حفاری زمین‌های سنگ رسی در آن زمان بود شروع کرد. شرکت رابینز دستگاهی درست کرد که قادر بود ۱۶۰ فوت از زمین‌های سنگ رسی را در بیست و چهار ساعت حفر کند که نسبت به روش‌های رایج در آن هنگام ۱۰ برابر سریع‌تر بود.

چیزی که باعث شد ماشین‌های حفر تونل، کارآمد و مطمئن شوند، اختراع سر گردان آن‌ها بود که به صفحه برش نصب می‌شد

در ابتدا، در دستگاه تی‌بی‌ام رابینز از چکش های فولادی چرخشی استفاده کردند که با حرکت دایره‌ای خود زمین پیش‌روی‌اش را حفر می‌کرد؛ اما او سریعاً متوجه این شد که این چکش‌ها، علیرغم محکم بودنشان کارآیی زیادی ندارند؛ زیرا به محض شکستن و کند شدن، باید مکرراً با چکش‌های جدید تعویض می‌شدند. این مشکل با جایگزین کردن صفحات برش بادوام‌تر به جای چکش، به طور قابل ملاحظه‌ای برطرف شد. در سال ۱۹۵۶ این طرح، برای اولین بار در تونل فاضلاب و رودخانه هامبر با موفقیت مورد استفاده قرار گرفت (فولی، ۲۰۰۹). از آن زمان تاکنون، در تمام حفاری‌هایی که در زمین‌های سخت، با توفیق همراه بوده‌است، از تی‌بی‌ام‌هایی با چرخ‌های برش گردان و صفحات برش مدور استفاده گردیده‌است.

LOVAT
РЖД
ВАМТОННЕЛЬСТРОЙ

معرفی دستگاه T . B . M

دستگاهی است که برای حفاری تونل ها از آن استفاده می‌گردد. این دستگاه با استفاده از یک سطح مقطع مدور، قادر است در قشرهای خاکی و سنگی زمین حفاری کند. این نوع از ماشین‌آلات توانایی ایجاد حفره در هر نوع زمینی، از سنگ سخت گرفته تا ماسه را دارد. قطر تونل‌هایی که این دستگاه ایجاد می‌کند در محدوده یک متر (با استفاده از میکروتی بی‌ام‌ها) تا نزدیکی ۱۶ متر (تی‌بی‌ام‌های امروزی) قرار دارند. برای کندن تونل‌هایی که کم‌تر از یک متر قطر دارند، به طور معمول، به جای استفاده از تی‌بی‌ام‌ها، از روش ساخت‌وساز بدون گودال یا حفاری افقی استفاده می‌کنند. دستگاه‌های حفاری تونل، به عنوان جایگزینی برای روش‌های حفاری و انفجار صخره‌ها و کندن زمین با دست مورد استفاده قرار می‌گیرد

تکامل و گسترش این دستگاه ها سبب شده است که آهنگ پیشروی تونل ها در حد قابل توجهی افزایش یابد.

امروزه در سنگ های نسبتا سخت نیز برای حفر تونل از این ماشین ها استفاده می کنند

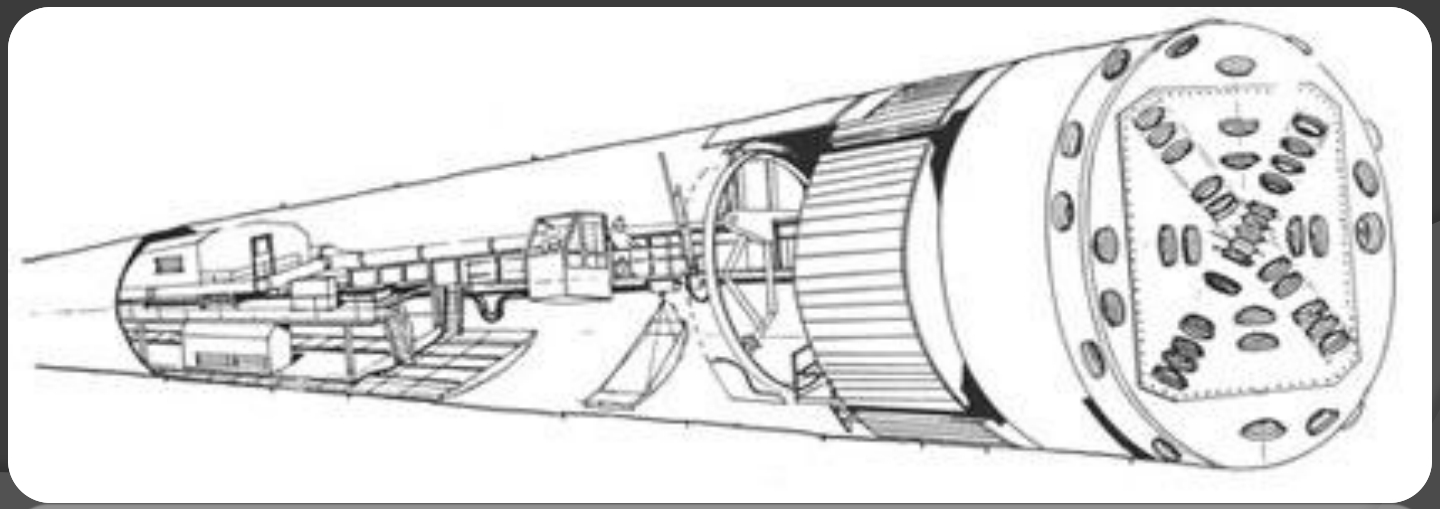
July 14, 2003. Photo © Dave Butler 2003.
http://www.barp.ca

طول قسمت سر مته و پوسته فوروارد ، ٢,٦٠ متر است و ٨ دريچه كنترلي دارد كه با باز كردن آنها مواد حفاري شده از سينه تونل از اين دريچه ها به نوار نقاله هدايت مي شود. سر مته ، بوسيله سه موتور برقي اصلي كه قدرت هر كدام
حدود ٣٠٠ كيلو وات است و ١٦ پيستون يا جك به قدرت هر كدام ١٢٥ تن جمعا" ٢,٠٠٠ تن به حركت در مي آيد.
اين دستگاه در ضمن حركت دوراني بوسيله جك ها با فشار زياد به جلو رانده مي شود. نتيجه اين دو حركت ، كندن خاك از سينه تونل است كه از طريق دريچه ها به نوار نقاله هدايت مي شوند. پوسته ايستگاهي كه بعد از سر مته برش قرار دارد محل استقرار اپراتور ماشين حفار مي باشد. دستگاه تئودوليت ، كامپيوتر و تمام شاسيها و كليدهاي ماشين حفار در اين قسمت تعبيه شده است.

اين دستگاه در ضمن حركت دوراني بوسيله جك ها با فشار زياد به جلو رانده مي شود. نتيجه اين دو حركت ، كندن خاك از سينه تونل است كه از طريق دريچه ها به نوار نقاله هدايت مي شوند. پوسته ايستگاهي كه بعد از سر مته برش قرار دارد محل استقرار اپراتور ماشين حفار مي باشد. دستگاه تئودوليت ، كامپيوتر و تمام شاسيها و كليدهاي ماشين حفار در اين قسمت تعبيه شده است.

آخرين قسمت اصلي ، شيلد انتهائي نام دارد. دستگاه نصب كننده قطعات پيش ساخته بتني و پوشش داخلي تونل در اين قسمت قرار دارد. مجموع طول اين سه قسمت ، ۷,۵ متر و وزن ماشين حدود ۲۳۰ تن مي باشد

خاكها و مواد حفاري شده از سينه تونل از طريق دريچه هاي كنترلي كه در كنار سر مته هاي حفاري تعبيه شده اند به نوار نقاله اوليه كه طول آن حدود ۹ متر است هدايت مي شود و بعد بوسيله نوار نقاله انتهائي كه طول آن حدود ۳۰ متر است به واگنهاي حمل خاك ريخته مي شود. اين واگنها خاكها را به خارج تونل برده و آنها را در محل مخصوصي تخليه مي كنند. خاكهاي دپو شده بعدا" بوسيله كاميون به خارج كارگاه حمل مي شوند.



پس از حفر ۱,۲۰ متر طول که حجم خاك آن حدود ۱۵ متر مکعب و زمان اجراي آن حدود ۲۰ دقيقه است ، عمليات حفاري متوقف شده و قطعات پيش ساخته بتني که در کارگاه ديگري توليد و با تريلي به محل حفاري حمل شده ، توسط واگنهاي مخصوص حمل **SegmentCar** به داخل تونل و جلوي دستگاه برده مي شوند.

سپس اين قطعات پيش ساخته به ترتيب توسط دستگاه حمل کننده يا Erector ۳٦۰ که قادر است درجه حول محور خود بچرخد در جاي خود قرار گرفته و بلافاصله بوسيله پيچ و مهره هاي قوسي شکل به قطعات نصب شده قبلي متصل و تثبيت مي گردند.

تشكيل Key يا K و يك قطعه كوچك بتني نوع A,B,Cهر رينگ بتني از ٥ قطعه پيش ساخته بتني نوع شده است. قطعات اصلي در محور ٦٧٥ درجه و قطعه كليد شامل ٢٢٥ درجه است و به همين جهت با تغيير موقعيت نصب قطعه كليد ، مي توان جدار تونل را در مسير مستقيم يا قوسي پوشش نمود.

ضخامت قطعات بتني ٢٥ سانتي متر و عرض آنها ١,٢٠ متر است. با توجه به اينكه حفاري ٤,٣٠ متر ، قطر داخلي تونل ٣,٧٠ متر و قطر خارجي ٤,٢٠ متر است بنابراين بين قطر حفاري و قطر خارجي تونل ، پس از نصب قطعات به فاصله ٥ سانتي متر فضاي خالي باقي مي ماند.

اين فضا بوسيله دوغاب سيماني با فشار پمپ از دستگاه تانكر مخصوص و از طريق سوراخهاي مخصوصي كه در وسط قطعات پيش ساخته تعبيه شده ، به پشت قطعات تزريق و پر مي گردد. دوغاب سيمان ياد شده در خارج تونل تهيه و سپس بوسيله پمپ به تانكر مخصوص تخليه مي گردد.

قرار داده مي شود بطوريكه با نصب **Gasket**دور هر قطعه پيش ساخته بتني ، يك نوار لاستيكي آب بند يا قطعات در كنار يكديگر هيچگونه درز يا فاصله اي در محل اتصال آنها پيدا نمي شود و آب نمي تواند به خارج از تونل نفوذ نمايد.

پس از عمليات نصب ، حفاري تونل مجددا" شروع و عمليات ساخت تونل دنبال مي گردد. ماشين حفار بطور معمولي در دو شيفت كار مي كند ، و بطور متوسط روزانه ٢٠ رينگ يا ٢٤ متر طول تونل حفاري و قطعات پيش ساخته آن نصب مي شود. در حالت معمولي ، ماشين در هر ٥٥ دقيقه ، ١,٢٠ متر حفاري و قطعات پيش ساخته بتني را نصب مي كند.

حفاري مهمترين بخش شبكه جمع آوری و هدايت آبهای سطحی يعنی تونل خيام و تونل بهمنيار بوسيله اين دستگاه انجام گرديد كه راهبري و اجرای تونل بهمنيار تماماً بدست توانمند متخصصان ايراني انجام پذيرفت.

مزایای دستگاه T . B . M

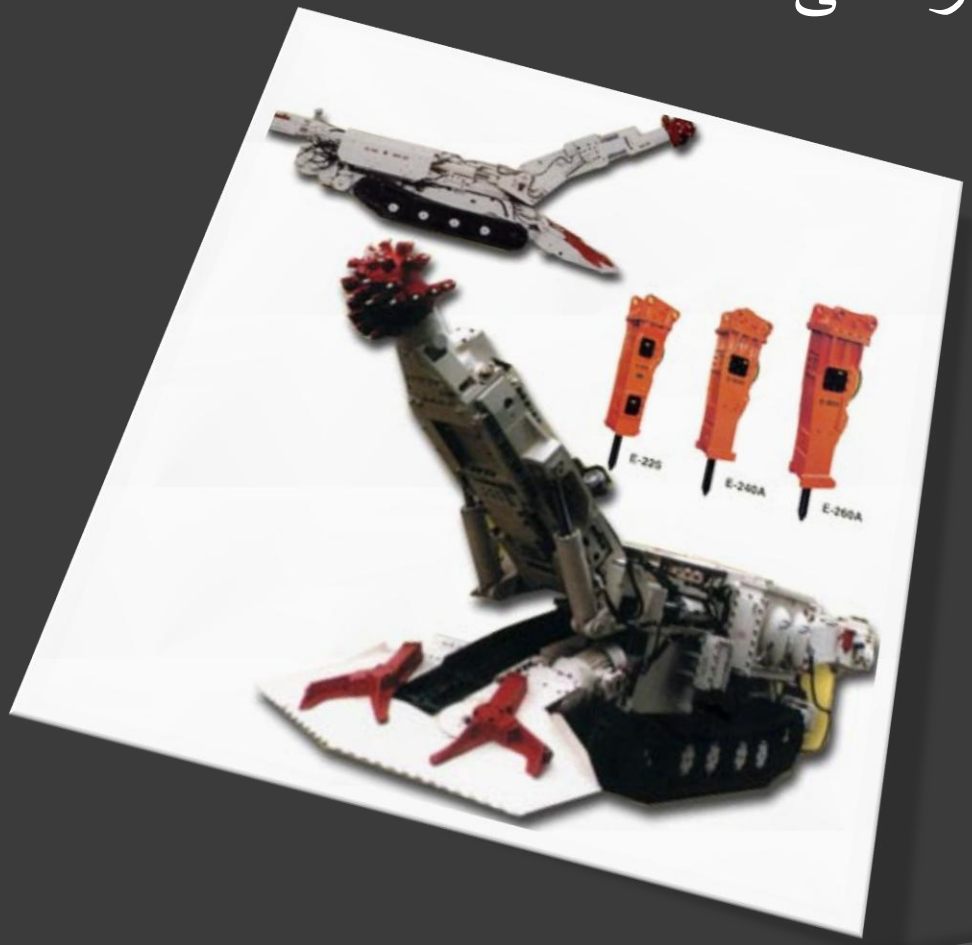
- تی‌بی‌ام‌ها مزایایی همچون کاهش تعرض به زمین‌های مجاور و ایجاد دیوارهای نرم در تونل را دارند
- این دستگاه به صورت قابل توجهی هزینه استرکشی تونل را کاهش می‌دهد که خود این باعث شده برای استفاده در مناطق به شدت شهرنشین مناسب باشند
- هزینه استفاده از دستگاه‌های حفاری تونل، در مقابل روش‌های سنتی حفر و انفجار به مراتب پایین تر است به همین دلیل تونل سازی با دستگاه‌های تی‌بی‌ام در یک پروژه کوتاه تاثیر بیشتری دارد.

معایب دستگاه T . B . M

- قیمت T.B.M گران است و بیشتر به نوع سفارش داده شده به کارخانه سازنده و نوع سنگ های حفر شونده بستگی دارد . ولی در کل قیمت آنها را می توان در حدود ۷ یا ۸ میلیارد تومان در نظر گرفت بسته به شرایط قیمت آنهاممکن است کمتر یا بیشتر باشد.
- به خاطر طویل بودن T.B.M به سختی میشود آن ها را جابه جا کرد .

نوع حفاری دستگاه T . B . M

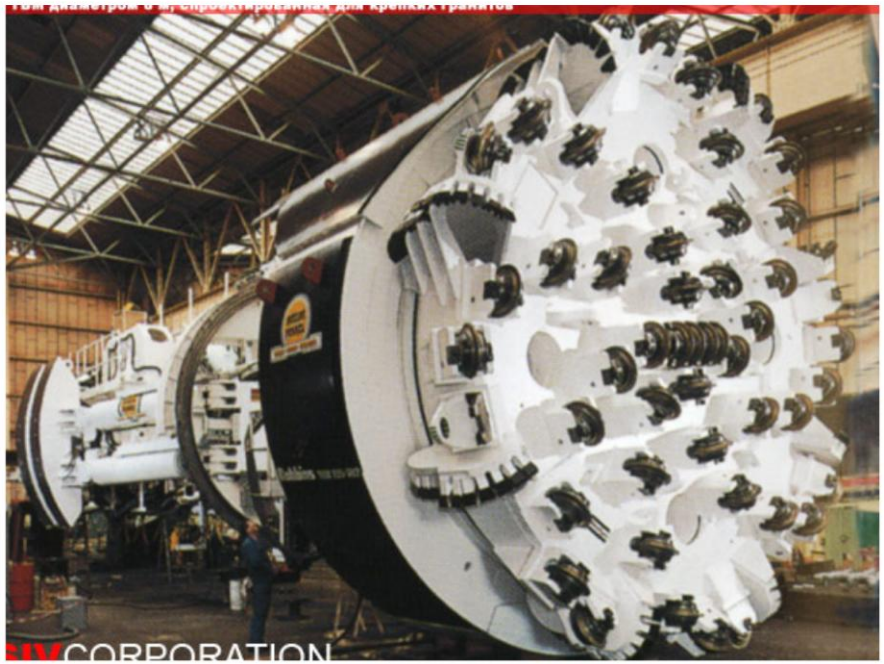
- حفاری به روش روتاری یا چرخشی
- T.B.M
- حفاری به روش انفجاری
- حفاری به روش دستی
- حفاری به روش تخریب



تقسیم بندی ماشین های (T.B.M) Tunnel Boring Machine

- Open **T.B.M**
- Single Shield **T.B.M**
- Double Shield **T.B.M**

Open T.B.M (ماشین باز)



مزایا :

- هزینه سرمایه گذاری پایین
- سرعت پیشروی بالا
- سیستم کاری ساده

معایب :

- عدم امکان پیشروی در سنگ های سست
- عدم امکان کنترل ریزش سینه کار و فضای حفاری شده
- اضافه شدن هزینه نگهداری موقت به پروژه
- اضافه شدن زمان بتن ریزی به مدت زمان حفاری پروژه

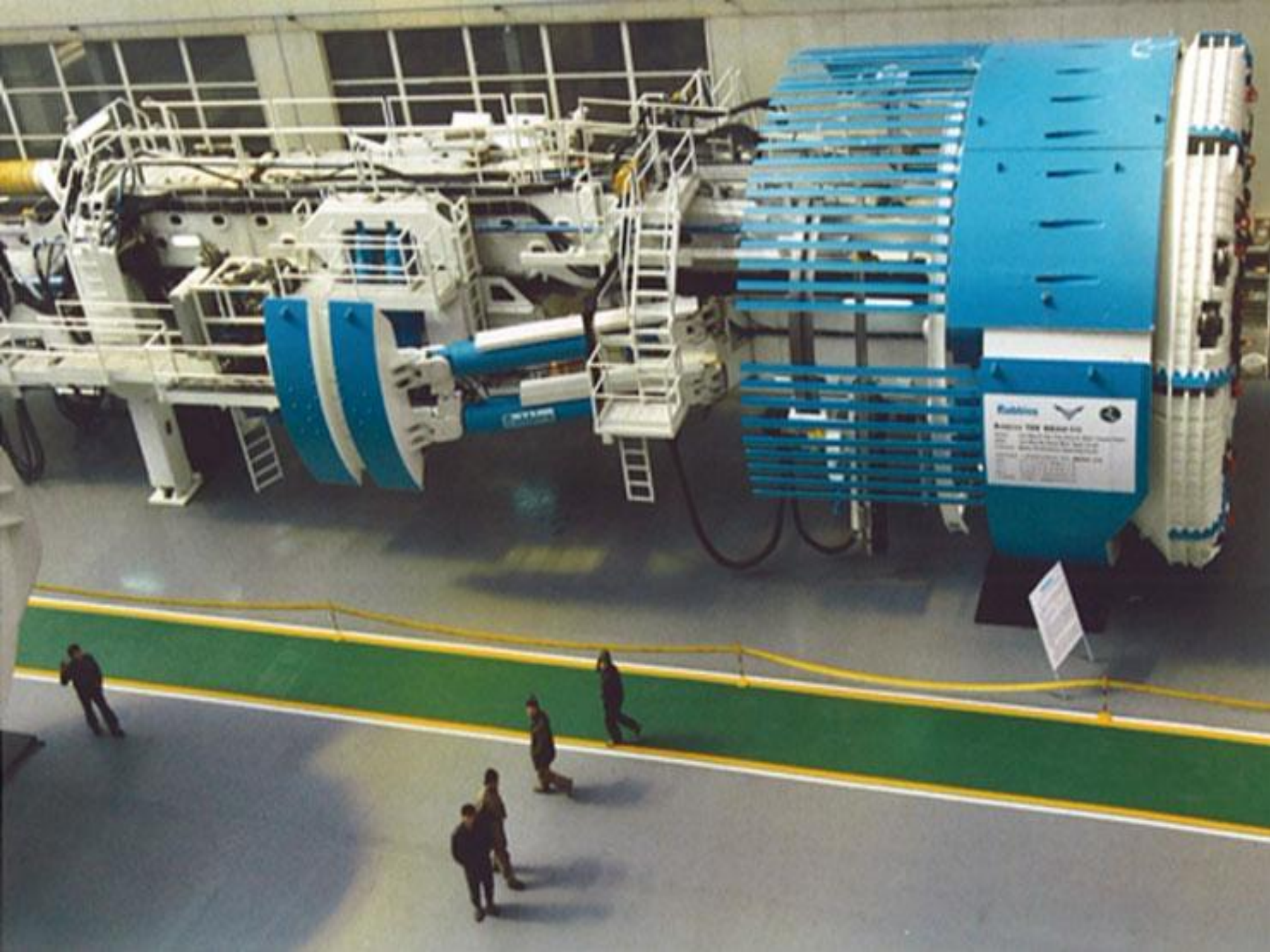
Single Shield T.B.M (ماشین تک سپره)

مزایا :

- امکان کار در زمین های ریزشی
- امکان کنترل نفوذ آب با سپر بسته و پمپاژ
- نصب همزمان نگهداری نهایی سگمنتی
- تزریق پشت سگمنت همزمان با اجرا

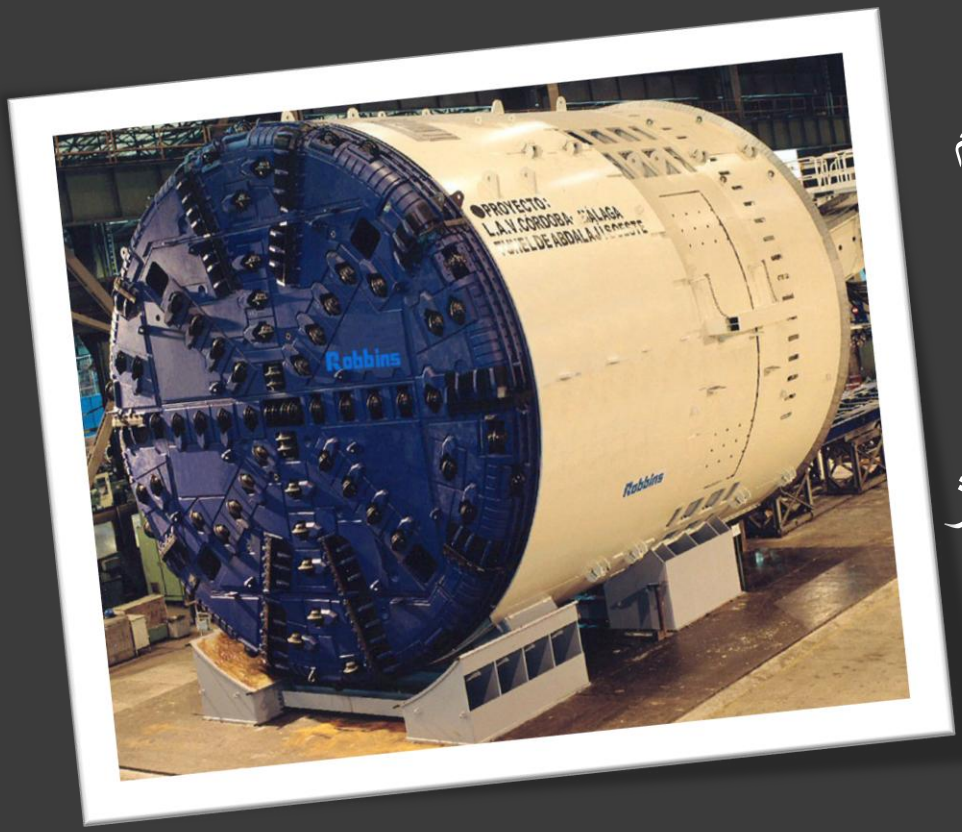
معایب :

- نرخ پیشروی کمتر آن نسبت به دو نوع دیگر
- امکان گیر بودن سپر در مواجهه با همگرایی زیاد زمین
- نیاز به کارخانه سگمنت



Robbins
Robbins

Double Shield T.B.M (ماشین سپر تلسکوپی)



مزایا :

- امکان کار در زمین های ریزشی و مقاوم
- نصب همزمان نگهداری نهایی سگمنتی
- تزریق پشت سگمنت همزمان با اجرا
- سرعت پیشروی بالا
- امکان کنترل نفوذ آب با سپر بسته و پمپاژ

معایب :

- نیاز به کارخانه سگمنت
- هزینه سرمایه گذاری بالا
- امکان گیر کردن سپر در مواجهه با همگرایی زیاد زمین و پدیده لهیدگی

SELI
COPISA
ATLL
fcc
CONSTRUCCION
COPISA
UTE TUNEL SANT JUST
SELI
fcc
CONSTRUCCION
COPISA
UTE TUNEL SANT JUST
SELI
SELI

آموزش روش کار دستگاه T.B.M

به صورت کاتالوگ

قسمت ترن تدارکات

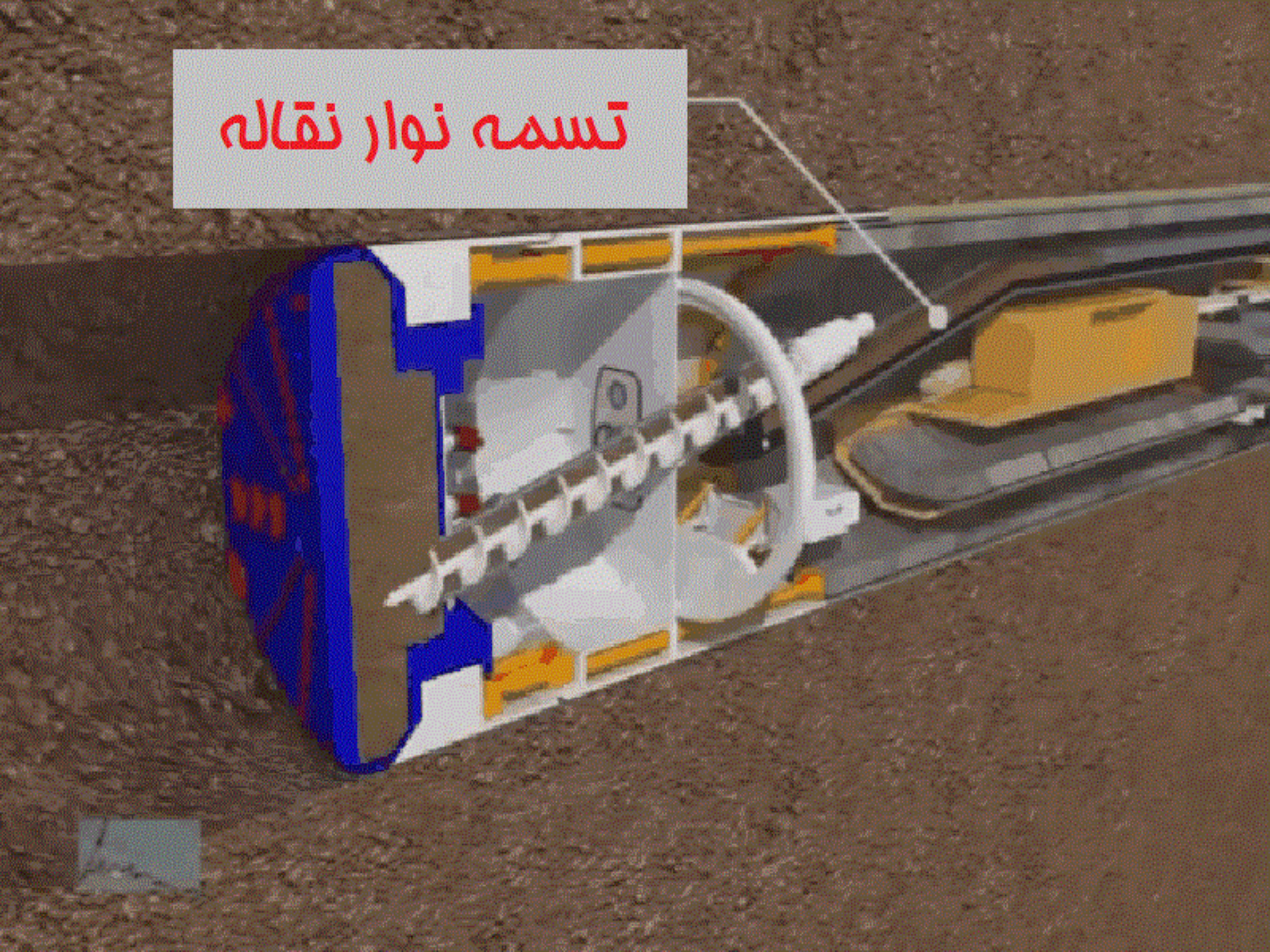
سر آلت تراش

نوک آلت تراش متفاوت است
بسته به شرایط زمین

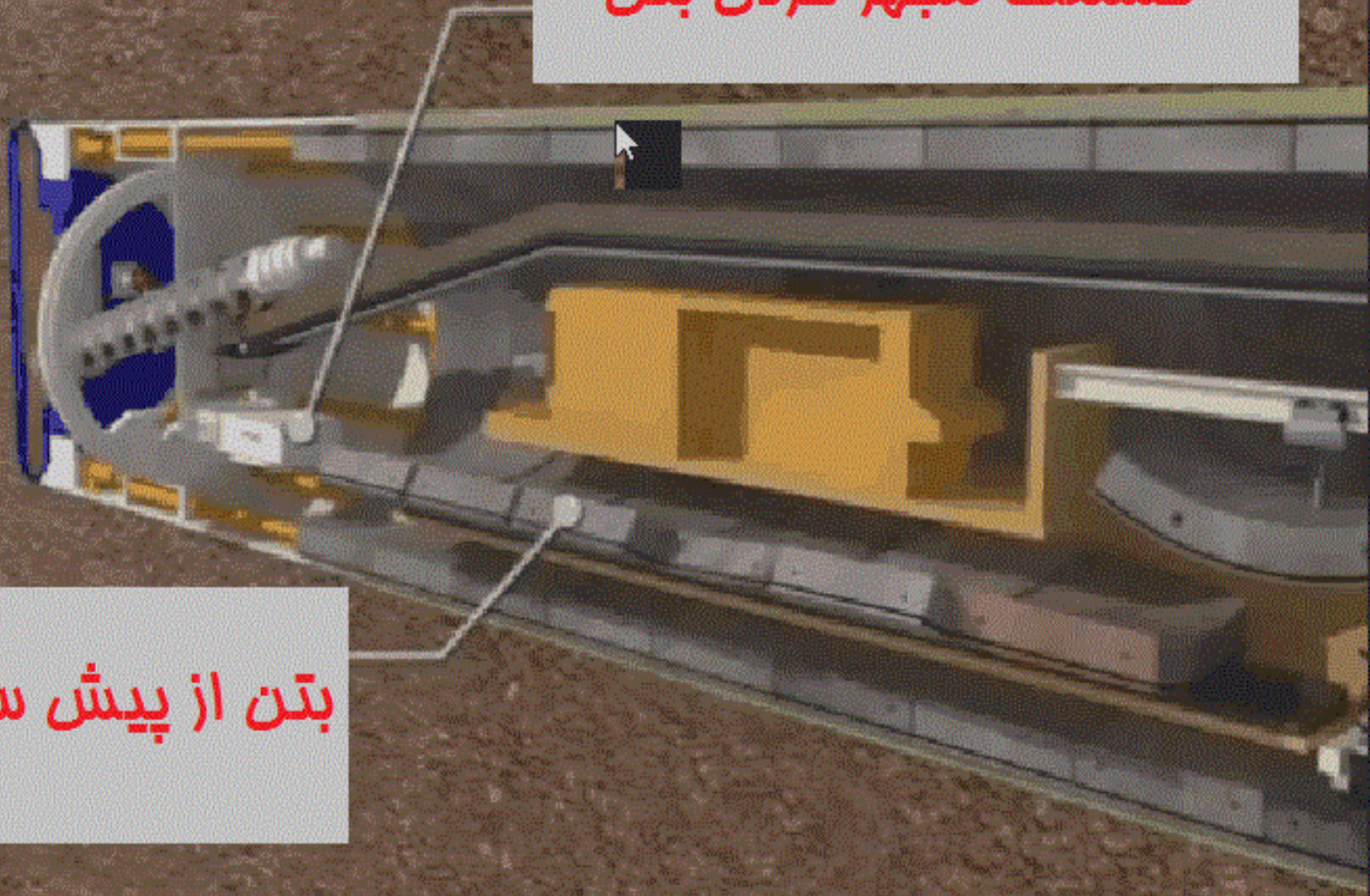
محفظه ذخیره شدن مواد حفاری شده هنگام پیشروی آلت تراش

پیچ نوار نقاله

تسمه نوار نقاله



قسمت مجهز کردن بتن



بتن از پیش ساخته شده

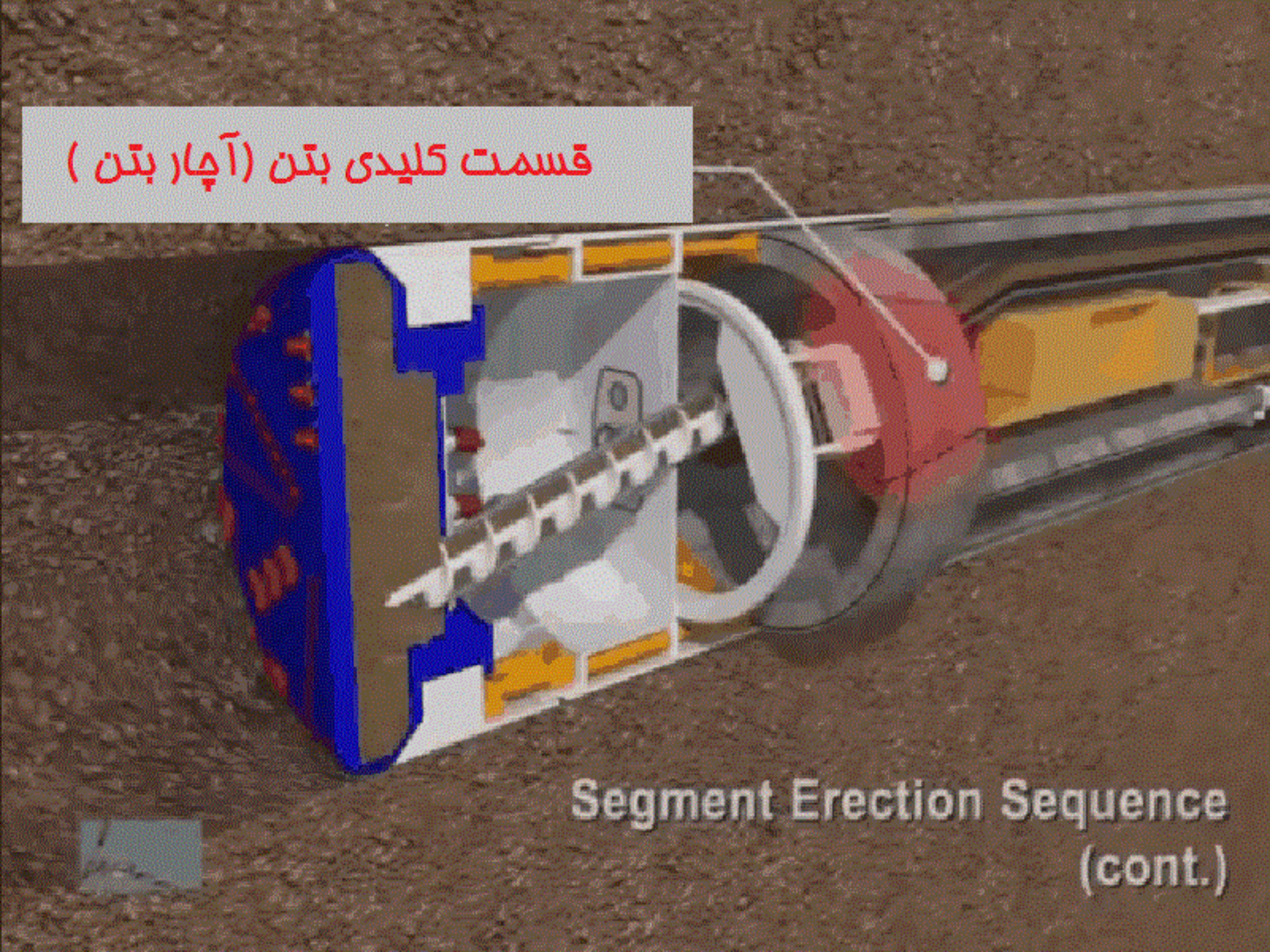
واشر در داخل شیار بخش
چسب

پیچ و مهره مناطق
شعاعی

تزریق سوراخ حلقوی

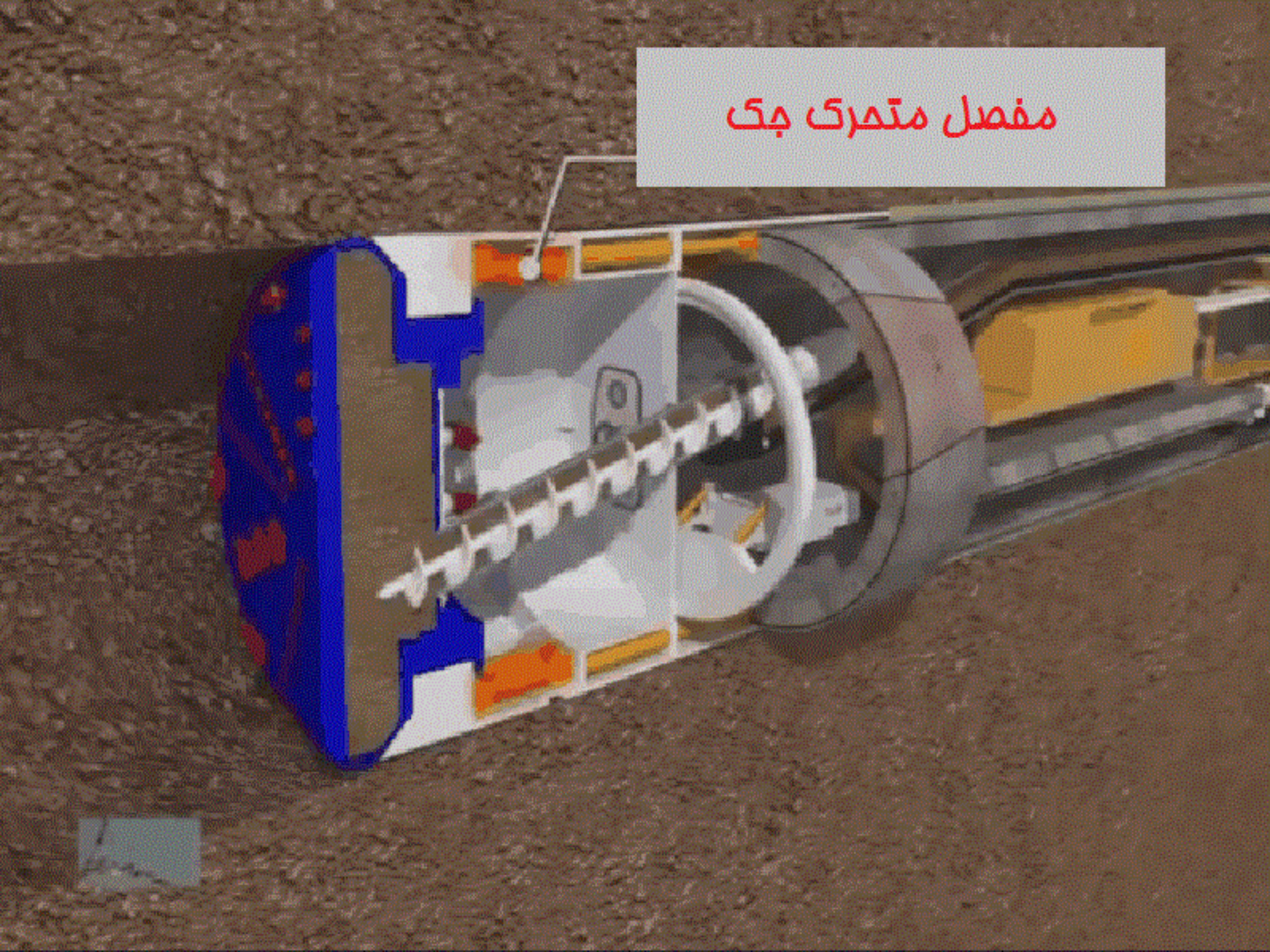
به هم متصل کردن به وسیله میخ پرچ

قسمت کلیدی بتن (آچار بتن)

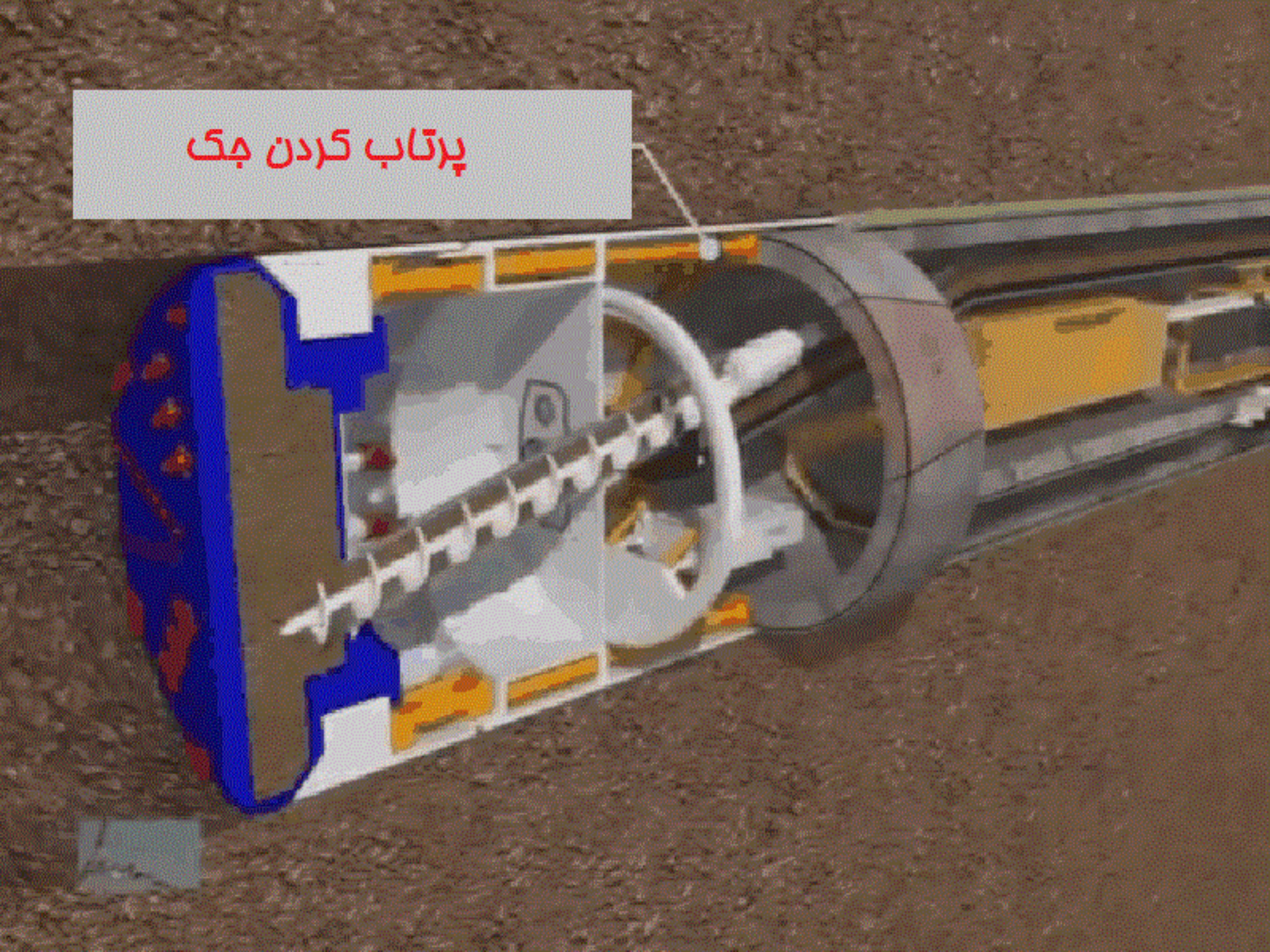


Segment Erection Sequence
(cont.)

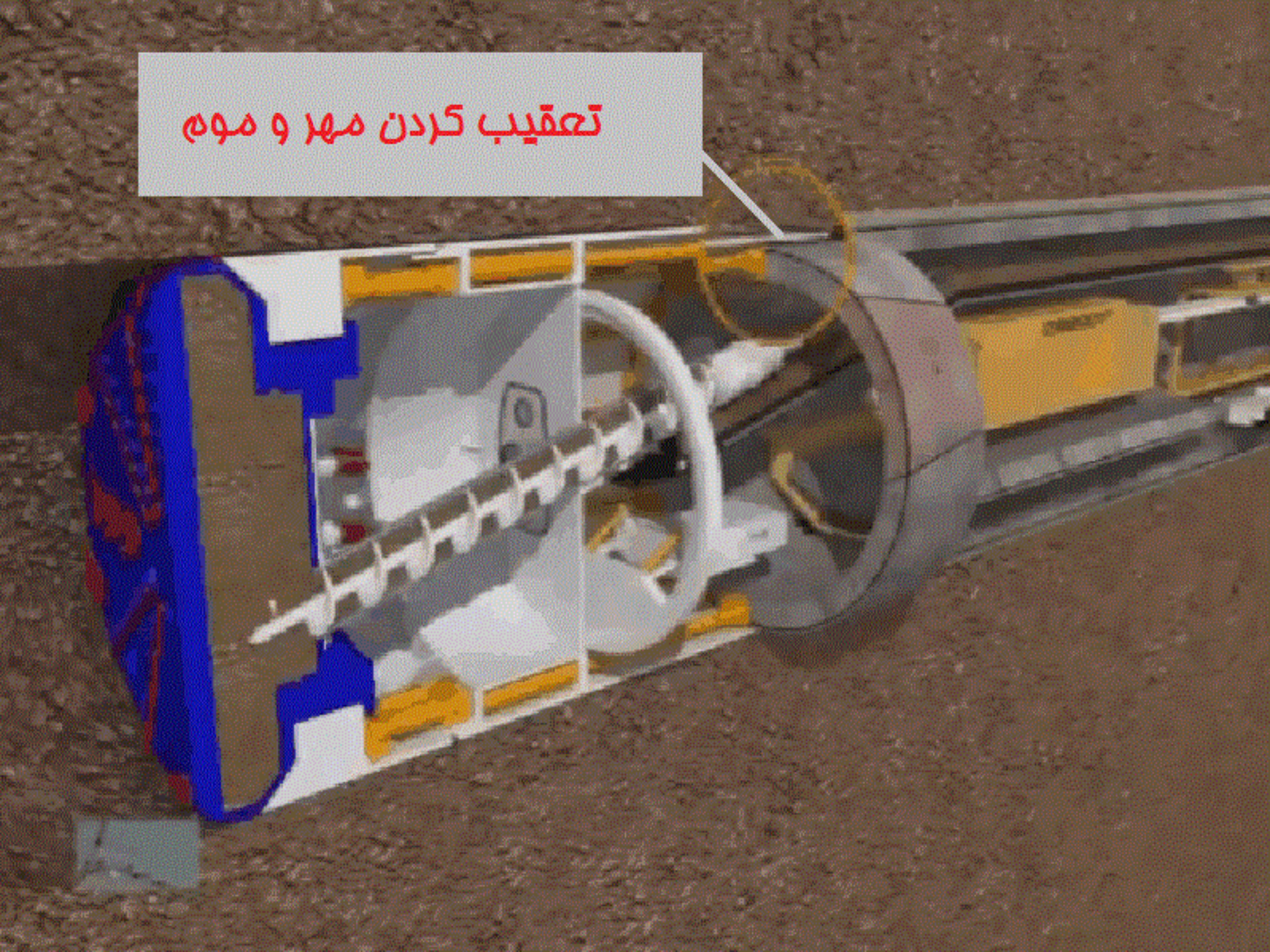
مفصل متحرک جک

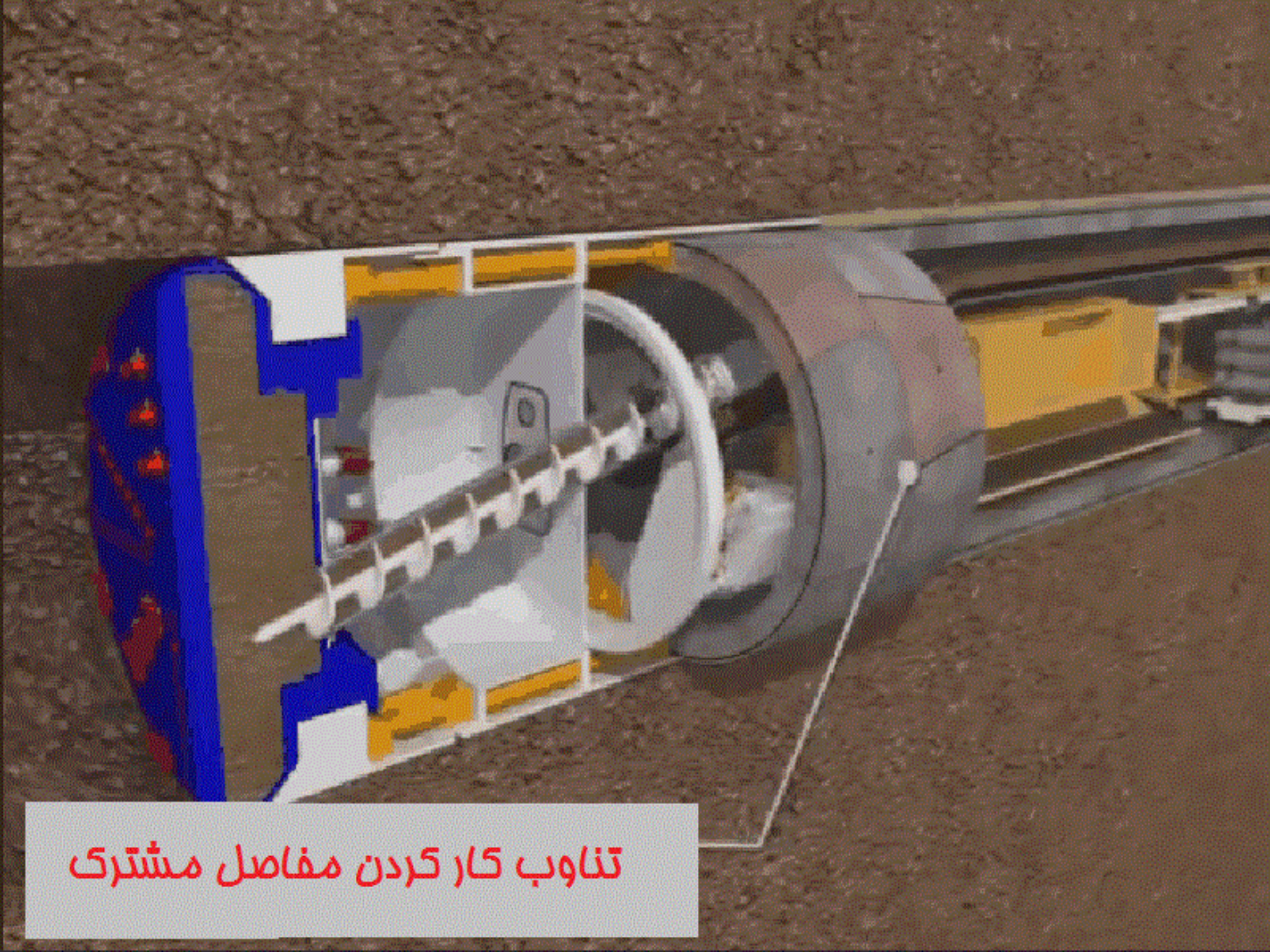


پرتاب کردن جک



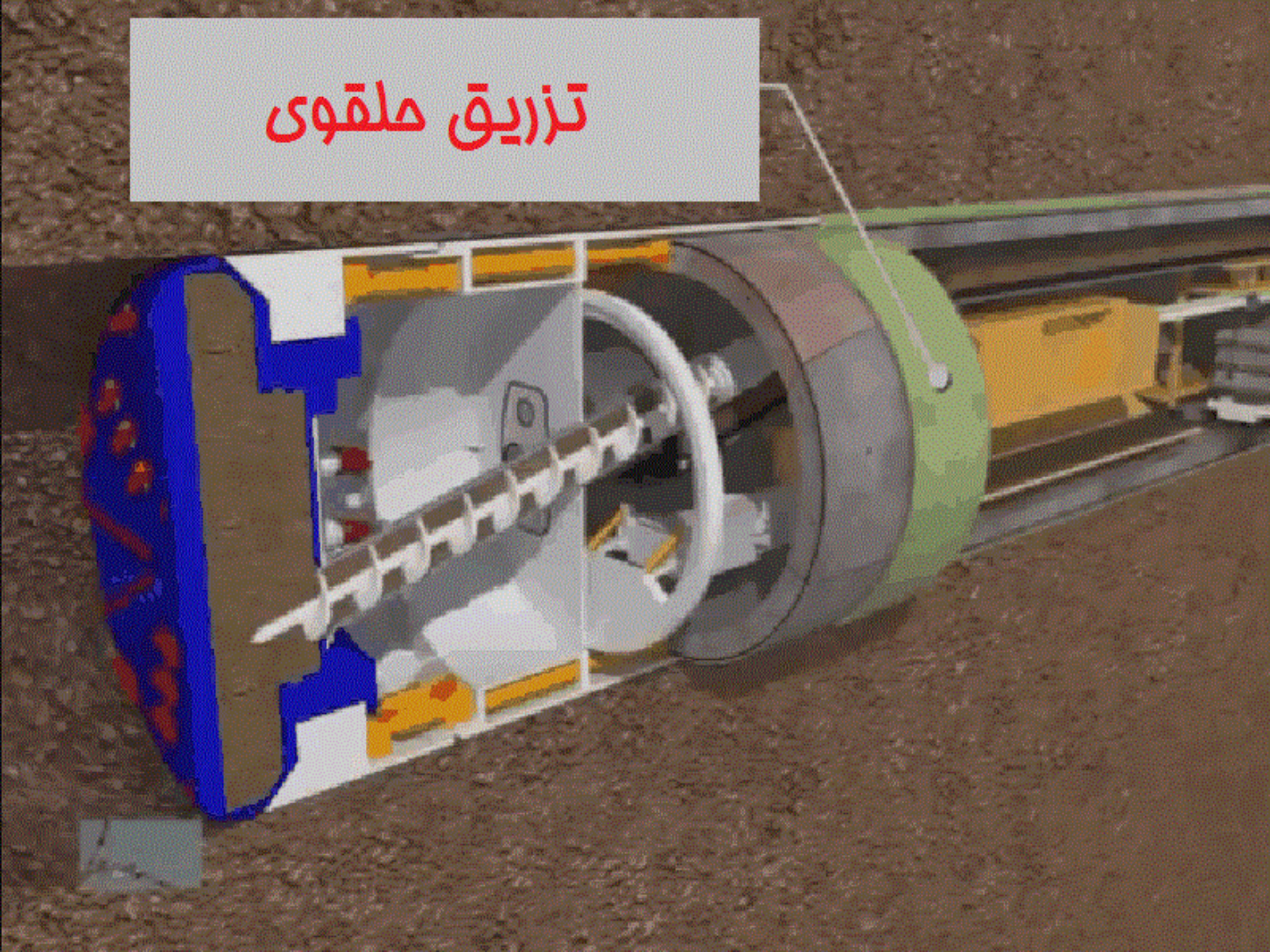
تعقیب کردن مهر و موم





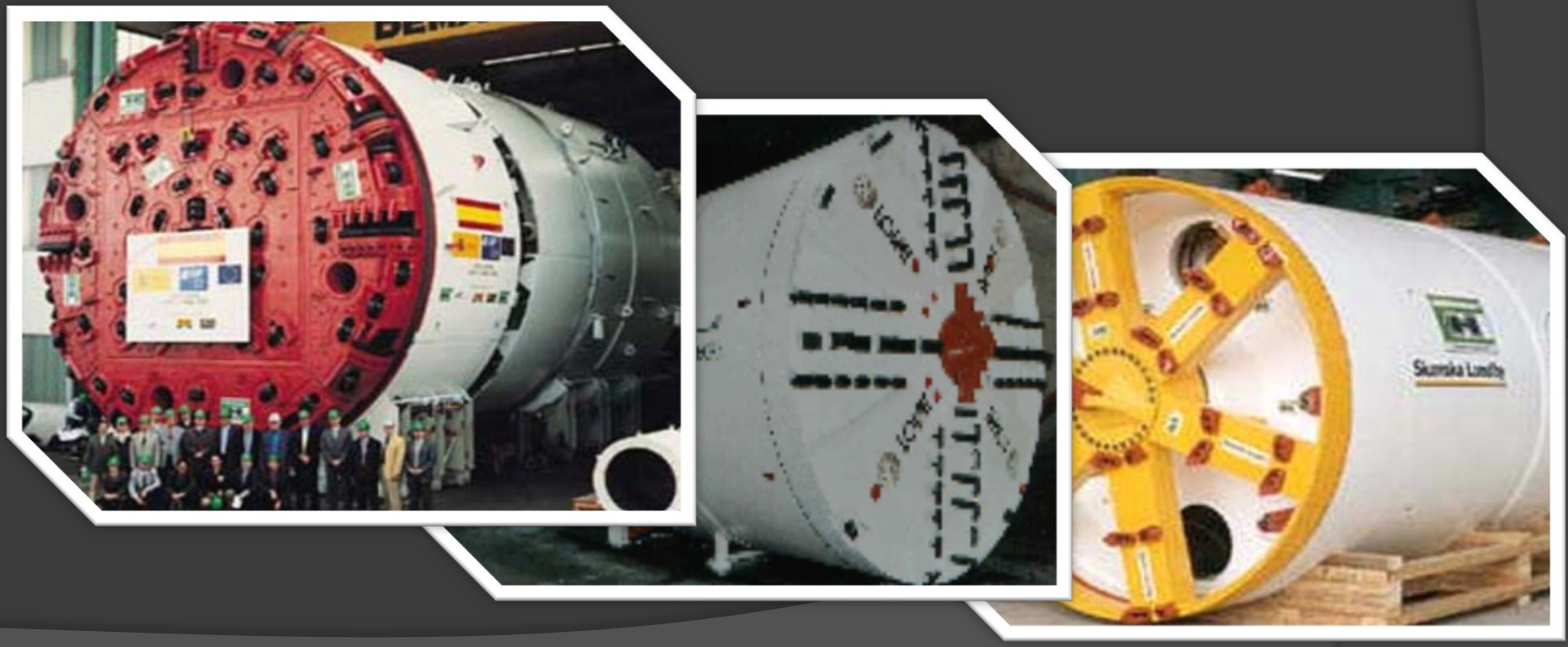
تناوب کار کردن مفاصل مشتری

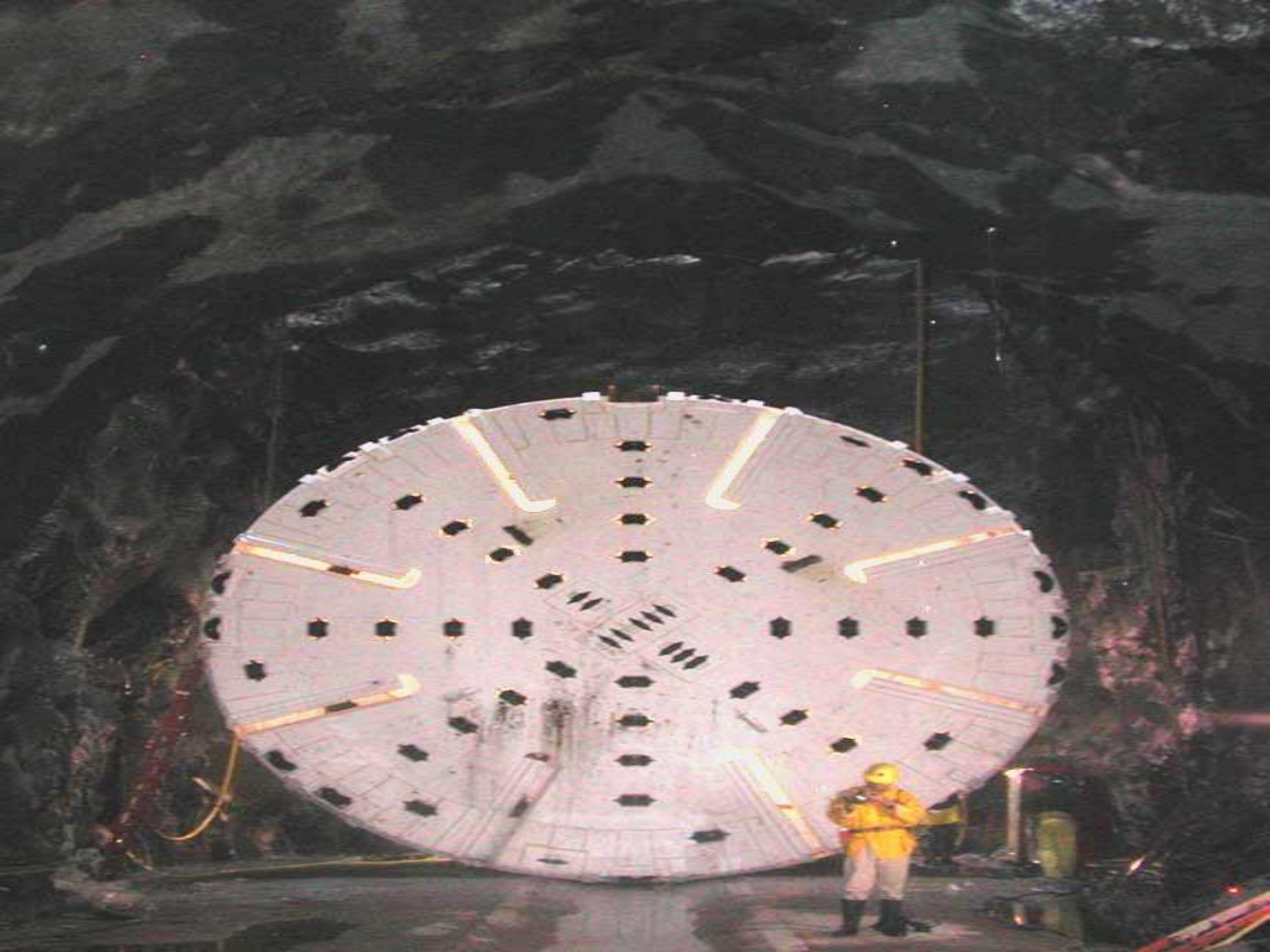
تزریق حلقوی



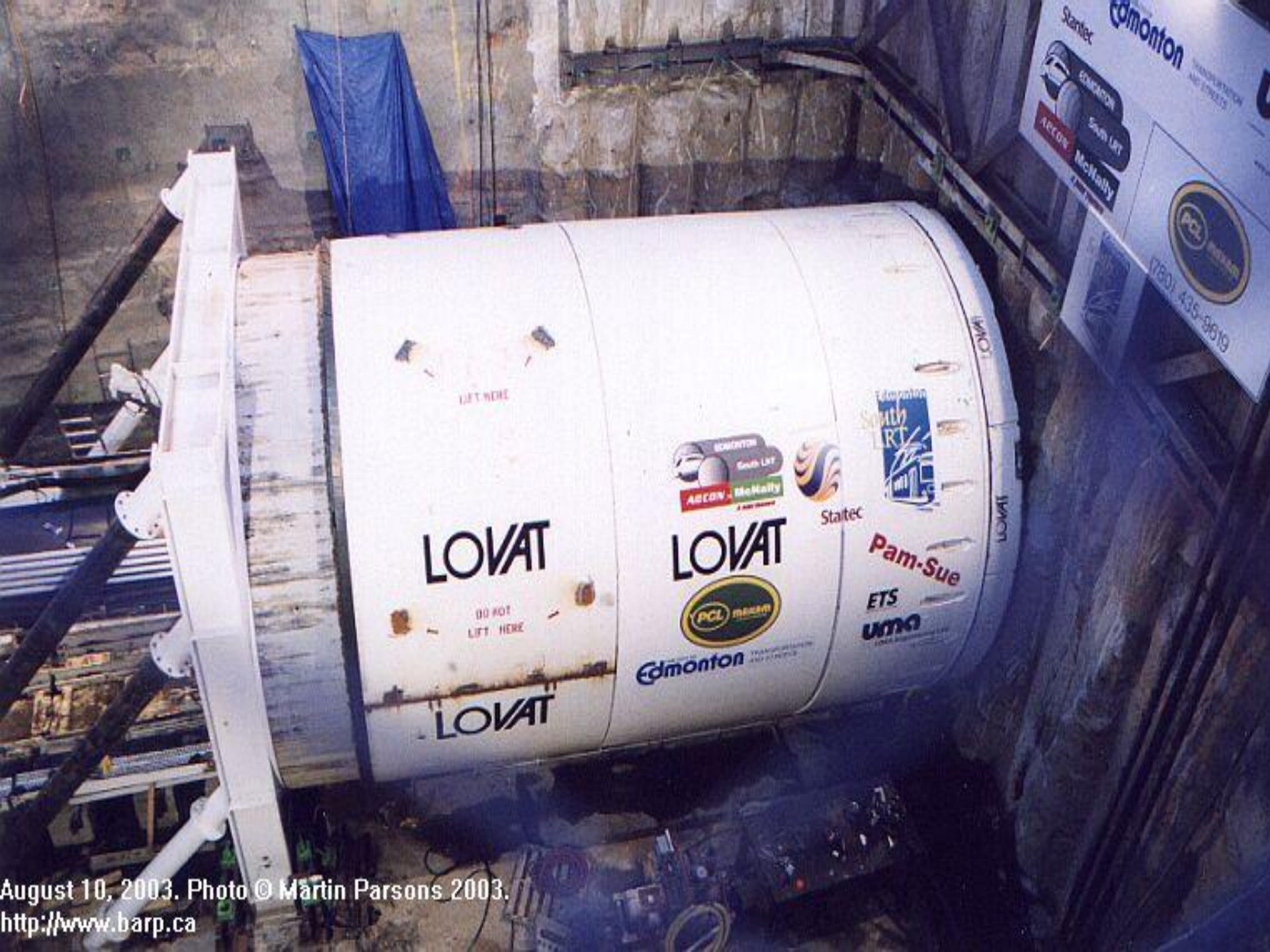
تصاویر گوناگون از ماشین آلات حفاری تونل

T . B . M





KT-2.6B2



August 10, 2003. Photo © Martin Parsons 2003.
http://www.barp.ca

H
H
M-245
AVN 600

The End