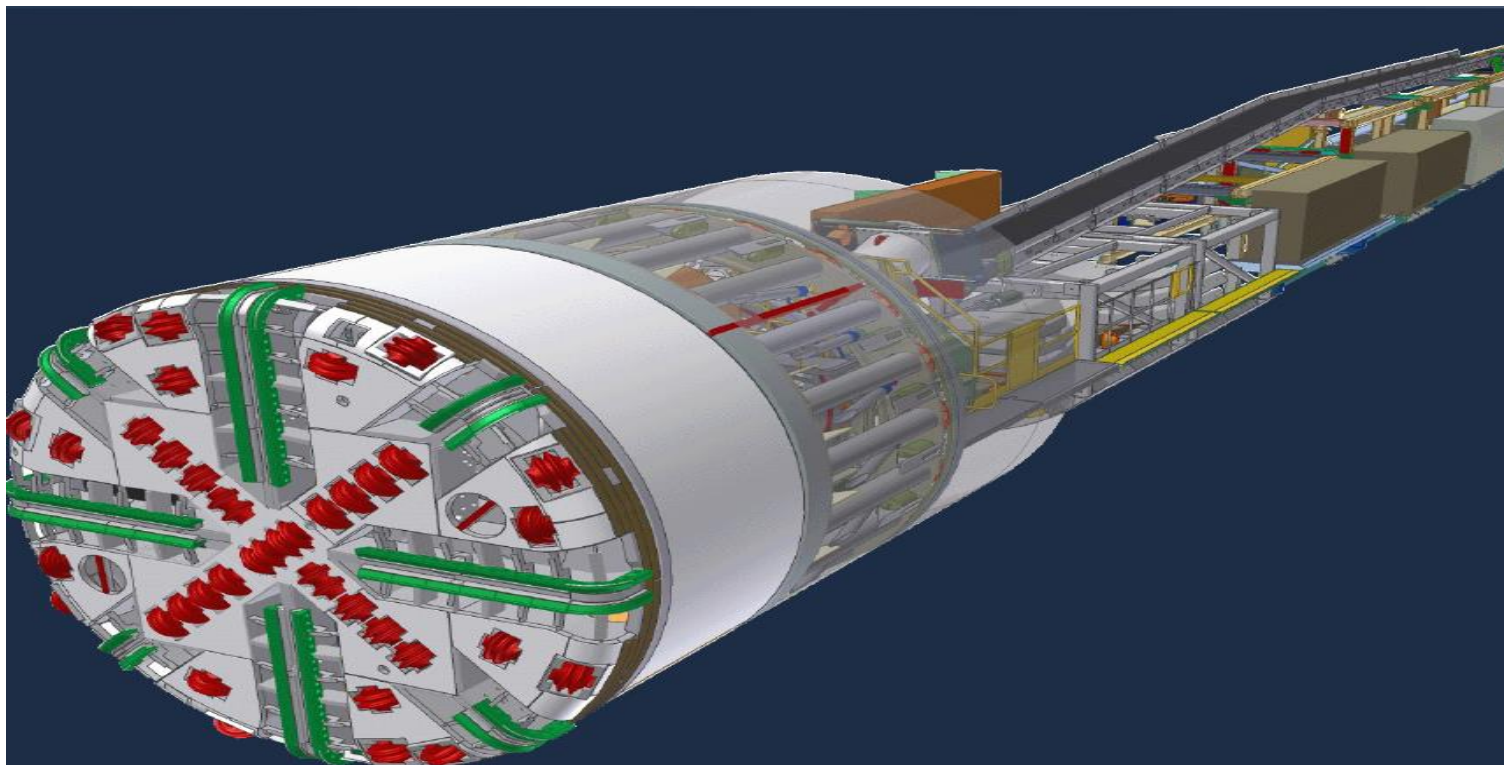


انتخاب دستگاه حفاری TBM و حداقل مشخصات فنی تونل انتقال آب T4 و T5



معیارهای انتخاب دستگاه

❖ تناسب با ساختگاه و زمین شناسی مسیر

مقاومت فشاری

شاخص کیفی RQD

و

❖ مخاطرات زمین شناسی

مواجهه با گاز

برخورد با آب دبی بالا

پدیده همگرایی

برخورد با مناطقی با پتانسیل هجوم مصالح

❖ آب بندی تونل

❖ عملکرد فنی و اجرایی

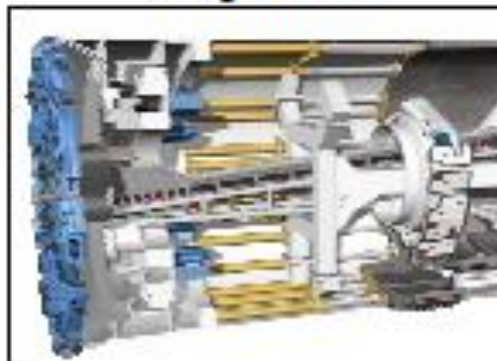
❖ زمانبندی پروژه

دستگاههای مناسب برای شرایط سنگی

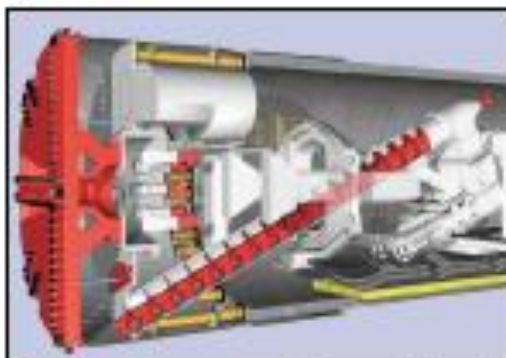
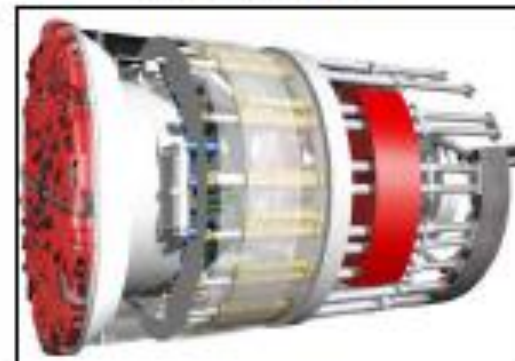
Gripper Machine



Single shield



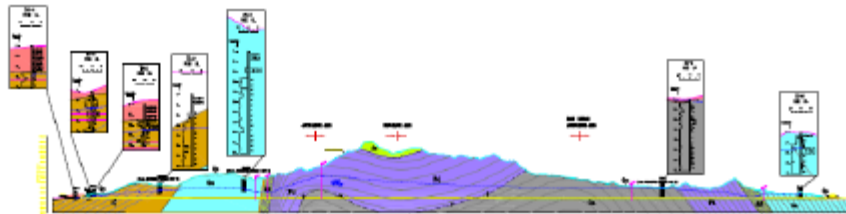
Double shield



Earth Pressure Balanced (EPB)



Slurry or Mixshield



تناسب با ساختگاه و زمین
شناسی مهندسی مسیر
(مقاومت فشاری، RQD و ...)

کلاس	پایه	گرایش	پایه	کلاس	آب و هوا	نام سازند
کلاس ۱	۱۹-۲۱	۱۹-۲۱	۱۹-۲۱	۱۹-۲۱	۱۹-۲۱	طول سازند
کلاس ۲	۲۱-۲۳	۲۱-۲۳	۲۱-۲۳	۲۱-۲۳	۲۱-۲۳	مقاومت فشاری تک محوری
کلاس ۳	۲۳-۲۵	۲۳-۲۵	۲۳-۲۵	۲۳-۲۵	۲۳-۲۵	RQD
کلاس ۴	۲۵-۲۷	۲۵-۲۷	۲۵-۲۷	۲۵-۲۷	۲۵-۲۷	RMR
کلاس ۵	۲۷-۲۹	۲۷-۲۹	۲۷-۲۹	۲۷-۲۹	۲۷-۲۹	وضعیت آب زیرزمینی
کلاس ۶	۲۹-۳۱	۲۹-۳۱	۲۹-۳۱	۲۹-۳۱	۲۹-۳۱	وضعیت مقاومتی
کلاس ۷	۳۱-۳۳	۳۱-۳۳	۳۱-۳۳	۳۱-۳۳	۳۱-۳۳	وضعیت آسایش
مقاومت فشاری تک محوری	OPEN TBM					
	SINGLE SHIELD					
	DOUBLE SHIELD					
	EPB					
RQD	OPEN TBM					
	SINGLE SHIELD					
	DOUBLE SHIELD					
	EPB					
RMR	OPEN TBM					
	SINGLE SHIELD					
	DOUBLE SHIELD					
	EPB					
وضعیت آب زیرزمینی	OPEN TBM					
	SINGLE SHIELD					
	DOUBLE SHIELD					
	EPB					

	کاربری نامناسب
	امکان کاربری
	کاربری مناسب

دستگاههای با قابلیت
حفاری تونل براساس
مقاومت و درزه داری:

-Single Shield TBM
-Double Shield TBM
-EPB TBM

امکانسنجی دستگاه EPB در سنگ

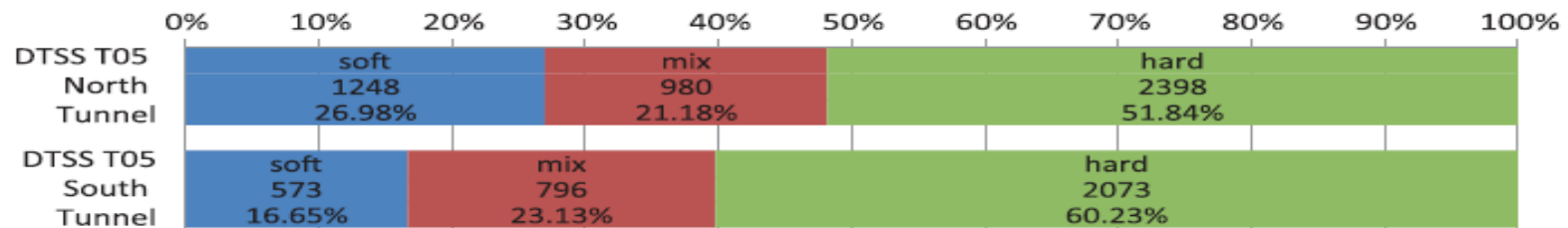
اهمیت پارامترهای مقاومت فشاری و RQD در انتخاب دستگاه مربوط به میزان حفرپذیری زمین پیشرو می باشد که دستگاههای EPB را در گذشته، به هنگام مواجهه با زمینهای سخت و یکپارچه دچار مشکل می کرد.

با افزایش محدوده کاربری ماشینهای EPB از محیط خاکی به سنگ امکان حفاری در شرایط زمین متنوع از خاکهای ماسه ای و رسی تا دولومیت و سنگ آهک با مقاومت فشاری حداکثر 180 Mpa و زمین ماسه ای و رسی به همراه انواع مختلفی از سنگهای رسوبی با مقاومت ماکزیمم 120Mpa گزارش شده است.

امکانسنجی دستگاه EPB در سنگ

بهترین مثال از کاربری دستگاههای EPB در پروژه DTSS بوده که موفق به حفاری زمینی با شرایط متنوع زمین-شناسی شامل خاک، Mix Face و سنگ با مقاومت فشاری 19-209 Mpa (متوسط 85 Mpa) که دارای RQD معادل ۹۴٪ شده است.

DTSS T05 Tunnel Geology



Rock type	Weathering grade	RQD (%)	UCS	
			Max (MPa)	Avg (MPa)
Granite I	GI	0-94	19-209	85
Granite II	GII-GIII	0-25	-	51
Granite III	GVI-GVI	0-5	<5	-

	D. of cutterhead (mm)	No. of cutters (#)	Cutter spacing (mm)	Nominal cutter force (kN)	P. rate in hard material (mm/rev)	P. rate in soft material (mm/rev)
T05 South drive	4880	35	100	250	3.8	12.5
T05 North drive before modification	4880	35	90	250	4.1	12.4
T05 North drive after modification	4880	33	100	250	3.0	13.2

مخاطرات زمین شناسی مسیر تونل T5

- **مواجهه با گاز متان، سولفید هیدروژن و ...**
(مؤلفه های موردنیاز: آب بندی و رقیق سازی گاز)
- **مواجهه با آب با دبی بالا**
(مؤلفه های موردنیاز: آب بندی، حفاری (Close Mode))
- **پدیده همگرایی**
(مؤلفه های موردنیاز: تراست بالا)
- **برخورد با مناطقی با پتانسیل هجوم مواد ریزدانه**
(مؤلفه های موردنیاز: آب بندی، حفاری (Close Mode))

گازهای سمی و انفجاری

"امروزه استفاده از دستگاههای EPB در محیطهای سنگی خصوصاً زمانی که مطالعات اولیه نشانگر عوارض خطرناکی از قبیل وجود آذیست، گازهای سمی و انفجاری برای سلامتی و ایمنی افراد باشد، روندی افزایشی داشته است. تکنولوژی EPB می تواند از انتشار مواد مضر در فضای تونل جلوگیری کند. استفاده از حالت Close دستگاه EPB می تواند انتشار گازهای موجود در زمین را به طور مؤثری محدود کرده و از تشکیل فضای خالی در بالای چمبر و امکان تشکیل حباب خطرناک انفجاری جلوگیری نماید".

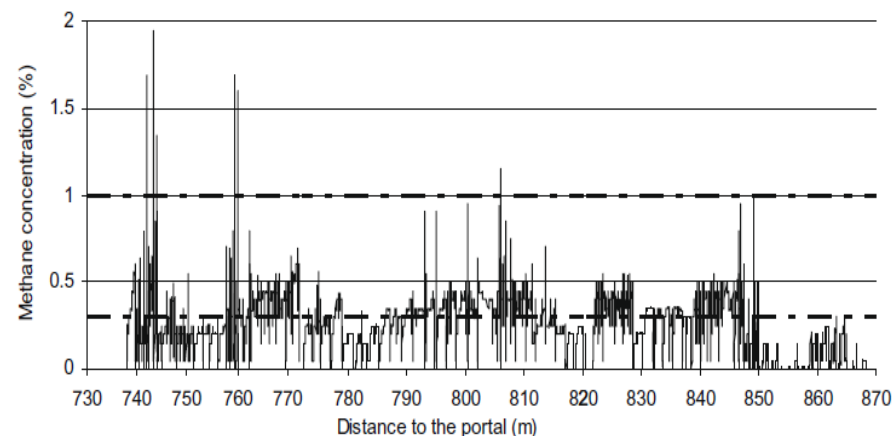
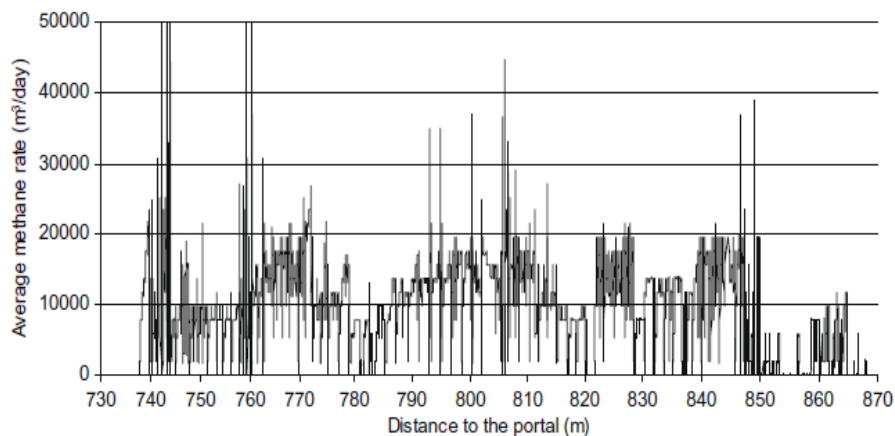
مطالعات طراحی تهویه تونل نشان می دهد که چنانچه میزان ورود آب حاوی گاز و نیز گاز متان کنترل نگردد، ظرفیت حداکثری تهویه جوابگوی رقیق سازی حجم گاز آزاد شده نخواهد بود و ناگزیر منجر به تعطیل شدن فعالیت های اجرائی خواهد گردید. جهت دستیابی به این امر، استفاده از دستگاه EPB می تواند حتی الامکان مانع ورود آب گردیده و یا میزان آب و یا گاز آزاد را بصورت کنترل شده و محدود به فضای تونل منتقل نماید.

گازهای سمی و انفجاری

مثال اول: Variante de Pajeres tunnels in Spain

حفاری با دستگاه های Single Shield TBM & Double Shield TBM

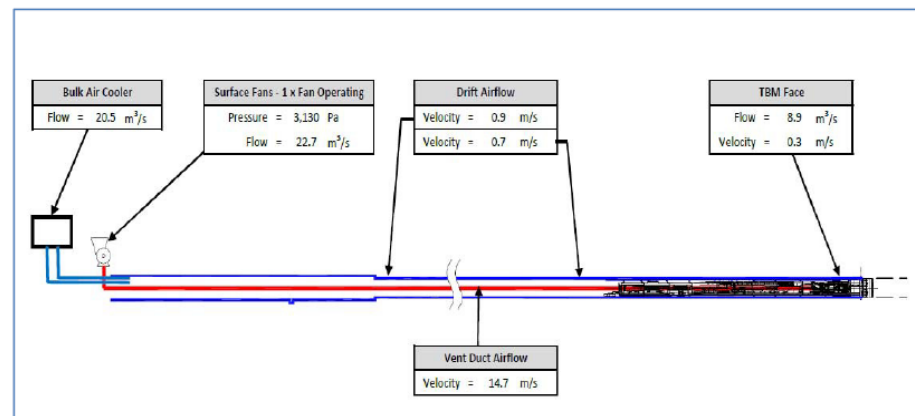
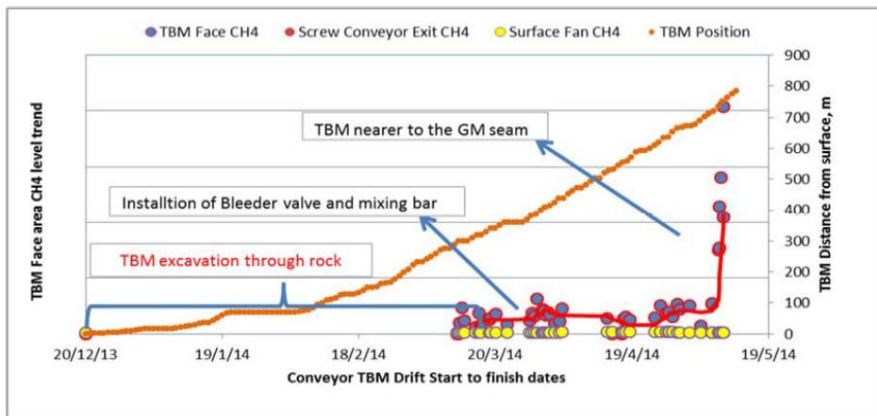
قطر تونل: 5 m



دبی تهویه: 60 m³/s

گازهای سمی و انفجاری

مثال اول: QLD tunnels in Australia
حفاری با دستگاه های EPB TBM (Hybrid)
قطر تونل: 8 m



دبی تهویه: 22-25 m³/s

عبور از مناطق با پتانسیل همگرایی

براساس مطالعات زمین شناسی مهندسی مسیر، پدیده همگرایی به میزان ۶۰ سانتیمتر پیش بینی شده بود.

این میزان، فشاری معادل 70-80 ton/m² به شیلدها وارد می شود.
با فرض فشار همگرایی 80 ton/m² به طور کامل در محیط دستگاه به تراستی معادل 64000 kN برای عبور نیاز است.

(ضریب اصطکاک شیلد و سنگ معادل ۰/۳۵ که بحرانی ترین حالت می باشد). در صورتی که از اقداماتی نظیر Over Cutting مناسب و تزریق همگن مواد لزج نظیر بتونیت در اطراف شیلد مورد استفاده قرار گیرد، این میزان تا ۳۲۴۰۰ کیلونیوتن نیز کاهش می یابد.

عبور از مناطق با پتانسیل همگرایی

مثال: تونل Uluabat tunnel

دستگاه Herrenknecht Single Shield TBM

قطر تونل: 5 m

طول شیلد: 12 m

سرعت همگرایی: 60 mm/hr

روباره: 120 m

مقاومت سنگ: 3 MPa

راه حل برای عبور:

افزایش نیروی تراست از

27000 kN به 40000 kN



مخاطرات زمین

در مواجهه با مناطقی با پتانسیل دبی آب بالا، زونهای حاوی مواد ریزدانه محبوس، کارست و ... بهترین راهکار حفاری بصورت Close Mode می باشد که این امر با دستگاه EPB امکانپذیر است.

در مسیر تونل T5 با توجه به پتانسیل بالایی که در برخورد با آب دبی بالا، منابع آب زیرزمینی و حتی هجوم مصالح وجود دارد، گزینه EPB بهترین انتخاب است.



12th Iranian and 3rd Regional
Tunnelling
Conference

“Tunnelling and Climate Change”

An event endorsed by



ASSOCIATION INTERNATIONALE DES TUNNELS
ET DE L'ESPACE SOUTERRAIN
ITA
INTERNATIONAL TUNNELLING
AND UNDERGROUND SPACE
ASSOCIATION
AITES



انتخاب دستگاه

Single Shield TBM	EPB TBM RME 257 SE	EPB TBM	EPB TBM	EPB TBM RME 270 SE	نام دستگاه		
NH	lovet	Terratec	Herrenknecht	lovet	سازنده		
atmosphere	3 bar	2-3 bar	3 bar	4 bar	فشار محیطی	حجم از مناطق با فشار کم	فشار محیطی
atmosphere	4.4 bar	-	4.5 bar	10 bar	فشار استاتیکی	آب، موم، مصالح و آب بندی	(Close Mode)
5355 J206	5355 J205	5355 J204	5355 J203	5355 J202	حجم تونل	خط محیطی افق و دره	تولید
105 + 25 mm	19 + 12.5 mm	120 + 20 mm	15 mm	70 + 6.5 mm	میزان احداث حفاری	ماری و حجم از مناطق مسکونی	تولید
83 mm	-	83 mm	88 mm	85 mm	تولید ماری و مسکونی	تولید ماری و مسکونی	تولید
1950 kW	900 kW	900 kW	1440 kW	1800 kW	تولید تونل	خط محیطی افق و دره	تولید
7 RPM	6 RPM	3 RPM	6 RPM	3 RPM	موتور تونل	ماری و حجم از مناطق مسکونی	تولید
4880 kNm	4665 kNm	5628 kNm	3597 kNm	30150 kNm	گشتاور ماکزیم	گشتاور ماکزیم	تولید
6100 kNm	4905 kNm	7316 kNm	6155 kNm	12690 kNm	گشتاور Unlocking	گشتاور Unlocking	تولید
9305 mm	9300 mm	10225 mm	11000 mm	9000 mm	طول حفایت	حجم از مناطق با فشار کم	تولید
2 row+ 1 grease Pump	2 row+ 1 grease Pump	3 row+ 2 grease Pump	3 row+ 1 grease Pump	3 row+ 2 grease Pump	آب بندی حفایت	مسکونی و آب بندی	تولید
40000 kN	53000 kN	40000 kN	29716 kN	65000 kN	تولید تراست	حجم از مناطق با فشار کم	تولید
80 mm/min	150 mm/min	80 mm/min	80 mm/min	150 mm/min	سرعت پیشروی	سرعت پیشروی	تولید
-	40138 kN	-	-	40000 kN	تولید تراست اکثر	حجم از مناطق با فشار کم	تولید
-	400 m3/hr	360 m3/hr	350 m3/hr	520 m3/hr	تولید تراست	سرعت پیشروی	تولید
735 ton/hr	720 ton/hr	450 ton/hr	810 ton/hr	985 ton/hr	تولید تراست	سرعت پیشروی	تولید
-	5	4	4	7	تولید تراست	تولید تراست	تولید
-	-	4	4	4	تولید تراست	تولید تراست	تولید
-	-	6	6	6	تولید تراست	تولید تراست	تولید
-	-	54.5 m3/hr	274 m3/hr	200 m3/hr	تولید تراست	تولید تراست	تولید
Pre Gravel	Mortar	Two Component grout	Mortar	Mortar	تولید تراست	تولید تراست	تولید
1*15 m3 (1 line)	2*11 m3 (4 line)	2*9 m3 (2 line)	2*2*5 m3 (4 line)	2*12 m3 (4 line)	تولید تراست	تولید تراست	تولید
6 m3	-	7 m3	7 m3	12 m3	تولید تراست	تولید تراست	تولید
-	-	-	-	8	تولید تراست	تولید تراست	تولید
-	-	-	-	4*20 l/min	تولید تراست	تولید تراست	تولید
-	-	-	-	2	تولید تراست	تولید تراست	تولید
-	-	-	-	2*167 l/min	تولید تراست	تولید تراست	تولید

پارامتر های دستگاه و تولید های مورد نیاز

انتخاب دستگاه

در بین دستگاه های EPB پیشنهادی از سازندگان مختلف، انتخاب نهایی:

دستگاه

Lovat EPB TBM RME 270 SE

با توجه به نیروی تراست، فشارپذیری بیشتر، استحکام سازه اصلی دستگاه، ظرفیت اسکرو تخلیه مصالح، توان کاترهد، طول شیلد و ... بر سایر ماشینها ترجیح داده شده است. این دستگاه برای شرایط همگرایی دارای قابلیت بیشتری نسبت به دستگاه سینگل پیشنهادی از نقطه نظر نیروی تراست و طول شیلد بوده است.

انتخاب دستگاه

در بین دستگاه های EPB پیشنهادی از سازندگان مختلف، انتخاب نهایی:

دستگاه

Lovat EPB TBM RME 270 SE Series 24300

با توجه به:

- نیروی تراست 65000 kN عملیاتی و 85000 kN در حالت Unlocking
- نیروی تراست اکتیو برای فرانت شیلد 40000 kN
- فشارپذیری 4 bar در شرایط عملیاتی و 10 bar در حالت استاتیکی
- استحکام سازه اصلی دستگاه
- ظرفیت اسکرو تخلیه مصالح 520 m³/hr
- توان کاترهد 1600 kW
- طول شیلد 9.2 m

و ... بر سایر ماشینهای EPB پیشنهادی ترجیح داده شده است.

این دستگاه برای شرایط همگرایی دارای قابلیت بیشتری نسبت به دستگاه سینگل پیشنهادی از نقطه نظر نیروی تراست و طول شیلد بوده است.

بررسی مشخصات دستگاه LOVAT EPB RME 270 SE

- ☐ تناسب کاترهد
- ☐ قابلیت دستگاه برای مواجهه با آب و گاز
- ☐ توانایی دستگاه در عبور از پدیده همگرایی

تناسب کاترهد با توده سنگهای مسیر تونل T5

❖ مکانیزم حفاری و خطوط برش کاترهد

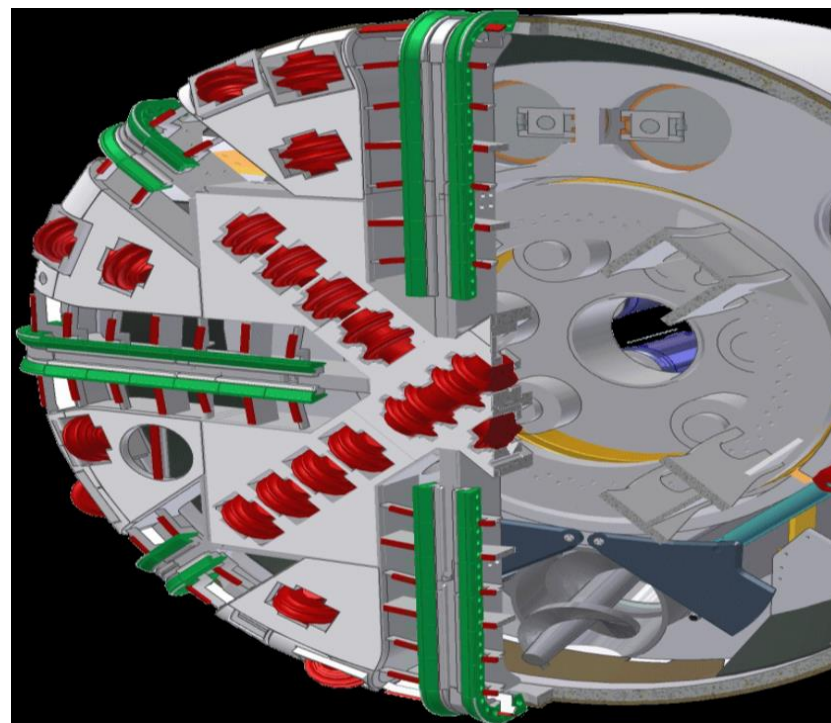
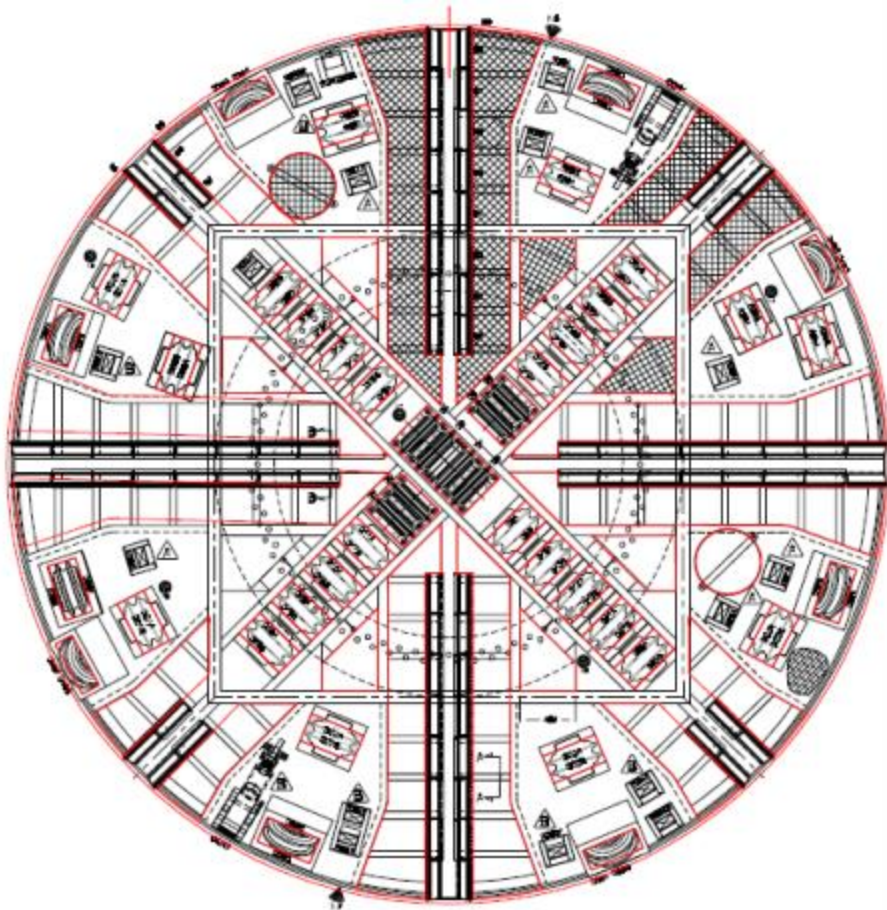
❖ آنالیز سازه ای کاترهد

❖ قابلیت نصب دیسک کاتر

❖ تغییر دور کاترهد

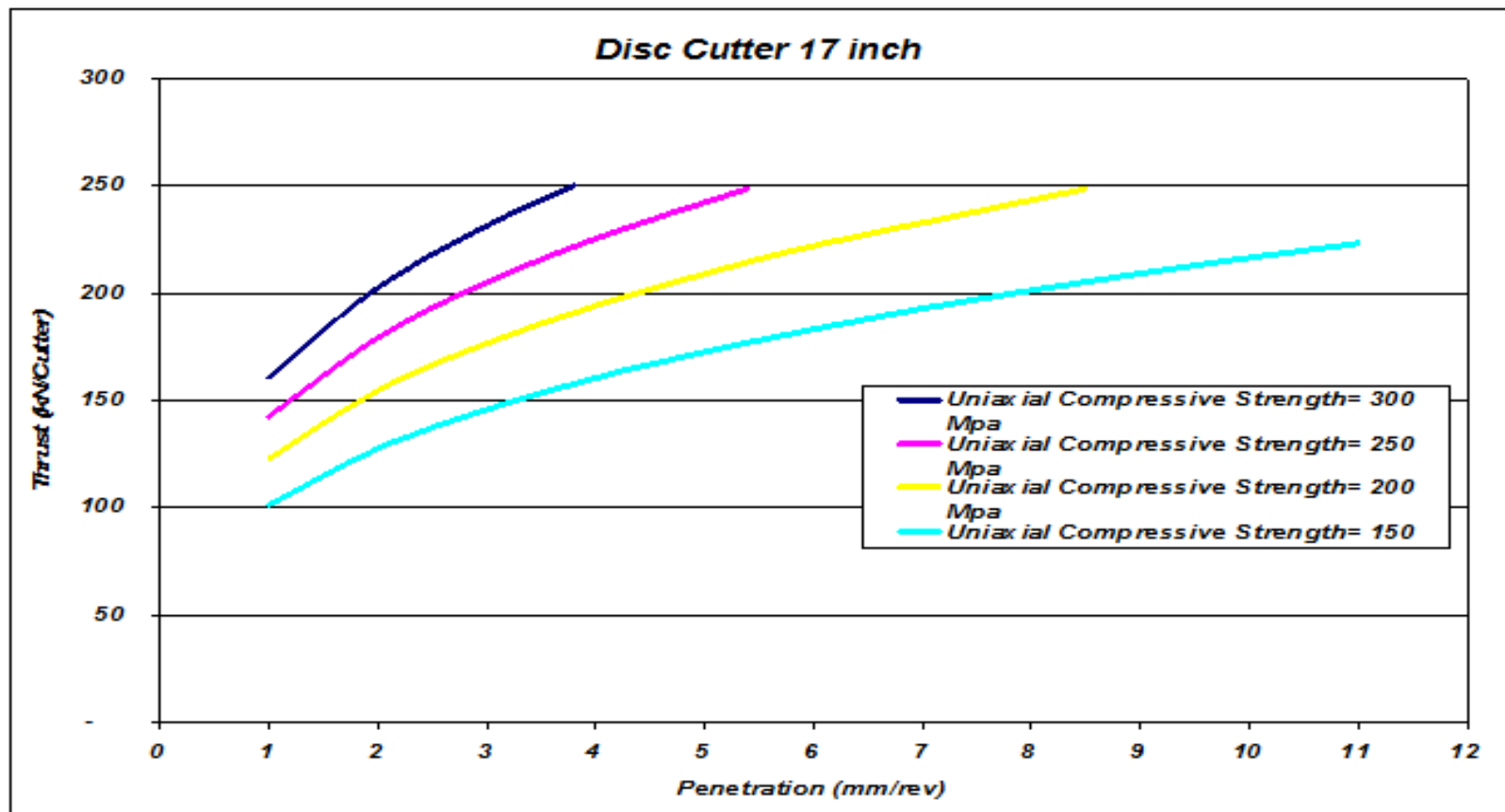
مکانیزم حفاری و خطوط برش کاترهد

کاترهد دارای ۴۴ عدد دیسک کاتر ۱۷”
میباشد که ۴ عدد از آنها دوقلو و ۳۶ عدد
دیسک کاتر تکی دو تیغه است.

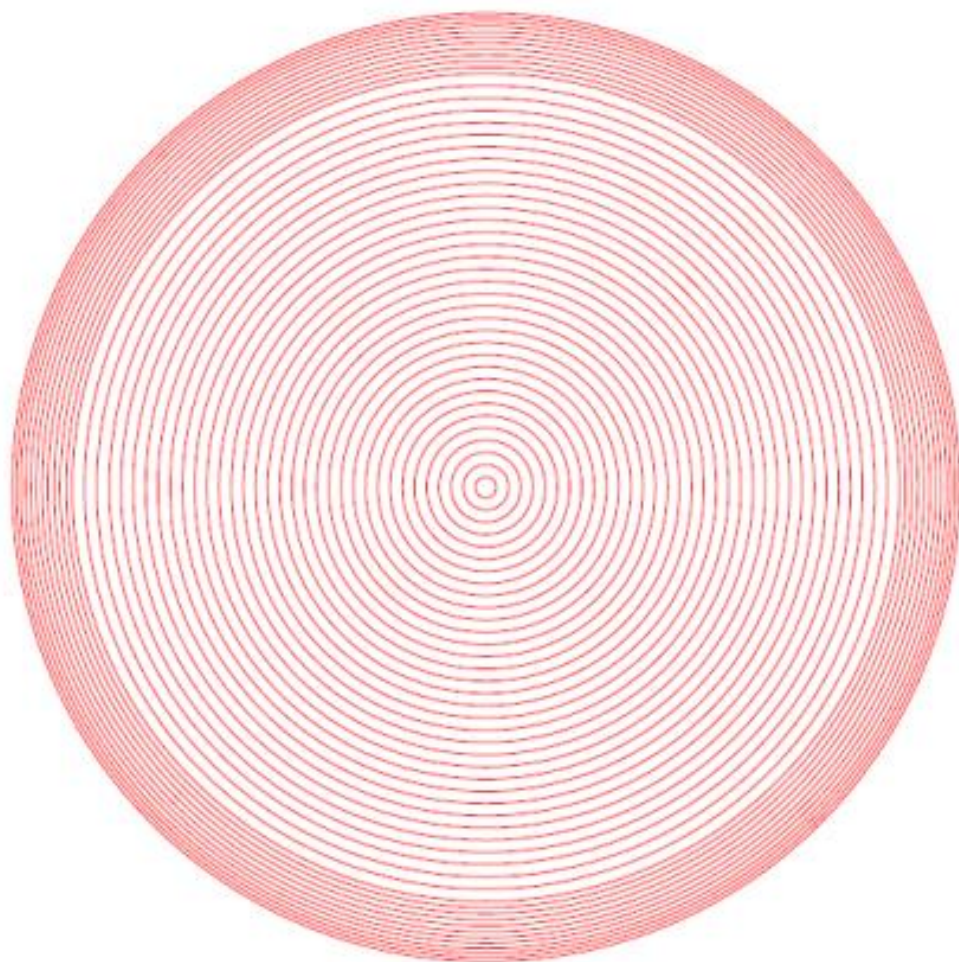


مکانیزم حفاری و خطوط برش کاترهد

حداکثر ظرفیت بارگذاری دیسک کاترهای 17” برابر 250 kN بوده که برای حفاری سنگ تا مقاومت 300 Mpa به کار گرفته می شود.



مکانیزم حفاری و خطوط برش کاترهد

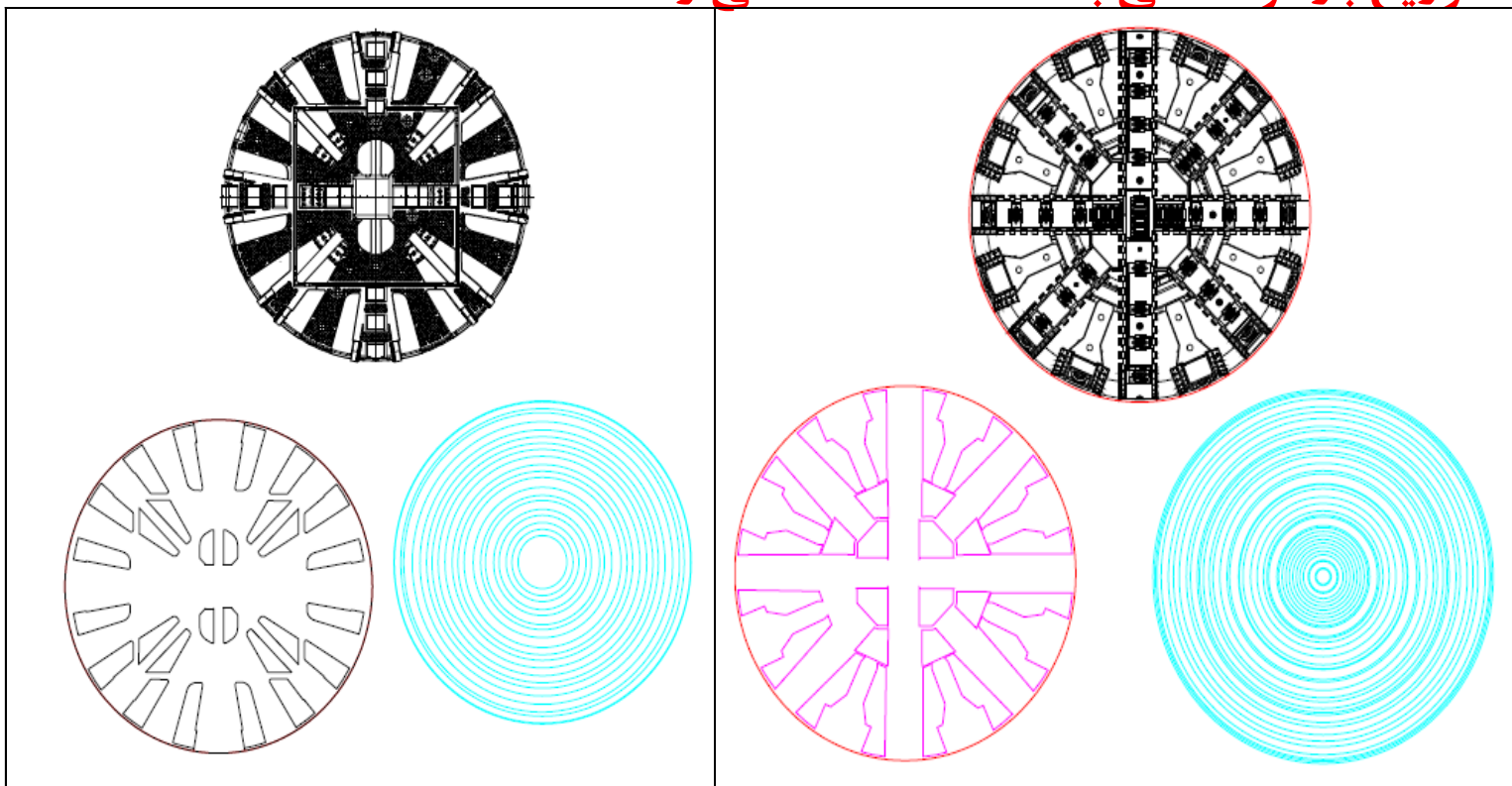


فاصله داری دیسک کاترها
از یکدیگر 85 mm است.

فاصله داری از 89 mm تا
30 mm در محیط کاترهد
تغییر می کند

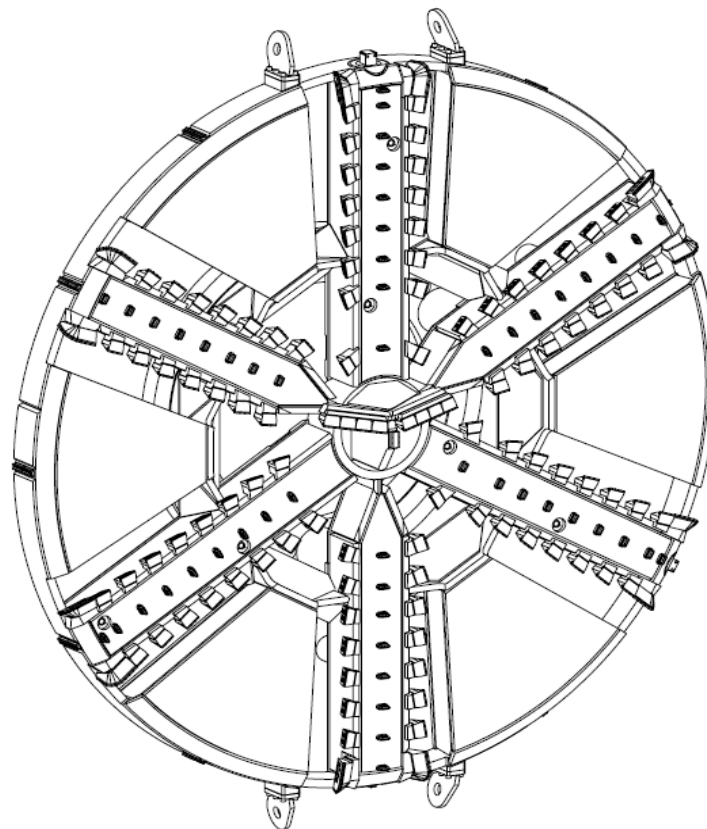
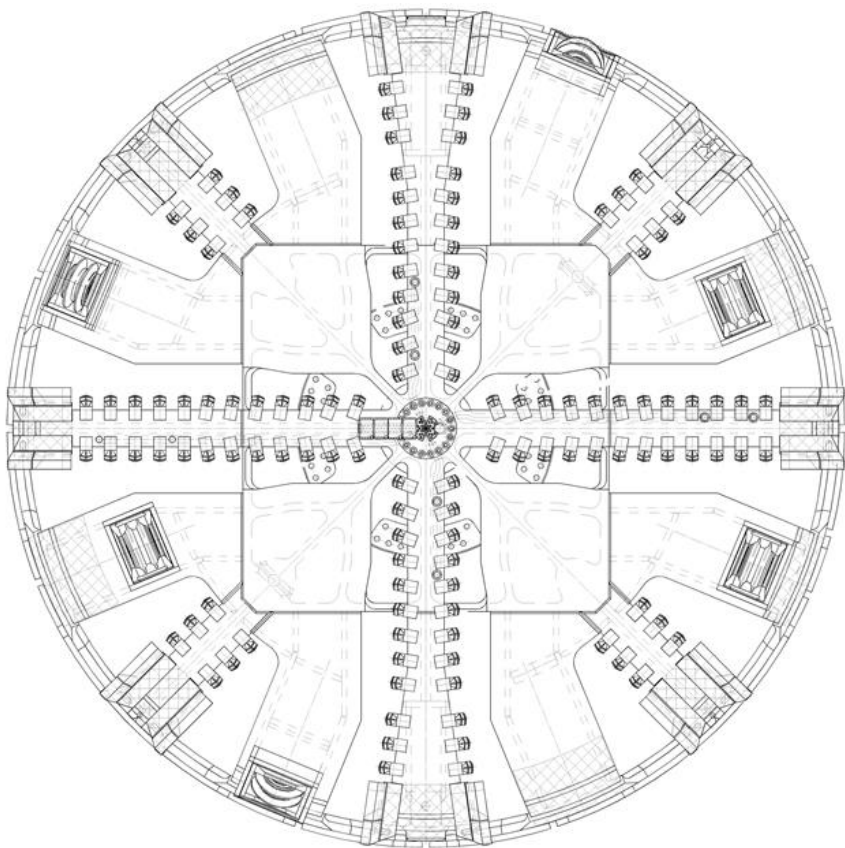
مکانیزم حفاری و خطوط برش کاترهد

فاصله داری دیسک کاترها در کاترهدهای دستگاههای EPB که مناسب حفاری در سنگ نیست و تنها برای مقابله با وجود بولدر در خاک طراحی شده اند. فاصله ابزار برشی در برخی نقاط به علت توزیع بازشوها حتی به 150-200 mm می رسد



مکانیزم حفاری و خطوط برش کاترهد

کاترهد بدون باکس دیسک کاتر و نامناسب برای حفاری سنگ



آنالیز سازه ای کاترهد

جنس کاترهد دستگاه

Lovat EPB TBM MER 270 SE
CHT 100 (DIN Ste 690)

جنس کاترهد معمول و پیشنهادی

S355 J2G3 (DIN ST 52.3)



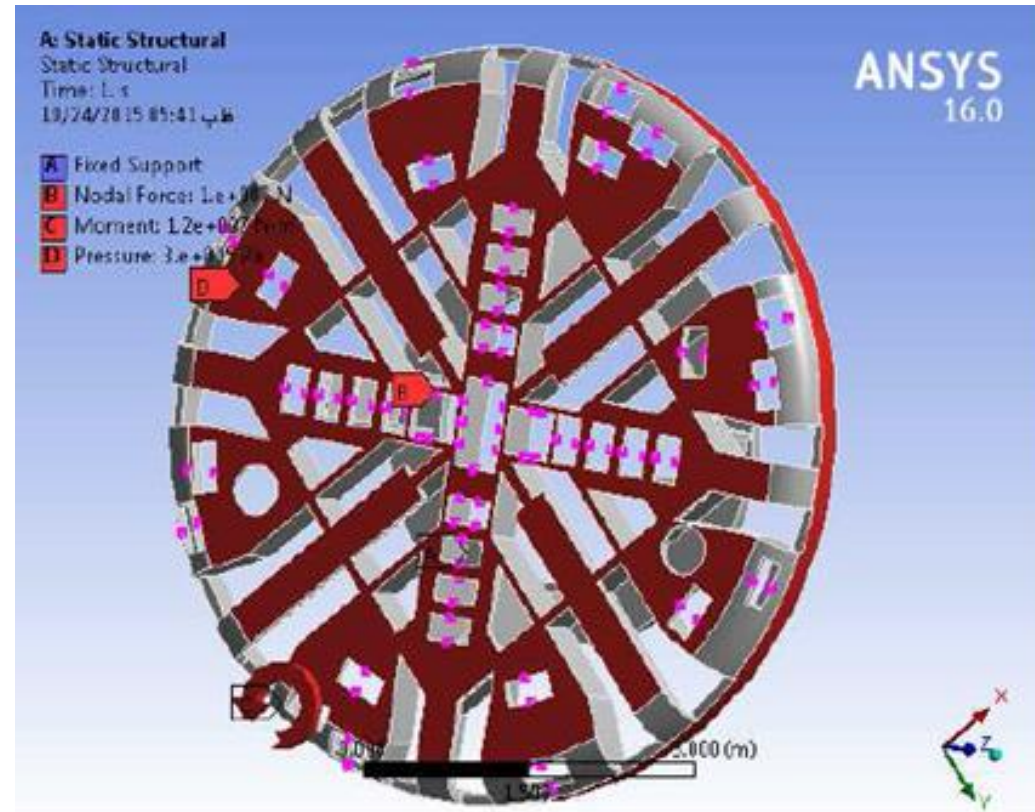
آنالیز سازه ای کاترهد

بارگذاری براساس بحرانی ترین حالت:

Thrust Force= $40 * 250 = \underline{10000 \text{ kN}}$

Torque= $\underline{12000 \text{ kNm}}$

Face Pressure= $\underline{3 \text{ bar}}$



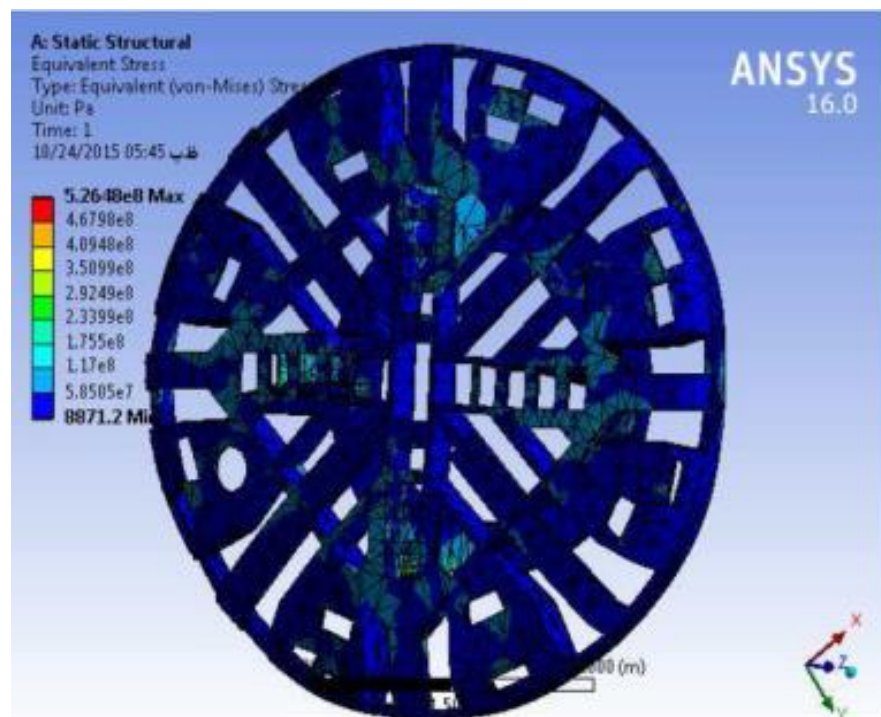
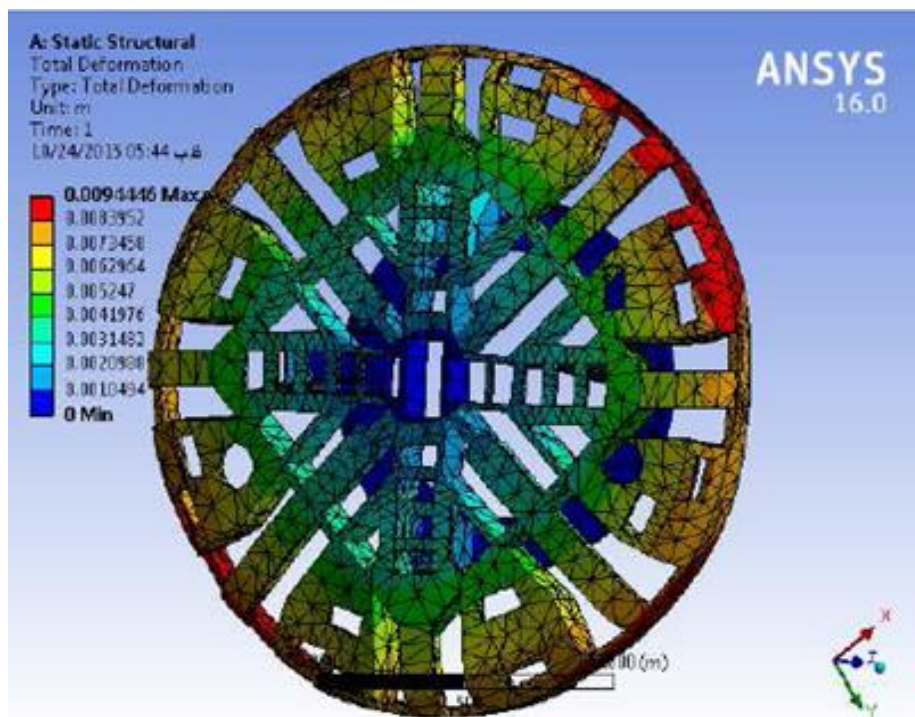
استحکام استاتیکی کاترهد از لحاظ تنش و تغییر شکل

حداکثر تغییر شکل در
سازه کاترهد:

9.4 mm

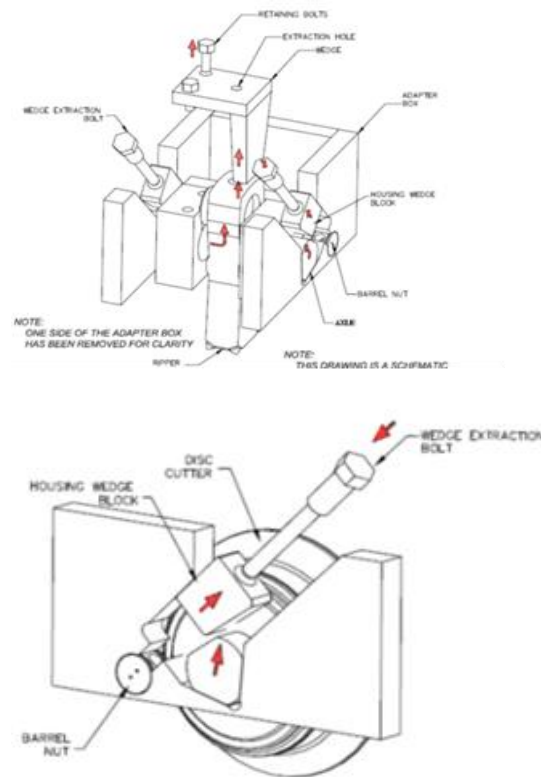
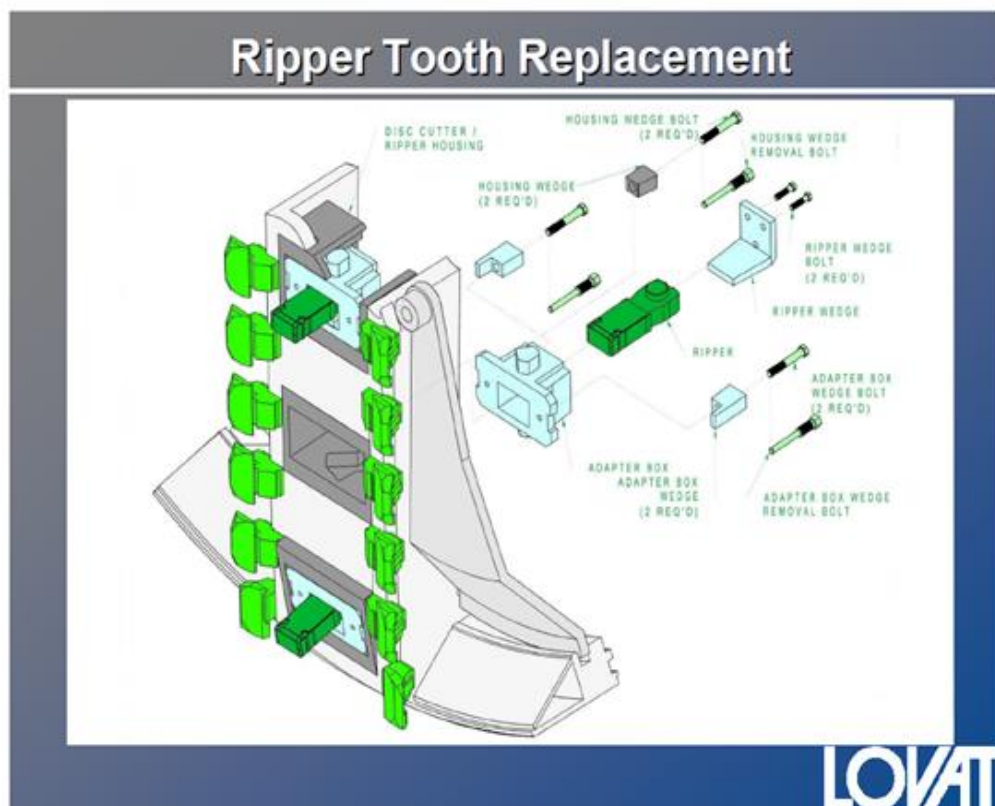
حداکثر تنش در
سازه کاترهد:

526 MPa



قابلیت نصب دیسک کاتر

کلیه باکس‌های اصلی ابزارهای برشی سطح (Face) با قابلیت نصب دیسک کاتر می‌باشد و رپرها با افزودن Adaptor Box و متعلقات دیگر جایگزین دیسک کاتر می‌گردد.

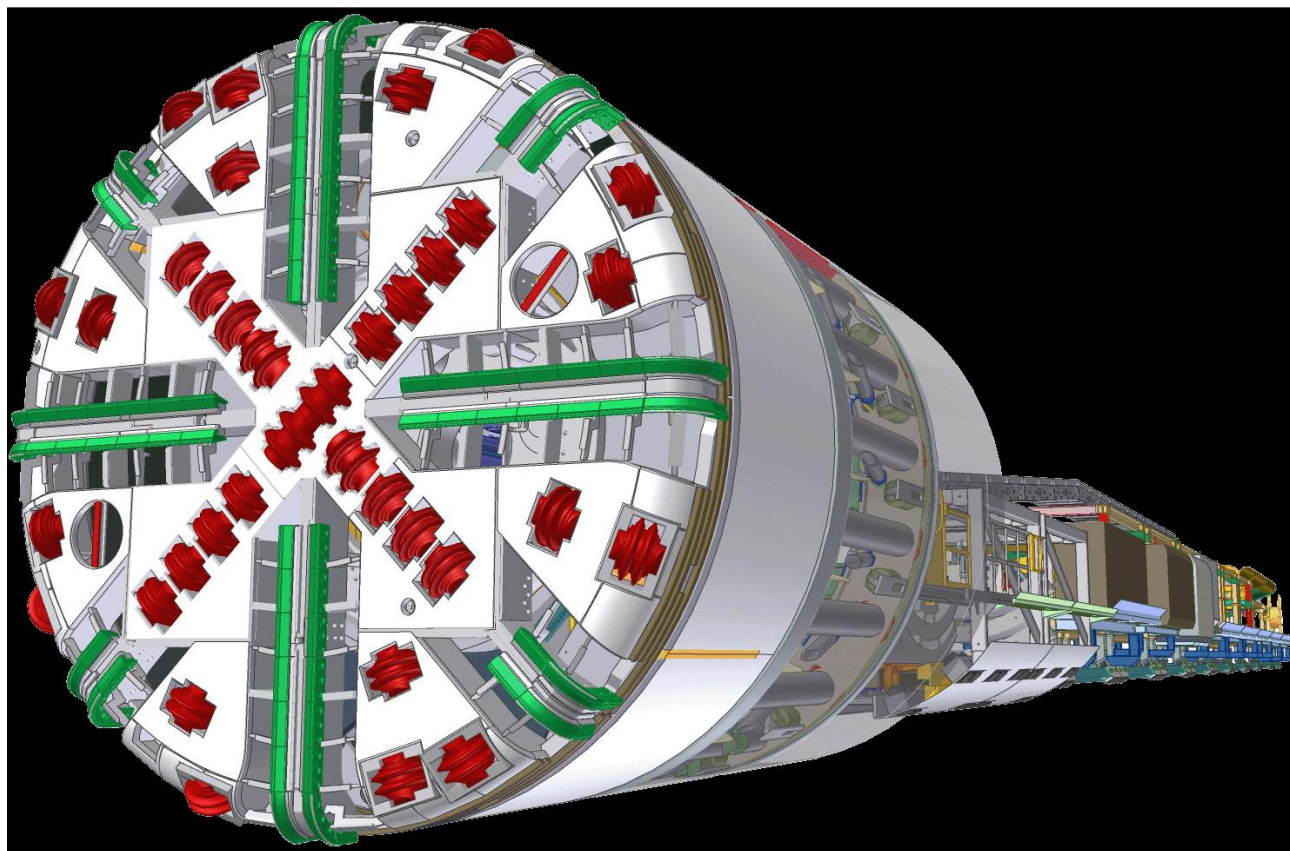


قابلیت نصب دیسک کاتر

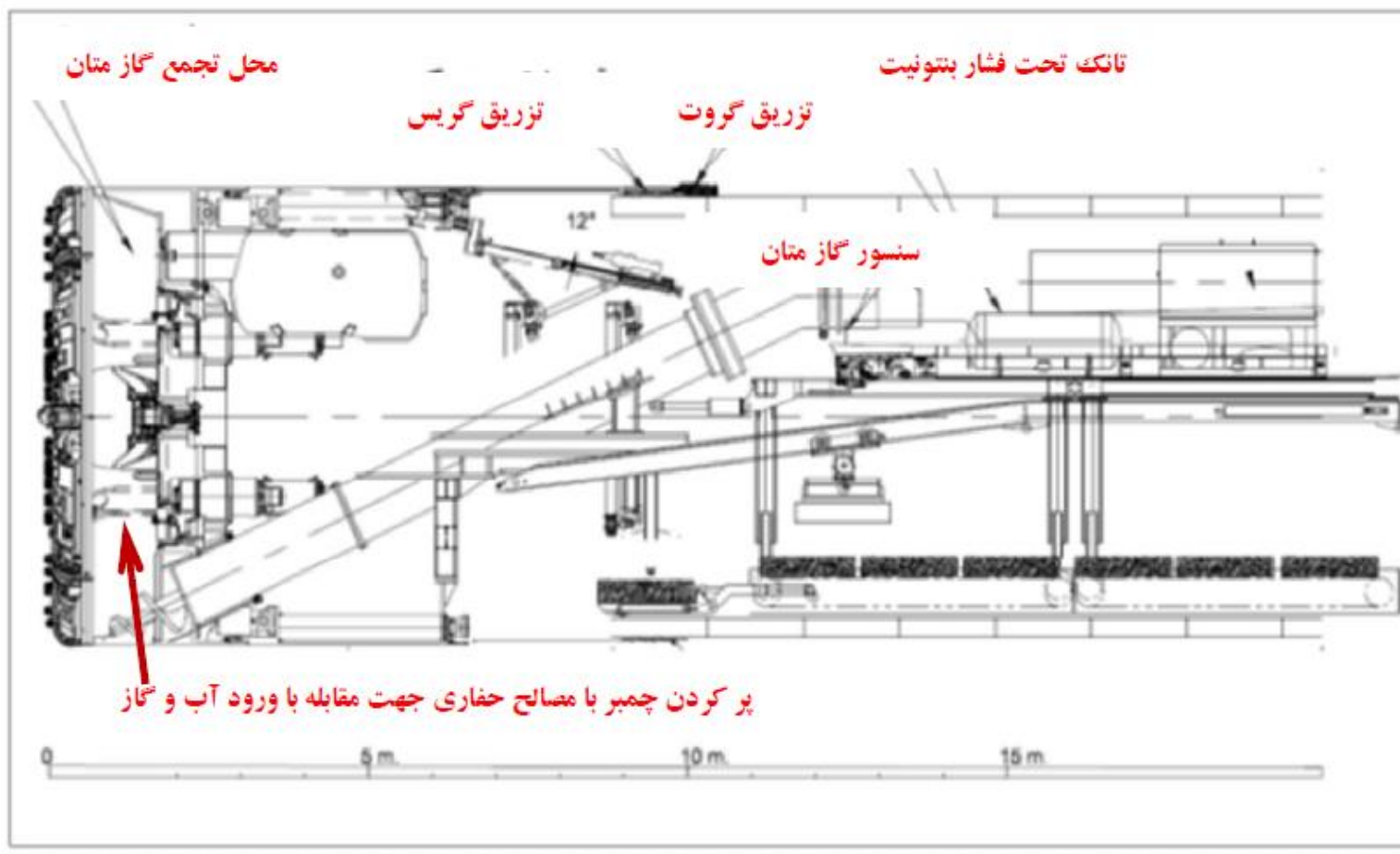
کاترهدهای دارای باکس دیسک کاتر با قابلیت جایگزینی ریپر نبایستی با کاترهدهای با ریپر جوشکاری در سطح و فاقد تعبیه دیسک کاتر در آن اشتباه گرفته شود.



قابلیت نصب دیسک کاتر

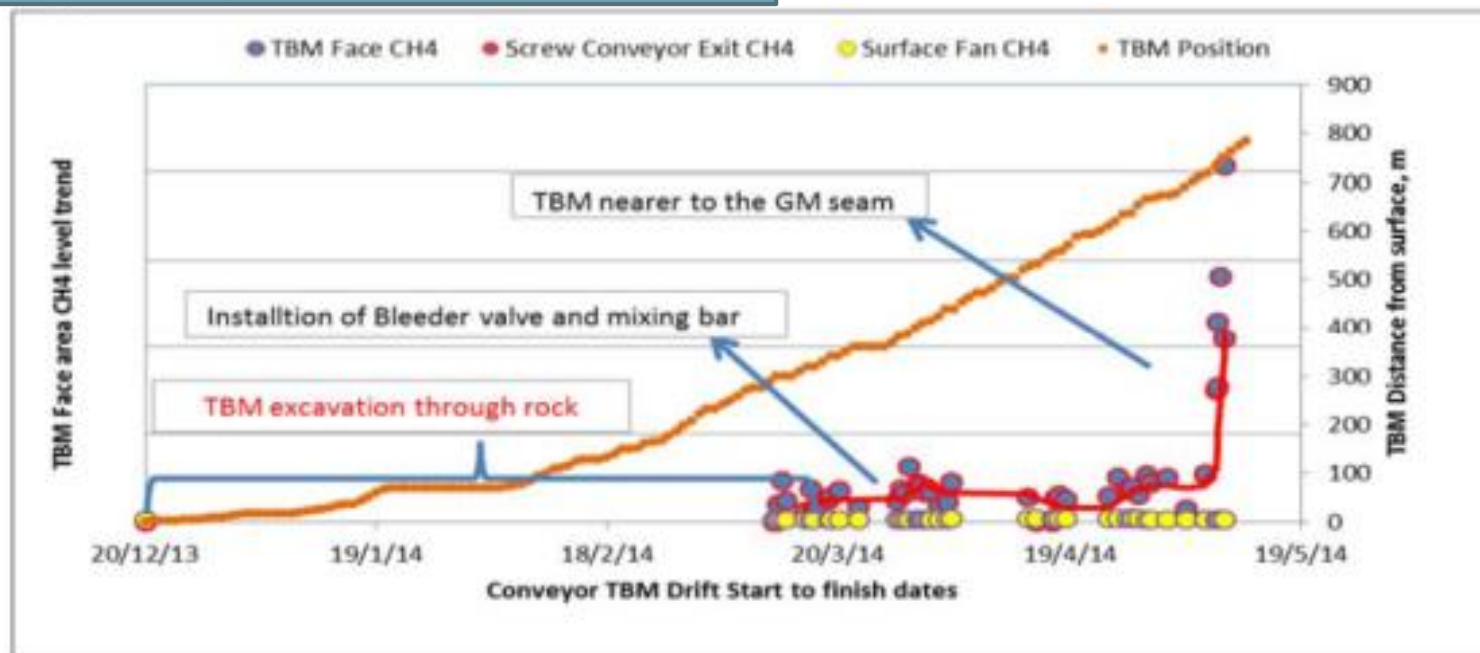


قابلیت مقابله با گاز

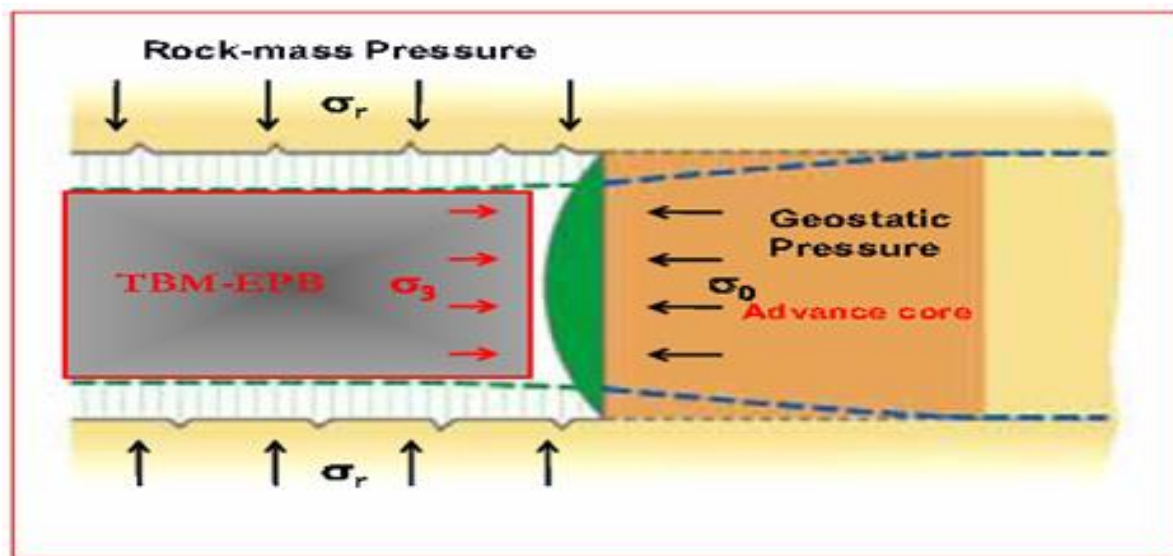


قابليت مقابله با گاز

- ✓ سنسورهای گاز
 - ✓ اتاقک ایمنی ۲۰ نفره
 - ✓ آب بندی محل ورود گاز (تزریق گروت، گریس ماستیک بین براش ها، گریس بین شیلد، فشار سینه کار و ...)
 - ✓ سیستم اطفای حریق
- مثالی از کاهش مقدار گاز سینه کار در داخل تونل
برای دستگاه EPB در یکی از تونلهای دسترسی معادن زغال



مواجهه با شرایط همگرایی



- ✓ نیروی تراست
- ✓ اضافه حفاری
- ✓ تزریق مواد لزج
- ✓ مشخصات و طول شیلد

میزان اضافه حفاری

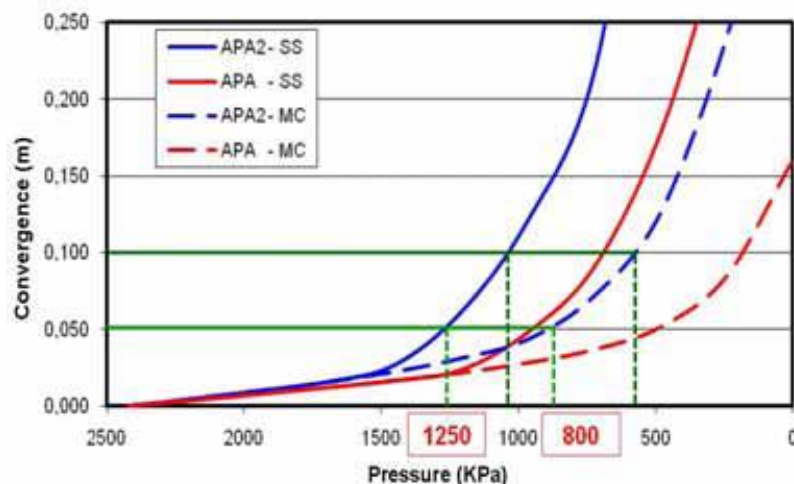
✓ - قطر حفاری: 6859 mm

✓ - قطر شیلد: 6846 mm

✓ - حداقل میزان اضافه حفاری به صورت سیستماتیک: 13 mm

✓ - کپی کاتر (Copy Cutter): ۲ عدد (۱ عدد دائمی + ۱ عدد یدکی)

✓ - اضافه حفاری در دیواره حفاری: حداکثر 70 mm Radial



تزریق بتونیت اطراف شیلد

تزریق بتونیت در اطراف شیلد، ضریب اصطکاک فلز با سنگ را به شدت کاهش می دهد

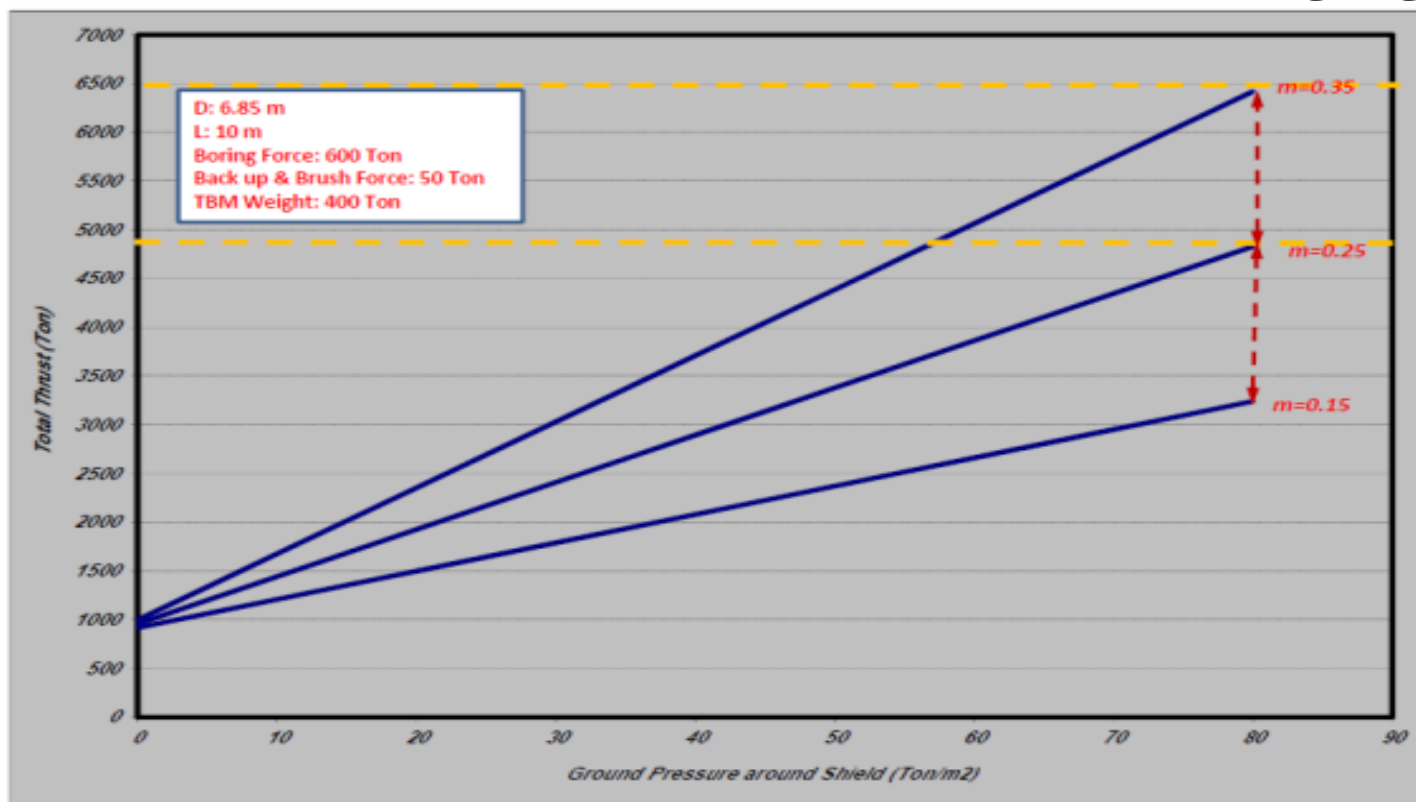
✓ تعداد مجرای بتونیت: ۸ عدد

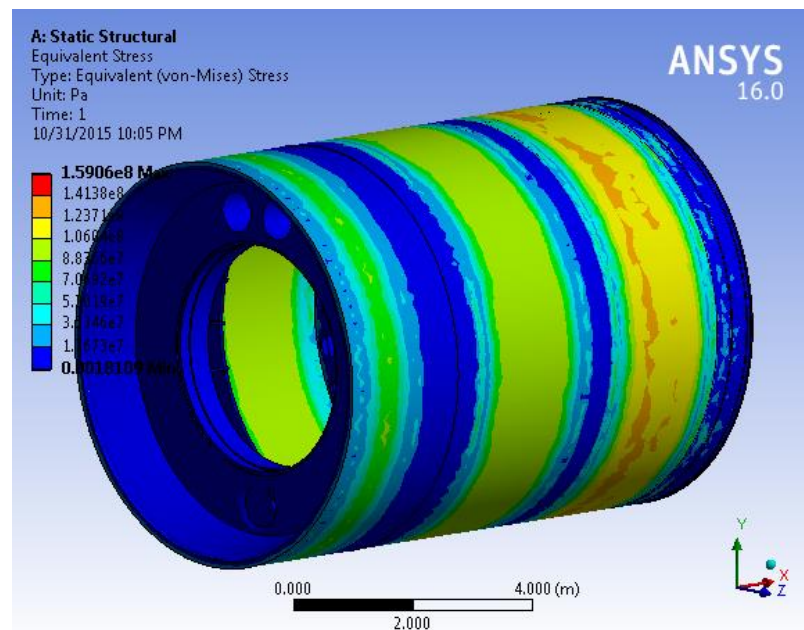
✓ تعداد پمپ تزریق کننده: ۴ عدد

✓ - دبی هر لاین: 20 lit/min

نیروی تراست

. نیروی تراست نصب شده بر روی دستگاه که توسط ۲۶ جک تأمین می گردد برابر (340 bar) 65000 kN و در حالت Unlocking معادل (420 bar) 85000 kN است. علاوه بر آن نیروی اکتیو تراست 40000 kN نیز بر روی دستگاه نصب است.





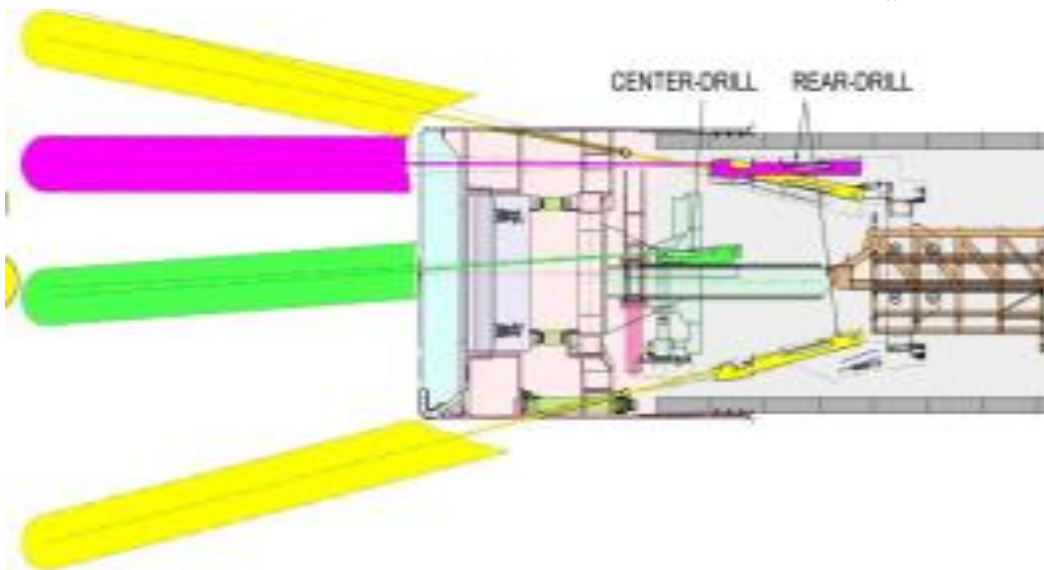
استفاده از PROBE DRILLING جهت عبور از زونهای ریزشی و مناطق حاوی مواد ریزدانه

قابلیت Probe Drilling به منظور شناسایی، زهکشی و تزریق (تحکیم) زمین
پیش رو مورد استفاده قرار می گیرد.

✓ تعداد مجرای اطراف شیلد: ۱۲ عدد

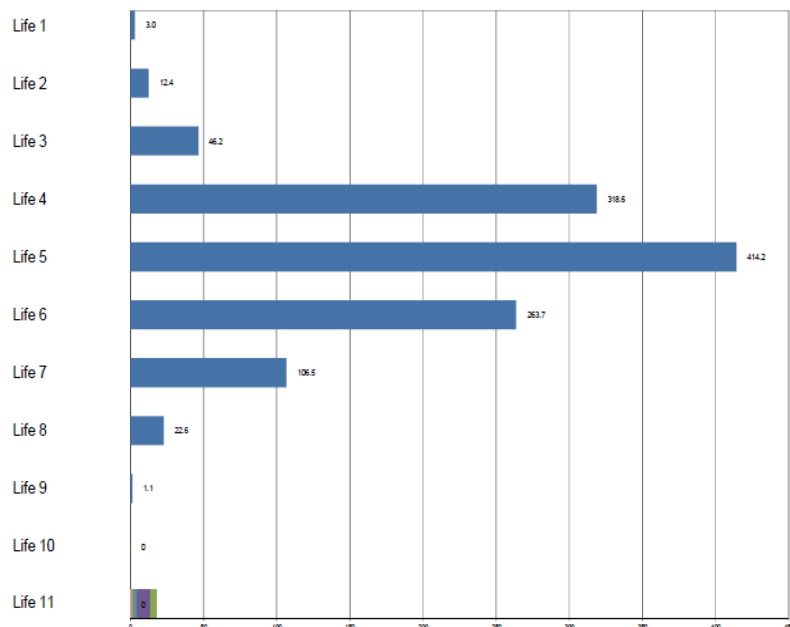
✓ تعداد مجرای در جداره Bulkhead شیلد: ۲ عدد

✓ زاویه چال: ۱۲ درجه



کارکرد مین بیرینگ دستگاه

Main Bearing Life



Contact & Thrust Force (kN)		Face Pressure (bar)	CHD Rot (rpm)	Penetration (mm/rev)	CHD Torque (kNm)
2369	500	0.08	0.98	14.97	917.45
4296	1362	0.12	1.11	17.68	3449.24
6731	1465	0.74	1.37	41.19	2109.66
9099	2124	1.01	1.52	66.87	2620.94
11136	2354	1.17	1.74	69.81	2903.12
13669	2714	1.42	1.91	60.72	3084.93
16000	4501	1.57	1.99	54.85	3462.56
18305	6563	1.64	1.95	43.47	3276.11
21195	9608	1.60	2.07	39.42	2779.95
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

با تشکر از توجه شما

THANKS