



انجمن تونل ایران

کمیته حفاری مکانیزه انجمن تونل ایران

درس آموخته‌های اجرای پروژه قطار شهری اهواز در شرایط سخت با تکیه بر حفاری زیر رودخانه کارون

ارائه دهندگان:

آقایان مهندسین باقری نیا، فرمانی، حلاجیان،
رجب پور و دکتر حاجی حسنی

آبان ۱۳۹۵



استقرار تیم مدیریتی جدید



Donya Tunnel Saze



استقرار تیم مدیریتی جدید

اقدامات صورت گرفته پس از استقرار تیم مدیریتی جدید در قالب شرکت **DTS** (پیمانکار شرکت کیسون) در تاریخ **۹۴/۰۶/۰۴** پیش از راه اندازی حفاری مجدد تونل به شرح ذیل است:

- ✓ بررسی وضعیت عمومی کارگاه و بازدید دستگاه و مسیر پروژه
- ✓ برگزاری جلسات هماهنگی با مدیران شرکت کیسون (جهت شروع حفاری حداکثر تا تاریخ ۹۴/۰۶/۱۵)
- ✓ بازنگری چارت سازمانی و انجام مقدمات لازم جهت استقرار تیم جدید (پس از وقفه ۶ ماهه کارگاه)
- ✓ آماده سازی ماشین آلات و تجهیزات کارگاه Rolling Stock، نیروگاه، بچینگ، تاور کرین و جرثقیل ها
- ✓ آرایش و چیدمان دفاتر اداری و مدیریتی و Work Shop های سایت لجستیک یارد واقع در شفت کارگاه
- ✓ بازدید از انبار جهت برآورد تجهیزات و لوازم یدکی موجود و مورد نیاز Rolling stock و TBM



استقرار تیم مدیریتی جدید

- ✓ بررسی وضعیت خطوط ریلی و برنامه ریزی تعمیرات لازم (جهت جلوگیری از خروج ست حفاری)
 - ✓ تکمیل کارهای سیویل نا تمام شفت و تونل (چال سرویس لوکوموتیوها و آب بند کردن نشت آب تونل)
 - ✓ مطالعه گزارشات زمین شناسی و اطلاعات موجود از ارقام فشار EPB مسیر و کنترل و بازنگری آن
 - ✓ طراحی و نصب تجهیزات مورد نیاز جهت مقابله با هجوم احتمالی آب (احداث سامپ و سیستم آبکشی، نصب تجهیزات ضروری روی دستگاه از قبیل پمپ های Dewatering یدکی، سیستم تزریق دوغاب اضافه، نصب تجهیزات تزریق پلی ارتان، تجهیز اتاق بهداری روی ماشین و ...)
 - ✓ هماهنگی لازم با ارگان ها و سازمان های مورد نیاز احتمالی از قبیل اورژانس، آتش نشانی و ...
 - ✓ برگزاری دوره های آموزشی مورد نیاز و انجام مانورهای مرتبط
- اولین حفاری به صورت آزمایشی و با لحاظ نمودن کلیه تمهیدات فنی و اجرایی و تست اجزای مختلف ماشین و سیستم ترابری در وضعیت On-Load در تاریخ ۹۴/۰۶/۱۱ انجام شد.



تمهیدات صورت گرفته جهت عبور موفق از زیر رودخانه کارون



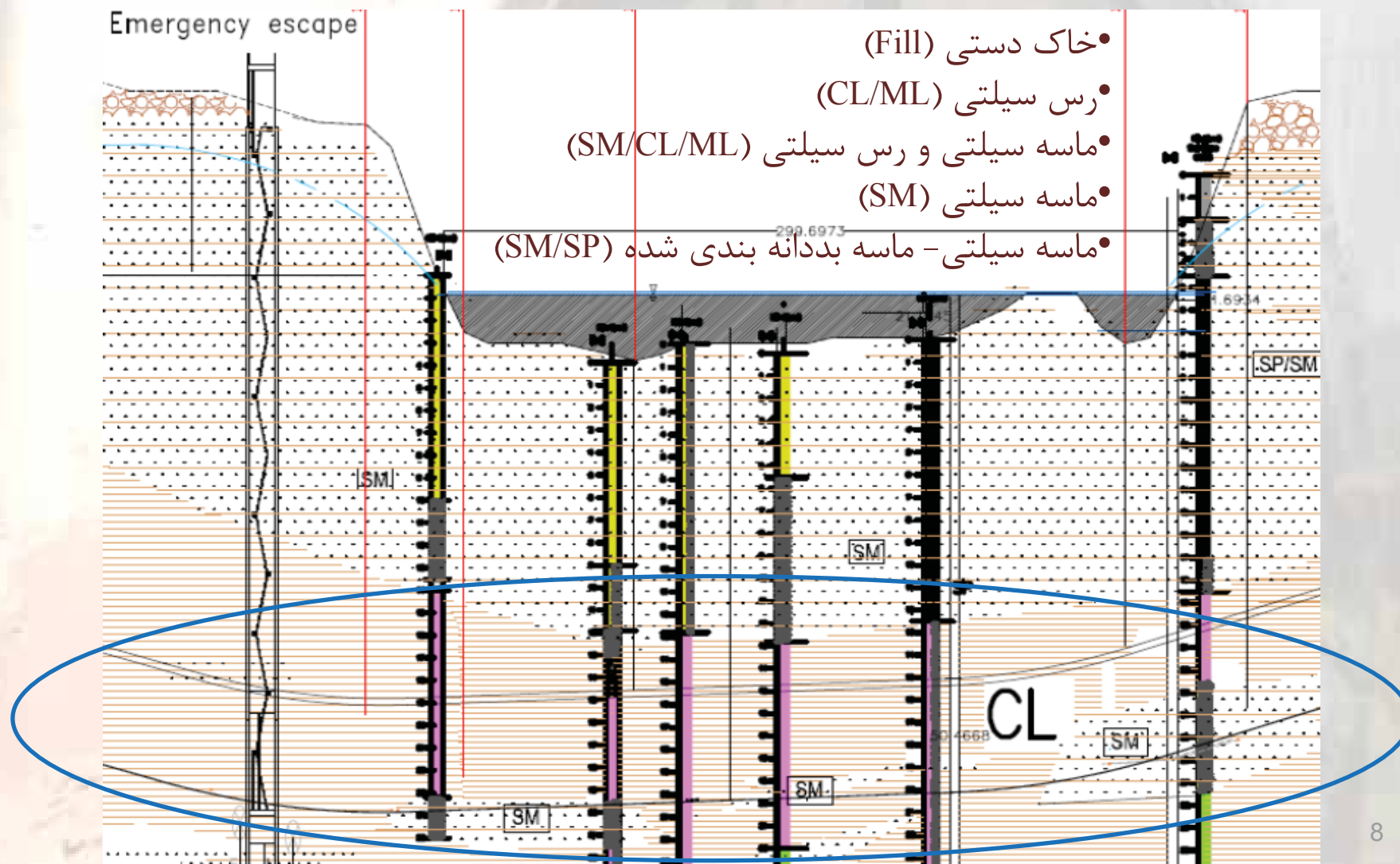


کنترل و بازنگری فشار EPB



زمین شناسی مسیر

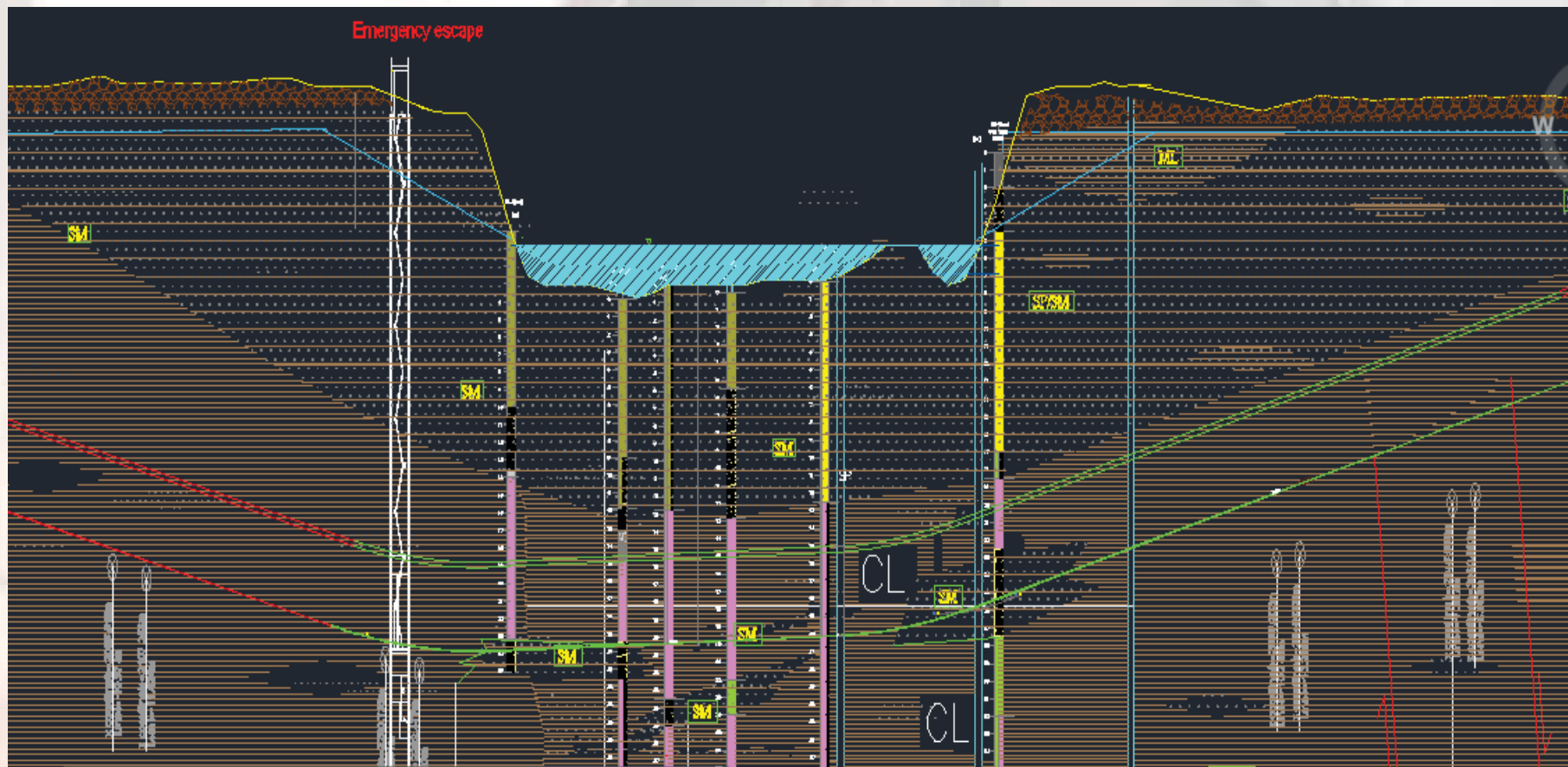
□ از ایستگاه نادری غربی تا ایستگاه ساعت نه گمانه حفر شده که نتیجه آن پنج لایه خاک به شرح ذیل می باشد:





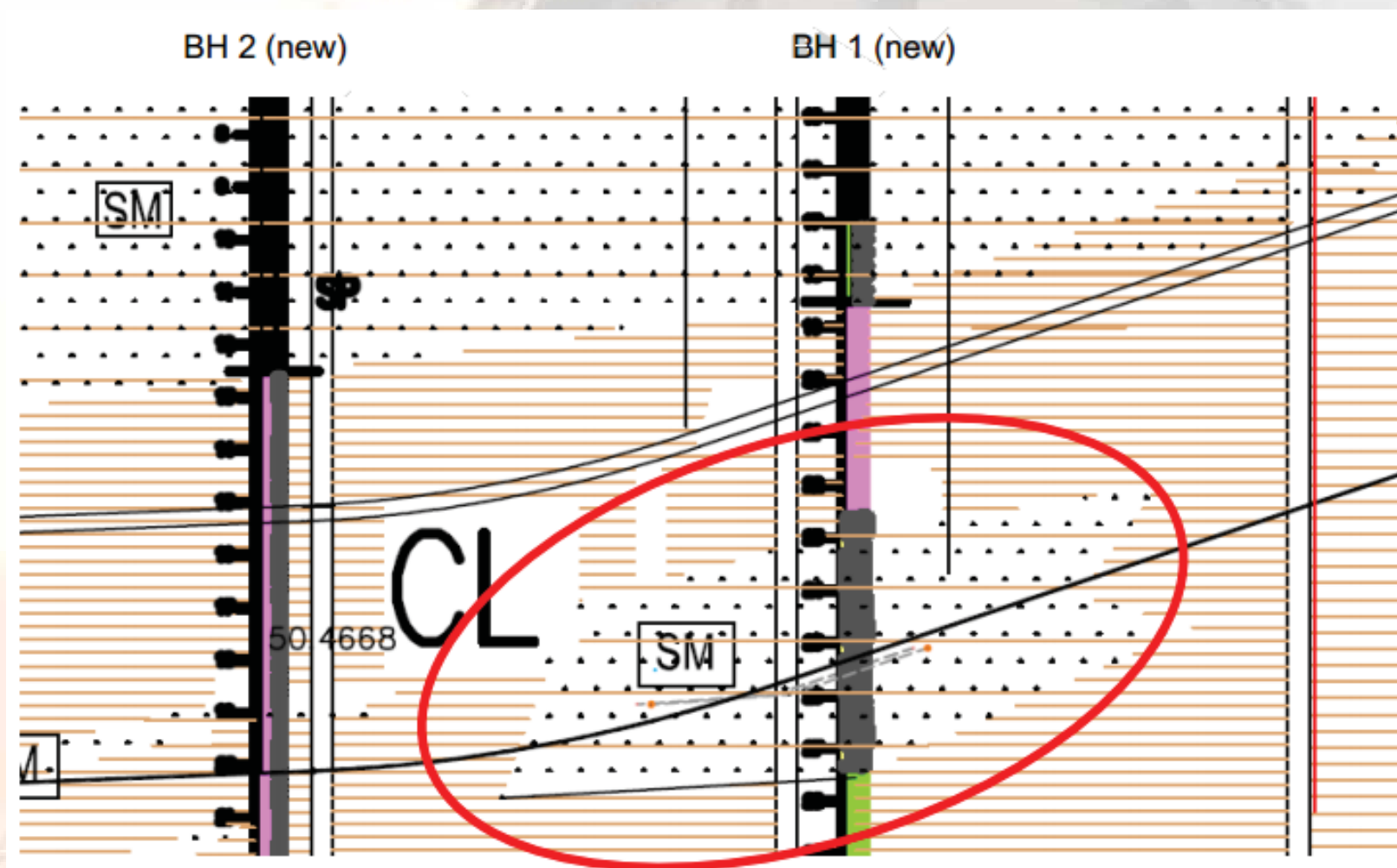
بررسی مسیر و پروفیل طولی تونل







➤ حفر تونل در این مسیر عمدتاً در لایه رسی بوده است





پایداری جبهه کار

جبهه کار بسته: تعیین فشار نگهداری

جبهه کار باز: تعیین ضریب ایمنی

پایداری جبهه کار

تعادل حدی

تجربی و آزمایشگاهی

مدلسازی عددی

آنالیز حدی

روش های بررسی

پایداری جبهه کار

□ از روش های آنالیز حدی و عددی در طراحی فشار جبهه کار تونل قطار شهری اهواز استفاده شده است.

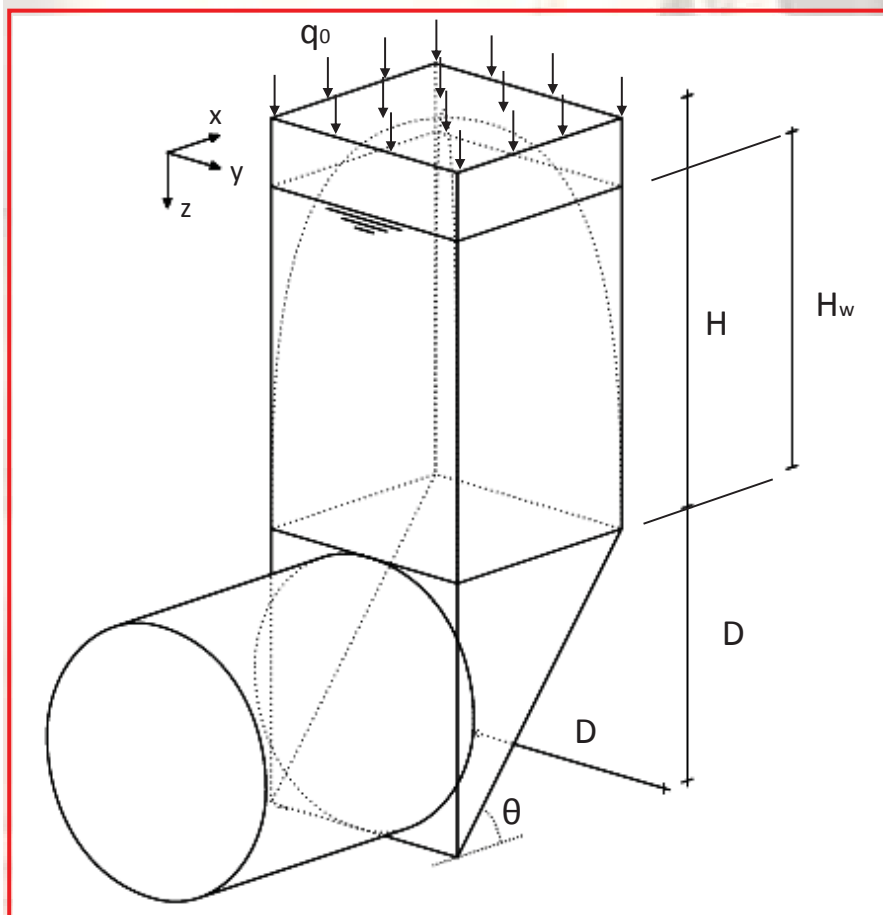


روش بروئر

□ بر مبنای مدل تعادل گوه‌ای شامل آنالیز حدی توده خاکی به شکل گوه در جبهه کار و یک ستون خاکی (سیلو) تحت بارگذاری

□ پدیده قوس شدگی در بالای تونل بسته به ارتفاع روباره (سیلو) در نظر گرفته می شود.

□ بار سطحی در زیر خیابان ها 9 KN/m^2 و زیر ساختمان ها به ازای هر طبقه 15 KN/m^2



$$\sigma'_v = \frac{\gamma' a - c'}{K \tan \phi'} \left(1 - e^{-K \tan \phi' \frac{H}{a}} \right) + q_0 e^{-K \tan \phi' \frac{H}{a}}$$

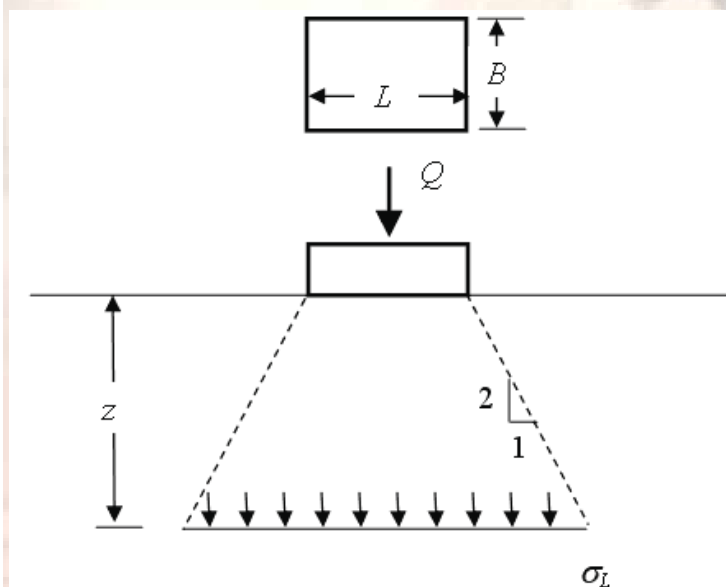
$$\sigma'_v = \gamma' H$$



روش COB

□ این روش که توسط مرکز علوم زیرزمینی هلند (COB) برای محاسبه فشار جبهه کار پیشنهاد شده است، مقبولیت خوبی در تعیین فشار جبهه کار دارد.

□ فشار جبهه کار باید به اندازه ای باشد که علاوه بر تأمین پایداری جبهه حفاری، از بالازدگی سطح زمین نیز جلوگیری کند. به همین منظور، علاوه بر فشار جبهه کار فشار دیگری تحت عنوان فشار بالازدگی (Blow-out Pressure) نیز محاسبه شده است.



□ در یک آنالیز ابتدایی از افزایش تنش های قائم در اثر وجود بارهای سطحی، از روش تخمینی ۲:۱ استفاده شده است.

$$P_f = \eta_e \times P_e + p$$

$$P_f = \eta_e \times k_a \times \sigma'_v + \eta_w \times \gamma_w \times H_w + p$$

$$k_a = \frac{1 - \sin \phi'}{1 + \sin \phi'}$$



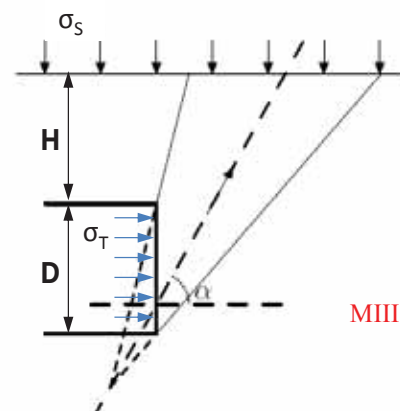
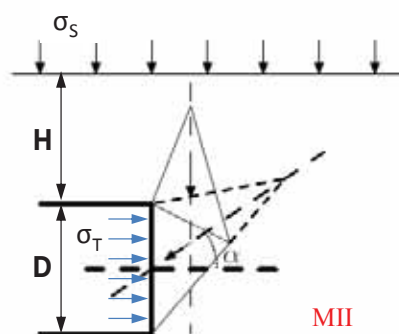
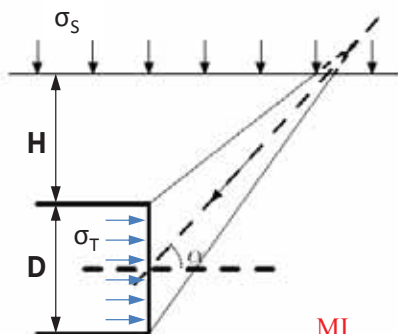
روش لکا دورمیکس

□ این روش سه مکانیسم خرابی را برای روش مرز بالا در نظر گرفته اند که دو مورد از آنها برای بار خرابی و دیگری برای فشار بالازدگی می باشند.

□ در این روش از لایه بندی خاک صرف نظر شده و فرض می شود که لایه بندی یکسانی وجود داشته باشد.

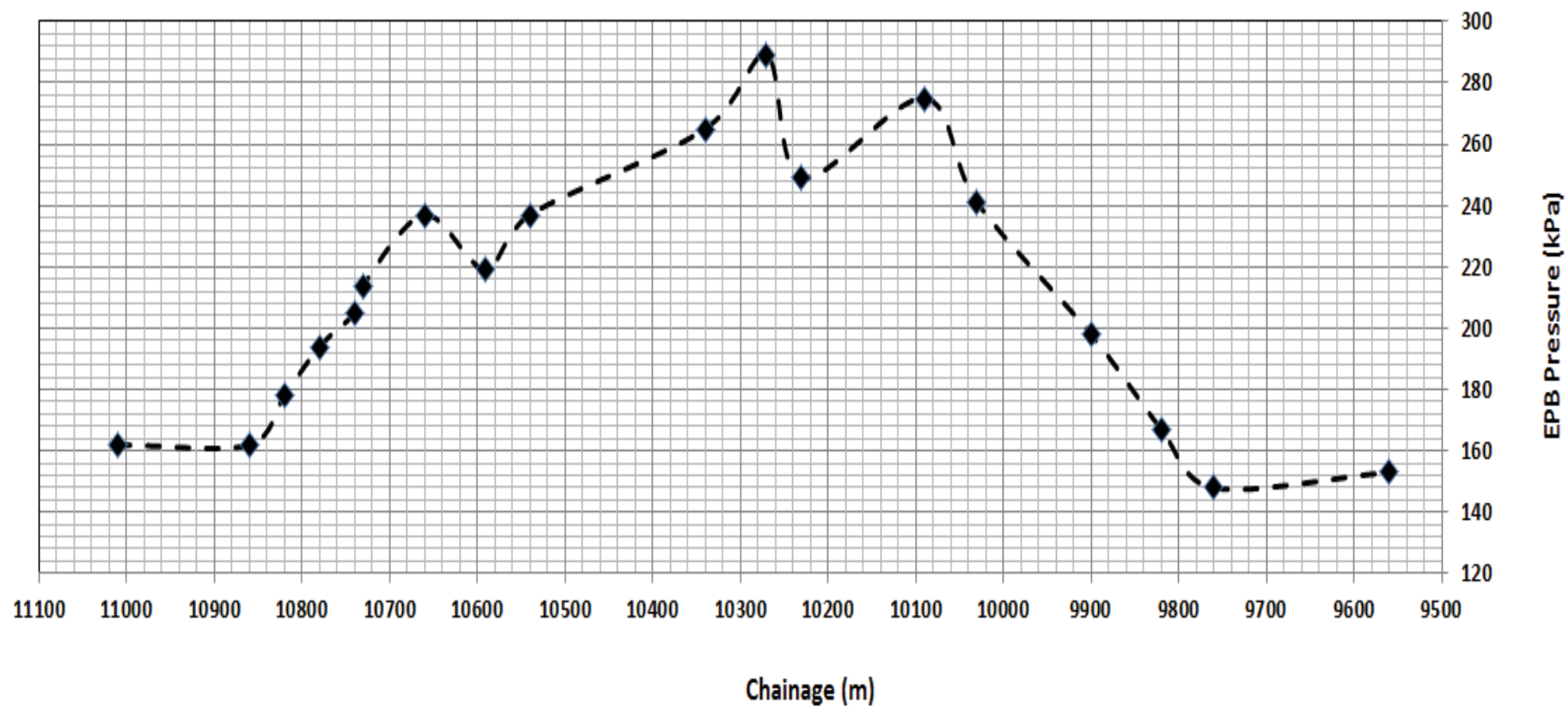
$$Q_T = N_s Q_s + N_\gamma Q_\gamma$$

$$Q_s = (K_p - 1) \frac{\sigma_s}{\sigma_c} + 1, \quad Q_T = (K_p - 1) \frac{\sigma_T}{\sigma_c} + 1, \quad Q_\gamma = (K_p - 1) \frac{\gamma D}{\sigma_c}$$



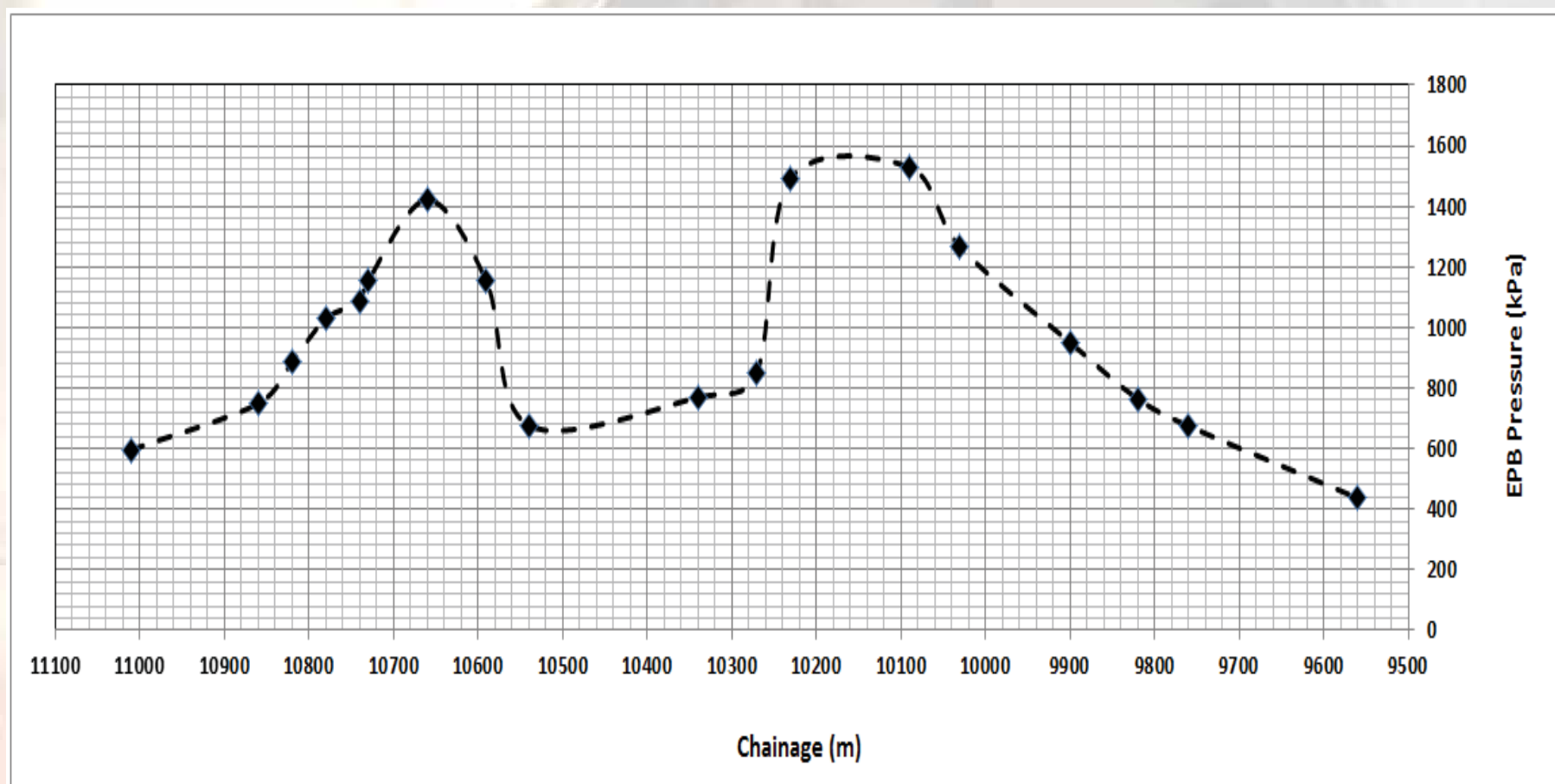


پروفیل فشار جبهه کار در طول مسیر





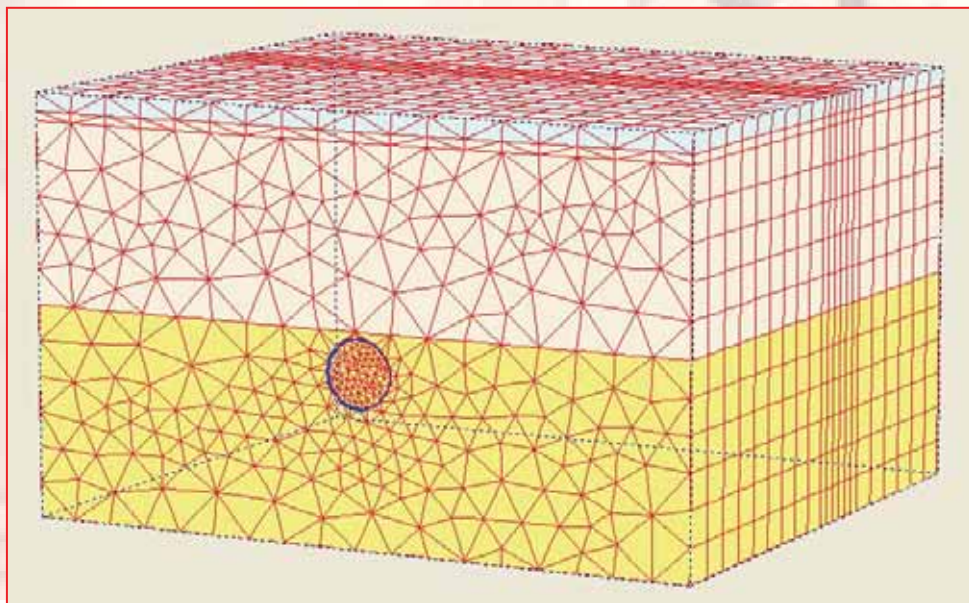
پروفیل فشار بالازدگی در طول مسیر





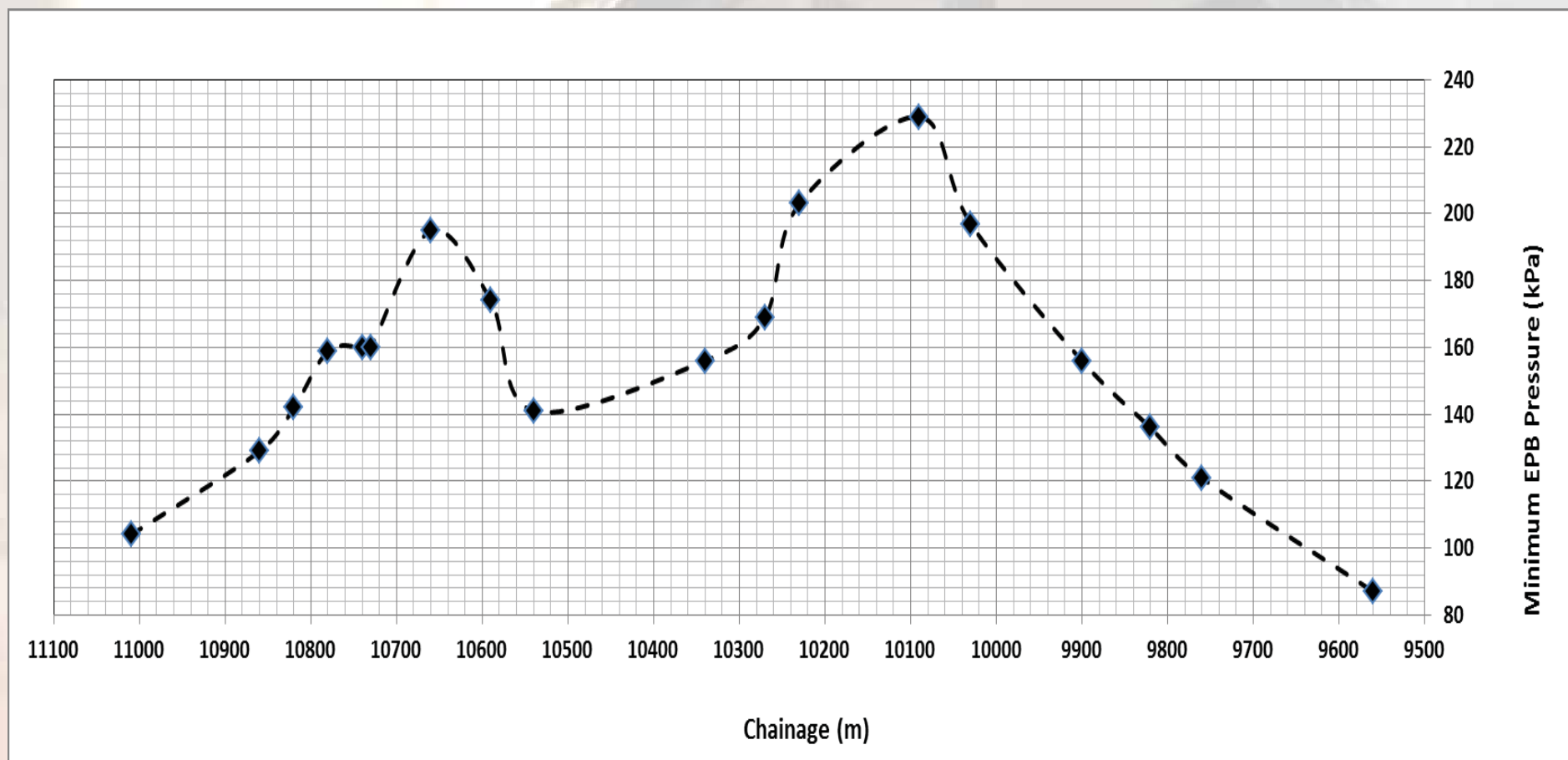
مدلسازی عددی

- نرم افزار اجزاء محدود Plaxis 3D Tunnel با توجه به ماهیت سه بعدی مسئله و پیوسته بودن محیط حفاری
- بار ترافیک (سطحی) ۹ کیلو پاسکال و بار ساختمان برای هر طبقه ۱۵ کیلو پاسکال
- تنش های برجای قائم بصورت ثقلی و نسبت تنش های افقی به قائم برابر با ضریب فشار خاک در حال سکون
- آنالیز ایمنی برای مقاطع حساس همانند مجاورت ساختمان ها

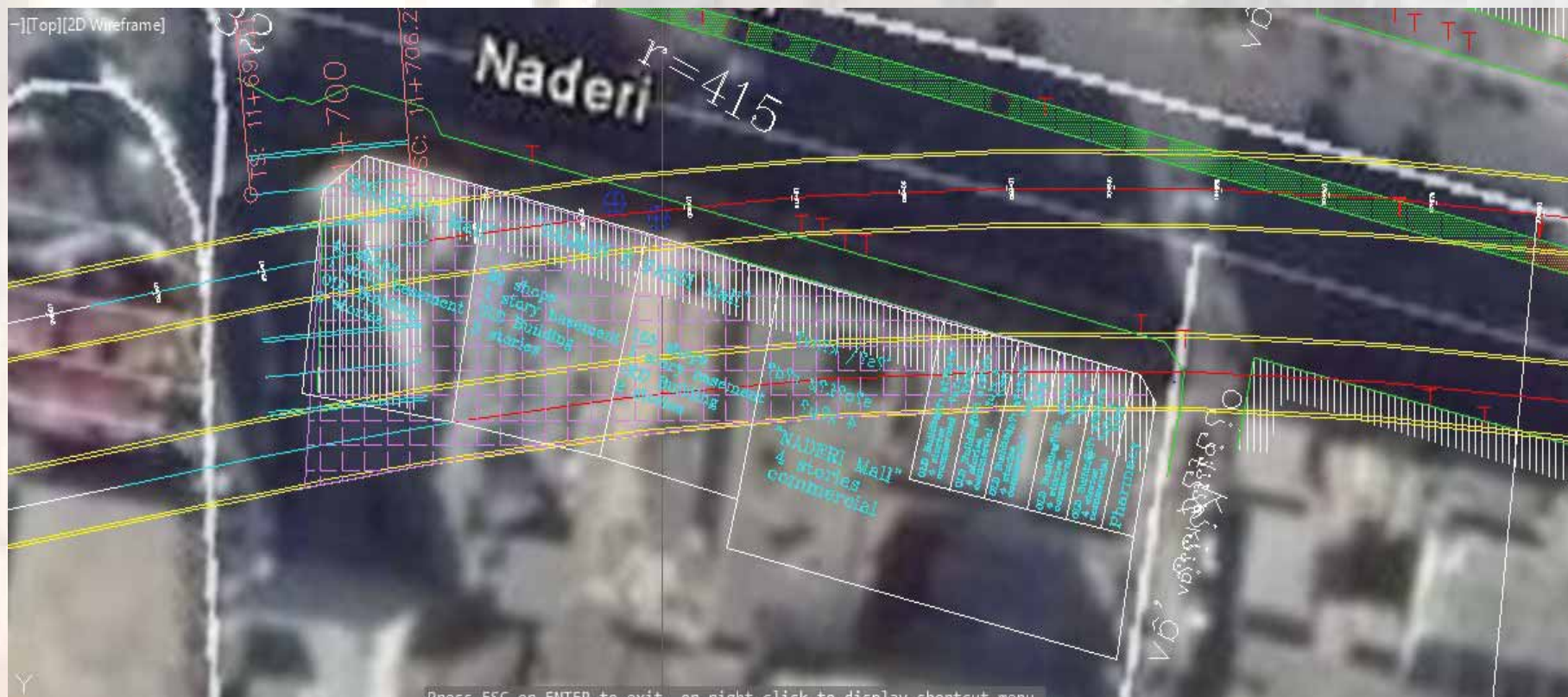




پروفیل فشار کمینه جبهه کار در طول مسیر



بررسی خسارات احتمالی به ساختمان های مجاور





**Iranian
Tunnelling
Association**

انجمن تونل ایران





آسیب های معماری
آسیب های کاربردی
آسیب های سازه ای

طبقه بندی
خسارات احتمالی



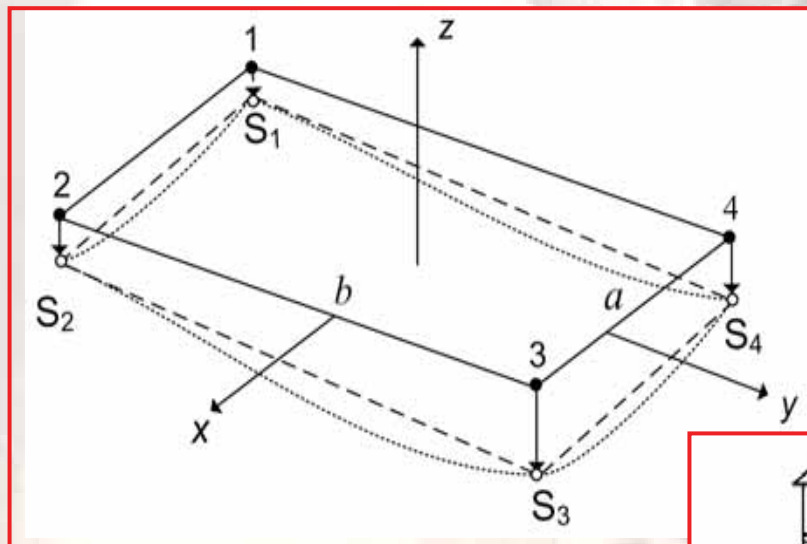


بررسی خسارات احتمالی به ساختمان های مجاور

Damage category	Degree of severity	Crack width (C.W)	Ease of repair	Typical damage
0	Negligible	C.W <0.1mm	-	-
1	Very slight	C.W <1mm	Fine cracks which are easily treated during normal decoration.	Damage generally restricted to internal wall finishes. Closed inspection may reveal some cracks in external brickwork or masonry.
2	Slight	C.W <5mm	Cracks easily filled. Re-decoration probably required. Recurrent cracks can be masked by suitable linings. Cracks may be visible externally and some repointing may be required to ensure weather tightness.	Doors and windows may stick slightly.
3	Moderate	5mm<C.W<15mm Or Several cracks greater than 3mm	The cracks require some opening up and can be patched by a mason. Repointing of external brickwork and possibly a small amount of brickwork to be replaced.	Doors and windows sticking. Service pipes may fracture. Weather tightness often impaired.
4	Severe	15mm<C.W<25mm Also depends on the number of cracks	Extensive repair work involving breaking-out and replacing sections of walls, especially over doors and windows.	Windows and door frames distorted, floor sloping noticeably. Walls leaning or bulging noticeably, some loss of bearing in beams. Service pipes disrupted
5	Very severe	C.W >25mm	This requires a major repair job involving partial or complete rebuilding.	Beams lose bearing; walls lean badly and require shoring. Windows broken with distortion. Danger of instability.

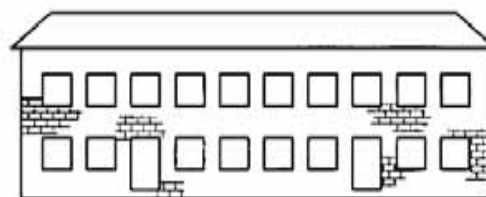


بررسی خسارات احتمالی به ساختمان های مجاور

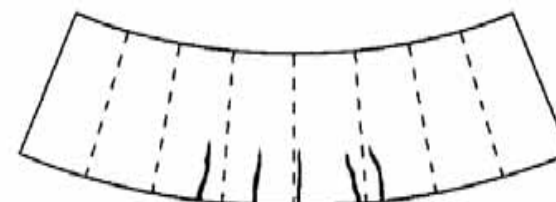


روش های پیش بینی
خسارات احتمالی

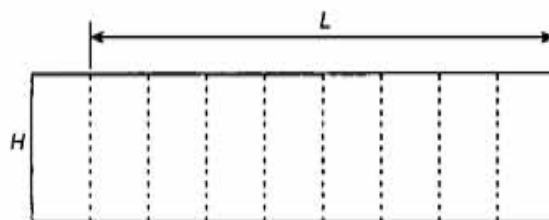
تجربی
شبه تحلیلی



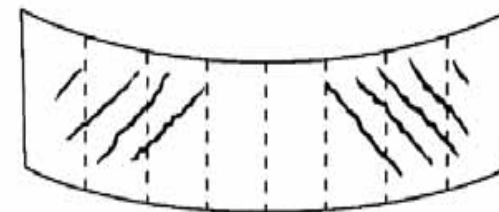
(a) Actual building



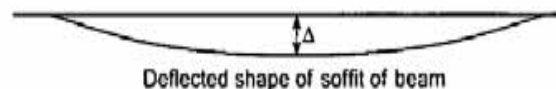
(c) Bending deformation with cracking
due to direct tensile strain



(b) Beam-simple idealisation of building



(d) Shear deformation with cracking
due to diagonal tensile strain



Deflected shape of soffit of beam



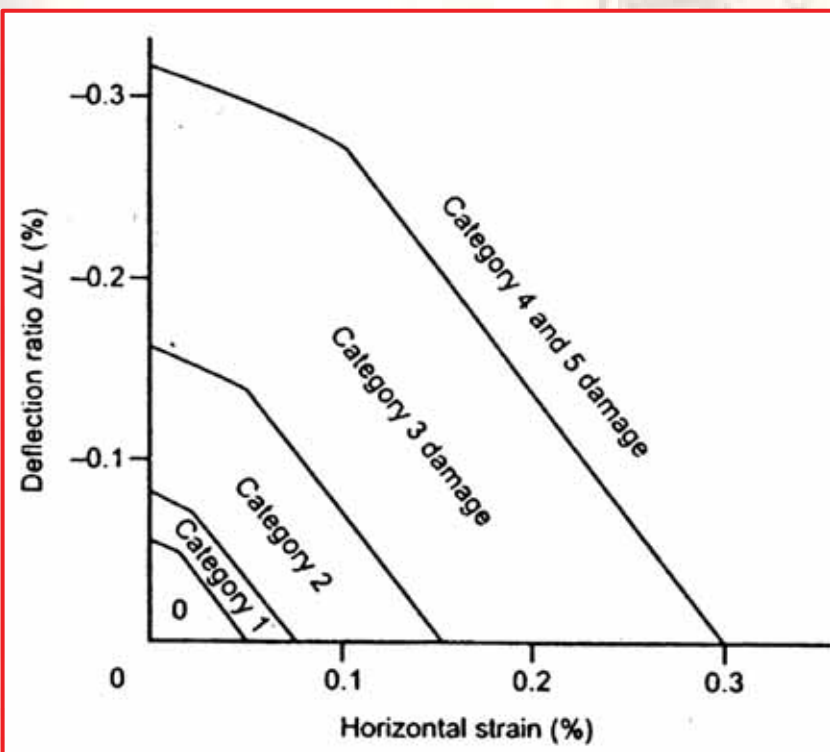
بررسی خسارات احتمالی به ساختمان های مجاور

$$\frac{\Delta}{L} = \left(\frac{L}{12t} + \frac{3I}{2tLH} \cdot \frac{E}{G} \right) \varepsilon_{b,max}$$

$$\frac{\Delta}{L} = \left(1 + \frac{HL^2}{18I} \cdot \frac{G}{E} \right) \varepsilon_{d,max}$$

□ برآورد خسارات احتمالی در ساختمان های مسیر و مجاورت تونل قطار شهری اهواز توسط روش های شبه تحلیلی و همچنین مدلسازی عددی انجام گرفت.

□ نتایج نشان دادند که خسارات احتمالی وارده در طبقه بندی قابل چشم پوشی (negligible) قرار می گیرند.





تمهیدات مدیریتی و اجرایی



مشخصات ماشین EPB-TBM

□ تونل های این پروژه بصورت تمام مکانیزه توسط دو دستگاه EPB-TBM ساخت شرکت NHI-NFM با قطر حفاری ۶/۸۳ احداث می گردد. قطر نهایی تونل ها پس از نصب سگمنت های بتنی ۵/۹ متر می باشد.





EPB Tunnel boring machines S19 type - N070 and N071

EPB – HARD ROCK	نوع TBM
7-40 m	عمق حفاری
6/83m	قطر حفاری
10/6m	طول شیلد با کاترهد
106m	طول شیلد با بک آپ
600Ton	وزن شیلد به همراه بک آپ
+4%	محدوده حداکثر شیب حفاری
عمودی 1700 و افقی 250 متر	حداقل شعاع گردش دستگاه



عبور از زیر رودخانه کارون





عبور از زیر رودخانه کارون

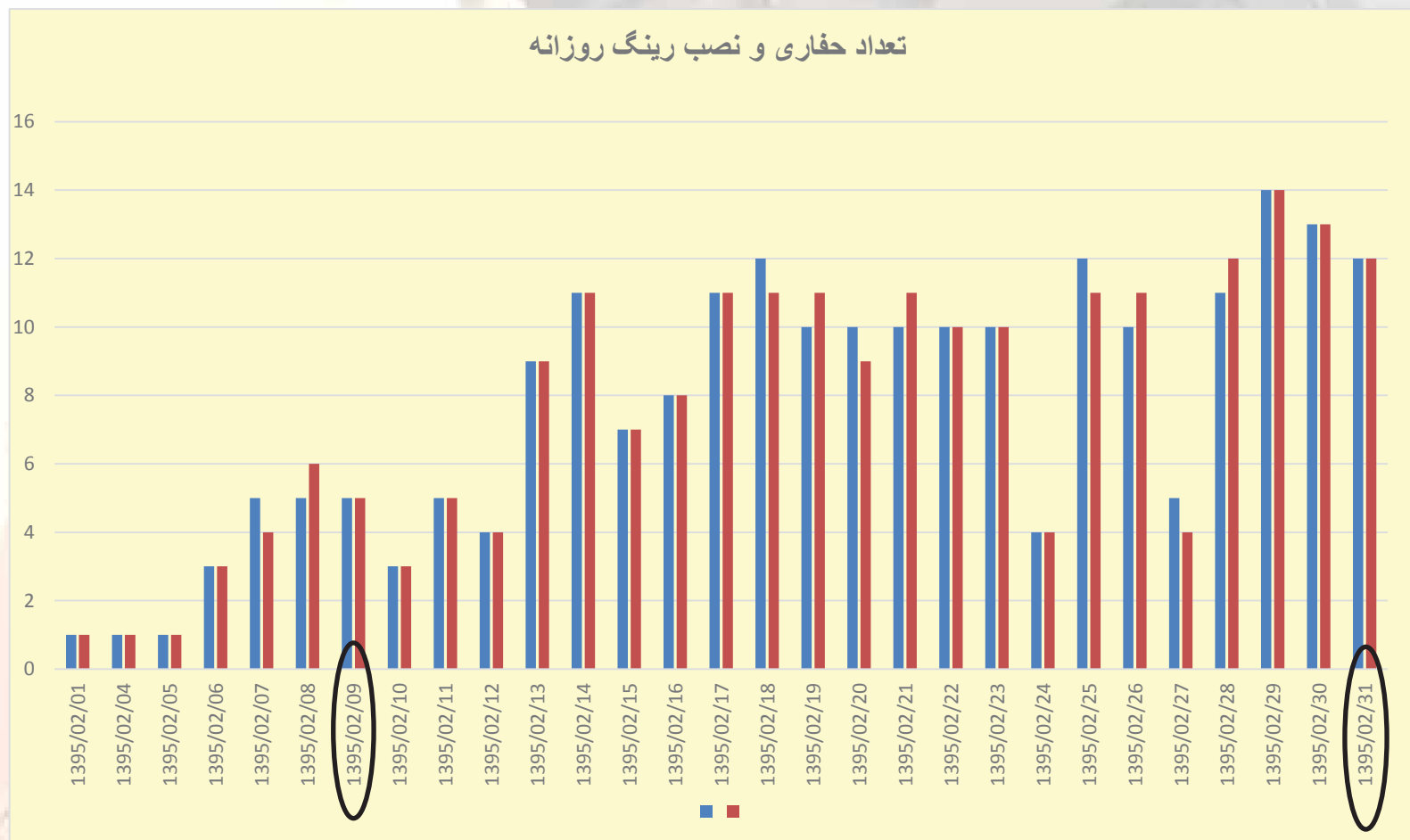
□ احداث تونل در زیر بستر کارون در محدوده ایستگاه نادری غربی یا سلمان فارسی و ایستگاه میدان ساعت از رینگ ۴۲۹۰ و کیلومتراژ ۱۰+۶۰۰ در مورخ ۹۵/۰۳/۰۹ از ساحل شرقی آغاز و در رینگ ۴۴۹۴ و کیلومتراژ ۱۰+۲۹۰ در مورخ ۹۵/۰۳/۳۱ به طول تقریبی ۳۰۰ متر در ساحل غربی خاتمه پذیرفت.





حفاری و لاینینگ تونل در گذر از زیر رودخانه کارون

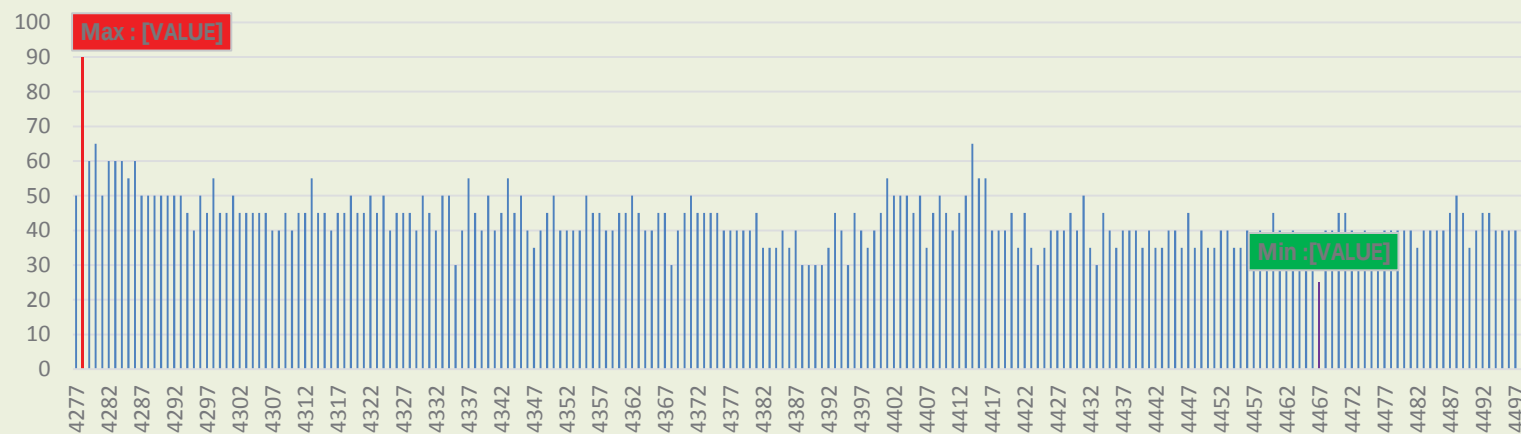
□ در اردیبهشت ۱۳۹۵ و حین عبور از زیر رودخانه، طی ۲۹ روز ۲۲۲ Stroke حفاری به طول ۳۳۲/۴۱۳ متر و نصب ۲۲۲ رینگ انجام شد.



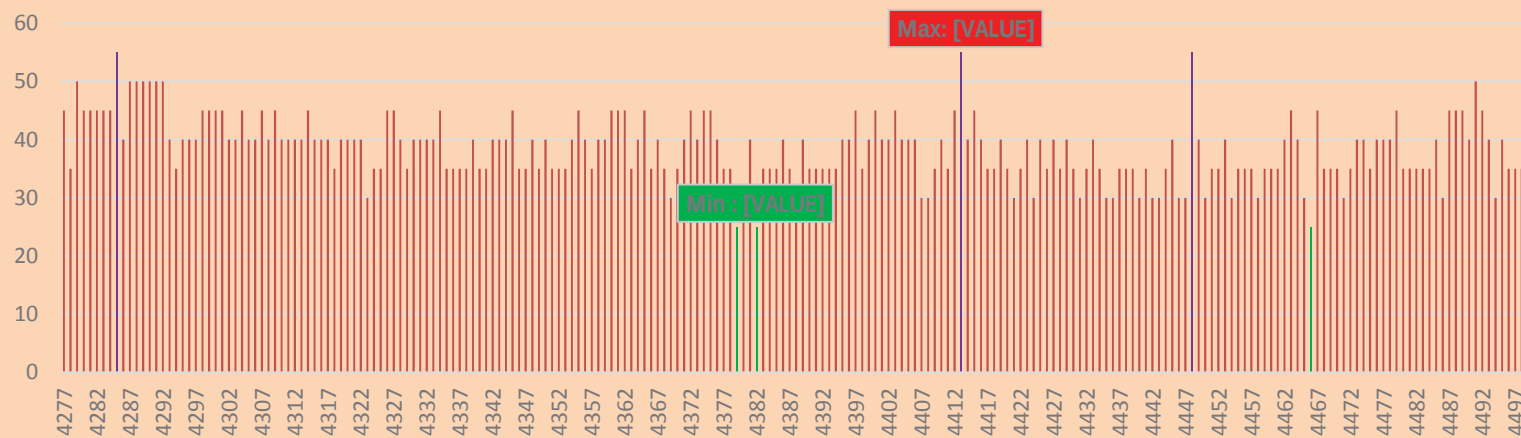


□ متوسط زمان حفاری هر رینگ ۴۳ دقیقه و متوسط زمان نصب هر رینگ ۳۹ دقیقه بوده است.

Excavation Time (Min)



Ring Building (Min)



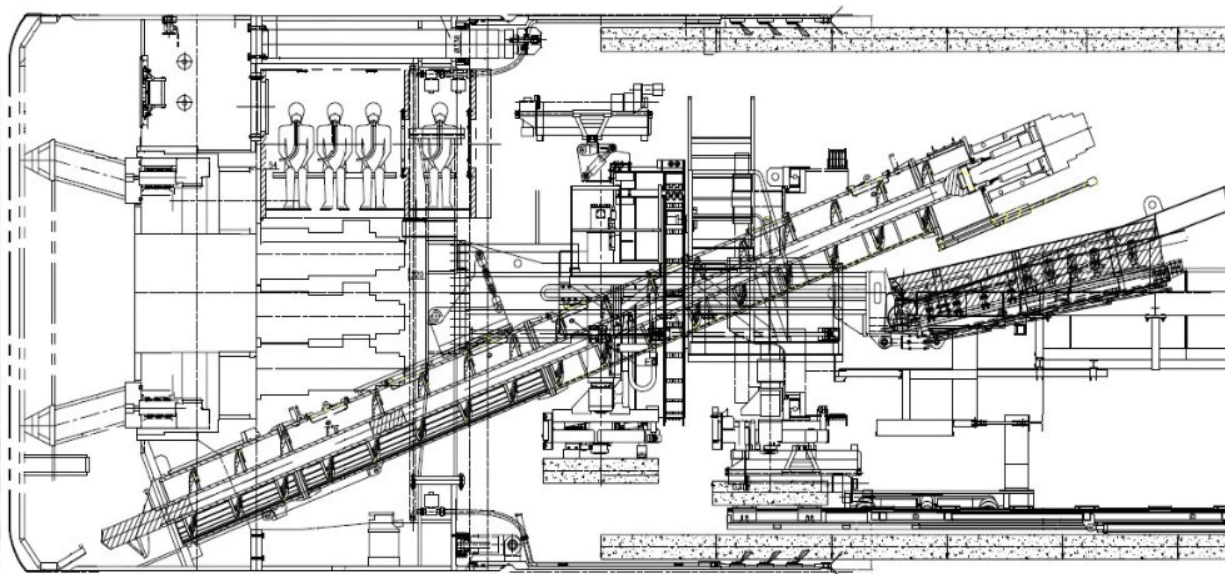


بررسی پارامترهای مهم حفاری در گذر از زیر روخانه کارون

□ نیروی پیشران (Thrust)

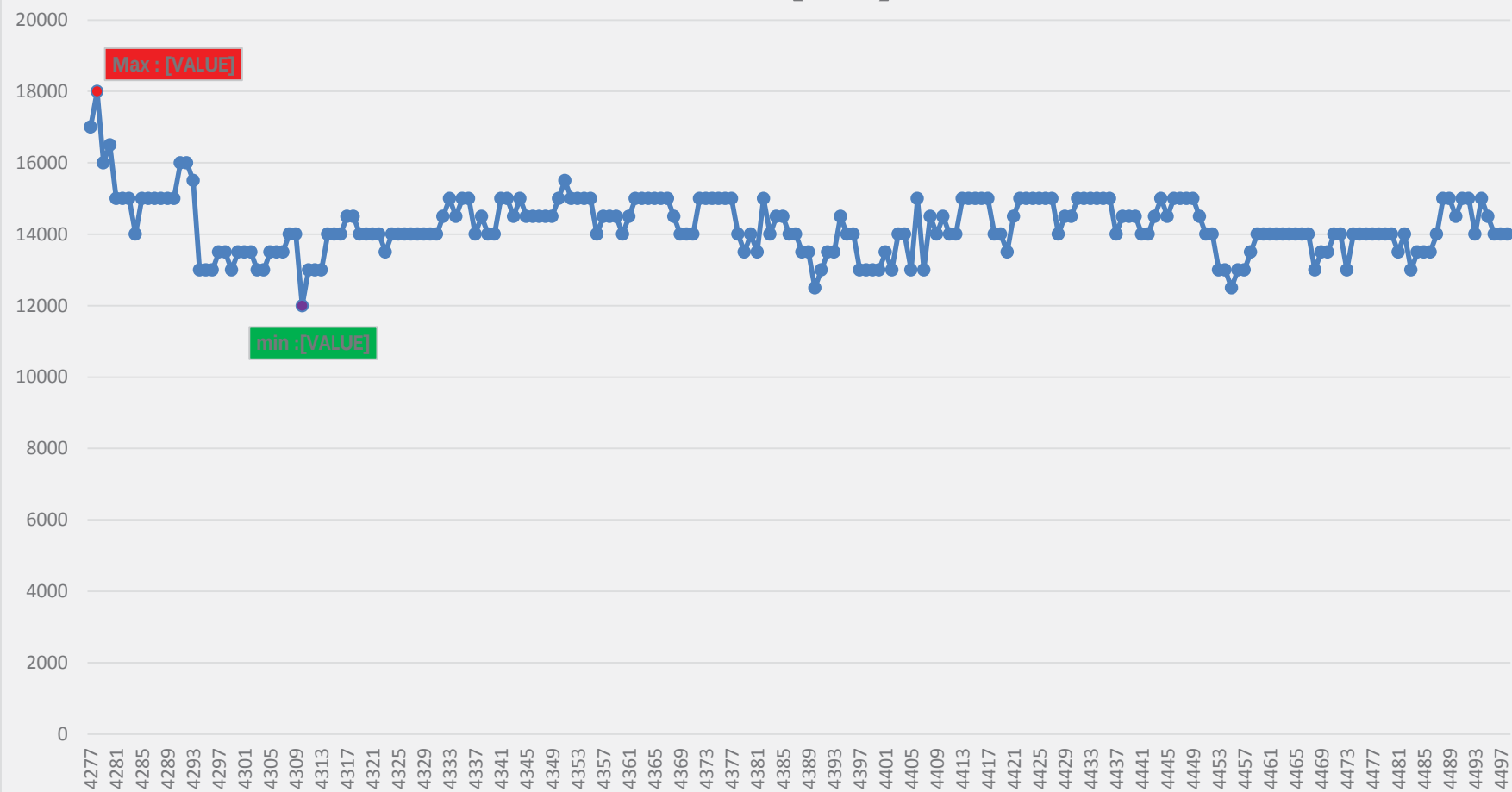
برای پیشروی این ماشین از ۱۱ جفت جک (معادل ۲۲ عدد) در محدوده سپر میانی دستگاه استفاده می گردد که مقدار متوسط نیروی تراست برای حفاری های صورت گرفته در زیر رودخانه برابر ۱۴۲۴۵kN بوده است.

Total thrust	: 42000 kN (46 000 kN exceptional)
Number of cylinders	: 22
Stroke	: 2 300 mm
Maximum working pressure	: 350 bar (385 bars exceptional)





Thrust (KN)





□ نیروی گشتاور (Torque)

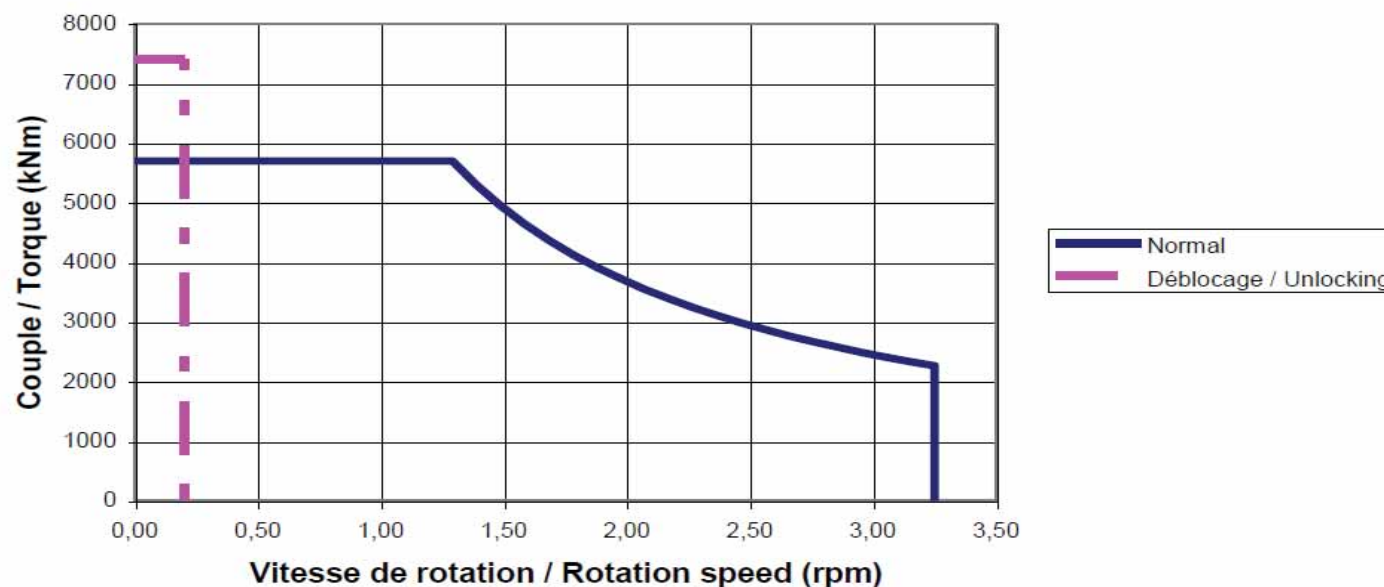
نیروی گشتاور کاترهد این ماشین از طریق Drive Unit و ۶ الکتروموتور تامین می گردد که مقدار متوسط نیروی گشتاور در حفاری های صورت گرفته در زیر رودخانه برابر 2100 kNm بوده است.

Maximum torque (real efficiency) : $5\,700 \text{ kNm}$ at $1,29 \text{ rpm}$

Torque at maximal speed (real efficiency) : $2\,260 \text{ kNm}$ at $3,25 \text{ rpm}$

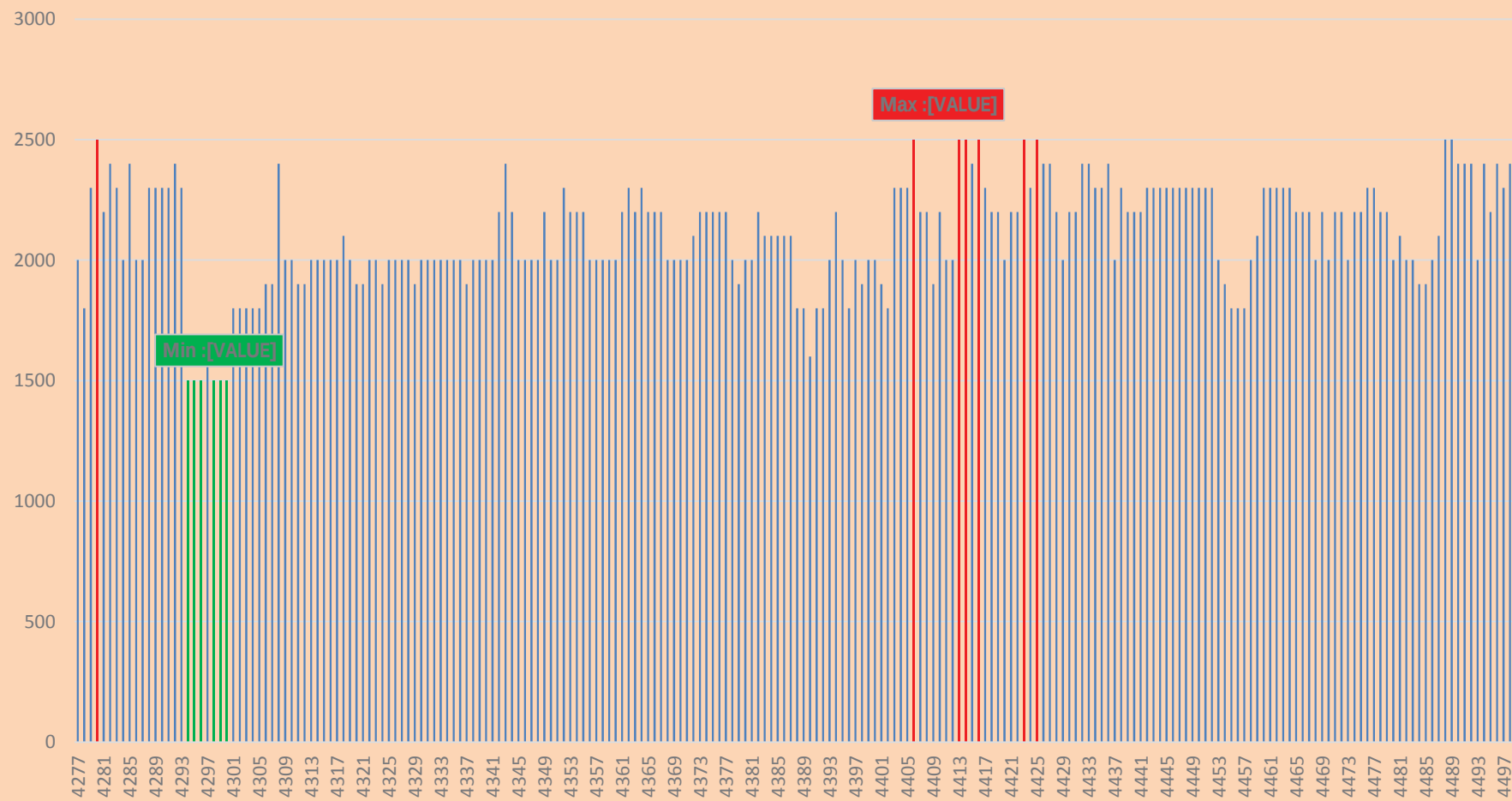
Unlocking torque (real efficiency) : $7\,400 \text{ kNm}$ at $0,20 \text{ rpm}$

Courbe couple vitesse / Torque speed curve





Torque (Kn.m)





□ فشار EPB

محاسبات فشار EPB که توسط شرکت آمبرگ انجام شده بود، با توجه به اهمیت گذر از زیر رودخانه، مجدداً توسط تیم راهبری TBM بازنگری گردید. فشار نگهدارنده زمین عمدتاً به واسطه ترکیبی از مصالح حفاری شده (Muck) و فوم و فشار جک های پیشران (Thrust) به زمین اعمال می گردد، که این مقدار فشار از طریق محاسبات و به گونه ای تعیین می گردد که از سویی مانع نشست سطح زمین و از سویی دیگر مانع بالازدگی سطح زمین گردد. مقدار فشار EPB در ساحل شرقی رودخانه کارون، **Bar ۲/۲** لحاظ شده و با پیشروی به زیر رودخانه تا **Bar ۲/۷** افزایش می یافت، بنابراین شرایط حفاری را سخت تر و پیچیده تر می نمود. لذا کلیه عملیات Operation ماشین به جهت جلوگیری از بروز خطای انسانی به صورت شبانه روزی کنترل می شد.



تمهیدات مدیریتی پشتیبانی و پرسنلی

- حضور مداوم مدیران ارشد و سرپرستان فنی و اجرایی در تونل در دو شیفت کاری
- ایجاد انگیزه و اعتماد به نفس به پرسنل جهت مواجهه با شرایط سخت پیش رو با خلاقیت های مدیریتی
- مانور ایمنی برای مواجهه با آبگرفتگی و آتش سوزی در دو مرحله و ثبت رکورد ۱۲ دقیقه و ۳۸ ثانیه جهت خروج اضطراری از تونل
- تنظیم برنامه زمان بندی جهت گذر از زیر رودخانه کارون
- تنظیم چک لیست تعمیر و نگهداری و Maintenance ماشین جهت گذر از زیر رودخانه کارون



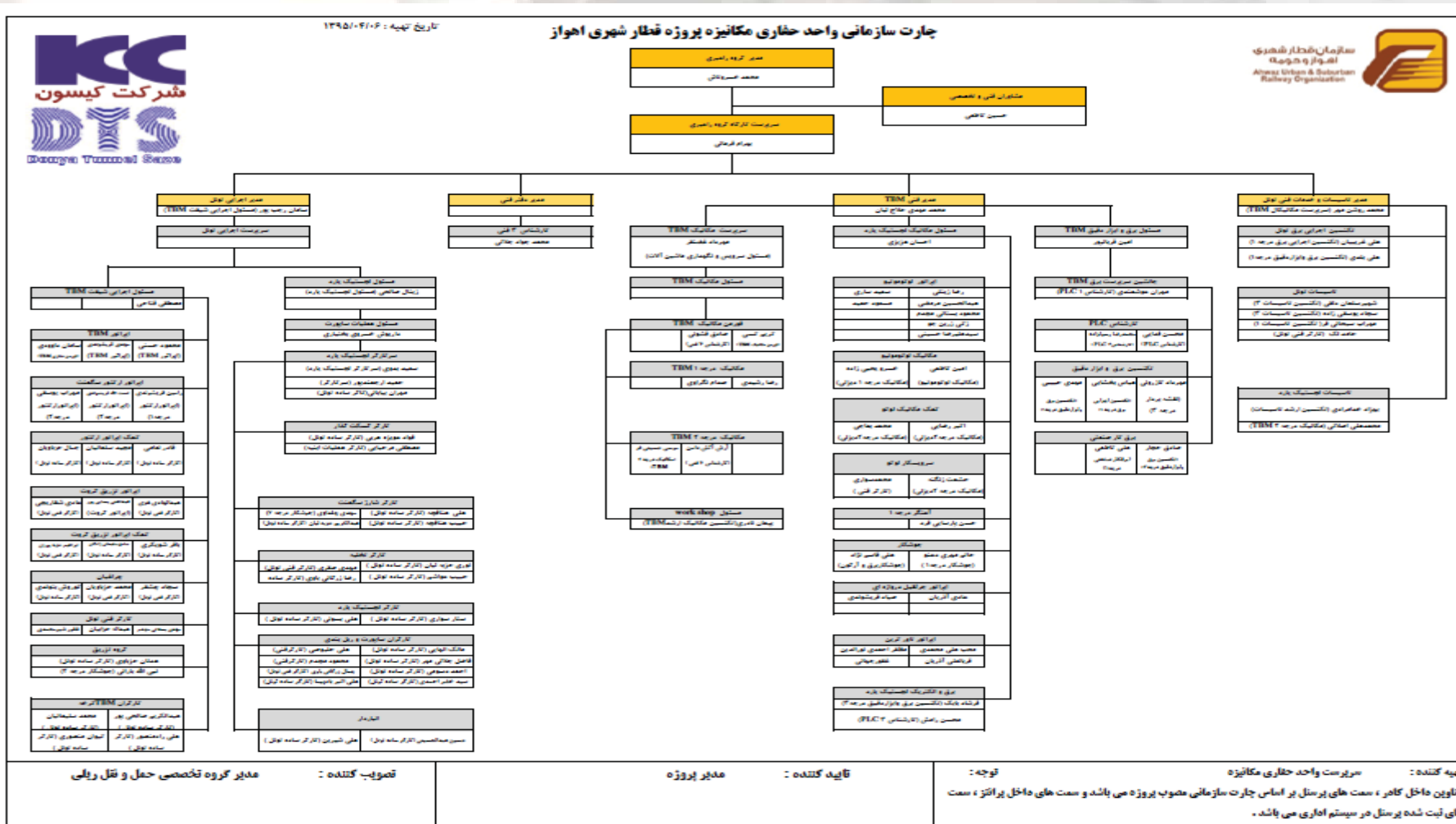
تمهیدات مدیریتی پشتیبانی و پرسنلی

- ☐ تهیه Spare Part List ضروری TBM , Rolling Stock جهت گذر از زیر رودخانه کارون
- ☐ خرید لوازم یدکی ضروری TBM , Rolling Stock و اقلام مصرفی مورد نیاز تونل جهت گذر از زیر رودخانه کارون
- ☐ شارژ و کنترل روزانه انبار پای کار

مواد و مصالح مصرفی دستگاه کارون تا ایستگاه ساعت - ۹۵/۰۲/۰۶

ردیف	شرح	واحد	مصرف به ازای هورینگ	موجودی گنونی	تعداد رینگهای قابل نصب	مقدار مورد نیاز تا ساعت	اقبار پای کار مصلی	انیاو مرکزی
۱	غرم KF1۶۸A (۱۰۰۰ لیتری)	لیتر	۵۰	۱۲,۵۵۰	۲۵۱	۱۴,۸۵۰	۸,۰۰۰	۱۸,۵۵۰
۲	گریس ماسنیک (۲۵۰kg)	کیلوگرم	۱۰۰	۳۵,۱۰۰	۳۵۱	۱۹,۷۰۰	۷,۷۵۰	۴۲,۲۴۶
۳	گریس HBW (۱۸۰kg)	کیلوگرم	۴۰	۴۷,۱۴۰	۱۱۷۹	-۲۵,۲۲۰	۱,۶۲۰	۴۸,۵۸۰
۴	گریس NLGI۲ (۱۹۰kg)	کیلوگرم	۱۳	۴,۳۳۳	۳۳۳	۲,۷۹۱	۱,۷۱۰	۵,۸۵۲
۵	فاکت تهویه (۶۰ لیتری)	متر	۲	۳۷۷	۲۵۱	۴۴۶	۱۲۰	۲۲۷

❑ اصلاح چارت سازمانی و جذب پرسنل متخصص فنی و اجرایی جهت عبور از زیر رودخانه





□ بررسی گزارشات روزانه عملکرد تونل و پارامترهای حفاری و نیازمندی های ماشین

Document Number:		DAILY REPORT OF TBM						Station: WEST-NADERI									
proj.Line & contract code	Word category	Area Location	Doc. Type	Ser. No	Rev. No												
AUR105	KRP	100	REP	002	05												
Date: 14.05.2016 ۹۵/۰۲/۲۵	Sat ☒ Sun ☐ Mon ☐ Tue ☐ Wen ☐ Thu ☐ Fri ☐	Shift: Day ☒ Night ☐	Karoon(I) ☒ Karkeh(II) ☐														
DISTANCE	RINGS	GUIDANCE	ARTICULATION (mm)				RING NO.	4422	4423	4424	4425	4426	4427				
START	10392.17	4422	HORIZ.	VERT.	1	2	3	4	SERIAL NO.								
END	10383.195	4428	+23	+25	45	42	72	73	MUCK CARS	6	6	6	6	6	6		
TOTAL	8.975		-90	+100	44	54	55	67	MORTAR	6	6	5.5	6	6	6.5		
TIME	HOUR	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18				
	MINUTE	15	30	45	60	15	30	45	60	15	30	45	60	15	30	45	60
PRODUCTION	Excavation																
	Clean where to put the segments																
	Ring Building																
PLANED	Maintenance																
	Change grease barrel																
	Change survey station																
	Rail Building																
	Tools Replace																
Not Planed (client)	Train Problem																
	Water Fault																
	Electrical Fault																
Not Planed (NFM)	Others Client																
	Mechanical Stop																
	Electrical Stop																
Description of Remarks														CONSUMPTION (barrel)			
1/ waiting train														Tensio Active	HBW	NLG12	TSG6
2/ loading rails and slippers														lit	1 drum	drum	4 drum
3/ cutter head encoder problem																	



گزارش حفاری رینگ



سازمان قطار شهری
اهواز و حومه
Ahwaz Urban & Suburban
Railway Organization

Document Number:

پروژه قطار شهری اهواز

proj.Line & contract code	Word category	Area Location	Doc. Type	Ser. No	Rev. No
AUR108	KHP	T00	REP	003	03

Date: 14.05.2016 95/02/25

Shift : Day ☒ Night ☐

Excavation Method :

Sat ☒ Sun ☐ Mon ☐ Tue ☐ Wen ☐ Thu ☐ Fri ☐

TBM : Karoon(I) ☒ Karkheh(II) ☐

Close ☒ Semi Close ☐ Open ☐

NUMBER of RING

4422

KEY POS.

7

Geology

clay stone

GUIDANCE

	PK		Vert.	Hor.	Roll	Pitch
Start	10392.170	INICIAL	+0.025	+0.023	-0.63	+0.47
End	10390.678	FINAL	+0.031	+0.029	+3.93	

PARAMETER OF EXCAVATION

Thrust (KN)	14000-16000
Torque (kN.m)	2000-2300
Stroke (mm)	

Cutterhead Speed (rpm)	2	CV	-
Speed Advance (mm/min)	45	CCW	100
Number of Muck Car	6		

EPB (bar)

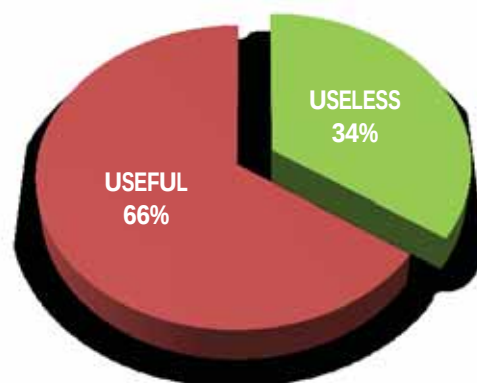
P1	2.55		
2.97	P3	P4	3.01
3.47	P6	P5	3.42

Foam Parameters

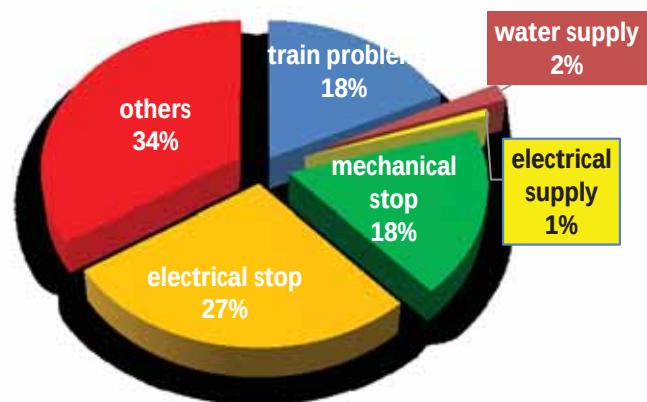
Tensio active (%)	1.5
FIR (%)	70
FER (%)	6
Tensio. Kind	168-A



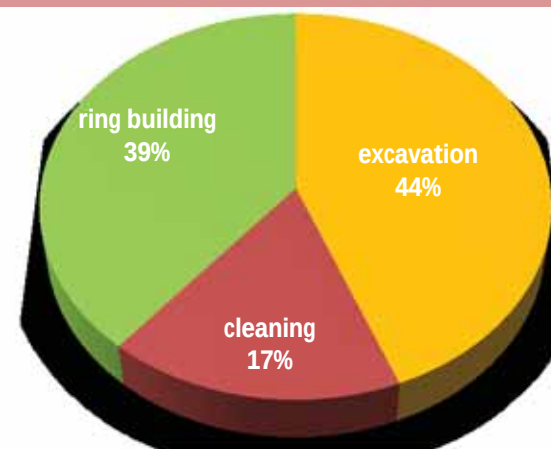
نمودار راندمان زمانی در اردیبهشت ماه



USELESS



USEFUL





رفتارسنجی تونل و کنترل مواد مصرفی تونل

- توزین مصالح حفاری روی نوار نقاله و کنترل میزان پرشدن واگن ها جهت امکان عدم نشست جبهه کار
- برداشت نمونه مصالح حفاری و تطبیق آن با مطالعات انجام شده و اقدامات اصلاحی اپراتوری
- نصب المان های کنترلی نشست و برداشت پیوسته نقشه برداری در طول مسیر
- کنترل ارقام مصرفی در حفاری مکانیزه علاوه بر میزان مصرف آنها در هر رینگ و هزینه تمام شده تونل، اطلاعاتی درباره وضعیت ژئومکانیکی زمین در مسیر حفر تونل ارائه می دهد





□ دوغاب پرکننده پشت سگمنت (گروت) و ضرورت بازنگری طرح اختلاط آن

طرح اختلاط گروت که ترکیبی از سیمان، میکرو سیلیس، پودر سنگ، ماسه بادی و دوغاب بنتونیت می باشد، با همکاری تیم ژئوتکنیک حفاری مکانیزه و دفتر فنی و آزمایشگاه بچینگ پیش از گذر از زیر رودخانه با توجه به خطر مواجهه با آب به بهترین حالت اصلاح گردید. شایان ذکر است در حفاری با TBM فضای خالی بین سگمنتها و دیواره تونل حفاری شده با استفاده از Mortar و یا Grout بلافاصله پس از خروج رینگ بتنی از Tail skin پر می شود. تزریق دوغاب پرکننده پشت سگمنت (Backfill grouting) به جهت به حداقل رساندن نشست زمین و تثبیت رینگ نصب شده در جای خود به هنگام پیشروی TBM انجام می گیرد و بسیار حائز اهمیت است. در پروژه خط یک قطار شهری اهواز، حجم گروت مورد نیاز برای پر کردن پشت سگمنت ها در وضعیت نرمال حفاری به ازای هر متر طول در حدود $3/5m^3$ و میزان مورد نیاز برای پر کردن پشت هر رینگ (به عرض $1/5m$) برابر $5/2m^3$ می باشد.



□ کنترل عملکرد فوم و پارامترهای FER , FIR , Cf و انتخاب مناسب نوع فوم و پلیمر

فوم مخلوطی از کنسانتره فوم، هوا و آب به عنوان یکی از مهم ترین مواد مصرفی در تونلسازی به روش EPB ، موجب عمل آوری و بهبود خاک می گردد. همچنین اگر از فوم به درستی استفاده گردد، می توان با تغییرات شدید فشار در سینه کار مقابله کرد. دلایل استفاده از فوم عبارت است از:

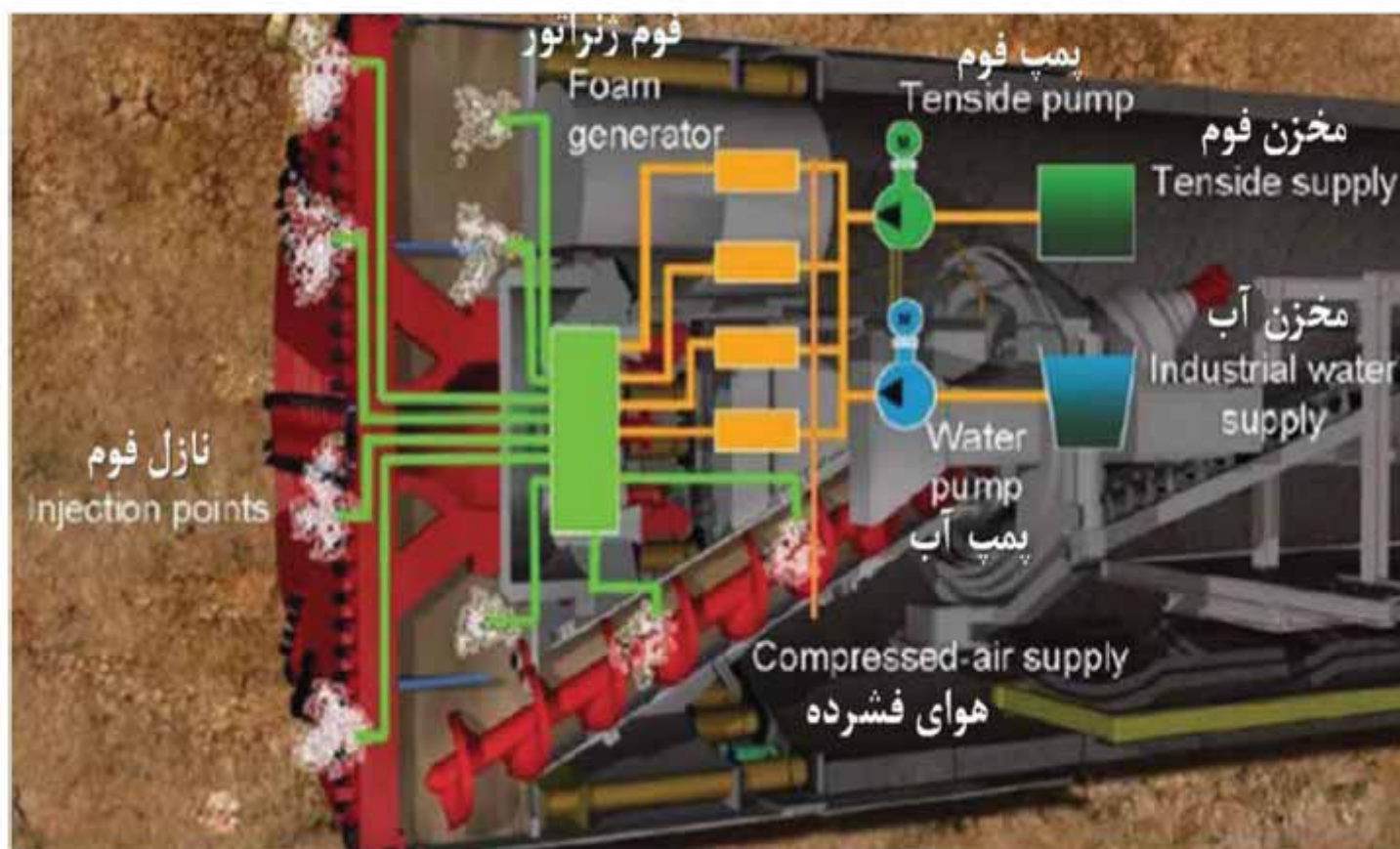
- کاهش گشتاور (Torque) و فشار روی الکترو موتورها
- کاهش سایندگی خاک و کاهش فرسایش ابزارهای برشی
- افزایش الاستیسیته خاک و کاهش نفوذپذیری آن

FOAM = Water + (Tensio active + polimer) + Air





نمایی شماتیک از مدار تولید و تزریق فوم در ماشین EPB

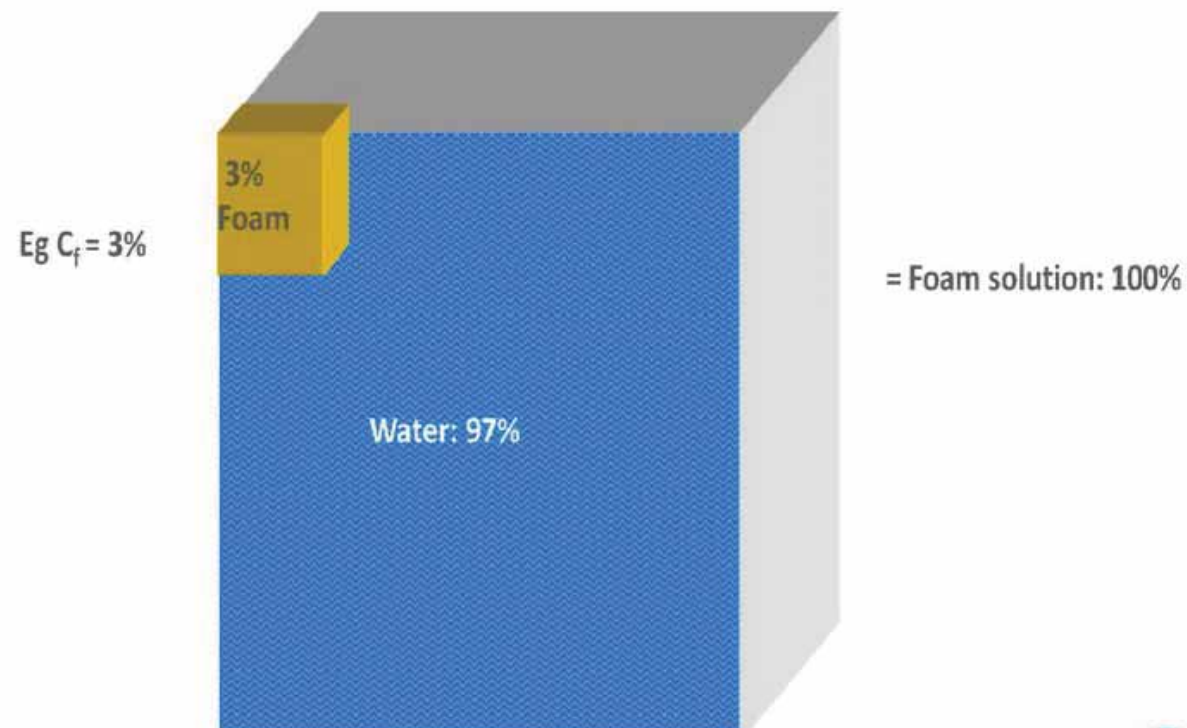




$$C_f = 100 \left(\frac{\text{m Surfactant}}{\text{m Foam Solution}} \right)$$

جرم سورفکتانت در محلول فوم (کیلو گرم)

جرم محلول فوم (کیلوگرم)

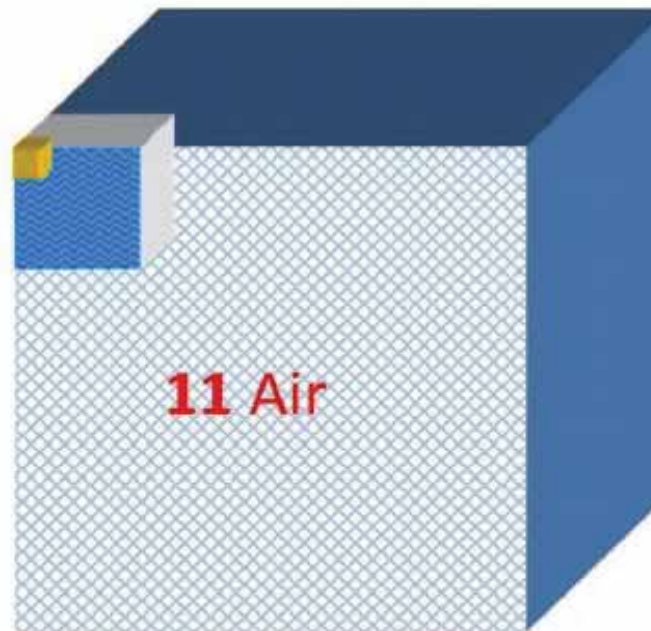




$$\text{FER} = \frac{\text{Volumen de Espuma (Q}_{\text{foam}}\text{)}}{\text{Volumen de Líquido (Q}_{\text{liquid}}\text{)}}$$

Eg. FER 12

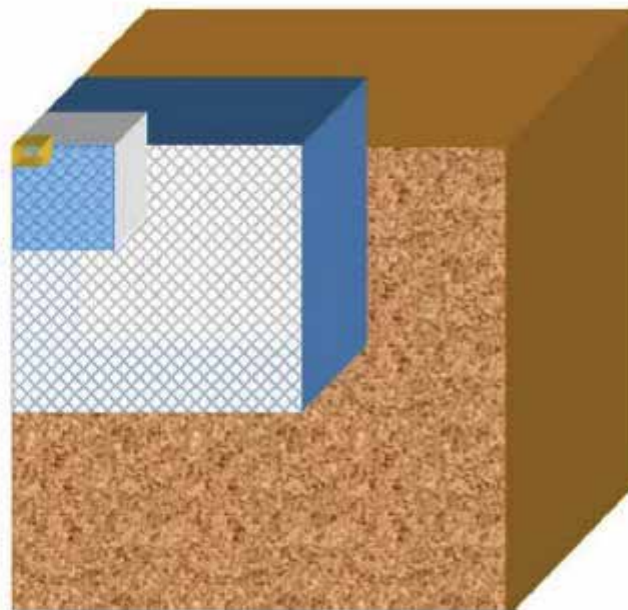
1 Líquido



= 12 FER



$$\text{FIR} = \frac{\text{Volumen de Espuma (Q}_{\text{foam}}\text{)}}{\text{Volumen de Terreno (Q}_{\text{soil}}\text{)}}$$

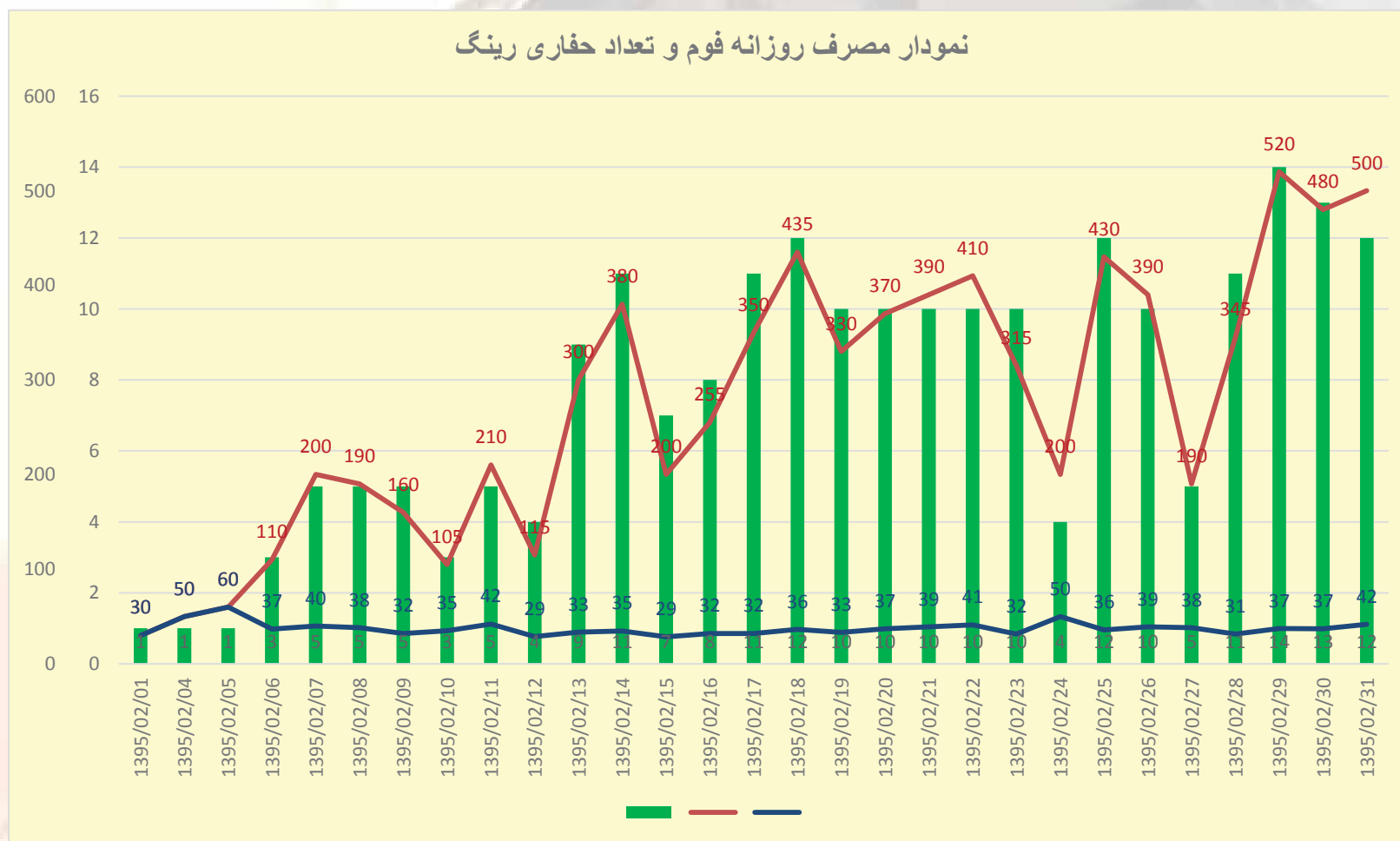


$$Q_{\text{foam}} = \text{FIR} \times Q_{\text{soil}}$$

$$Q_{\text{soil}} = A_{\text{face}} \times v_{\text{TBM}}$$



میزان فوم مصرفی در اردیبهشت ماه ۹۵ و در گذر از زیر رودخانه ۸۰۲۰ لیتر بوده که با توجه به ۲۲۲ رینگ حفاری انجام شده در این ماه، میزان متوسط مصرف فوم برای هر رینگ برابر ۳۶ لیتر است.





□ میزان مصرف انواع گریس های دستگاه در گذر از زیر رودخانه

۲۰۵	Kg/Ring	میانگین مصرف به ازای هررینگ	گریس ماستیک (Tail Seal Grease)
۴۵۵۰۰	kg	مصرف کل در اردیبهشت ماه و در گذر از زیر رودخانه	
۳۷	kg/Ring	میانگین مصرف به ازای هررینگ	گریس HBW (Bearing Sealing Grease)
۸۲۸۰	kg	مصرف کل در اردیبهشت ماه و در گذر از زیر رودخانه	
۴	kg/Ring	میانگین مصرف به ازای هررینگ	گریس EP2 (Lubricant Grease)
۹۵۰	kg	مصرف کل در اردیبهشت ماه و در گذر از زیر رودخانه	



تمهیدات اجرایی در لجستیک یارد

□ محوطه سازی کارگاه و افزایش ظرفیت محوطه دپوی سگمنت و جمع آوری ضایعات





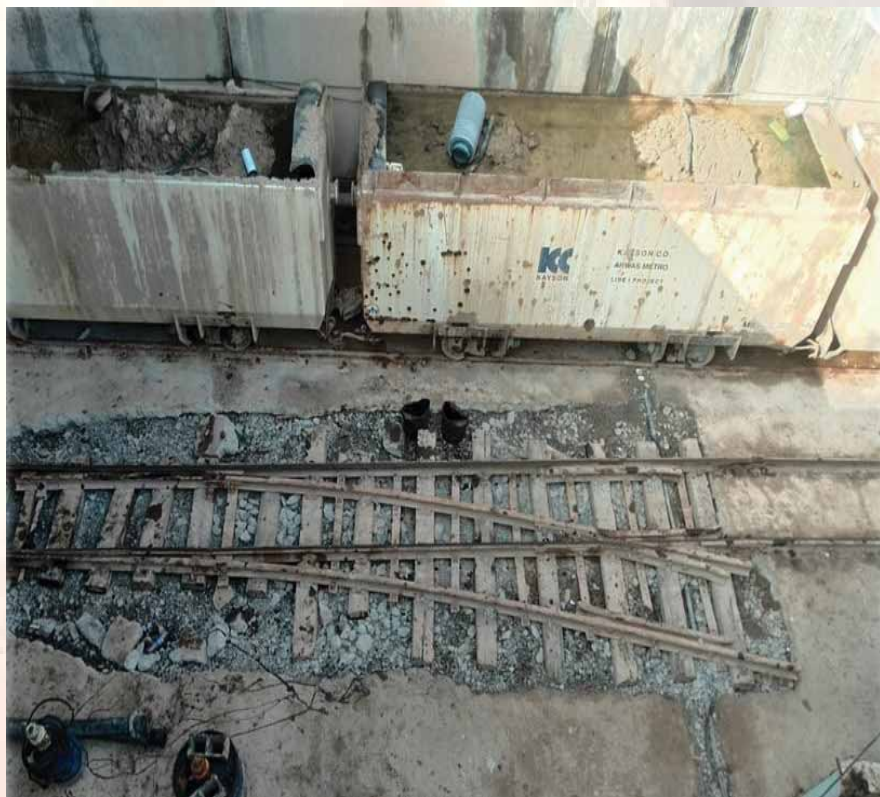
□ آماده سازی تجهیزات و ساخت تعمیرگاه لوکوشاپ ، هیدرومکانیک و برق و تأسیسات





□ تکمیل چال سرویس و احداث سوزن منتهی به آن برای تعمیر لو کوموتیوها و ساخت دیوار حائل در انتهای

سوزن داخل تونل قبل از ایستگاه مصلی جهت جلوگیری از آب گرفتگی ناوگان Rolling Stock





□ آماده سازی نیروگاه دیزلی و بچینگ گروت و سرویس دو دستگاه جرثقیل دروازه ای و یک دستگاه تاور کرین





□ آماده سازی و تعمیرات سیستم Rolling Stock با تأیید شرکت شوما به ویژه لوکوموتیوها و تندوم کارها و تمیزکاری و افزایش ظرفیت گروت کارها





تمهیدات اجرایی در تونل و ایستگاه ها

- ☐ احداث سامپ تأسیسات در ایستگاه نادری غربی برای بالا بردن توان آبکشی در صورت مواجهه با آب
- ☐ ایجاد شبکه مخابراتی جامع در دفاتر مدیریتی و مسیر تونل از جمله سوزن و ایستگاه پمپاژ و روی ماشین
- ☐ تعمیر و نگهداری و آچارکشی خطوط ریلی تونل به صورت روزانه
- ☐ راه اندازی فلت کار تعمیرات ریلی به همراه تکمیل تجهیزات ریل بندی جهت خدمات دهی در طول مسیر تونل
- ☐ راه اندازی دیزل ژنراتور مستقر روی فلت کار جهت برق رسانی مسیر تونل و استفاده پمپ تزریق Back Grouting
- ☐ استقرار پمپ پلی ارتان در تونل جهت تزریق و ایجاد پرده آب بند در صورت مواجهه با آب پیش بینی نشده
- ☐ سرویس لاین های گروت و فوم و راه اندازی پمپ و مدار تزریق پلیمر
- ☐ تزریق دوغاب و Back Grouting به جهت رفع نشتی آب در مسیر تونل از ایستگاه مصلی تا روی ماشین





تمهیدات فنی

مشخصات اصلی Cutter head & Thrust

➤ CUTTER HEAD

POWER : 6x160KW

RPM: 0-3.25

TORQUE: 5700 kNm

(2260kNm@3.25 rpm)

Cutting tools :

Knife bit: 41

Drag bit : 124

Bucket: 12

Cutter disk : 33+5 twin

➤ THRUST

cylinder : 22

Force : 42000 kN@350 bar

Max speed advance : 100 mm/min





امکانات مؤثر و تدابیر دیده شده در طراحی ماشین

- ☐ خطوط تزریق بنتونیت در جبهه کار ، chamber حفاری، اطراف شیلد
- ☐ سیستم مجزا و قابل کنترل تزریق polymer در خطوط foam
- ☐ امکان نمونه گیری تزریق و پایدار سازی جبهه کار (probe drilling)
- ☐ شبکه dewatering با ظرفیت $40\text{m}^3/\text{hr}$
- ☐ Cutter head mix face (hard rock & soft ground tools)
- ☐ بکارگیری خطوط تزریق sealing grease در articulation
- ☐ بکارگیری طراحی موثر در مکانیزم آب بندی Main drive
- ☐ سیستم تزریق continuous گروت و back feel grouting



تمهیدات فنی و اقدامات صورت گرفته جهت عبور از رودخانه با کمترین احتمال توقف

□ آماده سازی TBM و تونل

فراهم سازی spare part , job stopper
اورهال ماشین در ایستگاه و قبل از ورود به تونل
سرویس و آماده سازی ماشین قبل از ورود به رودخانه
نگهداری ماشین در حین در عبور از رودخانه
طراحی و احداث شبکه Dewatering
طراحی و اجرای شبکه توزیع برق M V در ایستگاه و تونل

□ آماده سازی Rolling stock و تجهیزات لجستیک

آماده سازی ۵ دستگاه لو کوموتیو و Tandem car
آماده سازی ۵ دستگاه Mortar car
آماده سازی segment car muck care, flat car یدکی
تعمیرات و سرویس دو دستگاه جرثقیل دروازه ای و tower crane
آماده سازی و سرویس دیزل ژنراتورهای نیروگاه دیزلی
آماده سازی تعمیرگاه های تخصصی هیدرو مکانیک و الکتریک

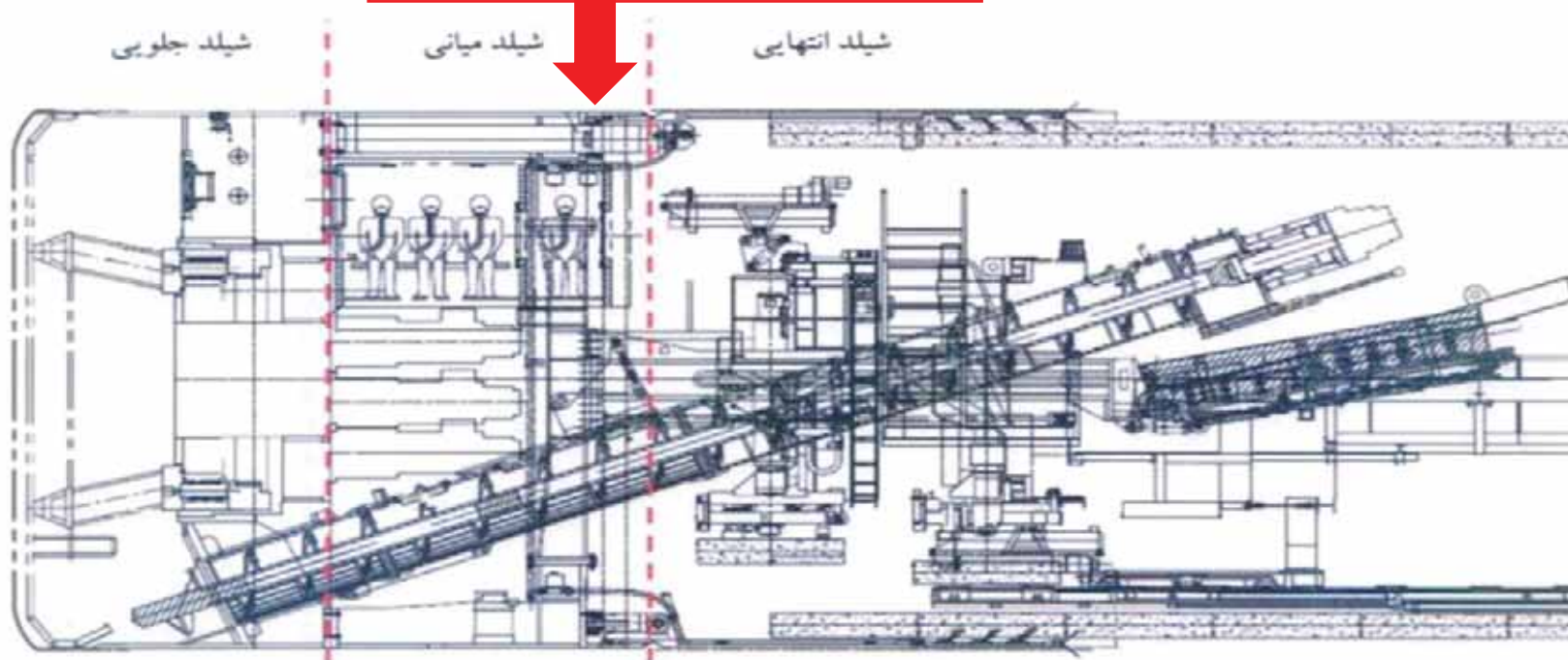
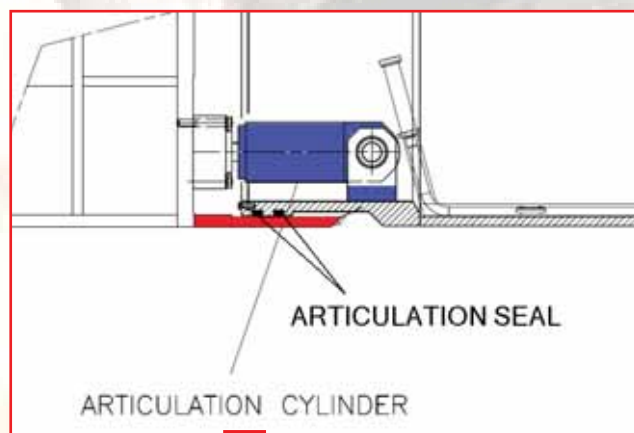


اهم اقدامات Overhaul ماشین (در ایستگاه)

- ❑ بازدید و کسب اطمینان از سلامت Articulation seal
- ❑ بازبینی Safety gate ، Helix, Wear segment , discharge gate و کسب اطمینان از سلامت کامل Screw conveyor
- ❑ کسب اطمینان از سلامت Drive unit و عملکرد sealing grease در این بخش
- ❑ کسب اطمینان از سلامت کامل Erector
- ❑ کسب اطمینان از سلامت کامل Belt conveyor
- ❑ پاکسازی و رفع انسداد و رسوب از مسیرهای تزریق Mortar اصلی و Spare
- ❑ تعویض کلیه برسهای معیوب در Tail skin
- ❑ اصلاح آرایش ابزارهای برشی و انجام جوشهای محافظتی در cutter head



بازدید از Articulation seal در ایستگاه نادری





❑ مراحل بازدید و تعویض ARTICULATION SEAL

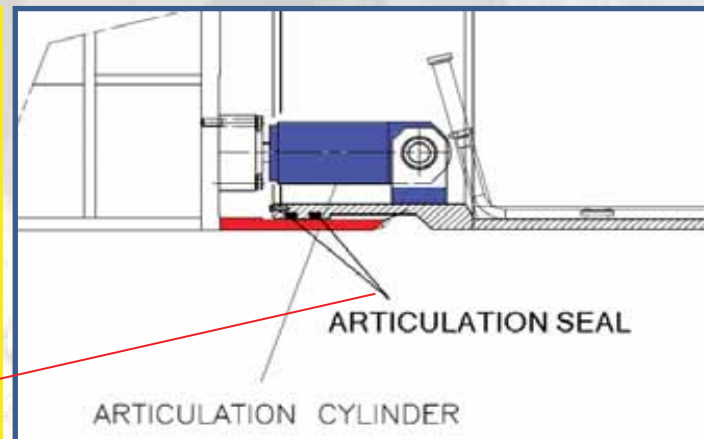
❑ استقرار SHIELD های میانی و انتهایی بر روی
کریدل طراحی شده و در یک امتداد

❑ تمیزکاری و بازکردن روبنده های داخلی و
خارجی و جداسازی SCALE ها





□ جداسازی SHIELD ها با کمک جک های ARTICULATION



محل قرار گیری ARTICULATION SEAL



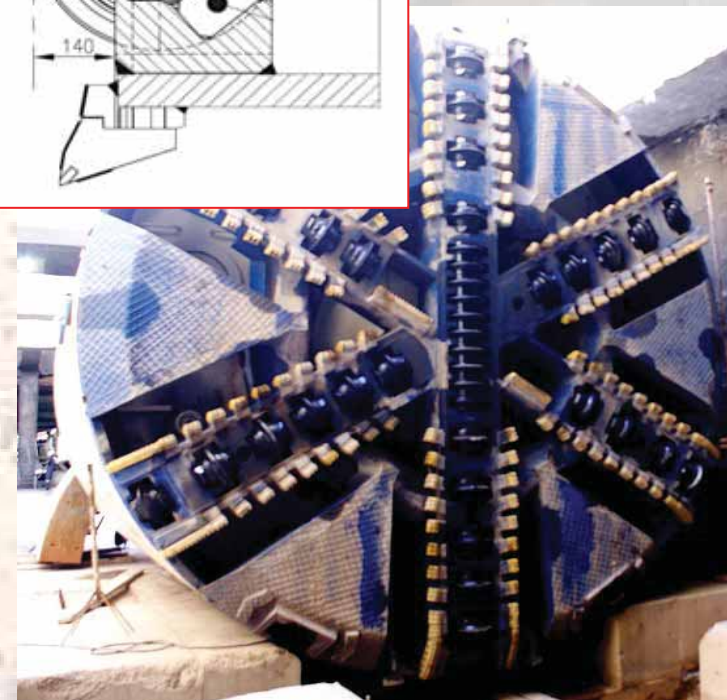
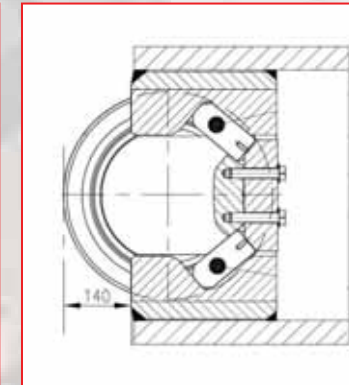
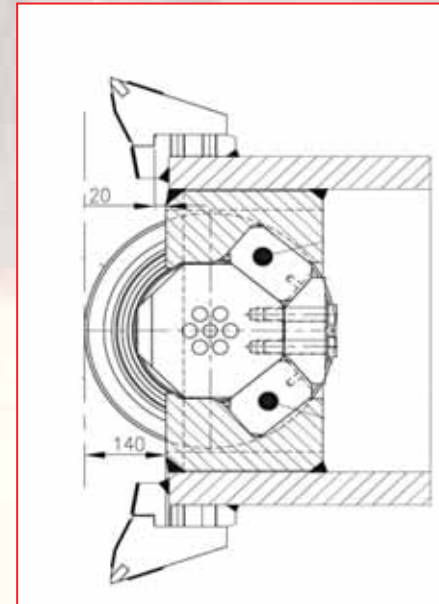
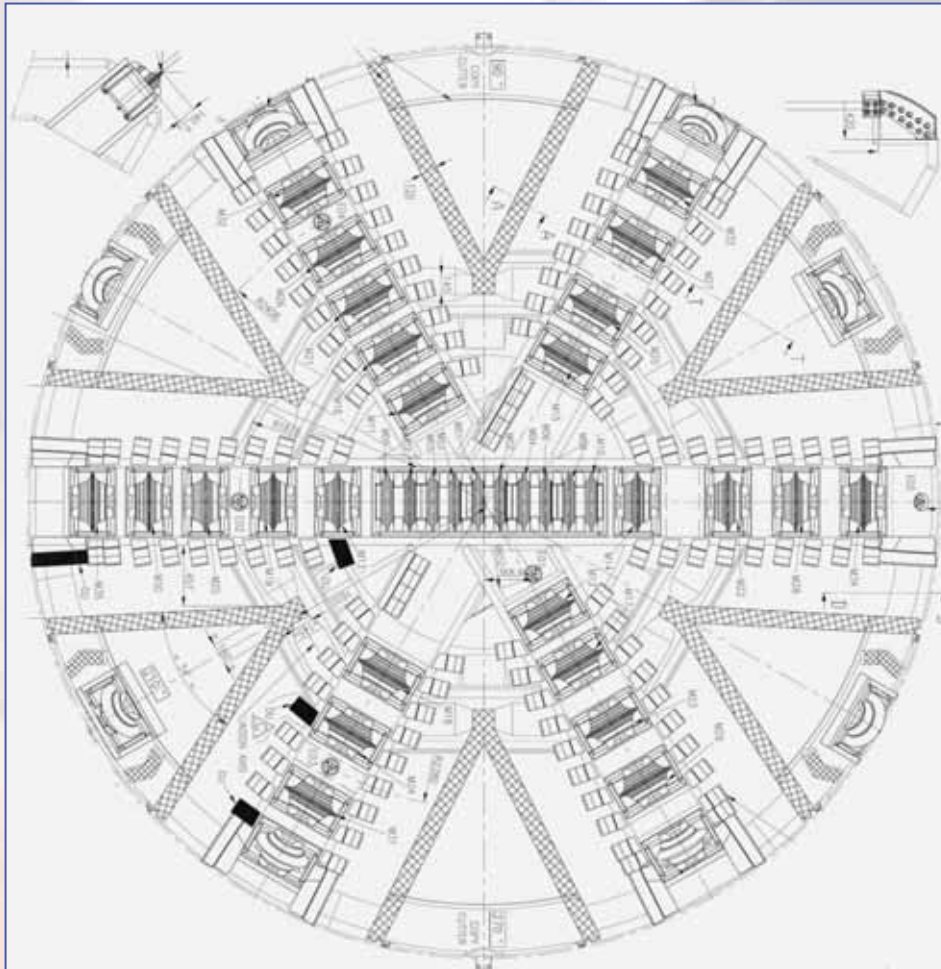
□ نمونه ای از آسیب دیدگی ARTICULATION SEAL





HARD ROCK CUTTING TOOLS

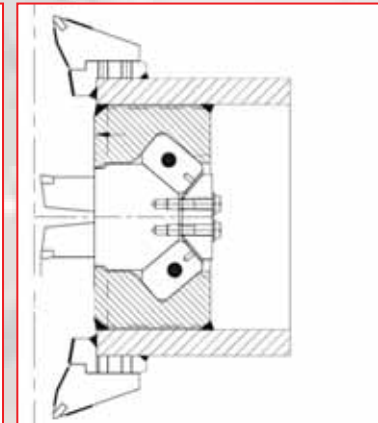
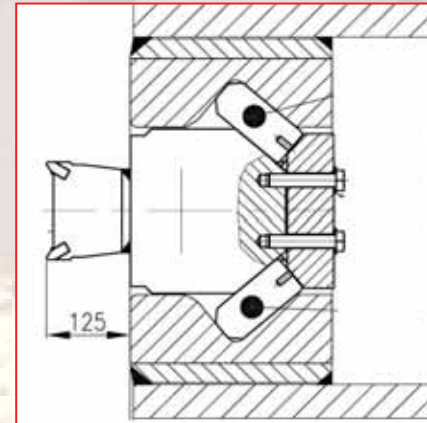
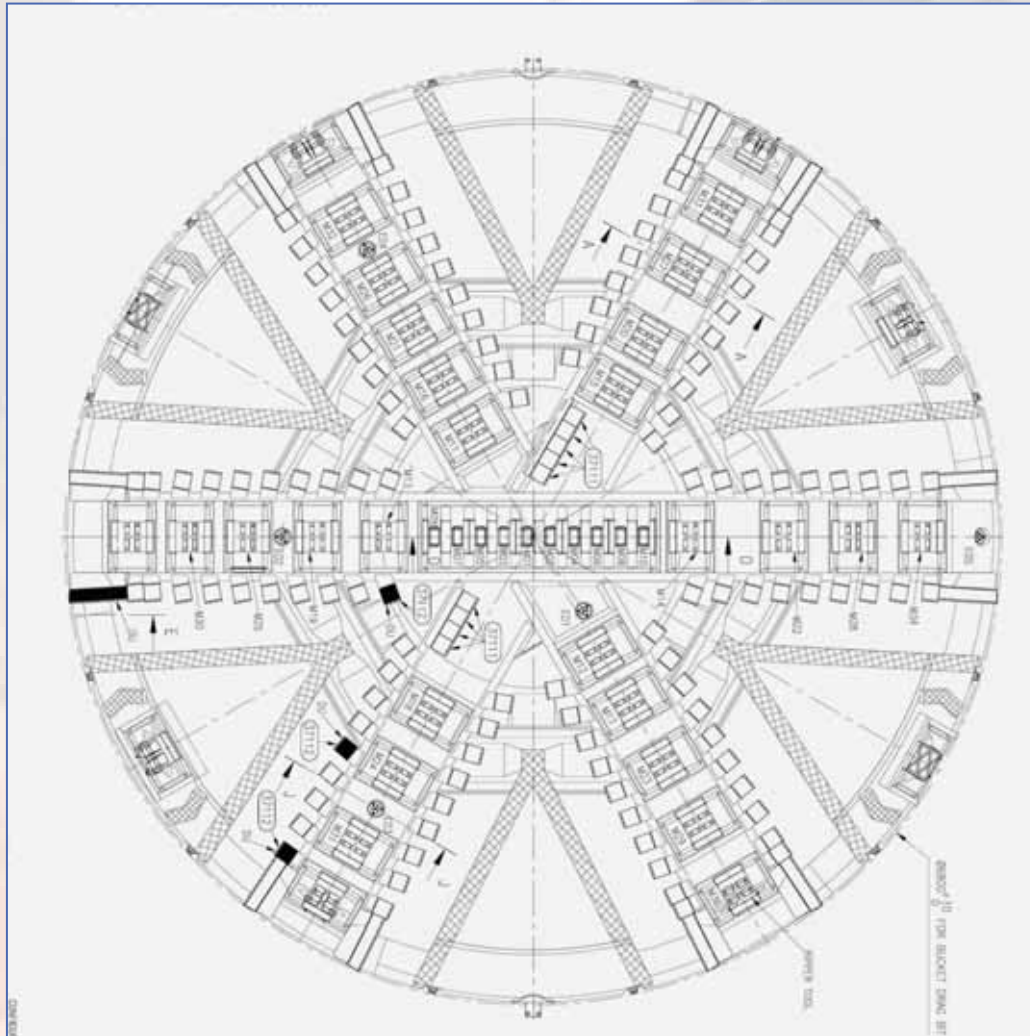
CUTTER HEAD و ابزار های برشی زمین های سخت





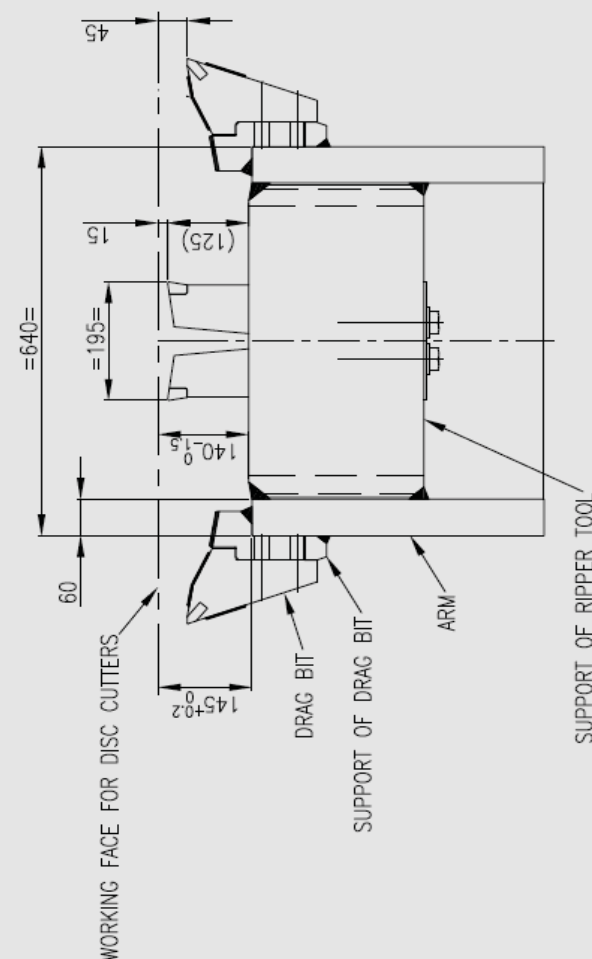
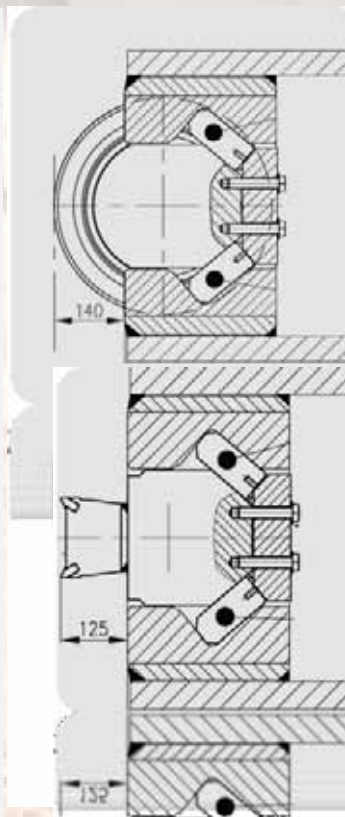
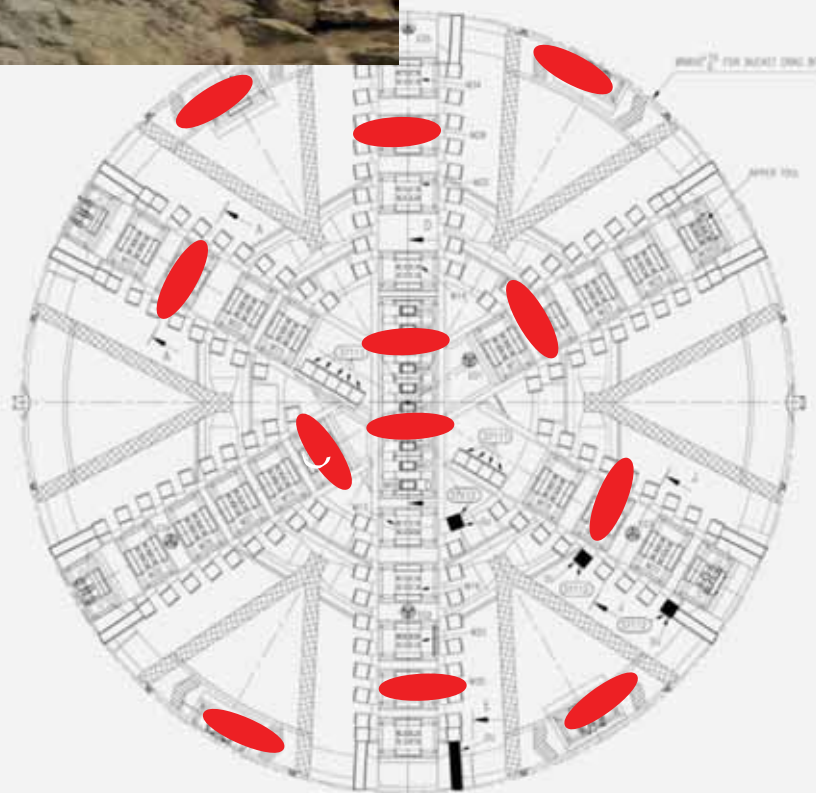
SOFT GROUND TOOLS

CUTTER HEAD و ابزار های برشی زمین های نرم





ترکیب ابزارهای برشی در نظر گرفته شده برای عبور از رودخانه
طراحی خاص ابزارهای برشی و قابلیت بکارگیری ترکیبی از ابزارهای برشی و
ایجاد MIX Face cutter head با توجه به شرایط زمین در مسیر پیش رو





آماده سازی ماشین جت عبور از رودخانه

□ Maintenance و Over haul ماشین

• Foam circuit

• BENTONITE circuit

• Breathable & industrial Air

• Erector & segment handling

• Main drive(cutter head drive)

• Thrust & articulation

• Greasing

• Screw & belt conveyor

□ تقویت و اصلاح Brush و Tail skin sealing

□ Hyper baric و بازبینی Cutting tools

□ افزایش ظرفیت پمپاژ و استقرار و نصب تجهیزات Dewatering اضطراری در TBM

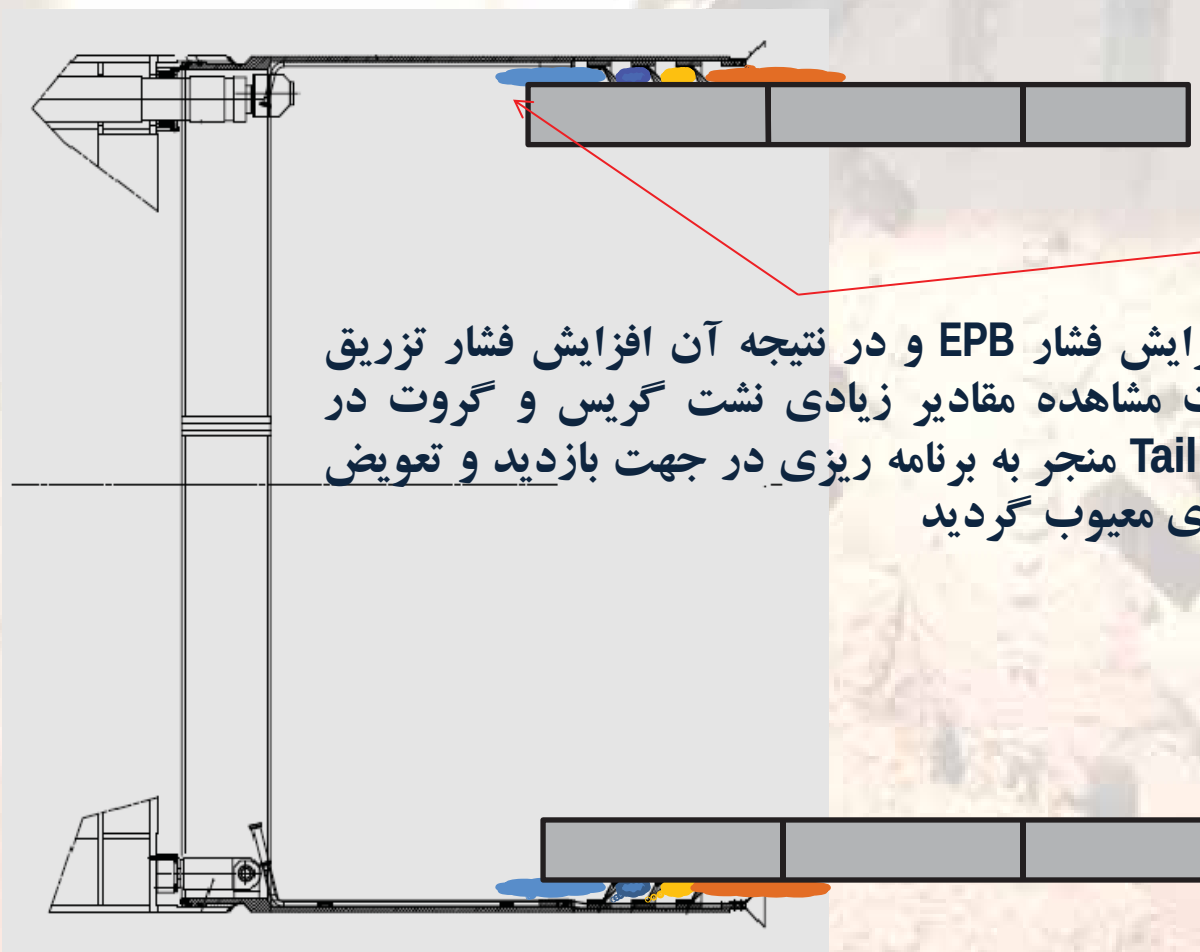
□ اصلاح و ایجاد شبکه برق اضطراری TBM

□ طراحی و نصب سیستم کنترلی فشار تزریق در مدار تزریق تکمیلی روی ماشین

□ ایجاد مدارات تزریق تکمیلی و اضطراری در TBM (ساخت و تزریق دوغاب و پلی اورتان)



ضرورت بازیابی و تعویض برسها در تونل و در آستانه رودخانه





پروسه تعویض برسها در داخل تونل



انجام پیشروی بدون نصب رینگ کامل تا خروج کامل دو ردیف از برسها از رینگ Segment
انجام تزریقات تکمیلی در آخرین رینگ
پایدار سازی و Support رینگ خارج شده از Shield
جمع آوری و انتقال رینگ ناقص از داخل Shield
برشکاری و جدا کردن برسهای معیوب در دوردیف اول
نصب برسهای جدید

انجام first feeling برسها با گریس WR90
کنترل مسیرهای تزریق SEALING GREASE



انجام تزریقات تکمیلی پشت آخرین رینگ
Support و مهار کردن آخرین رینگ خارج شده از Shield
آزاد شدن دو ردیف برس معیوب
نصب برسهای جدید





در آستانه ورود به رودخانه و اهمیت و ضرورت انجام Hyper baric

کنترل اجزای داخلی chamber (diapason, screw head ,....)

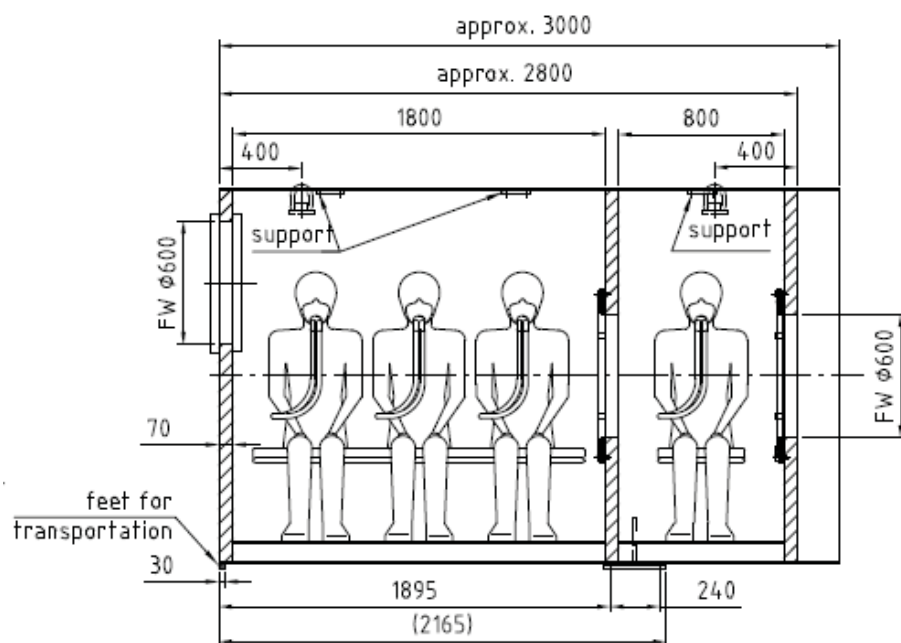
بازبینی وضعیت ابزارهای برشی و کسب اطمینان از سلامت آنها

رفع انسداد خطوط تزریق foam و water spray به داخل chamber

کنترل انسداد احتمالی مسیر خروج گریس HBW(bearing sealing grease)

رفع انسداد خطوط تزریق foam و water spray به داخل chamber

کنترل صحت عملکرد سنسورهای EPB و اطمینان از کالیبره بودن سنسورها





فراهم سازی ملزومات و شرایط Hyper baric

تعمیرات و آماده سازی دو دستگاه کمپرسور ($1130\text{m}^3/\text{hr}$) و یونیت های فیلتراسیون هوای تنفسی

سرویس و تست کامل دیزل ژنراتور و مدار تامین برق اضطراری در TBM
سرویس کامل ، راه اندازی و تست مدار تزریق و تخلیه Bentonite به داخل chamber
سرویس ، راه اندازی و تست سیستم کنترل و regulation هوای تنفسی به داخل چمبر
سرویس ، راه اندازی و تست سیستم تامین و تخلیه فشار هوای تنفسی (man lock (personnel air lock)
سرویس و راه اندازی تجهیزات الکترونیکی و الکتریکی man lock و کسب اطمینان از سلامت آنها

شبکه روشنایی

سیستم گرمایش

شبکه مخابراتی

recorder و پانل کنترلی man lock

سرویس و راه اندازی تجهیزات مکانیکال man lock و کسب اطمینان از سلامت آنها

کنترل و تست گيج های فشار و تعویض قطعات معیوب با دقت 0.02 bar

کنترل و تست شیرهای کنترل دبی هوای ورودی و تخلیه هوا

کنترل و تست شبکه اطفاء حریق و تامین آب تحت فشار man lock

تست عملکرد شیر ایمنی تخلیه اضافه فشار ($\text{safety valve} > 3.3\text{ bar}$)

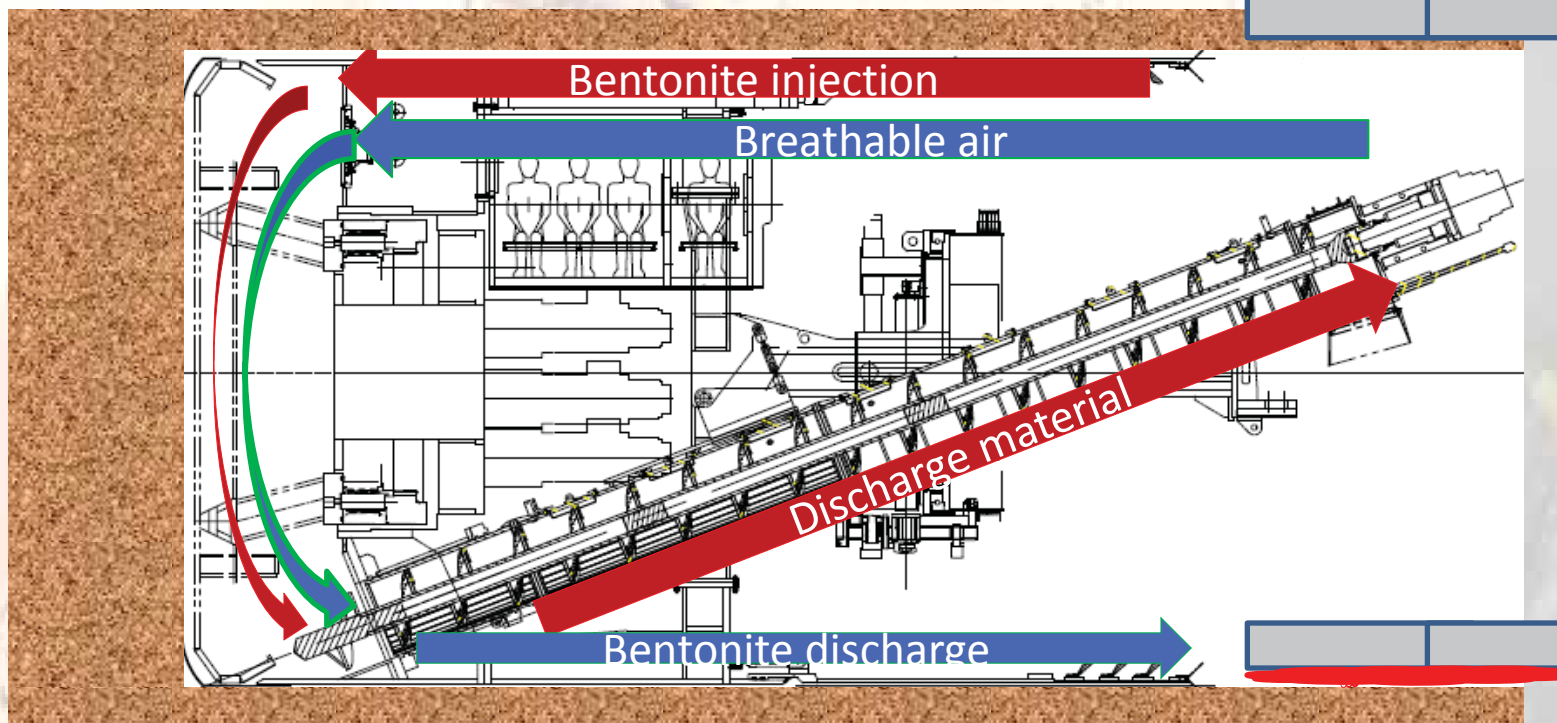
کنترل عملکرد شیرها و سیستم تهویه اتاقهای اصلی و فرعی

کنترل سلامت و اشتر آب بند درها و کسب اطمینان از عدم نشتی هوا در و اشترها



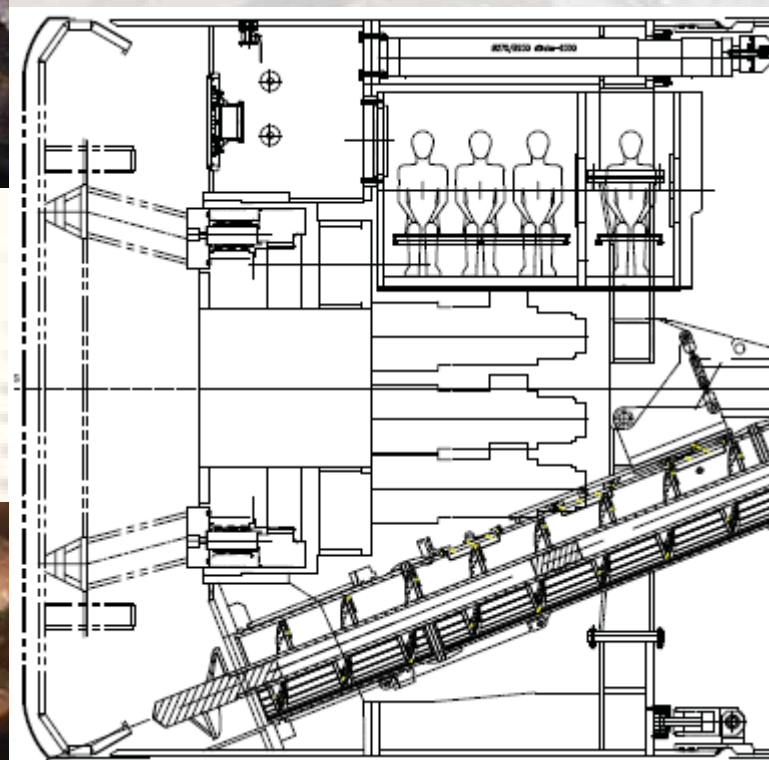
مراحل فشار گذاری و تخلیه چمبر پیش از عملیات hyper baric

- ۱- تزریق bentonite به داخل چمبر و تخلیه مصالح با شرط رعایت **support pressure**
- ۲- نگهداشت bentonite تحت فشار در داخل chamber تا زمان رسیدن به شرایط پایدار
- ۳- تخلیه bentonite از داخل chamber و جایگزینی هوای تنفسی با شرط رعایت **support pressure**
- ۴- حفظ فشار هوای تنفسی داخل chamber در تمام مراحل عملیات hyper baric با دقت 0.02bar





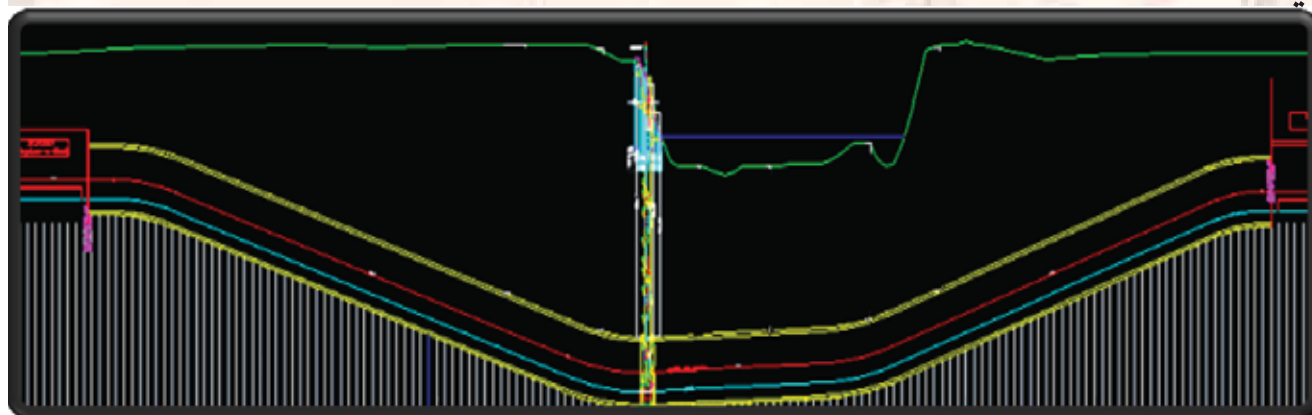
انجام عملیات hyper baric و ورود تکنسین ها به chamber





تمهیدات اندیشیده شده برای مقابله و پیشگیری از هجوم آب

شیب تونل و هجوم آب مهمترین مخاطره در مسیر عبور از رودخانه
رفع نواقص و راه اندازی مدار تزریق پلیمر
انجام تزریقات تکمیلی و BACK GROUTING به طور کامل
رعایت دقیق SUPPORT PRESSURE در تمام مسیر
اطمینان از سلامت articulation seal و تزریق صحیح sealing grease
اطمینان از سلامت کامل برسها و تزریق sealing grease در tail skin
تداوم در عملیات حفاری با سرعت مناسب و سعی در به حداقل رساندن توقفات ماشین
طراحی و تدوین طرح مناسب جهت پیشگیری از آب گرفتگی در مسیر گذر از رودخانه
آماده سازی تاسیسات برای مقابله با هجوم تقریبی $100L/s$ آب در داخل تونل
دایر نمودن شبکه جمع آوری و انتقال آب
تامین انرژی الکتریکی مورد نیاز تاسیسات





آماده سازی شبکه Dewatering در تونل و ماشین

□ هدف در این بخش

فراهم سازی امکان جمع آوری و پمپاژ به میزان $80\text{m}^3/\text{hr}$ در حالت نرمال
جمع آوری و پمپاژ $370\text{m}^3/\text{hr}$ در حالت اضطراری
وجود امکان پیشروی ماشین در حالت نرمال و اضطراری
پوشش معضل تجمع آب در نقطه قعر مسیر

□ ملزومات اجرایی

طراحی شبکه dewatering متناسب با اهداف فوق
انتخاب و تهیه پمپ های مناسب
انتخاب و تهیه خطوط لوله مناسب

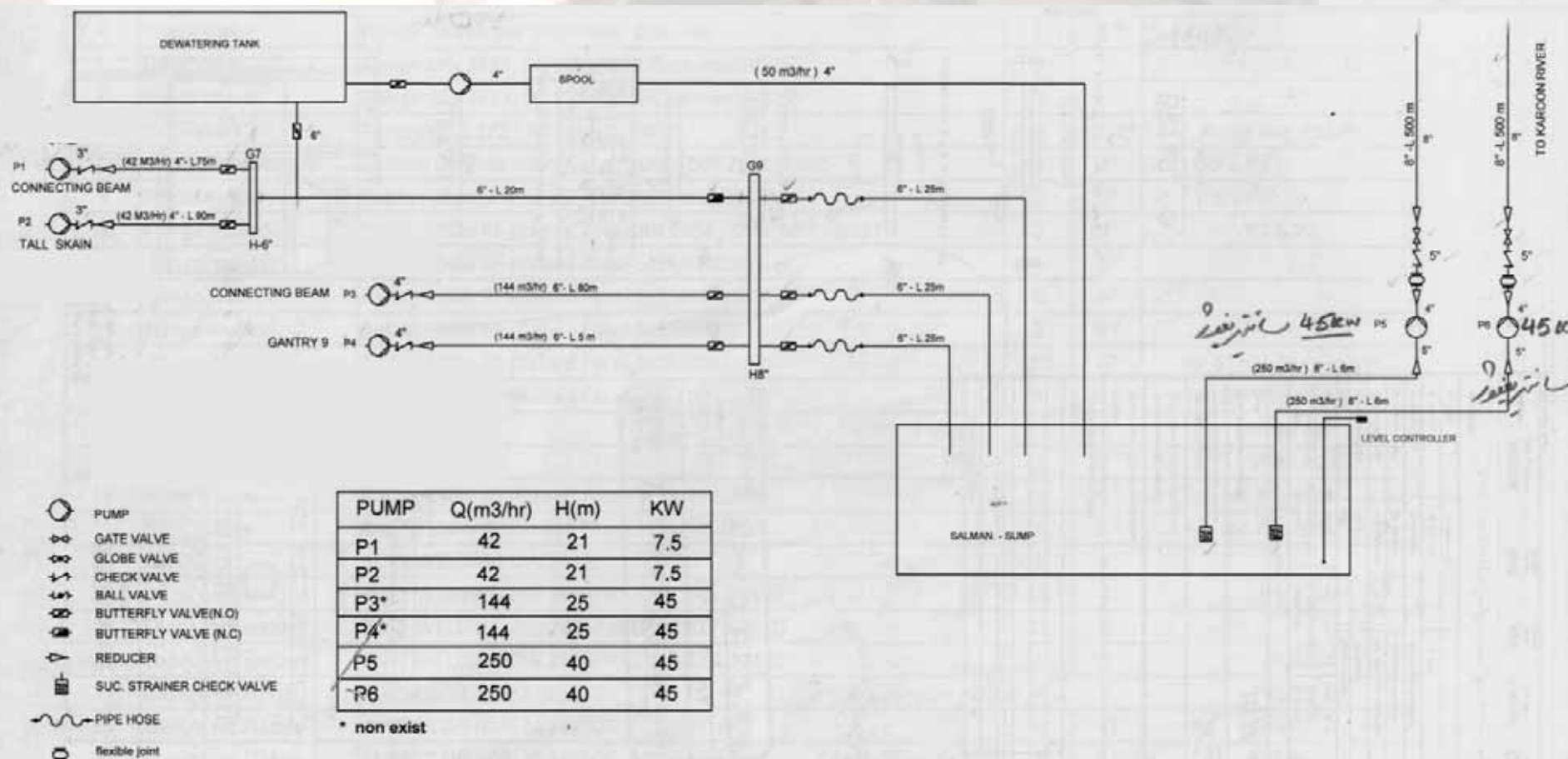
فراهم سازی sump مناسب جهت نگهداشت ، رسوب گیری و انتقال آب به

خارج از تونل

فراهم سازی انرژی الکتریکی مورد نیاز در ایستگاه های پمپاژ و احداث پست برق



طرح تنظیم شده جهت جمع آوری و پمپاژ در حالت نرمال و اضطراری



Drawing title:

FLOW DIAGRAM OF TBM DEWATERING SYSTEM



Sump طراحی شده در ایستگاه نادری غربی

استفاده از فضای موجود در زیر سکوی بتنی ایستگاه ، مناسبترین راهکار به منظور ایجاد فضای مناسب جهت نگهداشت ، رسوب گیری و انتقال آب به خارج از تونل



ظرفیت نگهداشت کل 300m^3

ظرفیت حوضچه رسوب گیر 150m^3

ظرفیت پمپاژ $\text{max } 500\text{m}^3/\text{hr}$

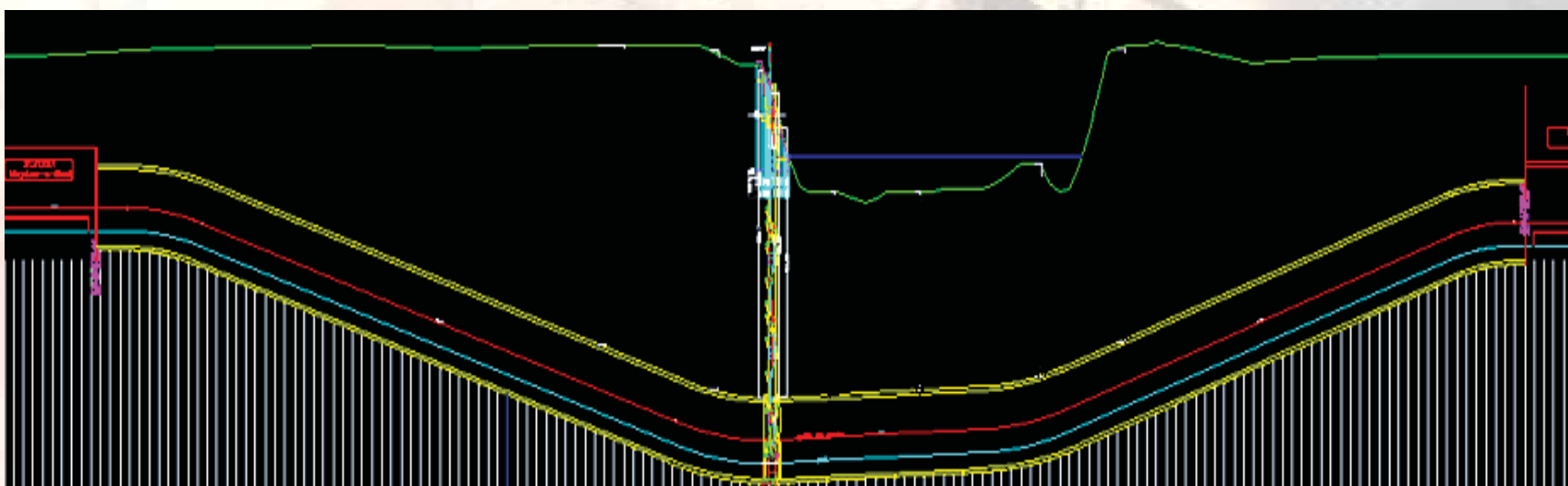


**Iranian
Tunnelling
Association**

انجمن تونل ایران



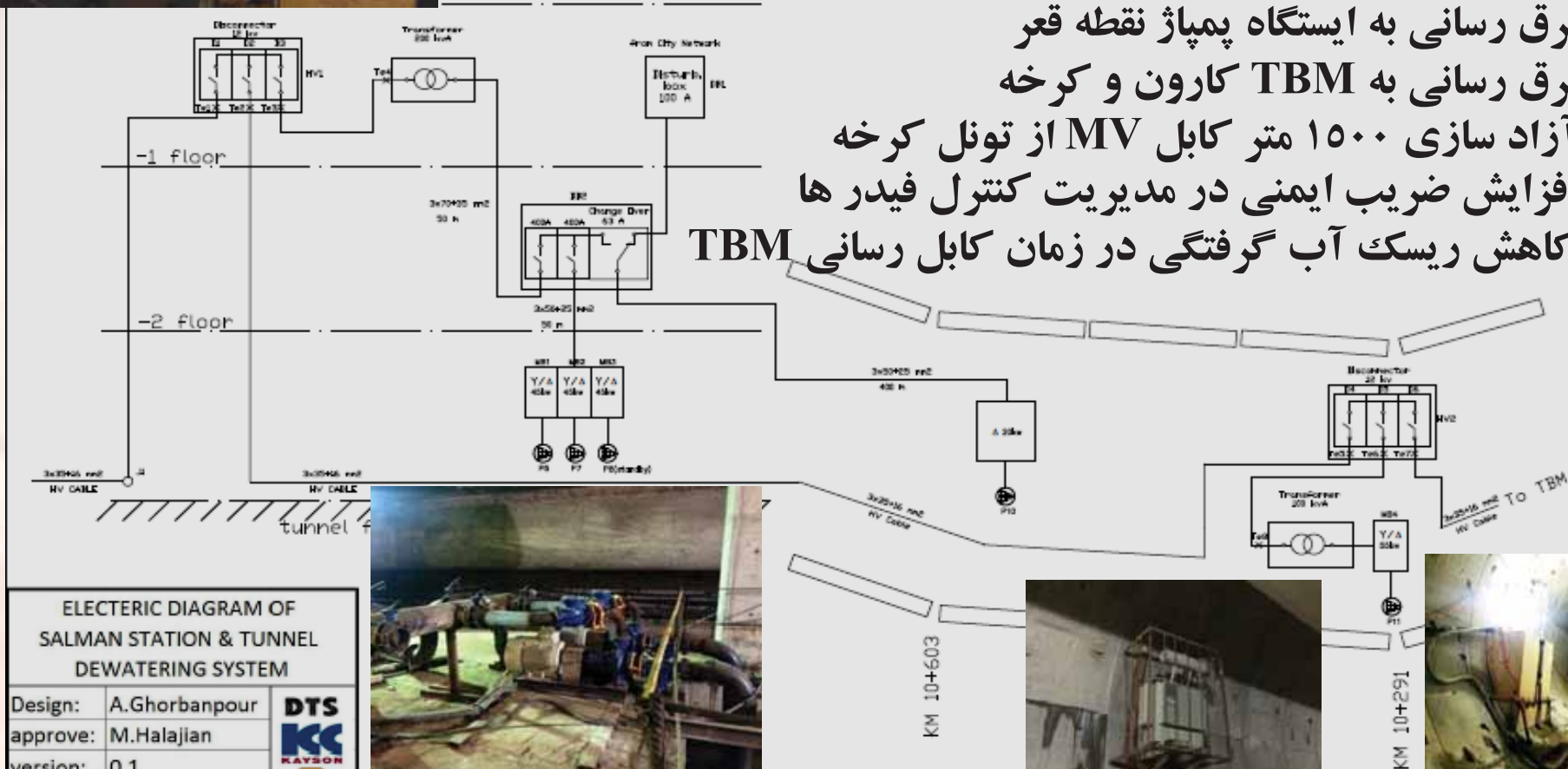
مسیر تونل و نقطه قعر





طراحی پست برق و اصلاح شبکه برق رسانی MV و LV
 اهداف طرح :

تامین برق مورد نیاز ایستگاه پمپاژ نادری غربی
برق رسانی به ایستگاه پمپاژ نقطه قعر
برق رسانی به TBM کارون و کرخه
آزاد سازی ۱۵۰۰ متر کابل MV از تونل کرخه
افزایش ضریب ایمنی در مدیریت کنترل فیدرها
کاهش ریسک آب گرفتگی در زمان کابل رسانی TBM



ELECTRIC DIAGRAM OF
SALMAN STATION & TUNNEL
DEWATERING SYSTEM

Design:	A.Ghorbanpour
approve:	M.Halajian
version:	0.1
date:	10-Oct-15





طراحی پست برق و اصلاح شبکه برق رسانی LV و MV

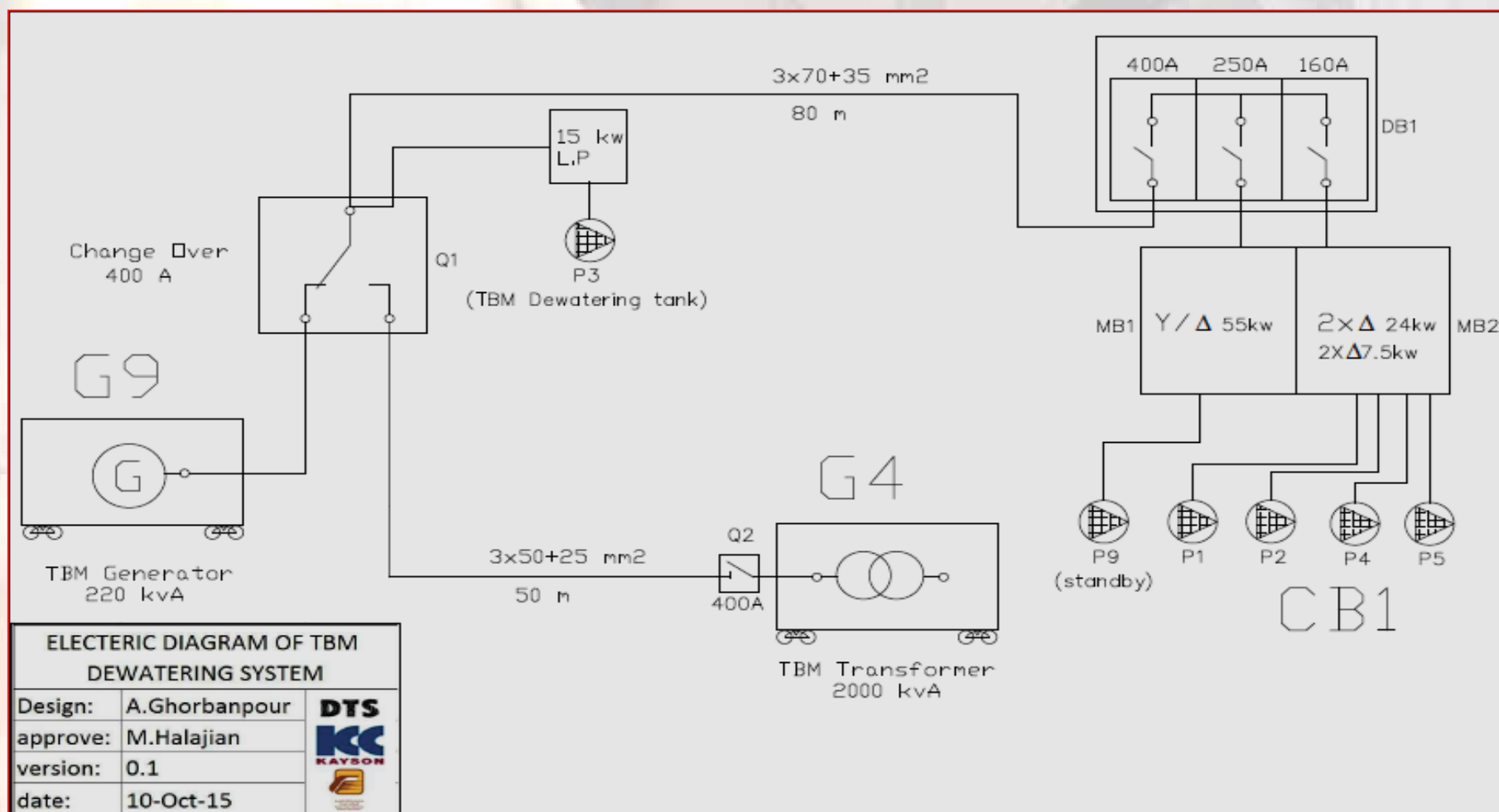
□ ترانس 250 KVA - 20/0.4 kV و Cutout های حفاظتی خط





اصلاح شبکه برق اضطراری در TBM

□ پوشش تمامی پمپهای Dewatering نصب شده در ماشین مطابق طرح نهایی شده است.





عبور موفقیت آمیز از زیر رودخانه کارون برای اولین بار در ایران و با وجود پیچیدگی های خاص فنی و مشکلات پیش بینی نشده اجرایی، به همت بلند پرسنل زحمتکش حفاری مکانیزه و پشتیبانی و مدیریت صحیح مجموعه شرکت کیسون، برگ زرین دیگری بر قله افتخارات دانش مهندسی تونل این مرز و بوم به ارمغان آورد و این ممکن نبود جز با همدلی کلیه پرسنل مجموعه.

سپاس از توجه شما

