

TBM TÜNEL YAPIMI

1. SİSTEM TANITIMI

1.1. TÜNEL AÇMA MAKİNESİ TASARIM KRİTERLERİ VE PROJEDE KULLANILACAK EKİPMAN TANITIMI

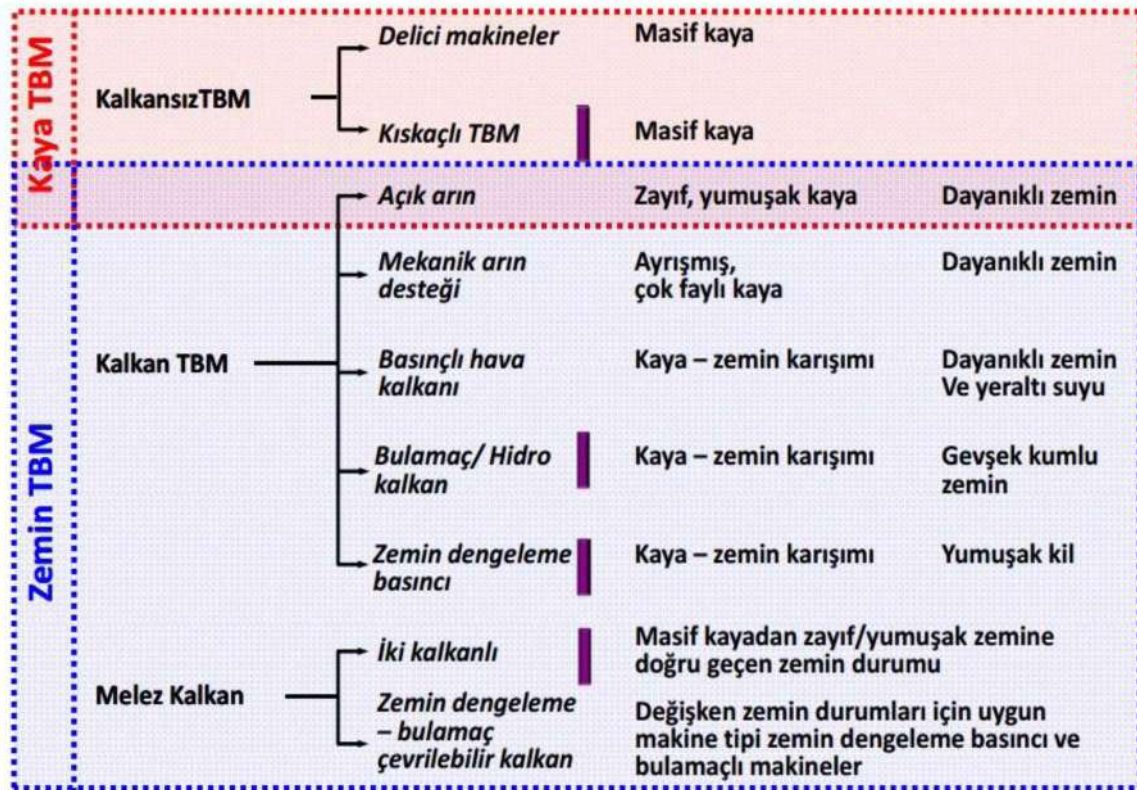
Tünel Açma Makineleri, tünel kazısı yapılacak zeminin jeolojik ve jeoteknik özelliklerine ve aynı zamanda proje gerekliliklerine bağlı olarak tasarlanır ve imal edilir. Bir TBM, genel olarak dönel tahrikle çalışan kesici kafa ve kesici kafa üzerinde bulunan kesici uçlar, kazılan

hafriyatın toplandığı kazı haznesi, hafriyatı bu hazneden geriye aktaran konveyör üniteleri ve prekast dökülmüş betonları kazılan bölüme yerleştiren dönel segment vincinden oluşur.

TBM'in kazı kısmını yapan bu bölümünün arkasında kazı ünitelerini destekleyen muhtelif

sistemlerden oluşan çelik yapılar(gantry) bulunur.

❖ Kaya ve zeminler için tünel açma makineleri



Şekil 2: TBM Tipleri

❖Tünel Kazı Makinelerinin Uygulama Alanları-Seçim Kriterleri

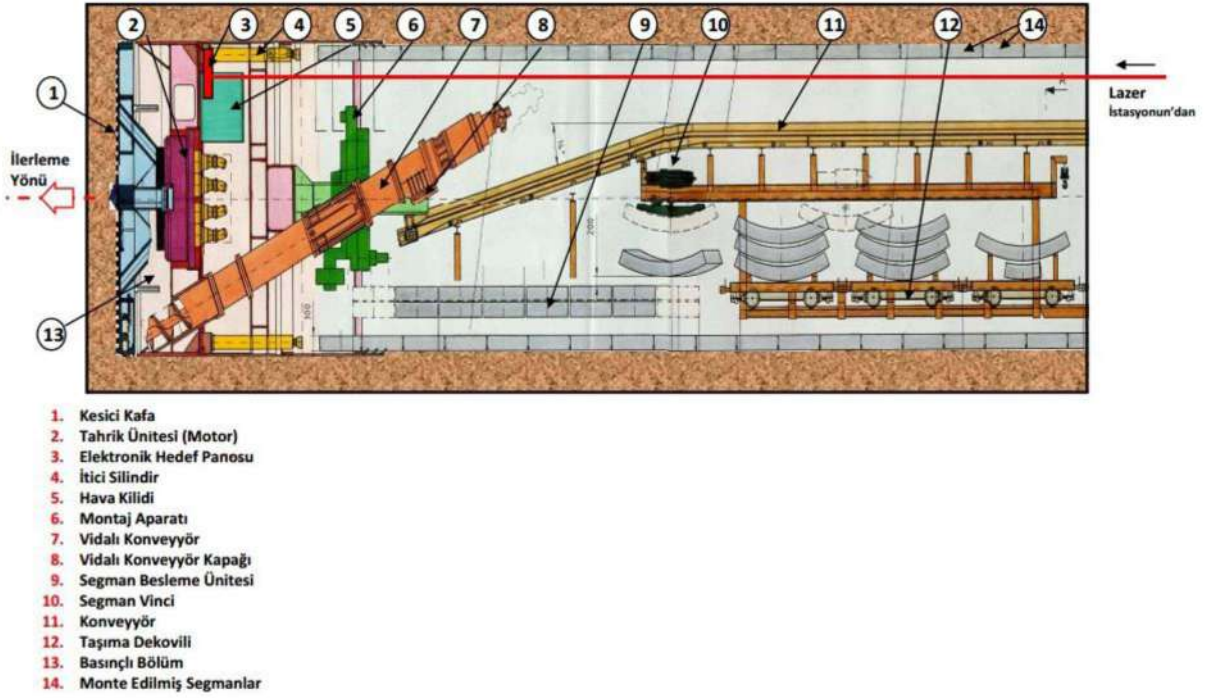
Geoteknik Büyüklükler	Kaya		Zemin			
	Kazıda Duraylı	Kazıda Duraysız	Kohezif Duraylı	Kohezif Duraysız	Karışık Zemin	Kohezyon süz.
Basınç Dayanımı, σ_b , Mpa	300 - 50	50 - 5	1,0	0,1		
Çekme Dayanımı, σ_c , Mpa	25 - 5	5 - 0,5				
Kaya Kalite Derecesi, RQD , %	100 - 50	50 - 10				
Çatlak Aralığı, m	>2,0 - 0,6	0,6 - 0,06				
Kohezyon, C_{15} , kPa			≥ 30	30 - 5	30 - 5	
Dane Boyut Dağılımı	<0,02 (%) <0,06 (%)		30 ≥ 30	30 ≥ 30		10
Makina Tipi	YAS		Kullanım Aralığı			
TBM	-					
(Açık Tip)	+					
TBM	-					
(Şildli Tip)	+					
Açık	-					
Şild	+					
Mekanik-Destekli	-					
Şild	+					
Mekanik-Basınçlı Hava	-					
Destekli Şild	+					
Bentonit Bulamaçlı Arın	-					
Şildi	+					
Zemin Basıncı	-					
Dengelenmiş (EPB) Şild	+					
Açık Şild	-					
Parçalı Arın Kazısı	+					
Şild - Kısmi Destekli	-					
Parçalı Arın Kazısı	+					
Şild-Basınçlı Hava	-					
Destekli-Parçalı Arın Kazısı	+					
Şild- Bentonit Bulamaç	-					
Destekli-Parçalı Arın Kazısı	+					
YAS: Yeraltı suyu						
(-) : Yok, (+) Var						

Şekil 3: Jeolojik duruma göre TBM Seçimi

KPT Projesinde kazı işlerini yapacak TBM, tünel güzergahı boyunca karşılaşılabilecek değişken jeolojik yapılar, yer altı su seviyesi ve etki alanındaki yapılardan dolayı değişken zeminlerde kazı yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. Zemin basıncı desteklemesi yöntemi (EPB) ve açık kazı yöntemi ile kazı yapabilme yetisine sahiptir. Değişken zemin tipinde kesici kafaya sahip olan makineye, bu özelliği sayesinde, kesici diskler, sıyrıcılar, tırnaklar ve kazıyıcılar yerleştirilebilir. Kesici kafa 9(dokuz) elektrik tahrikli motor vasıtasıyla tahrik edilir.

Kesici kafa üzerinde 6 (altı) adet köpük hattı mevcuttur ve 6 (altı) adet zemin basıncı sensörü mevcuttur. Tahrik ana rulmanı 3 eksenel makaralı rulmandır ve bağımsız yağlama sistemine sahiptir. Rulman yağından numune almak için çıkışlar mevcuttur. Tünel aynasında kazı, kesici kafanın dönüşüyle yapılır. Kazılan hafriyat, EPB şartlarına bağlı kalarak helezon konveyör vasıtasıyla kazı haznesinden şilt içerisine alınarak bant konveyöre aktarılır. Bant konveyör ise hafriyatı back-up sistemi içerisinde tünel hafriyat taşıma araçlarına aktarır.

❖ EPB Makinesi Prensip Şeması



Şekil 4: Bir EPB TBM'deki temel elemanlar ve çalışma prensibi şeması

1.2. TEKNİK ŞARTNAMEYE UYGUNLUK

KPT Projesi kazı işlerini yapacak TBM, genel olarak Teknik Şartname Madde 1.15.7.2'de

belirtilen gereksinimleri karşılayacak, özel olarak da 1.15.7.2.2'de belirtilen Özel İşletme Şartları'na uygun olarak imal edilecektir.

TBM, 6300 mm dış çap, 5700 mm iç çapta ve maksimum 1500 mm uzunluğunda toplam 6

adet segmenti, TBM kuyruk şildi içinde kurabilecektir. Segmentler 5+1 universal tipte olacaktır ve minimum 300 metre yarıçapta kurp dönebilecek şekilde dizayn edilmektedir. Segment tasarımları tamamlandıktan sonra kati geometrik ölçüleri, yapılmaya devam eden

sondajlar sonucunda ortaya çıkacak detaylı jeoteknik etüt raporu ışığında segmentlerde kullanılacak donatı detayları, sondajlarla belirlenen yer altı su seviyesine göre kullanılacak

neopren conta detayları ortaya çıkacaktır ve bu tasarımlarla ilgili çizimler ve kalite bilgilerini içeren dokümanlar İdare ve Müşavir Teşkilatlarının inceleme ve onaylarına sunulacaktır.

TBM ile ilgili detaylı teknik bilgiler aşağıda verilmiştir. Bu bölümde, TBM'in Teknik Şartname Dokümanına uygunluğu Teknik Şartname'ye göre incelenecektir.

- Segment Erektörü Ünitesi, radyal ve eksenel olarak sızdırmaz contaları tam olarak sıkıştırabilmek için 50 kN/m kuvvetle baskı yapabilme kapasitesine sahiptir. Bu kuvvet ile 30 mm kalınlığa kadar contalar sıkıştırılabilir.
 - TBM ile kazısı yapılmış 1500 mm'lik alanda segment kurulumunun maksimum 30 dakika içerisinde gerçekleştirileceği, üretici firma tarafından teyit edilmiştir ve tünel kazısı başlamadan önce üretici firma bu kapasiteyi sahada gösterecektir.
 - TBM kontrolü PLC (programlanabilir lojistik kontrol) sistemi ile yapılmaktadır ve PLC sistemi üzerindeki veriler ve hata mesajları anlık olarak TBM kontrol odasından ve uzaktan görüntülenebilmektedir.
- Güncel Lovsuns TBM dizaynlarında sel kapakları bulunmamaktadır. Dolayısıyla Lovsuns firması, aşırı su geliriyle mücadeleyi helezon kapağından ve sızdırmaz contalar yoluyla yapmaktadır.
- TBM işletmesini izlenmesi için bir uzaktan izleme istasyonu kurulacaktır. Bu sistemden yukarıda belirtilen PLC verilerinin yanı sıra, aşağıdaki bilgiler de anlık olarak izlenebilecek ve ileride geçmişe yönelik kayıtların kontrolü için veri depolama sisteminde kayıt altına alınacaktır ve aynı zamanda grafik tabanlı gösterim de yapacaktır. TBM veri depolama sisteminde aşağıdaki parametreler bulunacaktır:

- o Her bir piston grubunun basınç ve açılma mesafesi
- o TBM kazı merkezi
- o Toplam TBM baskısı
- o Toprak basınçları
- o Helezonun dönüş hızı ve gücü
- o Helezon kapak açıklığı
- o Bant konveyör hızı
- o Konveyörlerdeki tartı vasıtasıyla yapılan kazı miktarı
- o Enjeksiyon sistemi hatlarındaki basınç verileri
- o Enjeksiyon sistemi hatlarındaki hacim verileri
- o Köpük hattında hava,su ve kimyasalların basınç ve akış hızı
- o Artikülasyon pistonlarının açıklığı ve basınç değerleri
- o Kesici kafa dönüş hızı ve tork değerleri
- o EPB basıncı
- o Motorların kullandığı akım değerleri

- Kazı çalışmaları sırasında zemin koşullarının, Toprak Basınç Dengeleme (EPB) modunda çalışmayı gerektirmesi halinde kesici kafa içinde kazılan zemin helezon çalıştırılması ile ayarlanarak tünel zeminine uygulanan basınç toprak basıncıyla dengelenir. Kesici kafa ve helezon üzerinde bulunan köpük hattı ile su, hava ve kimyasalar enjekte edilir. Böylece kesici kafa içindeki kazı malzemesinin helezonun ile daha rahat alabilmesi için şartlandırılır. Toprak basıncının zemin basıncını dengelemekte yetersiz kaldığı durumlarda, kesici kafa kazı haznesi içerisine basınçlı bentonit çamuru iletilir ve basınç dengelenir.
- Kesici kafa kazı haznesinin basınçlı olduğu durumlarda hazneye erişebilmek için 2 odalı bir basınç odası kesici kafa girişinde mevcuttur. Bu oda 4 bar basınca kadar basınçlandırılabilir.
- TBM üreticisi, makine ile birlikte bir CE belgesi vermektedir. Dolayısıyla CE ile ilişkilendirilmiş Teknik Şartname'nin 1.15.7.3.2 maddesindeki tüm DIN ve EN standartları hidrolik, mekanik ve elektrik sistemlerinde sağlanmaktadır.

- TBM ana motorlarında, Teknik Şartname'de 1.15.7.3.2'de motor koruma sınıfı olarak belirtilen IP65'ten daha yüksek bir sınıf olan IP67 kullanılmaktadır. Kumanda korumaları sınıfı ise IP55'tir ve EN16191 Standartları ile uyumludur.
- TBM, Teknik Şartname 1.15.7.3.3. maddesinde belirtilen teknik özelliklere uyumlu olarak imal edilmektedir. Buna istinaden:

- o TBM'de yönlendirme mekanizmasına yardımcı olmak adına makina ön ve arka şiltlerden kırılabilir şekilde 3 parçadan imal edilmektedir.
- o Kesici diskler kesici kafa arka yüzünden monte ve demonte edilebilecek şekilde 17" boyutta imal edilecektir.
- o Helezon Kesici kafa kazı haznesine mümkün olduğu en alçak noktadan giriş yapmaktadır.
- o Helezondan TBM arkasına alınan hafriyat bant konveyör vasıtasıyla geriye aktarılmaktadır.
- o Ana motorlar elektrik, yardımcı sistem motorları hidrolik tahriklidir.
- o Kaplama montaj sistemi, her iki yönde de 190 derece dönebilen bir segment erektörü vasıtasıyla yapılacaktır.
- o TBM içerisine alınan segmentler, segment araçlarının döner tablası yerine segment kaldırma vinci vasıtasıyla döndürülmektedir.
- o TBM üzerinde besleme gerilimi olan 13,8 kV'yı ana motorlarda ve yardımcı sistemlerde kullanılmak üzere 600 V, 400 V ve 220 V gerilime, kontrol ünitelerinde kullanılmak üzere 24 V ve 12 V'a düşüren bir trafo ünitesi bulunmaktadır.
- o Genel olarak tüm elektrik sistemleri IP55, Ana tahrik motorları IP67 koruma sınıfındadır. TBM üzerinde oksijen, karbondioksit, metan ve karbonmonoksit izlemesi yapan bir gaz sistemi mevcuttur. Bu sistemin değerleri uzaktan izleme ünitesine de aktarılmaktadır.
- o Kuyruk Şildinden içeriye su almamak için kuyruk shieldi arkasında 3 sıra tel fırçalı kuyruk contası mevcuttur. Bu fırçalar arasına düzenli olarak basınçlı kuyruk gresi uygulanarak sızdırmazlık sağlanmaktadır.
- o TBM üzerinde pnömatik aletler, köpük ünitesi ve gres pompalarında kullanılmak üzere 7 bar basınçta sahip bir hava kompresör ünitesi bulunmaktadır.
- o TBM ile ilerleme esnasında kuyruk fırçaları gerisinden, şiltten çıkan son ringe, düzenli ve sürekli olarak enjeksiyon yapabilmek için kuyruk harç enjeksiyon hatları ve sistemi mevcuttur.
- o EPB çalışması esnasında kesici kafa kazı haznesi ve helezon konveyöre, basınç dengelemesini, verimli çalışmayı ve ayna stabilitesini sağlamaya yardımcı olması amaçlı polimer, bentonit, köpük ve diğer katkı malzemelerini enjekte edebilecek bir şartlandırma sistemi mevcuttur.
- o TBM ön şiltinden gerektiğinde kayganlığı artırmak amacıyla bentonit vb. Malzeme enjekte edebilmek için portlar mevcuttur.
- o EPB basınç sensörleri ön şilt içerisinden ve helezon dış kovanından değiştirilebilmektedir.
- o Ön odanın arka bölmesinde 6 adet, helezon üzerinde 3 adet olmak üzere 9 adet toprak basınç sensörü mevcuttur. Bu sensörler ile su basıncı da ölçülebilmektedir.
- o Araştırma, sondaj ve örnekleme yapmak üzere 2 adet yatay, 12 adet açılı delgi yapma portu bulunmaktadır. Açılı delgi portlarından 11 derece açıyla delgi yapılabilir.
- o Montajı gerçekleştirilen ring oryantasyonları ring inşaa programı ile izlenebilecektir.

Yukarıda tanımlanmış sistemler aşağıda daha detaylı olarak incelenmektedir.

1.3. KESİCİ KAFA

Değişken zemin kesici kafası elektrik motorlarıyla tahrik edilir ve tam değişken hızlarla her iki yönde de kazı yapabilir. Genel kesici kafa özellikleri aşağıdaki gibidir:

Tip Karışık zemine uygun

Çap 6.560 mm

Dönüş Yönü Sağ/Sol

Disk yuvası 43 adet

Disk mesafesi 85 mm

17" single disk 27 adet, double disk 8 adet

Kazıcılar 48 adet

Sıyırıcılar 8 adet

Aşınma Koruması Hardoks plakalar

Disk Elleçlemesi için ekipmanlar Mevcut

Aşınma sensörü Mevcut



Şekil 5: Bir TBM'e ait kesici kafa

1.4. ANA TAHRİK SİSTEMİ

Ana tahrik sistemi 3 sıra keçe sistemi ile korumalı deplasmanlı elektrik ana tahrik ünitesinden oluşmaktadır. Bu sistemdeki keçelerin 2 sırası yağ ile yağlanır, 3. sıra ise gres ile yağlanır. Bu sistem sayesinde zemin basıncına göre keçe sistemi PLC kontrolüyle otomatik olarak yağlanarak ana rulmanı korur.

Kurulu Güç 1200 kW
Elektrik Motorları 6x200 kW
Değişken Hız 0-3,6 rpm
Dönüş Yönü 2 yönlü
Anma Torku 6.199 kNm
Azami kullanım Torku 6.298 kNm
Azami Tork 7.748 kNm
Ana rulman dış çapı 3.130 mm
Rulman tipi 3 eksenli makaralı rulman



Şekil 6: Bir TBM'in ana tahrik ünitesi ve helezonunun önden görünümü

1.5. ÖN ŞİLT

Ön Şilt, TBM kesici kafasını ve ana tahrik ünitesini barındıran bölümdür ve bu bölüm Orta Şilte 16 adet Aktif Artikülasyon Pistonu vasıtasıyla bağlanır ve yönlendirilir. Ön şilt aktif yönlendirmesi için pistonlar;

Adet 16 adet

Ölçüler 320/220/300 mm

1.6. ORTA ŞİLT

Orta Şilt, Ön Şilte Aktif Artikülasyon Pistonlarıyla, Kuyruk Şiltine Pasif Artikülasyon Pistonlarıyla bağlıdır. Ön Şilt içerisinde kesici kafaya erişim için basınç odası, itme pistonları ve helezon konveyör bulunmaktadır. İtme pistonları;

Adet 16 adet

Tekli Grup 16 adet

Ölçüler 240/200 mm

350 bar'da baskı kuvveti 50.000 kN

Maksimum strok 2.250 mm

Açılma hızı 100 mm/dk



Şekil 7: Yapım halindeki bir TBM Orta Şilti

1.7. KUYRUK ŞİLTİ

Kuyruk Şilti, tünel segment kaplamasının gerçekleştirildiği bölümdür ve Orta Şilte pasif artikülasyon pistonları vasıtasıyla bağlıdır. Şilt içerisine su almayı engellemek için üç sıra fırça bulunmaktadır ve bu fırçalar arasına gres portlarından sürekli olarak doğada çözünür gres yağı basılmaktadır. Aynı zamanda kuyruk şilti arkasından en son montajı gerçekleştirilen segment ringi arkasına enjeksiyon basılması işleri yapılır.

Pasif Artikülasyon Pistonları

Adet 16 adet

ller 160/80 mm



Şekil 8: Bir TBM'e ait segment erektörü

1.8. HELEZON KONVEYÖR

Basınçlı kazı haznesinden hafriyatı TBM bant konveyörüne taşıma amaçlı şiltin n bölümüne flanş ile monte edilmiştir. Ağır yükte çalışmaya uygun imal edilmiştir. Değişken hızlı tahrik nitesi küresel rulmanla yataklanarak helezon şaftının tahrik ünitesine deformasyonlarını yansıtması engellenmiştir. Helezon yaprakları döküm çeliktir.

Kurulu Güç 225 kW
EPB Sensörü 2 adet
Köpük hattı 2 adet
Helezon Çapı 900 mm
Değişken dönüş hızı(sağ/sol) 0-22 d/dk
Maksimum tork 198 kNm
Değişken kapasite (%100 dolu) 450 m³/saat
Maksimum tane boyutu yaklaşık 520 + 340 mm
Yaprak aşınma koruması Hardoks bloklar ilk 3 yaprağa kaynaklı
Kovanın aşınma koruması Hardoks lamalar kovan alt yüzeyine tam boy kaynaklı

1.9. BANT KONVEYÖR

Bant konveyör, helezon konveyörden alınan hafriyatın arka sistemler üzerinden aktarılacak tünel içi paşa taşıma sistemine aktarılmasını sağlayan sistemdir. Elektrik tahrikli olan bant konveyör ünitesi, 914 mm genişlikte bir bantı ihtiva eder ve 0 ila 2,5 m/sn hızlar arasında çalışır. Maksimum 1300 ton/saat teorik aktarma kapasitesine sahiptir.



Şekil 9: Bant Konveyör

1.10. SEGMENT ELLEÇLEME VE MONTAJ SİSTEMİ

Segment Elleçleme ve Montaj Sistemi, tünel içine segment araçları vasıtasıyla gelen segmentlerin arka sistemler içerisine alınarak buradan segment montaj alanına iletilmesi ve burada tam ring segment kurulumunu gerçekleştirmesi işlerini yapar. Bunun için segment vinci, segment besleme ünitesine segment taşlarını dizer, segment besleme nitesi seğmenleri erektre köprü bölümü alt bölgesinden aktarır ve segment erektör nitesi ise 360 derece hareket kabiliyeti sayesinde tam daire segment ring kurulumunu gerçekleştirir.



şekil 10: Vakumlu Segment Vinci ve Segment Nakliye nitesinde hazır segment taşları



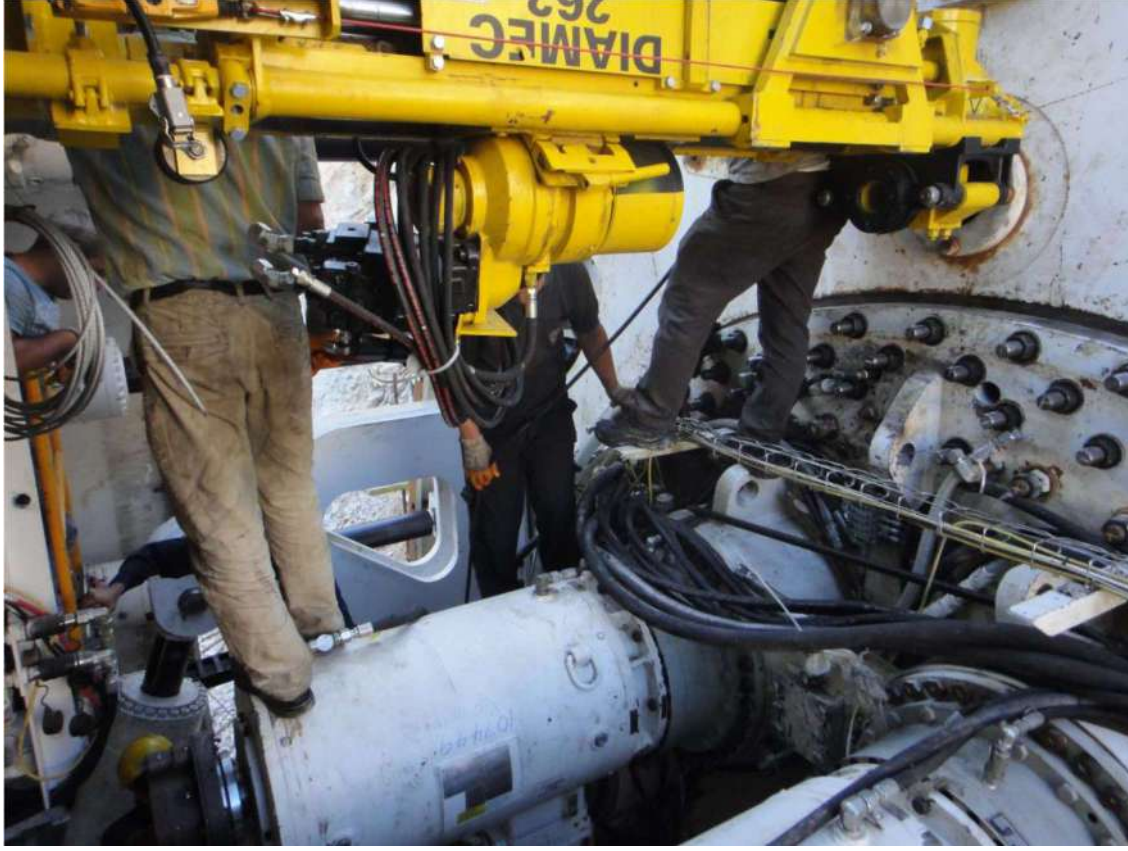
Şekil 11: Vakumlu Segment Vinci

1.11. ARAŞTIRMA DELGİSİ SİSTEMİ

TBM üzerinde, kazı aynasının ilerisindeki veya shield etrafındaki zemine dairaraştırma/enjeksiyon delgisi yapmak için delgi sistemi bulunmaktadır. Delgi ekipmanı

hidrolik tahrik/kontrollüdür ve gerekli hidrolik tesisatı segment erektöründen alır. 46 ile 76mm çapları arasında delgi yapabilen sistemde, yatay veya yatayda 10 metreye karşılık düşeyde 1 metre eğimle 60 kN baskı kuvveti ile 20 ila 600 devir/dk süratle 1350 Nm torka

kadar delgi yapılabilir ve yapılan delgilerle umbrella şeklinde enjeksiyon yapılabilir.



Şekil 12: Probe Drill Ünitesi

1.12. BACK-UP SİSTEMİ

1.12.1. Zemin Şartlandırma Sistemi

Zemin Şartlandırma Sistemi, kesici kafa ve helezon konveyöre belirlenen kimyasal hava-su oranları ile basınçlı köpük enjekte edilerek aynada kazılan hafriyatın plastisitesini sağlayarak hem kazılan hafriyatın aktarma sistemlerinde kolay taşınmasını, hem zemin basıncının homojen olarak korunmasını, hem de kesici kafa ve helezon konveyör üzerindeki mekanik elemanların korunmasını sağlar. Kullanılacak kimyasallar karşılaşılan zemine göre değişmekle birlikte, genel olarak kum silt oranı yüksek çakıllı kayalarda polimer katkılı köpük, kil oranı yüksek kayalarda kil ayrıştırıcı köpük, sert kayalarda kesici kafa ve keski elemanlarının aşınmasını azaltmak amacıyla aşındırmayı azaltıcı köpük ve yüksek su geliri olan bölgede ayna kohezyonunu sağlayarak su oranını azaltmak amacıyla jelleştirici polimer kullanılır. Kullanım oranları hafriyatı jel kıvamında alabilecek şekilde değişmekle birlikte aşağıdaki oranlar arasında kullanılır.

Kimyasal : 0,5 % - 1 %

Su : 5 % - 10 %

Hava : 90 % - 95 %

Hafriyatın jel kıvamında olmasının sağlanabilmesi için şantiye sahasında kazı esnasında karşılaşılan zeminden alınan numunelerle mobil laboratuvar testleri yapılarak zemine en uygun kimyasal ve karışım oranları bulunur. Bu amaçla yapılan testlerde en önemli parametreler zeminle karşılaşan köpüğün genleşme oranı (FER) ve püskürtülme oranıdır (FIR).

Bu oranlar aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$FER = \text{kimyasal hacmi} / \text{hafriyatla karışan likit hacmi}$

$FIR = (\text{köpük hacmi} / \text{kazılan hafriyat hacmi}) * 100$

FER oranı 8 ila 20 arasında ve FIR oranı % 20 ila 80 arasında yakalanan jelimsi hafriyat

kıvamı zemine en uygun şartlandırma biçimi olarak belirlenir.



Şekil 13: Bir TBM'e ait köpük hattı testi

1.12.2. Harç Enjeksiyon Sistemi

Harç Enjeksiyon Sistemi, kurulumu yapılan segment ringi arkasına, hem kazı çapı ile segment dış çapı arasında oluşan boşluğu doldurmak, hem segment betonunun zemine kalıcı olarak bağlanmasını sağlamak, hem de tünel içi sızdırmazlığı oluşturmak amacıyla harç enjekte etmek için kullanılan sistemdir. Tünel dışında istenen oranlarda hazırlanarak gelen harcın akışkan kalarak taşınması ve pompalanma kapasitesinin yüksek olması için akışkanlaştırıcı kimyasal kullanılır. Kuyruk şilti hatlarında pompalanırken ise priz hızlandırıcı kimyasal katkı ilave edilerek segment arkasına gönderilen harcın hızla katılaşması ve mukavemetinin alması sağlanır.

Kaynarca-Pendik-Tuzla kısmı tünel kazısında kullanılacak TBM üzerinde çift komponentli kimyasal enjeksiyon veya kumlu harç enjeksiyon yapabilen en son

teknoloji harç enjeksiyonu sistemi bulunmaktadır. Bu yöntemle yapılan harç, klasik kumlu karışım dayanımlarına göre daha yüksek olmaktadır; ayrıca klasik kumlu harç karışımına göre çimento ve kimyasal oranı daha yüksek olduğu için bağlayıcılığı yüksektir ve çok daha hızlı bir şekilde katılaşılarak mukavemetine ulaşmaktadır.

Bu sisteme göre yapılan enjeksiyon oranları zemine göre değişmekle birlikte, yaklaşık oranlar aşağıdaki aralıklardadır.

Çimento: 290 – 350 kg

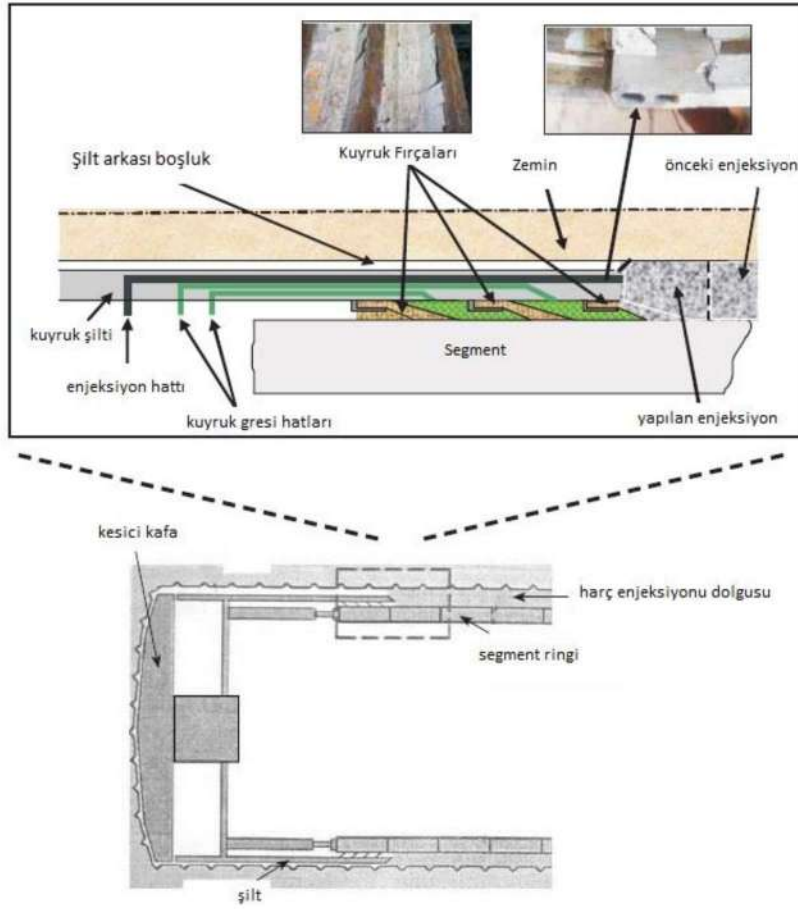
Bentonit: 30 – 60 kg

Su: 750 – 820 kg

Akışkanlaştırıcı Kimyasal (A): 3 – 7,5 lt

Priz Hızlandırıcı Kimyasal (B): 50 – 90 lt

Hazırlanan harç enjeksiyonunun, düzgün ve homojen bir şekilde hazırlanması ve uygulama noktasına kadar verimli bir şekilde taşınması ve pompalanma kapasitesinin korunması çok önemlidir. Bu şartları sağlamak için işletme shaftında enjeksiyon santrali kurulacaktır. Enjeksiyon santralinden belirlenen oranlarda hazırlanacak olan harç karışımı tünel içerisine lokomotif arkasına bağlı ve kendinden tahrikli transmiksör ile homojenliği korunarak taşınacaktır ve tünel hattı boyunca dökünecek olan çelik boru sistemi ile priz hızlandırıcı kimyasal katkı TBM'e kadar aktarılacaktır. Böylelikle priz hızlandırıcı kimyasal hazırlanan harç karışımına TBM kuyruktaki birleşim noktasına kadar karışmayacak ve enjeksiyonun erken priz alması önlenecektir.



1.12.3. Trafo Sistemi

TBM üzerinde bulunan trafo maden tipi trafo olup, tünel içerisi kullanımına uygundur. TBM, yer üstünden makineye kadar getirilen OG kablosu ile beslenir ve TBM üzerindeki trafo ile gerekli voltajlara düşürülerek kullanım ve kumanda noktalarına dağıtılır. Trafo ünitesi, dağıtım ve güç kontrol ünitelerini de içeren entegre bir sistemdir. 2.250 kVA gücünde primer gerilimi 13,8 kV olan trafo ünitesi, acil stop düğmeleri, voltmetre, ampermetre, dijital termometre ve frekans ölçer ile entegredir.

1.12.4. Hava Kompresörü ve Düşük Basıncılı Hava Sistemi

TBM üzerinde zemin şartlandırma sistemini ve el aletlerini çalıştırmak amacıyla 7,5 bar basınçlı 8,7 m³/dk kapasiteli hava kompresörü ve hava tankı sistemi mevcuttur. Bu sistem, gantryler üzerinde bulunan hava alım noktalarından tahrik alacak havalı ekipmanların kullanımı, gres pompalarının tahriki, zemin şartlandırma sistemlerindeki hava basıncı ve aktif bentonit sisteminin basınçlandırılması için kullanılmaktadır.

1.12.5. Gaz İzleme Sistemi ve Gaz Detektörlerinin Devreye Girmesi Durumunda Yapılacak İşlemler

TBM üzerinde sürekli olarak mevcut havayı ve kazıdan çıkan gazları takip etmek üzere kurulu bir gaz izleme sistemi bulunmaktadır. Bu sistem, oksijen, karbondioksit, metan ve karbonmonoksit izlemesi yapmaktadır. Gaz izleme sistemindeki ekipmanın arızalanması ya da kalibre edilmemesi durumunda makine çalışmayı durdurmaktadır ve tekrar çalıştırılmamaktadır. Metan gazı için en düşük patlama seviyesi (LEL) hacimsel olarak % 5 olarak tanımlanmıştır ve gaz izleme sistemi bu seviyede gaz ile karşılaşıldığında tüm makine içerisinde kesik sesle siren çalarak uyarı verir. Hacimsel olarak LEL % 10 seviyesinde metan gazı ile karşılaşıldığında TBM üzerindeki tüm üniteler çalışmayı otomatik olarak durdurur ve devamlı siren çalmaya başlar. Bu durumda yapılması ve yapılmaması gerekenler aşağıdaki şekilde sıralanmıştır:

- Hiçbir güvenlik ünitesi devre dışı bırakılmaya çalışılmaz.
- Patlayıcı ortamda işletmeye uygun olmayan herhangi bir alet ya da ekipman makine içerisine alınmaz ya da çalıştırılmaz.
- Çelik aletler kesinlikle kullanılmaz. El aletiyle iş yapmak gerekiyorsa bronz ekipman kullanılır.
- Patlayıcı ortamda çalışmaya müsait olmayan elektrikli hiçbir ekipman çalıştırılmaz.
- Havalandırma motorları dahil, hiçbir motor çalıştırılmaz. TBM ve tünel içerisindeki havalandırma, TBM fanı kullanılmaksızın, tünel dışarısındaki jet fan vasıtasıyla yapılır.
- Vardiya amiri, Tünel Şefi ve İSG Mühendisi derhal durumdan haberdar edilir.
- Tünel içerisindeki tüm personel ve ziyaretçiler TBM üzerinde daha önce belirlenmiş bölgelerde bulunan tam yüz maskelerini takarak tünel güvenli ve hızlı bir şekilde tahliye edilir.
- Tünel tamamen boşaltılarak jet fan çalıştırılır ve tünel dışındaki izleme istasyonundan gaz seviyesi izlenir. Gaz seviyesi patlama seviyesinin altına gelmeden tünele hiçbir şekilde giriş yapılmaz.
- Tünel dışındaki izleme istasyonda görünen gaz seviyeleri patlama seviyesinin altındaki değerlere düştükten sonra gaz ölçüm ekibi tünel içerisine girerek yerinde ölçüm yapar.
- Gaz seviyeleri patlama seviyesinin altına düştükten sonra TBM içi havalandırma fanı çalıştırılarak TBM içerisindeki hava en verimli şekilde tahliye edilir.
- Son gaz ölçümünün ardından normal çalışma değerleri sağlandıktan sonra çalışmaya yeniden başlanır.



Şekil 15: Gaz ölçüm sistemleri

1.12.6. Diğer Sistemler

TBM üzerinde yukarıda bahsedilen kilit sistemlerin yanında aşağıdaki diğer sistemler de mevcuttur:

- ☐ Kuyruk Gresi Pompası
- ☐ Makine Gresi Pompası
- ☐ Hidrolik Tank
- ☐ Atıksu Sistemi
- ☐ İç Havalandırma Tesisatı
- ☐ Fantüp Kaseti
- ☐ Kapalı Devre izleme sistemi
- ☐ Haberleşme Sistemi
- ☐ Son gantry arkasında yangın perdesi spreyleme sistemi

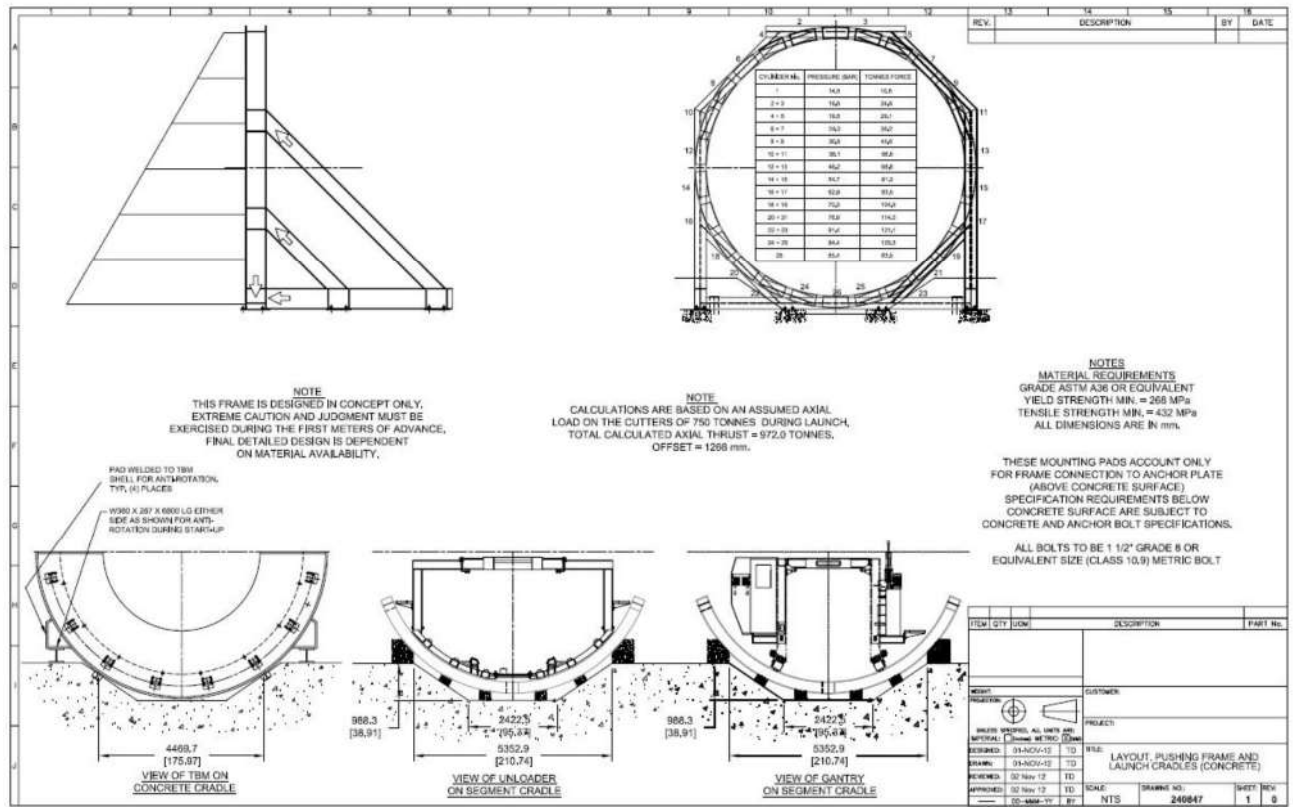
2. TBM İŞLETME PRENSİPLERİ

2.1. TBM MONTAJI

TBM, İşletme Şaftında imalatı gerçekleştirilecek ilerletme kızak betonu üzerine parçalar halinde indirilecektir. Kesici kafa ve ön şilt, orta şilt ve kuyruk şiltinin indirilmesinin ardından bu parçaların birbirine montajı gerçekleştirilecektir. TBM şiltlerinin bütününün montajının tamamlanmasının ardından komple olarak bu ünite ileri kaydırılarak sırasıyla, segment erektörü, helezon konveyör, bant konveyör ve gantry

üniteleri şiltler arkasına monte edilerek ilerletilecektir. Tüm TBM ve gantrylerin montajının tamamlanmasının ardından mekanik ve elektrik testler gerçekleştirilecek ve bu testlerin ardından TBM, kılavuz tünel içerisinden kazı aynasına dayanacaktır. TBM'in kazı aynasına dayanmasının ardından şilt arkasında tahkimatı yapılacak ilk segment ringinin desteklenmesi için itme şasesinin montajı gerçekleştirilecektir.

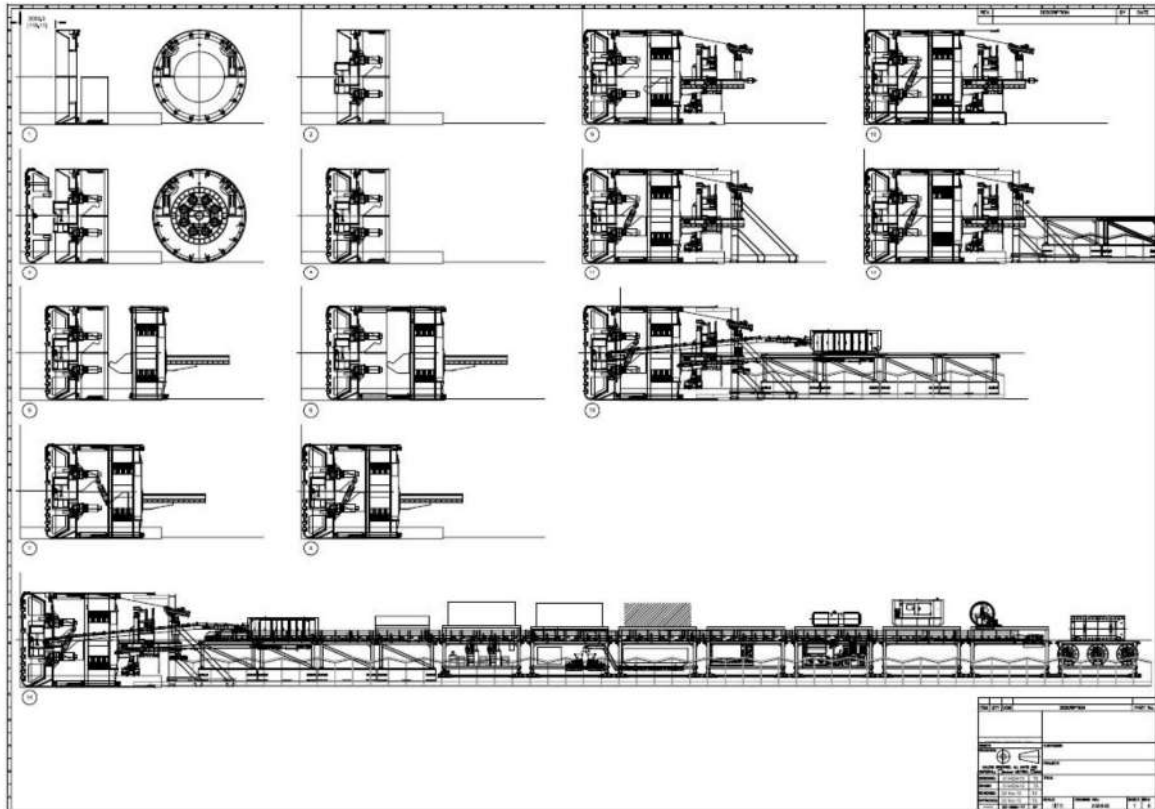
İtme şasesi, TBM'in başlatılması esnasında gerekli tüm kuvvetlerin hesaplanması ardından bu kuvvetleri destekleyebilecek mukavemetteki çelik yapının pistonlara basarak TBM'in güç almasını sağlayan ve kaydırma betonuna ankrajı gerçekleştirilen çelik yapıdır. İtme şasesinin kurulmasının ardından ilk segment ringi TBM kuyruk şilti içerisine kurularak pistonlar vasıtasıyla itme şasesine yaslanacaktır. İtme şasesine dayanan ilk ringden baskı alarak TBM, kesici kafanın döndürülmesi ve ilerleme pistonlarının itilmesiyle ilk kazısını yapacaktır. Daha sonra kuyruk şiltinden çıkan segmentlerin arkasına harç enjeksiyonu yapılacaktır. TBM, daha önceden kazısı ve tahkimatı gerçekleştirilmiş istasyonlarda kazı yapmaksızın ilerleme yapacaktır. İlerleme esnasında kurulan segmentler, destek yapılarıyla desteklenecektir. TBM,



Şekil 16: Örnek bir İtme yapısı hesabı



Şekil 17: Kurulum aşamasında bir TBM



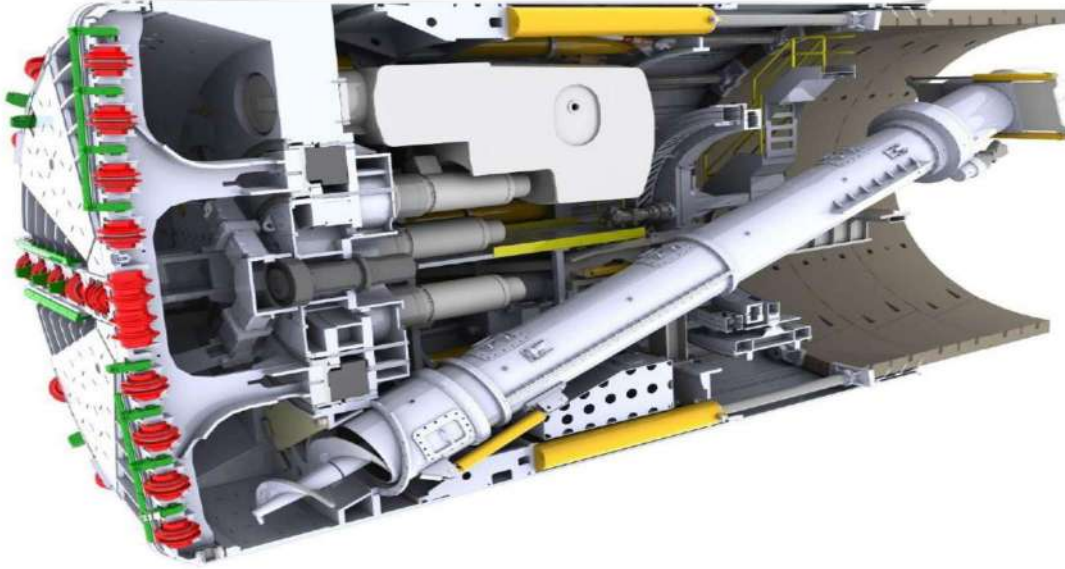
Şekil 18: Bir TBM'e ait kurulum şematiği

2.2. KAZI PRENSİPLERİ

Aşağıdaki kısımda TBM ile kazının temel prensipleri aktarılacaktır.

Bir TBM iki fazda işletilir.

1. Tünel Kazısı
2. Tünel Kaplaması



Şekil 19: Klasik bir EPB TBM'e ait üç boyutlu kesit

2.3. TÜNEL KAZISI

Tünel kazısı ana tahrik ünitesi elektrik beslemesi çalıştırılarak başlar. Ana tahrik ünitesindeki motorlar redüktörler vasıtasıyla pinyon dişliye güç aktarır ve pinyon dişli kesici kafayı tahrik eder. Böylece kesici kafanın dönmesi sağlanır. Aynada dönen kesici kafa üzerindeki keski ekipmanları aynayı keser ve sıyrıcı elemanlar aynadan kafa haznesine kazısı yapılan hafriyatı alır. Bu esnada TBM itme pistonları baskı yaparak TBM'in kafasını aynaya sürekli olarak iter.

Kesici kafadan kazı esnasında basınçlı su ve kimyasal karışımı sürekli olarak aynaya uygulanır. Böylece hafriyat homojen bir hal alır ve kazılan zeminin basıncını destekleyerek,

yüzey basıncını sabit tutar. Buna ilişkin detaylar altta ayrıyeten anlatılacaktır. Kazısı yapılmış hafriyat, helezon konveyör vasıtasıyla makine gerisine aktarılır ve bant konveyöre dökülür. Bant konveyör ise tünel içine alınan pasanın hafriyat taşıma sistemine aktarılmasını sağlar.

TBM bir tünel segmenti genişliği boyunca kazı yapmaya devam eder. Bu ilerleme tamamlandıktan sonra, kazı işlemi son bulur.

2.4. TÜNEL KAPLAMASI

Tünel kaplaması iki aşamada yapılır:

2.4.1. Segment Montajı

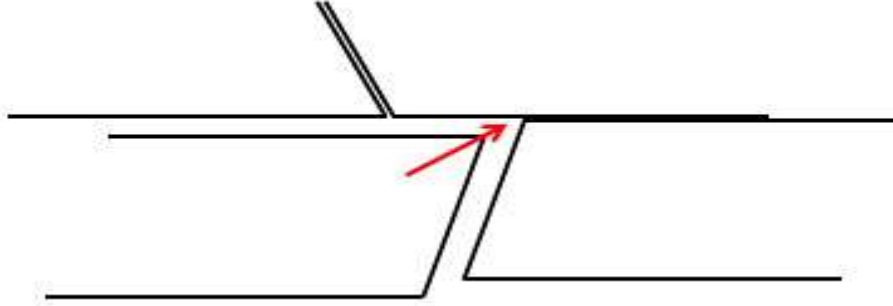
Segment montajı, tünel içi treni tarafından TBM içerisine getirilen prekast segmentlerin segment erektrne ulaştırılması ve 360 derece dönebilen segment erektörü ile segment taşlarının kazılan kazının kurbuna uygun olarak yerlerine yerleştirilmesiyle yapılır. İlk

segment taşının yerleştirileceği bölümdeki pistonlar kapalı hale getirilir. Yerine yerleştirilen segment taşı hem yanındaki segment taşına, hem de bir önceki kazıda montajı yapılan segment ringine civatalar vasıtasıyla sabitlenir ve pistonlar vasıtasıyla sıkıştırılır. Bu sıkıştırma vasıtasıyla bitişik segmentlerin contaları da birbirini sıkıştırarak segment taşları arasında sızdırmazlık sağlar. Daha sonra bir sonraki segment taşı yerleştirilir. Tüm segment taşları yerine yerleştirildikten sonra civatalar tekrar torklanır.



TBM'de yapılan kazıyı desteklemek için kullanılan segmentler universal tipte 6 taştan oluşacaktır. 5 adet ana taş ve bir adet kilit taşından oluşan sistemde kilit taşı yerine oturduğunda tam dairesel bir ring kurulmuş olacaktır. Daireselliği sağlamak amacıyla segmentlerin radyal yüzlerinde birbirine doğru pozisyonda bağlantıyı fiber bağlantı elemanları karşı segmentteki yuvalarına oturarak yapacaktır. Bu vasıtayla sızdırmaz contaların da birbirleriyle tam teması ve kompresyonu sağlanarak radyal olarak sızdırmazlık sağlanacaktır. Segment contalarının montaj esnasında temiz olması, darbe ve hasar görmemesi sızdırmazlığın korunması açısından çok önemlidir. Segment contaları, segment montajı esnasında, bitişik contalar sıkıştırılmadan önce sıvı sabun ile yağlanarak darbeye karşı hasar riski azaltılacaktır. Segment taşları monte edilirken; bir

önceki taş ile yandaki taş arasındaki mesafe eşit olana kadar monte edilen taş, segment erektörü vasıtasıyla radyal ve eksenel olarak komşu taşlara yaklaştırılacaktır ve bu konumdan itibaren tek bir çapraz hareketle segment doğru konumuna getirilecektir. Bu durum aşağıdaki şekilde görsel olarak belirtilmektedir.

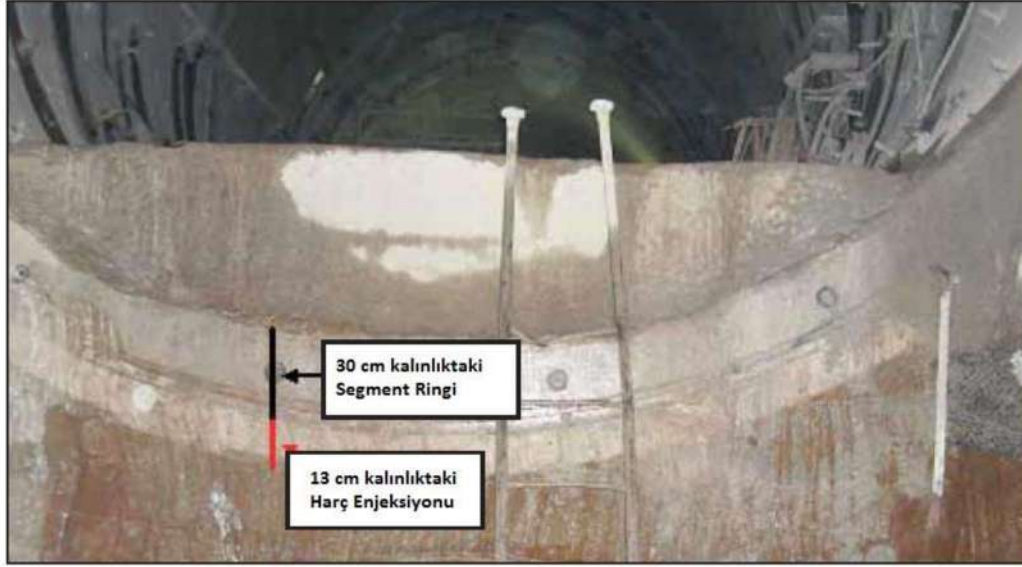


Şekil 21: Komşu segmentlere monte edilen segment yönlendirmesi

Pendik-Tuzla-Kaynarca hattı kazısı yapılan tünelin segmentlerinin doğru ve toleranslar dahilinde montajının yapılması elzemdir. Yerleştirilen segmentler arasında dış olmamasına azami dikkat edilecektir. Aynı zamanda kurulan segment ringinde deformasyon olmaması için TBM kuyruğundan son ringe harç enjeksiyonu yapılacaktır. Tünel içerisinde her vardiyada ölçüm ekibi personeli mevcut olup vardiya boyunca kurulan ringlerin ölçümü yapılacaktır. Ayrıca TBM arkasından tamamen ortaya çıkan ringlerde düşey ve yatay mesafeler günlük olarak ölçülecektir. Teknik şartname madde 1.15.6.3.6'da belirtilen toleransların yüzde 50'sinden daha fazlası ile inşa edilmiş segmentlerin düzeltilmesi için gerekli prosedür, bu yapım metodunun 6.6.1. maddesinde aşağıda anlatılmaktadır. Montajı limitler dahilinde gerçekleşmiş hasarsız segment taşlarının yapım esnasında herhangi bir sebepten dolayı hasar görmesi durumunda, segmentin beton mukavemetinden çok daha yüksek mukavemete sahip epoksi kimyasal bazlı tamir harçları ile tadilat yapılacaktır.

2.4.2. Harç Enjeksiyonu

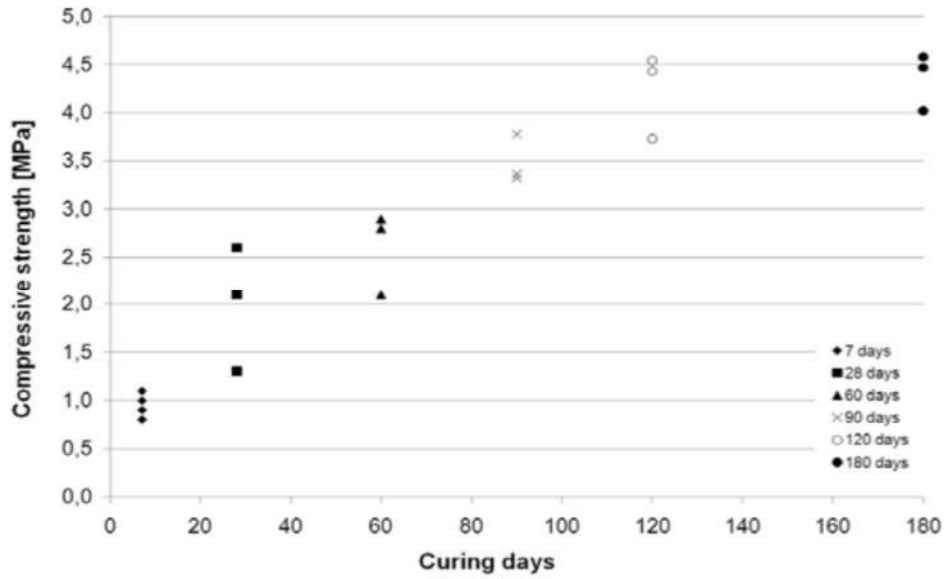
Montajı tamamlanan segment ringi, kazı esnasında kuyruk şiltinden dışarı doğru çıkar. Bu esnada TBM, üzerinde bulunan enjeksiyon sistemi vasıtasıyla, tünel dışında idarenin onayladığı oranlara göre çimento-bentonit-akışkanlaştırıcı veya kum-çimento-bentonit-akışkanlaştırıcı karışımıyla hazırlanan harç enjeksiyonunu segment arkasına enjekte eder. Enjeksiyon Santralinde hazırlanan karışım, TBM'e kadar enjeksiyon aracıyla nakledilir ve kuyruk şiltinden segment arkasına pompalanmadan hemen önce karışım pompası vasıtasıyla priz hızlandırıcı kimyasal ile karıştırılır. Böylelikle harç karışımının hızlı bir şekilde jelleşmesi sağlanırken, enjeksiyon hatlarında erken priz almadan dolayı ortaya çıkabilecek tıkanmaların önüne geçilir. Yine de enjeksiyon hatlarında tıkanmaya karşı yüksek basınçlı temizleyiciler kullanılacaktır. Segment arkasına harç enjekte edilirken harç karışımının hızlı bir şekilde mukavemetini alması için yine idarenin onayladığı oranda priz hızlandırıcı katkı ilave edilir. Bu sisteme göre yapılan enjeksiyon oranları zemine göre değişmektedir.



Şekil 22:

Segment arkasındaki harç enjeksiyonunun kesit görünümü

Bu yöntemle hazırlanan enjeksiyona ait örnek bir numunenin çift eksenli mukavemetinin sonuçları kür süresine göre aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

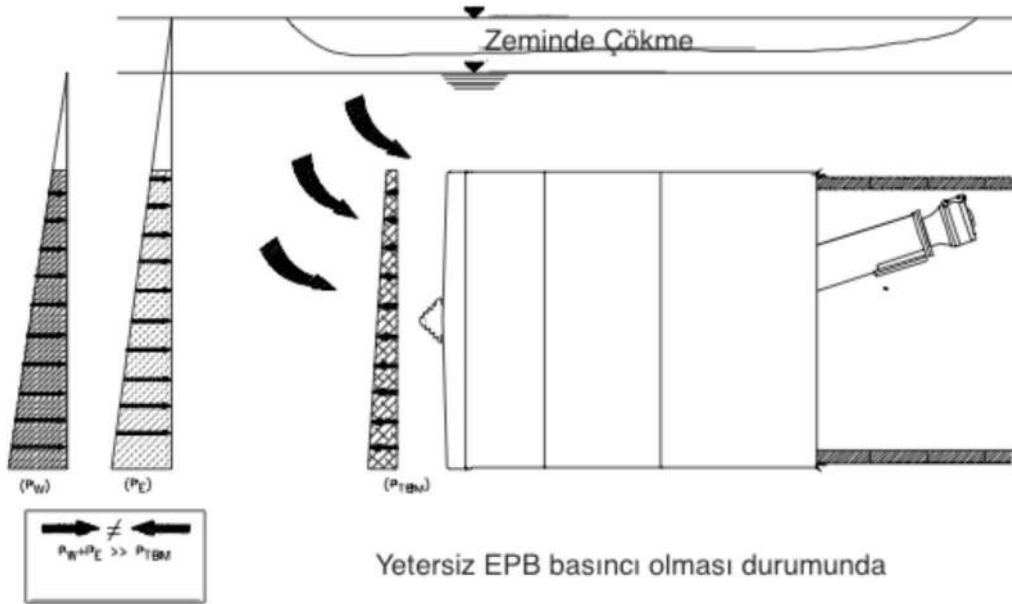


Şekil 23: Zamana bağlı harç mukavemeti

2.5. ZEMİN BASINCI DENGELENMESİ (EPB)

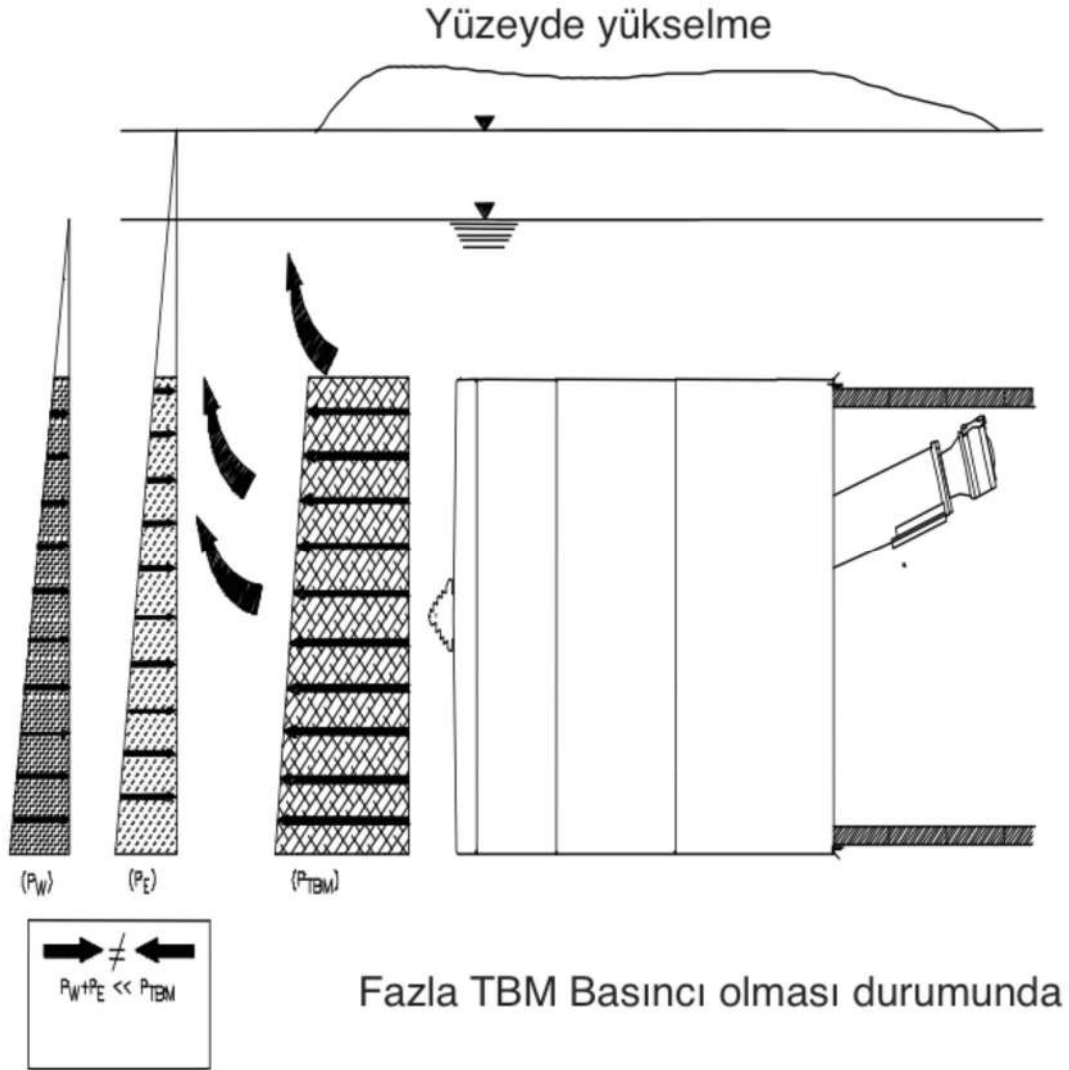
Stabil olmayan zeminde TBM ile kazı yapılırken, aynayı ve etrafındaki zemini kazıdan alınan hafriyat ile sürekli olarak destekleyerek tünel üzerinde çökmeleri engelleme ve TBM içerisinde güvenli bir ortam yaratma prensibi zemin basıncı dengelenmesi (EPB) prensibi olarak adlandırılır. Bunun için gerekli olan basınç, mevcut yer altı suyu ve stabil olmayan zeminin yarattığı basınç bileşenleri ile hesaplanır. Gerekli EPB basıncına göre kazı haznesi hafriyatla doldurulur, pasanın yaptığı basınç zemin şartlandırma elemanlarıyla desteklenerek aynada zemin basıncının homojen olarak mevcudiyeti sağlanır. TBM kesici kafası kazı yaparken itme pistonları ilerleme yapar ve helezon kapağı kazı yapılan miktarda pasayı geriye atacak miktarda açılır. Bant konveyördeki tartı sisteminden helezondan atılan hafriyat miktarı takip edilirken makine önündeki basınç EPB sensörleri ile izlenerek zemine uygun basınçta kazı yapılır.

TBM ile EPB modunda kazı yapılırken yetersiz TBM basıncı uygulanması durumunda, zemin basıncı ve yer altı suyu basıncı bileşenleri toplamı TBM'in uyguladığı EPB basıncını yener ve zemin kendisini tutamaz ise yüzeyde çökme ve oturmalar oluşur. Bu durumun şematik olarak gösterimi aşağıdaki gibidir.



Şekil 24: Düşük EPB Basınç ile ilerleme durumundaki oturma durumu

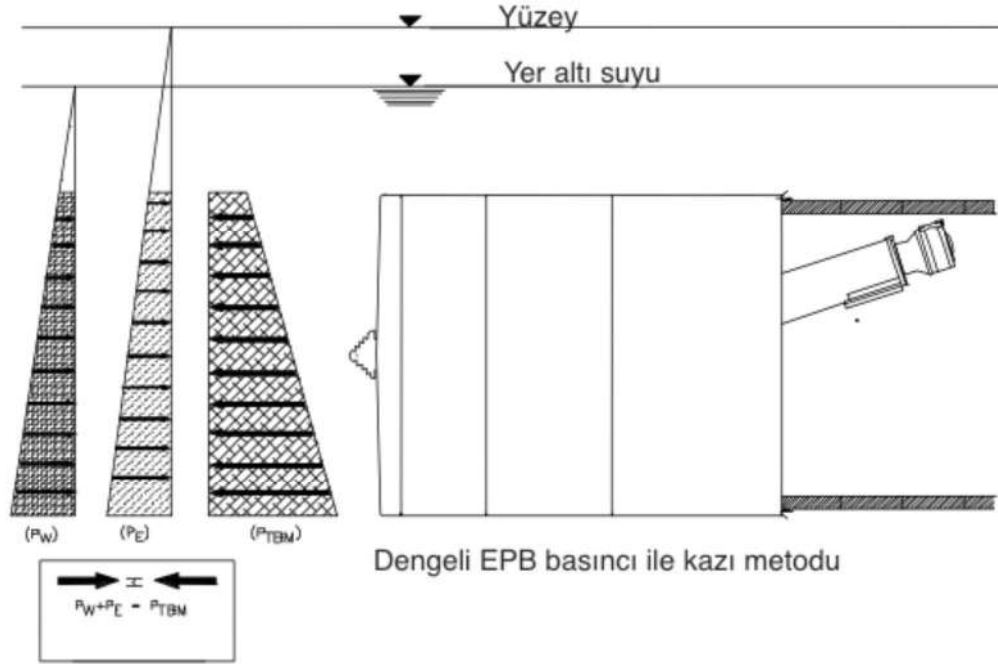
TBM ile EPB modunda kazı yapılırken fazla TBM basıncı uygulanması durumunda, zemin basıncı ve yer altı suyu basıncı bileşenleri toplamı TBM'in uyguladığı EPB basıncının altında kalır ve zeminde yükselmeler oluşabilir. Bu durumun şematik olarak gösterimi ise aşağıdaki gibidir.



Şekil 25: Yüksek EPB basıncıyla ilerleme durumunda yükselme

Dolayısıyla EPB modunda kazı yapılırken TBM ile doğru basınç uygulanması elzemdir.

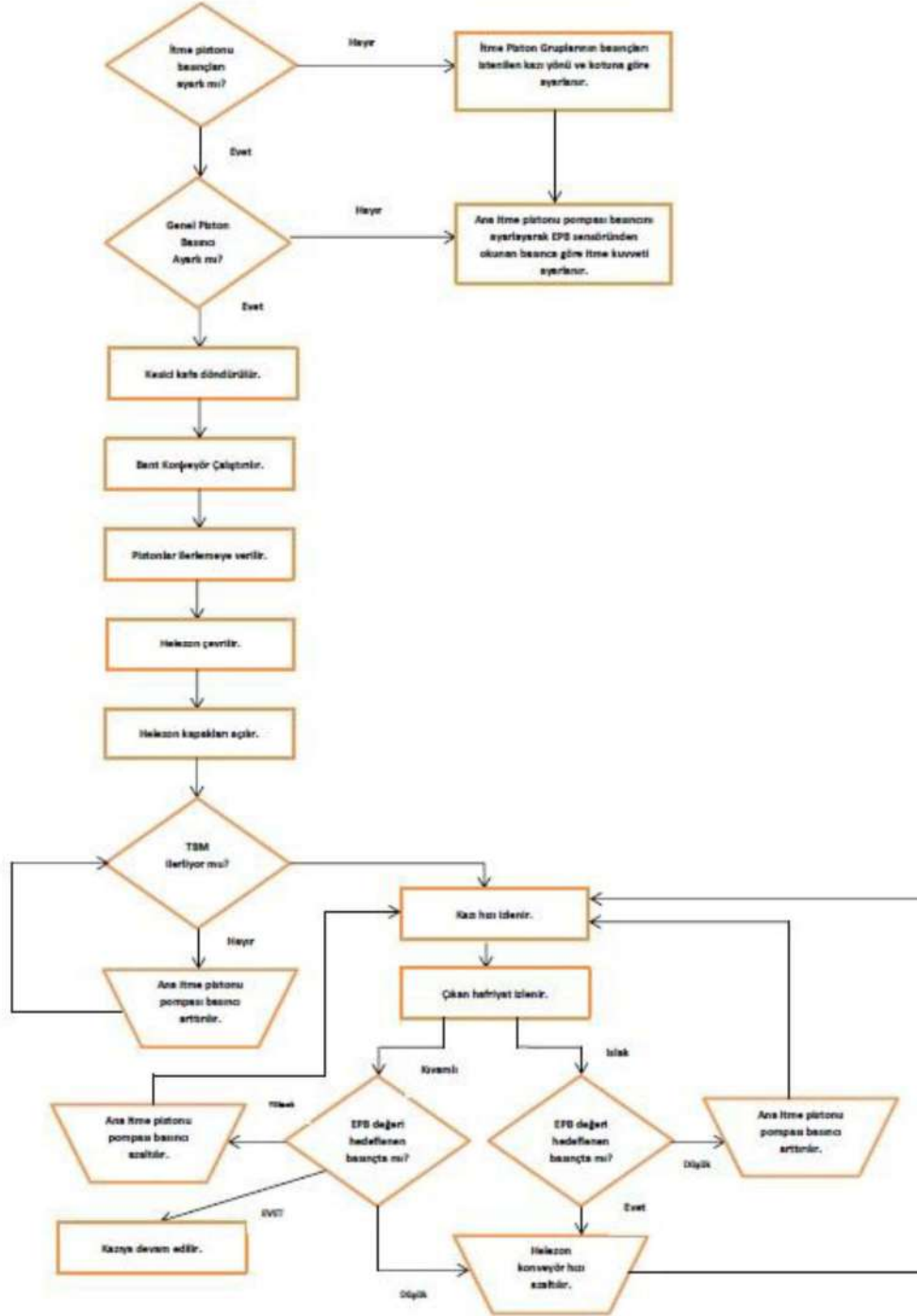
Kaynarca-Tuzla-Pendik Projesinde TBM ile yapılacak kazılarda kullanılacak TBM 5,5 bar statik dayanıma sahip 4,0 bar işletme EPB basıncına sahiptir ve bu TBM ile doğru EPB basıncıyla kazı yapılması hususuna azami dikkat gösterilecektir. Dengeli EPB basıncı ile kazı yapmanın şematik gösterimi aşağıdaki şekildedir.



Şekil 26: Dengeli EPB Basıncı ile kazı gösterimi

2.5.1. EPB Kazı Akış Şeması

EPB yöntemi ile doğru kazı yapma yöntemine dair aşağıda bir şematik gösterim bulunmaktadır.



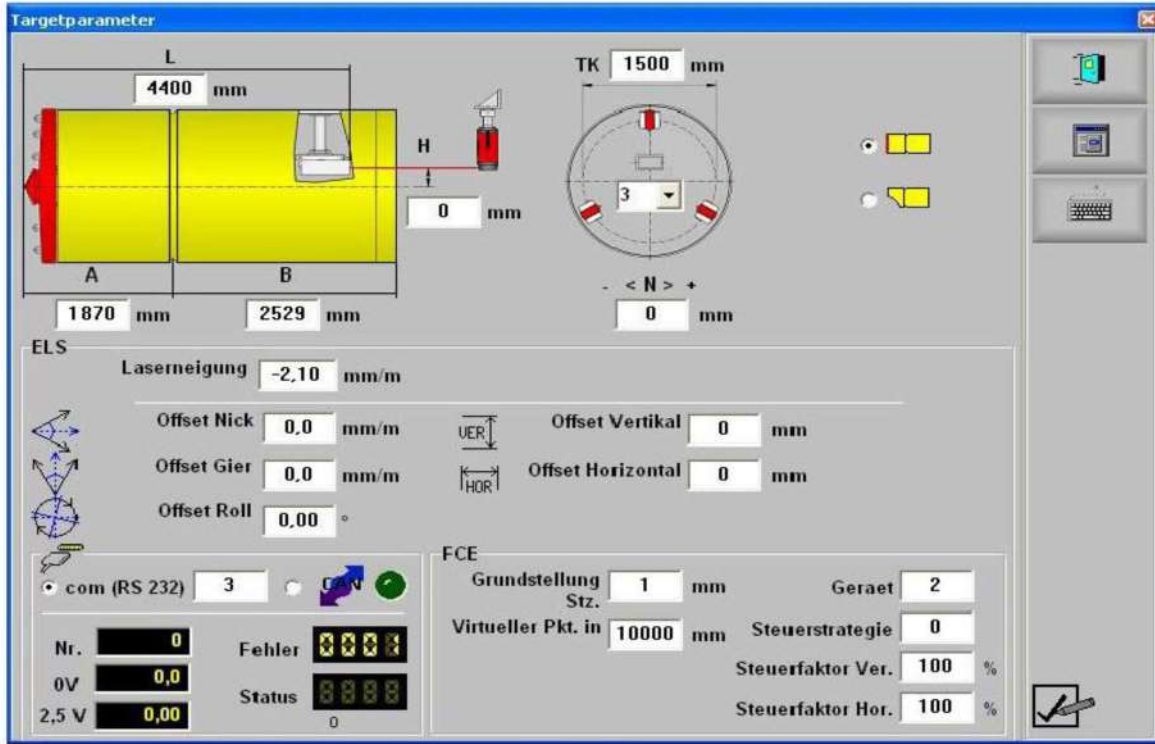
Şekil 27: EPB Kazı için Akış Şeması

2.6. HARİTA ÖLÇÜM SİSTEMLERİ, KURP DÖNME VE YÖNLENDİRME

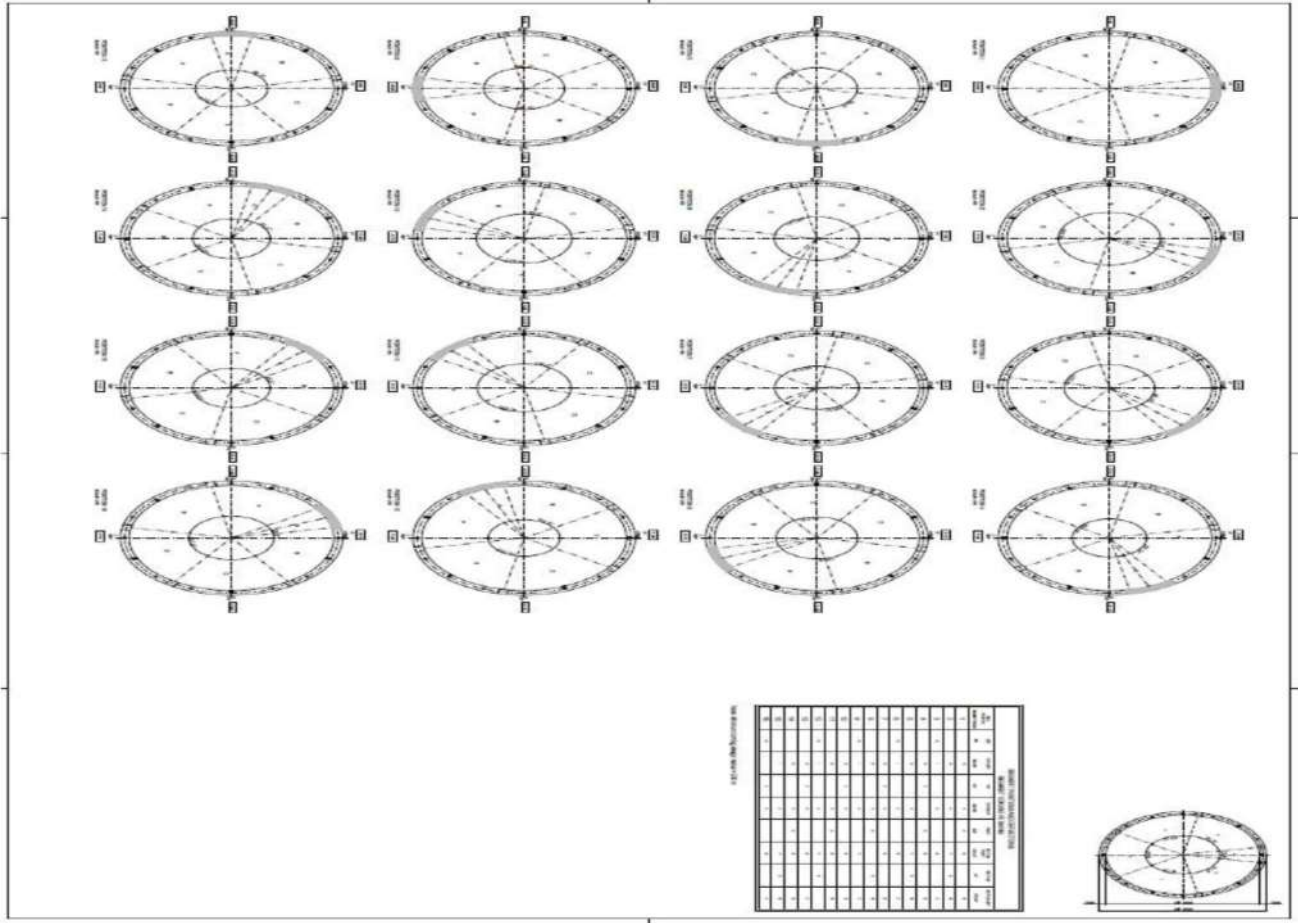
2.6.1. Harita Ölçüm Sistemleri

Tünel kazısı boyunca TBM üzerinde kurulu ölçüm ve yönlendirme sistemleri anlık olarak veri analizi, kontrolü ve sisteme entegrasyonu yapılmaktadır. TBM şilti içerisinde TBM ile birlikte hareket eden bir hedef ünitesi (video target) ve tünel içerisinde sabitlenmiş bir lazer ünitesi bulunmaktadır. Kazıyla birlikte lazerin hedef ünitesindeki konumu sürekli olarak operatör kabinine aktarılarak kazı yönü ve aynanın durumu takip edilir. Bu sistem izlenerek TBM kazı yönü istenen şekilde ayarlanır. Kazı yönünün ayarlanması için itme pistonlarına ve yönlendirme pistonlarına uygulanan basınçlar sürekli olarak düzenlenir.

Ölçüm sistemi, ayrıca tünel güzergahı boyunca kurulan ring tiplerini ve yönlerini kaydeder ve kazısı yapılan bölüme hangi tipte ring konulacağını da piston açıklıklarından hesaplayarak tayin eder. Ölçüm sistemi üzerindeki veriler, işletme sahasındaki izleme istasyonundan takip edilerek GPS kayıtlarına aktarılabilir. Böylelikle TBM'in yer üstüne göre konumu da anlık olarak takip edilecektir.



Şekil 28: Ölçüm sisteminden örnek bir görünüm



Şekil 29: Segment Oryantasyonları ve Anahtar taş pozisyonu (temsili)

Kurulan her halkanın geometrik kontrolü, halka kurulumunun hemen ardından yapılacaktır. Ringin ovalleşmesinin önüne geçmek için ardışık segmentlerin civataları segment taşının yerleştirilmesinin hemen ardından torklanacaktır. Tüm segmentlerin yerine yerleştirilmesinin ardından, segmentin ovalliği düşeyde ve yatayda TBM üzerinde önceden belirlenmiş noktalara segment taşının en üst, yanlar ve en alt noktadan mesafeleri ölçülerek kontrol edilecektir. Bu ölçümü yapmak üzere teleskopik ölçerler kullanılacaktır; TBM üzerinde önceden belirlenmiş noktaların segmentlere göre radyal ve eksenel olarak ölçümü yapılacaktır. Ölçülen mesafelerden ring iç çapı yatay ve düşey olarak ölçülecektir ve buradaki tolerans Teknik Şartname 1.15.6.3.6.b maddesinde belirli olan ± 25 mm'den fazla olursa, kilit taşı yerinden alınarak, halka yapısı doğru bir şekilde düzeltilmek üzere bozulup yeniden yapılacaktır. Segment radyal mafsalları yerlerindeki değişim, genellikle invert taşının konumlanmasındaki adım adım kaymalardan ve civata torklamalarının eksik yapılması sebebiyle ortaya çıkar. Bu durumu önlemek için, invert taşı merkez konumları shield üzerinde işaretlenerek konuma göre ekseninde montaj yapıldığı düzenli olarak kontrol edilecektir. Aynı zamanda ring kurulumu gerçekleştirildikten sonra toleranslar dahilinde olan ringin tüm civataları tekrardan torklanacaktır. Kurulan segment ringlerinin ön yüzlerinin düzlemi, Teknik Şartname 1.15.6.3.6.f maddesi gereği 3 mm'den fazla olmayacaktır. Segment ön yüzlerinin düzlemindeki kaçıklıklar, özellikle TBM'in kot ve aksta hareketi için itme pistonlarıyla segmentlere uygulanan farklı basınçlardan kaynaklanır. Bu basınçların

segment yüzeyinde oluşturduğu kaçıklıkları kompanze etmek, şartanmedeki toleransların altına indirmek ve aynı zamanda bu kaçıklıklardan dolayı pistonların segmente bastığı yüzey alanı daralmaları ve düzensizliği kaynaklı segment yan alanında kırık veya çatlak oluşumunu engellemek için segmentlerin yan yüzeyine 1 veya 2 mm'lik kontraplak parçaları yerleştirilir. Yerleştirilen kontraplaklar sıkıştırılmış conta kalınlığından daha ince olduğu için segment sızdırmazlığına etki etmeyecektir ve yüzey kaçıklıklarının 3 mm'nin altında kalmasını sağlayacaktır. Ayrıca, kuyruktan çıkan ringler, 20 metre boyunca ölçüm grubu tarafından düzenli olarak izlenerek, tolerans raporları günlük olarak tutulacak ve Müşavir'e sunulacaktır.

2.6.2. İtme Pistonları ile Yönlendirme

TBM, itme pistonları vasıtasıyla ilerletilirken pistonlara uygulanan basınçlar ayarlanarak tünel eksenindeki hareketleri de ayarlanır. TBM'in arkasında komple bir daire oluşturan pistonlardan bir yöndeki piston grubunun diğer yöndeki piston grubuna göre daha yüksek basınçlarla çalıştırılması makinenin düşük basınçla çalıştırılan yöne doğru hareket ve kazı yapmasını sağlar.

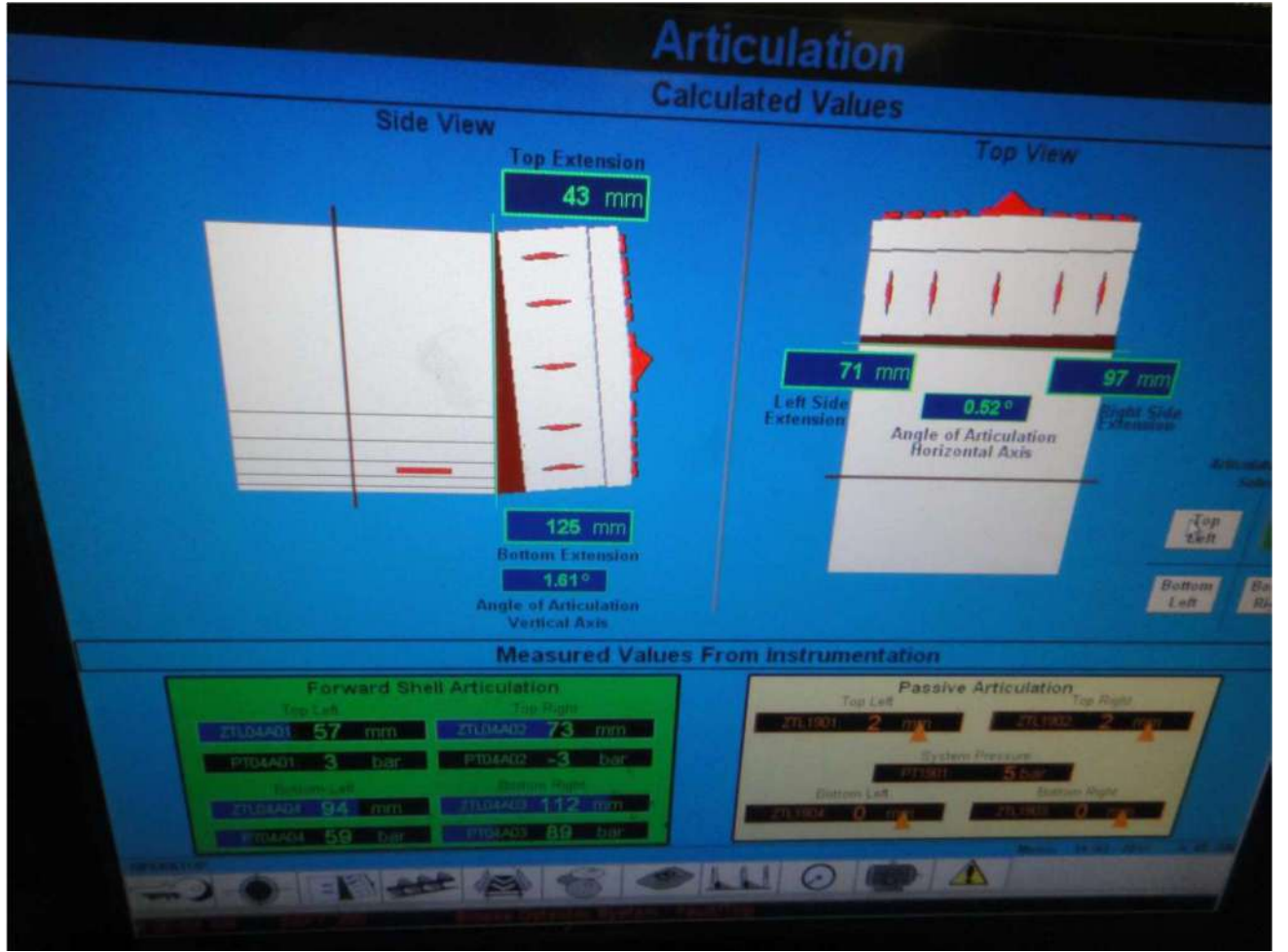
Tünel hattından istenmeyen eksenel ve kot bazında sapmalar, genellikle zemin koşullarından kaynaklanır. Tünel kazısı esnasında sürekli olarak yönlendirme sisteminden TBM pozisyonu izlenmektedir. Böyle bir durumla karşılaşıldığında ayna zemininde sapma olan bölümdeki pistonlara daha yüksek basınç uygulayarak bu sapmanın önüne geçilir.

Bu duruma örnek olarak, TBM kafasının yukarı ve sağa doğru sapma eğilimi gösterdiği durumda (eğer kazı saat yönünün tersine doğru yapılıyorsa TBM yukarı ve sola doğru sapma eğilimi gösterecektir) üst sağ piston grubunun (saat yönünün tersine kazı için üst sol piston grubunun) basıncını artırmak TBM'in hattından sapmasını engelleyecektir.

İtme pistonlarının basınç ayarlarıyla yönlendirmenin TBM'i hattında ilerletmeye yetmemesi durumunda yönlendirme pistonları, itme pistonları ile birlikte kullanılarak TBM'in kotunda ve aksında ilerlemesi sağlanır.

2.6.3. Yönlendirme Pistonları ile Yönlendirme

İtme pistonlarının basınç değişiklikleriyle tünel hattı ve kotundaki sapmaların düzeltilemediği durumda; özellikle aynada kohezyonsuz malzeme ve sert kumlu-killi malzemenin bir arada olduğu durumlarda, yönlendirme pistonları ile kesici kafa yönü ayarlanır. Yönlendirme pistonları ile kesici kafa yönünün değiştirilmesi, itme pistonu ayarlarıyla benzer prensiple çalışır. Fakat yönlendirme pistonlarının kullanıldığı durumlarda azami dikkatle hareket edilmelidir. Çünkü kesici kafanın yönünün sert bir şekilde değiştirilmesi durumunda TBM'in sıkışması ihtimali vardır. Yönlendirme, düşük torkta ve baskı kuvveti altında; kademeli ve küçük piston stroku değişiklikleriyle yapılır.



Şekil 30: Bir TBM'e ait yönlendirme pistonları kontrol ekranı



Şekil 31: Yönlendirme (Artikülasyon) Pistonları

2.7. BAKIM VE ONARIM İŞLEMLERİ

2.7.1. TBM Vardiya Bakımı

2.7.1.1. Günlük Bakım

TBM ekibi, her vardiya başında aşağıdaki listeyi uygulayarak günlük bakım işlemlerini yapacaktır.

- ☐ ☐ Ana rulman gresleme ve yağlama sistemleri kontrol edilecektir. Yağlama basıncı kayıt altına alınacaktır.
- ☐ ☐ Hidrolik yağ seviyesi kontrol edilecektir.
- ☐ ☐ Hidrolik tank üzerindeki kurutucu filtre kontrol edilecektir.
- ☐ ☐ Hidrolik yağ sıcaklığı kontrol edilecek ve kayıt altına alınacaktır.
- ☐ ☐ Kesici kafa çevrilerek yağlama ve gresleme işleminin yapıldığı kontrol edilecektir.
- ☐ ☐ Ana rulman sıcaklığı kontrol edilecek ve kayıt altına alınacaktır.
- ☐ ☐ EP2, Kuyruk Gres ve HBW Gres seviyeleri kontrol edilecektir.
- ☐ ☐ Su soğutması hattı basınç ve debileri kontrol edilecek ve kayıt altına alınacaktır.
- ☐ ☐ Hidrolik tesisat, genel kaçaklar için kontrol edilecektir.

- Pilot hidrolik hatlar üzerindeki filtre öncesi ve sonrası basınçlar kontrol edilecek ve kayıt altına alınacaktır. Basınçlar arasındaki fark 25 psi'yi geçerse filtreler değişim programına alınacaktır.
- Pompa motorları milleri yağ kaçağı için kontrol edilecektir.
- Kazı esnasındaki gerilim ve akım değerleri kontrol edilecek ve kayıt altına alınacaktır.
- Kuyruk şilti invert alanı temizlenecektir.
- Helezon kapaklarının tam olarak açılıp kapandığı kontrol edilecektir, kapak yolları greslenecektir.
- Helezon motoru yağ seviyesi ve kaçaqları kontrol edilecektir.
- Segment vinci kablosu darbe için kontrol edilecektir.
- Segment erektörü hidrolik tesisatı kontrol edilecektir.
- Segment erektörü eksenel hareket bölgesinde herhangi bir engel olup olmadığı kontrol edilecektir. Varsa engeller kaldırılacaktır.
- Segment erektörü acil durdurma fonksiyonu kontrol edilecektir.
- Segment erektörü rulman bağlantı civataları kontrol edilip gevşeme olan yerler torklanacaktır.
- Gantryler boyunca yürüyüş yolunda herhangi bir engel olup olmadığı kontrol edilecektir ve varsa engeller kaldırılacaktır.
- Bant konveyör gerilimi ve konumu kontrol edilecektir. Ayar gerektiriyorsa yapılacaktır.
- Sıyırıcılar kontrol edilecek ve temizlenecektir.
- Gergiler kontrol edilip gerekiyorsa torklanacaktır.
- TBM üzerindeki tüm gres noktaları greslenecektir.

2.7.1.2. Haftalık Bakım

TBM ekibi, haftada bir defa aşağıdaki listeye uygun bir şekilde haftalık bakım işlemlerini yapacaktır.

- Kesici kafa içerisine girilerek diskler, sıyırıcılar ve kazıyıcılar aşınmaya karşı kontrol edilecektir. Açıklıklar ve disk yuvaları birikerek sertleşen hafriyattan temizlenecektir.
- Kesici kafayı ana rulmana bağlayan saplamaların gergin olduğu kontrol edilecektir.
- Gres filtresi elemanları kontrol edilecek ve gerekirse değiştirilecektir.
- Ana rulman yağ ve gres sistemleri kontrol edilecek, kafa içerisinden gres çıkışı görülerek teyit edilecektir.
- Ana tahrik ünitesinin TBM şiltine bağlandığı saplamaların gerginliği kontrol edilecektir.
- Ana motorların redüktörlerinin pinyon dişliye bağlantıları kontrol edilecek ve torklanacaktır.
- Pinyon dişli ve rulman yağı seviyeleri kontrol edilecektir.
- Yönlendirme pistonları bölgesi temizlenecektir.
- Tüm hidrolik hortumlar kontrol edilerek yaralı veya darbe görmüş hortumlar değiştirilmek üzere tespit edilecektir.
- Bütün vinç halatları, mapalar ve kancalar kontrol edilerek yaralı veya darbe görmüş olanlar değiştirilecektir.
- Isı eşanjörleri kontrol edilecek, tıkanma başladıysa sökölüp temizlenecektir.
- Tüm aydınlatmalar kontrol edilecek, çalışmayanlar değiştirilecektir.
- Erektör yağlanacaktır.
- Erektör dişlisi yağ seviyesi kontrol edilecektir.

- Erektör vakum contaları kontrol edilecektir. Darbeli veya eriyen contalar derhal değiştirilecektir.
- Erektör kablosu darbeye karşı kontrol edilecektir.
- Segment besleyicisi temizlenecektir ve hareketli noktalardaki gresörlükler kontrol edilecektir.
- Helezon redüktöründeki yağ seviyesi kontrol edilecektir.
- Sistemdeki tüm 380 V kabloları izolasyonu kontrol edilecektir.
- OG hattı kontrol edilecektir.
- Tüm motorlar boşta çalıştırılarak boşta akım değerleri kayıt altına alınacaktır.

2.7.1.3. Kesici Kafa Bakımı ve Kesici Kafa Elemanlarının Değiştirilmesi

TBM ile kazı kesici kafadaki kesici elemanların aynada kesici kafanın dönüşü ile kesim yapması ve kazılan hafriyatın sıyrıcı elemanlar vasıtasıyla kazı haznesi içerisine alınması prensibine dayanır. Bu süreçte kesici kafadaki elemanlarda aşınma gözlenir. Ayrıca keski diskleri rulmanlar vasıtasıyla yataklandıkları için bu rulmanlardaki mekanik aksamalar sonucunda disklerin kilitlenmesi durumuyla da karşılaşılır. Zamanında kontrol edilip değiştirilmeyen kesici kafa elemanları, TBM kazı torkunun artmasına, kesici kafa ana gövdesinde hasarlara veya çeper disklerdeki aşınma/kilitlenmeler TBM'in kazı esnasında sıkışmasına sebebiyet verir. Bu sebeplerden dolayı kesici kafa azami her 200 metre kazıda birmuayene ve kontrol edilmelidir.

Zeminin kendisini tutmayı müsaade etmediği durumlarda TBM kesici kafasına ulaşılabilmesi ve kontrol, revizyon yapılabilmesi için, TBM üzerinde iki bölmeli bir basınç odası bulunmaktadır. Bu basınç odası TBM işletme EPB basıncı olan 4 bar basınca kadar işletilmeye müsaittir. TBM basınç odasındaki basınç ölçülerek, atmosferik basınç altında basınç odasına geçen personel, oda kilitleri kapanıp mühürlendikten sonra, solunabilir hava üreten kompresör sistemi ve tesisatı vasıtasıyla basınçlandırılan odada TBM kazı haznesindeki basınca eşdeğer basınç seviyesine ulaştırılır. Daha sonra TBM kazı haznesi kapısı açılır ve personel kesici kafaya müdahale edilerek gerekli değişiklikleri yapar. TBM basınç odası içerisinde oda dışarısındaki personelle haberleşmek için telefon tesisatı, kesici kafayı hareket ettirebilmek için yönlendirme tertibatı ve eski kafa elemanları ile yeni kafa elemanlarının kesici kafa ve basınç odası arasında transferini sağlamak için 6 disk kapasiteli bölme mevcuttur.

Kesici kafada helezonun alabileceği maksimum tane boyutuna göre ızgaralar bulunmaktadır. Yine de herhangi bir sebeple kesici kafa kazı haznesi içerisine helezondan aktarımı yapılamayacak boyutta malzeme alınması durumunda bu kaya malzeme kırılarak

küçültülecektir ve helezon içerisine alınacaktır. Malzemenin küçültülmesi için kesinlikle patlayıcı madde kullanılmayacaktır.

3. LOJİSTİK

3.1. Saha Lojistiği

3.1.1. Portal Sahası

TBM'in doğru ve verimli bir şekilde işletilebilmesi için lojistik ve beslemenin en doğru şekilde yapılması elzemdir. TBM kazısı için gerekli olan segmentler, ray, soğutma sistemi boruları, köpük kimyasalları, civata, enjeksiyon malzemeleri, kullanma suyu, kablo, aydınlatma, havalandırma fan tüpleri vb. Malzemelerin en hızlı şekilde tedarik ve

beslemesinin yapılması ve kazıdan çıkan hafriyatın hızlı bir şekilde uzaklaştırılması gerekmektedir. Bunun için işletme sahasına gerekli kapasitede portal vinç kurulacaktır. Günlük ilerlemeyi sağlayacak şekilde segment stok sahası ve kazıdan çıkan hafriyatın döküme gönderilmesi öncesinde günlük olarak depolanması için hafriyat sahası belirlenecektir.



Şekil 32: TBM Portal sahası

3.1.2. Havalandırma

TBM ve tünel içi havalandırılmasını sağlamak için işletme sahasına bir aksiyel fan kurulacaktır. Aksiyel fanın güç ve debi hesabı yapılırken, tünel içerisinde çalışacak personelin hava ihtiyacı, TBM'in çalışması esnasında ortaya çıkan ısıнын kovuşturulması, TBM'e besleme yapan tünel içi lokomotiflerin dizel motorlarının verimli çalışması için gerekli hava ve egzoz sistemlerinden çıkan atık gazların uzaklaştırılması, tünel içerisinde ortaya çıkabilecek gazların uzaklaştırılması göz önünde bulundurulacaktır. Aksiyel fan ile üretilen basınçlı havanın 1200 mm çapında fantüpler vasıtasıyla TBM içerisine kadar ulaştırılması sağlanacaktır.

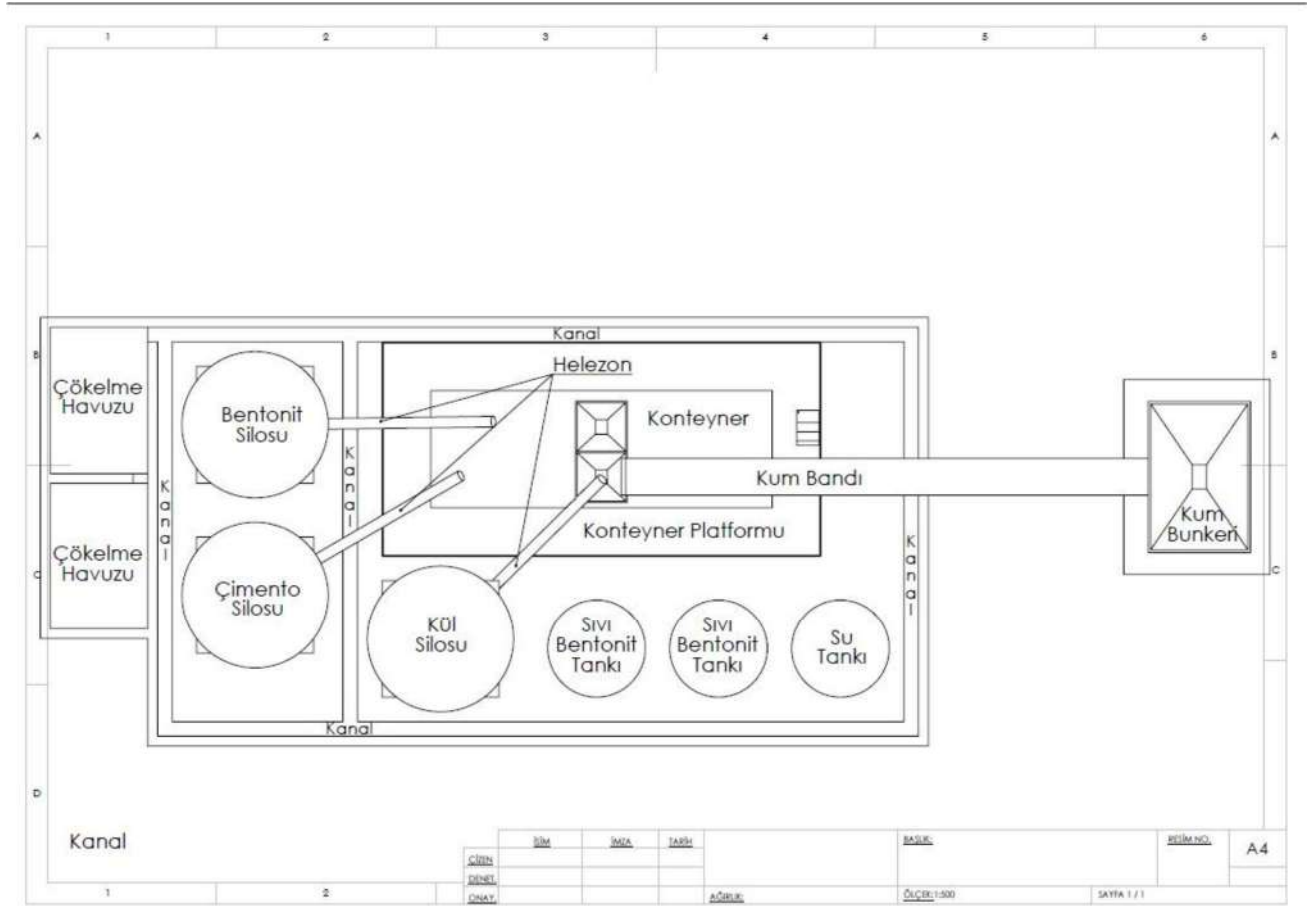


Şekil 33: Bir TBM tüneline havalandıran fantüp sistemi

3.1.3. Harç Enjeksiyonu Hazırlanması

Ayrıca işletme bölgesinde bir enjeksiyon hazırlama ve karıştırma tesisi kurulacaktır. Bu tesis dahilinde, çimento, bentonit, su ve akışkanlaştırıcı kimyasallar; daha önceden idare ve

Müşavir'e sunulmuş ve onayları alınmış oranlarda homojen olarak karıştırılarak hazırlanır ve tüneli içi besleme ünitelerine aktarılır.



Şekil 34: Enjeksiyon Santrali Planı

3.1.4. Tünel içi Katar

TBM'e lojistik desteği sağlamak için tünel içi katar veya msv kullanılacaktır. Bu katar veya ms vasıtasıyla portal sahasından TBM'e prekast segmentler, harç enjeksiyonu, raylar, borular ve traversler, saplama ve civatalar beslenir ve TBM'den çıkan hafriyat portal sahasına taşınır veya TBM den çıkan hafriyat Konveyör sistem ile şaft bölgesine taşınır , şaft altına konveyör sistem ile gelen bu hafriyat yaklaşık 55m lik dikey bant ile şaft üzerinde bulunan döküm çukuruna taşınır. Ayrıca vardiya başlangıç ve sonlarında ve TBM'e müdahale, izleme, kontrol için yetkililerin giriş ve çıkışları için bir adet personel taşıyıcı vagon bulunur. TBM beslemesi, işletme şaftında kurulan makas ile hat değişimi yapılarak iki lokomotif-vagon veya msv sistemiyle yapılacaktır.

TBM ile kazı esnasında kullanılacak her bir katar sisteminde aşağıdaki araçlar bulunacaktır:

- 1 adet lokomotif
- 2 adet segment aracı
- 1 adet harç enjeksiyonu aracı
- 5 adet hafriyat aracı
- 1 adet personel aracı
- 1 adet ekipman taşıma aracı

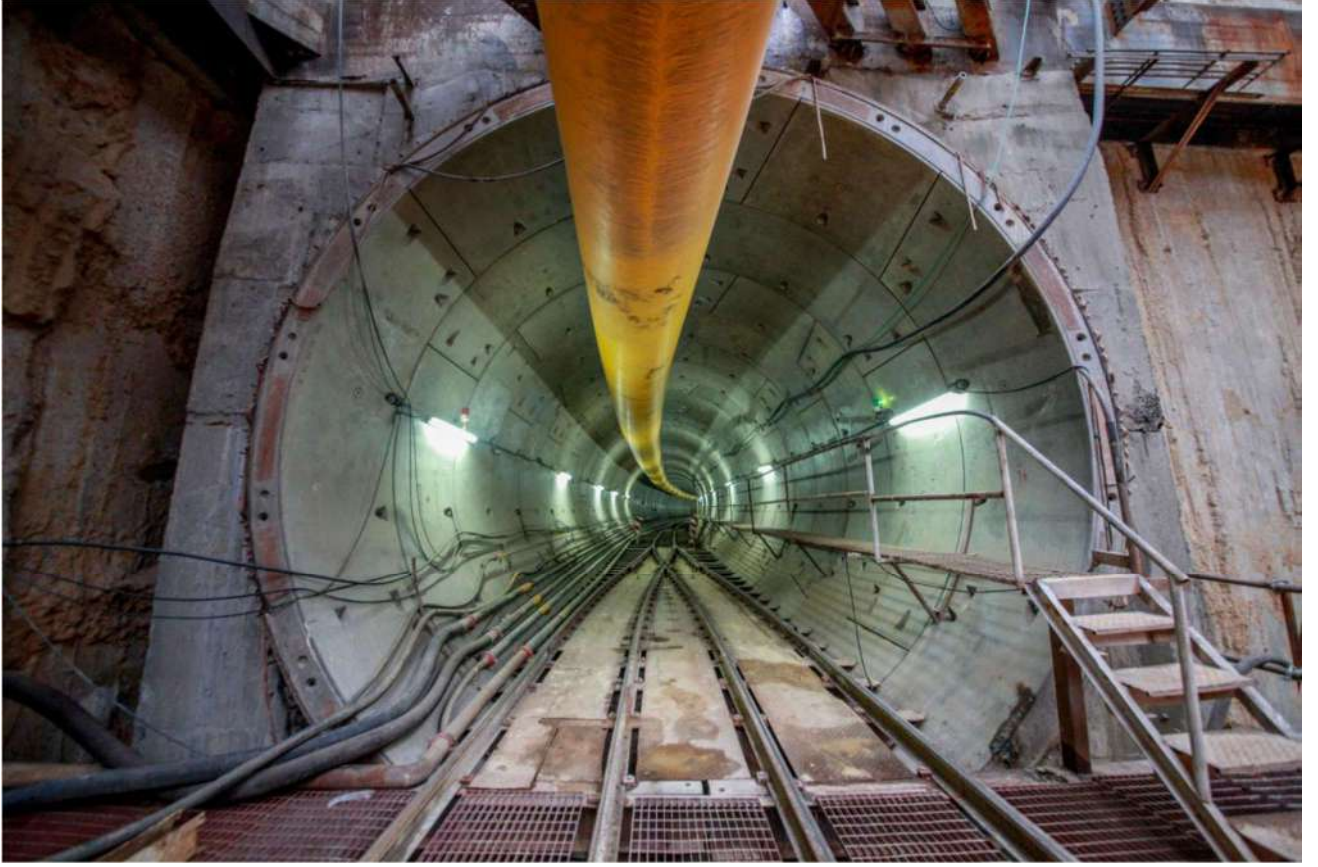
TBM ile kazı esnasında kullanılacak her bir msv'nin üzerinde aşağıdaki ekipmanlar vardır

- 1 adet harç enjeksiyon kazanı
- 1 set segment için taşıma pabuçları



Şekil 35: Tünel içi araçlar ve Lokomotif

Makasta değişim yapmak üzere yukarıdaki belirtilen katardan işletme şaftında en az iki adet bulunacaktır. İşletme hızına göre tünel içerisine ikinci makas kurulabilecek olup bu katar sisteminin sayısı da buna göre artırılabilecektir.



Şekil 36: İşletme Şaftı Makası

3.1.5. Şalt Tesisleri

TBM, 13,8 kV enerji ile çalışmaktadır. İşletme sahasında olan 34,5 kV enerjiyi TBM’de kullanılan 13,8 kV enerjiye ve şantiyede kullanılan 380 V ve 220 V enerjiye dönüştürmek için bir adet 2500 kVA kapasiteli trafo kurulacaktır.

3.1.6. Kullanım ve Soğutma Suyu Tedariği

TBM kullanımı ve soğutması için özel bir su tankı ve soğutucu ünite kurulacaktır ve su tankı devamlı dolu tutulacaktır. Tanktan alınan su, borular marifetiyle TBM içerisindeki soğutma ünitesine aktarılacaktır. TBM’e ortalama 25 C’de su tedarik edilecektir ve soğutmadan dönen su sıcaklığı ortalama 40 C civarında olacaktır. Dönüş suyu soğutucu chiller ünitesinde soğutulurken tekrar TBM’e beslenecektir. TBM’de köpük sistemleri, yıkama ve temizlik için harcanan su, düzenli olarak besleme ile yenilenecektir. TBM’de kapalı devre çalışan su giriş sıcaklığı 25 C, çıkış sıcaklığı 40 C’dir. Kapalı devre sistemde 50 m³/saat su dolaşımı olacaktır.

Ayrıca zemin şartlandırma, EPB basıncını koruma ve yıkama amaçlı kullanım suyu için de yaklaşık kazı zamanı baz alınarak 15-20 m³/saatlik bir su kullanımı olacaktır.

Aynı zamanda tünel kazısında ortaya çıkan suyun drene edilmesi için TBM atıksu drenaj sistemi, 6” borular ile İşletme Şaftı Altına kadar iletilecektir. Burada 3 kademeli bir dinlendirme ünitesi kurulacaktır ve dinlenerek tortudan arındırılan su pompalar vasıtasıyla deşarj edilecektir.

3.1.7. Çevresel Faktörler

TBM üzerindeki ekipmanlarda olan arızalar ve bakımlar için mekanik, elektrik ve kaynak atölyeleri işletme sahasına kurulacak ve bu gibi durumlara anında müdahale edilecektir.

Şantiyenin çevreye olan etkisinin minimuma indirilmesi için gerekli her türlü önlem alınacaktır. Mekanik atölyede atık yağlar biriktirilerek 21.01.2004 tarih ve 25353 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği’ne uygun olarak bertaraf edilecektir.

Kullanılarak atık niteliği kazanan elektronik üniteler ve akümülatörler Elektrik Atölyesinde biriktirilerek 02.04.2015 tarih ve 29314 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan Atık Yönetimi Yönetmeliği’ne uygun olarak bertaraf edilecektir.

Şantiye içerisinden ve özellikle hafriyat bölgesinden çıkış yapan kamyon, kamyonet, TIR gibi araçların çevreye toz ve çamur etkisini minimuma indirmek için şantiye çıkışına lastik yıkama ünitesi kurulacaktır.

3.2. PERSONEL LOJİSTİĞİ

TBM’in en verimli şekilde işletilmesi için gerekli sayıda operatör, kalifiye personel, tünel ve saha personeli her daim şantiyede bulunacaktır. Her vardiyanın bir adet vardiya çavuşu ve bir adet vardiya mühendisi bulunacaktır. Bunun dışında her vardiyada iki adet elektrik ustası ve iki adet mekanik ustası bulunacaktır. Her vardiyada ölçüm personeli bulunup sürekli TBM içerisinde kontrolü sağlayacaktır. Bu personel makine kurulumundan itibaren şantiyede hazır bulunacaktır ve vardiyalı sistemde kurulum/demontaj yapılarak en kısa sürede makine kazıya hazır hale getirilecektir, kazının tamamlanmasının ardından makine hemen sökülerek daha önceden belirlenmiş alana nakledilmesi sağlanacaktır.

TBM işletimi esnasında tünel içerisinde çalışacak personelin sayısı ve niteliği aşağıda belirtilmiştir;

Personel Sayısı Personel Niteliği

- 2 Vardiya Mühendisi
- 3 TBM Operatörü
- 2 Erektör Operatörü
- 5 Lokomotif Operatörü (Lokomotif sistemi ile)
- 5 Segment Montaj İşçisi
- 5 Ray Boru Montaj Ustası
- 2 Bant ve Bant Arkası Ustası
- 2 Enjeksiyon Operatörü
- 4 Şaft Altı Lojistik İşçisi
- 4 Şaft Üstü Lojistik İşçisi
- 2 Kaynakçı
- 2 Tünel Çavuşu
- 4 Mekanik Ustası
- 2 Mekanikçi – Yağcı
- 2 Elektrik Ustası
- 2 Elektrikçi
- 48 TOPLAM**

3.3. SEGMENT ÜRETİMİ VE SAHAYA SEVKİYATI

KPT Projesinde kullanılacak olan segmentler universal tip 5 ana segment 1 kilit taştan oluşmak üzere 6 parça olarak imal edilecektir. Bu segmentler ile minimum kurp yarıçapı olarak 300 metre dönüş yapılabilecektir. Segment geometrik tasarımı bu kriterler altında devam etmektedir ve tasarımın nihai hale gelmesinin ardından İdare ve Müşavir Teşkilatlarının değerlendirme ve onaylarına sunulacaktır. Geometrik tasarımın tamamlanmasının ardından tünel güzergahı boyunca karşılaşılabilecek jeolojiye ve yer altı su seviyesine göre yük hesapları yapılarak segment donatı ve neopren conta detayları oluşturulacaktır. Bu detayların oluşturulması ile birlikte nihai segment projeleri, conta bilgileri ve kalite dokümanları, segmentlerin birbirine montajında radyel olarak kullanılacak elemanların fiber ya da civata olarak tasarımı ve eksenel olarak kullanılacak saplamalar İdare ve Müşavir Teşkilatlarının onaylarına sunulacaktır. Ayrıca segment üretimine ilişkin yapım metodu raporu, Sözleşme Madde 33.13 ve Teknik Şartname 1.15 maddesi kapsamı hazırlanarak İdare ve Müşavir Teşkilatlarının onaylarına sunulacaktır.

Projesinde kullanılacak olan segment taşlarının imalatı esnasında kalite kontrolü, doğru bir şekilde kürlenmesi imalat sonrası düzgün stoklanması, sevkiyat esnasında hasar görmemesi ve contaların yapıştırılması işlerine azami oranda dikkat edilecektir.

Segment imalatında kullanılacak kalıplar Teknik Şartname'nin 1.15.8.2.2. maddesine uygun

olacak kalitede, yüksek mukavemetli 10 mm çelikten imal edilecektir ve kalıp tabanları S355 ve S275 çelik kullanılacaktır. Her bir kalıpta verimli vibrasyon için şaseye 4 adet damper konulmuştur. Yan kapaklar 15 mm S355 çelikten imal edilecektir ve ana şaseye mekanik bağlantı elemanlarıyla bağlı olacaktır. Kalıbın kapatılması ve sabitlemesi esnasında merkezlemeyi sağlayacak ve deformasyonu önleyecek şekilde merkezleme konisi bulunacaktır. Kalıpta betonun sızdırmazlığını sağlamak adına contalar mevcuttur. Üst kapaklar 3 mm S275 çelikten imal edilecektir ve yan kapaklara bağlantı noktalarında beton sızdırmazlığını sağlamak için çevresel conta kullanılacaktır. Üst kapaklarda kilit mekanizması bulunacaktır ve yaylı menteşe sistemle kilit ve açılma kolaylığı sağlanacaktır. Kalıplarda sızdırmazlığın sağlanması amacıyla, contaların haricinde, eksenel ve radyal saplamaların monte edileceği dübel bölgelerinde, radyal fiber ünitelerinin monte edileceği yataklarda, kaldırma ve enjeksiyon koniklerinde ve segment contası yuvasında blokerler bulunacaktır. Her bir kalıpta 4 adet vibratör bulunacaktır ve kilit taşı kalıbında 2 adet vibratör bulunacaktır. Bu vibratörler, düzgün beton dağılımını sağlamak ve segregasyonu önlemek için tam hız kontrollü sistemle donatılacaktır ve vibratörler çift-eksenli titreşim göstereceklerdir. Segment Kalıbı İmalatında Teknik Şartname 1.15.8.2.7. maddesi gerekleri esas alınacaktır ve aşağıdaki toleranslar kullanılacaktır:

Eksenel bağlantı: +/- 0,5 mm

Genişlik: +/- 0,5 mm

Kalınlık: +/- 2,0 mm

Ark boyu: +/- 1,0 mm

İç çap: +/- 2,0 mm

Conta yuvası genişliği: +/- 0,25 mm

Conta yuvası derinliği: +/- 0,25 mm

Temas yüzlerinin düzlüğü: +/- 0,5 mm

Ring bağlantı düzlüğü: +/- 0,5 mm

Segment kalıplarının üretim esnasında deformasyona karşı kontrolü için ölçüm sistemi tedarik edilip düzenli olarak haftalık deformasyon kontrolü yapılacaktır.

Yukarıda temel özellikleri belirtilen kalıplarla günlük olarak segment imalatı yapılacaktır. Segment imalatı esnasında Teknik Şartname 1.15.8. maddesinde belirtilen kriterlere uyulacaktır ve 1.3. maddesinde belirtilen esaslara göre C45 beton temin edilecektir ya da üretilcektir. Çimento ile ilgili onaylı laboratuvar raporları, her sevkiyatla birlikte Müşavir'e sunulacaktır. Agregası sınıfları Teknik Şartname'nin 1.3.1.2. maddesine uygun olacaktır ve donatının paslanmasına ve betonun dayanımının bozulmasına neden olacak kil, yapışkan ve organik maddelerden arındırılmış olacaktır. Betonda, harç enjeksiyonunda ve kürlemede kullanılacak su muhteviyatı önceden Müşavir ve İdare'ye sunularak onay alınacaktır. Beton imalatında kullanılacak kimyasalların muhteviyatı ve oranları laboratuvar deneyleri vasıtasıyla belirlenecektir. Bu oranlar ve kimyasal tipleri, kullanım öncesi Müşavir ve İdare'ye sunularak onay alınacaktır. Beton ve donatı imalatı esnasında, Teknik Şartname 1.15.8.1.2 maddesinde belirtilen Türk Standartları ve ASTM Standartları takip edilecektir. Prekast segmentlerde kullanılacak olan donatı detayları, jeolojik analizin tamamlanması ve tünel üzerindeki statik yük ve yer altı suyu yükünün ortaya çıkmasının ardından projelendirilecektir. Tüm projelendirmeler ve daha sonra yerinde yapılacak uygulamalar esnasında, Teknik Şartname'nin 1.5.2.1. Maddesi gereği belirlenen çubuk donatılar kullanılacaktır ve minimum akma gerilmeleri ana donatı için 420 N/cm² – 220 N/cm²; etriyeler için 220 N/cm² olacaktır. Çizimlerde ve donatı listesinde aksi belirtilmedikçe fabrika yapımı kaynaklı çelik donatı, onaylanmış hazır donatı standardına uygun olacaktır ve soğuk çekilmiş çelikten standardına göre üretilmiş olacaktır ve Teknik Şartname'nin 1.5.2.2. Maddesine uygun olacaktır. Segmentlerde kullanılacak her bir donatı yapısı için ayrı ayrı olmak üzere, çizimler ve hesaplamalar yapılacaktır ve bunlar Müşavir ve İdare onayına sunulacaktır. Her yapı için bükme cetveli ve çubuk listesi hazırlanacaktır ve bu listelerin ve talep listelerinin bir kopyası, bükme işlemi öncesi Müşavir'e sunulacaktır. Düz çubukların kesilme ve bükülme işlemleri esnasında Teknik Şartname'nin 1.5.7.2 Maddesi esas alınacaktır ve kesim, büküm makinaları tedariki öncesi Müşavir'den onay alınacaktır. Donatıların segment kalıplarına yerleştirmeleri azami özenle yapılacaktır ve beton döküm ve priz alma süresi boyunca donatıların yerinden hareket etmemesi sağlanacaktır. Paspayı kullanımı Teknik Şartname'nin 1.5.8. maddesi gereğince olacaktır. Projelendirme işleri henüz devam etmekte olup, TBM/EPB tipi tünellerde kullanılacak segmentler ve bağlantı-geçiş hatlarındaki kullanılacak güçlendirilmiş segment donatıları ve daha sonra sökülerek NATM ile bağlantı galerilerinin açılmasına müsaade edecek olan su sızdırmaz ve kimyasal madde enjeksiyonuna uygun tertibatı bulunan çelik yapılar, kaçak akım ve katodik koruma bilgileriyle birlikte İdare ve Müşavir Teşkilatlarına sunularak onayları alınacaktır.

Yukarıdaki kriterlerde ve Teknik Şartname'nin 1.5.8. Maddesi doğrultusunda donatıları yerleştirilen ve dökümü gerçekleştirilen segmentler, 4 – 6 saat arasında bir süre boyunca mevsim sıcaklığına göre 45 – 55 C derece sıcaklıkta Teknik Şartname'nin 1.15.8.3.3. Maddesi gereğince buhar kürüne maruz tutulacaktır. Kürleme işlemi esnasında sıcaklık değişiminin saatte 20 C derecenin üzerine çıkmamasına ve kürleme işlemi sonlandırılmasında da soğuma hızının da saatte 20 C derece farkın üzerine çıkmamasına dikkat edilecektir. Dökümü yapılan betondan sürekli olarak 3 adet numune

alınacaktır ve bu numuneler laboratuarda deneylere tabi tutularak sonuçlar İdare ve Müşavir Teşkilatlarına sunulacaktır.

Buhar kürünün amacı betonun nakliye mukavemetine kısa sürede ulaştırılmasıdır ve kürden çıkarılan segmentler, kullanım öncesinde % 100 nisbi nem altında en az 28 gün dayanımına ulaşması için stoklama öncesi en az 5 gün süre ile rutubetli küre maruz bırakılacaktır. % 100 nisbi nem değerine ulaşmak için stok sahası öncesi bekletme sahasında çadır ile tamamen kapatılan ve sprinkler sistemi ile devamlı su püskürtmesi yapılan bir özel alan oluşturulacaktır ve kalıptan çıkan segmentler 5 gün boyunca bu özel alanda muhafaza edilecektir. Bu amaçla, kür sonrasında segmentler, zarar görmeyecek şekilde segment kalıplarından demontaj ve istif aparatlarıyla kalıp dışarısına alınacaktır ve azami 3 adet segment taşı, taş aralarına 10 cm x 10 cm ve en alttaki taşın altına 20 cm x 20 cm keresteler konularak betona zarar vermeden istiflenecek ve nem/stok sahalarına taşınacaktır.



Şekil 37: Kürden çıkmış segmentin kaldırma aparatıyla kalıptan alınması ve devirme aparatı

28 gün dayanımını tamamlayan segmentler, bu sürenin bitiminden sonra stok sahasından nakliye araçlarına yüklenerak TBM işletme şaftına sevk edilecektir. Yükleme, nakliye ve indirme sırasında segmentlere zarar verilmeyecek, hasar görmüş segmentler ayrılacak ve tünel içerisine alınmayacaktır. Segmentlere sızdırmaz conta yapıştırılması işlemi, yükleme, nakliye ve indirme işlemleri esnasında contaların zarar

görmemesi için işletme sahasında yapılacaktır. Segment sızdırmazlığını sağlayan contaların tedariki öncesi Teknik Şartname

1.15.8.1.2 Maddesinde belirtilen ASTM Standartlarına uyum belgeleri tedarik edilecektir ve contalara ait test yapılarak raporları alınacaktır ve bu raporlarda Teknik Şartnamenin 1.15.8.2.8.b maddesi gereğince malzeme kalitesi ve 1.15.8.2.8.c maddesi gereği sistem sızdırmazlık testlerinden geçen contalar kullanılacaktır; bütün test raporları İdare ve Müşavir Teşkilatlarına sunulacaktır. Conta yapıştırıcı kimyasal, contaya ve segment betonuna zarar vermeyecektir ve muhteviyatı İdare ve Müşavir Teşkilatlarına sunulularak onay alınacaktır.