İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTANBUL'DA AÇILACAK METRO TÜNELLERİNDE TBM (TÜNEL AÇMA MAKİNESİ) PERFORMANSINI TAHMİN ETMEK İÇİN YENİ BİR YAKLAŞIM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Levent TÜYSÜZ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nuh BİLGİN

ARALIK 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTANBUL'DA AÇILACAK METRO TÜNELLERİNDE TBM (TÜNEL AÇMA MAKİNESİ) PERFORMANSINI TAHMİN ETMEK İÇİN YENİ BİR YAKLAŞIM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Levent TÜYSÜZ

(505091018)

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nuh BİLGİN

ARALIK 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 505091018 numaralı Yüksek Lisans / Doktora Öğrencisi **Levent TÜYSÜZ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **" İSTANBUL'DA AÇILACAK METRO TÜNELLERİNDE TBM (TÜNEL AÇMA MAKİNESİ) PERFORMANSINI TAHMİN ETMEK İÇİN YENİ BİR YAKLAŞIM"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Nuh BİLGİN** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Doç. Dr. Cemal BALCI** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. İbrahim OCAK İstanbul Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : 17 Aralık 2012
Savunma Tarihi : 22 Ocak 2012

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın başlangıcından itibaren bilgi ve tecrübeleriyle her zaman yanımda olan, sabrı ve ilgisiyle bana büyük umut ve destek veren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Nuh BİLGİN'e,

Tünel çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen başta İnşaat Mühendisi Dr. Mücahit NAMLI olmak üzere, mensubu olduğum İstanbul Büyükşehir Belediyesi Raylı Sistem Daire Başkanlığı çalışanlarına, söz konusu işin yüklenicisi Doğuş İnşaat A.Ş. çalışanlarına, İTÜ Maden Mühendisliği yüksek lisans programından arkadaşlarım Maden Mühendisi Emrah ŞİMDİ ve Olgun ESEN'e

Tüm hayatım boyunca sabırlarını, yardımlarını maddi ve manevi anlamda esirgemeyen değerli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Aralık 2012

Levent TÜYSÜZ
Maden Mühendisi

İÇİNDEKİLER **Sayfa**

ÖNSÖZ……v
İÇİNDEKİLER ……....vii
KISALTMALAR……...ix
ÇİZELGE LİSTESİ……...xi
ŞEKİL LİSTESİ.....xiii
SEMBOL LİSTESİ.....xv
ÖZET.....xvii
SUMMARY.....xix
1. GİRİŞ 1
2. İŞİN KAPSAMI..... 3
2.1 Proje Bilgileri 3
2.2 Yapım Metodu 3
2.3 Yapılacak İşler 4
2.4 Projenin Amacı..... 4
3. JEOLOJİ..... 5
3.1 Bölgesel Jeoloji 5
3.2 Tünel Güzergahının Jeolojisi 9
3.3 Güzergah Boyunca Formasyonların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri 15
3.3.1 Trakya formasyonu 16
3.3.2 Tuzla formasyonu (kireçtaşı) 19
3.3.3 Tuzla formasyonu (kiltaşı-şeyl) 21
3.3.4 Kurtköy formasyonu 23
3.3.5 Gözdağ formasyonu 25
3.3.6 Dolayoba formasyonu 27
3.3.7 Sultanbeyli formasyonu 29
4. NATM TÜNEL KAZISI VE DESTEKLEME 31
4.1 Jeolojik Koşullar 31
4.2 İksa Önerileri..... 32
4.3 Kazı Yöntemi ve Aşamaları..... 34
4.3.1 Tünel kazısı yapılması 34
4.3.2 Havalandırma..... 35
4.3.3 Hafriyatın alınması..... 35
4.3.4 Çelik iksa montajı 36
4.3.5 Süren montajı 36
4.3.6 Püskürtme beton uygulaması 36
4.3.7 Hasır çelik uygulaması..... 38

4.3.8 Bulon uygulaması 38
4.3.9 Beton üretim ve nakli.....38
4.3.10 Tünelde Pvc membran ve geotekstil ile yalıtım imalatı 39
4.3.11 İnvert ve kemer kaplama beton dökümü.....39
5. TBM TÜNELİ YAPIM METODOLOJİSİ 41
5.1 Tünel Açma Makineleri Tanıtımı ve TBM Seçimi.....43
5.2 Tasarım Kriterleri.....43
5.3 Seçilen Pasa Basınç Dengeleyici Tünel Açma Makinelerinin Tanıtımı 46
5.4 İlk Kazı Başlama Sistemi.....49
5.4.1 Mevcut yapılar, servisler ve yeraltı tesisleri 50
5.4.2 Çalışma alanının hazırlanması 50
5.4.3 Açık kısım / tünel kesiminde ilk kazı başlama sistemi kurulması 51
5.4.4 Tünel delme bölümünün kendini aynaya doğru itmesi.....51
5.4.5 Kesici kafanın dönmesi ve pasanın alınması 51
5.4.6 Blok ve engellerin uzaklaştırılması.....53
5.4.7 Yön verme ve düzeltme sistemi.....53
5.4.8 Segment montajı 53
5.4.9 Enjeksiyon yapılması.....55
6. TBM KAZI METODOLOJİSİ..... 57
7. TBM PERFORMANS TAHMİNİ..... 59
7.1 Numerik Örnek: (SÇÜ-1 Sondajı için yapılan hesaplama).....61
8. SONUÇ VE ÖNERİLER..... 69
KAYNAKLAR 71
EKLER..... 73
ÖZGEÇMİŞ..... 101

KISALTMALAR

EPB : Earth Pressure Balance
NATM : New Austrian Tunneling Method
RQD : Rock Quality Designation
SE : Specific Energy
SPT : Standard Penetration Test
TBM : Tunnel Boring Machine
UCS : Unaxial Compressive Strength
UUC : Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy Metro Hattı
NPR : Net Production Rate
GSI : Geological Strength Index
RMR : Rock Mass Rating
YASS : Yeraltı Su Seviyesi

ÇİZELGE LİSTESİ **sayfa**

Çizelge 2.1 : Güzergah boyunca fayın konumu.....14
Çizelge 3.1 : Trakya formasyonu için mühendislik özellikleri.....16
Çizelge 3.2 : Tuzla formasyonu (kireçtaşı) için mühendislik özellikleri.....19
Çizelge 3.3 : Tuzla formasyonu (kiltaşı-şeyl) için mühendislik özellikleri.....21
Çizelge 3.4 : Kurtköy formasyonu için mühendislik özellikleri 23
Çizelge 3.5 : Gözdağ formasyonu için mühendislik özellikleri.....25
Çizelge 3.6 : Dolayoba formasyonu için mühendislik özellikleri.....27
Çizelge 3.7 : Sultanbeyli formasyonu için mühendislik özellikleri.....29
Çizelge 5.1 : TBM'in teknik özellikleri 42
Çizelge 6.1 : TBM'in güzergah boyunca çalışacağı noktalar.....58
Çizelge 7.1 : Makinenin kazı sırasındaki gecikmeleri.....60
Çizelge 7.2 : Ümraniye-Çarşı arasında TBM performans tahmini.....61
Çizelge 7.3 : Ümraniye-Çarşı arasında tahmin edilen TBM faydalanma oranı.....63
Çizelge 7.4 : TBM'in kazı sürecinin modellenmesi.....68
Çizelge A.1 : Trakya formasyonuna ait sondajlardan alınan sonuçlar.....74
Çizelge A.2 : Tuzla formasyonuna (kireçtaşı) ait sondajlardan alınan sonuçlar.....76
Çizelge A.3 : Tuzla formasyonuna (kiltaşı-şeyl) ait sondajlardan alınan sonuçlar.....77
Çizelge A.4 : Kurtköy formasyonuna ait sondajlardan alınan sonuçlar.....78
Çizelge A.5 : Gözdağ formasyonuna ait sondajlardan alınan sonuçlar.....80
Çizelge A.6 : Dolayoba formasyonuna ait sondajlardan alınan sonuçlar.....82
Çizelge A.7 : Sultanbeyli formasyonuna ait sondajlardan alınan sonuçlar.....84
Çizelge B.1 : TBM performans tahmini..(Ümraniye-Çarşı).....85
Çizelge B.2 : TBM performans tahmini..(Çarşı-Libadiye).....86
Çizelge B.3 : TBM performans tahmini..(Libadiye -Kısıklı).....87
Çizelge B.4 : TBM performans tahmini....(Kısıklı -Altunizade).....88
Çizelge B.5 : TBM performans tahmini..(Altunizade -Bağlarbaşı).....89
Çizelge B.6 : TBM performans tahmini... (Bağlarbaşı- Fıstıkağacı).....90
Çizelge B.7 : TBM performans tahmini ..(Fıstıkağacı -Üsküdar).....91
Çizelge B.8 : TBM performans tahmini...(Dudullu- Lise).....92
Çizelge B.9 : TBM performans tahmini...(Lise -Altınşehir).....93
Çizelge B.10 : TBM performans tahmini..(Altınşehir -Ihlamurkuyu).....94
Çizelge B.11 : TBM performans tahmini...(Ihlamurkuyu - Çakmak).....95
Çizelge C.1 : Ümraniye-Çarşı İstasyonları arasında TBM'den tahmini faydalanma oranı.....96
Çizelge C.2 : Çarşı-Libadiye İstasyonları arasında TBM'den tahmini faydalanma oranı.....96

Çizelge C.3 : Libadiye – Kısıklı İstasyonları arasında TBM'den tahmini faydalanma oranı.....96

Çizelge C.4 : Kısıklı – Altunizade istasyonları arasında TBM'den tahmini faydalanma oranı.....97
Çizelge C.5 : Altunizade - Bağlarbaşı istasyonları arasında TBM'den tahmini faydalanma oranı.....97
Çizelge C.6 : Bağlarbaşı - Fıstıkağacı istasyonları arasında TBM'den tahmini faydalanma oranı.....97
Çizelge C.7 : Fıstıkağacı – Üsküdar istasyonları arasında TBM'den tahmini faydalanma oranı.....98
Çizelge C.8 : Dudullu – Lise istasyonları arasında TBM'den tahmini faydalanma oranı.....98
Çizelge C.9 : Lise - Altınşehir istasyonları arasında TBM'den tahmini faydalanma oranı.....98
Çizelge C.10 : Altınşehir – Ihlamurkuyu istasyonları arasında TBM'den tahmini faydalanma oranı.....99
Çizelge C.11 : Ihlamurkuyu - Çakmak istasyonları arasında TBM'den faydalanma oranı.....99

ŞEKİL LİSTESİ **sayfa**

Şekil 2.1 : Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy metrosu güzergahı. 4
Şekil 3.1 : İstanbul ve dolayının genelleştirilmiş stratigrafi kesiti 8
Şekil 3.2 : Trakya formasyonu için RQD grafiği. 17
Şekil 3.3 : Trakya formasyonu için GSI grafiği. 18
Şekil 3.4 : Tuzla formasyonu (kireçtaşı) RQD grafiği. 20
Şekil 3.5 : Tuzla formasyonu (kireçtaşı) GSI grafiği. 20
Şekil 3.6 : Tuzla formasyonu (kiltaşı-şeyl) RQD grafiği. 22
Şekil 3.7 : Tuzla formasyonu (kiltaşı-şeyl) GSI grafiği. 22
Şekil 3.8 : Kurtköy formasyonu RQD grafiği. 24
Şekil 3.9 : Kurtköy formasyonu GSI grafiği. 24
Şekil 3.10 : Gözdağ formasyonu RQD grafiği. 26
Şekil 3.11 : Gözdağ formasyonu GSI grafiği. 26
Şekil 3.12 : Dolayoba formasyonu RQD grafiği. 28
Şekil 3.13 : Dolayoba formasyonu GSI grafiği 28
Şekil 4.1 : Bulon uygulaması. 32
Şekil 4.2 : Çelik hasır- iksa - püskürtme beton uygulaması. 33
Şekil 4.3 : Kademeli kazı (NATM). 34
Şekil 5.1 : Kullanılacak EPB/TBM. 41
Şekil 5.2 : TBM iç kesit görünüşü. 44
Şekil 5.3 : Vidalı konveyör. 47
Şekil 5.4 : Gantry ünitesi. 48
Şekil 5.5 : TBM' in ilk kazıya başlayacağı Ümraniye şaftına indirilmesi. 50
Şekil 5.6 : TBM itme silindirleri. 51
Şekil 5.7 : Tünel içi konveyör sistemi. 52
Şekil 5.8 : Konveyör kaseti. 52
Şekil 5.9 : Segment montajı planı. 54
Şekil 5.10: 1 ringe montaj yapılacak segment takımı. 55
Şekil 7.1 : Laboratuvarda elde edilen optimum spesifik enerji değeri ile basınç dayanımı arasındaki ilişki 62
Şekil 7.2 : Gecikmeler dahil edildiğinde elde edilen tahmini performans grafiği. ... 64
Şekil 7.3 : TBM'in kazı yaptığı süre için elde edilen tahmini performans grafiği. .. 65
Şekil 7.4 : İstasyonlar arasıdaki tahmini günlük ilerleme 65
Şekil 7.5 : İstasyonlar arasındaki tahmini günlük ilerlemeler. 66
Şekil 7.6 : İstasonlar arasında TBM'in tahmini kazı süresi 67

SEMBOL LİSTESİ

C : Kohezyon

φ : İçsel sürtünme açısı

σb,k : Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Ek : Elastisite Modülü

Em : Menard Modülü

v : Poisson Oranı

p : Permeabilite

ɣ : Doğal Birim Hacim Ağırlık

n : Porozite

SE : Spesifik Enerji

Net SE : Düzeltilmiş Spesifik Enerji

İSTANBUL'DA AÇILACAK METRO TÜNELLERİNDE TBM (TÜNEL AÇMA MAKİNESİ) PERFORMANSINI TAHMİN ETMEK İÇİN YENİ BİR YAKLAŞIM

ÖZET

Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy-Sancaktepe Metro Projesi 17 km uzunluğunda iki hattan oluşmaktadır. İşvereni İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Yüklenicisi Doğuş İnşaat Şirketi olan bu projenin 38 ayda bitirilmesi planlanmaktadır. Jeoloji kumtaşı, arkozik kumtaşı çamurtaşı, silttaşı, şeyl, kireçtaşı, andezit ve kuvarsitik konglomeradan oluşmaktadır. Sık sık andezit dayklarıyla kesilen jeolojik birimler özellikle kırıklı çatlaklı geçiş zonlarına sahiptir. Nüfus yoğunluğunun fazla olduğu güzergah üzerinde örtü kalınlığı 10-80 metre arasında değişmektedir. Bazı bölgelerde eski su kuyularının varlığı tahmin edilmekte ve bu su kuyularının belirgin bir şekilde yeryüzü oturmalarına sebep olabileceği öngörülmektedir.. Üsküdar İstasyonu kazısı, deniz seviyesinin altında yapılacaktır. Üsküdar istasyonunda arkeolojik kazıların olması beklenmektedir, arkeolojik kazılar nedeniyle istasyonun inşaat süresini uzatabilir. Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy-Sancaktepe Metro Projesi, Marmaray Projesi ile Üsküdar istasyonunda entegre olmaktadır, yolcular Üsküdar istasyonunda diğer metro hattına geçiş yapabilecektir.

Toplam 16 istasyon, 17 km lik anahat tüneli ve 2.5 km lik depo hattı bağlantı tünelinden oluşan bu projede anahat tünellerinin yaklaşık %80'inin kazısı (9166 m) TBM ile yapılacaktır.

Daha önce Kadıköy-Kartal Metro Projesinde kullanılan 6,57 metre çapındaki iki TBM, tünel kazısına hazır hale getirilmek üzere bakım ve onarım çalışmaları yapılmış ve yenilenmiştir.

EPB-TBM'ler ile zemin kazılarındayeryüzü oturmalarının önüne geçebilmek için kazı aynasına basınç vermek için köpük ve polimer püskürtülerek kazılan pasa ile karışması sağlanır. Bu karışımın kazıhaznesinden vidalı konveyör ile alınma hızıve kazı hızı arasındaki denge kontrol edilerek, arazi ve su basınçlarını karşılamak-dengede tutabilmek ve dolayısı ile stabil bir kazı aynası temin etmek için kazı aynasına basınç verilir. Sert kaya formasyonlarda ise,bu makineler açık modda, diğer bir değişle kazı aynasına herhangi bir basınç vermeden kullanılabilmektedirler.

Güzergahta fayların ve daykların varlığı, formasyonun sürekli değişmesi kazı gecikmelerine sebep olmaktadır. Güzergahın binaların yerleşim yerlerinin altında olması nedeniyle TBM EPM modunda çalışacaktır, Libadiye-Kısıklı arasındaki iri taneli çakıl kayacında (konglomera) basınçsız (Open mode) çalışması uygun görülmektedir.

Bu çalışma özetle, TBM kazısında kritik bölgeleri tanımlayan ve önceki çalışmalardan toplanan verileri esas alan TBM performansı tahmin metodolojisini ortaya koymaktadır. Bu metodolojide güzergah üzerindeki sondajların jeomekanik özelliklerini tek eksenli basınç dayanımı ve kaya kalite oranının belirlenmesiyle kaya yapısına ve formasyona göre spesifik enerjisi hesaplanmış TBM'in pasa basıçlı ya da açık modda çalışabilirliğini ve tahmini kazı süresi belirlenmiştir.

A METHODOLOGY OF USING PAST EXPERIENCES IN THE PERFORMANCE PREDICTION OF A TBM IN ISTANBUL METRO TUNNELS

SUMMARY

Uskudar-Umraniye–Cekmekoy- Sancaktepe Metro Project consists of 17 km two tubes line and 2.5 km connection tunnels between metro line and maintenance area. This project is recently commissioned to Dogus Construction Company by Istanbul Metropolitan Municipality Authorities and it is intended to finish in 38 months.

Geology of location is named by " Istanbul Group", Ordovician and Carboniferous with some sedimentary formations.

Carboniferous, Devonian, Ordovician (Devonian and Silurian) aged rock formations will be excavated through Metro tunnel line. From weak to very hard and from non abrasive to very abrasive rocks having different degrees of geological discontinuities will be passed.

The geology of Paleozoic aged is highly complex consisting of sandstone, arcosic sandstone mudstone, siltstone, shale, limestone, andesite, and quartzitic conglomerate. The geologic units are frequently cut by andesite dykes having significantly fractured contact zones. In more than 20 locations the contact zones are the potential weak areas liable to face collapses. Geological cross section between changes 4+000 and 6+500m is typical example to the complexity of the geology clearly identifying risk factors as explained in the coming sections. The geologic formations are frequently cut with andezite and diabaze dykes. The area is highly populated, and the overburden changes between 10-80 m and old buildings situated above the tunnel lines are one of the most important risks to be encountered during tunnel exaction. It is predicted that in some areas it is likely that some ancient water wells exist which may cause some severe settlement problems.

There are sixteen metro stations (Uskudar-Fıstıkagacı-Baglarbası-Altunizade-Kısıklı-Libadiye-Carsi-Umraniye-Inkılap-Cakmak-Ihlamurkuyu-Altınsehir-Lise-Dudullu-Toplu Konutlar-Cekmekoy) in this project and three of these stations are (Uskudar, Dudullu, Cekmekoy) will be excavated by cut-cover construction method. Also crossover tunnels nearby of in these stations will be excavated by this method. Uskudar station will be excavated under sea level. Length of the passenger platform and crossover tunnels, excavated cut-cover construction method is around 1350 meters. The other passenger platform and crossover tunnels will be excavated by New Austrian Tunneling Method and length of these tunnels is around 6700 meters.

Also connection tunnels between metro line and maintenance area will be excavated by New Austrian Tunneling Method. Passenger platform and cross tunnels excavation must be finished before TBMs arrived to these areas. TBMs will excavate 9166 meters of tunnels between 12 metro stations. First TBMs will start from Umraniye station and will arive Uskudar and then TBMs will be located to the Dudullu station to excavate through Cakmak station passenger platform tunnels.

Two TBMs having diameters of 6.57 m already used in Kadikoy-Kartal metro tunnels are refurbished for the tunnel excavations. 100 meters distance must be between two TBMs to prevent tunnels deformation. If one of TBMs which is in advance stops excavating, the other one may carry on excavating the tunnel.

Uskudar-Umraniye-Cekmekoy Metro Line having a length of 20km will be excavated in a challenging geology. The project is intended to finish in 38 months .Performance prediction of a EPB TBM and risk analysis is a primary concern. Different TBM performance prediction methods are used in the past, like full scale linear cutting tests method and empirical methods. However none of them is applicable for EPB TBM s working in urban areas in challenging geology. In this work a model based on past experience obtained in Istanbul with TBM excavation will be used.

This model was discussed in the paper presented by Bilgin at all in Eurock 2012 in Stockholm. The methodology is briefly given steps to be taken to find net advance rate or production rates, using the mean uniaxial compressive strength of the rock formation

In this study, the equation given by Bilgin at all has been used to estimate optimum specific energy. A brief summary of the results obtained for metro tunnels with corresponding geological profile SE is specific energy in kWh/m3 and UCS is uniaxial compressive strength in MPa.

If the rock is coarse grained (like arcose, sandstone, conglomerate etc.), specific energy must be increased around 35%.

If the rock mass is fractured, based on RQD, a reduction factor in specific energy values must be used as follows; if RQD is between70-100 (%) no change in specific energy (rock mass behaves as massive rock) is needed. If RQD is between 50-70 (%), specific energy must be decreased by around 15%. If RQD is between 30-50(%) a reduction in specific energy should be around 30%. If RQD is under 20 (%) , specific energy should be reduced by around 40% (risk of face-roof collapses).

If EPB TBM is used, multiply the estimated specific energy by 1.8.

Specific energy is the energy spent to excavate a unit volume of rock and it is one of the most important factors in determining the efficiency of rock excavation and it may be used to estimate net or instantaneous production rate of a mechanical excavator.

In general TBMs will be used in EPB Mode, however between Kısıklı-Libadiye TBM will be used in open mode due to geologic necessities where the rock is conglomerate as a coarse grained rock.

This study describes briefly the methodology based on the accumulated data from previous experiences to identify critical zones for TBM excavation. It is believed that

the concept behind of proposed methodology will serve a sound basis for decision making for similar projects coming very soon.

In this methodology, the data collected from drilling holes, was analyzed. This analysis contains geomechanical properties of the geological rock formation along the project route. Unaxial compressive strength, rock quality designation and adequate specific energy according to each rock formation were determined. In the light of this information, TBM working method (EPB-OPEN) predicted from excavation time, have been estimated.

Specific energy is the energy spent to excavate a unit volume of rock and it is one of the most important factors in determining the efficiency of rock excavation and it may be used to estimate net or instantaneous production rate of a mechanical excavator. According to the model developed specially for the geological conditions found in Istanbul, specific energy is calculated from Uniaxial compressive strength of the rock representing the geologic formation. As a summary, the performance of TBM is estimated as for RQD 24 (%), σc: 32 MPa, net SEi s calculated as 5.43 kWh/m^3, production rate is calculated as 100 m^3 / h, daily net Production is calculated as 2015 m^3/day, TBM utilization rate is estimated from performance tables as (%): 35, daily net production rate is calculated as 723 m^3/day. In this conditions, excavation time is predicted as 472 days, delays and stoppages is estimated as 394 days. Total excavation time with stoppages time is calculated as 866 days, with a mean daily advance rate of 10.50 m/day.

1. GİRİŞ

Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy Metro Hattı, Üsküdar Bölgesi ile İstanbul' un doğu civarında bulunan Ümraniye ve Çekmeköy İlçeleri' ni birbirine bağlayan bir toplu taşıma demiryolu sistemi projesidir.

Proje, 17 km uzunluğunda çift hatlı tünelden oluşan ana hattın, toplam 16 yeraltı istasyasyonun, depo alanına ulaşım tünelinin ve depo alanının hafriyatını içermektedir. Projenin gerçekleştirileceği oldukça yoğun kentsel ortamın şöyle farkına varılabilir: Tünel güzergahı binaların, hassas yapıların altından geçecektir ve istasyonlar Aç-Kapa yöntemi ve geleneksel yöntemler ile inşa edilecektir. Kazı işleri süresince tünelleme etkilerini ve yüzeyde gözlemlenebilecek oturma problemlerini en aza indirgemek için azami dikkat harcanmalıdır.

Bu projede anahat tünellerinin 9166 metresinin kazısı Tünel Açma Makinesi (Tunnel Boring Machine, EPB/TBM) ile yapılacaktır. Karmaşık bir jeolojisi olan bu projede büyük bir kısımda TBM'in EPB modunda çalışması daha etkili ve faydalı olacaktır.

Yüklenici firma 07.03.2012 tarihinde işi teslim almış olup sözleşmeye göre bu proje 38 ayda bitecek ve işletmeye açılacaktır. Bu nedenle inşaat işlerinin çok daha kısa sürede bitirilmesi gerekmektedir. Anahat tünellerinin %80'i TBM ile yapılacağından, bu makinelerin seçimi, perfonması ve çalışma şekli bu projenin zamanında bitirilmesi için çok önemlidir. Bu tez çalışmasında, Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy Metro Hattı güzergahında yapılan 80 adet sondaj sonuçları ve bölgesel jeoloji doğrultusunda bu yöntem ile yapılacak anahat tünellerindeki günlük ilerlemeleri ve projenin ne kadar sürede bitirileceğini tahmin eden hesap metodolojisi belirlenmiştir.

2. İŞİN KAPSAMI

2.1 Proje Bilgileri

İşvereni İstanbul Büyükşehir Belediyesi Raylı Sistem Daire Başkanlığı Anadolu Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü, Yüklenicisi Doğuş İnşaat Ve Ticaret A.Ş. olan projenin başlangıç tarihi 07.03.2012'dir. İşin bitiş süresi 38 ay olarak belirlenmiştir.

2.2 Yapım Metodu

Proje konusu iş, Üsküdar meydanına yapılacak olan Üsküdar istasyonundan başlayarak, 17 km'lik güzergahta Pasa Basınç Dengeleyici Tünel Açma Makinesi (Earth Pressure Balance / Tunnel Boring Machine, EPB/TBM) ve Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM) tekniğiyle gerçekleştirilecek tüneller ile Çekmeköy İstasyonuna ulaşmaktadır. Ayrıca ana güzergahtan Dudullu mevkiinde sapılarak, 2,7 km'lik tünel bağlantı hattı ile Depo Sahası / Bakım ve Kontrol Merkezine erişim sağlanmaktadır.

Yapılacak işler, raylı sistem hattının (Km:-0+311 ile Km: 16+919 arası ana hat ve 2,7 km'lik depo tünel bağlantı hattı), 16 istasyonun ve Depo Sahası ile Bakım ve Kontrol Merkezi'nin inşaat işlerini, ince işlerini,giriş-çıkış yapılarını, demiryolu işlerini, elektrik temini ve dağıtımını, sinyalizasyonu, kontrol haberleşmeyi, yardımcı tesisleri, yürüyen merdivenleri, yürüyen bantları, asansörleri, çevresel kontrolü, depo sahasında ve Dudullu (Yedek Kontrol Merkezi) istasyonunda trafik kumanda merkezi kurulmasını ve donanımın temini ile ilgili bütün sistem için ve sistemin parçaları için sistemin asgari bakım gerektirecek şekilde tasarım hizmetlerini, yapım, temin, montaj, test etme ve işletmeye alma işleri ile sistemle ilgili 24 ay süreli işletme ve bakım gözetimi hizmeti verilmesini, işletme ve bakım el kitaplarının hazırlanmasını, 2 yıllık yedek parça ve sarf malzemeleri ile özel alet ve teçhizatların teminini, eğitimlerin iş başında ve yurt dışında verilmesini kapsamaktadır.

2.3 Yapılacak İşler

1. Uygulama Projeleri

2. İstasyonlar

Üsküdar , Fıstıkağacı , Bağlarbaşı, Altunizade, Kısıklı, Libadiye, Çarşı , Ümraniye, Inkilap,Çakmak, Ihlamurkuyu, Altınşehir, Lise, Dudullu, Toplu Konutlar, Çekmeköy

3. Araç Bakım ve Depo Sahası

4.TBM ile Üsküdar-Dudullu arası Tünel Yapımı

5. NATM ile Dudullu-Çekmeköy ve Dudullu-Depo Sahası araları Tünel Yapımı

5. Elektromekanik ve Demiryolu İşleri

2.4 Projenin Amacı

Özetle, bu proje entegrasyon adına çok önemlidir. Bu proje bitişiyle birlikte İstanbul Anadolu Yakasında Kadıköy-Kartal Metrosundan sonra ikinci bir metro hattı olup bölgedeki yoğunluğa cevap verecek ve trafik sorununa da çözün bulacaktır. Ayrıca Üsküdar İstasyonunda Marmaray Metro Hattına entegre olmasıyla da yolcu hem Avrupa Yakasına hem de Kadıköy-Kartal Metro Hattı ile Kartal'a kadar ulaşabilecektir. Üsküdar İstasyonu bu bakımdan merkez konumdadır. Üsküdar gibi Dudullu İstasyonu da bu proje de önemli bir yer tutmaktadır. Yapılması planlanan Dudullu-Bostancı Metro Hattı ile Dudullu İstasyonundan Kadıköy-Kartal Metro Hattında Bostancı İstasyonuna ulaşmak çok daha kısa sürede mümkün olacaktır. Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy Metro Hattı tamamlandığında Çekmeköy'den yolculuk süreleri şu şekildedir.

Üsküdar - 24 dk, Kartal -59 dk, Yenikapı-36 dk, Taksim-44 dk, Hacıosman-68 dk, Havalimanı-68 dk, Olimpiyat Stadı-78 dk olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.1: Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy metrosu güzergahı.

3. JEOLOJİ

3.1 Bölgesel Jeoloji

Bu çalışmada İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü tarafından Özgül ve diğ. (2005) ‘e yaptırılmış olan “İstanbul İl Alanının Genel Jeoloji Özellikleri” isimli çalışmada kullanılan formasyon adlamalarına bağlı kalınmıştır.

İstanbul’un Asya yakasının stratigrafik istifi çoğunlukla “İstanbul Grubu” adı ile de bilinen İstanbul Paleozoyik istifi ile onun üzerinde yer yer görülen Triyas ve Tersiyer çökellerden oluşmaktadır. Dere içlerinde yer alan alüvyonlar ile yamaç molozları ve dolgular ise en genç jeolojik harita birimleridir.

“İstanbul Grubu” Ordovisiyen ile Karbonifer arası dönemde gelişmiş çökelleri kapsar. Tabanı görülmeyen, üstte Triyas ve daha genç birimler tarafından uyumsuzlukla örtülen grubun alt kesimleri daha çok İstanbul Boğazı’nın doğu yakasında, daha genç kesimleri ise batıya doğru yüzeyler. Boğazın batı yakasında ise, Karbonifer birimleri egemendir.

İstanbul Grubu kalınlığı birkaç bin metreyi bulan kalın bir çökel istifi halindedir. Bu kalın çökel istifi içerisinde formasyon mertebesinde birçok litostratigrafik birim ayrılmış ve adlanmıştır.

Geçmişte “Kocaeli Yarımadası Paleozoyik İstifi” olarak tanımlanan, günümüzde ise “İstanbul Birliği/Gurubu” olarak adlandırılan ve İstanbul çevresi için jeolojik temel niteliğindeki Alt Ordovisiyen-Üst Karbonifer (Paleozoyik) yaşlı kesintisiz-transgresif sedimanter istif, farklı bölgelerde farklı yaş ve özellikli oluşuklar tarafından açılı uyumsuzlukla örtülmüştür. İstanbul çevresinde, doğuda Gebze’den batıda Çatalca’ya ve kuzeyde Karadeniz’den güneyde Marmara Denizi ‘ne kadar uzanan alanda, Paleozoyik yaşlı oluşuklar yaygın olarak yüzeylenir ve daha genç yaştaki farklı oluşuklar için temeli oluştururlar.

İleri derecede kıvrımlı (devrik, yatık ve kıvrımlanmış kıvrım yapıları), kırıklı (normal, doğrultu, tersve bindirme fayları) Paleozoyik yaşlı "temel" özelliğindeki istiflenme, Anadolu Yakası 'nda Triyas ve Üst Kretase yaşlı istiflenmeler ile örtülür. Kuzeyde ise, Karadeniz kıyı çizgisine koşut hat boyunca, Paleozoyik temel üzerinde açılı uyumsuzluk ile bulunan Triyas yaşlı istifle birlikte Üst Kretase yaşlı birimler üzerine bindirdikleri de bilinmektedir.

"İstanbul Grubu" en altta mor-kızıl rengi ile karakteristik, 3000 m 'den fazla kalınlıkta, tabanı görülmeyen (olasılıkla Pre-Kambriyen üzerinde), başlıca mor-eflatun renkli, kil, mil, kum ve çakıl boyutunda arkoz bileşimli kırıntılı kayalardan oluşan Kurtköy Formasyonu (Alt Ordovisiyen) ile başlar (Kaya, 1978; Önalan, 1981). İstifin alt kesiminde kumtaşı ara katkılı, ince laminalı kiltaşı-miltaşı, üst kesiminde ise değişik boyutlarda çakıltaşı mercek ve ara düzeylerini kapsayan, kiltaşı- miltaşı ara katkılı kaba kumtaşı egemendir. Üste doğru uyumlu olarak plaj-kıyı ortamında depolanmış Aydos Formasyonu'nun (Alt Ordovisiyen) kirli beyaz renkli, çapraz tabakalı, çakıltaşı-kumtaşı ardalanmalı kuvarsarenit seviyeleri gelir (Kaya, 1978; Önalan, 1981). İstanbul'un özellikle Anadolu yakasındaki başlıca dağlık alanlarını ve büyük tepelerini (Küçük ve Büyük Çamlıca, Aydos vb) oluşturur. Transgresyon ile birlikte istiflenme üste doğru uyumlu olarak, lagün-sığ denizel ortam ürünü, kiltaşı-kumtaşı-silttaşı ardalanmasından oluşan ve yer yer gri-grimsi yeşil renkli laminalı çamurtaşları ile de temsil edilen Gözdağ Formasyonu'na (Üst Ordovisiyen-Alt Silüriyen) geçer. Bu oluşukların bazı alanlarda taş yapıcı bileşenlerinin baskın olarak silis olması nedeni ile "silisli şeyl" olarak da tanımlandıkları bilinir (Önalan, 1981).

Gözdağ Formasyonu üstüne yanal-düşey geçişli olarak resif ortamında depolanmış, genelde bol makro fosilli, masif-kalın tabakalı kireçtaşlarından kurulu, Dolayoba Formasyonu (Üst Silüriyen-Alt Devoniyen) gelmektedir (Önalan 1982). Özgül ve diğ. (2005) bu kireçtaşı seviyelerini Pelitli Formasyonu 'nun Dolayoba Kireçtaşı Üyesi olarak tanımlamaktadır.

Üste doğru derinleşen denizel ortam koşullarında başlangıçta açık kahve-gri renkli, fosilli-laminalı çamurtaşları ve üste doğru kireçtaşı ile ardalanmalı ve kireçtaşının egemen olduğu Kartal Formasyonu 'na (Orta Devoniyen) geçer. Bu istiflenmenin de üzerine derin denizel koşullarda depolanmış, yumrulu kireçtaşlarından (laminalı

çamurtaşı-kireçtaşı ardalanması) oluşan Tuzla Formasyonu (Üst Devoniyen) gelir. İstiflenme, siyah renkli-laminalı, fosfat yumrulu radyolaritli çörtlerden oluşan Baltalimanı Formasyonu (Alt Karbonifer) (Kaya , 1971) ile devam eder.

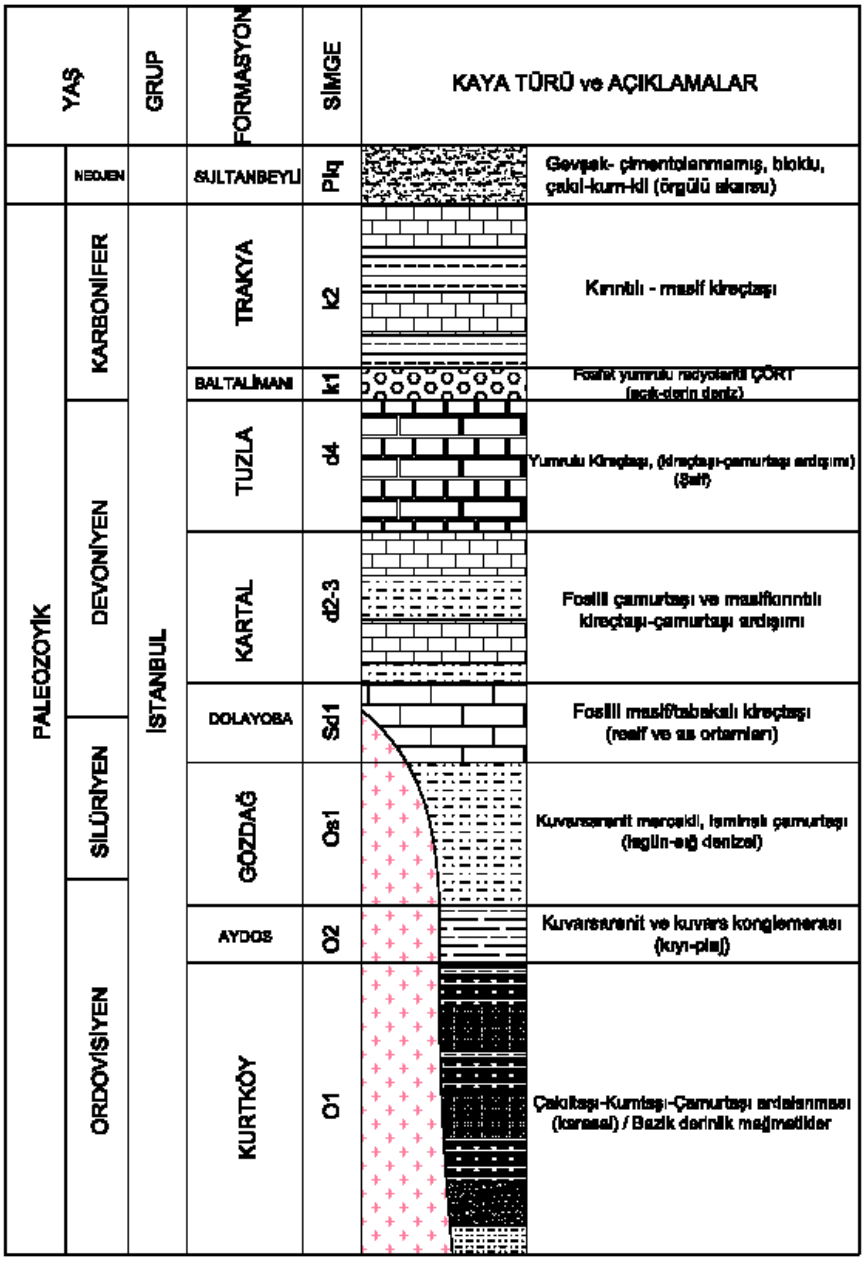
İstanbul Grubu istiflenmesini oluşturan Paleozoyik istiflenmenin en üstünde uyumlu olarakbulunan ve yer yer 2500 m kalınlıklara ulaşan, gri renkli, laminalı çamurtaşı-kumtaşı-kiltaşı-silttaşıardalanmasından oluşan Trakya Formasyonu (Alt–Orta Karbonifer) (Kaya, 1971) ile son bulur. İstanbul ‘un her iki yakasında da yaygınca gözlenir. Trakya Formasyonu içinde ara düzey ve bantlar şeklinde, kırıntılı kireçtaşları bazı bölgelerde görülürler .

Özellikle geçmişteki bazı çalışmalarda, siyah renkli masif-laminalı ya da kırıntılı kireçtaşlarından kurulu “Cebeciköy Formasyonu” olarak tanımlanmış (Kaya, 1971) oluşuklar, bazı araştırmacılar tarafından (Özgül, 2005) Trakya Formasyonu ‘nun içinde sınırlı sayıda mercek ya da ara katkılar halinde yer aldığını savunur.

Karbonifer-Permiyen aralığında etkin olan tektonik hareketlere bağlı olarak, Sancaktepe Graniti (Permiyen) ile temsil edilen mağmatik sokulumlar gelişmiştir. Üst Kretase yaşlı "Çavuşbaşı Granodiyoriti"nin ise Tetis Okyanusu'nun kapanması sürecinde etkin olmuş ada yayı volkanizması ile ilişkili derinlik kayası olduğu tezi kabul görmektedir.

İstanbul'un Anadolu yakasında Ömerli beldesi ve Ömerli barajını çevreleyen geniş bir alandayüzeyleyen kil, kum ve çakıl birikintileri, “Ömerli Formasyonu” olarak adlandırılmaktadır (Gedik ve diğ. 2002). Ömerli Formasyonu, boyutları ve biçimleri yerden yere değişen kil, kum, çakıl birikintilerinden oluşur. Son yapılmış çalışmalarda "Meşetepesi Üyesi", "Kayalıtepe Üyesi" ve "Sultanbeyli Üyesi " olmak üzere 3 üyeye ayırtlanmıştır (Özgül, 2005). Ömerli Formasyonu 'nun Trakya Yarımadası ‘ndaki Danişmen Formasyonu ile eş tutulabileceğini belirtmektedir. Aynı seviye İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü ‘nce yaptırılmış olan Anadolu Yakası Mikro Bölgeleme Çalışması kapsamında Sultanbeyli Formasyonu-Dudullu Üyesi (Miyosen-Pliyosen) olarak ayırtlanmıştır. Bu çalışmada söz konusu adlamaya bağlı kalınmıştır. Bölgesel ölçekte Genelleştirilmiş Stratigrafi Kesiti Şekil. 3.1‘de verilmiştir.

Genelde N-S ve E-W gidişli, etkin-yaygın gelişmiş bindirme faylarının varlığı, Mesozoyik ve Senozoyik dönemi havzalaşmalar, İstanbul ve çevresinin en az iki kez sıkışma ve en az üç kez gerilme tektonik rejimleri etkisinde kaldığının göstergeleridir. Diğer bir deyiş ile özellikle Paleozoyik yaşlı istiflenmenin sıkça kıvrımlı-kırıklı yapısal karakteri bu tektonik geçmişi yansıtır.



Şekil 3.1: İstanbul ve dolayının genelleştirilmiş stratigrafi kesiti (Özgül, 2005).

3.2 Tünel Güzergahının Jeolojisi

Üsküdar Ümraniye Çekmeköy Metro projesi kapsamındaki güzergah boyunca ele alınan çalışma alanında İstanbul Paleozoyik istifini oluşturan başlıca formasyonlar, alüvyon ve suni dolgular ile andezit sokulumları gözlenmektedir.

Proje sahasının ilk kesimi boyunca, Üsküdar İstasyonu ve buna komşu Makas Bölgesi çakıllı killi kumdan oluşan alüvyon tabakasının ve dolgunun içine inşa edilecektir. Bunun yanı sıra Bağlarbaşı İstasyonuna değin hakim bir alanda Trakya Formasyonunun karakteristik yapısı olarak sarı- kahve renkli şeylli kiltaşı kumtaşı ardalanması gözlenmektedir. Çalışma kapsamında Üsküdar İstasyonu ile Fıstıkağacı İstasyonu arasını kapsayan kesimde yapılmış olan tüm sondaj kuyularında Trakya Formasyonu ‘na ait litolojik seviyeler geçilmiştir. Geçilen litolojik seviyelerin Trakya Formasyonu ‘nun Acıbadem Üyesi ‘ne ait olduğu tahmin edilmektedir.

Sondajlarda geçilen Trakya Formasyonu litolojileri kumtaşı-kiltaşı-silltaşı litolojileridir. Kumtaşı litolojisi üst seviyelerinde orta derecede-çok ayrışmış olup, sarımsı kahverengi renklidir. Bol mika pulu içerir. Çok sık eklemli ve parçalı süreksizlikler egemendir. Süreksizlik yüzeyleri FeO boyalı ve kil dolguludur. Ayrışma bu yüzeyler boyunca belirgindir. Zayıf dayanımlıdır. Alt seviyelerde ise az-orta derecede ayrışmıştır. Bu seviyelede gri-mavimsi-kahverengimsi gri renklidir. Sık eklemlidir. Süreksizlik yüzeyleri düzlemsel-pürüzlü olup genellikle kil sıvamalıdır. Az ayrışmış kumtaşı seviyeleri orta derecede dayanımlıdır.

Üsküdar sahil bölgesinden uzaklaştıkça Trakya Formasyonunun yüzeye tedrici olmayan biçimde ani yaklaştığı ve güncel dolgu kalınlığının azaldığı görülmektedir.

Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy-Sancaktepe Metro Projesi güzergâhının Bağlarbaşı-Altunizade ve Kısıklı İstasyonu alanlarında yapılan sondaj çalışmalarında, yukarıda sözü edilen “İstanbul Grubu” Paleozoyik yaşlı istiflenmesine ait Aydos Formasyonu, Yayalar Formasyonu, Denizliköyü Formasyonu ve Trakya Formasyonu geçilmiştir. Sondajların üst kesimlerinde ise Bitkisel Toprak Örtü ve Yapay Dolgu yer alır.

Bağlarbaşı İstasyonu’nda yapılmış olan SK-BB-01 ve SK-BB-02 numaralı sondajlarda Denizliköyü Formasyonu Tuzla Üyesi ‘ne ait litolojik seviyeler geçilmiştir. SK-BB-01 numaralı sondaj kuyusunda 22.50 metrede başlayıp 26.50 metreye kadar devam eden fay zonu içinden başlayarak kuyu sonu olan 33.50

metreye kadar Tuzla Üyesi geçilmiştir. Temsilci litolojiler ise siyah-koyu gri renkli CO_3 lı kiltaşı-kireçtaşı ve şeyl ardalanmasıdır. Bu seviyeler genellikle çok parçalı, süreksizlik yüzeyleri düzlemsel-düz ve kaygan-cilalı görünümü ile karakteristiktir. Ezik zonlar ve fay zonlarının geçildiği kesimlerde ise süreksizlikler belirsizdir. Söz konusu litolojiler genellikle çok zayıf dayanımlıdır. SK-BB-02 numaralı sondaj kuyusunda ise 23.50 metreden itibaren kuyu sonu olan 35.00 metreye kadar Tuzla Üyesi geçilmiştir. Temsilci litolojiler ise SK-BB-01 kuyusundaki litolojiler ile tamamen aynı olup, siyah-koyu gri renkli CO_3 lı kiltaşı-kireçtaşı ve şeyl ardalanması şeklinde gözlenir. Bu seviyeler de çok parçalı olup, süreksizlikler belirsizdir. Nadiren gözlenebilen süreksizlik yüzeyleri düzlemsel-düz ve kaygan-cilalı görünümü ile karakteristiktir. Söz konusu litolojiler çok zayıf dayanımlıdır. Bağlarbaşı İstasyonu'ndan itibaren Tuzla Formasyonu ile Trakya Formasyonu arasında geçiş zonları ve magmatik sokulumlar beklenmelidir. S11 sondajı tünel güzergahı seviyesinde bu Trakya Formasyonu'nu temsil eden şeylli kiltaşı-kumtaşı ve andezit daykı formasyonları kesilmiştir.

Denizli Köyü Formasyonu 'nun üst düzeyinde yer alan yumrulu kireçtaşı-killi kireçtaşı birimi Kaya (1971) tarafından, Büyükada'nın Ayineburnu Mevkii 'nin adıyla adlandırılmıştır. Altunizade İstasyonu 'nda yapılmış olan SK-ALT-1 numaralı sondaj kuyusunda Ayineburnu Üyesi 'ne ait litolojik seviyeler geçilmiştir. Üst seviyelerde pembemsi kırmızı-kırmızımsı kahverengi, koyu kül rengi-siyahımsı gri renkli, inceorta katmanlı, şeyl ara katkılı yumrulu kireçtaşı egemen litolojiyi oluşturmaktadır. Sık-çok sık eklemli olup, eklem ve çatlak gibi süreksizlik yüzeyleri düzlemsel-pürüzlü, yer yer basamaklıdır. Bu yüzeylerde 1-3 mm kil dolgular gözlenmiştir. Birim içinde sıkça ince kalsit ve silis damarları izlenmiştir. Genellikle orta dayanımlıdır.

Kısıklı İstasyonu alanında yapılan sondajlarda Yayalar Formasyonu 'nun Gözdağ Üyesi 'ne ait litolojik seviyeler geçilmiştir. Söz konusu seviyeler SK-KSK-1 numaralı sondaj kuyusunda Bitkisel Toprak ve Yapay Dolgu seviyesi altında 6.50-14.00 metreler arasında ve SK-KSK-2 numaralı sondaj kuyusunda 20.40-34.40 metreler arasında geçilmiştir. SK-KSK-1 numaralı sondaj kuyusunda bej-krem-açık kahverengi renkli kiltaşı-silttaşı ardalanması şeklinde gözlenmiştir. Genellikle ince katmanlı, çok zayıf çimentolu ve zayıf-çok zayıf dayanımlı bu seviyeler, çok sık

eklemli ve çok parçalı olup, süreksizlik yüzeyleri düzlemsel-düz ve kil kaplıdır. SK-KSK-2 numaralı sondaj kuyusunda ise üst kesimlerde sarımsı kahverengi, ince taneli, bol mikalı kumtaşı ile yeşilimsi gri renkli silttaşı ardalanması şeklinde izlenmiştir. Bolca pirit mineralizasyonları bu seviyelerde dikkat çekicidir. Yer yer ezik-parçalı zonların da geçildiği bu kesimlerde kiltaşı ve marn seviyeleri de gözlenmiştir. Bu litolojik seviyeler de çok zayıf-zayıf dayanımlı olup çok sık eklemli ve çok parçalıdır. Süreksizlik yüzeyleri düzlemsel-düz ve kil kaplıdır.

Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy-Sancaktepe Metro Projesi güzergâhının Libadiye İstasyonu alanında, üst kesimlerde Yapay Dolgu, alt kesimde ise "İstanbul Grubu" Paleozoyik yaşlı istiflenmesine ait, Pelitli Formasyonu 'nun litolojik seviyeleri bulunmaktadır. Libadiye İstasyonu alanında SK-LİB-1 numaralı sondaj kuyusunda 5.00 metrelik dolgu seviyesinin altında 11.50 metreye kadar, SK-LİB-2 numaralı sondaj kuyusunda ise 2.00 metrelik dolgu seviyesinden itibaren kuyu sonu olan 30.00 metreye kadar izlenmiştir. Birim Özgül N. (2005) tarafından Pelitli Formasyonu 'nun ayırtman kılavuz düzeyi olarak tanımlanmış ve Dolayoba Kireçtaşı Üyesi olarak ayırt edilmiştir. Gri-mavimsi-yeşilimsi gri renkli, ince-orta-iri taneli, bol fosilli kireçtaşı egemen kaya türünü oluşturur. SK-LİB-1 sondajının bulunduğu kesimde yer yer breşik dokuludur. Az ayrışmıştır. Sık eklemli, süreksizlik yüzeyleri düzlemsel-çok pürüzlüdür. SK-LİB-2 numaralı sondajın bulunduğu kesimde ise birim gri-siyahımsı-yeşilimsi gri renkli, kireçtaşı-killi kireçtaşı-kiltaşı ardalanması şeklinde geçilmiştir. Yer yer çok ince olmak üzere karbonatlı şeyl seviyeleri de gözlenir. Birim ince-orta katmanlı, az ayrışmış-ayrışmamıştır. Orta derecede-sık eklemlidir. Süreksizlik yüzeyleri düzlemsel-düz ve FeO-kil kaplıdır. Sıkça fosil içeriklidir. SK-LİB-1 kuyusunda 11.50-18.00 m ler arasında ise bölgede yaygın olduğu düşünülen volkanik aktivite ürünü andezitik seviyeler SK-LİB-1 kuyusunda kireçtaşı seviyeleri ile girift olarak gözlenmiştir. Andezit seviyeleri mavimsi gri renkli, az ayrışmış-ayrışmamış, çok parçalı olarak gözlenmiştir. Süreksizlik yüzeyleri düzlemsel-az pürüzlü olup, zayıf dayanımlıdır.

Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy-Sancaktepe Metro Projesi güzergâhının Çarşı İstasyonu alanında, "İstanbul Grubu" Paleozoyik yaşlı istiflenme içinde yer alan Gözdağ Formasyonu 'nun litolojik seviyeleri bulunmaktadır. Formasyonun temsilci litolojileri ise kiltaşı-silttaşı ve çamurtaşıdır.

Formasyon içinde bu kesimdeki hakim litolojiyi oluşturan kiltaşı seviyeleri yeşilimsi gri-siyahımsı gri renkli, az-orta-çok ayrışmıştır. Üst kesimlerde ise tamamen ayrışmış olup sarımsı kahverengi kil olarak gözlenir. Genellikle ince katmanlı, yer yer laminalıdır. Alta doğru renk siyahımsı griye doğru değişir. Genellikle sık-çok sık eklemlidir. Eklem yüzeyleri düzlemsel-düz ve 1-2 mm kil dolguludur. Ayrışmamış seviyelerinde süreksizlik yüzeyleri boyunca dolgu gözlenmez. Alta doğru karbonatlı kiltaşına geçmektedir. Zayıf-çok zayıf dayanımlıdır. 21.50 metreden itibaren bölgede yaygın olduğu düşünülen volkanik aktivite ürünü andezitik seviyeler Gözdağ Formasyonu 'nun kiltaşı seviyeleri ile girift olarak gözlenmiştir. 26.20 metreden itibaren kuyu sonu olan 34.00 metreye kadar gözlenen andezit seviyeleri açık gri mavimsi gri yeşilimsi- pembemsi gri renkli, az ayrışmış-ayrışmamıştır. Orta derecede-seyrek eklemlidir. Eklem çatlak gibi süreksizlik yüzeyleri düzlemsel-pürüzlü olup genellikle dolgu gözlenmez. Ancak yer yer kalsit çatlak ve damar dolguları izlenmiştir. Orta-düşük dayanımlıdır.

Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy-Sancaktepe Metro Projesi güzergâhının Ümraniye İstasyonu ve Depo Sahası alanlarında "İstanbul Grubu" Paleozoyik yaşlı istiflenmenin, Gözdağ Formasyonu'nun litolojik seviyeleri bulunmaktadır. Formasyonun temsilci litolojileri ise kumtaşı-kiltaşı ve kireçtaşıdır. Kumtaşı sarımsı-yeşilimsi kahverengi, az-orta-çok ayrışmış, ince katmanlı, sık-çok sık eklemli ve çatlaklıdır. Kiltaşı seviyeleri sarımsı kahverengi, orta derecede-çok ayrışmış olup, çok sık eklemli ve zayıf-çok zayıf dayanımlıdır. Ara seviyeler halinde gözlenen kireçtaşı ise gri renkli, az ayrışmış, ince kalsit damarlı, sık eklemli olup, zayıf-orta sağlamdır.

Ümraniye İstasyonu alanında açılmış sondajlardan SK-UMR-1 numaralı sondaj kuyusunda 0-00- 4.50 m arasında sarımsı kahverengi, katı kıvamlı kumlu kil seviyesini takiben 28.80 m ye kadar Gözdağ Formasyonu 'nun ince taneli kumtaşı-kireçtaşı seviyeleri içinden ilerlenmiştir. 28.80- 40.00 m ler arasında ise yer yer altere olmuş, zayıf dayanımlı andezit seviyesi geçilmiştir. 40.00 m derinliğinde açılmış olan SK-UMR-2 numaralı kuyuda 0.00-5.05 m arasında sarımsı kahverengi, katı kıvamlı kumlu kil seviyesi içinden ilerlenmiştir. 5.05-33.00 m arasında Gözdağ Formasyonunun kiltaşı ve kireçtaşı seviyeleri geçilmiştir. 33.00-40.00 m ler arasında ise bölgede yaygın olduğu düşünülen volkanik aktivite ürünü andezitik seviyeler

Gözdağ Formasyonu ‘nun kireçtaşı seviyeleri ile girift olarak gözlenmiştir. Andezit seviyeleri yeşilimsi gri renkli, orta derecede ayrışmış, zayıf yer yer orta sağlam ve sık- çok sık eklemlidir.

Depo Sahası alanında yapılmış sondajlardan 18.50 m derinlikteki SK-DS-1 numaralı sondaj kuyusunda 0-00-2.60 m arasında sarımsı kahverengi, katı kıvamlı kumlu kil seviyesi geçilmiş, 2.60- 18.50 m arasında ise Gözdağ Formasyonu ‘nun gri-kahverengi, orta sağlam kumtaşı litolojileri içinden ilerlenmiştir. 52.00 m derinlikte açılmış olan SK-DS-2 numaralı sondaj kuyusunda ise 0.00- 9.45 m arasında sarımsı kahverengi, katı kıvamlı kumlu kil seviyesi geçilmiştir. 9.45-52.00 m şer arasında ise Gözdağ Formasyonu ‘nun sarımsı kahverengi, zayıf-orta sağlam kumtaşı ile gri renkli zayıf-çok zayıf kiltaşı seviyeleri geçilmiştir.

İnkılâp İstasyonu alanında açılmış olan SK-İNK-1 numaralı sondaj kuyusunda Pelitli Formasyonu ‘nun temsilci litolojileri geçilmiştir. Büyük bölümü kireçtaşından oluşan formasyon değişik düzeylerinde ince kil ara katkılıdır. Üst kesiminde yumrulu kireçtaşı düzeyini kapsar. İnkılâp İstasyonu alanında yapılan sondajda Pelitli Formasyonu ‘nun Soğanlık Kireçtaşı Üyesi ‘ne ait litolojik seviyeler geçilmiştir. Söz konusu seviyeler SK-İNK-1 numaralı sondaj kuyusunda Kartal Formasyonu altında 12.80-29.00 metreler arasında geçilmiştir.

Çakmak İstasyonu alanında açılmış olan SK-ÇKM-1 numaralı sondaj kuyusunun tamamı boyunca Kurtköy Formasyonu ‘nun temsilci litolojileri geçilmiştir. 3-80-20.60 metre arasında kirli beyaz-açık kahverengi ince taneli ve yer yer silisifiye kumtaşı ile mor renkli, ince-orta taneli konglomeratik arkoz seviyeleri geçilmiştir. Bu derinlikten itibaren kuyu sonu olan 31.50 metreye kadar kuyunun tamamı olası fay zonu içinden ilerlemiştir. Bu kesimde yer yer belirgin kayma izli yüzeyler içeren çakıllı kil seviyeleri de gözlenmiştir. Kuyuda geçilmiş litolojik seviyeler genel olarak zayıf-çok zayıf dayanımlıdır.

Ihlamurkuyu İstasyonu alanında 31.00 metre derinliğinde açılmış olan SK-IHL-1 numaralı sondaj kuyusunda ise 10.50 metreden itibaren Kurtköy Formasyonu ‘nun temsilci litolojileri geçilmiştir. Bu kesimde mor-eflatun renkli, orta-iri taneli konglomeratik arkoz egemen litolojiyi oluşturur. Zayıf çimentolu, sık-çok sık eklemli

olup, eklem ve çatlak gibi süreksizlik yüzeyleri düzlemsel-az pürüzlü ve kil dolguludur. Az-orta derecede ayrışmıştır. Genellikle zayıf dayanımlıdır.

Dudullu İstasyon alanında SK-DUD-1 kuyusunda 0.00-25.50 metreler arasında, SK-DUD-2numaralı sondaj kuyusunda ise 35.00 metrelik kuyunun tamamı boyunca bu birim izlenmiştir. Özgül (2005) bu birimi Ömerli Formasyonu 'na ait bir üye olarak değerlendirmekle birlikte Formasyon olarak da ayrılabileceğini belirtmiştir.

Dudullu, Samandıra ve Çekmeköy civarında yaygınca gözlenen killi-kumlu seviyeleri ise İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü 'nce yaptırılmış olan Anadolu Yakası Mikro Bölgeleme Çalışması kapsamında Sultanbeyli Formasyonu-Dudullu Üyesi (Miyosen-Pliyosen) olarak ayırtlanmıştır.

Değişken renklerde kum-çakıl-kil-silt litolojilerinden oluşur. Açık kahverengi-sarımsı kahverengi bej-krem renkli siltli ince-orta kum ve sarımsı yeşil, yer yer koyu yeşil renkli, ince CO3 çakıllı, az siltli kil seviyeleri egemen litolojileri oluşturmaktadır.

Yer yer siltli kum-kumlu silt ve gevşek-sıkı tutturulmuş kum seviyeleri birbirleri ile geçişli olarak gözlenmiştir. Kil seviyeleri SPT deney verilerinden hareketle genellikle sert kıvamlıdır. Kum seviyeleri ise yine SPT deney verileri dikkate alındığında orta sıkı-çok sıkı aralığındadır.

Bağlarbaşı-Altnunizade bölgesinde, S10 ve S12 sondaj sonuçları ve geoteknik raporlarına göre andezit dayk (2+400) , andezit dayk (3+200) belirlenmiştir ve yine S13 sondaj raporlarına göre Altunizade bölgesinde (3+800- 3+900) belirlenmiştir. Belirlenen faylar 5 tanedir, bu faylar Çizelge 6.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1: Güzergah boyunca fayın konumu.

Fay	Metresi	Fay zonu kalınlığı	Yeraltı su seviyesi	Fay tipi	RQD	GSI
F1	1130	20	5	-	27-30	15
F2	2880	20	15	-	< 35	15
F3	4315	20	19	Kontak Fay	16-29	19-29
F4	4625	20	9,5	-	16-30	19-30
F5	5980	20	27,5	Kontak Fay	16-31	19-31

3.3 Güzergah Boyunca Formasyonların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Üsküdar- Ümraniye-Çekmeköy Metrosu güzergahında yer alan formasyonların fiziksel ve mekanik özellikleri bu güzergah boyunca yapılan sondaj verileri değerlendirilerek oluşturulan geoteknik rapor doğrultusunda belirlenmiştir (STFA 2003, 2004).

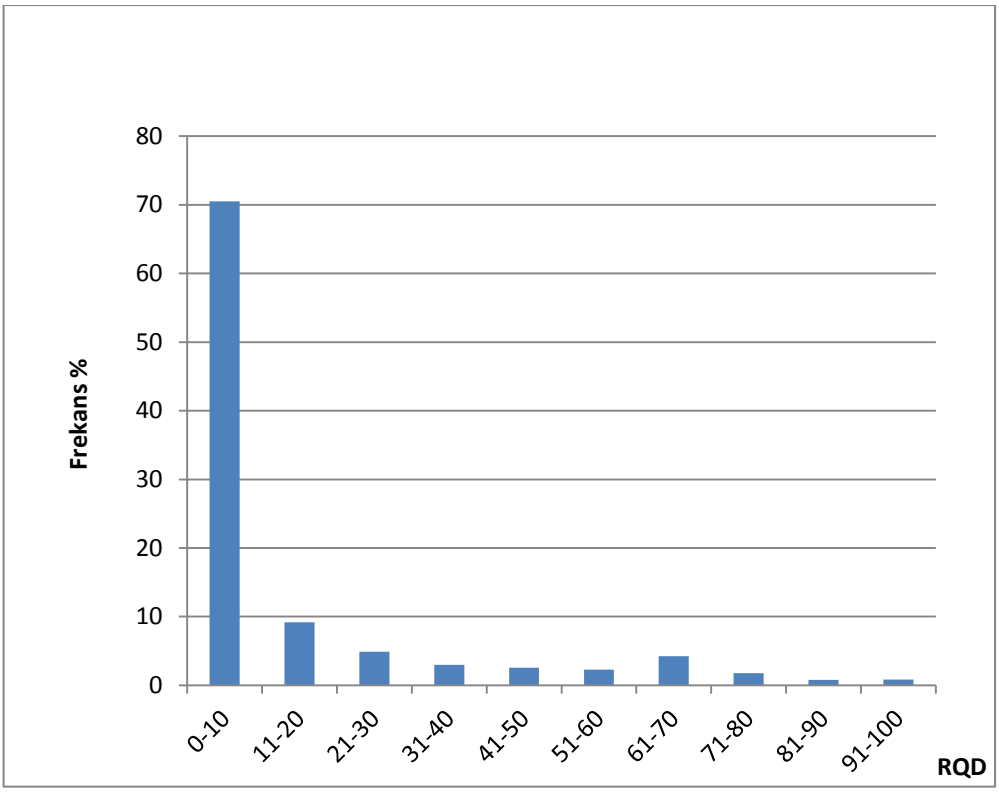
Ayrıca proje başladıktan sonra da yüklenici firma tarafından sondajlar yapılmış olup geçmişteki sondajların analizi ile birlikte yeni bir geoteknik hesap raporu oluşturulmuştur (Geoteknik Rapor-UUC Metrosu, 2012). Yapılan sondajların fiziksel ve mekanik özellikleri EK A'da detaylı bir şekilde verilmektedir. Bu verilerden yararlanılarak her formasyon için fiziksel ve mekanik özelliklerin minumum ve maksimum değerleri, ortalaması, standart sapması ve değişkenlik katsayıları hesaplanmış ve aşağıdaki çizelgelerle gösterilmiştir. Bu çizelgelerde sondajın tüneli kestigi noktalardaki RQD değerlerinin hesaplaması yapılmıştır. Güvenli noktada kalmak için sondajın tüneli kestiği uzunluğa (6,57 m) ek olarak tünel üst kotunun 2 metre yukarısı ve tünel alt kotunun 2 metre aşağısı da dahil edilerek yaklaşık 10-11 metrelik sondaj uzunluğunun RQD değerlerinin ortalaması alınmıştır.

Değişkenlik katsayısı standart sapmanın ortalama değere oranının yüzdesi olarak ifade edilir. Hesaplamalarda tüm formasyonlar için tünel ekseni boyunca alınan değerler (Çizelge1-7) kullanılacaktır.

3.3.1 Trakya formasyonu

Çizelge 3.1: Tünel kesiti boyunca trakya formasyonu için mühendislik özellikleri ve istatistik sonuçlar.

Mühendislik Özellikleri	Sembol	Birim	Veri Sayısı	Min.	Maks.	Ortalama	St.Sapma	Değişkenlik Katsayısı (%)
Kaya Kalite Değeri	RQD	(%)	16	0	36,6	11	11,88	107,96
Kaya Kütle Oranı	RMR		16	33	65	49	8,25	16,83
Jeolojik Dayanım İndeksi	GSI		15	25	50	38	6,23	16,39
İçsel Sürtünme Açısı (Üç eksenli)	φ	(^{o})	8	46,1	67,9	57	6,32	11,04
Kohezyon(Üç eksenli)	c	(kPa)	8	119	1500	630	501,26	79,56
Tek Eksenli Basınç Dayanımı	$\sigma_{b,k}$	(MPa)	12	5,7	119,2	41	29,53	72,36
Elastisite Modülü	E_k	(MPa)	18	450	29800	6394	6776,14	105,98
Menard Modülü	Em	(MPa)	10	20,7	266,8	224	74,16	33,09
Poisson Oranı	v	-	16	0,2	1,26	0,51	0,36	71,82
Permeabilite	p	(m/s)	13	1,1E-08	7,4E-06	2,514E-06	2,46151E-06	97,91
Doğal Birim Hacim Ağırlık	ɣ	(kN/m^3)	14	24,76	26,9	26,55	0,59	2,21
Porozite	n	(%)	7	0,3	7	3,90	2,76	70,65
Hesaplanan Spesifik Enerji	SE	(kWh/m^3)	14	2,65	4,70	3,83	0,56	14,55
Düzeltilmiş Spesifik Enerji	Net SE	(kWh/m^3)	14	4,76	8,46	6,90	1,00	14,55
TBM Günlük İlerleme	TBM(m/gün)	(m)	14	15,67	26,39	19,64	3,21	16,32



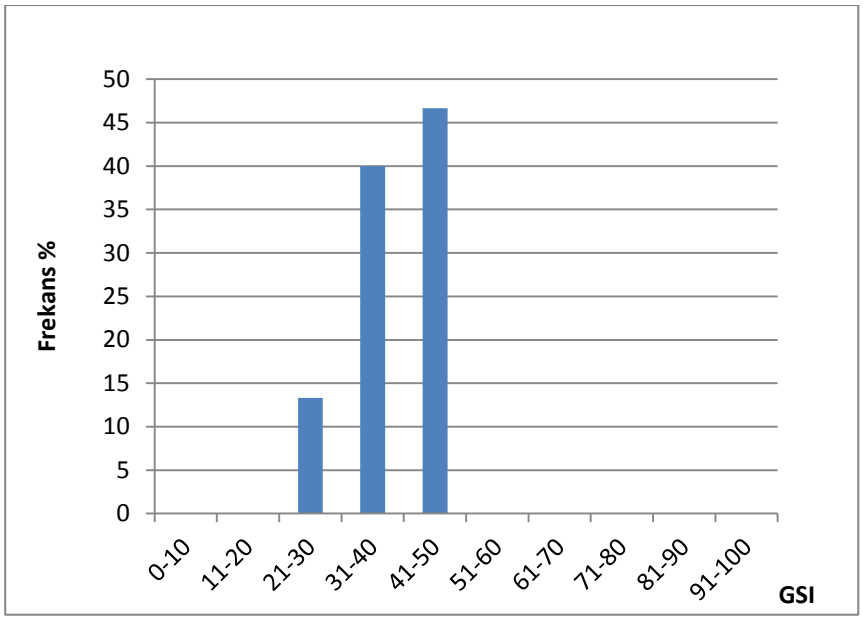
Şekil 3.2: Trakya formasyonu için RQD grafiği.

RQD(ort) : 20,08, Standart sapma : 18,77 , Veri sayısı :491

RQD değerleri bu grafikte sondajların tüm uzunlugu için alınmıştır. Yapılan sondajların toplam uzunluğu 491 metredir. Veri sayısı bu yüzden 491 olarak alınmıştır. Hesaplama yapılırken (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90, 90-100) aralığındaki metrajlar toplanıp toplam sondaj uzunluğuna bölünerek ortalamaları hesaplanmıştır. Trakya formasyonu için sondajların %71'i (0-10) arasındadır ve ortalama RQD değeri % 20,08'tür. GSI hesabıda aynı şekilde yapılmıştır.

Diğer formasyonlar için hesaplamalar aynı metodla yapılmıştır.

.



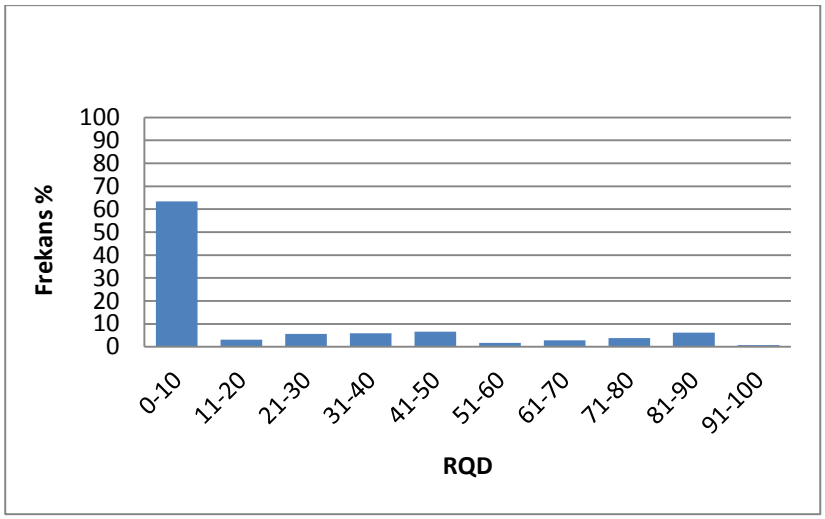
Şekil 3.3: Trakya formasyonu için GSI grafiği.

GSI(ort): 37,66 , Standart sapma : 6,22, Veri sayısı : 15

3.3.2 Tuzla formasyonu (kireçtaşı)

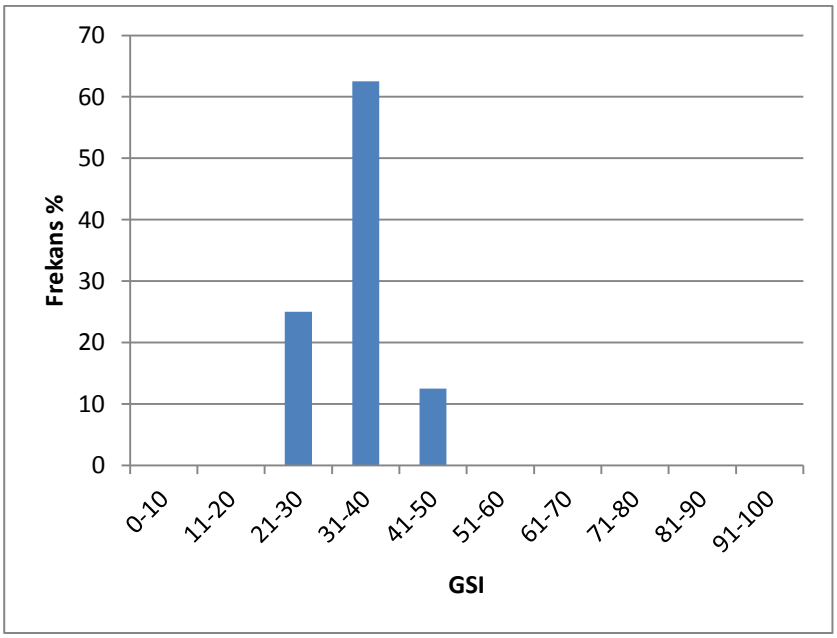
Çizelge 3.2: Tünel kesiti boyunca tuzla formasyonu (kireçtaşı) için mühendislik özellikleri ve istatistik sonuçlar.

Mühendislik Özellikleri	Sembol	Birim	Veri Sayısı	Min.	Maks.	Ortalama	St.Sapma	Değişkenlik Katsayısı (%)
Kaya Kalite Değeri	RQD	(%)	2	1,7	3,2	3	1,06	35,36
Kaya Kütle Oranı	RMR		4	45	58	52	5,45	10,47
Jeolojik Dayanım İndeksi	GSI		3	35	45	39	5,77	14,80
İçsel Sürtünme Açısı (Üç eksenli)	φ	(^{o})	3	47,4	50,5	49	1,66	3,38
Kohezyon(Üç eksenli)	c	(kPa)	3	149	406	268	129,48	48,25
Tek Eksenli Basınç Dayanımı	$\sigma_{b,k}$	(MPa)	2	15,4	66,1	41	35,85	87,98
Elastisite Modülü	E_k	(MPa)	2	3200	13200	8200	7071,07	86,23
Menard Modülü	Em	(MPa)	2	141,7	269,2	205	90,16	43,88
Poisson Oranı	v	-	2	0,16	0,19	0,18	0,02	12,12
Permeabilite	p	(m/s)	2	4E-07	1,6E-06	1E-06	8,48E-07	84,80
Doğal Birim Hacim Ağırlık	ɣ	(kN/m^3)	2	25,50	26,80	26,15	0,92	3,52
Porozite	n	(%)	3	0,76	9,99	3,89	5,29	136,01
Hesaplanan Spesifik Enerji	SE	(kWh/m^3)	2	2,59	5,17	3,88	1,83	47,14
Düzeltilmiş Spesifik Enerji	Net SE	(kWh/m^3)	2	4,65	9,31	6,98	3,29	47,14
TBM Günlük İlerleme	TBM(m/gün)	(m)	2	15,04	26,91	20,98	8,40	40,03



Şekil 3.4: Tuzla formasyonu (kireçtaşı) RQD grafiği.

RQD (ort): 26,69, Standart sapma : 19,47. Veri sayısı :125



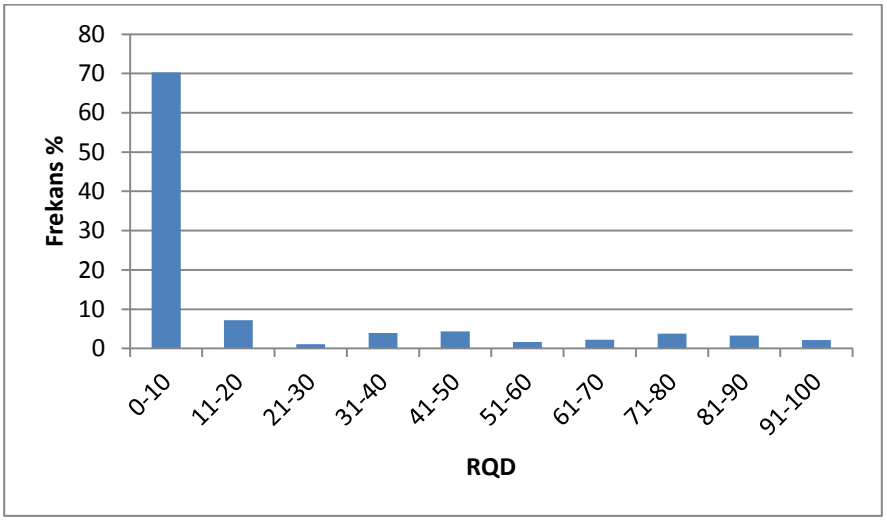
Şekil 3.5: Tuzla formasyonu (kireçtaşı) GSI grafiği.

GSI (ort): 37,5, Standart sapma : 5,34 , Veri sayısı : 8

3.3.3 Tuzla formasyonu (kiltaşı-şeyl)

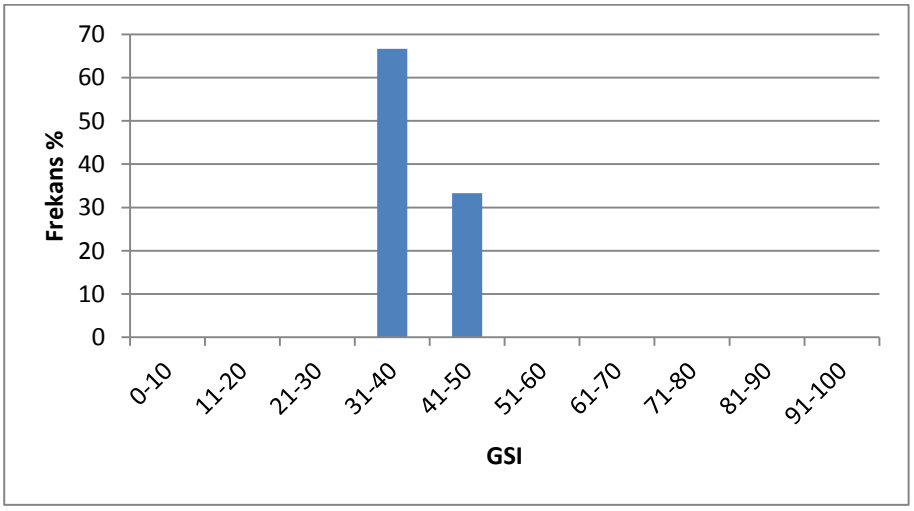
Çizelge 3.3: Tünel kesiti boyunca tuzla formasyonu (kiltaşı-şeyl) için mühendislik özellikleri ve istatistik sonuçlar.

Mühendislik Özellikleri	Sembol	Birim	Veri Sayısı	Min.	Maks.	Ortalama	St.Sapma	Değişkenlik Katsayısı (%)
Kaya Kalite Değeri	RQD	(%)	2	1,7	3,2	3	1,06	35,36
Kaya Kütle Oranı	RMR		4	45	58	52	5,45	10,47
Jeolojik Dayanım İndeksi	GSI		3	35	45	39	5,77	14,80
İçsel Sürtünme Açısı (Üç eksenli)	φ	(^{o})	3	47,4	50,5	49	1,66	3,38
Kohezyon(Üç eksenli)	c	(kPa)	3	149	406	268	129,48	48,25
Tek Eksenli Basınç Dayanımı	$\sigma_{b,k}$	(MPa)	2	15,4	66,1	41	35,85	87,98
Elastisite Modülü	E_k	(MPa)	2	3200	13200	8200	7071,07	86,23
Menard Modülü	Em	(MPa)	2	141,7	269,2	205	90,16	43,88
Poisson Oranı	v	-	2	0,16	0,19	0,18	0,02	12,12
Permeabilite	p	(m/s)	2	4E-07	1,6E-06	1E-06	8,48E-07	84,80
Doğal Birim Hacim Ağırlık	ɣ	(kN/m^3)	2	25,50	26,80	26,15	0,92	3,52
Porozite	n	(%)	3	0,76	9,99	3,89	5,29	136,01
Hesaplanan Spesifik Enerji	SE	(kWh/m^3)	2	2,59	5,17	3,88	1,83	47,14
Düzeltilmiş Spesifik Enerji	Net SE	(kWh/m^3)	2	4,65	9,31	6,98	3,29	47,14
TBM Günlük İlerleme	TBM(m/gün)	(m)	2	15,04	26,91	20,98	8,40	40,03



Şekil 3.6: Tuzla formasyonu (kiltaşı-şeyl) RQD grafiği.

RQD (ort): 23,24, Standart sapma : 18,49 , Veri sayısı :66



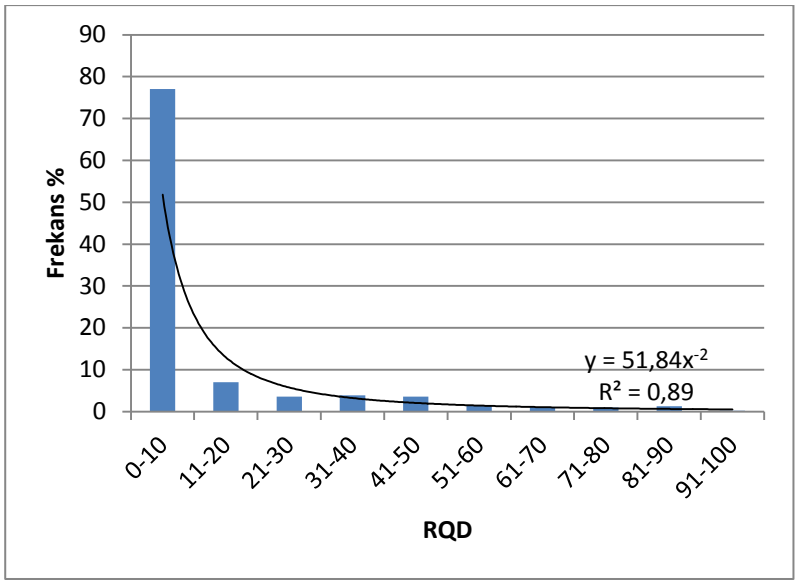
Şekil 3.7: Tuzla formasyonu (kiltaşı-şeyl) GSI grafiği.

GSI(ort): 38,33, Standart sapma : 5,77 ,Veri sayısı : 3

3.3.4 Kurtköy formasyonu

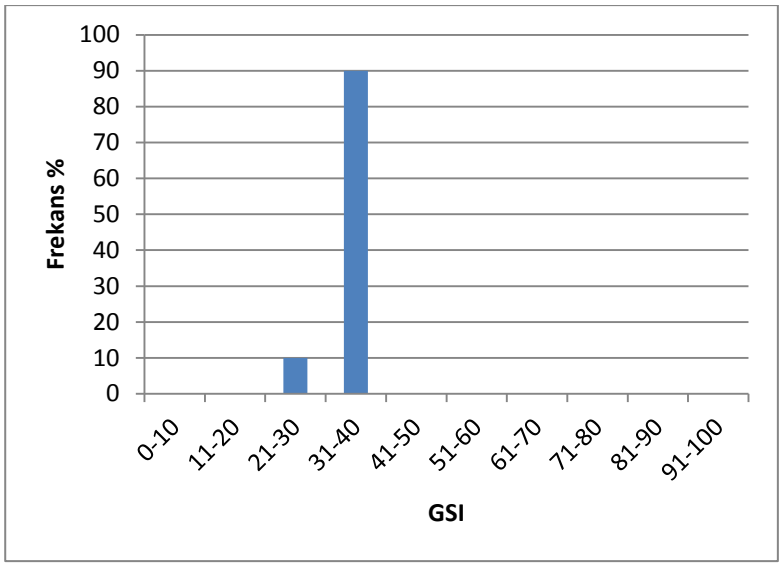
Çizelge 3.3: Tünel kesiti boyunca kurtköy formasyonu için mühendislik özellikleri ve istatistik sonuçlar.

Mühendislik Özellikleri	Sembol	Birim	Veri Sayısı	Min.	Maks.	Ortalama	St.Sapma	Değişkenlik Katsayısı (%)
Kaya Kalite Değeri	RQD	(%)	14	0	54	18	16,48	91,56
Kaya Kütle Oranı	RMR		19	29	62	40	9,34	23,36
Jeolojik Dayanım İndeksi	GSI		17	25	40	33	3,59	10,87
İçsel Sürtünme Açısı (Üç eksenli)	φ	(^{o})	7	8,66	68	50	19,31	38,39
Kohezyon(Üç eksenli)	c	(kPa)	6	96,19	600	389	184,60	47,49
Tek Eksenli Basınç Dayanımı	$\sigma_{b,k}$	(MPa)	21	4	98,70	24	22,91	93,55
Elastisite Modülü	E_k	(MPa)	17	640	7800	3833	2350,78	61,33
Menard Modülü	Em	(MPa)	14	142,80	226,30	173	31,31	18,14
Poisson Oranı	v	-	5	0,24	0,37	0,30	0,05	17,00
Permeabilite	p	(m/s)	11	1,87E-08	1,2E-06	3,68E-07	3,91E-07	106,41
Doğal Birim Hacim Ağırlık	ɣ	(kN/m^3)	15	26,30	27,10	26,66	0,36	1,34
Porozite	n	(%)	13	0,57	15,8	3,74	3,76	100,50
Hesaplanan Spesifik Enerji	SE	(kWh/m^3)	12	2,16	3,59	2,97	0,60	20,11
Düzeltilmiş Spesifik Enerji	Net SE	(kWh/m^3)	12	2,53	6,46	4,26	1,36	31,96
TBM Günlük İlerleme	TBM(m/gün)	(m)	12	14,46	32,26	22,72	6,34	27,92



Şekil 3.8: Kurtköy formasyonu RQD grafiği.

RQD (ort): 17,24 , Standart sapma : 21,48, Veri sayısı :470



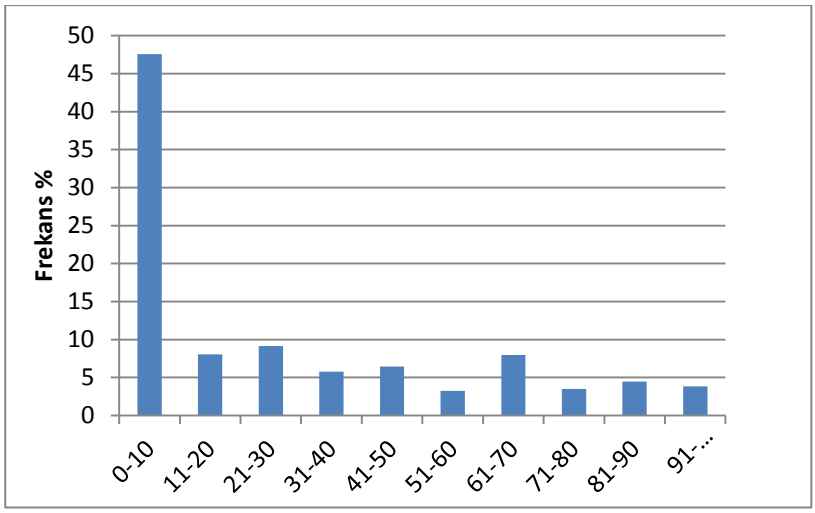
Şekil 3.9: Kurtköy formasyonu GSI grafiği.

GSI(ort) : 32,35,Standart sapma : 3,59,Veri sayısı : 17

3.3.5 Gözdağ formasyonu

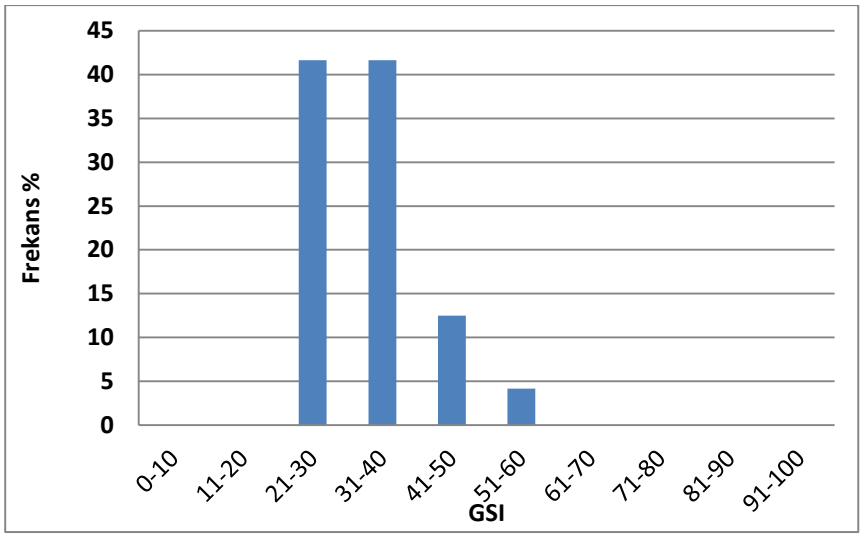
Çizelge 3.4: Tünel kesiti boyunca gözdağ formasyonu için mühendislik özellikleri ve istatistik sonuçlar.

Mühendislik Özellikleri	Sembol	Birim	Veri Sayısı	Min.	Maks.	Ortalama	St.Sapma	Değişkenlik Katsayısı (%)
Kaya Kalite Değeri	RQD	(%)	10	2,175	63,72	36	18,73	51,98
Kaya Kütle Oranı	RMR		20	25	65	43	12,63	29,23
Jeolojik Dayanım İndeksi	GSI		20	25	55	36	8,05	22,35
İçsel Sürtünme Açısı (Üç eksenli)	φ	(^{o})	4	41	63	53	9,02	17,16
Kohezyon(Üç eksenli)	c	(kPa)	4	500	7560	2690	3277,66	121,85
Tek Eksenli Basınç Dayanımı	$\sigma_{b,k}$	(MPa)	24	3,2	101,6	28	22,83	81,27
Elastisite Modülü	E_k	(MPa)	20	1600	198000	25289	48397,99	191,38
Menard Modülü	Em	(MPa)	9	37,6	292	205	102,57	50,00
Poisson Oranı	v	-	11	0,19	0,4	0,30	0,07	23,07
Permeabilite	p	(m/s)	11	1,76E-07	5,51E-06	1,467E-06	1,66E-06	112,89
Doğal Birim Hacim Ağırlık	ɣ	(kN/m^3)	10	22	27,2	26,02	1,52	5,83
Porozite	n	(%)	9	1,52	14,5	5,99	3,73	62,26
Hesaplanan Spesifik Enerji	SE	(kWh/m^3)	11	2,51	4,97	3,33	0,59	17,66
Düzeltilmiş Spesifik Enerji	Net SE	(kWh/m^3)	11	4,53	8,95	5,98	1,06	17,67
TBM Günlük İlerleme	TBM(m/gün)	(m)	11	16,46	28,49	24,25	3,41	14,08



Şekil 3.10: Gözdağ formasyonu RQD grafiği.

RQD(ort): 32,82.Standart sapma : 12,61,Veri sayısı : 320



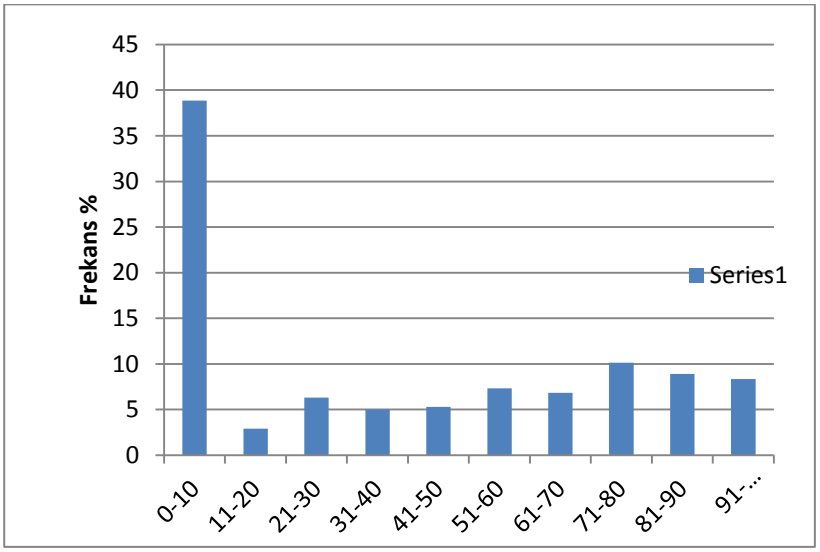
Şekil 3.11: Gözdağ formasyonu GSI grafiği.

GSI (ort): 36, Standart sapma : 8,04 , Veri sayısı : 20

3.3.6 Dolayoba formasyonu

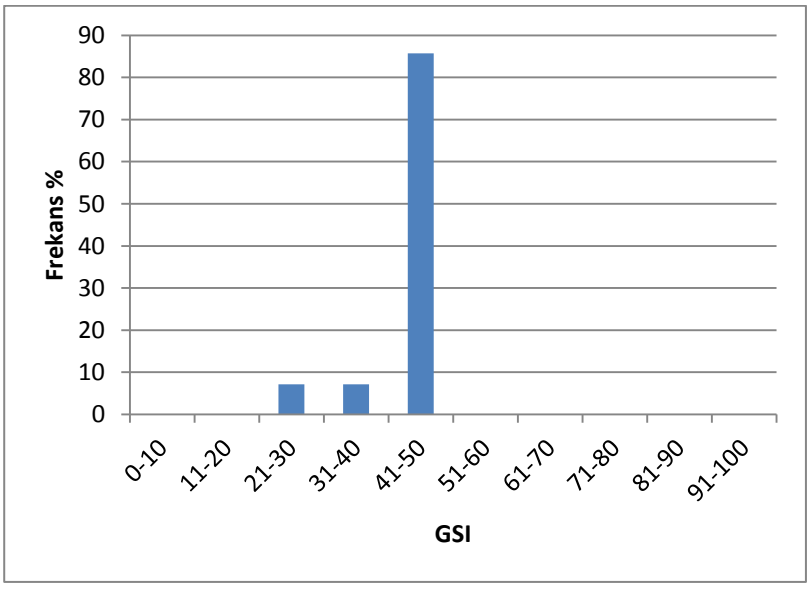
Çizelge 3.5: Tünel kesiti boyunca dolayoba formasyonu için mühendislik özellikleri ve istatistik sonuçlar.

Mühendislik Özellikleri	Sembol	Birim	Veri Sayısı	Min.	Maks.	Ortalama	St.Sapma	Değişkenlik Katsayısı (%)
Kaya Kalite Değeri	RQD	(%)	12	3,5	81	41	24,75	59,96
Kaya Kütle Oranı	RMR		10	27	61	45	13,84	30,62
Jeolojik Dayanım İndeksi	GSI		10	25	50	44	7,47	17,18
İçsel Sürtünme Açısı (Üç eksenli)	φ	(^{o})	7	18,82	69	57	17,70	31,07
Kohezyon(Üç eksenli)	c	(kPa)	7	80,76	4400	2740	1374,72	50,17
Tek Eksenli Basınç Dayanımı	$\sigma_{b,k}$	(MPa)	14	18,2	96,5	49	23,96	48,79
Elastisite Modülü	E_k	(MPa)	11	330	14900	6306	4709,05	74,67
Menard Modülü	Em	(MPa)	8	182,2	325	261	55,68	21,33
Poisson Oranı	v	-	6	0,2	0,78	0,37	0,21	58,49
Permeabilite	p	(m/s)	6	1,87E-07	6,43E-06	2,665E-06	2,06E-06	77,38
Doğal Birim Hacim Ağırlık	ɣ	(kN/m^3)	10	25,9	27,3	27,07	0,45	1,66
Porozite	n	(%)	9	0,12	3,69	1,51	1,31	86,41
Hesaplanan Spesifik Enerji	SE	(kWh/m^3)	9	3,43	4,30	4,19	0,29	6,90
Düzeltilmiş Spesifik Enerji	Net SE	(kWh/m^3)	9	2,92	7,75	4,84	2,18	45,10
TBM Günlük İlerleme	TBM(m/gün)	(m)	9	10,75	17,68	15,58	2,44	15,68



Şekil 3.12: Dolayoba formasyonu RQD grafiği.

RQD (ort):44,70, Standart sapma : 28,37, Veri sayısı : 232



Şekil 3.13: Dolayoba formasyonu GSI grafiği.

GSI (ort):43,92, Standart sapma : 7,38 , Veri sayısı : 14

3.3.7 Sultanbeyli formasyonu

Çizelge 3.6: Tünel kesiti boyunca sultanbeyli formasyonu için mühendislik özellikleri ve istatistik sonuçlar.

Mühendislik Özellikleri	Sembol	Birim	Veri Sayısı	Min.	Maks.	Ortalama	St.Sapma	Değişkenlik Katsayısı (%)
Kaya Kalite Değeri	RQD	(%)	6	0	93	30	34,02	115,31
Kaya Kütle Oranı	RMR		-	-	-	-	-	-
Jeolojik Dayanım İndeksi	GSI		-	-	-	-	-	-
İçsel Sürtünme Açısı (Üç eksenli)	φ	(^{o})	2	11,56	19,84	16	5,85	37,29
Kohezyon(Üç eksenli)	c	(kPa)	3	14,44	114,36	66	50,01	76,18
Tek Eksenli Basınç Dayanımı	$\sigma_{b,k}$	(MPa)	4	31	99,6	62	29,68	47,66
Elastisite Modülü	E_k	(MPa)	1	14440	14440	14440	-	-
Menard Modülü	Em	(MPa)	6	37,6	42,2	38	1,88	4,89
Poisson Oranı	v	-	1	0,27	0,27	0,27	-	-
Permeabilite	p	(m/s)	2	2,2E-06	2,7E-06	2,45E-06		-
Doğal Birim Hacim Ağırlık	ɣ	(kN/m^3)	3	22	22	22	0	0
Porozite	n	(%)	0	0	0	-	-	-
Hesaplanan Spesifik Enerji	SE	(kWh/m^3)	2	4,97	4,97	4,97	0,00	0
Düzeltilmiş Spesifik Enerji	Net SE	(kWh/m^3)	2	8,95	8,95	8,95	0	0
TBM Günlük İlerleme	TBM(m/gün)	(m)	2	16,46	18,10	17,28	1,16	6,73

4. NATM TÜNEL KAZISI VE DESTEKLEME

4.1 Jeolojik Koşullar

Birden fazla parkurdaki tünellere istasyon kazılarının açık kazı çukurlarından veya şaftlardan girilecektir. Yerinde tespit edilecek açık kazı kullanım şartları ve program gereklerine uygun olarak, her bir parkura iki ya da bir uçtan girilebilir. Jeolojik koşullar nedeniyle, hatlardan birisi diğerinden 30 m ilerde olmalıdır.Tüneller 7 ile 14 m arası sığ bir üst örtü atında delinecektir.

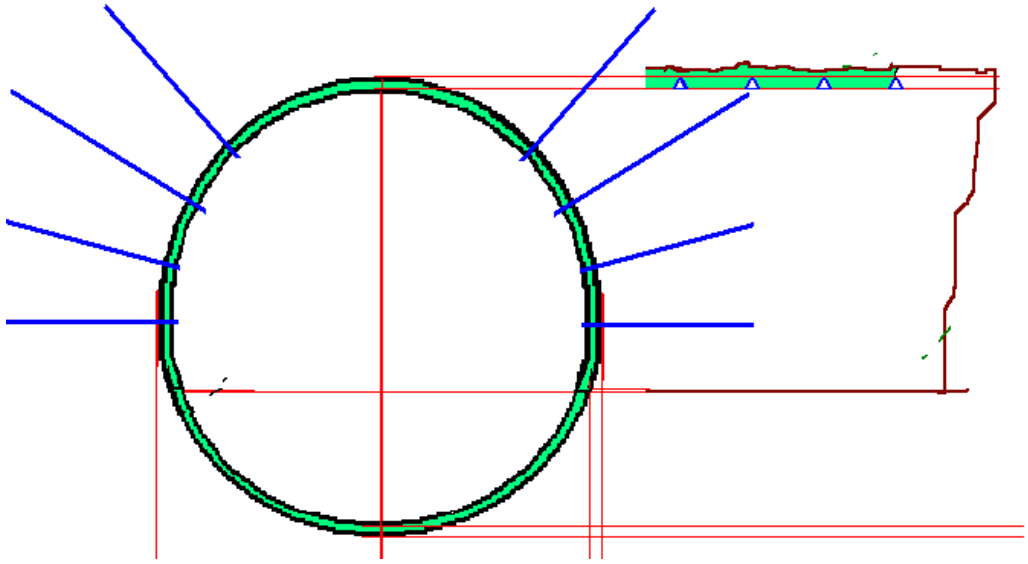
Üstteki sığ dolgu dışında tüm hat; kil, kum bantlı kil, kum ve en altta çakıllı kil olarak tanımlanmıştır.

Temel kayaç parametreleri olan kohezyon (C) ve içsel sürtünme açısı (φ) oldukça düşüktür. Zayıf kaya koşullarında tüneller delinecektir. Bu durumda, tünel destek elemanları üzerinde serbest bir yük tanımlaması kabul edilecek ve destekleme elemanlarının (Püskürtme Beton, Çelik Hasır, İksa ve bulon) güçlü olması istenecektir. Düşük içsel sürtünme açısı, ayna duraylılığının sağlanması için tünel aynasının da desteklenmesini ve ayna ilerlemesinin ön sürenleme ile güvenlik altına alınmasını da gerektirmektedir.

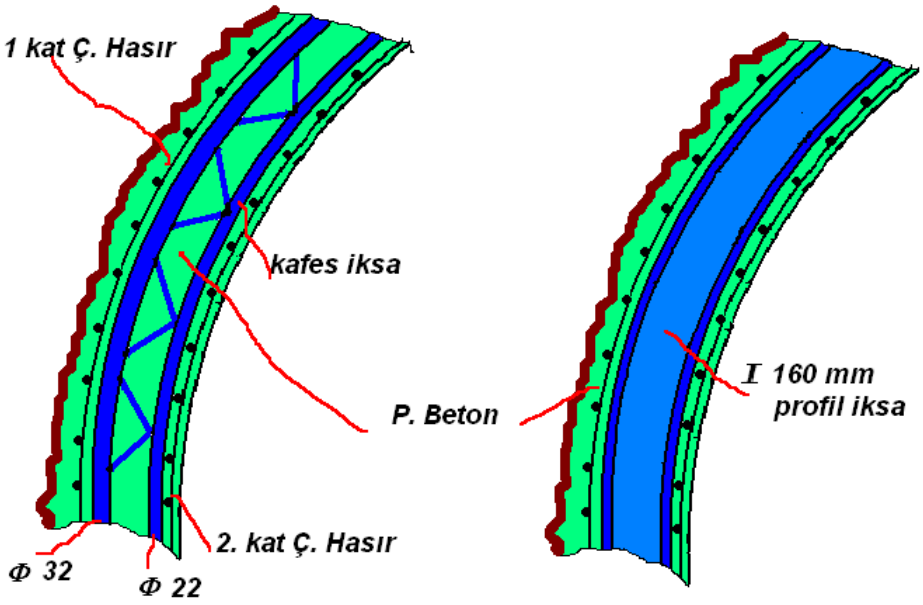
Tüm hat su tablası altındadır. Su geçirgenliği 8,28x10-6 – 1.9x10-1 cm/sn olarak verilmiştir. Bu ortamın su geçirgenliğinin yüksek ve orta seviyelerde olduğu anlamına gelmektedir. Ancak, sığ tüneller olması nedeniyle yüksek olmayan bir su baskısı altıda çalışılacağı da aşikardır. Sürenlerden yapılacak olan enjeksiyon burada iyi iş görecektir. Tünel hatlarından birisi diğerini yaklaşık 100 m geriden izleyecek, diğer tünele yükleme etkisi yaratmayacaktır. Ayrıca, öndeki hat drenaj işlemini de yapacaktır.

4.2 İksa Önerileri

1. Zayıf ortam ve sığ tünel nedeniyle destekleme kabuğu üstündeki serbest yükün yüksek olacağı kabul edilecektir. Bu nedenle destekleme kabuğunun güçlü olması gerekmektedir.
2. Q 335 x 335 çift kat Çelik Hasır
3. I 160 profil iksa, iksa aralıkları; 60 – 100 cm olabilir.
4. D = 25 - 30 cm Püskürtme Beton
5. Yanlarda 4 + 4, 26 mm, L= 4 m kaya bulonları



Şekil 4.1: Bulon uygulaması.



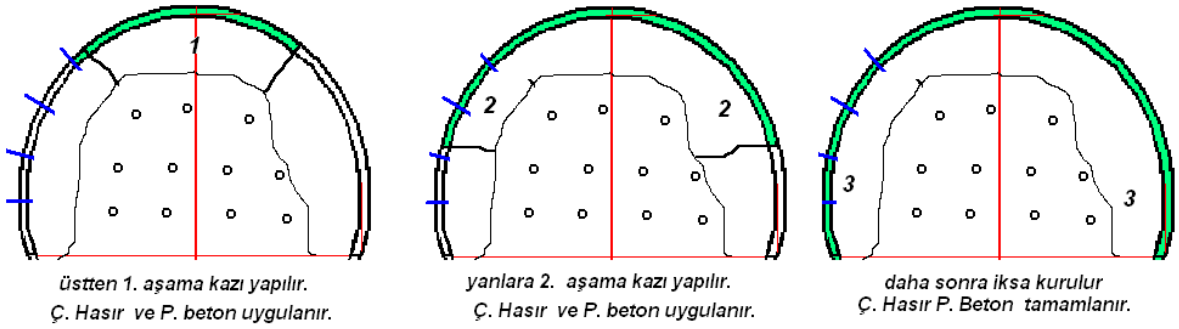
Şekil 4.2: Çelik hasır- iksa - püskürtme beton uygulaması.

Tahkimat kabuğunun uygun dizaynı açılmış tünelin deformasyonsuz kalıcılığına yeterlidir. Ancak; düşük kohezyon, içsel sürtünme açısı ve su nedeniyle ayna kazı yüzeyi akma ve göçük tehlikesi yaratacaktır.

Bu durumun önüne geçmek için; ayna göbek tahkimatı ve ön sürenleme gerekir. Ayna göbek tahkimatı olarak, 9 m ϕ16 mm göbek çivileri çakılacak ve aynaya gerektiğinde Çelik Hasır ve Püskürtme Beton uygulanacaktır. Ön sürenleme olarak, 2 inch, 6 m uzunluğunda perfore edilmiş sürenler çakılıp enjeksiyon yapılacaktır. Süren enjeksiyonlarının etkili olması için iyi yapılmalıdır. Göbek çivilerinde 4 m, sürenlerde ise 3 m bindirme yapılmalıdır.

Sığ tünel olması nedeniyle; iksa tabanlarında basma beklenmemekle birlikte, tabandaki kil zeminin batık bir hal alması çalışma şartlarını olumsuz etkileyecektir. Bunun önüne geçmek ve genel destekleme doğrusunu uygulamak için alt yarı kazısı ayna kazısını max 10 m geriden takip etmelidir. Ya da gerektiğinde Çelik Hasır ve Püskürtme Beton ile geçici invert uygulaması yapılabilir.

Ayna koşullarının çok olumsuz olduğu durumlarda parçalı kazı gerekebilir. Nispeten yavaş ise de güvenli bir yöntemdir.



Şekil 4.3: Kademeli kazı (NATM).

4.3 Kazı Yöntemi ve Aşamaları

Tünel çalışmasında aşağıdaki aşamalar takip edilecektir:

4.3.1 Tünel kazısı yapılması:

Tünel kazı sırasında karşılaşılabilecek teknik olarak patlatmaya müsait olmayan formasyonlarda 15-18 ton hidrolik kırıcılı ekskavatörler kullanılarak ilerleme yapılacaktır. Kaya kalitesinin zayıf oldugu durumlarda kırıcı kullanılmayacaktır.

Patlatma yapılmasının uygun olduğu durumlarda belirlenmiş delgi paternine göre delik yerleri işaretlenecek ve delici makine ile delinecektir. Delinecek kazı aynası, ölçme ekibi tarafından, önceden hazırlanmış delik paternine göre işaretlenir. Hazırlanan delik paterninde delik sıraları, delik boyları, delik uzunlukları delik uzunlukları, patlayıcı miktarı ve delik açıları belirtilir. Ölçme ekibi, kazı aynasında bu işaretleme işlerini yaparken, tünel aksını ve kotlarını dikkate alır. Ölçme ve kazı aynası işaretleme işlemi esnasında delme ekipmanlarının kazı aynasına mobilizasyonu yapılır. Ölçme ekibi kazı aynasında işaretleme işini bitirdiğinde, ayna delme işlemine başlanır. Delik paterninin işaretlendiği galeri kazı aynasına delme işlemi için girilir. Deliklerin delinmesinde basınçlı su ihtiyacı vardır. Delme işlemi paterne uygun olarak tamamlanır, kazı aynası patlayıcı madde ekibine terk edilir.

Deliklerin patlayıcı dolumu yapıldıktan sonra, gerekli güvenlik önlemleri alınarak patlatma işlemi gerçekleştirilecektir. Delinmiş kazı aynasındaki delikler, patlatma ekibi (Ateşçiler) tarafından patlayıcı madde şarj edilmeden önce kontrol edilir. Kontrolün amacı deliklerin tıkalı olup, olmadığının tespitidir. Delikler tıkalı ise

ateşçiler kaşık tabir edilen el aletleri ile delikleri temizleyip patlayıcı şarjına hazır hale getirirler. Ateşçi ekibi patlayıcı maddeyi deliklere doldurup sıkılama işlemini yaparlar. Daha sonra bu ekip aynadaki sarj edilmiş deliklerdeki kapsüllerin bağlantısını yaparlar, emniyetli patlatma uzaklığına çekilirler. Patlatma işi manyeto ile yapılır. Kazı aynası şarjı ve patlatma işlemi esnasında tüm emniyet tedbirleri alınır, çalışma sahasına yetkililerden ve ateşçi ekibinden başkalarının girmesi engellenir. Sorumluluk ateşçi ekibindedir.

Kazı aynası patlatıldıktan sonra, havalandırmayı sağlayan jet fan çalıştırılır, aynaya temiz hava üflenir ve patlamış aynada bulunan ve patlayıcı maddeden çıkan zararlı gazlar ortamdan uzaklaştırılır. Kazı aynası havası temiz hava ile temizlendikten sonra ateşçi ekibi tekrar aynaya gelir. Aynada patlamamış delik olup olmadığını kontrol eder. Olumlu raporu verildikten sonra ayna hafriyatı yükleme işlerine başlanır. Ayna önündeki hava çalışmaya uygun seviyeye gelince, patlatılmış malzeme yükleyici ile kamyonlara yüklenecek ve ilgili depo sahasına nakledilecektir. Bu sırada tehlike arz eden kavlaklar alınarak işe devam edilecektir.

4.3.2 Havalandırma

Tünel için havalandırma hesabı yapılarak seçilmiş olan fana uygun fan tüpler ile tünel havalandırması sağlanacaktır. İnşaat işlerinin devamı süresince, yeraltı çalışma sahalarını aydınlatılacak, havalandırılacak, tesislerin devamlı bakımı yapılarak işçilerin emniyeti sağlanacaktır.

Genel olarak, ekipmanlara temin edilecek havaya ilaveten her çalışma aynasına orada bulunan her personel için, dakikada en az dört (4) m^3 temiz hava temin edilecektir. Havalandırma sistemi, çalışma sahalarına mümkün olduğu kadar yakından hava verecek, üfleyecek tarzda tanzim edilecektir. Bütün havalandırma kanallarının hava kaçırmayacak şekilde devamlı bakımı yapılacaktır.

4.3.3 Hafriyatın alınması

Kazıdan çıkan pasa tünel içerisinde 2,5- 3,5m3 kova kapasiteli lastikli yükleyicilerle kamyonlara yüklenerek uygun döküm sahalarına nakledilecektir. Şaft ile girilen tünellerde kazı nakli tünel aynasından portal vinç vasıtasıyla yapılacaktır. Hafriyat alımında çalışma ortamı iyi havalandırılmalı ve aydınlatılmalıdır. Yükleyici çalışma alanına ekibin girmesine izin verilmez. Uzunluğu kısa olan tünellerde, yükleyici

kovasına aldığı hafriyatı tünel girişine seri bir şekilde nakleder ve kazı aynasını bir sonraki aşama olan tahkimat işlerine hazır hale getirir.

Malzemenin taşınması bitince yeni kazılan bölümde gerekli olan kavlak temizleme işlemi Beko-Loader ile tamamlanacak ve ayna güvenli şekle getirildikten sonra tünelin jeolojik açılım haritası hazırlanacaktır.

Kazı yapılan kayanın stabilitesi, tünel üstündeki örtü kalınlığı, tünel güzergâhı üzerindeki yapıların veya yapılaşmanın niteliği ve projelendirme aşamasında tünel içindeki gerilmelerin özellikle yoğunlaştığı bölgeler; kazı destekleme tipinin belirlenmesinde temel parametrelerdir.

4.3.4 Çelik iksa montajı

Tünel içerisine hazır imalat olarak, parçalar halinde gelen çelik iksanın, flanşları üzerinde açılan dört yuva içinden civata+somun marifetiyle birbirlerine bağlanması şeklinde yapılır. İksa montajında dikkat edilecek en önemli hususlar:

- lksa papuçlarının her iki yanda sağlam zemine basmasının sağlanması,
- Her iksa da mutlaka topografik ölçüm yapılmasıdır

4.3.5 Süren montajı

Bu uygulama zayıf ve çok zayıf zemin cinslerinde tercih edilmektedir. Kazı sonrası dökülmeye meyilli kaya ortamlarında, özellikle sulu bölgelerde, kazıya girmeden önce süren uygulaması yapılır. Tünel kesitinde, dairesel olan tavan kesitinden omuzlara kadar olan bölümde, kazı yönünde şemsiye şeklinde uygulanmaktadır. Bu uygulamadaki amaç bir sonraki kazı tavanının duraylılığını sağlamaktır. Uygulama bulon uygulamasındaki gibidir. Süren tesis edilmesi daimi kalıcı iksa uygulaması gerektirir. Çelik iksa üzerinden yatayla max. $5\text{-}10^0$ açı yapacak biçimde çakılırlar ve adetleri kazı destek türlerine göre değişir.

4.3.6 Püskürtme beton uygulaması

Tünel çalışmalarında shotcrete (püskürtme beton) kuru ve/veya yaş karışım olarak kullanılır. Toz miktarını azaltmak ve hava kalitesini iyi düzeyde tutmak amacıyla, ıslak shotcrete kullanımı tercih edilecek olup uygulama için uzaktan kumandalı özel

shotcrete pompaları kullanılacaktır. Parçalı kazıda kuru, tamamında ıslak robot kullanılacaktır.

Sağlam zemin cinslerinde püskürtme beton uygulaması, zeminin hava ile temasını kesip, kavlak yapmasını engellemek ve kemer oluşturmak içindir.

Geçici tahkimatın en önemli elemanı olan püskürtme beton, projesine uygun olarak kullanım yeri ve amacına göre farklı kalınlıklarda uygulanacaktır. Uygulamalarda aşağıdaki hususlara dikkat edilecektir; Bütün gevşek kayalar, beton (ön püskürtme betonunun uygulandığı yerler gibi) ve keskin çıkıntılı yerler ve bütün toz, kir, yağ ve diğer kirletici maddeler temizlenip atılacaktır. Bu yüzeyler basınçlı su ve/veya basınçlı hava ile iyice temizlenecektir. Birikmiş olan su basınçlı hava ile atılacaktır.

Püskürtme betonu uygulanacağı zaman kaya yüzeyleri ıslatılarak nemli hale getirilecektir. Püskürtme betonunun tatbikinden önce, lokal su sızıntı yerleri harçla ve müstakil drenaj tedbirleri ile kapatılacaktır. Kaplanacak donatı (tel kafes) bulonlar veya diğer iksalar ve ankrajlarla yerine sıkı bir şekilde tespit edilip tutturulacaktır.

Uygulanan püskürtme betonunun kalitesi önemli mertebede operatörün tecrübesine ve yeteneğine, püskürtme uçlarının aralığına ve püskürtme açısına bağlıdır. Bu itibarla yalnız bu tip işlerde yeterli bilgiye sahip, tecrübeli elemanlar kullanılacaktır. Püskürtme betonu yüzeyden 1,0 – 1,5 m mesafede tutulan püskürtme uçları ile püskürtülerek uygulanacaktır. Püskürtme ucu, hasır donatının arkasında veya önünde malzeme birikmeyecek mesafe ve açı ile tutulacaktır.

Püskürtme ucunda, operatöre daha çabuk ve iyi bir kontrol sağlanması bakımından su basıncı, hava basıncından daha fazla olacaktır. Püskürtme betonunun kalınlığı, projesinde gösterilen kalınlıklara uygun olacaktır. Malzemenin püskürtülme hızı işin koşullarına yetecek şekilde, püskürtme ağzından muntazam olarak sağlanacaktır. Her kazı pasasının kaldırılmasını takiben 1. kat püskürtme betonu uygulanır. Kaya destekleme sınıflarına göre gerekli yerlerde, pratik olarak mümkün olan en kısa sürede uygulanacaktır.

Püskürtme betonu kat kalınlığı en az 5 cm olacaktır. Bir seferde püskürtülen beton kalınlığı 12 cm'yi aşmayacaktır.

4.3.7 Hasır çelik uygulaması

Kazı sonrası tünel içinde çelik hasır montajına geçilir. Bütün tünel tiplerinde kullanılan çelik hasır tipi projelerde gösterildiği gibi ve bindirme oranları da yatay-düşey yönde 30 cm dir. Montajda donatının kaya yüzeyine mümkün olduğunca yaklaştırılması hususuna dikkat edilecektir.

Hasır çelik uygulaması zemin durumuna göre belirlenir. İnce bir püskürtme beton atılmış alanda, tavan ve yan cidarlara, ekip tarafından hasır çelik montajı yapılır. Burada bir önceki anoda yerleştirilen hasır çeliğe bindirme işlemine dikkat edilmesi ve montaj işine özen gösterilmesi, böylece sistemin rijit çalışmasının sağlanması gereklidir. Montajı yapılmış hasır çelik kapanıncaya kadar püskürtme beton uygulaması ile betonarme bir yapı elde edilir.

4.3.8 Bulon uygulaması

Bu işlem zemin koşullarına göre yapılır. İmal edilmiş kaya bulonları, sehpalı el tabancaları veya delici makine marifeti ile açılmış deliklere enjeksiyon (su, çimento karışımı) şarj edildikten sonra yerleştirilerek uygulanır. Bulon plakaları zemine yapışacak duruma gelene kadar bulon somunu sıkılarak uygulanır. Enjeksiyonun gereken priz süresi sonunda, somun tork anahtarı ile sıkılarak bulona gereken tork verilir. Bulon boyları, çapları, aralıkları ve adetleri tünel kesidi, zemin cinsine, statiğe bağlı olarak değişmektedir. Enjeksiyon malzemesi, enjeksiyon makinası ile deliklere şarj edilir.

Kaya bulonları tek başlarına tahkimat elemanı olarak uygulanabildiği gibi, tünellerde, iksa, hasır-çelik ve shotcrete'den oluşan tahkimatın tamamlayıcı elemanı olarak kullanılmaktadır. Taşıyıcı plakaları shotcrete kabuğunun yüzeyine basacak biçimde, kabuğun kaya kemeri ile birlikte çalışmasını sağlar.

4.3.9 Beton üretim ve nakli

Beton üretimi için minumum 90 m3/saat kapasiteli bir beton santrali kullanılacaktır. Beton transmikserlerle uygun taşıma şartları ile şantiyeye getirilecektir. Şaft dibinden kalıba beton nakliyesi yine transmikserle sağlanacaktır. Arıza durumlarında, daha önce mühendis tarafından onaylanmış yedek santral kullanılacaktır.

Tünel içi beton nakliyesi için 6-7 m3 kapasiteli transmikserler ile yapılacaktır. Şaft altında beton transmikserle alınıp sabit yer pompasına ulaştırılacak ve tünelde en az iki adet transmikser bulunacaktır. Beton karıştırıldıktan sonra 1.5 saat içinde kalıba yerleştirilmiş olacaktır.

4.3.10 Tünelde Pvc membran ve geotekstil ile yalıtım imalatı

Püskürtme betonu yüzeyinde çıkıntı yapan bulon kafaları vs. tamir edildikten ve tüm yüzeyler yalıtıma hazır edildikten sonra, püskürtme beton yüzeyine öncelikle balonlu membran daha sonra koruyucu geotekstil (500gr/m²) püskürtme beton yüzeyine uygun tespit elemanlarıyla (rondela +kapsül +çivi, uygulama yerine bağlı olarak min. tak. 3 adet / m²) tutturulacaktır. Geotekstil ve membran bitişik kesimleri 10 cm bindirilecektir.Su yalıtım membranı (PVC esaslı sinyal tabakalı 2,00 mm kalınlıkta) geotekstili örtecek şekilde monte edilecek ve geotekstilin tespit elemanlarına ısı kaynağı ile bağlanacaktır. Montaj gayesi ile membranda herhangi bir delinmeye müsaade edilmeyecektir. Sinyal tabakası içeriye gelecektir. Bitişik su yalıtım tabakaları çift kaynakla birleştirilecek, çift kaynaklı eklerle teşkil edilmiş deney kanalına basınçlı hava pompalanarak geçirimsizlik testi yapılacaktır.

4.3.11 İnvert ve kemer kaplama beton dökümü

İzalasyonu yapılmış olan tünel iç çevresine projeye uygun donatı hazırlanır ve kalıplar kullanılarak önce invert (altyarı) sonra kemer (üstyarı) için beton kaplaması yapılır (UUC İhale Dosyası,2011).

5. TBM TÜNELİ YAPIM METODOLOJİSİ

Bu yapım yönteminde Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy (UUC) Metro Projesi güzergahı boyunca inşa edilecek olan mekanize tünellerin mevcut zemin şartları göz önünde bulundurularak, Pasa Basınç Dengeleyici Tünel Açma Makinesi (Earth Pressure Balance / Tunnel Boring Machine, EPB/TBM) ile tünel açma işlerine ait yapım şeklini tarif etmektedir.Şekil 5.1'de TBM'in kesici kafa ve diskleri gösterilmektedir. Makinenin Teknik Özellikleri Çizelge 5.1'de TBM'in teknik özellikleri detaylı bir şekilde gösterilmektedir.



Şekil 5.1: Kullanılacak EPB/TBM.

Çizelge 5.1 TBM'in teknik özellikleri.

Genel açıklamalar	**Veriler**
Makina tipi	EPB , sert kaya
Tünelin toplam uzunluğu	2 x 9166 m
Monte edilen güç	2150 kW
TKM uzunluğu + Römork	100 m
Eğri yarıçapı	180 m / 800 m (yatay / dikey)
Çalışma basıncı	4 bar
Kesici kafa	**Veriler**
Delme çapı	6570 mm
Ağırlık (iş aletleriyle birlikte)	65 t
Kesici diskler (1'li)	26 x
Kesici diskler (2'li)	6 x
Bindirici	1 x
Kesici disk çapı	432 mm
Kesme bıçağı	72 x
Taraklar	8 x
Ana tahrik	**Veriler**
Tipi	elektrikli
Motorlar	8 x
Güç	1280 kW
Devir sayısı	0 - 5,33 (dak)
Tork (nominal)	3663 kNm
Tork (aşırı yük)	5018 kNm
İlerleme	**Veriler**
Ana ilerleme silindiri	2 x 16 silindir
Kaldırma	2200 mm
İlerleme gücü (ana ilerleme silindiri)	42575 kN (350 bar)
Segment erektörü	**Veriler**
Güç nakli	hidrolik
Ağırlık yakl.	23 t
Kavrama sistemi	Vakum
Hareket yolu	2200 mm
Dönme hızı	0 - 3 (dak)
Dönme açısı	+/- 200
Basınç odası	**Veriler**
Sayı	1 x
Tipi	Paralel basınç odası
Ön bölme hacimleri	2160 l
Ana bölme hacimleri	3610 l
Çalışma basıncı	4 bar
Helezon konveyör	**Veriler**
Sayı	1 x
Uzunluk yakl.	13600 mm
Güç	250 kW
Devir sayısı	0 - 30 (dak)
Kapasite yakl.	410 m³/h
Gaz ölçümü	**Veriler**
Ölçülen gazlar	O2, CO2, CO, CH4

Geri ekipmanı konveyör bandı	**Veriler**
Genişlik	800 mm
Güç	45 kW
Bant hızı	0 - 3,0 m/sn
Sevk gücü	700 m³/h
Segment besleyicisi	**Veriler**
Kapasite	1 halka (5 + 1 segment erektörü)
Kumanda	elektrikli
Römork	**Veriler**
Sayı	5
Toplam uzunluk yakl.	95 m
Segment vinci	**Veriler**
Güç nakli	elektrikli
Kavrama sistemi	Vakum
Taşıma yükü	4000 kg
Hareket yolu	17,50 m
Kaldırma yüksekliği	2,50 m
Hareket hızı	0 - 40 m/dak
Kaldırma hızı	5,70 m/dak
Halka yarığı harç dolgusu	**Veriler**
Pompalar	2 KSP12
Akış	10 m³/h
Tank	10 m³
Hidrolik	**Veriler**
Toplam güç	486 kW
Tank hacmi	4000 l
Elektrik tesisatları	**Veriler**
İkincil gerilim	400 V
Kumanda gerilimi	230 V
Transformatörler	1 x 2500 Kva
İkincil havalandırma	**Veriler**
Güç	22 kW
Hat çapı	700 mm
Basınçlı hava tertibatı	**Veriler**
Güç	55 kW
İşletme basıncı	7,5 bar
Hava miktarı	10 m³/dak
Su devri	**Veriler**
Su miktarı	30 m³/h
Sıcaklık	25 °C
Su boşaltma	**Veriler**
Pompalar	2 x
Hortum makarası	1 x
Tank hacmi	10 m³

5.1 Tünel Açma Makineleri Tanıtımı ve TBM Seçimi

Tünel açma makineleri (Tunnel Boring Machine - TBM), zeminin özel jeolojik ve jeoteknik parametrelerinden ötürü, klasik metodların (del-patlat, aç-kapa vb) çalışılamadığı durumlarda ve ilerleme hızının yüksek olması gereken projelerde tercih edilir. Bu makinalar temelde, döner başlıklı kazıcı uçların yer aldığı kafa, kumanda odasının da bulunduğu orta ve kazı malzemesini tünel dışına aktaran taşıma bandının yer aldığı gövde bölümlerinden oluşur.

Bu yöntemde kullanılan ve açılacak tünel boyuyla aynı çapta imal edilen TBM araçları, tüneli ayna boyunca tam cepheli olarak sürekli kazmak suretiyle, eksen boyunca kesintisiz ilerleme sağlar.

Zeminin sertliği ve doğal çimentolanma durumuna göre, TBM'ler bazen sadece kazıcı uçlardan, bazen de zeminin çökmesini veya benzer sebeplerden ötürü inşaata zarar vermesini önlemek amacıyla "kalkan"lı olarak imal edilir. Bu kalkanlar, tünel açma işleminden sonra yerleştirilecek olan iksa sistemi kurulana kadar, zemine geçici tahkimat desteği sağlamak, çalışma sahasındaki çalışanları ve ekipmanı korumak amacıyla kullanılır.

TBM'ler proje bazında özel olarak imal edildikleri için, çeşitli tip ve özellikte olan modelleri vardır. Bu modeller standart olmayıp, kullanılacak işin niteliği ve niceliğine bağlı olarak değişir. Bu yüzden, her proje için kullanılacak TBM'ler üretici firma tarafından, verilen proje parametreleri doğrultusunda ayrı olarak tasarlanır.

5.2 Tasarım Kriterleri

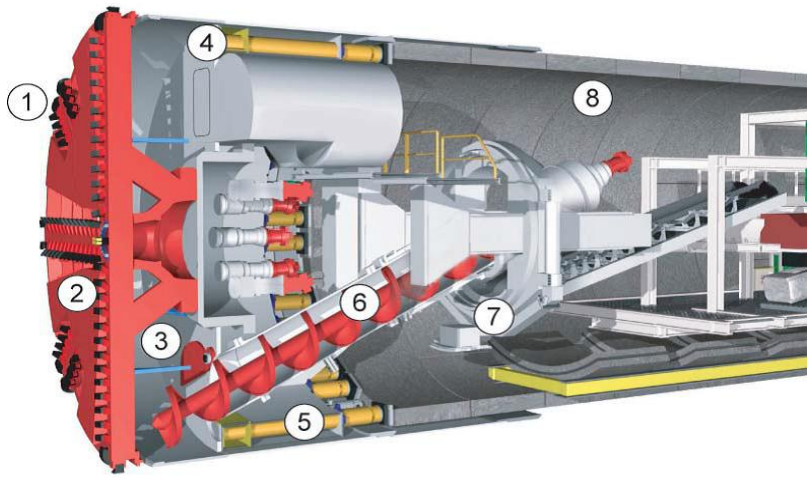
Tünel açılması için en önemli parametreler zeminin jeolojik ve jeoteknik özellikleridir. Zira, zeminin kaya veya toprak olması; kaya ise süreksizlik ve bu süreksizlikeri dolduran malzemenin dayanımı; toprak ise tane boyu, taneler arası moleküler çekim gücü (kohezyon) gibi etkiler makinanın verimini, dolayısıyla kazının ilerleyişini doğrudan etkileyen faktörlerdir.

Çeşitli tipteki TBM'lerin ayırt edici özellikleri, makina bünyesinde yer alan kazı ve tahkimat (kalkan) sistemleridir. Doğal olarak bu sistemleri belirleyen en önemli unsur da kazılacak zeminin fiziksel parametreleridir.

Bu maksatla, önce detay projede verilen zemin profilleri incelenir. Tünel ekseni boyunca hangi jeolojik birimlerin geçileceği, bu birimlere ait jeoteknik sınıflamalar, basınç dayanımları, süreksizlik durumları ve su ihtivası gibi temel parametreler araştırılır. Söz konusu özelliklere göre, projenin bütünlüğü de göz önüne alınmak şartıyla bir tünel açma makinesinin tipi ve özellikleri belirlenir.

EPB tip kazıcılar (Earth Pressure Balanced-Toprak Basınç Dengeli) genelde ince taneli ve suya doygun zeminlerde, tünel ekseninde ilerleme sağlanırken kazının çökmeden devam etmesini sağlamak amacıyla kullanılır.

Bu tip makinelerin en önemli özelliği, sistemin kendinden kaynaklı hidrolik vibrasyon mekanizmasıyla kazıcı uçlara bir basınç uygulayarak, bu sayede kazı aynasına temas eden genelde suya doygun kohezyonlu zeminlerin plastik davranışlarına karşı koymasıdır. Tipik bir EPB makinesinin iç kesiti ve çalışma prensibi Şekil 5.3.1'deki gibidir.



Şekil 5.2 : TBM iç kesit görünüşü.

1. Kesme Kafası

2. Pasa Açıklığı

3. Ön odacık

4. Orta Kalkan

5. İtme Pistonu

6. Vidalı Konveyör

7. Segment Montaj Vinci

8. Prekast Segmentler

Kazı için hangi sistemin kullanılacağını (hidrolik vibrasyon veya kimyasal karışım) belirlemek için de güzergah boyunca yapılmış olan jeoteknik etüdlerden faydalanılır. Genel olarak yumuşak toprak tabakasının içindeki su muhtevası oranı, bu sistemlerden hangisinin daha ekonomik olacağını belirler. Su muhtevası arttıkça, yatay zemin gerilmesi de artacağı için, buna karşı koyacak basınçlandırma işlemi de o oranda artacaktır. Her iki durumda da, EPB makinalarının parçası olan elektronik sistemler, söz konusu basınçları kazı boyunca anlık olarak ve otomatik bir şekilde hesaplayarak, karşı basınç sistemini devreye sokar.

EPB makinelerinin kazıcı uçları, yumuşak toprağı kolayca sökebilecek tipte, ufak ancak sık aralıklı dişlerden oluşmaktadır. Söz konusu dişlerin aralığı ve boyu da yine kazılacak zeminin tane boyuna ve taneler arası sıkılık oranına göre belirlenmektedir.

Bir EPB/TBM'de bulunması gerekli minimum mekanik aksam ve aksesuarların listesi genel olarak aşağıdaki gibidir;

1. Kesici uçlar veya diskler (Uzun süreli aşınmaya dayanımlı, değiştirilebilir metal tırnaklar veya sert zeminde çalışabilecek kesici diskler)

2. Başlık (Zemin sertliğine göre hızı ayarlanabilir döner kesiciler)

3. Kalkan (Zemin çökmesine karşı engelleyici ve koruyucu metal silindir)

4. Konveyör (Kazıcıdan gelen küskülüğü tünel dışına tahliye etme sistemi)

5. İtme Pistonları (Karşı zemin basıncı oluşturma amaçlı itki sistemi)

6. Segment ekipmanları (Kazı süresince kalıcı beton tahkimatı yerleştirme sistemi)

7. Raylar (Segment ve diğer ekipmanları tünel içinde raylı taşıma sistemi)

8. Elektromekanik aksam (Güç ve kontrol sistemleri)

9. Tünel rehber sistemi (Tünel içinde hassas eksen tayini için lazer-video sistemi)

10. Çevre gözlem sistemi (Metan ve oksijen dedektörü)

11. Hidrolik yağ soğutucuları

12. Havalandırma sistemi

13. Operatör kabini

EPB tünel açma makinelerinde, ön odacıkta makineden gelen basıncın tünel aynasına aktarıldığı bir ortamda zeminin kazılması gerçekleştirilir. Aynadaki zeminde muhafaza edilen basınç, TBM'in ileriye doğru itkisine ve aynanın ön tarafındaki toprağın ön odacığına alınma hızına bağlıdır. Toprağın odacığa giriş hızı ise odacıktaki basınca bağlı olup, bu da EPB'nin ilerleme hızının ve toprağın helisli konveyör ile atılma hızının bir fonksiyonudur. Kazı esnasında ayna yüzeyi stabilitesini muhafaza etmek ve aynadaki zemin kaybını önlemek için ön odacığın toprakla dolu kalması ve odacık basıncının kabul edilebilir belli limitler dahilinde tutulması gereklidir.

Tünel açma esnasında ve çalışmaya ara verildiğinde ön odacığın dolu kalması, zemin kayıplarını en aza indirmek ve zemin oturmalarını engellemek için gereklidir.

Kazı sırasında makinenin aşınmasını engellemek ve daha uzun ömürlü çalışmasını sağlamak için kesici diskleri yağlayıcı köpükler ve polimer esaslı katkılar kullanılır.

Bu köpükler, suyla birlikte disk uçlarındaki toprağı yağlayarak kafa torkunu azaltır. Polimerler ise konveyörde tapa oluşmasına yardımcı olur ve kesici kafadaki toprak hareketinin akıcı olmasını sağlar.

5.3 Seçilen Pasa Basınç Dengeleyici Tünel Açma Makinelerinin Tanıtımı

Proje kapsamında iki adet Toprak Basınç Dengeleyici Tünel Açma Makinesi (EPB/TBM) kullanımı kararlaştırılmış olup, daha önceden Kadıköy-Kartal Metrosunda kullanılan ve Kozyatağı-Kadıköy İstasyonları anahat tünellerinin kazısında kullanılan Herrenknecht marka makineler bakım onarım çalışmaları yapılıp yenilenmiş ve kazıya hazır hale getirilmiştir.

EPB/TBM'ler çalışma sırasında zemindeki yer altı sularının yarattığı basınç durumuna göre kazılan noktalara hava ve zemin basıncı vererek hem içeriye su gelmemesini sağlayan, hem de boşalan toprağın yerine su dolmasıyla zeminde muhtemel çökme olaylarına meydan vermemek için tasarlanmış hidrolik mekanizmalar ile çalışan bir makineler grubudur.

Sistemin içinde delme, kazı toprağının atılması, tünel iç kaplamasının montajı, enjeksiyon ve yönlendirme gibi tünel yapım işlemleri için gerekli işlemler entegre edilmiştir.

TBM makinesinin üç ana bölümü vardır; tüm işlemler bu bölümlerde yönlendirilmektedir.

1. Ön kısım ve kesme kafası

2.Orta bölüm, kumanda odası ve segment montajı

3. Kuyruk bölümü ve gantri (şase)



Şekil 5.3 : Vidalı konveyör.



Şekil 5.4: Gantry ünitesi.

Ön kısımda kalkan ve kesme kafası bulunmakta ve asıl delme işlemi bu bölümde yapılmaktadır. Kesme kafası dönerek hareket eder ve üzerindeki kesicilerle iri parçalar halinde zemini kazarak tüneli açar. Basınç durumuna göre hava verilmekte ve zemnin olası çökmesi önlenmektedir. Kazı malzemesi, helesli nakil düzeneği aracılığı ile terfi ettirilerek arka taraftaki taşıma bandına aktarılmakta, buradan da kazı vagonlarına yüklenerek tünel dışına alınmaktadır.

Tünelin orta bölümünde Operatörün kullanacağı kumandalar ve monitör sistemi vardır. Operatör, makine kesme kafasında bulunan deliklerden içeriye akan kazı malzemesini direk olarak görür ve bir segment genişliği kadar kazı işlemi yapıldıktan sonra segment halka montajını tamamlar.

Kazıcı bölümünün arkasında aşağıdaki ilave sistemler vardır:

1. Segment erektör ve segment indirme vinci

2. Gantri (TBM'in gerekli sistemlerinin monte edildiği şase)

3. Delme bölümü ile tünel konveyörü arasında görev yapan ve tünel makinesini takip eden taşıma bandları,

4. Delme bölümü ile tünel dışındaki muhtelif malzemenin stok sahası ve pasa döküm sahası arasında görev yapan ve segment, kazı malzemesi, enjeksiyon harcı ile dizel lokomotiften meydana gelen Katar,

5. Ana güç kaynağı olarak bir trafo

6. Tünel havalandırma ve hava kanal kaseti

Tünel girişinde ise şunlar vardır;

7. Konveyör Bant Sistemi,

8. Enjeksiyon karışım santrali,

9. Enjeksiyon ara karıştırıcısı,

10. Havalandırma fanları,

11. Kule Vinç

12. Segment stoklar

5.4 İlk Kazı Başlama Sistemi

TBM Çarşı İstasyonu Orta Konkors Yapısı içerisinde teşkil edilecek kaydırma radyesi üzerine konarak burada montajı yapılacaktır.Üsküdar İstasyonu istikametinde kaydırılarak Gantry ler eklenecek ve TBM Peron tüneli sonunda kazı aynasına dayandığı zaman arkasına itme şasesi montajı yapılarak,TBM kuyruk sacı içerisinde ilk prekast ring montajı gerçekleştirilecektir.Daha sonra bu ilk ring itme pistonları ile itilerek itme şasesine dayanacak ve böylece TBM ‘ in ileri yönde ilk hareketi başlayacaktır.



Şekil 5.5: TBM' in ilk kazıya başlayacağı Ümraniye şaftına indirilmesi.

Tünel açma işleminin gerçekleştirilmesi ile ilgili aşamalar aşağıda sıralanmıştır.

5.4.1 Mevcut yapılar, servisler ve yeraltı tesisleri

İşler başlatılmadan önce, çalışma yapılacak bölgede mevcut herhangi bir servis ya da yeraltı tesisi bulunmadığı ilgili idareden mutlaka teyit edilecektir. Yakında bulunan yapıların güvenliği dikkate alınacaktır.

5.4.2 Çalışma alanının hazırlanması

Tünel ayna ağzında TBM'in ve destek sistemlerinin kurulacağı portal hazır hale getirilecektir.

Portal'de katarların çalışacağı ray ve makas sistemi, yükleme ve boşaltma sistemleri, segment depo alanı, trafo, şantiye tesisleri bulunmaktadır.

5.4.3 Açık kısım / tünel kesiminde ilk kazı başlama sistemi kurulması

Tünel aynasında ilk kazı başlama sistemi kurulur. TBM kontrollü biçimde ilk segmentleri yerleştirerek hareketine başlar ve ayna ile temas eder. İlk Kazı Başlama Sisteminden aldığı destekle aynaya doğru hareket ederek kazı işlemine başlar.

5.4.4 Tünel delme bölümünün kendini aynaya doğru itmesi

EPB/TBM, kendinin ileriye doğru itilmesini sağlayan düşey daire üzerine yayılmış hidrolik pistonlarını arkada en son konan tünel segmentleri üzerine bastırır. İleri itme işlemi tüm kazı boyunca devam eder.



Şekil 5.6: TBM itme silindirleri.

5.4.5 Kesici kafanın dönmesi ve pasanın alınması

Kesici kafa üzerindeki çeşitli kazıcılar kazma işlemi yaparken önde mevcut pasa açıklıkları kesici kafadaki yükleme uçları kazılan hafriyatı döner kafa içine yüklerler. Kafa içindeki vidalı konveyör pasayı birinci bant üzerine boşaltır, buradan da ikinci banta (tünel konveyörü) yüklenen hafriyat tünel dışına kadar taşınır. Helezonik konveyörün pasayı taşıma hızı 3,20 m/sn, tünel içi konveyörün 3,30 m/sn ve en gerideki konveyör kasetinin hızı ise 3,45 m/sn dir. Hızdaki bu artış pasanın alınmasında sürekliliği sağlayıp pasanın tıkanmasını ve sıkışmasını engeller.

Konveyör kaseti şaft çıkışında bir sistemle boşaltılıp 10^{o} eğimle yüzeyde şantiye alanındaki pasa sahasına aktarılır. Konveyör bantlar konveyör bant üzerinde bulunan kantar yardımıyla kazılan hafriyat miktarı sürekli kontrol altında tutulur.



Şekil 5.7: Tünel içi konveyör sistemi.



Şekil 5.8: Konveyör kaseti.

Konveyör kaseti her 200 metrede bir 400 metrelik konveyör bant eklenecektir. Bu işlem yaklaşık 10 saat sürecektir.Delme işlemi ilk seferde 1.50 metre olmak üzere normal olarak her adımda 1.50 metredir. Bu mesafe her seferde monte edilen bir grup tünel segmentin genişliğidir.Delme işlemi sırasında arkadan gönderilen lazer ışını baş kısımdaki operatörün gördüğü hedef üzerine düşerek sürekli yön verir.

Yönlendirmedeki düzeltmeler operatörün bazı pistonların basıncını ayarlaması ile olur.

5.4.6 Blok ve engellerin uzaklaştırılması

TBM çalışması sırasında kapaklardan veya helisli konveyör kısmından geçemeyecek irilikte herhangi bir blok taş veya diğer engeller patlayıcı madde kullanılmadan derhal kırılacak veya atılacaktır. Kırma işlemi için TBM ön odacığına girilerek havalı kırıcılarla işlem tamamlanacaktır.

5.4.7 Yön verme ve düzeltme sistemi

Tünel aynasının son durumu topoğrafya aletleri ile ölçülür. Bir sonraki adımda alınacak yeni yön bilgisayar ile hesap edilerek lazerin yeni pozisyonu hesap edilir. Lazer kullanılarak EPB/TBM, pistonlar ve oynar başlık yardımı ile yönlendirilir. Eğer planlanan güzergahtan bir sapma varsa, bu sapmanın ne kadarlık bir mesafe sonunda tekrar istenen güzergaha oturacağı hesaplanır ve bu düzeltme işlemleriyle tekrar planlanan yön verme sistemi istenen güzergahta devam edilmesini sağlar.

5.4.8 Segment montajı

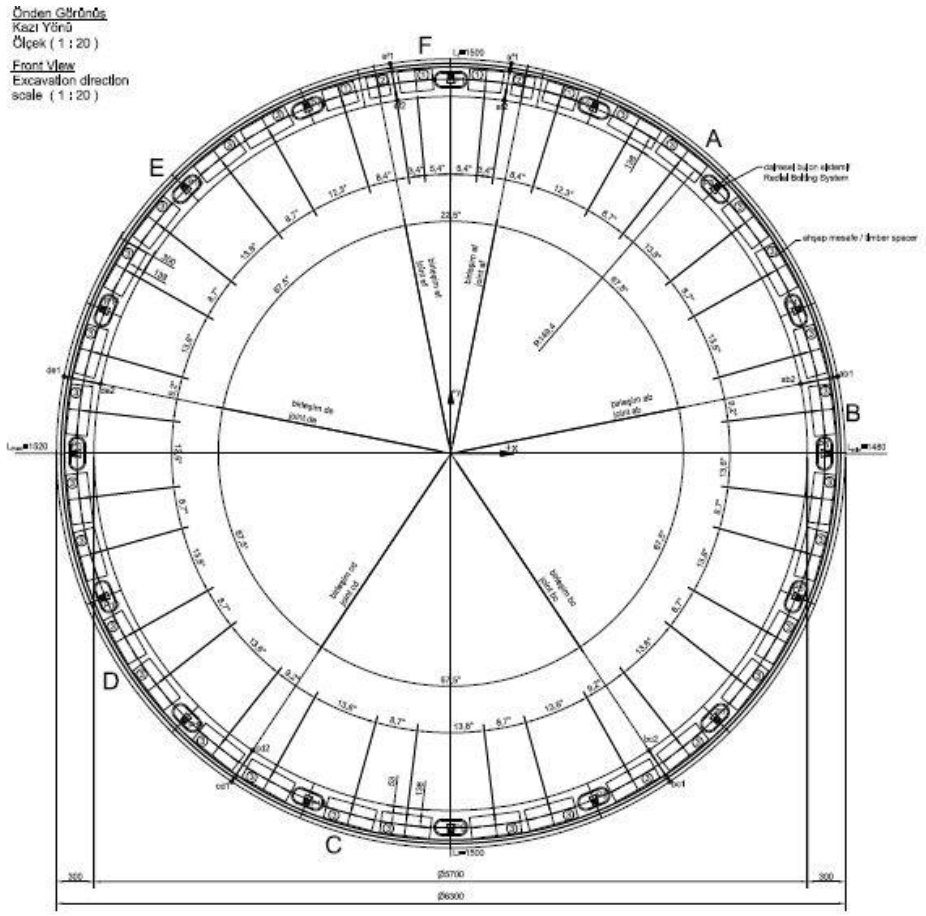
İmalatı yapılacak segmentler 1500 mm genişliğinde ve 6300 mm dış ila 5700 mm iç çap olmak üzere bir tam ring teşkil edecek şekilde döşenmek üzere imal edilecektir. Segmentlerin et kalınlığı 300 mm olup, biri kilit segmenti olmak üzere (5+1) her ring altı parçadan oluşacaktır.

Tünel iç kaplaması altı segmentin belli bir düzen takip edilerek dizilmesiyle oluşturulan halkalardan meydana gelmektedir. Güzergah aritmetiği esas alınarak halka ve segmentler için montaj konfigürasyonu hazırlanır ve bu sistem için geliştirilmiş bilgisayar programı desteği ile montaj yapılır.

Portal önündeki depo sahasında stoklanmış olan segmentler iki vagon üzerinde tünele taşınmaktadır. Vagonlardan bir tanesinde aşağıdan başlıyarak B, D, C diğerinde ise gene en alttan başlayarak A,E,F kodlu segmentler yüklenir.

Montaj konfigürasyonunda ilerleme yönüne göre kilit taşı (F)'nın tam karşısında (C) segmenti, (F)'nın sağında (A), solunda (E); (A)'nin sağında (B), (E) nin solunda (D)

segmentleri yer almıştır. Hem portal önündeki stok alanındaki yükleme düzeni, hem tünel içerisindeki montajda bu kodlama esas alınarak işlem yapılmaktadır.



Şekil 5.9: Segment montajı planı.



Şekil 5.10: 1 ringe montaj yapılacak segment takımı. (6 parça)

5.4.9 Enjeksiyon yapılması

Tünel giriş ağzında (Çarşı İstasyonu) tesis edilen enjeksiyon harcı santralında, onaylı karışım dizayna göre ve onaylanan süper akışkanlaştırıcı gibi kimyasallar ilave edilerek üretilen enjeksiyon harcı tasarımı yapılan düzenek ile enjeksiyon harç vagonuna yükleme yapılır. Yükleme esnasında ve enjeksiyon yapılacak noktaya kadar gidinceye kadar vagonda enjeksiyon harcı cebri olarak karıştırılır.

Enjeksiyon harcı yeteri kadar akıcı ve pompalanabilir olmalıdır. Harç için düşük bir basınç mukavemeti yeterli olmaktadır. Bu dolgu enjeksiyonu uygulaması açısından boşlukların doldurulması harç mukavemetinden çok daha önemlidir.

Yerine konan segmentlerin zemin tarafında ve çevresindeki kazı ile segment arasında kalan boşluk alanı doldurma amacı ile enjeksiyon harcı pompalanır. Enjeksiyon harcı segmentlerin oluşturduğu halkanın dışına eş zamanlı olarak bir çok noktadan birlikte yapılır. Bu şekilde tüm boşlukların aynı anda doldurulması sağlanmış olur. Daha önce segmentlerin uç tarafına çepeçevre mekanik olarak yerleştirilen fırça düzeneğine özel olarak imal edilmiş gres pompalanır, bunun amacı segmentin arkasına basılan enjeksiyon harcının TBM'in ön tarafına gitmemesini sağlamaktır.

Tünel içine giren katarda bulunan enjeksiyon harç vagonu, şerbet pompalarının yanına getirilir. Şerbet pompasının emiş hortumları vagondaki çıkış noktasına bağlanır ve uygun dozametre ile priz hızlandırıcı harcın içine bu esnada konur,

enjeksiyon harcı uygun zaman karıştırıldıktan sonra segmentlerin geri tarafına kadar giden enjeksiyon boruları, enjeksiyon pompalarına önceden bağlıdır ve son kontroller yapıldıktan sonra enjeksiyon pompaları çalıştırılarak segment halkası arkasındaki yuvarlak boşluğa enjeksiyon harcı basılmaya başlanır. Bu arada da basılan enjeksiyon harcının miktarı ve basıncı göstergelerden gözlenmektedir. Enjeksiyon pompa basıncının çok yüksek olmamasına dikkat edilir. Aynı zamanda fırçalara karşı basınç yaratması için özel gres yağı basılacaktır.

Enjeksiyon işlemi TBM kuyruk sacı üzerinden bulunan enjeksiyon hatlarından, kuyruk sacından kazı sırasında çıkan ringin dışına yapılır.Bu işlem sırasında dikkat ediecek önemli noktalardan biri de kazı ilerlemesi ile orantılı bir enjeksiyon yapılmasıdır.

6. TBM KAZI METODOLOJİSİ

TBM kazıya Ümraniye İstasyonundan başlayacaktır ve Üsküdar İstasyonuna kadar anahat tünellerinin kazısını yapacaktır. Bu güzergah boyunca istasyon peron tünelleri ve makas tünellerinde TBM önceden hazırlanmış bir sistem ile kaydırılarak anahatta tekrar kazıya başlayacaktır. Bunun için peron ve makas tünellerinin kazısının TBM geçişinden önce bitirilmesi planlanmalıdır. Peron ve makas tünelleri kazısı NATM metodu ile yapılacaktır. Ümraniye İstasyon alanında montajı olup kazıya başlayacak olan TBM in bir sonraki mobizilasyon sahası Libadiye ve Altunizade İstasyon alanında olacak ve TBM'in arka planındaki tüm ekipmanlar taşınacaktır. Bu avantajı pasa nakliyesinin daha kolay yapılması ve işin hızlanmasını sağlamaktadır.

Üsküdar'da kazıyı tamamlanan TBM'ler mobilize olup Dudullu Şantiyesine taşınacaktır. ikinci kısım olarak Dudullu makas tünelinden kazıya başlayıp Çakmak İstasyonunda kazıyı tamamlayacaktır. TBM'ler toplamda 9166x2 metre B tipi (çap: 6,57 m) tünel kazısı yapacaktır.İstasyonlar arası yapacağı kazı da ve Çizelge 6.1'de ayrıntılı bir şekilde gösterilmektedir.

Çizelge 6.1: TBM'in güzergah boyunca çalışacağı noktalar.

Başlangıç (m)	Bitiş (m)	Uzunluk (m)	İstasyon /Tünel
-311,27	-152,00	159,265	A2 (Kuyruk tüneli)
-152,00	68,00	220,000	Üsküdar (P) (Aç-kapa)
68,00	186,00	118,000	T tüneli (Makas) Aç kapa
186,00	1229,28	1043,275	B (TBM)
1229,28	1449,75	220,475	Fıstıkağacı (P)
1449,75	2250,5	800,750	B (TBM)
2250,50	2470,50	220,000	Bağlarbaşı (P)
2470,50	3397,83	927,330	B (TBM)
3397,83	3617,83	220,000	Altunizade (P)
3617,83	3650,00	32,170	A2
3650,00	3930	280,000	A2+T2+T3 (Makas Bölgesi)
3930,00	4638,626	708,626	B (TBM)
4638,63	4858,63	220,000	Kısıklı (P)
4858,63	6130,25	1271,627	B (TBM)
6130,25	6350,253	220,000	Libadiye (P)
6350,25	7506,435	1156,182	B (TBM)
7506,44	7726,44	220,000	Çarşı (P)
7726,44	8518,059	791,624	B (TBM)
8518,06	8738,06	220,000	Ümraniye (P)
8738,06	9550,00	811,941	A2+ T2 (Makas Bölgesi)
9550,00	9770,00	220,000	İnkılap (P)
9770,00	10428,567	658,567	A+A2+T3 (Makas Bölgesi)
10428,57	10648,57	220,000	Çakmak (P)
10648,57	11429,967	781,400	B (TBM)
11429,97	11649,97	220,000	Ihlamurkuyu (P)
11649,97	12406,681	756,714	B (TBM)
12406,68	12626,68	220,000	Altınşehir (P)
12626,68	12800,00	173,319	B (TBM)
12800,00	13075,00	275,000	T2 (Makas Bölgesi)
13075,00	13408,332	333,332	B (TBM)
13408,33	13628,33	220,000	Lise (P)
13628,33	14050,365	422,033	B (TBM)
14050,37	14230,365	180,000	T Makas (Aç-kapa)
14230,37	14450,37	220,000	Dudullu (Aç-kapa)
14450,37	15693,97	1243,603	A2 + T
15693,97	15913,97	220,000	Toplu Konutlar (P)
15913,97	16306,90	392,936	A2
16306,90	16486,90	180,000	T (Aç-kapa)
16486,90	16706,90	220,000	Çekmeköy (P) (Aç-kapa)
16706,90	16919,34	212,436	A Kuyruk Tüneli

Aç-kapa	1358 metre
NATM	6706,39 metre
TBM	9166,21 metre
TOPLAM	17230,60 metre

7. TBM PERFORMANS TAHMİNİ

Farklı TBM performans tahmin metodolojileri olmakla beraber bu çalışmada ,yoğun yerleşimin olduğu bölgelerde ve karmaşık jeolojinin olduğu formasyonlarda kullanılan metodun özü; tek eksenli basma dayanımına, RQD ve spesifik enerjiye dayanmaktadır.

Bu parametreler bulunduktan sonra makinenin performans tahmini yapılabilir.Bu hesap metodolojisi şu şekildedir (Bilgin, N., Copur, H., Balci, C., Tumac, D. & Avunduk, E, 2012).

$$SE = 0{,}051.UCS + 1{,}8 \quad (7.1)$$

SE : Spesifik enerji (kWh/m^3)

UCS : Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)

Eğer kaya iri taneli ise (arkoz, kumtaşı , konglomera) hesaplanan spesifik enerji %35 arttırılır.

RQD etkisi EPM modunda iken hesaplanmayacaktır. Sadece OPEN modda şu şekilde hesaplanır;

%100 > RQD > %70 ise spesifik enerjide değişiklik olmaz.

% 70 > RQD > %50 ise spesifik enerjide %15 azalma olur.

%50 > RQD > %30 ise spesifik enerjide %30 azalma olur.

%20 > RQD ise spesifik enerjide %40 azalma olur.

TBM'in kesme gücü hesaplanırken aşağıdaki formül kullanılır;

$$P_{cutting-EPB} = 118{,}8.D \quad (7.2)$$

$$P_{cutting-HardRock} = 45{,}2.D \quad (7.3)$$

$P_{cutting}$:Makine gücü (kW)

D : Tünel çapı (m)

Makinenin saatlik kazı kapasitesi;

$$NPR = k.\frac{P_{cutting}}{SE} \qquad \text{(Rostami, J., Ozdemir, L. \& Neil, D.M., 1994)} \qquad (7.4)$$

NPR : Net Production Rate (m^3/h)

k : Enerji transfer oranı (0.8 : TBM'ler için)

Makineden faydalanma oranı kazı esnasında % 15-45 aralığındadır. Makinenin verimini etkileyen parametreler Çizelge 7.1 de gösterilmiştir.

Çizelge 7.1: Makinenin kazı sırasındaki tahmini gecikmeleri.

Faktörler	Beklenen Durum	Etki
Elverişsiz zemin	Formasyonlar arası geçiş zonu	2-7 gün
	Dayklar	2-7 gün
	Faylar	2-14 gün
	Su	2-7 gün
TBM arızaları	Yeni TBM (deneyimli ekip)	2-4 %
	Yeni TBM (deneyimsiz ekip)	4-6 %
	Yenilenmiş (deneyimli ekip)	4-6 %
	Yenilenmiş (deneyimsiz ekip)	6-8 %
Keski yenileme	Kuvars oranı 0--20	5%
	Kuvars oranı >20 zayıf,bloklu zemin	5-10%
	Kuvars oranı > 20 , sert kaya	10%
Pasa alınması	Vagonlar taşıma	7%
	Vagonla taşıma	10%
	Bant konveyör ie taşıma	5%
	Bant konveyör ile taşıma	7%
Bakım-Onarımı	Deneyimli ekip	10%
	Deneyimsiz ekip	15%
Segment montajı		22-25 %
TBM mobilizasyon		14-21 gün
Diğer duraklamalar		10-15 %
Makineden faydalanma oranı		15-45 %

TBM performans tahmininde tüm istasyonlar arasındaki metrajlar, sondajlar,sondajların RQD ve UCS değerleri, formasyonun özelliklerine göre spesifik enerjiye etkisi bulunmuştur. Makinenin hangi moda çalıştırabileceği belirlenmiş ve buna göre ne kadarlık kesme gücü olacağı bulunmuştur.Kesme gücünü spesifik enerjiye bölerek ve 0.8 katsayısıyla çarparak saatlik net üretimi hesaplarız. Daha sonra saatlik net üretimi TBM verimi ile çarparak TBM'in net kazı kapasitesi bulunur. Kazı kapasitesi bulunduktan sonra günlük ilerlemeler bulunur.

7.1 Numerik Örnek: (SÇÜ-1 Sondajı için yapılan hesaplama)

Çizelge 7.2 : Ümraniye-Çarşı arasında TBM performans tahmini.

Güzergah	Başlangıç-Bitiş (m)	Formasyon	Litoloji	Sondajlar	Metraj (m)	σ_c (MPa)	SE (kWh/m3)	RQD (%)	Çalışma Modu	RQD Etkisi
Çarşı	7726,435	Gözdag	şeyl	SÇÜ-1	112,218	28,09	3,23	10,1	EPB	
Ümraniye	8518,059	Andezit	kiltaşı-şeyl-andezit andezit dayk	SÇÜ-2	274,283	39,27	3,80	27,8	EPB	
Uzunluk(m)	791,624	Gözdag	şeyl	S25	180,000	14	2,51	51,82	EPB	
		Dolayoba	kireçtaşı	SK-UMR-1	47,500	49,1	4,30	3,5	EPB	
		Dolayoba	kireçtaşı	SK-UMR-2	30,000	49,1	4,30	6	EPB	
		Dolayoba	kireçtaşı-şeyl	S26	79,029	45,94	4,14	15,6	EPB	
		Gözdag	kireçtaşı-şeyl	SÜÇ-1	68,589	28,09	3,23	42,36	EPB	

Çizelge 7.2 (devam): Ümraniye-Çarşı arasında TBM performans tahmini.

Net SE (kWh/m3)	Kesme Kuvveti (kW)	Net Üretim Oranı (m3/h)	Günlük Net Üretim (m3/gün)	TBM Verimi (%)	Verim Düzeltmesi Yapılmış Günlük Üretim (m3/gün)	Günlük İlerleme (m)	Kazı Süresi (gün)	Kazı Dışı Gecikmeler (gün)	Toplam Süre (gün)
5,82	780,52	107,31	2146,24	0,35	751,18	22,16	5,06		
6,84	780,52	91,22	1824,44	0,35	638,55	18,84	14,56		
4,53	780,52	137,99	2759,71	0,35	965,90	28,49	6,32		
7,75	780,52	80,60	1611,93	0,35	564,18	16,64	2,85		
7,75	780,52	80,60	1611,93	0,35	564,18	16,64	1,80		
7,46	780,52	83,73	1674,64	0,35	586,12	17,29	4,57		
5,82	780,52	107,31	2146,24	0,35	751,18	22,16	3,10		
							38,27	35,00	73,27

TBM Ümraniye istasyonunda ilk kazıya başlayacaktır. Ümraniye İstasyonundan Çarşı İstasyonuna kadar toplam 791,62 m kazı yapılacaktır. Performans tahmin metodolojisi için bu metraj arasındaki sondajlar ve etki mesafeleri çizelgedeki gibidir.

Sondajların tek eksenli basma dayanımları EK A Çizelgelerden den alınmış olup, Tek eksenli basma dayanımları belirlenemeyen sondajlar için Formasyondaki ortalama değer alınmıştır.

Tek eksenli basma dayanımları belirlendikten sonra spesifik enerji (7.1) no lu

eşitlikten hesaplanır.

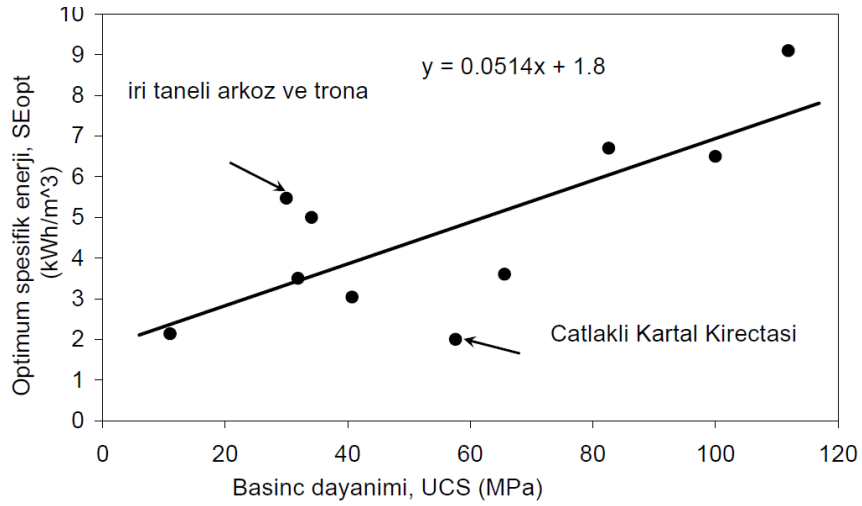
$$SE = 0{,}051.UCS + 1{,}8$$

SE = 0,051.28,9+1,8

$SE_{SÇÜ\text{-}1}$= 3,23 kWh/ m^3 (hesaplanan spesifik enerji)

Net SE = SE. 1,8

Net SE = 328. 1,8 =5,82 kWh/ m^3 (düzeltilmiş spesifik enerji)



Şekil 7.1: Laboratuvarda elde edilen optimum spesifik enerji değeri ile basınç dayanımı arasındaki ilişki (C, Balci., H, Copur., N.Bilgin., 2012).

EPM modunda çalışırken RQD etkisi alınmaz. OPEN modda ise hem zeminin durumuna göre etkisi hemde RQD etkisi hesap edilir.

Düzeltilmiş Spesifik Enerji, hesaplanan Spesifik Enerji ile etki yüzdesi çarpılarak bulunur.

Makinenin kesme gücünü (P) hesaplamak için (7.2) no lu eşitlikten yararlanılır.

$$P_{cutting-EPB} = 118{,}8.D$$

Makinenin kesme gücü Ümraniye-Çarşı İstasyonları arasında;

P = 118,8 x 6,57

P= 780,52 kW

Makinenin saatlik kapasitesini hesaplamak için (7.4) no lu eşitlikten yararlanılır.

$$NPR = k.\frac{P_{cutting}}{SE}$$

.

NPR = 0,8x780,52 / 5,82

NPR $_{SÇU-1}$ = 107,31 m^3/h

Günlük Net Üretim ;

$NPR_{(day)\ SÇU-1}$ = 107,31 . 20

$NPR_{(day)\ SÇU-1}$ = 2146,24 m^3/h

TBM bu bölgede %35 verim ile çalışacağı için verim düzeltmesi yaparak günlük üretim hesaplanır.

Verim hesabı Ümraniye-Çarşı İstasyonları arasındaki kazı için şu şekile yapılmıştır.

Çizelge 7.3: Ümraniye-Çarşı arasında tahmin edilen TBM faydalanma oranı.

Faktörler	Beklenen Durum	Etki
Zemin Şartları	Olası Fay Zonu	15 gün
TBM Arızaları		6%
Keski Yenileme	> %20 Kuvars	10%
Pasa Nakli	0-3 km Bant	5%
Bakım Onarım	Deneyimli Ekip	10%
Segment Montajı		20%
TBM Taşınması		15 gün
Diğer Duraklamalar		15%
Makineden Faydalanma Oranı		34%
Kazı Dışı Gecikme		30 gün

$NPR_{(0,35)SÇU-1}$ = 2146,24. 0,35

$NPR_{(0,35)\ SÇU-1}$ = 751,18 m^3/h

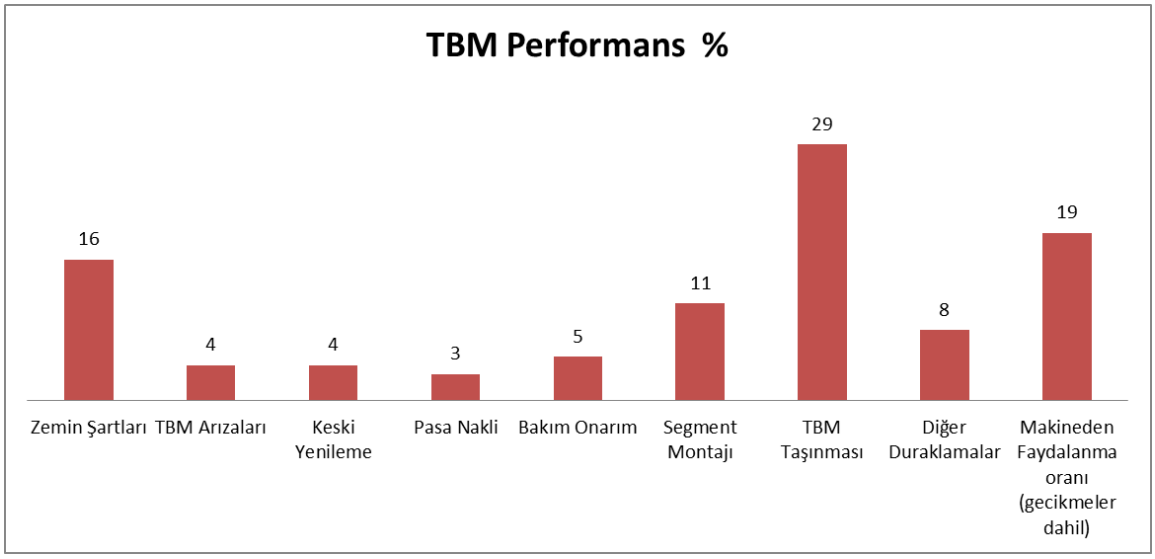
Günlük ilerlemeyi bulmak için günlük üretilen miktar tünel kesit alanına(33,90 m^2) bölünür.

SÇÜ-1 etki alanı (112,22 m) için günlük ilerleme = 751,18/ 33,90 = 22,16 m

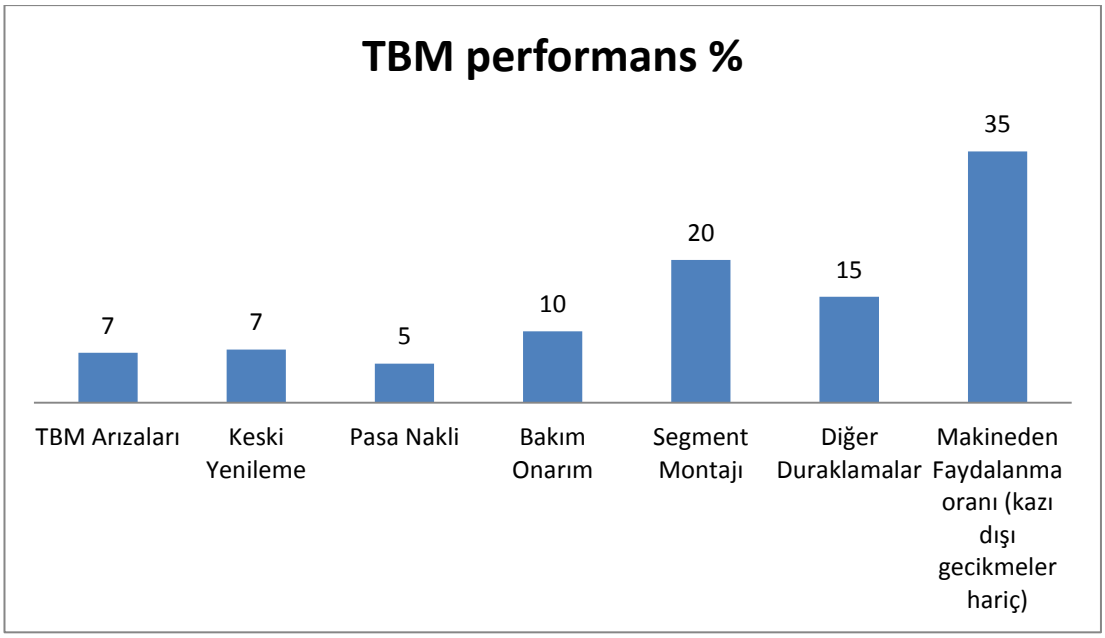
SÇÜ-1 etki alanı (112,22 m) için kazı süresi = 112,22/22,16 = 5,06 gün

Bu şekilde her sondaj için ayrı ayrı hesaplama yapılır ve bu hesaplamalar sonucu İstasyonlar arasındaki TBM performansı, günlük ilerleme, kazı süresi ve işin bitme süresi tahmin edilir.Yapılan hesaplamalar sonucunda aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.

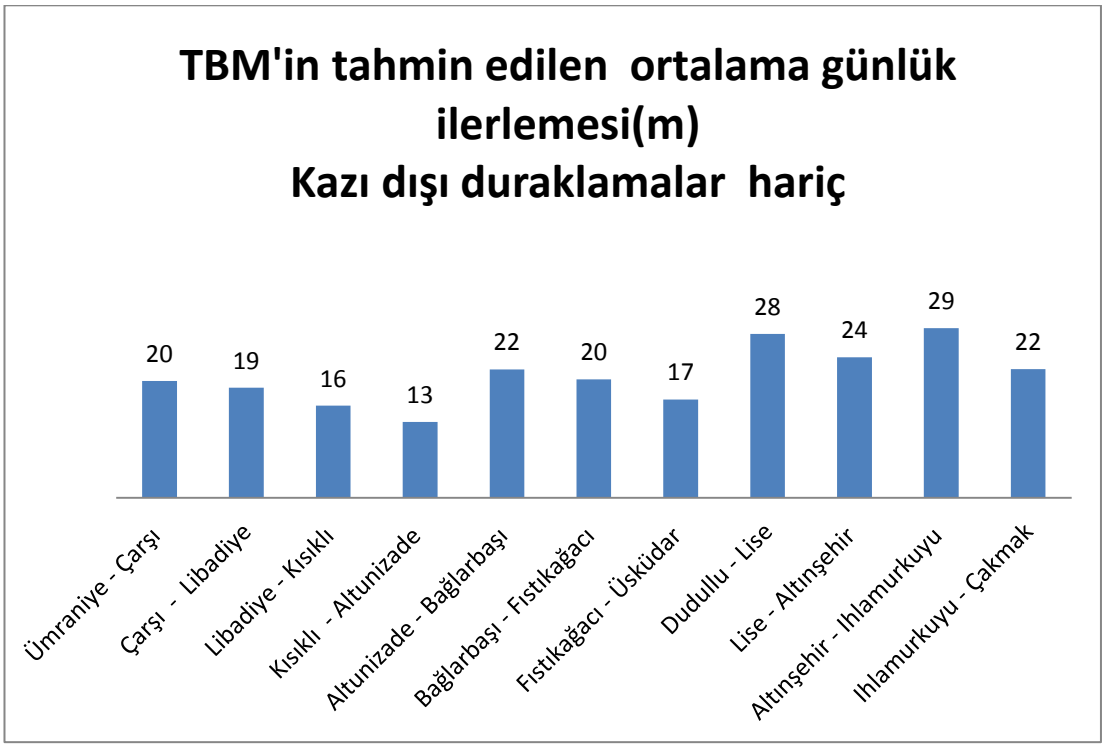
TBM'in bu projede performansını etkileyen paremetreler Şekil 7.2 ve Şekil 7.3'te gösterilmiştir.



Şekil 7.2: Gecikmeler dahil edildiğinde elde edilen tahmini performans grafiği.

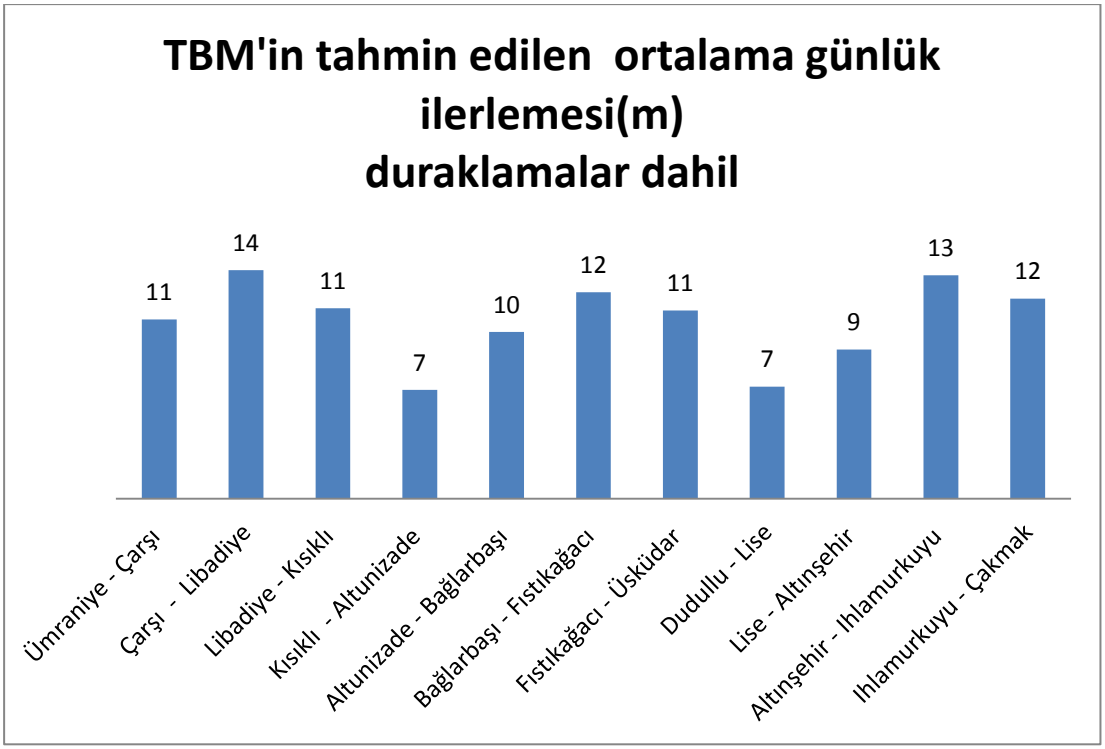


Şekil 7.3: TBM'in kazı yaptığı süre için elde edilen tahmini performans grafiği.



Şekil 7.4: İstasyonlar arasıdaki tahmini günlük ilerleme.

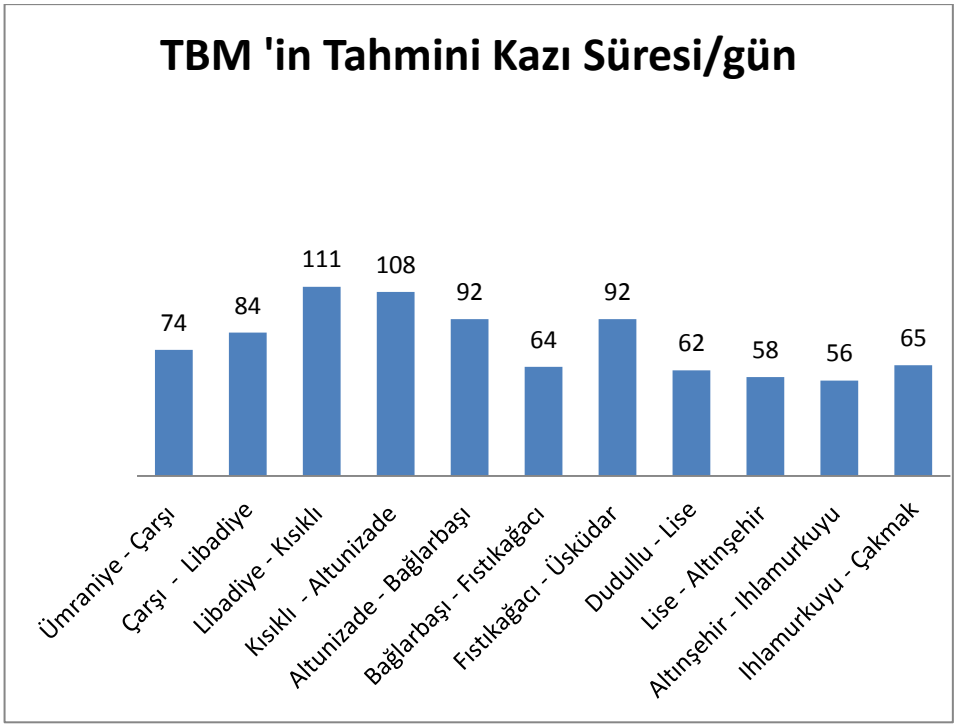
(Taşınma ve zemin şartlarından doğan duaklamalar dahil edilmemiştir)



Şekil 7.5: İstasyonlar arasındaki tahmini günlük ilerlemeler.

(Taşınma ve zemin şartlarından doğan duraklamalar dahil edilmiştir

İstasyonlar arasındaki tahmini kazı süresinin grafiği Şekil 7.6'da gösterilmiştir.



Şekil 7.6: İstasonlar arasında TBM'in tahmini kazı süresi

Öngörülen iş planlaması hesaplamalardan sonra aşağıdaki gibi modellenmiştir.

Çizelge 7.4 : TBM'in tahmini kazı sürecinin modellenmesi.

16.01.2013	Montaj Tarihi								
15.02.2013	Kazı Başlangıcı	1 aylık mobilizasyon süresi (TBM Ümraniye başlangıç noktası montaj işlemleri)							
Başlangıç İstasyonu	Başlangıç(m)	Bitiş (m)	Uzunluk (m)	Tünel	Başlangıç tarihi	Bitiş süresi (gün)	Bitiş tarihi	Ortalama İlerleme(m)	Bitiş İstasyonu
Ümraniye	8518,059	7726,435	791,624	B (TBM)	16.01.2013	74	31.03.2013	10,70	Çarşı
Çarşı	7506,435	6350,253	1156,182	B (TBM)	31.03.2013	84	23.06.2013	13,76	Libadiye
Libadiye	6130,253	4858,626	1271,627	B (TBM)	23.06.2013	111	12.10.2013	11,46	Kısıklı
Kısıklı	4638,626	3930	708,626	B (TBM)	12.10.2013	108	28.01.2014	6,56	Altunizade
Altunizade	3397,83	2470,5	927,33	B (TBM)	28.01.2014	92	30.04.2014	10,08	Bağlarbaşı
Bağlarbaşı	2250,5	1449,75	800,75	B (TBM)	30.04.2014	64	03.07.2014	12,51	Fıstıkağacı
Fıstıkağacı	1229,275	186	1043,275	B (TBM)	03.07.2014	92	03.10.2014	11,34	Üsküdar
03.10.2014	Üsküdar Çıkış		6699,414	Ümraniye-Üsküdar arası TBM					
04.12.2014	Kazı Başlangıcı (Dudullu)						02.11.2014		
Dudullu	14050,365	13628,332	422,033	B (TBM)	03.10.2014	62	04.12.2014	6,81	Lise
Lise	13408,332	13075	333,332	B (TBM)	04.12.2014	19	23.12.2014	17,54	T2 Makas Bölgesi
T2 Makas Bölgesi	12800	12626,681	173,319	B (TBM)	23.12.2014	39	31.01.2015	4,44	Altınşehir
Altınşehir	12406,681	11649,967	756,714	B (TBM)	31.01.2015	56	28.03.2015	13,51	Ihlamurkuyu
Ihlamurkuyu	11429,967	10648,567	781,4	B (TBM)	28.03.2015	65	01.06.2015	12,02	Çakmak
			2466,798	Dudullu-Çakmak arası TBM					

Başlangıç	Bitiş tarihi	
16.01.2013	01.06.2015	866 günde TBM kazısının bitmesi tahmin edilmektedir

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

TBM' in kazı performansı detaylı bir şekilde incelenmiş risk analizleri yapılmadan iyimser yaklaşımda bulunarak, işin bitme süresi 866 gün olarak tahmin edilmiş olup bu tahmine göre iş 01.06.2015 tarihinde bitecektir.

Mevcut Jeolojik rapor incelendiğinde, tünel hattı boyunca 23 değişik noktada birbirinden farklı değişik geçiş zonlarının olduğu görülmüştür, bunlar TBM kazısı sırasında ayna önünde göçük oluşturabilecek kritik zonlardır. Bu zonların sayısı ilerleyen sondaj programına göre artabilir. Bu gibi durumlarda TBM kesici kafasının önündeki açıklıkların azaltılması kısmi çözüm olabilmektedir.Kontak zonlarının çok kırıklı ve çatlaklı olduğu durumlarda özellikle RQD düşük olduğu durumlarda , EPB uygulamaları ve açıklıkların azaltılması ayna önünde göçüklerin azaltılmasını engellemektedir. TBM in dayanımı çok farklı iki zonu aynı anda kesmesi döner kafada eksantrik yüklerin oluşmasına neden olmaktadır, buda keski sarfiyatını arttırır ve bazı durumlarda ana yatağa zarar verir. Bu nedenle mevcut sondaj logları tekrar gözden geçirilmeli, kontak zonlarındaki formasyonların durumu ayrıntılı rapor edilmeli, yeni bir sondaj programı yapıp, sondaj sayıları artırılmalıdır.

Kritik zonlarda için risk analizi yapılmalı, üzerlerindeki binaların durumları tespit edilmeli özellikle yeryüzü oturmaları önceden hesaplanmalı ve TBM geçmeden bazı bölgeler iyileştirilmelidir.

Disk sarfiyatını önemli ölçüde arttıracak, 4 km uzunluğunda konglomera, kumtaşı, arkozik kumtaşından oluşan muhtemelen çok aşındırıcı bir zon vardır. Kritik zonlara ait sondaj karotları üzerinde muhakkak Cerchar abrasivity deneyleri daha fazla yapılmalı, ince kesit ve petrografik inceleme sonucu bu zonlardaki kuvars miktarı ve tane boyutu bulunmalıdır. Bu çalışmalar TBM performans tahminine yardımcı olacaktır. Disklerin değiştirilmesi ve kesici kafaya müdahale makineden faydalanma oranının düşmesi demektir

Formasyonların çok kırıklı ve çatlaklı olma durumunda, kritik noktaları geçene kadar TBM in dönüş hızını bir devir dakikaya kadar düşürmek gerekir.

TBM de tork/baskı oranının devamlı izlenmesi önemlidir, bu nedenle TBM'lerde mevcut veri iletişim sistemi çalışabilir olmalı ve verilere dışarıdan ulaşılabilmelidir.

Çok kritik durumlarda, "probe drill" in kullanılması kaçınılmaz olabilir, bazı. TBM lerde probe drill'in kullanılabilirliği tartışılmalıdır. Probe drill için TBM de yeterli 5 tane delik mevcuttur istendiğinde klavuz delgi yapılabilir.

Tünel hatlarında bitümlü şeyller vardır. Metan gazına rastlanabilir. TBM üzerindeki metan dedektörleri doğru yerlerde olmalıdır.

Bölgede tünel hattında önceden açılan su kuyuları detaylı incelenmelidir.

Risk analizleri ve acil eylem planlarının yapılması kaçınılmazdır.

KAYNAKLAR

Bilgin, N., Copur, H., Balci, C., Tumac, D. & Avunduk, E, (2012). Rock mechanics aspecs related to cutting efficiency of mechanical excavators, 25 years of experience in Istanbul. Eurock, Stockholm.

Gedik, İ., Önalan M., (2002): Çamdağ (Sakarya ili) Paleozoyik Stratigrafisine ait yeni gözlemler: Yerbilimleri Dergisi İ.Ü., 14,1-2,61-76.

Geotechnical report & appendixes "Geoteknik Rapor – Üsküdar – Altunizade Rayli Sistem Projesi" (2003-07-063) – STFA Temel Arastirma ve Sondaj A.S. – December 2003.

Geotechnical report & appendixes "Geoteknik Rapor –Altunizade – Ümraniye-Depo Sahası Rayli Sistem Projesi" (2004-01-003) – STFA Temel Arastirma ve Sondaj A.S. – October 2004.

Geoteknik Rapor-UUC Metrosu" Doğuş İnşaat A.Ş, 2012.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Rayli Sistem Daire Başkanlığı-Üsküdar-Ümtaniye-Çekmeköy İhale Dosyası, 2011.

Kaya, O., (1971): İstanbul'un Karbonifer stratigrafisi: Türkiye Jeol. Kur. Bült., XIV,2, 143-199.

Kaya, O., (1973): The Devonian and Lower Carboniferous stratigraphy of the İstinye, Bostancı and Büyükada subareas. Paleozoyik of İstanbul, EgeÜniv. yayını., 40, 1-36.

Kaya, O., (1978) : İstanbul Ordovisiyen ve Silüriyeni. Yerbilimleri, H.Ü. Yerbilimleri Enst. Yayın organı, 4, 1-2, 1-22.

Önalan, M., (1981) : İstanbul Ordovisiyen ve Silüriyen istifinin çökelme ortamları: Yerbilimleri Derg., İ.Ü. Müh. Fak.,161-177.

Önalan, M., (1982) : Pendik bölgesi ile Adalar'ın jeolojisi ve sedimanter özellikleri: Doktora tezi, İ.Ü. Yerbilimleri Fak., 193 s.

Özgül, N, (2005) : İstanbul İl Alanının Genel Jeoloji Özellikleri: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Planlama ve İmar Daire Başkanlığı, 78 s.

Rostami, J., Ozdemir, L. & Neil, D.M., 1994.Performance prediction: A key issue in mechanical hard rock mining. Min. Eng. November pp.1264-1267.

EKLER

EK A: Formasyonların Mühendislik Özellikleri

EK B : TBM Performans Hesap Metodolojisi

EK C : İstasyonlar Arasındaki TBM Veriminin Hesaplaması

EK D :Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy Metrosu Jeolojik Haritası

EK A.1: Trakya Formasyonu

Çizelge A.1: Trakya formasyonuna ait sondajlardan alınan sonuçlar.

X		416735,511	416824,312	417254,039	417367,420	41374,710	417406,438	417495,636	417719,847	418087,547
Y		4543750,701	4543808,079	4543910,164	4544379,140	4544350,210	4543987,299	4544090,717	4543462,092	4544338,053
KM		68	136	204	+ 390	390	555	576	740	1110
Sondaj No		SK-USK-1	SK-USK-2	SK-USK-3	S1	S2	SK-USK-4	SK-USK-5	S3	S15
Sondaj etki alanı	(m)	68	68	127	93	83	93	93	267	188
Litoloji		kumtaşı-kiltaşı-silttaşı	kumtaşı-kiltaşı-silttaşı	kumtaşı-kiltaşı	silttaşı	kireçtaşı-şeyl	kumtaşı-kiltaşı-silttaşı	kumtaşı-kiltaşı-silttaşı	kumtaşı	
Fay										
YASS	(m)	4,80	17,85	5,00	-	-	19,50	21,50	8,30	18,80
RQD(kuyu)	(%)	0-55	0-18	0-7	0-29	0-36	0-15	0-100	0-29	0-58
RQD(tünel)	(%)	0-55	0-18	0	0-24	0-36	0-15	0-65	0-23	0-19
RQD Tünel (ort)	(%)	17	4	0	5,11	22,1	8	32	1,6	6,5
RMR									42-47	52-55
GSI									40-45	35
C	(kPa)								269,00	
φ	(°)								56,7	
UCS	(MPa)								47,4	55,7
Elastide modülü	(MPa)	2810-4180	1120-4180				510	450-480	5000	7000
E Menard modülü	(MPa)								192,3	251,6
Poisson oranı, V		0,58-1,13	1,22-1,26				0,51	0,45- 0,48		0,28
Permeabilite	(m/s)	2,22-3,25 E-6					7,09 - 7,41 E-6	9,77E-7 - 1,3 E-6	4,9 E-7	
Porozite	(%)								1,19	
Yoğunluk	(kN/m3)	24,76	26,49				26,56	25,79	26,90	26,80

Çizelge A.1(devam): Trakya formasyonuna ait sondajlardan alınan sonuçlar.

X		418095,74		418272,721	418370,703	418523,713	418661,75		419083,769	419435,139
Y		4544297,637		454348,369	454394,74	4544242,78	4544104,439		4543306,63	4543435,137
KM		1115	1280	1300	1390	1560	1750	2505	2535	2780
Sondaj No		S4	S19	S5	S6	S14	S7	S18	SKBB-1	S11
Sondaj etki alanı	(m)	85	92,5	55	130	180	282,5	44,5	137,5	367,5
Litoloji		kiltaşı	kiltaşı-çamurtaşı	kiltaşı	kiltaşı	çamurtaşı-şeyl	kiltaşı-şeyl		kiltaşı-kumtaşı	
Fay		Fay 1(1+130)								Fay 2(2+880)
YASS	(m)	3		7,1	8,16	8	9,5		0	10,6
RQD(kuyu)	(%)	0-71		0-73	0	0-57	78		0-9	0-85
RQD(tünel)	(%)	0		0-73	0	0-23	0-53		0	0-30
RQD Tünel (ort)	(%)	0		36,6	0	7,89	22,2		0	4,35
RMR		52-55	42	42	42	33	42-45	52-57		58-65
GSI		35	35-40	35-40	35-40	25	30	45-50		35
C	(kPa)	200	700	1500			500	500		119-1252
φ	(°)	58	62	53			57	57		46,1-67,9
UCS	(MPa)	56,9	44,6	35,7		22,5	38,8	30,7	15,9 -16,60	5,7-119,2
Elastide modülü	(MPa)	12900	5100	10500		6400	3600	7600	8260	5200-29800
E Menard modülü	(MPa)	251,6	251,6	251,6	251,6	251,6	251,6	266,8		20,7
Poisson oranı, V		0,25	0,24	0,27		0,2	0,29	0,26	0,4	0,28
Permeabilite	(m/s)		2,6-E6	3,5 E-6		1,05-E7	1,1-E8			2,3 E-7
Porozite	(%)	0,3	6,16	6,16		1,73-7,0	4,78			
Yoğunluk	(kN/m3)	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8		26,71263	26,9

EK A.2: Tuzla Formasyonu (Kireçtaşı)

Çizelge A.2: Tuzla formasyonuna (kireçtaşı) ait sondajlardan alınan sonuçlar.

X		418785,535	419035,911	418995,421	419893,2	422274,22	420361,946
Y		4543892,283	4543590,105	4543370,171	4543400,2	4543640,6	4543785,452
KM		2125	2430	2446	3354	3542	3845
Sondaj No		S8	S10	SKBB-2	S-ALT-1	S20	S13
Sondaj etki alanı	(m)	260	88	37,5	136	245,5	494
Litoloji		şeyl	şeyl		kireçtaşı	kireçtaşı	
Fay			andezit dayk (2400)				andezit dayk(3800-3900)
YASS	(m)	18,8	21,3	13,6		1,6	10,26
RQD(kuyu)	(%)	0-85	0-82	0-33	0-70	0-63	0-90
RQD(tünel)	(%)	0-85	0-50	0	0-25	0-50	16-90
RQD Tünel (ort)	(%)	55	9,6	0	12	24,9	40,9
RMR		49-55	40-45			40-56	40-46
GSI		40-45	35-40			30-40	30-40
C	(kPa)	1200	1000			235	445
φ	(^{o})	57	57			49,4	52,8
UCS	(MPa)	33,8	5,7	15,9-16,7		26,1	15,4
Elastide modülü	(MPa)	5200	5200			3733	3200
E Menard modülü	(MPa)	266,8	266,8			105,8	-
Poisson oranı, V		0,36	-			0,35	0,29
Permeabilite	(m/s)	3,6 E-7	3,6 E-7				2,48 E-7
Porozite	(%)	0,99	6,2			1,22- 1,73	8,98
Yoğunluk	(kN/m3)	26,5	26,5	24,525		26	26,5

EK A.3: Tuzla Formasyonu (kiltaşı-şeyl)

Çizelge A.3: Tuzla formasyonu (kiltaşı-şeyl) na ait sondajlardan alınan sonuçlar.

X		418945,839	419616,877
Y		4543673,52	4543616,877
KM		2270	3270
Sondaj No		S9	S12
Sondaj etki alanı	(m)	152,5	287
Litoloji		şeyl	kireçtaşı-şeyl
Fay			andezit dayk 3200
YASS	(m)	11,35	18,25
RQD(kuyu)	(%)	0-80	0-99
RQD(tünel)	(%)	0-16	0-17
RQD Tünel (ort)	(%)	3,2	1,7
RMR		45-50	53-58
GSI		35-45	35
C	(kPa)	250-406	149
φ	(^{o})	47,4-50	50,5
UCS	(MPa)	66,1	15,4
Elastide modülü	(MPa)	13200	3200
E Menard modülü	(MPa)	269,2	141,7
Poisson oranı, V		0,19	0,16
Permeabilite	(m/s)	4,0 E-7	1,6 E-6
Porozite	(%)	0,76	0,91- 9,99
Yoğunluk	(kN/m3)	26,8	25,5

EK A.4: Kurtköy Formasyonu

Çizelge A.4: Kurtköy formasyonuna ait sondajlardan alınan sonuçlar.

X		421107,104	421133,057	420989,88	421425,45	421963,85	425308,08	425687,58	425916,05	426146,5		426729,61
Y		4543509,351	4543458,615	4543588,16	4543281	454293,32	4543768,97	4543679,01	4543521,2	4543614,88		4543422,77
KM				4530	5020	5640	9575	9960	10210	10440	10460	11035
Sondaj No		SK-KSK-2	SK-KSK-1	SAL1	SAL3	SAL2	S28	SÇI-1	S33	SÇI-2	SK-ÇKM-1	S29
Sondaj etki alanı	(m)	165	111,5	476	390	467,5	265	317,5	240	125	297,5	437,5
Litoloji		diyabaz andezit	çakıl kayacı	çakıl kayacı		çakıl kayacı	kumtaşı	kumtaşı	kumtaşı	kumtaşı		arkoz
Fay			fay3(4+315)		fay4(4+625)							
YASS (m)		32,7	28	21,65	30	25,7	2,9	4,3	7,55	10,5	-------	7,6
RQD(kuyu)	(%)	12-92	0-100	0-90	0-77		0-70	0-73	0	0	0-46	0-53
RQD(tünel)	(%)	0-56	0-73	0-90	0-77		0-70	0-43	0	0	0-46	0-53
RQD Tünel (ort)	(%)	11,2	42	54	-		25,91	9,8	0	0	15	15,04
RMR				36-66		39-45	29-50	32-50	31-49	37-45		34-62
GSI				35-45		30-35	35-40	30-35	30-35	25-30		30-35
C	(kPa)			500-700		266-370					96,19	500
φ	(^{o})			60-68		48,2-55,3					8,66	55
UCS (MPa)		17,1-98,7	17,1	26,8-66		35,1	8,5-27	14,6	34			26,5
Elastide modülü (MPa)		5970		7800-10700		6550	2400-7100	-	6100			5100
E Menard modülü	(MPa)			199,5	199,5	199,5	163	163	163	163		142,8
Poisson oranı, V		0,83		0,27								0,33
Permeabilite	(m/s)				3,6 E -8		1,2 E-6	6,83 E -7				
Porozite	(%)				0,57		2,27- 4,77	3,02- 3,28	2,92- 3,11			1,44
Yoğunluk	(kN/m3)	25,9965		27,1	27,1	27,1	26,3	26,3	26,3	26,3	26,3	26,9

Çizelge A.4(devam): Kurtköy formasyonuna ait sondajlardan alınan sonuçlar.

X		426960,57		427247,75	427461,69	427658,04	427687,38
Y		4543280,93		4543087,99	4543002,99	4542914,17	4542967,82
KM		11335	11362	11650	11900	12100	12130
Sondaj No		S30	SK-IHL-1	SIA-1	SIA-2	S31	S32
Sondaj etki alanı	(m)	163,5	157,5	269	225	115	400
Litoloji		arkoz		arkoz	arkoz	çakıl kayacı	çakıl kayacı
Fay							
YASS (m)		3,15	8	3,55	3,3	3,25	3
RQD(kuyu)	(%)	0-64	0 - 64	0-53	0-52	0-58	0-33
RQD(tünel)	(%)	0-64	0 - 64	0-10	0-52	0-58	0-33
RQD Tünel (ort)	(%)	14,5	11	1,878	38,41	8,74	11,6
RMR		31-49				32-60	32-55
GSI		30-35				30-35	30-35
C	(kPa)						600
φ	(^{o})						57
UCS (MPa)		8-11,7	16,33-49,3	7--15	4-11--20	11	6,5-7,1
Elastide modülü (MPa)		1200-1900	640	1800-2700	4500-5500	2700	1100-2100
E Menard modülü (MPa)		142,8	142,8	142,8	142,8	226,3	226,3
Poisson oranı, V		-	0,37		0,24-029		
Permeabilite	(m/s)	7,97 E-8		1,38 E-7	2,14 E-8	5,52 E-7	
Porozite	(%)	2,66- 2,67		2,41- 15,80	3,75		
Yoüunluk	(kN/m3)	26,9	26,9	26,9	26,9	26,3	26,3

EK A.5: Gözdağ Formasyonu

Çizelge A.5: Gözdağ formasyonuna ait sondajlardan alınan sonuçlar.

X		422937,9	423001,31	423102,73	423282,09	423718,69	424029,33	424394,9
Y		4543819,35	4543746,3	4543958,81	4543919,78	4544026,88	4544018,7	453953,85
KM		7142	7273	7340	7500	7960	8265	8640
Sondaj No		S23	S-CAR-1	S24	SÇÜ-1	SÇÜ-2	S25	SÜÇ-1
Sondaj etki alanı	(m)	251,5	99	113,5	310	382,5	180	415
Litoloji		kiltaşı-kumtaşı	andezit	kiltaşı-kumtaşı	kiltaşı-kumtaşı	kiltaşı-kumtaşı	kiltaşı-kumtaşı	kiltaşı-kumtaşı
Fay								
YASS	(m)	6,5	8,3	11,5	7,65	6,8	8,95	14,3
RQD(kuyu)	(%)	0-95	7 -100	0-100	0-51	0-79	0-88	0-97
RQD(tünel)	(%)	0-95	87 - 100	0-100	0-25	0-79	0-88	0-97
RQD Tünel (ort)	(%)	63,72	44	44,77	10,1	27,8	51,82	42,36
RMR		32-53		37-65	29-45	27-48	27-48	25-58
GSI		30-40		35-40	25-35	25-50	25-40	25-35
C	(kPa)	1100	7560	1600		6400	500	
φ	(^{o})	41	53,83	63		71	52,5	
UCS	(MPa)	12,5-30,7	19,5-38,3	3,2-82	5-40,5	11,5-84	14	
Elastide modülü	(MPa)	1600-4240	3140	2600-10800	3300-8100	2500-8300	3625	
E Menard modülü	(MPa)	277,5	277,5	277,5	277,5	277,5	292	182,2
Poisson oranı, V		0,34-0,36	0,4	0,22	0,36	0,19-0,34	0,29	
Permeabilite	(m/s)	9,42 E-7	1,28 E-6 - 5,51 E-6	7,78 E-7	8,67-E7	5,25 E-7	5,09 E-7	3,58 E-6
Porozite	(%)	5,05			4,32-6,32	4,09-9,65	1,52-4,66	3,45- 14,50
Yoğunluk	(kN/m3)	27,2	26,30061	27,2	27,2	27,2	26,5	25,9

Çizelge A.5(devam): Gözdağ formasyonuna ait sondajlardan alınan sonuçlar.

X		424941,73		425156,8	428815,81	429183,1	429406,26	431101,03	432034,32
Y		4543859,5		4543817,5	4542879,1	4542816,3	4542603	4542806,21	4542655,17
KM		9210	9270	9430	13420	13775	14035	15730	16700
Sondaj No		SÜÇ-2	SK-INK-1	S27	S35	SLD-1	SK-DUD-2	S39	S41
Sondaj etki alanı	(m)	315	110	152,5	259	307,5	162,5	282,5	378
Litoloji			kireçtaşı	diyabaz-andezit	kumtaşı	silttaşı		kumtaşı-kiltaşı	kumtaşı-kiltaşı
Fay									
YASS	(m)	11,3	13,85	12,3	3,6	12,65	3,8	6,1	7
RQD(kuyu)	(%)	0-67	0 - 79	0-45	0-66	0-100		0-98	0-97
RQD(tünel)	(%)	0-67	16 - 79	0-45	0-66	0-87		29-98	0-97
RQD Tünel (ort)	(%)	30,81	45	11,85	27,72	42,8		75	26,2
RMR		29-55		30-48	34-49	34-49		51-64	31-49
GSI		25-35		25-40	35-45	35-45		45-55	30-40
C	(kPa)								
φ	(^{o})								
UCS	(MPa)	14,2-31,1		8,2	9,1-44,3	6,3-101,6		19,2-23,8	23,5
Elastide modülü	(MPa)	4800		1100	5908-14075	1952-25233		112000-198000	46000-47000
E Menard modülü	(MPa)	182,2	182,2	182,2	-	-	37,6		
Poisson oranı, V		0,26		-	0,22-0,34	0,19-0,29			
Permeabilite	(m/s)	1,88 E-6	2,89 E-6 - 9,87 E-7			3,10 E-7			
Porozite	(%)	5,53- 8,60		5,46- 7,37					
Yoğunluk	(kN/m3)	25,9	25,9	25,9	26	26	22		

EK A.6: Dolayoba Formasyonu

Çizelge A.6: Dolayoba formasyonuna ait sondajlardan alınan sonuçlar.

X		422274,22		422358,56	422641,19	422677,51		
Y		4542930,16		4543026	4543317	4543617,4		
KM		5955	6035	6067	6500	6770	8320	8360
Sondaj No		S21	SK-LİB-2	S22	SLÇ-1	SLÇ-2	SK-UMR-1	SK-UMR-2
Sondaj etki alanı	(m)	197,5	56	232,5	351,5	321	47,5	30
Litoloji		kireçtaşı		kireçtaşı	kireçtaşı	kireçtaşı	kireçtaşı	
Fay		5981,m fay zonu						
YASS	(m)	6,5		3,7	7,3	6,6	7,5	5,95
RQD(kuyu)	(%)	0-85		0-97	0-80	0-100	0-75	0-65
RQD(tünel)	(%)	0-85		0-97	0-80	0-100	0-16	0-25
RQD Tünel (ort)	(%)	55,4		81	41,5	35,42	3,5	6
RMR		37-61		42-61	30-61	30-55		
GSI		45-50		45-50	45-50	40-45		
C	(kPa)	3000-3700		2600-4400	2200	3200	80,76	
φ	(^{o})	62-69		53-68	61	67	18,82	
UCS	(MPa)	28,9-34		27-51,8	18,2-49,5	19,1-73		
Elastide modülü	(MPa)	3200-9800		3600-9650	5600-14900	3500-12400	1330	330
E Menard modülü	(MPa)	232,7		232,7	232,7	232,7	325	325
Poisson oranı, V		0,23-0,27		0,32	-	-	0,4	0,2
Permeabilite	(m/s)	1,87 E-7		6,43 E-06	2,42-E6	1,62-E7	1,99 E-6 - 2,90 E-6	2,06 E-6
Porozite	(%)	2,84-3,69		0,12	1,15- 2,44	0,48- 2,20		
Yoğunluk	(kN/m3)	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,2	27,2

Çizelge A.6(devam): Dolayoba formasyonuna ait sondajlardan alınan sonuçlar.

X		424131,89	430589,145	431341,62	43152,74	431800,89
Y		4544040,48	4542803,357	4542590,5	4542690,94	4542695,5
KM		8380	15098	16165	16173	16450
Sondaj No		S26	SK-TK-3	SK-ÇEK-1	STÇ-1	S40
Sondaj etki alanı	(m)	140	280	221,5	142,5	263,5
Litoloji		kireçtaşı-kumtaşı	kireçtaşı	kireçtaşı	kireçtaşı	kireçtaşı
Fay						
YASS	(m)	8,1	-	10,1	4,9	5,1
RQD(kuyu)	(%)	0-50	9---90	8- 100	32-96	0-90
RQD(tünel)	(%)	0-45	9 --- 84	27 - 100	32-96	45-82
RQD Tünel (ort)	(%)	15,6	28	50	65	69
RMR		27-48			50-57	38-54
GSI		25-40			45-55	35-45
C	(kPa)				15	
φ	(^{o})				66	
UCS	(MPa)		50,0-96,5	35,9-84,7	39-79,6	22,6
Elastide modülü	(MPa)		5060		115000-197000	82000
E Menard modülü	(MPa)	325				
Poisson oranı, V			0,78			
Permeabilite	(m/s)		2,20 E-6 - 2,70 E-6			
Porozite	(%)	0,31- 0,39				
Yoğunluk	(kN/m3)	27,2		26,7		

EK A.7: Sultanbeyli Formasyonu

Çizelge A.7: Sultanbeyli formasyonuna ait sondajlardan alınan sonuçlar.

X		428295	428665,1	429510,14	429570,68	429686,86	430027,2	430170,59	430378,37	430439,52	430981,3
Y		4542912,86	4542853,4	4542792,5	4542589,3	4542778,1	4542728,3	4542676,3	4542775,4	4542847,3	4542860,2
KM		12900	13257	14100	14194	14290	14625	14646	14920	15040	15600
Sondaj No		SALİ-1	S34	S36	SK-DUD-1	S37	SDT-1	SK-TK-1	SK-TK-2	SDT-2	S38
Sondaj etki alanı	(m)	563,5	260	79,5	95	215,5	178	147,5	197	89	316
Litoloji		kiltaşı-şeyl	kiltaşı-şeyl	kiltaşı-şeyl		kiltaşı-şeyl	kiltaşı-şeyl	kiltaşı-şeyl	kiltaşı-şeyl	kiltaşı-şeyl	kiltaşı-şeyl
Fay											
YASS	(m)	2,55	11,35	1,25	18,2	1,7	15,35	-	20	12,65	5,05
RQD(kuyu)	(%)	0-42	0-42	-	26-93	-	0	-	-	11	-
RQD(tünel)	(%)	0-29	0-29	-	26-93	-	-	-	-	-	-
RQD Tünel (ort)	(%)	-	2,175	-		-	-	-	-	-	-
RMR											
GSI											
C	(kPa)				14,44			68,14	114,36		
φ	(^{o})							19,84	11,56		
UCS	(MPa)				31-99,6						
Elastide modülü	(MPa)				14440						
E Menard modülü	(MPa)	42,2	42,2	37,6	37,6	37,6	37,6			37,6	
Poisson oranı, V					0,27						
Permeabilite	(m/s)		3,0 E-7								
Porozite	(%)										
Yoğunluk	(kN/m3)			22	22	22					

EK B.1 : Ümraniye-Çarşı

Çizelge B.1: TBM performans tahmini.

Güzergah	Başlangıç-Bitiş (m)	Formasyon	Litoloji	Sondajlar	Metraj (m)	σ_c (MPa)	SE (kWh/m3)	RQD (%)	Çalışma Modu	RQD Etkisi
Çarşı	7726,435	Gözdag	şeyl	SÇÜ-1	112,218	28,09	3,23	10,1	EPB	
Ümraniye	8518,059	Andezit	kiltaşı-şeyl-andezit andezit dayk	SÇÜ-2	274,283	39,27	3,80	27,8	EPB	
Uzunluk(m)	791,624	Gözdag	şeyl	S25	180,000	14	2,51	51,82	EPB	
		Dolayoba	kireçtaşı	SK-UMR-1	47,500	49,1	4,30	3,5	EPB	
		Dolayoba	kireçtaşı	SK-UMR-2	30,000	49,1	4,30	6	EPB	
		Dolayoba	kireçtaşı-şeyl	S26	79,029	45,94	4,14	15,6	EPB	
		Gözdag	kireçtaşı-şeyl	SÜÇ-1	68,589	28,09	3,23	42,36	EPB	

Çizelge B.1(Devam): TBM performans tahmini.

Net SE (kWh/m3)	Kesme Kuvveti (kW)	Net Üretim Oranı (m3/h)	Günlük Net Üretim (m3/gün)	TBM Verimi (%)	Verim Düzeltmesi Yapılmış Günlük Üretim (m3/gün)	Günlük İlerleme (m)	Kazı Süresi (gün)	Kazı Dışı Gecikmeler (gün)	Toplam Süre (gün)
5,82	780,52	107,31	2146,24	0,35	751,18	22,16	5,06		
6,84	780,52	91,22	1824,44	0,35	638,55	18,84	14,56		
4,53	780,52	137,99	2759,71	0,35	965,90	28,49	6,32		
7,75	780,52	80,60	1611,93	0,35	564,18	16,64	2,85		
7,75	780,52	80,60	1611,93	0,35	564,18	16,64	1,80		
7,46	780,52	83,73	1674,64	0,35	586,12	17,29	4,57		
5,82	780,52	107,31	2146,24	0,35	751,18	22,16	3,10		
							38,27	35,00	73,27

EK B.2: Çarşı-Libadiye

Çizelge B.2: TBM performans tahmini

Güzergah	Başlangıç-Bitiş (m)	Formasyon	Litoloji	Sondajlar	Metraj (m)	σ_c (MPa)	SE (kWh/m3)	RQD (%)	Çalışma Modu	RQD Etkisi
Libadiye	6350,253	Dolayoba	kireçtaşı	S22	74,000	49,1	4,30	81	Open	1
Çarşı	7506,435	Dolayoba	kireçtaşı	SLÇ-1	210,000	49,1	4,30	41,5	Open	0,7
Uzunluk(m)	1156,182	Dolayoba	kireçtaşı	SLÇ-2	321,000	49,1	4,30	35,42	Open	0,7
		Gözdag	kiltaşı-kumtaşı-şeyl	S23	251,500	28,09	3,23	63,72	EPB	
		Gözdag	kiltaşı-andezit	S-CAR-1	99,000	28,09	3,23	44	EPB	
		Gözdag	kiltaşı-kumtaşı-şeyl-diyabaz andezit dayklar	S24	106,680	28,09	3,23	44,77	EPB	
		Gözdag	şeyl	SÇÜ-1	94,000	28,09	3,23	10,1	EPB	

Çizelge B.2(devam): TBM performans tahmini.

Net SE (kWh/m3)	Kesme Kuvveti (kW)	Net Üretim Oranı (m3/h)	Günlük Net Üretim (m3/gün)	TBM Verimi (%)	Verim Düzeltmesi Yapılmış Günlük Üretim (m3/gün)	Günlük İlerleme (m)	Kazı Süresi (gün)	Kazı Dışı Gecikmeler (gün)	Toplam Süre (gün)
4,30	296,96	55,20	1103,93	0,38	419,49	12,37	5,98		
3,01	296,96	78,85	1577,04	0,38	599,28	17,68	11,88		
3,01	296,96	78,85	1577,04	0,38	599,28	17,68	18,16		
5,82	780,52	107,31	2146,24	0,38	815,57	24,06	10,45		
5,82	780,52	107,31	2146,24	0,38	815,57	24,06	4,12		
5,82	780,52	107,31	2146,24	0,38	815,57	24,06	4,43		
5,82	780,52	107,31	2146,24	0,38	815,57	24,06	3,91		
							58,93	25,00	83,93

EK B.3: Libadiye – Kısıklı

Çizelge B.3: TBM performans tahmini.

Güzergah	Başlangıç-Bitiş (m)	Formasyon	Litoloji	Sondajlar	Metraj (m)	σ_c (MPa)	SE (kWh/m3)	RQD (%)	Çalışma Modu	RQD Etkisi
Kısıklı	4858,626	Kurtköy	konglomera(çakıl kayacı)	SK-KSK-1	110,000	17,1	2,67	42	Open	0,945
Libadiye	6130,253	Kurtköy	konglomera(çakıl kayacı)	SAL3	390,000	35,1	3,59	17,7	Open	0,81
Uzunluk(m)	1271,627	Kurtköy	konglomera(çakıl kayacı)	SAL2	467,500	35,1	3,59	17,7	Open	0,81
		Dolayoba	kireçtaşı (fay +5980)	S21	197,500	32	3,43	55,4	Open	0,85
		Dolayoba	kireçtaşı-diyabaz	SK-LİB-2	56,000	49,1	4,30	41,28	Open	0,7
		Dolayoba	kireçtaşı	S22	50,627	49,1	4,30	81	Open	1

Çizelge B.3(devam): TBM performans tahmini.

Net SE (kWh/m3)	Kesme Kuvveti (kW)	Net Üretim Oranı (m3/h)	Günlük Net Üretim (m3/gün)	TBM Verimi (%)	Verim Düzeltmesi Yapılmış Günlük Üretim (m3/gün)	Günlük İlerleme (m)	Kazı Süresi (gün)	Kazı Dışı Gecikmeler (gün)	Toplam Süre (gün)
2,53	296,96	94,08	1881,65	0,33	620,95	18,32	6,01		
2,91	296,96	81,70	1633,93	0,33	539,20	15,91	24,52		
2,91	296,96	81,70	1633,93	0,33	539,20	15,91	29,39		
2,92	296,96	81,44	1628,76	0,33	537,49	15,86	12,46		
3,01	296,96	78,85	1577,04	0,33	520,42	15,35	3,65		
4,30	296,96	55,20	1103,93	0,33	364,30	10,75	4,71		
							80,73	30,00	110,73

EK B.4: Kısıklı – Altunizade

Çizelge B.4: TBM performans tahmini.

Güzergah	Başlangıç-Bitiş (m)	Formasyon	Litoloji	Sondajlar	Metraj (m)	σ_c (MPa)	SE (kWh/m3)	RQD (%)	Çalışma Modu	RQD Etkisi
Altunizade	3930	Tuzla	andezit+diyabaz+kireçtaşı (dayk 3800-3900 m)	S13	300,000	15,4	2,59	40,9	EPB	-
Kısıklı	4638,626	Diyabaz	diyabaz andezit kuvarsit (+4315 m fay)	SAL-1	354,000	39,27	3,80	54	Open	1,1475
Uzunluk(m)	708,626	Kurtköy	arkoz (çakıl kayacı) (Fay +4625m)	SK-KSK-2	54,626	35,1	3,59	11,2	Open	0,81

Çizelge B.4(devam): TBM performans tahmini.

Net SE (kWh/m3)	Kesme Kuvveti (kW)	Net Üretim Oranı (m3/h)	Günlük Net Üretim (m3/gün)	TBM Verimi (%)	Verim Düzeltmesi Yapılmış Günlük Üretim (m3/gün)	Günlük İlerleme (m)	Kazı Süresi (gün)	Kazı Dışı Gecikmeler (gün)	Toplam Süre (gün)
4,65	780,52	134,17	2683,50	0,30	805,05	23,75	12,63		
4,36	296,96	54,44	1088,86	0,30	326,66	9,64	36,74		
2,91	296,96	81,70	1633,93	0,30	490,18	14,46	3,78		
							53,15	55,00	108,15

EK B.5: Altunizade - Bağlarbaşı

Çizelge B.5: TBM performans tahmini.

Güzergah	Başlangıç-Bitiş (m)	Formasyon	Litoloji	Sondajlar	Metraj (m)	σ_c (MPa)	SE (kWh/m3)	RQD (%)	Çalışma Modu	RQD Etkisi
Bağlarbaşı	2470,5	Trakya	çamurtaşı-kiltaşı	S18	32,000	30,7	3,37	10	EPB	-
Altunizade	3397,83	Trakya	kumtaşı-kiltaşı ve kireçtaşı	SKBB-1	137,500	16,6	2,65	0	EPB	-
Uzunluk(m)	927,33	Trakya	kiltaşı-şeyl S11(Fay +2880)	S11	367,500	40,8	3,88	4,35	EPB	-
		Tuzla	kiltaşı-şeyl S12 (Andezit dayk 3200)	S12	287,000	15,4	2,59	1,7	EPB	-
		Tuzla	kireçtaşı	SK-ALT-1	63,915	18,93	2,77	12	EPB	-
		Tuzla	kireçtaşı	S20	39,410	26,1	3,13	24,9	EPB	-

Çizelge B.5(devam): TBM performans tahmini.

Net SE (kWh/m3)	Kesme Kuvveti (kW)	Net Üretim Oranı (m3/h)	Günlük Net Üretim (m3/gün)	TBM Verimi (%)	Verim Düzeltmesi Yapılmış Günlük Üretim (m3/gün)	Günlük İlerleme (m)	Kazı Süresi (gün)	Kazı Dışı Gecikmeler (gün)	Toplam Süre (gün)
6,06	780,52	103,07	2061,36	0,34	700,86	20,67	1,55		
4,76	780,52	131,07	2621,45	0,34	891,29	26,29	5,23		
6,99	780,52	89,39	1787,76	0,34	607,84	17,93	20,50		
4,65	780,52	134,17	2683,50	0,34	912,39	26,91	10,66		
4,98	780,52	125,44	2508,80	0,34	852,99	25,16	2,54		
5,64	780,52	110,79	2215,81	0,34	753,38	22,22	1,77		
							42,25	50,00	92,25

EK B.6: Bağlarbaşı - Fıstıkağacı

Çizelge B.6: TBM performans tahmini.

Güzergah	Başlangıç-Bitiş (m)	Formasyon	Litoloji	Sondajlar	Metraj (m)	σ_c (MPa)	SE (kWh/m3)	RQD (%)	Çalışma Modu	RQD Etkisi
Fıstıkağacı	1449,75	Trakya	kiltaşı-çamurtaşı-şeyl	S6	5,250	40,8	3,88	0	EPB	-
Bağlarbaşı	2250,5	Trakya	kiltaşı-çamurtaşı-şeyl	S14	125,250	22,5	2,95	7,89	EPB	-
Uzunluk(m)	800,75	Trakya	kiltaşı-çamurtaşı-şeyl	S7	282,500	38,8	3,78	22,2	EPB	-
		Tuzla	kireçtaşı	S8	260,000	33,8	3,52	55	EPB	-
		Tuzla	kiltaşı-şeyl	S9	133,000	66,1	5,17	3,2	EPB	-

Çizelge B.6(devam): TBM performans tahmini.

Net SE (kWh/m3)	Kesme Kuvveti (kW)	Net Üretim Oranı (m3/h)	Günlük Net Üretim (m3/gün)	TBM Verimi (%)	Verim Düzeltmesi Yapılmış Günlük Üretim (m3/gün)	Günlük İlerleme (m)	Kazı Süresi (gün)	Kazı Dışı Gecikmeler (gün)	Toplam Süre (gün)
6,99	780,52	89,39	1787,76	0,38	679,35	20,04	0,26		
5,31	780,52	117,69	2353,83	0,38	894,46	26,39	4,75		
6,80	780,52	91,80	1836,01	0,38	697,68	20,58	13,73		
6,34	780,52	98,44	1968,87	0,38	748,17	22,07	11,78		
9,31	780,52	67,08	1341,67	0,38	509,84	15,04	8,84		
							39,36	25,00	64,36

EK B.7: Fıstıkağacı - Üsküdar

Çizelge B.7: TBM performans tahmini.

Güzergah	Başlangıç-Bitiş (m)	Formasyon	Litoloji	Sondajlar	Metraj (m)	σ_c (MPa)	SE (kWh/m3)	RQD (%)	Çalışma Modu	RQD Etkisi
Üsküdar	186	Trakya	kumtaşı	S1	93,000	40,8	3,88	5,1	EPB	-
Fıstıkağacı	1229,28	Trakya	kumtaşı	S2	82,500	40,8	3,88	22,1	EPB	-
Uzunluk(m)	1043,275	Trakya	kumtaşı	SK-USK-4	93,000	40,8	3,88	8,0	EPB	-
		Trakya	kiltaşı-çamurtaşı-şeyl	SK-USK-5	92,500	40,8	3,88	32,0	EPB	-
		Trakya	kiltaşı-çamurtaşı-şeyl	S3	360,000	47,4	4,22	1,6	EPB	-
		Trakya	kiltaşı-çamurtaşı-şeyl	S15	188,000	55,7	4,64	6,5	EPB	-
		Trakya	kiltaşı-çamurtaşı-şeyl (Fay +1130)	S4	85,000	56,9	4,70	0,0	EPB	-
		Trakya	kiltaşı-çamurtaşı-şeyl	S19	92,500	44,6	4,07	10,0	EPB	-

Çizelge B.7(devam): TBM performans tahmini.

Net SE (kWh/m3)	Kesme Kuvveti (kW)	Net Üretim Oranı (m3/h)	Günlük Net Üretim (m3/gün)	TBM Verimi (%)	Verim Düzeltmesi Yapılmış Günlük Üretim (m3/gün)	Günlük İlerleme (m)	Kazı Süresi (gün)	Kazı Dışı Gecikmeler (gün)	Toplam Süre (gün)
6,99	780,52	89,39	1787,76	0,36	643,59	18,99	4,90		
6,99	780,52	89,39	1787,76	0,36	643,59	18,99	4,35		
6,99	780,52	89,39	1787,76	0,36	643,59	18,99	4,90		
6,99	780,52	89,39	1787,76	0,36	643,59	18,99	4,87		
7,59	780,52	82,25	1645,07	0,36	592,23	17,47	20,61		
8,35	780,52	74,75	1495,02	0,36	538,21	15,88	11,84		
8,46	780,52	73,78	1475,56	0,36	531,20	15,67	5,42		
7,33	780,52	85,14	1702,72	0,36	612,98	18,08	5,12		
							62,00	30	92,00

EK B.8: Dudullu – Lise

Çizelge B.8: TBM performans tahmini.

Güzergah	Başlangıç-Bitiş (m)	Formasyon	Litoloji	Sondajlar	Metraj (m)	σ_c (MPa)	SE (kWh/m3)	RQD (%)	Çalışma Modu	RQD Etkisi
Lise	13628,332	Gözdag	kumtaşı-silttaşı	SLD-1	146,670	27,53	3,20	42,8	EPB	
Dudullu	14050,365	Gözdag	kumtaşı-silttaşı	SK-DUD-2	260,000	28,09	3,23	36,02	EPB	
Uzunluk(m)	422,033	Sultanbeyli	kum- kumlu kil	S36	15,365	1	1,85	53	EPB	

Çizelge B.8(devam): TBM performans tahmini.

Net SE (kWh/m3)	Kesme Kuvveti (kW)	Net Üretim Oranı (m3/h)	Günlük Net Üretim (m3/gün)	TBM Verimi (%)	Verim Düzeltmesi Yapılmış Günlük Üretim (m3/gün)	Günlük İlerleme (m)	Kazı Süresi (gün)	Kazı Dışı Gecikmeler (gün)	Toplam Süre (gün)
5,77	780,52	108,27	2165,37	0,44	952,76	28,11	5,22		
5,82	780,52	107,31	2146,24	0,44	944,35	27,86	9,33		
3,33	780,52	187,41	3748,20	0,44	1649,21	48,65	0,32		
							14,87	47,00	61,87

EK B.9: Lise - Altınşehir

Çizelge B.9: TBM performans tahmini.

Güzergah	Başlangıç-Bitiş (m)	Formasyon	Litoloji	Sondajlar	Metraj (m)	σ_c (MPa)	SE (kWh/m3)	RQD (%)	Çalışma Modu	RQD Etkisi
Altınşehir	12626,681	Sultanbeyli	kiltaşı-şeyl-tortul zemin	SALİ-1	173,319	1	1,85	29	EPB	-
Lise	12800									
Uzunluk(m)	173,319									
Altınşehir	13075	Gözdag	kiltaşı-şeyl-tortul zemin	S34	182,000	62,25	4,97	2,175	EPB	
Lise	13408,332	Gözdag	kumtaşı-silttaşı	S35	151,332	28,09	3,23	27,72	EPB	
Uzunluk(m)	333,332				333,332					

Çizelge B.9(devam): TBM performans tahmini.

Net SE (kWh/m3)	Kesme Kuvveti (kW)	Net Üretim Oranı (m3/h)	Günlük Net Üretim (m3/gün)	TBM Verimi (%)	Verim Düzeltmesi Yapılmış Günlük Üretim (m3/gün)	Günlük İlerleme (m)	Kazı Süresi (gün)	Kazı Dışı Gecikmeler (gün)	Toplam Süre (gün)
3,33	780,52	187,41	3748,20	0,40	1499,28	44,23	3,92	15,00	18,92
8,95	780,52	69,73	1394,63	0,40	557,85	16,46	11,06		
5,82	780,52	107,31	2146,24	0,40	858,50	25,32	5,98		
							17,04	22,00	39,04
							20,95	37,00	57,95

EK B.10: Altınşehir - Ihlamurkuyu

Çizelge B.10: TBM performans tahmini.

Güzergah	Başlangıç-Bitiş (m)	Formasyon	Litoloji	Sondajlar	Metraj (m)	σ_c (MPa)	SE (kWh/m3)	RQD (%)	Çalışma Modu	RQD Etkisi
Ihlamurkuyu	11649,967	Kurtköy	kumtaşı-arkoz	SIA-1	269,000	15	2,57	1,878	EPB	
Altınşehir	12406,681	Kurtköy	kumtaşı-arkoz	SIA-2	225,000	12	2,41	38,41	EPB	
Uzunluk(m)	756,714	Kurtköy	çakıl kayacı	S31	115,000	11	2,36	8,74	EPB	
		Kurtköy	çakıl kayacı	S32	147,710	7	2,16	11,6	EPB	

Çizelge B.10(devam): TBM performans tahmini.

Net SE (kWh/m3)	Kesme Kuvveti (kW)	Net Üretim Oranı (m3/h)	Günlük Net Üretim (m3/gün)	TBM Verimi (%)	Verim Düzeltmesi Yapılmış Günlük Üretim (m3/gün)	Günlük İlerleme (m)	Kazı Süresi (gün)	Kazı Dışı Gecikmeler (gün)	Toplam Süre (gün)
4,62	780,52	135,24	2704,84	0,34	919,65	27,13	9,92		
4,34	780,52	143,82	2876,42	0,34	977,98	28,85	7,80		
4,25	780,52	146,93	2938,55	0,34	999,11	29,47	3,90		
3,88	780,52	160,82	3216,47	0,34	1093,60	32,26	4,58		
							26,20	30,00	56,20

EK B.11: Ihlamurkuyu - Çakmak

Çizelge B.11: TBM performans tahmini.

Güzergah	Başlangıç-Bitiş (m)	Formasyon	Litoloji	Sondajlar	Metraj (m)	σ_c (MPa)	SE (kWh/m3)	RQD (%)	Çalışma Modu	RQD Etkisi
Çakmak	10648,567	Kurtköy	kumtaşı-arkoz	SK-ÇKM-1	193,217	35,1	3,59	15	EPB	
Ihlamurkuyu	11429,967	Kurtköy	kumtaşı-arkoz	S29	343,217	26,5	3,15	15,04	EPB	
Uzunluk(m)	781,4	Kurtköy	kumtaşı-arkoz	S30	163,500	11	2,36	14,5	EPB	
		Kurtköy	kumtaşı-arkoz	SK-IHL-1	47,484	35,1	3,59	11	EPB	
		Kurtköy	kumtaşı-arkoz	SIA-1	33,984	15	2,57	1,878	EPB	

Çizelge B.11(devam): TBM performans tahmini.

Net SE (kWh/m3)	Kesme Kuvveti (kW)	Net Üretim Oranı (m3/h)	Günlük Net Üretim (m3/gün)	TBM Verimi (%)	Verim Düzeltmesi Yapılmış Günlük Üretim (m3/gün)	Günlük İlerleme (m)	Kazı Süresi (gün)	Kazı Dışı Gecikmeler (gün)	Toplam Süre (gün)
6,46	780,52	96,63	1932,51	0,34	657,05	19,38	9,97		
5,67	780,52	110,07	2201,47	0,34	748,50	22,08	15,54		
4,25	780,52	146,93	2938,55	0,34	999,11	29,47	5,55		
6,46	780,52	96,63	1932,51	0,34	657,05	19,38	2,45		
4,62	780,52	135,24	2704,84	0,34	919,65	27,13	1,25		
							34,76	30,00	64,76

EK C : TBM'den Faydalanma Oranının Tahmini Edilmesi

Faktörlerin % etkisi toplandıktan sonra %100 den çıkarılıp TBM'den faydalanma oranı hesaplanır. Burdaki verim kazı sırasındaki verimdir. Makineden faydalanma oranı ise gecikmeler, duraklamalar dahil edilerek hesaplanır.

Çizelge C.1: Ümraniye-Çarşı arasında TBM'den tahmini faydalanma oranı.

Faktörler	Beklenen Durum	Etki
Zemin Şartları	Dayk	5 gün
TBM Arızaları		8%
Keski Yenileme	%0-20 Kuvars	7%
Pasa Nakli	0-3 km Bant	5%
Bakım Onarım	Deneyimli Ekip	10%
Segment Montajı		20%
TBM Taşınması + mobilizasyon		30 gün
Diğer Duraklamalar		15%
Makineden Faydalanma Oranı		35%
Kazı Dışı Gecikme		35 gün

Çizelge C.2: Çarşı-Libadiye arasında TBM'den tahmini faydalanma oranı.

Faktörler	Beklenen Durum	Etki
Zemin Şartları	Kontakt zonu ve Fay ve dayklar	10 gün
TBM Arızaları		7%
Keski Yenileme	%0-20 Kuvars	5%
Pasa Nakli	0-3 km Bant	5%
Bakım Onarım	Deneyimli Ekip	10%
Segment Montajı		20%
TBM Taşınması		15 gün
Diğer Duraklamalar		15%
Makineden Faydalanma Oranı		38%
Kazı Dışı Gecikme		25 gün

Çizelge C.3: Libadiye – Kısıklı arasında TBM'den tahmini faydalanma oranı

Faktörler	Beklenen Durum	Etki
Zemin Şartları	Kontakt zonu ve Fay ve dayklar	15 gün
TBM Arızaları		7%
Keski Yenileme	>0-20 Kuvars	10%
Pasa Nakli	0-3 km Bant	5%
Bakım Onarım	Deneyimli Ekip	10%
Segment Montajı		20%
TBM Taşınması		15 gün
Diğer Duraklamalar		15%
Makineden Faydalanma Oranı		33%
Kazı Dışı Gecikme		30 gün

Çizelge C.4: Kısıklı – Altunizade arasında TBM'den tahmini faydalanma oranı.

Faktörler	Beklenen Durum	Etki
Zemin Şartları	Kontakt zonu ve Fay ve dayklar	25 gün
TBM Arızaları		8%
Keski Yenileme	> 20 Kuvars	10%
Pasa Nakli	> 3 km Bant	7%
Bakım Onarım	Deneyimli Ekip	10%
Segment Montajı		20%
TBM Taşınması (2 kez)	Peron ve Makas Tüneli	30 gün
Diğer Duraklamalar		15%
Makineden Faydalanma Oranı		30%
Kazı Dışı Gecikme		55 gün

Çizelge C.5: Altunizade -Bağlarbaşı arasında TBM'den tahmini faydalanma oranı.

Faktörler	Beklenen Durum	Etki
Zemin Şartları	Kontakt zonu ve Fay ve dayklar	20 gün
TBM Arızaları		8%
Keski Yenileme	> %20 Kuvars	8%
Pasa Nakli	0-3 km Bant	5%
Bakım Onarım	Deneyimli Ekip	10%
Segment Montajı		20%
TBM Taşınması + mobilizasyon		30 gün
Diğer Duraklamalar		15%
Makineden Faydalanma Oranı		34%
Kazı Dışı Gecikme		50 gün

Çizelge C.6: Bağlarbaşı- Fıstıkağacı arasında TBM'den tahmini faydalanma oranı.

Faktörler	Beklenen Durum	Etki
Zemin Şartları	Kontakt zonu ve Fay	10 gün
TBM Arızaları		7%
Keski Yenileme	%0-20 Kuvars	5%
Pasa Nakli	0-3 km Bant	5%
Bakım Onarım	Deneyimli Ekip	10%
Segment Montajı		20%
TBM Taşınması		15 gün
Diğer Duraklamalar		15%
Makineden Faydalanma Oranı		38%
Kazı Dışı Gecikme		25 gün

Çizelge C.7: Fıstıkağacı - Üsküdar arasında TBM'den tahmini faydalanma oranı.

Faktörler	Beklenen Durum	Etki
Zemin Şartları	Su Geliri, Fay	10 gün
TBM Arızaları		7%
Keski Yenileme	%0-20 Kuvars	5%
Pasa Nakli	> 3 km Bant	7%
Bakım Onarım	Deneyimli Ekip	10%
Segment Montajı		20%
TBM Taşınması		20 gün
Diğer Duraklamalar		15%
Makineden Faydalanma Oranı		36%
Kazı Dışı Gecikme		30 gün

Çizelge C.8: Dudullu – Lise arasında TBM'den tahmini faydalanma oranı.

Faktörler	Beklenen Durum	Etki
Zemin Şartları		7 gün
TBM Arızaları		6%
Keski Yenileme	%0-20 Kuvars	5%
Pasa Nakli	0-3 km Bant	5%
Bakım Onarım	Deneyimli Ekip	10%
Segment Montajı		20%
TBM Taşınması	Mobilizasyon	40 gün
Diğer Duraklamalar		10%
Makineden Faydalanma Oranı		44%
Kazı Dışı Gecikme		47 gün

Çizelge C.9: Lise - Altınşehir arasında TBM'den tahmini faydalanma oranı.

Faktörler	Beklenen Durum	Etki
Zemin Şartları	Kontakt zonu	7 gün
TBM Arızaları		5%
Keski Yenileme	%0-20 Kuvars	5%
Pasa Nakli	0-3 km Bant	5%
Bakım Onarım	Deneyimli Ekip	10%
Segment Montajı		20%
TBM Taşınması (2 kez)	Peron ve Makas Tüneli	30 gün
Diğer Duraklamalar		15%
Makineden Faydalanma Oranı		40%
Kazı Dışı Gecikme		37 gün

Çizelge C.10: Altınşehir – Ihlamurkuyu arasında TBM'den tahmini faydalanma oranı.

Faktörler	Beklenen Durum	Etki
Zemin Şartları	Kontakt zonu ve olası fay zonu	15 gün
TBM Arızaları		6%
Keski Yenileme	> 20 Kuvars	10%
Pasa Nakli	0-3 km Bant	5%
Bakım Onarım	Deneyimli Ekip	10%
Segment Montajı		20%
TBM Taşınması		15 gün
Diğer Duraklamalar		15%
Makineden Faydalanma Oranı		34%
Kazı Dışı Gecikme		30 gün

Çizelge C.11: Ihlamurkuyu- Çakmak arasında TBM'den tahmini faydalanma oranı.

Faktörler	Beklenen Durum	Etki
Zemin Şartları	Olası Fay Zonu	15 gün
TBM Arızaları		6%
Keski Yenileme	> %20 Kuvars	10%
Pasa Nakli	0-3 km Bant	5%
Bakım Onarım	Deneyimli Ekip	10%
Segment Montajı		20%
TBM Taşınması		15 gün
Diğer Duraklamalar		15%
Makineden Faydalanma Oranı		34%
Kazı Dışı Gecikme		30 gün

EK D : Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy-Sancaktepe Metrosu güzergahı ve jeolojik haritası kitapçığın sonunda yer almaktadır.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Levent TÜYSÜZ

Doğum Yeri ve Tarihi: Gümüşhane -19.11.1980

E-Posta: levent.tuysuz@ibb.gov.tr

Lisans: Selçuk Üniversitesi

Mesleki Deneyim ve Ödüller: 4 yıl (Kontrol Mühendisliği – İstanbul Büyükşehir Belediyesi Raylı Sistem Müdürlügü).