

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BELPINAR TÜNELİNDE JEOLJİK VE GEOTEKNİK FAKTÖRLERİN  
TÜNEL AÇMA MAKİNASI PERFORMANSINA ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mustafa SAKALLI**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. İsmail Hakkı AKSOY**

**HAZİRAN 2017**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BELPINAR TÜNELİNDE JEOLJİK VE GEOTEKNİK FAKTÖRLERİN  
TÜNEL AÇMA MAKİNASI PERFORMANSINA ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mustafa SAKALLI  
501091338**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. İsmail Hakkı AKSOY**

**HAZİRAN 2017**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501091338 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Mustafa SAKALLI, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “BELPINAR TUNELİNDE JEOLJİK VE GEOTEKNİK FAKTÖRLERİN TUNEL AÇMA MAKİNASI PERFORMANSINA ETKİSİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Doç. Dr. İsmail Hakkı AKSOY** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Doç. Dr. Aykut ŞENOL** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Doç. Dr. İlknur BOZBEY** .....  
İstanbul Üniversitesi

**Teslim Tarihi** : **3 Mayıs 2017**  
**Savunma Tarihi** : **6 Haziran 2017**





*Aileme,*





## ÖNSÖZ

Ülkemiz ve dünyamız çok hızlı bir şekilde değişim göstermektedir. Köylerin nüfusunun azalıp şehirlerin nüfusunun artmasının yanı sıra genel olarak da ülkemizin ve dünyamızın nüfus artış ivmesi şu anda pozitif durumdadır. Bu durumun bir getirisi olarak da çeşitli ihtiyaçlar hızla artmakta ve çözümlerin de geçmiştekinden daha hızlı bulunması kaçınılmaz olmaktadır. Özellikle son zamanlarda tüm dünyada yapılan inşaat ihalelerinde birinci kriter olarak işin zamanında bitirilmesi ön planda olmaktadır. Mühendisler olarak bizim için bir yapının tekniğine uygun ve emniyetli olması da en önemli birincil kriterdir. Bu sebeple üretilmesi gereken bu hızlı çözümlerde başarıya ulaşmak için yapılmış ve yapılmakta olan proje uygulama verilerinin çok iyi değerlendirilip yorumlanması ve kazanılan tecrübelerin yazılı olarak kayıtlara geçmesi hayati önem arz etmektedir. Bu çalışma ile Kılavuzlu Sulaması Ana Kanalı 1. Kısım İnşaatı kapsamında yapımı tamamlanan Belpınar Tüneli'nde (Nurdağı/Gaziantep) kullanılan tünel açma makinasının, tünel kazısı sırasında elde edilen parametrelerinin ortaya konması ve yorumlanması ile daha sonra benzer özellikte inşası yapılacak tünel imalatları için doğru öngörülerde bulunulmasına olanak sağlanması amaçlanmıştır.

Hazırlanan bu çalışmanın tamamlanması için beni sürekli motive eden başta babam, annem ve eşim olmak üzere tüm aileme, çalışmanın tamamlanması için projeyi barındıran şantiyenin tüm imkanlarını kullanmama müsaade eden Altyapı İşleri Genel Md. Yard. İnş. Müh. Doğan TALU 'ya ve Proje Md. İnş. Müh. Erdal CAN 'a, dataların temini ve doğru yorumlanması için sürekli bilgi alışverişinde bulunduğum TBM Şefi Jeoloji Müh. Onur KANSU 'ya ve tez datalarının hazırlanması ve yazılması için gerekli yardımcı işlerin yapılmasında emeklerini esirgemeyen başta İnş. Müh. Bülent Çetin YEŞİLBAHÇE olmak üzere tüm Kılavuzlu Şantiyesi personellerine çok teşekkür ederim.

Tezin başlangıcından bitişine kadar her noktasında beni yönlendiren ve her konuda bilgi ve tecrübesiyle yolumu aydınlatan Hocam Prof. Dr. Müh. Nuh BİLGİN 'e ve bu tezin hazırlanması için bana tüm imkanları sunan ve beni sürekli motive eden Hocam Doç. Dr. Müh. İsmail Hakkı AKSOY 'a sonsuz teşekkürlerimi iletiyorum.

Haziran 2017

Mustafa SAKALLI  
İnşaat Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xi
SEMBOLLER .....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY .....	xxi
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. TÜNELLER, TÜNELLERİN TARİHSEL SÜRECİ VE TÜNEL AÇMA MAKİNASI YÖNTEMİ İLE TÜNEL AÇMA .....</b>	<b>3</b>
2.1. Tünelin Amacı ve Sınıflandırılması.....	3
2.2. Tünelin Tarihsel Süreci.....	4
2.2.1. Antik dönem.....	4
2.2.2. Sanayi dönemi.....	7
2.2.3. Modern dönem .....	8
2.3. Tünel Açma Makinaları .....	10
<b>3. BELPINAR TÜNELİ JEOLJİK ÖZELLİKLER.....</b>	<b>15</b>
3.1. Tünel – 2 'ye Ait Genel Bilgiler .....	15
3.2. Belpınar Tüneli'nin Jeolojik Özellikleri .....	16
3.2.1. Sondajlar .....	18
3.3. Peridotit ve Serpantinit.....	22
<b>4. TÜNEL GÜZERGAHINDAKİ KAYAÇLARIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ .....</b>	<b>25</b>
4.1. Fiziksel Deney Sonuçları .....	25
4.2. Mekanik Deney Sonuçları.....	27
4.3. Fiziksel ve Mekanik Deneylerin Özeti ve Sonuçların Diğer Kaynaktaki Sonuçlarla Karşılaştırılması .....	28
4.4. Kaya Kütle Sınıflaması .....	29
4.5. Hidrojeoloji .....	30
<b>5. GEOTEKNİK PARAMETRELERİN TBM PERFORMANSINA ETKİSİ..</b>	<b>33</b>
5.1. TBM Kazı Hızı Değişiminin Geoteknik Parametrelerle Açıklanması.....	33
5.2. Sürelerle İlgili Genel Bakış .....	35
5.3. Zemine Bağlı Diğer Zaman Kayıpları.....	42
5.4. TBM Kazı Parametrelerinin Zemine Göre Değişimi .....	43
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>47</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>53</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>55</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>85</b>



## KISALTMALAR

<b>TBM</b>	: Tünel Açma Makinası (Tunnel Boring Machine)
<b>NATM</b>	: Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu
<b>EPB</b>	: Pasa Basınç Dengeli (Earth Pressure Balance)
<b>TSK</b>	: Tünel Sondaj Kuyusu
<b>RQD</b>	: Kaya Kalite Değeri (Rock Quality Designation)
<b>RMR</b>	: Kaya Kütle Endeksi (Rock Mass Rating)
<b>GSI</b>	: Jeolojik Dayanım İndeksi (Geological Strength Index)
<b>UCS</b>	: Tek Eksenli Basınç Dayanımı
<b>SE</b>	: Spesifik Enerji



## **SEMBOLLER**

<b>GPa</b>	: Gigapascal
<b>RPM</b>	: 1 Dakikadaki Dönüş Sayısı (Rounds Per Minute)
<b>N</b>	: Kesici Kafanın 1 Saniyedeki Dönme Sayısı (Devir/Saniye)







## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1: Tünellerin yapım yöntemleri ve hangi tünellerde kullanıldığı (Ballantyne B, 2012). .....	9
Çizelge 2.2: Pasa basınç dengeli tünel açma makinası özellikleri .....	13
Çizelge 3.1: Tünel-2 imalatları sırasında karşılaşılan zemin durumu. ....	23
Çizelge 4.1: Fiziksel deney sonuçları. ....	26
Çizelge 4.2: Kaya mekaniği deney sonuçları. ....	27
Çizelge 4.3: Peridotit ve serpantinitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri.....	29
Çizelge 4.4: RMR değerleri.....	31
Çizelge 5.1: En iyi ilerlemeler. ....	34
Çizelge 5.2: Çalışılmayan günler. ....	34
Çizelge 5.3: Toplam geçen süreye göre ortalama hızlar.....	35
Çizelge 5.4: Çalışılmayan günler hariç ortalama hızlar.....	35
Çizelge 5.5: Peridotit ve tünele su girişinin olmadığı durumda ortalama kazı hızı... 35	
Çizelge 5.6: Tamamlanan bazı metro tünelleri (Bilgin ve diğ., 2016). ....	36
Çizelge 5.7: Peridotit ve tünele su girişinin olduğu durumda ortalama kazı hızı.....	37
Çizelge 5.8: Peridotit parçalı çok çatlaklı ve tünele su girişinin olduğu durumda ortalama kazı hızı.....	37
Çizelge 5.9: Peridotit serpantinit çok çatlaklı ve tünele su girişinin olmadığı durumda ortalama kazı hızı.....	38
Çizelge 5.10: Peridotit serpantinit çok çatlaklı ve tünele su girişinin olduğu durumda ortalama kazı hızı.....	39
Çizelge 5.11: Serpantinit ve tünele su girişinin olmadığı durumda ortalama kazı hızı. ....	40
Çizelge 5.12: Serpantinit ve tünele su girişinin olduğu durumda ortalama kazı hızı.41	
Çizelge 5.13: Zemin durumuna göre ortalama kazı hızları.....	42
Çizelge 5.14: Zemine bağlı diğer zaman kayıpları. ....	43
Çizelge 5.15: TBM performans parametrelerinin geçilen formasyona göre değişimi. ....	45
Çizelge 5.16: Marmaray projesinde yapımı tamamlanan bazı tüneller (Bilgin ve diğ., 2016). ....	46
Çizelge Ek.1: Peridotit ve tünele su gelirin olmadığı duruma ait hesaplar. ....	70
Çizelge Ek.2: Peridotit ve tünele su gelirin olduğu duruma ait hesaplar. ....	73
Çizelge Ek.3: Peridotit parçalı çok çatlaklı ve tünele su gelirin oldu duruma ait hesaplar. ....	74
Çizelge Ek.4: Peridotit parçalı çok çatlaklı ve tünele su gelirin oldu duruma ait hesaplar. ....	76



## ŞEKİL LİSTESİ

<b>Şekil 2.1:</b> Titus tüneli (Külahlı).....	5
<b>Şekil 2.2:</b> Thames nehri tüneline kullanılan “kalkan” (Brierley, 2014) .....	6
<b>Şekil 2.3:</b> Sanayi döneminde kalkan yöntemi ile tünel açılması “New York City Subway” (Brierley, 2014).....	7
<b>Şekil 2.4:</b> Açık mod TBM tipleri.....	11
<b>Şekil 2.5:</b> Kapalı mod TBM tipleri.....	12
<b>Şekil 2.6:</b> Belpınar tüneline kullanılan tünel açma makinası kalkan tip kesiti.....	14
<b>Şekil 3.1:</b> Belpınar Tüneli proje güzergahı.....	15
<b>Şekil 3.2:</b> Sahanın jeolojik plan görünüşü.....	16
<b>Şekil 3.3:</b> Sahanın jeolojik kesit görünüşü.....	17
<b>Şekil 3.4:</b> TBM giriş portalı peridotit birimler genel görünüm.....	22
<b>Şekil 3.5:</b> TBM çıkış portalı genel görünümü.....	23
<b>Şekil 4.1:</b> Permeabilite testi sonuçları grafiği.....	32
<b>Şekil 5.1:</b> Peridotit ve tünele su girişinin olmadığı durumda her bir ring için tespit edilen kazı hızları.....	37
<b>Şekil 5.2:</b> Peridotit parçalı çok çatlaklı ve tünele su girişinin olduğu durumda her bir ring için tespit edilen kazı hızları.....	38
<b>Şekil 5.3:</b> Peridotit serpantinit çok çatlaklı ve tünele su girişinin olmadığı durumda her ring için kazı hızı.....	39
<b>Şekil 5.4:</b> Peridotit serpantinit çok çatlaklı ve tünele su girişinin olduğu durumda her ring için kazı hızı.....	40
<b>Şekil 5.5:</b> Serpantinit ve tünele su girişinin olmadığı durumda her ring için kazı hızı.....	41
<b>Şekil 5.6:</b> Serpantinit ve tünele su girişinin olduğu durumda her ring için kazı hızı.....	41
<b>Şekil 6.1:</b> Kesici kafaya montajı yapılmayan diskler.....	48
<b>Şekil 6.2:</b> Aşınan, kırılan ve sıkışan kesici diskler için örnek.....	49
<b>Şekil 6.3:</b> Tünele basınçlı su ve ince daneli zemin girişi.....	50
<b>Şekil 6.4:</b> TBM kalkanı etrafında yapılan patlatma çalışmaları.....	51



## BELPINAR TÜNELİNDE JEOLJİK VE GEOTEKNİK FAKTÖRLERİN TÜNEL AÇMA MAKİNASI PERFORMANSINA ETKİSİ

### ÖZET

Yapılan bu çalışma ile Belpınar Tüneli'nde tünel açma makinası ile inşaatın yapılması sırasında karşılaşılan zemin özelliklerinin tünel açma makinası performansına etkisinin ortaya konması amaçlanmıştır. Tünel kazısının tamamen ultrabazik karakterli kayalardan peridotit ve serpantinitle içerisinde yapılacak olması sebebiyle, güzergah boyunca geçilen formasyonların ayrımı yapılarak, bu bölgelerde tünel açma makinası kazı parametrelerinin nasıl değiştiği gözlenmiştir.

Genel olarak tünel açma yöntemleri ve uygulama alanları hakkında özet bilgi verilmiş, geçmişten günümüze gerek konvansiyonel gerekse makina ile tünel inşaatı konusunda gelişmelerin nasıl olduğu ile ilgili süreç açıklanmaya çalışılmıştır. Ayrıca günümüzde tünellerin inşaatında başarı ile kullanılan tünel açma makinası tipleri ve hangi durumlarda hangi tipin kullanıldığı ile ilgili özet bilgiler sunulmuş, Belpınar Tüneli'nde seçilen tünel açma makinası tipin uygunluğunun sorgulanması amaçlanmıştır.

Belpınar Tüneli inşaatını yapmak için kapalı mod tip bir makina olan "Pasa Basınç Dengeli Tünel Açma Makinası" seçilmiştir. Seçilen makinanın kazı çapı 6,82 m'dir. Kesici kafa üzerinde 4'ü çiftli 39'u tekli olmak üzere 43 adet kesici disk bulunmaktadır ve bu disklerin çapı 432 mm'dir. Makina üzerindeki kesici kafanın maksimum dönme hızı 3,5 rpm ve maksimum torku 8,307 kNm'dir. Makina üzerinde ileriye doğru hareketi sağlayan 32 adet itme silindiri bulunmaktadır ve bu silindirlerin toplam itme kuvveti 48.657 kN'dur. Makinanın toplam gücü 2.785 kW'tır.

Belpınar Tüneli'nde uygulanan kazı tekniğinde, tünel açma makinası ile yapılan kazıdan çıkan pasa malzemesi lokomotif ve 6 vagonla oluşan katar sistemi ile tünel dışına alınmaktadır. Kazıdan sonra erekör denen vakumlu kaldırma tertibatı ile segmentlerin montajı yapılmakta ve pasa malzemesini tünel dışına çıkararak katar sisteminin geri dönüşünde tünel içine alınan enjeksiyon malzemesi, segmentlerle kazı çeperi arasındaki boşluğun doldurulması için enjeksiyon malzemesini getirmektedir. Bir yandan bir sonraki ringin kazısı yapılırken diğer yandan montajı tamamlanan ringin enjeksiyonu yapılmaktadır.

Tünel kazı ve segment kaplama imalatları toplamda 675 gün sürmüştür. Çalışmalar sırasında hidromotor arızasından dolayı 27 gün, bakım onarım çalışmaları için 2 gün, lokomotif arızaları için 6 gün, sıkışan tünel açma makinasının kurtarılması için 17 gün, hat uzun olduğu için işi hızlandırmak amacıyla yapılan makas kurulumu için 13 gün, vidalı konveyör helezonunda oluşan aşınmaların tamiri için 17 gün, tünele giren ince daneli zeminlerin oluşturduğu olumsuz ortam koşullarını iyileştirmek için 4 gün, kesici disklerin değişimi için 2 gün, ilave enjeksiyon işleri için 2 gün, bölgeden kaynaklı elektrik kesintilerinden dolayı 14 gün ve resmi tatillerden kaynaklı 24 gün

olmak üzere toplamda 128 gün boyunca kazı ve segment kaplama çalışmaları yapılamamıştır. Böylece genel olarak 8,07 m/gün'lük bir hız ve çalışmayan günler hesaba dahil edilmediğinde de 9,96 m/gün'lük bir hızla çalışmalar tamamlanabilmiştir.

Tünel kazı çalışmaları sırasında serpantinitle peridotitlerden %3 oranında daha kolay kazılabildiği ve belirli miktarda tünel aynasından su gelirin kazı hızına olumlu etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Ancak kırıklı çok çatlaklı peridotit biriminde su gelirin fazla olması ve bazı bölümlerde aynadaki yüksek su basıncı kazı hızını olumsuz etkilemiştir. Kazı hızı, yarı hidrotermal metamorfizmaya uğramış kayaç olan peridotit-serpantin birimlerde su gelirin olduğu durumlarda en düşük seviyede olmuştur. Bunun en önemli sebebi suya birlikte yarı hidrotermal metamorfizmaya uğramış kayacın çamur haline gelerek kesici diskleri kilitlenmesine sebep olmasıdır.

Jeolojik ve geoteknik faktörlerin tünel açma makinası performans parametrelerine etkisinin açıklayabilmek adına, her bir ring (1,40 m) için makinanın itme kuvveti, torku, kesici kafa dönüş hızı ve ilerleme hızı değerleri kayıt altına alınmıştır. Toplamda 3.893 adet ring için bu veriler bilgisayar ortamına aktarılmış, ortalama ve standart sapma değerleri elde edilmiştir. Yine bu değerlerden itme kuvvetinin torka oranı (1/m), ortalama penetrasyon ve spesifik enerji değerleri hesap edilmiştir. Bu hesaplamalara göre güzergah boyunca yapılan kazı çalışmalarından elde edilen itme kuvveti / tork oranının 1,53-2,50 1/m arası değiştiği tespit edilmiştir. Bu değer düşük çıkması güzergah üzerindeki kayaçların basınç/çekme dayanım oranlarının (3,80-4,10) düşük olması ile açıklanmaktadır. Basınç dayanımı 77 MPa olan peridotit birimlerde, makina üzerinden elde edilen itme kuvvetinin, basınç dayanımı 39 MPa olan serpantin birimlerden %22 daha fazla olduğu tespit edilmiş, su peridotit birimlerde itme indeksini %33 azaltırken serpantin birimlerde %12 oranında azaltmıştır.

Sonuç olarak, hazırlanan bu çalışmada, 6,82 m kazı çapına sahip, pasa basınç dengeli tünel açma makinası ile yeraltı suyu altında, tamamen ultrabazik karakterli kayaçlar olan peridotit ve serpantin birimler içerisinde tünel açılması durumunda, 9,90 m/gün ile imalatların yapılabildiği görülmüştür. Tünelin yeraltı suyu seviyesi altında açılmış olması ve güzergah üzerinde yarı hidrotermal metamorfizmaya uğramış peridotit-serpantin birimlerin olduğu bölgelerde, tünele çok fazla miktarda suyla birlikte ince daneli zeminlerin girmesi seçilen makina tipinin doğruluğunu teyit etmiştir. Güzergahın genel olarak ofiyolit birimlerden oluşması sebebiyle bazı bölümlerde lokal olarak diyabaz dayklarının varlığı tespit edilmiş, tünel aynasının tamamen diyabazlardan oluştuğu bir bölümde, disklerin çok hızlı bir şekilde aşındığı ve bunun sonucunda da tünel açma makinasının sıkıştığı görülmüştür. Bu durum ofiyolit birimlerde yapılan makinalı kazılarda disk kontrolünün mümkün olduğunca sık yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Ayrıca ilerde benzer özellik gösteren projelerde, planlamanın daha doğru yapılmasında ve bir takım risklerin daha doğru öngörülmesinde faydalı olması amacı ile bu tez çalışması yapılmıştır.

# **THE EFFECT OF GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL FACTORS IN BELPINAR TUNNELS ON TUNNEL BORING MACHINE PERFORMANCE**

## **SUMMARY**

This study focuses on how the performance of the TBM was affected by geological and geotechnical factors encountered during the construction phase of the Belpinar tunnel. Data collected from the laboratory results of samples taken from the probe drilling and similar data from works previously done have been compared to each other.

This thesis includes the historical development of the TBM methods and other methods used in the Belpinar Tunnel for general information purposes. The historical development of conventional tunneling methods and tunneling methods with machines have been tried to be illustrated with examples. After the general information on the methods and such this thesis will give information regarding the necessity and purpose of the Belpinar Tunnel, how its tunneling method was chosen and general information the selected machine type.

The tunnel course consists mainly of ophiolite entities. In order to better determine the geological and geotechnical factors throughout the tunnel course 6 probe drillings were carried out before the tunnel excavation and the installation of the permanent rings. According to the data collected from the probe drillings, the entire tunnel course is below the ground water table level and consists fully of peridotite and serpentinite which are ultrabasic rocks. Samples taken from the probe drillings were analyzed in the laboratory and according to the results of the analysis the rocks have a density ranging from 2,50 gr/cm<sup>3</sup> to 2,78 gr/cm<sup>3</sup>. Furthermore, tensile and compressive strength tests were carried out on the samples and it was determined that peridotite formations have an average compressive strength of 77 MPa and an average tensile strength of 18,70 MPa while serpentinite formations have an average compressive strength of 39 MPa and an average tensile strength of 10,3 MPa. It was determined that the compressive strength to tensile strength ratio is ranged 3,80-4,10 throughout the whole tunnel course.

In order to construct the Belpinar tunnel, a closed mode type machine called "Earth Pressure Balance TBM" was selected. The excavation diameter of the selected machine is 6,82m. The Cutterhead consists of 4 double disk cutters and 39 single disk cutters which all have a diameter of 432 mm. The Cutterhead has a maximum rotation velocity of 3,5 rpm while the maximum torque is 8,307 kNm. The forward movement of the machine is achieved through 32 hydraulic thrust cylinders that have a total thrust force of 48,657 kN. The total power of the machine is 2,785 kW.

The excavation method used in the Belpinar Tunnel was to use a railway system that consisted of a locomotive and 6 wagons that carried the excavated material from the TBM to the outside. After the excavation, a vacuum lifting device is used to install

the segments. The railway system used to move away the excavation material is also used in delivering injection materials which will be used to fill the possible blank space between the segment and the excavation radius. The injection for the installed ring is carried out while the excavation for the next ring is continuing.

The excavation and installation of the segments was done in a total of 675 days. During the construction phase a total of 128 days were determined to be days without excavation or installation of segments. The time spent without excavation or installation of rings and their reason(s) are as follows; 27 days loss due to breakdown of the hydro engine, 2 days due to maintenance, 6 days due to breakdown repairs on the locomotive, 17 days were lost while trying to free the entrapped TBM, due to the reason that the tunnel became too long to travel and in order to shorten the time losses a cross for the railway was built and thus resulting in a 13 days loss, 17 days were lost in maintaining the wear and tear at the helix conveyor, 4 days were lost due to trying to improve the unfavorable conditions which occurred due to the fine grained soil that entered the tunnel, 2 days were lost due to the changing the cutter disks, 2 days were lost due to extra injection works, 14 days were lost due to the local electrical network shutdowns and 24 days due to official holidays. Therefore, including the days in which no excavation was carried out an excavation speed of 8.07 m/day was recorded while excluding the non-working days an excavation speed of 9.96 m/day can be determined.

As can be seen in the results of the probe drillings the whole excavation process took place inside peridotite and serpentinite which are ultrabasic rocks. The formation at the beginning of the excavation for the TBM was in general solid with a few cracks and joints, the water intake into the tunnel was measured to be maximum 6 lt/sec and the formation had a few small areas in which diabase dikes were cut through. In the continuing phases of the excavation the peridotite formations showed more cracks and joints and the water intake into the tunnel was changing between 6 lt/sec to 210 lt/sec. In formations of peridotite with a lot of cracks it was determined that the water pressure at the excavation face went up to 4 bar and also the water intake in these areas increased up to 430 lt/sec. Besides the cracked peridotite formations, the tunnel course also went through hydrothermally metamorphosed peridotite-serpentinite formations. Excavation in these type of formations determined that in some areas there was no water intake into the tunnel while in some other areas the water intake was 6-210 lt/sec. Peridotite and serpentinite followed by serpentinite units which are metamorphic rocks. In these type of formations the water intake was determined to be 0-30 lt/sec in some areas.

During the excavation, it was determined that serpentinite formations were %3 easier to excavate than peridotite formations and a certain amount of water entering the tunnel resulted in an increase in excavation speed. However, the excavation speed was effected negatively in faulted/cracked peridotite formations due to high water intake and high water pressure at the excavation face. The lowest excavation speed was recorded when there was a water intake in half hydrothermally metamorphosed peridotite-serpentinite formations. The main reason for the decrease in speed was because with the water intake half hydrothermally metamorphosed peridotite-serpentinite rocks became muck which blocked the cutter disks.

Most of the mechanical Break downs during the construction phase were recorded in peridotite-serpentinite formations and in situations where there was a water intake into the tunnel. This can be seen as one of the reasons as to why the excavation speed



was low in these type of situations. As was expected the cutter disk changes were the most in peridotite formations because they have a higher hardness and wear and tear effect. It was observed that in peridotite-serpentinite formations had the most intake in fine-grained soil with water. Due to this reason the tunnel was constantly cleaned in order to improve the unfavorable working conditions and continue work.

In order to determine the effects of geological and geotechnical factors on the TBM performance, the thrust force of the machine, torque, the rotation velocity and advancement speed of the cutter head have been recorded for each ring (1.40m). Data for a total number of 3.893 rings have been recorded in a digital format and their average and standard deviation have been calculated. Also, with the data for the rings, the thrust force and torque ratio, average penetration and specific energy values have been calculated. According to these calculations, the thrust force / torque ratio was ranged as 1.53-2.50 1/m. The reason why this value is this low can be explained with the fact that the compressive and tensile strength of the rocks are low (3.80 - 4.10). Peridotite formations with a 77 MPa compressive strength had a 22 % higher thrust force achieved from the machine than serpentinite formations which had a compressive strength of 39 MPa. Also, it was determined that water in peridotite formations lowered the thrust index by 33% while it was lowered in serpentinite formations only by 12 %.

In Conclusion, this study shows that if an EPB type TBM with an excavation diameter of 6.82m used in ultrabasic rocks such as peridotite and serpentinite and below the ground water table, can achieve a working speed of 9.90 m/day. The tunnel being below the ground water table and in areas where there are half hydrothermally metamorphosed peridotite-serpentinite formations experienced a high intake of water and fine grained soil thus conforming that this type of TBM was chosen correctly. Due to the reason that the tunnel course mainly consisted of ophiolite formations, in some areas diabase dikes were located and in areas where the excavation face was completely made out of diabase dikes cutter disks experienced a much faster wear and tear effect which in return resulted in the TBM getting stuck. This situation shows that TBM's used in ophiolite formations need their cutter disks to be checked as much as possible. This study was done in order to make a more correct plan and in order to better foresee some of the risks in similar projects in the future.



## 1. GİRİŞ

Değişen ve teknolojik olarak hızla gelişen dünyada ihtiyaçlar da bir o kadar artmakta ve çözüm üretmek için harcanması gereken zaman ters orantılı olarak azalmaktadır. Teknolojinin doğru kullanılması ile birlikte daha az insan gücü ile daha fazla iş üretmek mümkün olmaktadır. Ayrıca risk kalemlerinin daha fazla olduğu alt yapı uygulamalarında, doğru teknik çözüm ile güvenli hesap ve tasarımın yapılması ve yapım sırasında efektif kullanılabilen makina ekipmanların seçilmesi ile daha güvenli, daha hızlı ve daha ekonomik yapılar inşa edilebilmektedir.

Ülkemizin Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yapımı devam eden Kılavuzlu Sulaması Ana Kanalı 1. Kısım İnşaatı projesi ile öncelikle Kahramanmaraş, Gaziantep ve Hatay illerinde toplam 1.060.910 da tarım arazisinin sulanması amaçlanmaktadır. Ayrıca 84,6 km uzunluğundaki iletim kanalı ile kış aylarında meydana gelen yağışlar sonrası göl olan ve tarıma elverişli olmayan Sağlık ve Emen Ovalarının drenajının yapılması ve gerekmesi halinde illerde Kahramanmaraş ve çevre yerleşim yerlerinin içme ve kullanma suyu ihtiyacını da karşılanması planlanmaktadır. Proje kapsamında ana iş kalemi olarak 25 milyon m<sup>3</sup> açıkta kazı yapılması, 5.950 m uzunluğunda tünel ve yaklaşık 300.000 m<sup>3</sup> beton hacmine sahip kanal kaplama imalatları ile sanat yapıları bulunmaktadır.

Ana kanalın güzergahı boyunca geçilen yerleşim yerlerinde imalatların yapılması, mevcut diğer alt ve üst yapılarla kesişimler sonrası farklı geçiş yöntemlerinin uygulanması ve suyun cazibe ile akışının sağlanması için zaruri olan hidrolik eğimin sağlanması gerekliliği gibi kriterler, projenin tamamlanması için çeşitli çözüm yöntemlerinin uygulanmasını zorunlu kılmaktadır.

Ana iletim kanalının Km:65+098 ile Km:70+548 arası bölgesi Gaziantep ilinin Nurdağı ilçesinde bulunan Emir Musa Dağı ile kesişmektedir. 5.450 m uzunluğundaki bu hattın projenin bitiş süresini etkilemeden tamamlanabilmesi için geçişin tünel açma makinası ile yapılacak tünel ile yapılmasına karar verilmiştir.

Yapılacak tünelin kazı çapı 6,82 m ve nihai kaplama sonrası iç net çap 6,00 m'dir. Tünel açma makinası ile imalatları yapılan tünelde, kazının yapılmasını takiben 25 cm kalınlığında, C45 sınıflı beton ve 85,0 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğunda donatıya sahip segman kaplama imalatı yapılmıştır.

Tünel imalatlarının yapılabilmesi için zemin davranışı, yeraltı suyunun varlığı ve işin zamanında bitirilmesi gerekliliği gibi koşullar göz önünde bulundurularak pasa basınç dengeli tipi bir tünel açma makinası seçilmiştir. Tünel kazısından çıkan malzemeler raylı vagonet sistemi ile tünel dışına çıkarılmış ve tünel içi malzeme naklieleri ve personel taşınması yine aynı sistemle yapılmıştır.

Tünel imalatları, tamamen ultrabazik karakterli kayalardan peridotit ve serpantinitle birimler içinde ve yer altı suyu seviyesi altında, çeşitli duraklamalarla birlikte toplamda 675 gün sürmüştür.

Tünel kazısı imalatları boyunca tünel açma makinasına ait tork (kNm), itme kuvveti (kN), kesici kafa dönme hızı (RPM) ve ilerleme hızı (mm/da) parametreleri kayıt altına alınmış ve spesifik enerji (kWh/m<sup>3</sup>) hesabı yapılmıştır. Geçilen zemin formasyonları belirlenerek yukarıda açıklanan makina parametreleri ve spesifik enerji değişimlerinin bu formasyonlara göre değişimleri belirlenmiştir.

## **2. TÜNELLER, TÜNELLERİN TARİHSEL SÜRECİ VE TUNEL AÇMA MAKİNASI YÖNTEMİ İLE TUNEL AÇMA**

### **2.1. Tünellerin Amacı ve Sınıflandırılması**

İnsanın, eşyanın ya da herhangi bir nesnenin bir noktadan başka bir noktaya aktarılması gereksinimi toplumların gelişmesine paralel olarak artmıştır. Bu artışı en olumsuz doğa koşulları bile engelleyememiştir. Nehirler, dağlar ve okyanuslar belirli bir seviyeye kadar bu ulaşımı geciktirebilmiştir. Ancak insan sonunda bunun da çözümünü bulmuştur. Artık birbirinden ayrı olan insanlar ve bölgeler, nehirleri geçen köprüler ve dağların altından açılan tünellerle birbirlerine bağlanabilmektedir.

Tünellerin asıl amacı insanların ve diğer nesnelerin belirli engelleri aşarak varılması istenen noktaya doğrudan ulaşımını sağlamaktır. Tünellerin açılması için karşılaşılan engel, bir dağ, bir su kütlesi, bir şehir ya da bir sanayi bölgesi olabilir. Demiryolu, karayolu, yaya ulaşımı, suyun çeşitli sebeplerle aktarımı ve kanalizasyon ihtiyacı için yapılan tüneller, genel olarak amaçları, yerleşkeleri ve jeolojik koşullarına göre sınıflandırılırlar. İnşaat mühendisliği disiplini kapsamında değerlendirildiğinde, amaçlarına göre tüneller aşağıdaki iki ana grupta toplanabilirler;

#### **A) Trafik Tünelleri**

1. Demiryolu Tünelleri,
2. Karayolu Tünelleri,
3. Yaya Tünelleri,
4. Denizcilik Tünelleri ve
5. Metro Tünelleri'dir.

#### **B) Taşıyıcı Tüneller**

1. Hidroelektrik Santrali Tünelleri,
2. Su Temini Tünelleri,

3. Kamu Hizmetlerinin Alımı ve İletimi İçin Yapılan Tüneller,
4. Kanalizasyon Tüneller ve
5. Endüstriyel Tesislerde Ulaşım Tünelleri'dir.

Amaca ilave olarak, diğer önemli sınıflandırma kriterleri lokasyon, araziye göre konum ve güzergahtır. Bu kriterler, tünel kesitinin, yapım metodunun ve tasarım ile etkiyen kuvvetlerin belirlenmesinde önemli bir etkiye sahiptir.

“Projenin doğal risklerinin – jeolojik/hidrojeolojik/sismik/geoteknik özelliklerinin çok değişkenlik sergilemesi-en üst düzeyde olması nedeniyle, diğer mühendislik projelerinden farklıdır. Bu risklerin en aza indirilmesi açısından çok özenle yapılmış ve yorumlanmış mühendislik jeolojisi/jeofizik/geoteknik araştırmalarına gereksinim vardır. Tünel projesi “sürdürülebilir çevre” anlayışı ile uygun olmalıdır. Diğer kelimelerle birim kazı hacmi başına kullanılan enerji miktarı elverdiği ölçüde minimuma yaklaştırılmalıdır. Tünel kazısından çıkan malzemeler inşaat işlerinde beton agregası ve yol stabilizasyon malzemesi olarak kullanılma olanakları araştırılmalıdır.” (Arıoğlu, 2011)

## **2.2. Tünellerin Tarihsel Süreci**

Tünellerin tarihsel sürecini üç ana başlık altında incelemek mümkündür. Antik Dönem olarak adlandırılan birinci dönem milattan 1880’li yıllara kadarki süreci, Sanayi Dönemi olarak adlandırılan ikinci dönem 1880-1970 yılları arası süreci, Modern dönem olarak adlandırılan üçüncü dönem ise 1970’li yıllardan günümüze kadar olan süreci kapsamaktadır.

### **2.2.1. Antik dönem**

Antik Dönem’ de tüneller genel olarak mezar ve bir takım dini uygulamaların yapılabilmesi için, beklenildiği üzere zemin desteği gerektirmeyecek rastgele bölgelerde açılmışlardır. Ancak zamanla tüneller drenaj, su temini, kanalizasyon ve ulaştırma problemlerinin çözümü için inşa edilmeye başlanmıştır. Böylece belli bir güzergahı takip etmek zorunda olan tünellerin yapılması için zor zemin koşulları ile mücadele edilmiştir. Ülkemiz sınırları içinde açılan en eski tarihli tünel, M.S. 70’li

yıllarda yapıldığı kabul edilen, Hatay'ın Samandağ ilçesinin yaklaşık 5 km kuzeyinde yer alan Titus Tüneli'dir. Tünel tamamen insan gücü ile açılmıştır ve bu tünelin amacı dağdan gelen selin kente ve şehrin iç limanına zarar vermesini önlemektir.



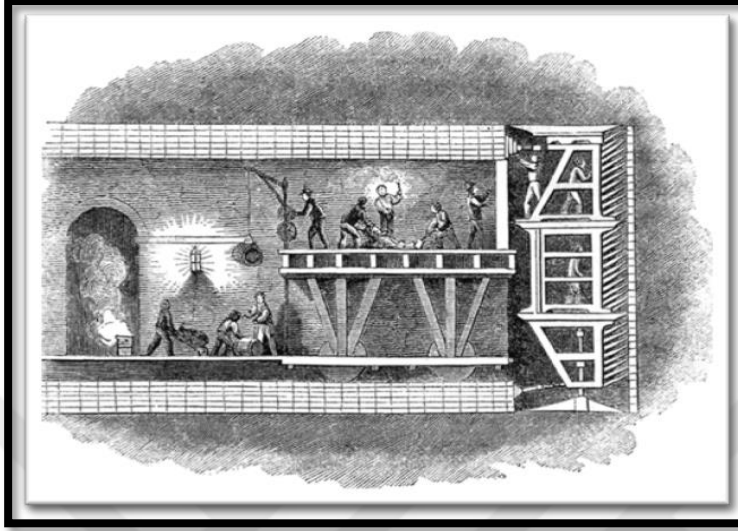
**Şekil 2.1:** Titus tüneli (Külahlı).

1700'lü yıllara gelindiğinde barutun ve ahşabın kullanılması ile tünel açma teknikleri gelişmeye başladı. Gerektiğinde kötü zeminde açılan tünellerde kalıcı destek olarak tuğla, yontulmuş taş ve çimentonun kullanımı da yine bu tarihlerde başlamıştır. 1800'lü yılların başında Fransızlar kötü zeminde sürekli kemerleşmenin sağlanmasını gerektiren ve sonraki 50 yıllık periyotta açılacak tünellerin yapımına ışık tutan bir su tüneli inşa etmişleridir. Kayıtlara göre antik dönemin en önemli tüneli Londra'daki Thames Nehri altında açılan tüneldir (1825-1843).

Antik dönemde kötü zeminlerde tünel açımı sırasında, gerek kazı öncesi gerekse tünel boyunca kazı çalışmaları sırasında geçici destek için ahşap kullanılmıştır. Kalıcı destek olarak ahşap kullanımına ilave olarak tuğla, yontulmuş taş ve çimento kullanılmıştır.

Tünellerde karşılaşılabilecek problemler çok çeşitlilik göstermektedir. Antik Dönemde bu konu ile ilgili bir mühendislik branşı olmadığı için karşılaşılan zorluklarda çözüm

yöntemlerinin bulunması tamamen o işte çalışan kişilerin tecrübelerine bağlıydı. Ayrıca bu dönemin en önemli gelişmesi tünel açılması sırasında kalkanların kullanımı fikriydi. “Kalkan” ilk olarak Marc Isambard Brunel tarafından Thames Nehri tüneline kullanılmıştır.



**Şekil 2.2:** Thames nehri tüneline kullanılan “kalkan” (Brierley, 2014)

Brunel tarafında geliştirilen bu yöntemle tünel açmak çok zaman alıcı ve pahalı olmuştur. Bu sebeple 1860’lı yıllara kadar bu yöntem Thames Nehri Tüneli haricinde kullanılmamıştır.

Brunel’in bu orijinal tasarımı Peter W. Barlow tarafından geliştirilmiş ve 1878 yılında patenti alınmıştır. Alınan bu patente “Kalkan”ın aşağıda belirtilen dört özelliği tanımlanmıştır.

- Birbiri üzerine gelen silindir biçiminde kabuk,
- Nihai kaplama olarak dökme demir,
- Kaplamanın arkasının harç ile doldurulması ve
- Tüm kalkanı ileriye doğru hareket ettirecek vidalı krikodur.

Londra’daki Thames Nehri’nin altından geçen Tower Metro’sunun yapımında James Greathead tarafından tasarlanan makina bu tip bir makina idi. Yine aynı dönemde Alfred Ely Beach tarafından tasarlanan kalkanlı bir makina ile New York’ta Broadway metro inşaatı yapılmıştır. Bu makinada zemini kontrol etmek için yatay kabuklar ve kalkanın itilmesi için de hidrolik pistonlar ilk defa kullanılmıştır.

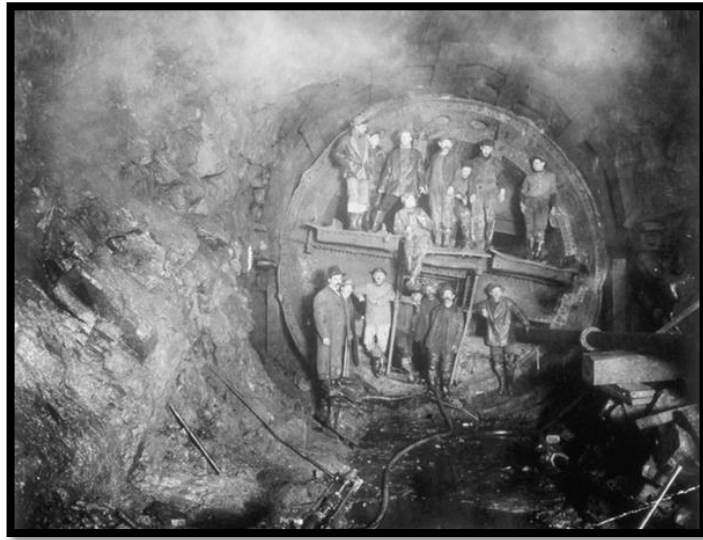


Barlow, Beach ve Greathead tarafından kullanılan tünel açma yöntemleri, sonraki dönemlerde kullanılan yöntemlerin temel felsefesini oluşturmuştur.

Antik Dönem tnelciliği özetle, Endüstriyel Dönemin başlangıcıyla desteklenen bilimsel ve mühendislik gelişmelerine dayalı olarak 1880’li yıllara kadar sürekli gelişim göstermiştir. Dinamitin ve hava basıncılı delicilerin kullanılması ve nihai kaplama imalatları gibi ana gelişmeler ile havalandırma ve ölçüm kontrolü gibi yardımcı gelişmeler kaya tnelciliğinde tamamen devrim yaratan ilerlemelerdir. Buna ilave olarak, Antik Dönem tnelciliği, basıncılı hava ile kalkan teknolojisinin kullanımı ile hala günümüzde dahi aşırı maliyetli, zaman alan ve potansiyel tehlikeleri barındıran, kötü zemin koşullarında açılan tünellerin yapımının temel felsefesini oluşturmuştur.

### 2.2.2. Sanayi dönemi

Bu dönemde genel olarak Antik Dönem tnelciliğinde kullanılan yöntemlere ilave geliştirmeler yapılmıştır. Kalkan kullanılarak açılan tnelerde, dökme demir segmentlerinin kullanımına ilave olarak elik ve prekast beton segmentler de kullanılmaya başlandı. Kalkanlar daha güçlü ve mekanize hale geldi ancak ayna stabilitesi hala ahşaplar kullanılarak sağlanmaktaydı. Zor zemin şartlarında sıkıştırılmış hava ile ayna ve çeper stabilitesinin sağlanarak tünel açma yöntemi bu dönemde kullanılmaya başlandı.



**şekil 2.3:** Sanayi döneminde kalkan yöntemi ile tünel açılması “New York City Subway” (Brierley, 2014).

1920’li yıllarda çelik elemanlar, kurulumun daha kolay olması, ahşaptan daha güçlü olması, tünel kesitini önemli ölçüde azaltması ve nihai kaplama betonunda kullanılması gibi sebeplerle oldukça yaygınlaştı. Özellikle stabil olmayan zeminler ve çatlaklı kaya formasyonunda açılan tünellerde profil iksalar kullanılmaya başlandı.

1948 yılında Prof. L.v. Rabcewicz tarafından ortaya atılan Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi ile hala günümüzde dahi başarı ile tüneller açılabilmektedir. Bu yöntem için yapılan patent başvurusunda yapılan tanımlama aşağıdaki şekildedir.

İnce geçici bir destekleme yerleştirmek ve deformasyonlara izin vermek yoluyla kaya basıncının düşürülmesi ve bu basıncın çevreleyen kayaya dağıtılmasıdır. Böylece son destekleme daha az yüklenecek ve sonrasında daha da ince bir yapı halinde son destekleme yerleştirilebilecektir. Deformasyonlar ölçümler ile gözlemeli ve sonuçlar yapısal analiz tasarımı ile birlikte değerlendirilmelidir (Okyay, Mayıs 2015).

Bu patent başvurusundan sonra her ne kadar çeşitli tanımlamalar yapılsa da hepsinin temelinde bu ilke yer almaktadır.

### **2.2.3. Modern dönem**

1930’larda başlayan, 1940,1950 ve 1960’lı yıllarda gittikçe hızlanan bir takım yeni ve büyük fikirler, günümüz tünel tasarım ve inşasına büyük ölçüde yön vermiştir. Bu dönemde geoteknik mühendisliği, mühendislik jeolojisi ve yeraltı araştırmaları gibi konularda önemli gelişmeler olmuştur ve bu gelişmeler çoğunlukla Dr. Karl Terzaghi’nin çalışmalarına dayanmaktaydı. Yine bu dönemdeki gelişmelere boşluk basıncının zemin ve kaya davranışına etkisi ve saha ölçümlerinin öneminin vurgulanması rehberlik etmiştir. Tünel tasarımları için Terzaghi detaylı jeolojik haritaların çıkarılması ve inşaat sırasında deformsasyonların iyi bir şekilde takip edilmesini önerdi.

Bu dönemde ortaya konulan tasarım esaslarından hareketle aşağıda listelendiği şekilde birçok yenilikçi uygulama esasları belirlenmiştir.

- Kaya Bulonları
- Püskürtme Beton Uygulaması

- Tünel Açma Makinaları
- Basınçlı Ayna Kalkanlı Makinalar
- Zemin İyileştirme Teknolojileri

Yukarıda sıralanan yapım tekniklerinin tünel maliyeti üzerinde, risklerin belirlenmesi ve kontrol edilmesinde, yapım programının daha gerçekçi yapılmasında ve uygulama aşamasında karşılaşılan problemlerin pratik şekilde çözülmesinde çok büyük etkileri olmuştur. 1990'lı yıllara gelindiğinde, tünel maliyetlerinde, diğer inşaat mühendisliği uygulamaları ile kıyaslandığında, ciddi azalmalar olduğu görülmüştür ve artık birçok hidrolik ve ulaşım projelerinin yapımında tünel alternatifleri değerlendirilmeye başlanmıştır. Bu durum günümüzde de hala geçerliliğini sürdürmektedir. Tüm bunlara ilave olarak büyük mühendislik projelerinin tünel ile çözülen kısımlarında, çevresel etkilerin yapıya daha az etkimesi sebebiyle, işletme dönemlerinde maliyetin ve karşılaşılan problemlerin daha az olduğu görülmüştür.

Tünellerin yapım yöntemleri ve hangi tünellerde kullanıldığı Çizelge 2.1'de özetlenmektedir.

**Çizelge 2.1:** Tünellerin yapım yöntemleri ve hangi tünellerde kullanıldığı (Ballantyne B, 2012).

<b>Tünel Açma Yöntemleri (Genel Olarak)</b>	<b>Yöntem Hangi Tünellerde Kullanılıyor?</b>
Aç-Kapa	Geniş Kesitli Sığ Tüneller
Delme Patlatma	Dağlık Arazilerde - Sert/Çok Sert Kaya Formasyonuna Sahip Tünellerde
Zayıf Zemin TBM'leri: EPB Makinalar	Düşük Permeabiliteli Zayıf Zeminlerde
Zayıf Zemin TBM'leri: Çamur Şiltli Makinalar	Yüksek Permeabiliteli Zayıf Zeminlerde
Sert Kaya TBM'leri: Gripper, Tek ve Çift Kalkanlılar	Değişken Kaya Tipine Sahip Zeminlerde
Daldırılmış Tüp Tüneller	Yumuşak Zemin Koşullarına Sahip Geniş Su Kütlelerinde
NATM	Sağlam Zeminlerde ve Kayalarda
Mikro Tünel	3 m'den Küçük Çaplı Tünellerde

Sıralanan bu ana başlıkların her biri uygulama alanları göz önünde bulundurulduğunda çok detaylı teknik bilgiler içermektedir. Bu sebeple bu tez kapsamında sadece Tünel Delme Makinası Yöntemi (TBM) üzerinde durulmuştur.

### 2.3. Tünel Açma Makinaları

“Tünel delme makinaları son yıllarda geliştirilerek tünel inşaatlarında devrim yaratmıştır. Tünel inşaatı sektöründe tünellerin daha güvenli ve daha ekonomik şekilde yapılmasını sağlayarak, makinasız kazı ile tünel açılması mümkün olmayan yerlerde de tünel inşaatı yapmanın önünü açmıştır” (Spencer ve diğ, 2009).

“TBM’lerin yapısal özellikleri olarak kesici kafa, itme silindirleri, yönlendirme silindirleri, kilitleme pabuçları, kesici kafayı döndüren motorlar ve betonarme tahkimat elemanlarını yerleştiren erektörler sayılabilir. TBM arkasında bulunan geri sistemde ise, hidrolik güç üniteleri, elektrik trafoları, havalandırma fanları, pasa nakliyatı için konveyör bant ya da vagon sistemi bulunmaktadır.” (Çınar ve Cenk)

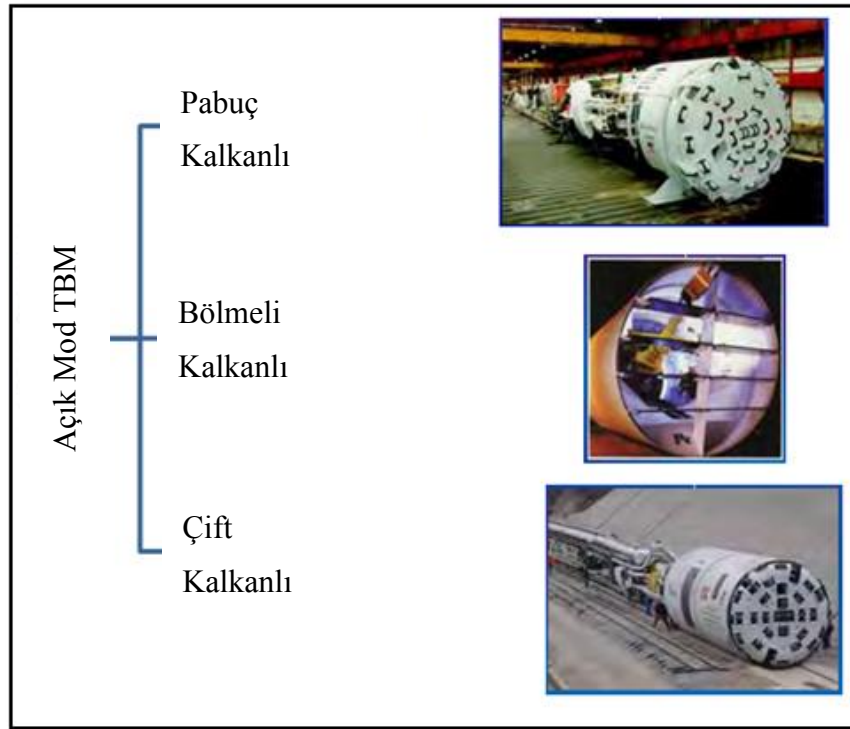
“Tünel açma makinasının seçiminde dikkat edilecek hususlar;

- Proje geçkisine ait jeolojik, mühendislik jeolojisi, geoteknik araştırma çalışmalarının içeriği ve düzeyi en üst düzeyde olmalıdır. Gerekli yoğunlukla yapılan arazi (veri+laboratuvar+büro) çalışmalarına dayanmalıdır.
- Proje kapsamında gerek kazı gerekse işletme sırasında gözlemlenebilecek tüm riskler (karışık zemin, zemin/kaya geçişleri, magmatik sokulumlar, makina sıkışması, arın/tavan göçükleri, killi zeminin kesici kafaya yapışması, sıvılaşma, doğalgaz sızıntısı, yangın vb.) çıkartılmalı ve bunları önlemek için gerekli teknik önlemler önceden senaryolaştırılmalıdır.
- Proje için uygun makina seçimi ve tasarımı çok önemlidir. Proje firmasının tüm mühendislik disiplinleri (maden, makina, inşaat, jeoloji ve elektrik mühendisleri) arasında mükemmel işleyen güçlü koordinasyon kurulmalıdır. Belirlenen riskleri de karşılayacak makina siparişine gidilmelidir. Ayrıca; tünel makinası üretimini üstlenen firmanın ilgili bölümleri ile bir araya gelerek, projeden başlayarak üretimine kadar tüm aşamaları ödünsüz şekilde “yerinde” denetlenmelidir. Özellikle karışık zemin/kaya kütleri’nde çalışacak kesici kafanın tasarımı (arın açıklık oranı, kafa dönüş hızı, disk çapı, disklerin

aralığı, arında dizilim planı, toplam itme ve tork karakteristikleri, hidrolik piston açılım hızları, büyük boyutlu kayaların kırılması, vb.)

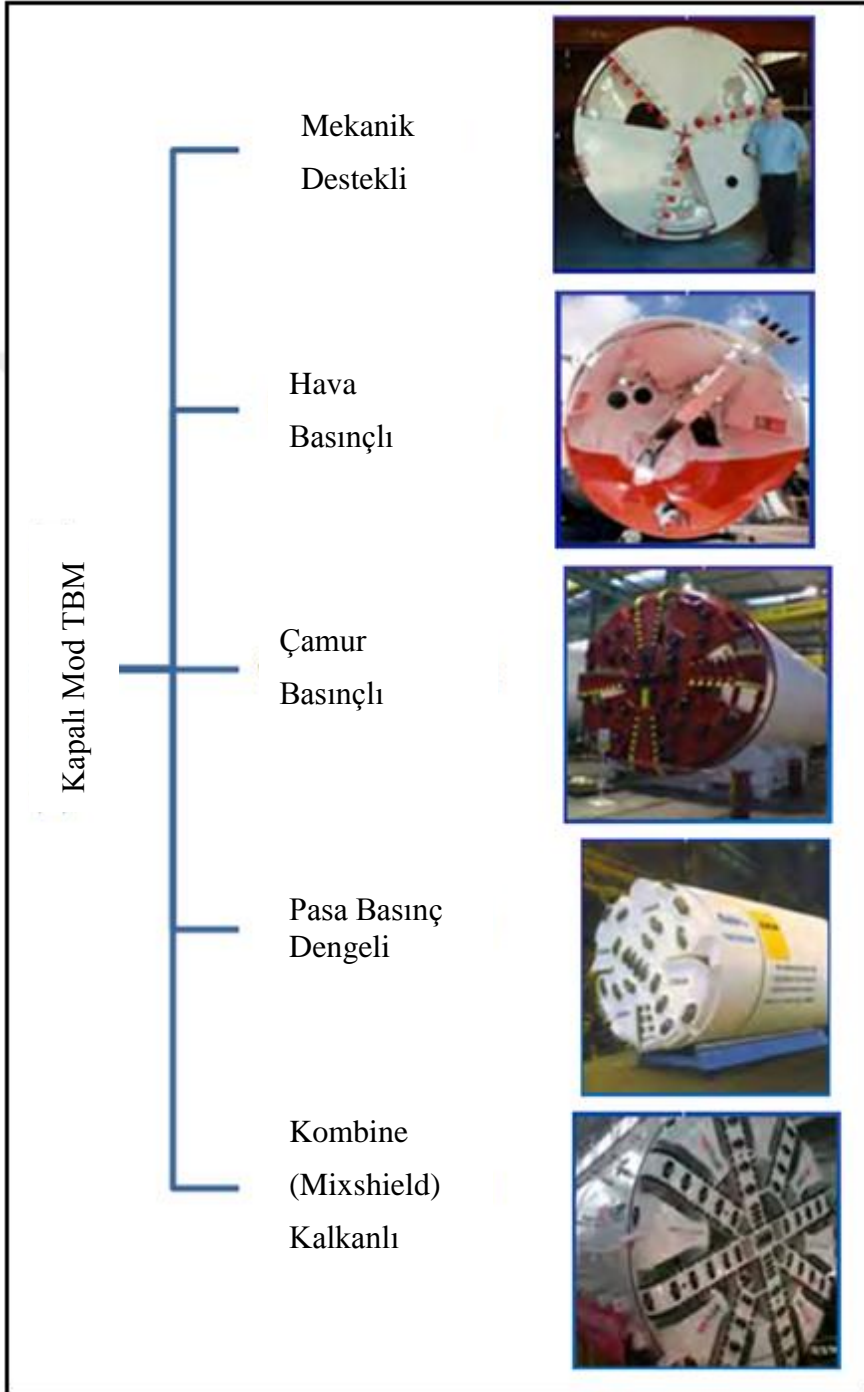
- Tünel makinasının kullanımı, tamir+bakım işleri de projenin ilerleme hızını denetleyen çok önemli unsurlardır. Bu nedenle makinayı kullanacak ekibin teknik bilgi ve becerisi üst düzeyde olmalıdır. Ayrıca; sürpriz tamir + bakım işlerinde hemen kullanılabilir “yedek parça” işyerinde bulunmalıdır.
- Makinanın enerji tüketimi çok yüksek olup, proje maliyetini ciddi şekilde yükselten öge olduğu unutulmamalıdır. Bu nedenle makinanın tüm enerji tüketen unsurlarının dizaynında “enerji optimizasyonu” gözetilmelidir. (Örneğin hidrolik taşımada hidrolik pompanın enerji masraflarını azaltmak için boru çapının optimizasyonu, arın basıncının çok iyi izlenerek basınçlı hava ve bentonit basma pompalarının enerji tüketimlerinin azaltılması, sürdürülebilirlik kavramının sağlanması bakımından çıkan pasaların prefabrik segment üretiminde ince ve kaba agrega olarak kullanım imkanlarının maksimize edilmesi.)” (Arıoğlu Ergin, 2009)

TBM seçimi ile ilgili ana kriterler değerlendirildikten sonra TBM tipine karar verilmektedir. Genel olarak TBM tipleri Şekil 2.4 ve Şekil 2.5’de gösterilmektedir.



Şekil 2.4: Açık mod TBM tipleri.

“Açık Mod TBM’ler de dairesel kesici kafada disklerin yerleşimi merkezden çevreye doğru spiral şeklindedir. Sağlam kayalarda (UCS 50-300 MPa) açılan tünellerde kullanılır. Kazı sırasında yeraltı sularının girişini engelleyecek hiç bir araç yoktur” (Bradford ve diğ, 2009).



Şekil 2.5: Kapalı mod TBM tipleri.

“Kapalı Mod TBM’ler düşük ayna stabilitesine sahip zeminlerde kullanılır. Zemin koşullarına bağlı olarak kesici diskler veya yumuşak zemin kazıyıcı ve sıyırıcılar kesici kafaya donatılır. Yeraltı suyu ve yeraltı suyu ile birlikte ince daneli zeminlerin kazı sırasında makina içine girişi kontrol edilebilir” (Bradford ve diğ, 2009).

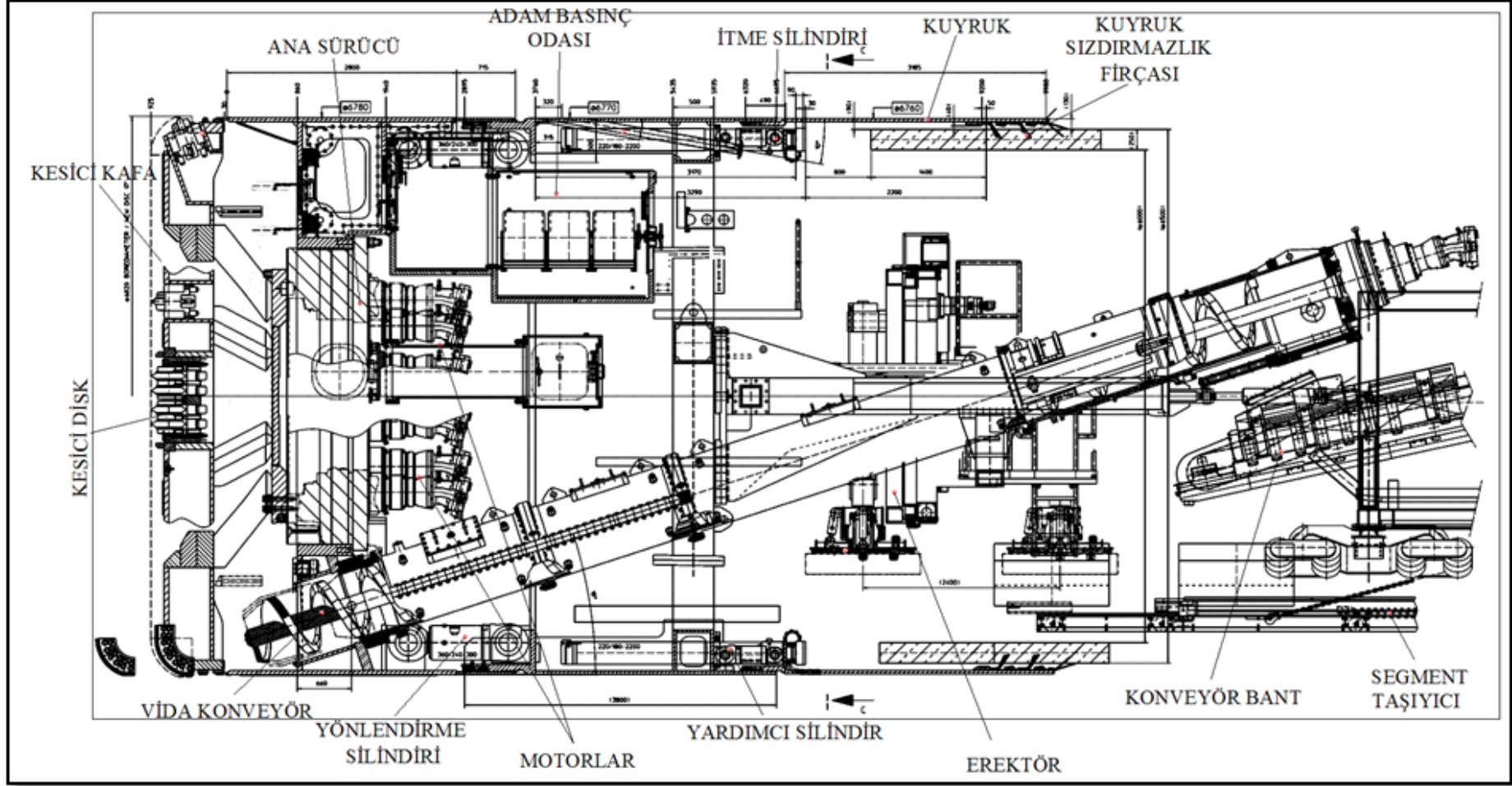
Belpınar Tüneli imalatlarının yapılması için Pasa Basınç Dengeli Tünel Açma Makinası seçilmiştir. Şekil 2.6. da seçilen makinaya ait kalkan kesiti görülmektedir.

Seçilen pasa basınç dengeli tünel açma makinasının özellikleri Çizelge 2.2’de özetlenmiştir.

**Çizelge 2.2:** Pasa basınç dengeli tünel açma makinası özellikleri.

TBM Kazı Çapı:	6.820 mm
Kalkan Çapı:	6.790 mm
Tekli Kesici Disk Sayısı:	39 adet
Çiftli Kesici Disk Sayısı:	4 adet
Disk Çapı:	432 mm
Maks. Dönme Hızı:	3,5 rpm
Maks. Tork:	8.307 kNM
İtme Silindiri Sayısı:	32 adet
Maks. İtme Kuvveti:	48.657 kN
Maks. Güç:	2.785 kW

Seçilen bu makinanın itme silindirleri piston boyu sebebiyle, her bir kazı adımı 1,40 m’lik mesafeden oluşmaktadır. Dolayısı ile her kazıdan sonra, 1,40 m uzunluğundaki prekast olarak üretimi daha önce yapılmış olan segmentlerin montajı yapılmaktadır. Prekast segmentler 25 cm kalınlığında, C45 sınıflı beton ile üretilmiş ve 85,0 kg/m<sup>3</sup> donatı yoğunluğuna sahip yapı elemanlarından oluşmaktadır. 5 adet ana 1 adet de kilit taşının montajının yapılması ile 1 ringin kurulumu tamamlanmış olmaktadır. Kazı iç cidarı ile segmentler arasında kalan boşluk, kazı sırasında, makinaya bağlı olan bir sistemden yapılan enjeksiyon malzemesi ile doldurulmaktadır. Yapılan enjeksiyonun bileşiminde su, çimento, kum ve katkı malzemesi bulunmaktadır. Enjeksiyon işleminden sonra enjeksiyon hattı betonit su karışımı ile temizlenmektedir.

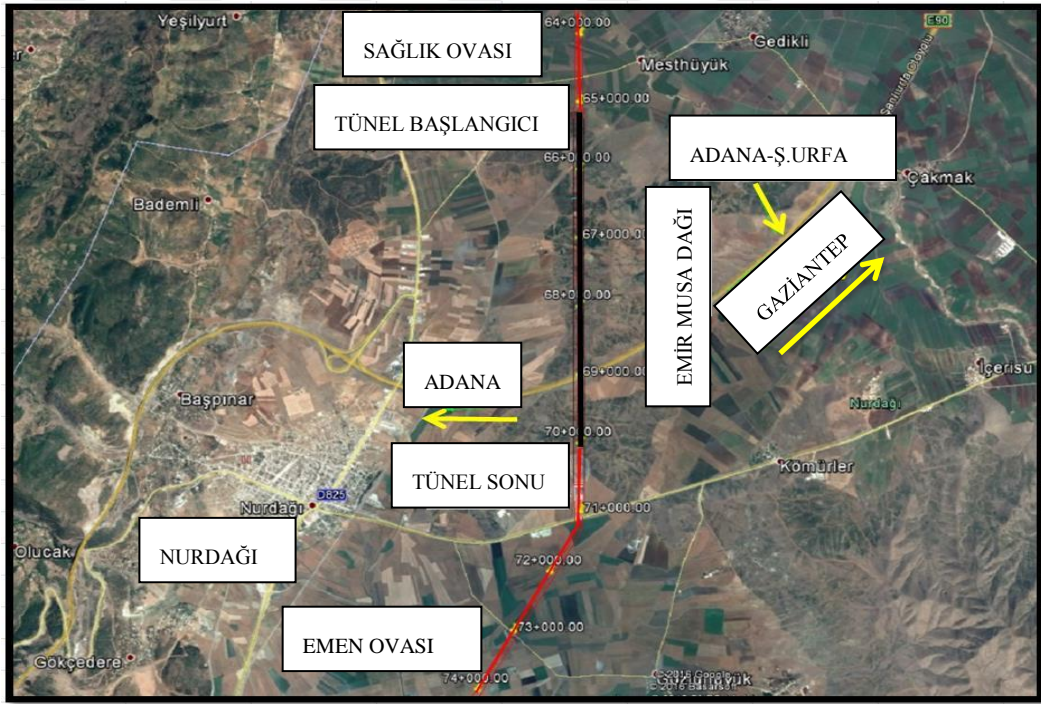


Şekil 2.6: Belpınar tüneline kullanılan tünel açma makinası kalkan tip kesiti.



### 3. BELPINAR TÜNELİ JEOLÖJİK ÖZELLİKLER

Proje güzergahı Şekil 3.1’de görüldüğü üzere Sağlık Ovası ve Emen Ovası olmak üzere iki büyük oviden geçmektedir. Belpınar Tüneli, Gaziantep İli Nurdağı İlçesi sınırları içindeki Emir Musa Dağı içinde açılmıştır. Tünelin memba tarafında Sağlık Ovası (Gavur Gölü) mansap tarafında da Emen Ovası (Emen Gölü) bulunmaktadır. Bu iki ova arasında bağlantı görevi gören Belpınar Tüneli ile hem ana kanalın devamlılığı hem de memba tarafındaki aşırı yağışlar sonrası oluşan göl sularının drenajı sağlanmış olmaktadır.



Şekil 3.1: Belpınar Tüneli proje güzergahı.

#### 3.1. Tünel – 2 'ye Ait Genel Bilgiler

Tünel Uzunluğu	: 5.450 m.
Tünel Kazı Çapı	: 6,82 m.
Tünel İç Net Çapı	: 6,00 m.
Tünel Eğimi	: 0,067 %

Max. Örtü Kalınlığı :180 m.

Min. Örtü Kalınlığı : 30 m.

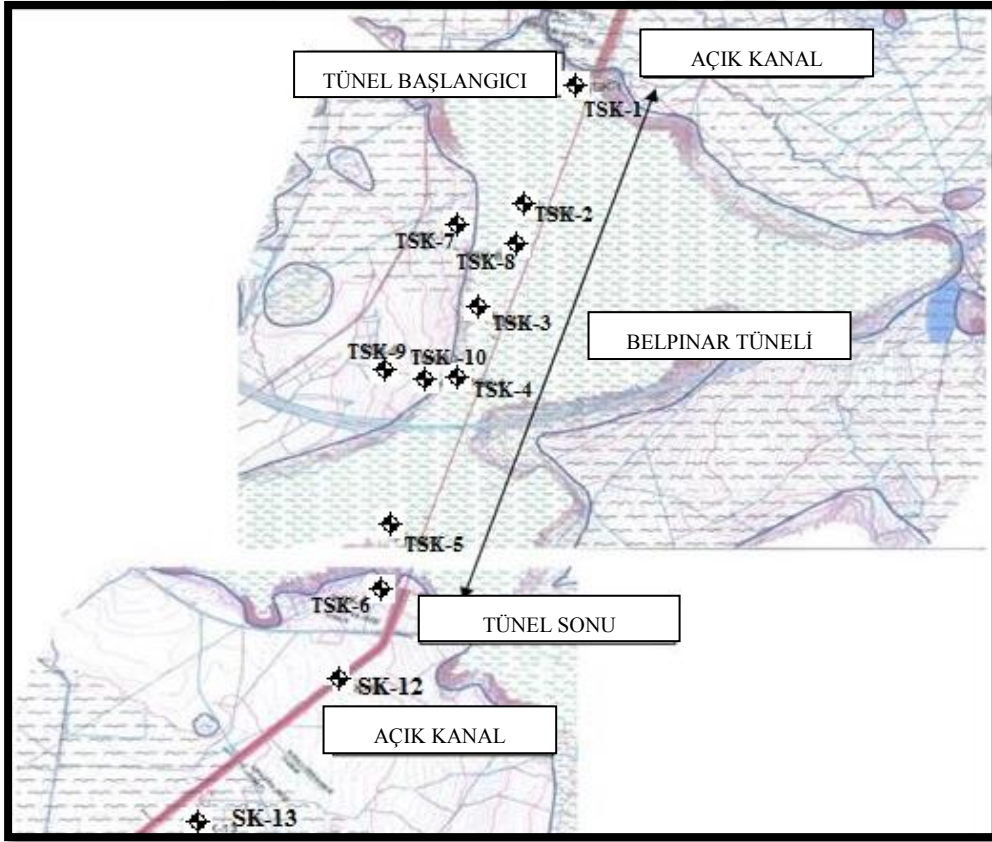
TBM Tipi : EPB (Pasa Basınç Dengeli Makina Tipi)

Segment Boyu : 1,40 m.

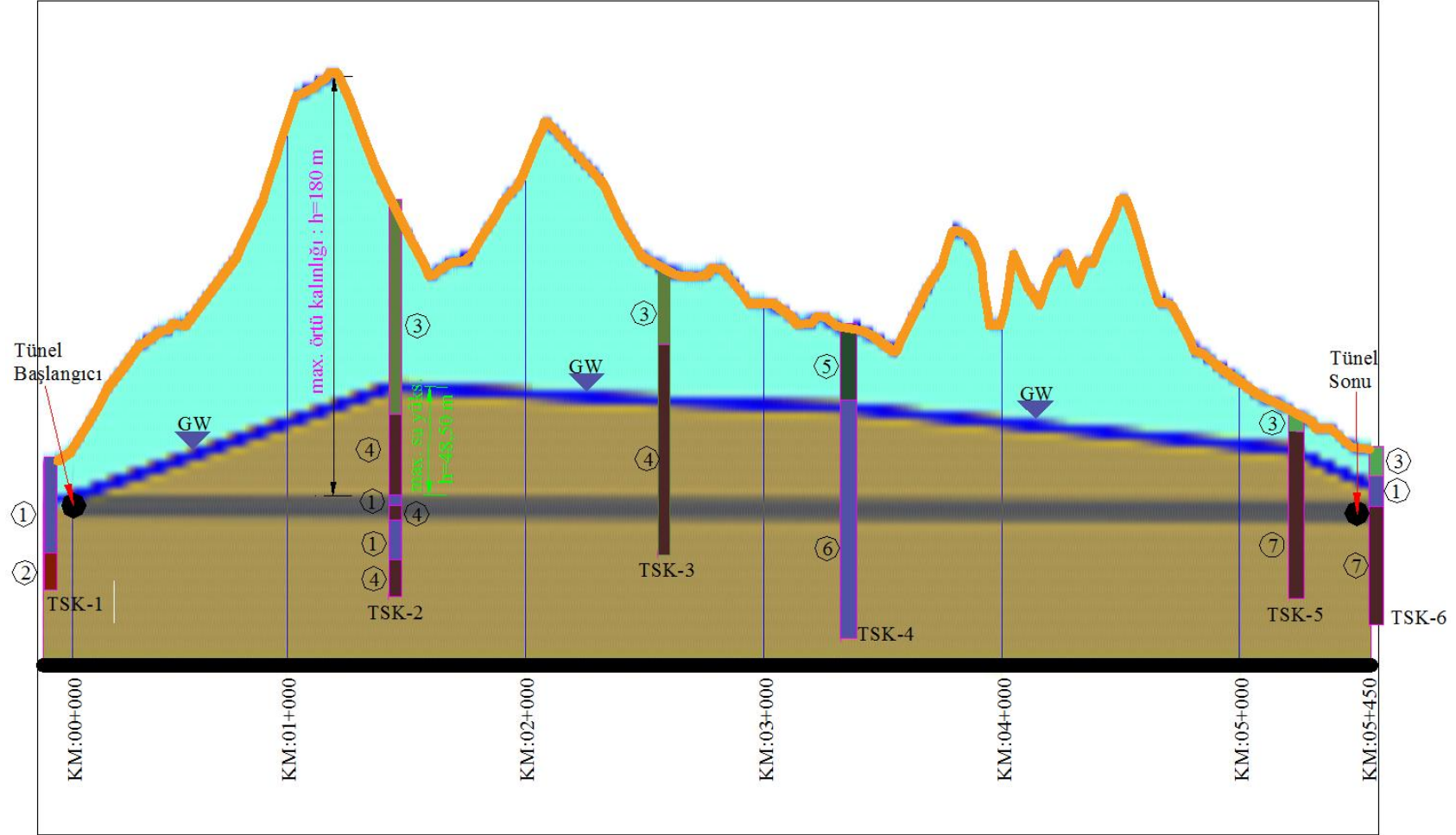
Segment Kalınlığı : 0,25 m (5+1 Dizilim, C45 Sınıflı Beton ve 85,0 kg/m<sup>3</sup> donatı yoğunluğu ile)

### 3.2. Belpınar Tüneli'nin Jeolojik Özellikleri

Tünel güzergahı genel olarak ofiyolit dizisinden oluşmaktadır. Ofiyolit adı özel bir kayaç adı olmayıp bir arada bulunan bazik-ultrabazik kayaçlar topluluğu için kullanılır. Belpınar Tüneli'nin jeolojik parametrelerini belirlemek adına altısı tünel üzerinde dördü de muhtemel tünele erişim galerileri (Tünel TBM ile açıldığı için galeriler iptal edilmiştir.) güzergahında olmak üzere 10 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Şekil 3.2 'de bu sondaj yerleri genel jeolojik harita ile Şekil 3.3 'te jeolojik kesiti gösterilmektedir.



Şekil 3.2: Sahanın jeolojik plan görünüşü.



Şekil 3.3: Sahanın jeolojik kesit görünüşü.

Şekil 3.3'te ki jeolojik kesitte, 1 nolu kesitler ayrışmamış, çok zayıf kaya, geçirimli, çok çatlaklı ve kırıklı formasyon. 2 nolu kesitler ayrışmamış, zayıf kaya, az geçirimli, kırıklı formasyon. 3 nolu kesitler orta derece ayrışmış, çok zayıf kaya, geçirimli, parçalanmış formasyon. 4 nolu kesitler ayrışmamış, orta kaya, az geçirimli, kırıklı çok çatlaklı-kırıklı formasyon. 5 nolu kesitler az-orta derece ayrışmış, çok zayıf kaya, geçirimli, parçalanmış formasyon. 6 nolu kesitler ayrışmamış, orta-iyi kaya, az geçirimli, kırıklı, çok çatlaklı formasyon. 7 nolu kesitler ayrışmamış, orta kaya, geçirimli, az geçirimli, kırıklı formasyon.

### **3.2.1. Sondajlar**

Belpınar Tüneli güzergahı ve daha önce yaklaşım tüneli olarak belirlenen güzergah üzerinde açılan 10 adet sondaja ait tespit ve yorumlar aşağıda belirtilmektedir.

#### **TSK-1**

Belpınar tünelinin giriş ağzında, isale kanalının 63+305 km sinde 502,94 m kotunda, 50.00 m derinliğinde açılmıştır. Kuyuda 0.00-36.00 m'ler arası tamamen kırıklı, parçalı yer yer ayrışmış, 36.00-50.00 m arası zayıf kaya niteliğinde ultrabazik kayalar kesilmiştir. Kuyuda 0.00-6.00 m'ler arası basınçsız, 6.00-50.00 m'ler arası basınçlı su deneyi yapılmıştır. Deney neticelerine göre 6.00-36.00 m'ler arası geçirimli, 36.00-50.00 m'ler arası geçirimsizdir. Kuyuda sondaj suyu % 95 devretmiştir. Karot yüzdesi genelde % 100 olup 23.00-30.00 m'ler arasında % 75 dir. RQD ortalaması 0.00-36.00 m'ler arasında sıfır olup 36.00-50.00 m'ler arasında % 30 dur. Tünel sondaj kuyusunun 21.00-29.00 m'ler arasına tekabül etmektedir. Yeraltı suyu seviyesi 18.00 dir.

#### **TSK-2**

Belpınar tüneline isale kanalının 64+720 km sinde 562.48 m kotunda 110.00 m derinliğinde açılmıştır. Kuyuda 0.00-1.00 m toprak örtü, 1.00-110.00 m'ler arasında tamamen ultrabazik kayaç kesilmiştir. Ultrabazik kayaçlar 1.00-42.00 m'ler arası parçalanmış, orta derecede ayrışmış 42.00-110.00 m'ler arası çok çatlaklı-kırıklı, ayrışmamış ve az ayrışmıştır. Kuyuda 0.00-6.00 m'ler arasında basınçsız, 6.00-110 m'ler arasında basınçlı su deneyleri yapılmıştır. Deney neticelerine göre 72.00-76.00 m, 84.00-96.00 m'ler arasında çok geçirimli diğer kısımlar az geçirimlidir. Sondaj suyu % 100 devretmiştir. Karot yüzdesi 0.00-12.00, 50.00-110.00 m'ler arasında %

100, 12.00-50.00 m'ler arasında % 50 dir. RQD ortalama değeri 0.00-42.00 m ye kadar sıfır, çok zayıf, 42.00-110.00 m'ler arasında % 25-35 olup zayıf kaya özelliğindedir. Tünel sondaj kuyusunun 82.00-90.00 m'leri arasına tekabül etmektedir. Yeraltı su eviyesi 40.00 m'dir. Kuyunun 71.00 m sinde alınan karot numunesinde yapılan laboratuvar deney sonuçları rapor ekinde verilmiştir.

### **TSK-3**

Belpınar tünelinin 65+880 km sinde 546.14 m kotunda, 90.00 m derinliğinde açılmıştır. Kuyuda 0.00-3.00 m yamaç molozu 3.00-90.00 m arasında ultrabazik kayalar kesilmiştir. 3.00-13.00 m'ler arası çok çatlaklı-kırıklı (15) diğer metreler kırıklı ve ayrışmamıştır. Kuyuda 0.00-3.00 m'ler arasında basınçsız, 3.00-90.00 m'ler arasında basınçlı su deneyleri yapılmıştır. Zemin genelde geçirimsiz olup, yer yer de az geçirimlidir. Kuyuda sondaj suyu % 100 devretmiştir. Karot yüzdesi kuyu boyunca % 100 dr. RQD si % 50-75 arasında orta kaya niteliğindedir. Tünel sondaj kuyusunun 68.00-76.00 m'leri arasına rastlamaktadır. Yeraltı suyu 30.00 m'dir. Kuyunun 61.50 m si ile 70. 30 m sinden karot numune alınmıştır. Laboratuvar deney sonuçları rapor ekinde verilmiştir.

### **TSK-4**

Belpınar tünelinin 66+525 km sinde 527,47 m kotunda 80.00 m derinliğinde açılmıştır. Kuyuda tamamen ultrabazik kayalar kesilmiştir. Kuyunun 0.00-4.00 m arası ayrışmış ve çok parçalı, diğer metreleri az çatlaklı-kırıklı, kırıklı, ayrışmamıştır. Kuyuda 0.00-3.00 m'ler arasında basınçsız 3.00-80.00 m arasında basınçlı su deneyleri yapılmıştır. Bu deneylere göre zemin geçirimsiz ve az geçirimli özelliktedir. Sondaj suyu % 100 devretmiştir. Karot yüzdesi kuyu boyunca % 100 dr. RQD si % 30-60 arasında olup zayıf ve orta kaya niteliğindedir. Yeraltı su seviyesi 15.00 m'dir. Tünel, sondaj kuyusunun 50.00-58.00 m'leri arasına rastlamaktadır. Kuyunun 47.70 m sinde karot numunesi alınmıştır. Laboratuvar deney sonuçları rapor ekinde verilmiştir.

### **TSK-5**

Belpınar tünelinin 68+412 km sinde 505,03 m kotunda 60.00 m derinliğinde açılmıştır. Kuyuda tamamen ultrabazik kayalar kesilmiştir. Ultrabazik kayaların 0.00-6.00 m si ayrışmış ve çok parçalı, çatlak sıklığı 50.00 m nin üstünde olup,

ayrışmıştır. 6.00-60.00 m arasında az çatlaklı ve ayrışmamıştır. Kuyuda 0.00-6.00 m'ler arasında basınçsız 6.00-60.00 m arasında basınçlı su deneyleri yapılmıştır. Bu deneylere göre ultrabazik kayalar 6.00-32.00 m'ler arasında geçirimli diğer metrelerde az geçirimlidir. Sondaj suyu 26.00-30.00 m'ler arası su devretmemiş. 30.00-60.00 m'ler arasında % 30 devretmiştir. Karot yüzdesi kuyu boyunca % 100 dür. RQD si % 50-75 arasında olup orta kaya niteliğindedir. Yeraltı su seviyesi 16.00 m'dir. Tünel, sondaj kuyusunun 29.00-37.00 m'leri arasına rastlamaktadır. Kuyunun 35.70 m sinden karot numunesi alınmıştır. Laboratuvar deney sonuçları rapor ekinde verilmiştir.

### **TSK-6**

Belpınar tünelinin 68+760 km sinde 497,13 m kotunda 60.00 m derinliğinde açılmıştır. Kuyuda 0.00-8.00 m kil, kum, çakıldan oluşan görsel çökel (P1Q) 8.00-60.00 m arasında ultrabazik kaya kesilmiştir. Ultrabazik kaya 8.00-19.00 m'ler arasında çok kırıklı olup ayrışma görülmemektedir. Diğer metreler kırıklıdır. Kuyuda 0.00-6.00 m'ler arasında basınçsız 6.00-60.00 m arasında basınçlı su deneyleri yapılmıştır. Bu deneylere göre zemin 0.00-16.00 m arası az geçirimli 16.00-30.00 m 34.00-40.00 m arasında çok geçirimli diğer metrelerde geçirimsiz ve az geçirimlidir. Sondaj suyu % 90 devretmiştir. Karot yüzdesi kuyu boyunca % 100 dür. RQD değerine göre 8.00-19.00 m arasında çok zayıf diğer metreler de orta kaya niteliğindedir (50-60). Yeraltı su seviyesi bahar aylarında 3.00 m de sonbahar aylarında ise 16.00 m dedir. Tünel kuyunun 21.00-29.00 m'leri arasına rastlamaktadır.

### **TSK-7**

Belpınar tünelinin 65+270 km sine bağlanan I. No'lu ulaşım galerisinin giriş ağzında 519.75 m kotunda 50.00 m derinliğinde açılmıştır. Kuyuda 0.00-11.80 m'ler arasında kil, silt, kum, çakıldan oluşan görsel çökel, 11.80-50.00 m'ler arasında ultra bazik kayalar kesilmiştir. Ultra bazik kayalar 11.80-16.00 m'ler arasında ayrışmış çok parçalı ve kırıklı diğer metrelerde ayrışma görülmez ve kırıklıdır. Kuyuda 0.00-6.00 m'ler arasında basınçsız 6.00-50.00 m'ler arasında basınçlı su deneyleri yapılmıştır. Bu deneylere göre zemin genelde az geçirimli 12.00-16.00 m'ler arasında geçirimlidir. Sondaj suyu %100 devretmiştir. Karot yüzdesi %100 dür. RQD si 14.80-16.00 m'ler arasında zayıf 16.00-50.00 m'ler arasında orta kaya niteliğindedir.

Yeraltı su seviyesi 12.00 m dedir. Kuyunun 18.30 m sinde karot numune alınmıştır. Laboratuvar sonuçları rapor ekinde verilmiştir.

### **TSK-8**

I nolu ulaşım galerisinde, ana tünelde 100 m mesafede 563,41 m kotunda 120,00 m derinliğinde açılmıştır. Kuyuda tamamen ultra bazik kaya kesilmiştir. Ultra bazik kayanın 0,00-10,00 m si parçalanmış kırıklar sayılmıyor ve orta derecede ayrılmıştır. Diğer metreler az çatlaklı-kırıklı, kırıklı, ayrışmamıştır. Kuyuda 0,00-9,00 m arasında %95, 90,00-120,00 m'ler arasında %75 devretmiştir. Karot yüzdesi kuyu boyunca %100 dür. RQD si 0.00-10.00 m'ler arası zayıf, 16,00-28,00 m, 102,00-120,00 m'ler arası zayıf, diğer metrelerde iyi kaya niteliğindedir. Yeraltı su seviyesi 13,50 m dedir. Kuyunun 96,40 m sinde karot numunesi alınmıştır. Laboratuvar sonuçları rapor ekinde verilmiştir.

### **TSK-9**

II nolu ulaşım galerisinin giriş ağzına 508.60 m kotunda 60.00 m derinliğinde açılmıştır. Kuyuda 0.00-34.50 m'ler arasında kil, kum, çakıldan oluşan görsel çakıl, 34.50-60.00 m'ler arasında arasın da ultra bazik kaya kesilmiştir. Görsel çökellerde yapılan standart penetrasyon testine göre zemin sıkı ve çok sıkı özelliktedir. Ultra bazik kayaçlar 34.50-44.00 m'ler arasında parçalanmış olup kırıklar sayılmamakta ve az ayrışmıştır. Diğer metreleri ise kırıklı, çok çatlaklı-kırıklı, ayrışmamış özelliktedir. Kuyuda 0.00-33.00 m'ler arasında basınçsız 36.00-60.00 m'ler arasında basınçlı su deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylere göre zemin, geçirimsiz ve az geçirimlidir. Kuyu 34.00 m artezyen yapmıştır. Sondaj suyu %100 devretmiştir. Karot yüzdesi %100 dür. Ultrabazik kayaçların RQD yüzdesi düşük olup çok zayıf ve zayıf kaya niteliğindedir. Yeraltı su seviyesi bahar aylarında artezyen yapmakta olup 7-8. Aylarda 6.00 m de dir.

### **TSK-10**

II nolu ulaşım galerisinde ana tünele 250m mesafede 515.60 m kotunda, 60.00 m derinliğinde açılmıştır. Kuyuda 0.00-3.00 m arasında toprak örtü, 3.00-60.00 m arasında ultra bazik kaya kesilmiştir. 3.00-8.00 m arasında çok ayrışmış ve parçalanmıştır. Diğer metrelerde yer yer çok çatlaklı-kırıklı, kırıklı ve yer yerde az ayrışmış, ayrışmamış kaya özellikindedir. Kuyuda 0.00-6.00 m'ler arasında



basıncısız, 6.00-60.00 m'ler arasında basınçlı su deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylere göre zemin genelde az geçirimli özelliktedir. Kuyu 46.00 m de artezyen yapmıştır. Sondaj suyu 0.00-30.00 m %100 devretmiştir. Karot yüzdesi genelde %100 dür. RQD yüzdesi düşük olup çok zayıf ve zayıf kaya niteliğindedir. Yeraltı su seviyesi Şubat 1995 ayında artezyen yapmış diğer aylarda 13.00 m civarındadır.

Bu sondajlara göre genel olarak tünel, yeraltı su seviyesi altında, ultrabazik karakterli kayalardan peridotit ve serpantinit birimleri içerisinde açılacaktır.

### 3.3. Peridotit ve Serpantinit

Peridotit, iri taneli ve koyu renkli ultramafik kayalar için kullanılan genel bir addır. Şekil 3.4'te TBM giriş portalinde peridotit birimler görülmektedir. Peridotitler genellikle olivin, piroksen ve amfibol minerallerini içerir. Silica içeriği diğer magmatik kayalara kıyasla düşüktür ve çok az kuvars ve feldspat içermektedir.



Şekil 3.4: TBM giriş portalı peridotit birimler genel görünüm.

Ultramafik-ultrabazik kayalarda birincil magmatik dokuların dışında, çeşitli etkenlerin sonucunda ikincil doku örnekleri de görülür. Bunların en önemlisi elek dokusudur. Elek doku, olivinin serpantinite dönüşümü ile gelişir. Sonuçta peridotitten tamamen farklı bir birleşime sahip olan serpantinit meydana gelir.



“Serpantin bir mineral adıdır. Serpantinit ise tümüyle serpantin minerallerinden oluşan, yeşilin tonlarında ve siyahımsı, parlak ve kaygan yüzeyli bir kaya adıdır. Bu olaya serpantinleşme adı verilir. Serpantinleşme bir hidrasyon su alma olayıdır” (Anonim, 2006). Şekil 3.5’de TBM çıkış portalindeki serpantinit birimler görülmektedir.

Tünel imalatları sırasında karşılaşılan zemin özelliklerinin sondaj verileri doğrultusunda yapılan tespitlerle büyük oranda aynı olduğu gözlenmiştir. İmalatlar sırasında karşılaşılan jeolojik birimler Çizelge 3.1’de özetlenmiştir.

Kısaca peridotit magmatik bir kaya, serpantinit ise peridotitin hidrotermal metamorfizmaya uğramış halidir. Peridotit - Serpantinit ise peridotin yarı hidrotermal metamorfize olmuş halidir.



**Şekil 3.5:** TBM çıkış portalı genel görünümü.

**Çizelge 3.1:** Tünel-2 imalatları sırasında karşılaşılan zemin durumu.

Bölgesi	Zemin Tanımı
Km: 65+098-65+309	Serpantinit, yer yer tünele su girişi var
Km: 65+309 – 67+090	Peridotit – Serpantinit, yer yer tünele su girişi var
Km: 67+090 – 70+548	Peridotit, yer yer masif, yer yer parçalı-çatlaklı ve parçalı çatlaklı bölümlerde tünele su girişi var



#### **4. TÜNEL GÜZERGAHINDAKİ KAYAÇLARIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ**

Belpınar Tüneli Ofiyolit dizisinden oluşan magmatik ve hidrotermal metamorfizmaya uğramış kayaç grubu içerisinde açılmıştır. Ofiyolit adı özel bir kaya adı olmayıp bir arada bulunan bazik-ultrabazik kayalar topluluğu için kullanılmaktadır. Güzergah üzerinde genellikle peridotit ve serpantinit kayaçlar bulunmaktadır. Ultramafik-Ultrabazik kayaçlarda birincil magmatik dokuların dışında çeşitli etkenlerin sonucunda ikincil doku örnekleri de görülmektedir. Bunlardan en önemlisi elek dokusudur. Elek doku, olivinin serpantine dönüşümüyle gelişir. Sonuçta, peridotitten farklı bir bileşime sahip olan serpantinit meydana gelir. Bu olaya serpantinleşme adı verilmektedir. “Ofiyolit dizilerinin önemli bileşenlerinden biri, diğer birimleri birey dayklar olarak kesen veya dayk kümeleri oluşturan diyabaz dayklarıdır” (Coleman, 1977). Tünel çıkış portalı gözlemlendiğinde üst kısımlarda tektonik hareketlerin varlığı çok açık şekilde görülürken aşağı kotlara doğru daha az çatlaklı ve bloklu bir yapının olduğu görülmektedir. Gerek uygulama öncesi açılan sondajlara gerekse de uygulama sırasında karşılaşılan jeolojik koşullara bakıldığında bölgede herhangi bir fay hattının varlığına rastlanmamıştır. Tünel tüm güzergah boyunca yeraltı suyu seviyesi altında açılmıştır. Tünel üzerindeki örtü kalınlığı 30 m ile 180 m arasında değişmektedir.

Tünel kazıları sırasında herhangi bir zemin tanımlaması ve laboratuvar deneyine ihtiyaç duyulmadığından, zeminin özellikleri daha önce yapılan sondajlardan elde edilen veriler doğrultusunda belirlenmiştir.

##### **4.1. Fiziksel Deney Sonuçları**

Sondajlardan alınan numuneler üzerinde yapılan fiziksel deneyler, numunelerin genellikle yüksek birim kütle, düşük su emme ve poroziteli olduğunu göstermektedir. Boyuna dalga hızlarının yüksek değerler vermesi, numunelerin sıkı-yoğun nitelikli olduklarının bir diğer göstergesidir. Bu sonuçlar Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.1** Fiziksel deney sonuçları.

Numune No.	Kuru Birim Kütle g/cm <sup>3</sup>	Kütlice Su Emme %	Görünen Porozite %	Dalga Hızı	
				m/sn	
				Kuru	Doygun
TSK-2 / 1	2,83	0,3	0,7	4.678	4.880
TSK-2 / 1	2,83	0,3	0,7	4.722	5.024
TSK-2 / 1	2,83	0,3	0,7	4.701	4.952
TSK-2 / 2	2,84	0,2	0,5	4.793	4.946
TSK-2 / 2	2,84	0,2	0,5	4.894	5.000
TSK-2 / 2	2,84	0,2	0,5	4.844	4.973
TSK-3A / 1	2,61	0,9	2,4	3.793	3.853
TSK-3A / 1	2,61	0,9	2,4	3.865	3.905
TSK-3A / 1	2,61	0,9	2,4	3.829	3.879
TSK-3A / 2	2,62	0,8	2,1	3.944	4.034
TSK-3A / 2	2,62	0,8	2,1	3.988	4.127
TSK-3A / 2	2,62	0,8	2,1	3.966	4.081
TSK-3B / 1	2,89	0,3	0,9	4.790	5.442
TSK-3B / 1	2,89	0,3	0,9	4.907	5.517
TSK-3B / 1	2,89	0,3	0,9	4.849	5.478
TSK-3B / 2	2,9	0,3	0,9	5.147	5.263
TSK-3B / 2	2,9	0,3	0,9	5.223	5.343
TSK-3B / 2	2,9	0,3	0,9	5.185	5.303
TSK-4 / 1	2,51	1,6	4	4.456	4.589
TSK-4 / 1	2,51	1,6	4	4.522	4.624
TSK-4 / 1	2,51	1,6	4	4.489	4.607
TSK-4 / 2	2,5	4,7	4,3	4.141	4.204
TSK-4 / 2	2,5	4,7	4,3	4.172	4.269
TSK-4 / 2	2,5	4,7	4,3	4.157	4.237
TSK-5 / 1	2,81	0,4	1,1	4.298	4.638
TSK-5 / 1	2,81	0,4	1,1	4.338	4.684
TSK-5 / 1	2,81	0,4	1,1	4.318	4.661
TSK-5 / 2	2,82	0,3	0,8	4.585	4.687
TSK-5 / 2	2,82	0,3	0,8	4.708	4.772
TSK-5 / 2	2,82	0,3	0,8	4.647	4.730
TSK-7 / 1	2,94	0,2	0,6	5.201	5.278
TSK-7 / 1	2,94	0,2	0,6	5.239	5.338
TSK-7 / 1	2,94	0,2	0,6	5.220	5.309
TSK-7 / 2	2,99	0,4	1,2	5.161	5.298
TSK-7 / 2	2,99	0,4	1,2	5.263	5.405
TSK-7 / 2	2,99	0,4	1,2	5.212	5.352

**Çizelge 4.1 (Devam):** Fiziksel deney sonuçları.

Numune No.	Kuru Birim Kütle g/cm <sup>3</sup>	Kütlece Su Emme %	Görünen Porozite %	Dalga Hızı m/sn	
				Kuru	Doygun
TSK-8A / 1	2,71	0,8	2,2	4.880	4.951
TSK-8A / 1	2,71	0,8	2,2	4.951	5.024
TSK-8A / 1	2,71	0,8	2,2	4.916	4.988
TSK-8A / 2	2,69	0,9	2,4	4.545	4.545
TSK-8A / 2	2,69	0,9	2,4	4.597	4.651
TSK-8A / 2	2,69	0,9	2,4	4.571	4.598
TSK-8A / 3	2,7	0,9	2,4	4.808	4.943
TSK-8A / 3	2,7	0,9	2,4	4.861	5.057
TSK-8A / 3	2,7	0,9	2,4	4.835	5.000
TSK-8B / 1	2,89	0,8	2,3	5.154	5.263
TSK-8B / 1	2,89	0,8	2,3	5.208	5.319
TSK-8B / 1	2,89	0,8	2,3	5.181	5.291
TSK-8B / 2	2,94	0,9	2,6	5.547	5.625
TSK-8B / 2	2,94	0,9	2,6	5.625	5.664
TSK-8B / 2	2,94	0,9	2,6	5.586	5.645
TSK-8B / 3	2,91	0,8	2,3	5.422	5.579
TSK-8B / 3	2,91	0,8	2,3	5.460	5.703
TSK-8B / 3	2,91	0,8	2,3	5.441	5.641

#### 4.2. Mekanik Deney Sonuçları

Numunelerin mekanik ve elastik özelliklerini belirlemek için tek eksenli basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı (Brazilian Yöntemi), statik ve dinamik elastisite modülü ve nokta yük dayanımı deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2 'de özetlenmiştir.

**Çizelge 4.2:** Kaya mekaniği deney sonuçları.

Numune	Basınç Dayanım kgf/cm <sup>2</sup>	Çekme Dayanım kgf/cm <sup>2</sup>	S.Elastisite Modülü kgf/cm <sup>2</sup>	D.Elastisite Modülü kgf/cm <sup>2</sup>	
				Kuru	Doygun
TSK-3B / 2	1285	-	479600	596600	660500
TSK-4 / 1	-	107	-	566300	592300
TSK-4 / 1	-	187	-	566300	592300
TSK-4 / 2	385	-	252500	439100	469300
TSK-5 / 1	-	103	-	493000	559300

**Çizelge 4.2 (Devam):** Kaya mekaniği deney sonuçları.

Numune	Basınç	Çekme	S.Elastisite	D.Elastisite Modülü	
	Dayanım	Dayanım	Modülü	kgf/cm <sup>2</sup>	
	kfg/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	Kuru	Doygun
TSK-5 / 1	-	101	-	493000	559300
TSK-7 / 1	-	106	-	822600	855800
TSK-7 / 1	-	146	-	822600	855800
TSK-7 / 2	665	-	316200	918300	977100
TSK-8A / 1	-	167	-	729700	749900
TSK-8A / 2	-	178	-	729700	749900
TSK-8A / 2	740	-	497400	683200	712700
TSK-8A / 3	720	-	500400	649400	705200
TSK-8 / 1	-	165	-	770300	803400
TSK-8 / 1	-	173	-	770300	803400
TSK-8 / 2	770	-	685000	941800	959400
TSK-8 / 3	1200	-	793700	868300	918700

#### **4.3. Fiziksel ve Mekanik Deneylerin Özeti ve Sonuçların Diğer Kaynaktaki Sonuçlarla Karşılaştırılması**

Yukarıda fiziksel ve mekanik deneylerin sonuçlarının verildiği sondajların bazıları peridotitleri bazıları ise serpantinitle kesmiştir. Bunlar ayıklanarak Çizelge 4.3 'de ki değerler elde edilmiştir. Sonuçlar yayınlanan kaynaklardan alınan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlar TBM in değişik birimlerdeki performansını açıklamakta kullanılacaktır. Bu çizelgeden de görüldüğü gibi hidrotermal metamorfizmaya uğrayan serpantinitlelerin basınç dayanımları magmatik kökenli peridotitlerden daha düşüktür. Belpınar tünelineki peridotitlerin ortalama basınç dayanımları 77 MPa iken serpantinitlelerin basınç dayanımları 39 MPa bulunmuştur. Çizelge 4.3'den görüleceği üzere bu sonuçlar yapılan diğer çalışmalarla elde edilen sonuçlarla paralellik göstermektedir. Peridotitlerin basınç dayanımları 85 MPa bulunmuşken yarı metamorfize olmuş peridotit serpantinitlelerde basınç dayanımları 50 MPa olarak verilmiştir, bu değer tam hidrotermal metamorfizmaya uğramış serpantinitlelerde 10 MPa la kadar inmiştir. “Kayaçlarda kazılabilirliği belirleyen en önemli faktörlerden biri kayacın basınç dayanımının çekme dayanımına oranıdır. Bu oran kayacın kırılabilirliği olarak da tarif edilir” (Bilgin ve diğ., 2006). Kırılan kayalarda basınç dayanımının çekme dayanımına oranı 11 den büyüktür. Bu değer altındaki kayaçlar zor kazılabilir sınıfa girmektedir. Çizelge 4.3 den de görüldüğü

gibi Belpınar 'da ki tünelde kayaçların basınç dayanımlarının çekme dayanımına oranı 3.8 ile 4.1 arasındadır. Bu da Belpınar tünelineki kayaçların zor kazılacağı anlama gelir. Çizelge 4.3'ten görüleceği üzere yapılan benzer çalışmalarda serpantinitin basınç dayanımının çekme dayanımına oranı 6,70 olarak verilmiştir.. Çizelge 4.3'teki değerler TBM performansının peridotit, serpantinit ve peridotit serpantinitte nasıl değiştiğinin açıklanması için kullanılacaktır.

**Çizelge 4.3:** Peridotit ve serpantinitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri.

Kayaç	Yoğunluk g/cm <sup>3</sup>	Basınç Dayanımı $\sigma_c$ MPa	Çekme Dayanımı $\sigma_t$ MPa	$\sigma_c/$ $\sigma_t$	Elastisite Modülü GPa	Referans
Peridotit	2.78	77	18.70	4.10	0.8	(Devlet Su İşleri XX. Bölge Müdürlüğü, 1999)
Serpantinit	2.50	39	10.3	3.80	0.6	(Devlet Su İşleri XX. Bölge Müdürlüğü, 1999)
Serpantinit	2.49	38	5.70	6.70	2.3	(Bilgin ve diğ., 2006)
Peridotit	3.20	85	-	-	-	(Diamantis ve diğ., May 2007)
Serpantinit	2.50	10	-	-	-	(Diamantis ve diğ., May 2007)
Peridotit serpantinit	2.70	50	-	-	-	(Diamantis ve diğ., May 2007)

#### 4.4. Kaya Kütle Sınıflaması

Yapılan sondajlardan elde edilen parametreler sonucunda Kaya Kütle Sınıflaması (RMR) değerlendirilmesi yapılmıştır.

“Kayaçların doku, yapı ve bileşenlerine ait özelliklerini belirlemek için bir kaç ölçüm yöntemi kullanılmaktadır. Yapılan bu ölçümlerde kayacın indeks özellikleri belirlenebilmektedir. Porozite, kayaç üzerinde boşluk oranının göstergesidir ve yoğunluğun bilinmesi ile mineralojik ve dane bileşenleri hakkında da bilgi sahibi olunur. Petrografik tanımla birlikte ses dalgası hızı çatlak yapısının derecesini değerlendirmek için kullanılır. Permeabilite gözenekler arasındaki bağıl bağlantıları gösterir ve kayacın durabilitesi, bileşenlerin veya yapının nihai parçalanma eğilimini yani kaya kalitesinin bozulmasını işaret eder. Sonuç olarak dayanım, bileşenlerin birbirine

bağlanması için kaya dokusunun mevcut yetkinliğinin bir göstergesi olarak tanımlanmaktadır. Bu özellikler kayaçların mühendislik özellikleri açısından sınıflandırması için kullanılmakta ve uygulamadan elde edilen tecrübelerle birlikte doğru ilişkiler kurulmasına imkan vermektedir. Bununla birlikte, değişen gerilme, sıcaklık, akışkan basıncı ve zaman altında kaya örneklerinin davranışını, yukarıdaki indeks listesinde yer almayan diğer birçok parametre belirlemektedir. Bu nedenle, laboratuvarındaki bir dizi endeksin karakterize edilmesi, özel ilgi konusu olan diğer alanlarda dikkatli ve ayrıntılı testlerin yerini tutmayacaktır.” (Goodman, R.E., 1989)

RMR Sınıflama Sistemi veya Kaya Kütlesi Sınıflaması, RMR, Bieniawski tarafından 1972-1973 arasında geliştirilmiştir. Sistem 1973'ten 1989'a kadar yeni verilerle desteklenerek bazı değişikliklere uğramış son şeklini 1989'da almıştır. Güzergah üzerinde yapılan sondaj verilerinden hareketle her bir sondaj kuyusuna karşılık gelen RMR sonuçları Çizelge 4.4 'te verilmiştir.

RMR değerleri 20 ile 52 arasında değişmektedir. Çizelge 4.4'ten elde edilen sonuçlara göre azalan km'den artan km'ye doğru kayaçların daha iyi özellik gösterdiği sonucuna varılabilir. Ayrıca henüz tünel imalatına başlanmadan yapılan portal kazılarında, Km:65+148 bölgesinde karşılaşılan serpantinleşmiş kaya ile Km: 70+632 bölgesinde karşılaşılan peridotit ağırlıklı ofiyolit birimler yukarıdaki tezi doğrular niteliktedir. Uygulama sırasında yapılan gözlemlere göre, tünelin ilk 2,00 km'sinde yer yer yeraltı suyu ile parçalı çok çatlaklı peridotit, peridotit ve serpantinit (çatlaklı-çok çatlaklı) karışık ve serpantinit birimlerinden oluşan zemin formasyonu varken, sonraki 3,50 km'de, parçalı-çatlaklı peridotit ve bloklu peridotit birimlerle karşılaşılmış ve tünele yoğun yeraltı suyu girişi (6-210 lt/sn) parçalı çatlaklı peridotit birimlerde gözlenmiştir. RMR sınıflamasına göre tünel boyunca zemin III numara orta kaya, IV numara zayıf kaya ve V numara çok zayıf kaya sınıfı arasında değişim göstermektedir.

#### **4.5. Hidrojeoloji**

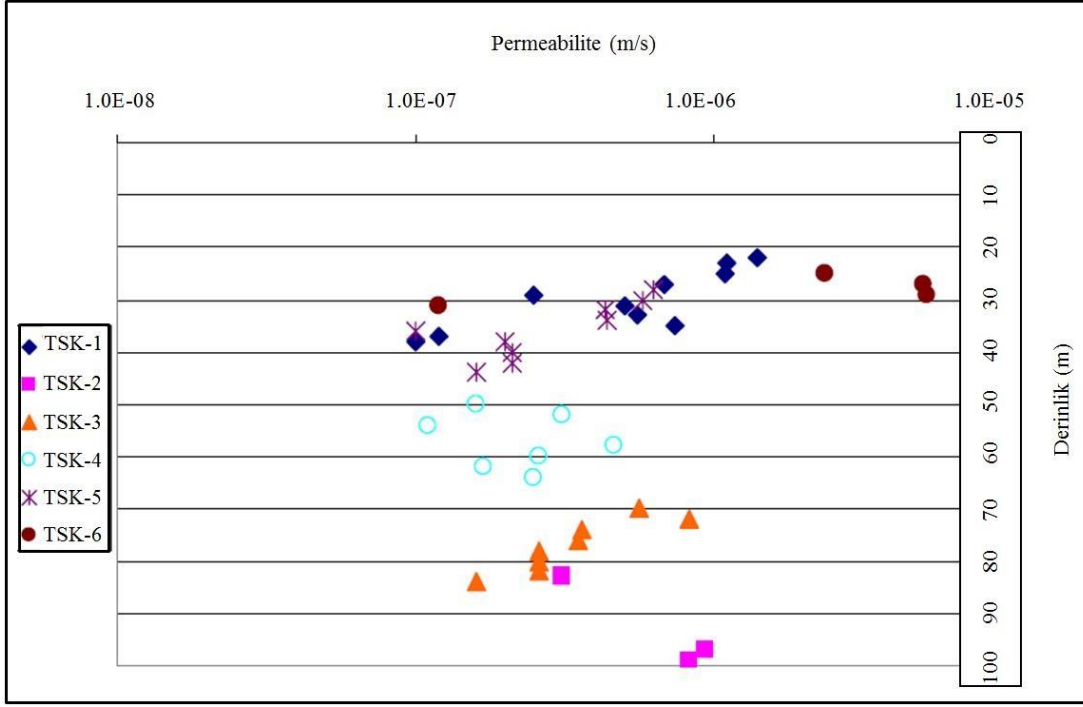
Yapılan sondajlara göre tünel yeraltı suyu seviyesi altında açılacaktır sonucu çıkmaktadır. Ancak imalatlar sırasında su gelişi genellikle parçalı-çok çatlaklı peridotit birimler ile peridotit-serpantinit (çok çatlaklı) karışık zeminlerde olmuştur.



**Çizelge 4.4:** RMR değerleri.

Km	Sondaj No	RMR Parametreleri							RMR	
		UCS (Mpa)	Puanı	RQD [%]	Puanı	Süreksizlik Aralığı	Süreksizlik Koşulu	Yeraltı Suyu		
65+148	TSK-1	Min.	50	7	0	0	5	8	0	20
		Maks.			35	5	8	8	0	28
66+531	TSK-2	Min.	68,5	9	0	0	5	8	0	22
		Maks.			50	8	8	8	0	33
67+784	TSK-3	Min.	88,5	11	50	8	8	17	0	44
		Maks.			80	14	10	17	0	52
68+466	TSK-4	Min.	33,5	5	0	0	5	17	0	27
		Maks.			60	10	10	17	0	42
70+267	TSK-5	Min.	45	6	30	4	8	17	0	35
		Maks.			65	11	15	17	0	49
70+632	TSK-5	Min.	50	7	30	4	8	17	0	36
		Maks.			80	14	10	17	0	48

Sondaj kuyularında Lugeon testi yapılmış ve sonuçlar Şekil 4.1’de grafiksel olarak gösterilmiştir. Buna göre permeabilite değerleri  $3,0E-5$  m/sn ile  $1,0E-7$  m/sn arasında değişmektedir.



Şekil 4.1: Permeabilite testi sonuçları grafiği.

## 5. GEOTEKNİK PARAMETRELERİN TBM PERFORMANSINA ETKİSİ

### 5.1. TBM Kazı Hızı Değişiminin Geoteknik Parametrelerle Açıklanması

5.450 m uzunluğundaki Belpınar Tüneli'nin yapım süresi tüm duraklamalar da dahil edildiğinde 675 gün sürmüştür. Tamamı ağırlıklı olarak peridotit ve serpantinitden oluşan ofiyolit birimde 6,80 m kazı çapına sahip pasa basınç dengeli (EPB) bir tünel açma makinası ile duraksamalar dahil ortalama 8,04 m/gün ana duraksamaların dışında m/gün 9,93 m/gün bir hız ile imalatlar tamamlanmıştır. Bu süreyi;

- Karşılaşılan jeolojik koşullar ve yeraltı suyunun varlığı,
- Makinanın tüm ekipmanlarıyla birlikte mekanik işlevselliği,
- Kazı sırasında kullanılan sarf malzemelerin uygunluğu,
- Kazıdan çıkan pasanın tünel dışına taşınmasında seçilen yöntem,
- Çalışan ekibin geçmiş tecrübesi ve yeterliliği,
- Tünel açılan bölgenin gelişmiş sanayi bölgelerine olan uzaklığı ve
- Tünel açılan bölgenin büyük yerleşim birimlerine olan uzaklığı gibi faktörler genel anlamda belirlemiştir. Tünel güzergahının ofiyolit dizisinden oluşması, tünel imalatları boyunca heterojen bir yapıya sahip tünel aynası ile karşılaşma ihtimalini artırmaktadır. Magmatik bir kayaç olan peridotit birimler ile metamorfik bir kayaç olan serpantinit birimler arasında yarı hidrotermal metamorfizmaya uğramış peridotit-serpantinit birimlerin varlığı ve lokal olarak bazı bölgelerde çok sert diyabaz daykları ile karşılaşılması bu duruma bir örnek olarak gösterilebilir. Tünel imalatları sırasında karşılaşılan heterojen formasyona sahip tünel aynasında kazı çalışmaları yapılırken kesici disklere etkileyen kuvvetlerin ani olarak değişmesi kazı üzerinde olumsuz etki yapmıştır. Ayrıca diyabaz sokulumlarının olduğu bölgelerde diskler çok çabuk bir şekilde aşınmış ve bunun sonucunda da kazı hızı düşmüştür.

Belpınar Tüneli'nde inşaat süresini etkileyen en önemli faktörlerden bir tanesi de tünel iç ve dış nakliyelerinin yapılması için seçilen raylı vagonet sistemidir. Kurulan

bu sistemde, rayların belli bir zaman sonra kırılması, lokomotif ve vagon sisteminin bir takım etkilerle raydan çıkması vb. gibi beklenen durumlarla karşılaşılmıştır. Ancak özellikle peridotit ve serpantin birimlerin bir arada olduğu bölgelerde, tünel içerisine giren ince daneli zeminler su ile taşınarak tüm hat boyunca rayların arasının dolmasına ve tekerlerin raylar üzerinde düzgün hareket etmemesine sebep olmuştur. Bazı bölgelerde de tünel tabanında biriken bu malzemeler üzerine raylar monte edilmek zorunda kalınmış bunun sonucunda da katar sisteminin bu bölgelerden geçişi sırasında raylarda aşırı deformasyonlar ve hatta kırılmalar meydana gelmiştir. Karşılaşılan bu koşullar bize, Belpınar Tüneli'nde özellikle pasanın tünel dışına naklinde vagonet sistemi yerine bant sisteminin tercih edilmesinin işletme süresinin önemli oranda kısaltacağını göstermektedir.

Karşılaşılan jeolojik ve hidrojeolojik koşullara göre tespit edilen en iyi ilerleme değerleri Çizelge 5.1 'de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.1:** En iyi ilerlemeler.

Günlük	Haftalık	Aylık
21 m	106 m	377 m

Tünel kazı imalatları süresince çeşitli sebeplerle bir takım duraklamalar olmuştur. Bu duraklamalar ve geçen süre Çizelge 5.2 'de belirtilmiştir.

**Çizelge 5.2:** Çalışılmayan günler.

Sıra No	Bekleme Adı	Bekleme Başlangıç	Bekleme Bitiş	Süre
1	Hidromotor Arızası	13.04.2015	09.05.2015	27 gün
2	Ray Onarımı TBM Bakımı	28.06.2015	29.06.2015	2 gün
3	Lokomotif Defransiyel Arızası	20.07.2015	25.07.2015	6 gün
4	TBM Sıkışması	13.11.2015	29.11.2015	17 gün
5	Makas Kurulumu	30.11.2015	12.12.2015	13 gün
6	Helezon Tamirâtı	21.01.2016	06.02.2016	17 gün
7	Tünel İçi Temizlik	16.03.2016	19.03.2016	4 gün
8	Disk Değişimi - Aşırı Aşınma	05.05.2016	06.05.2016	2 gün
9	Enjeksiyon	28.02.2015	01.03.2015	2 gün
10	Elektrik Kesintisi-Bölge Kaynaklı			14 gün
11	Resmi Tatiller			24 gün
<b>TOPLAM</b>				<b>128 gün</b>

Bu beklemlerin dahil edilip edilmemesine göre ortalama hızlar;

**Çizelge 5.3:** Toplam geçen süreye göre ortalama hızlar.

Ortalama-1	8,04 m/gün	56,55 m/hafta	241,23 m/ay
------------	------------	---------------	-------------

**Çizelge 5.4:** Çalışılmayan günler hariç ortalama hızlar.

Ortalama-2	9,93 m/gün	69,59 m/hafta	297,68 m/ay
------------	------------	---------------	-------------

Ülkemizde bulunan ve yapımı EPB tipi TBM ile tamamlanan bazı metro projelerindeki makina özellikleri ve ilerlemeler Çizelge 5.6'da görülmektedir. Çizelge 5.6'da ki değerlere göre Belpınar Tüneli'ndeki en iyi günlük ilerleme ve ortalama günlük ilerleme değerleri diğer benzer projelerle paralellik göstermiştir.

## 5.2. Sürelerle İlgili Genel Bakış

Belpınar Tüneli kazı ve segment kaplama imatları yapımı süresince tutulan vardiya raporlarında kazı başlangıç ve bitiş süreleri ile ring montajına ait süreler kayıt altına alınmıştır. Böylece her bir ring kurulumu tamamlanıncaya kadar geçen sürenin neleri kapsadığı belirlenerek bu süreç içerisindeki kazı, pasa nakliyesi, mekanik arızalar ve diğer beklemelerden kaynaklı zaman kayıpları tespit edilmiştir. Tünel açma makinası kullanılarak yapılan kazılarda imatları boyunca zemin formasyonuna bağlı olarak elde edilen kazı süreleri Çizelge 5.5'de gösterilmektedir (1 ring = 1,40 m'dir).

Tünelde 1 ring kazısının peridotit ve tünele su girişinin olmadığı durumlarda ortalama 59,43 dakika sürdüğü Çizelge 5.5'de görülmektedir.

**Çizelge 5.5:** Peridotit ve tünele su girişinin olmadığı durumda ortalama kazı hızı.

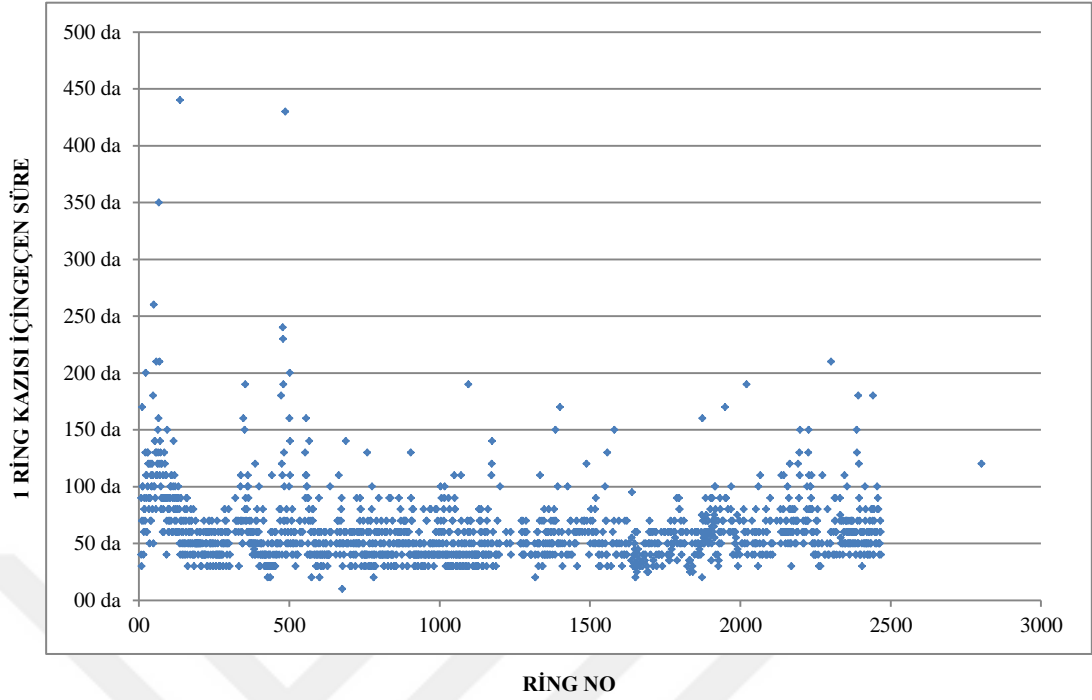
Formasyon	Kazı / İlerleme Süresi (da/ring) Ortalama +/- s.s
Peridotit – Su Yok	59,43 +/- 30,12

Tünelde 1 ring kazısının peridotit ve tünele su girişinin olmadığı durumlarda genel olarak 30 da ile 70 da arasında değiştiği Şekil 5.1'de görülmektedir.

**Çizelge 5.6:** Tamamlanan bazı metro tünelleri (Bilgin ve diğ., 2016).

Hat	Jeoloji	TBM Tipi	Kesici Kafa Çapı, m	Toplam Güç kW	Kesici Kafa Torku kNm	Maks. İtme Kuvveti, kN	En İyi Günlük İlerleme, m	Ortalama Günlük İlerleme (büyük duraksamalar hariç) m	
Kozyatağı - Kadıköy	Kartal Formasyonu	Herrenknecht Açık Mod; EPB	6,57	2	1,60 rpm'de 5,200	5,50 rpm'de 1,515	42,575	19,60 ; 16,60	7,2 ; 7,7
Otogar - Kirazlı	Güngören Formasyonu	Herrenknecht; Lovat EPB	6,5 ; 6,5	0,963 ; 1,622	2,50 rpm'de 4,450	1,95 rpm'de 4,350	-	24,0 ; 25,0	11,3 ; 11,1
Başakşehir - İkitelli	Güngören Formasyonu	Lovat EPB	6,5 ; 6,5	1,400 ; 2,100	1,70 rpm'de 6,600	2,10 rpm'de 4,400	-	24,0 ; 29,0	-

**PERİDOTİT - SU YOK**



**Şekil 5.1:** Peridotit ve tünele su girişinin olmadığı durumda her bir ring için tespit edilen kazı hızları.

Tünelde 1 ring kazısının peridotit ve tünele su girişinin olduğu durumlarda ortalama 56 da dakika sürdüğü Çizelge 5.6'dan görülmektedir. Masif ve az çatlaklı peridotit zeminlerde tünele çok az su girişi (0-6 lt/sn) olmuştur.

**Çizelge 5.7:** Peridotit ve tünele su girişinin olduğu durumda ortalama kazı hızı.

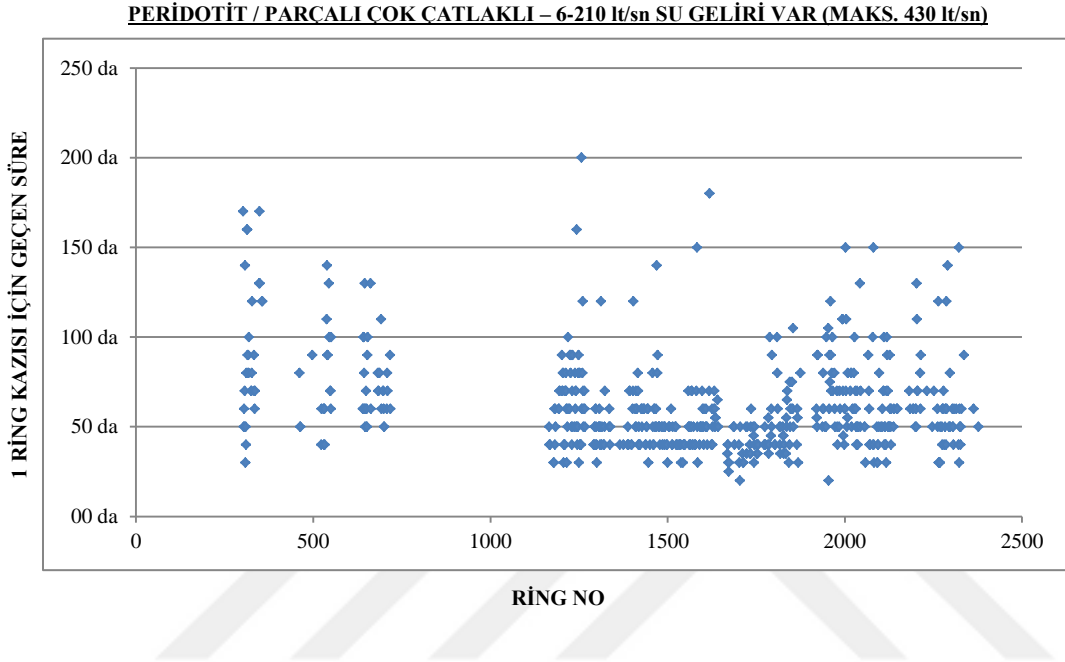
Formasyon	Kazı / İlerleme Süresi (da/ring) Ortalama +/- s.s
Peridotit – Su Var	56,00 +/- 4,90

Tünelde 1 ring kazısının peridotit parçalı çok çatlaklı ve tünele su girişinin (6-210 lt/sn) olduğu durumlarda ortalama 60,68 dakika sürdüğü Çizelge 5.7'den görülmektedir.

**Çizelge 5.8:** Peridotit parçalı çok çatlaklı ve tünele su girişinin olduğu durumda ortalama kazı hızı.

Formasyon	Kazı / İlerleme Süresi (da/ring) Ortalama +/- s.s
Peridotit Parçalı Çok Çatlaklı – Su Var	60,68 +/- 25,89

Tünelde 1 ring kazısının peridotit parçalı çok çatlaklı ve tünele su girişinin olduğu durumlarda genel olarak 40 da ile 70 da arasında değiştiği Şekil 5.2’de görülmektedir. Peridotit ve parçalı çok çatlaklı birimlerin tamamında tünele su gelişimi olmuştur. Bu formasyonda tünele su girişi lokal olarak 430 lt/sn değerlerine ulaşmış ve yer yer kazı aynasında su basınçlarının 4 bar’lara kadar çıktığı tespit edilmiştir.



**Şekil 5.2:** Peridotit parçalı çok çatlaklı ve tünele su girişinin olduğu durumda her bir ring için tespit edilen kazı hızları.

Tünelde 1 ring kazısının peridotit serpantinli çok çatlaklı birimlerinin bir arada bulunduğu ve tünele su girişinin olmadığı durumlarda ortalama 55,05 dakika sürdüğü Çizelge 5.8’de görülmektedir.

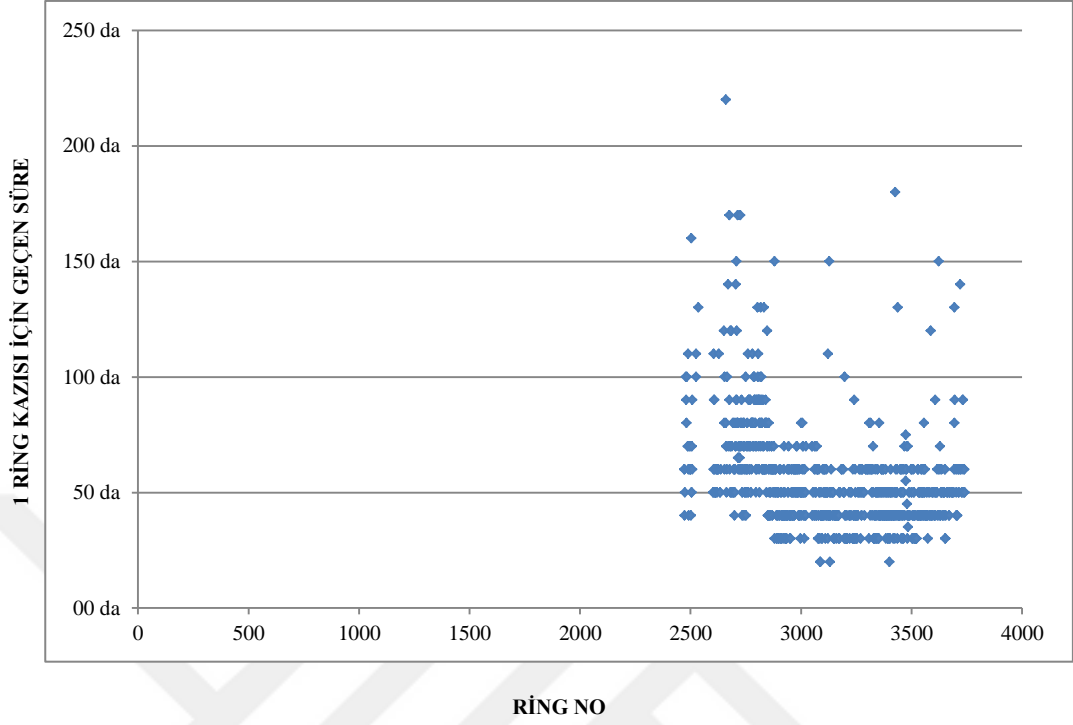
**Çizelge 5.9:** Peridotit serpantinli çok çatlaklı ve tünele su girişinin olmadığı durumda ortalama kazı hızı.

Formasyon	Kazı / İlerleme Süresi (da/ring) Ortalama +/- s.s
Peridotit Serpantinli Çok Çatlaklı - Su Yok	55,05 +/- 22,49

Tünelde 1 ring kazısının peridotit serpantinli çok çatlaklı ve tünele su girişinin olmadığı durumlarda genel olarak 30 da ile 70 da arasında değiştiği Şekil 5.3’de görülmektedir.



**PERİDOTİT - SERPANTİNİT ÇOK ÇATLAKLI / SU YOK**



**Şekil 5.3:** Peridotit serpantinit çok çatlaklı ve tünele su girişinin olmadığı durumda her ring için kazı hızı.

Tünelde 1 ring kazısının peridotit serpantinit çok çatlaklı birimlerinin bir arada bulunduğu ve tünele su girişinin (6-210 lt/sn) olduğu durumlarda ortalama 66,82 dakika sürdüğü Çizelge 5.9'den görülmektedir.

**Çizelge 5.10:** Peridotit serpantinit çok çatlaklı ve tünele su girişinin olduğu durumda ortalama kazı hızı.

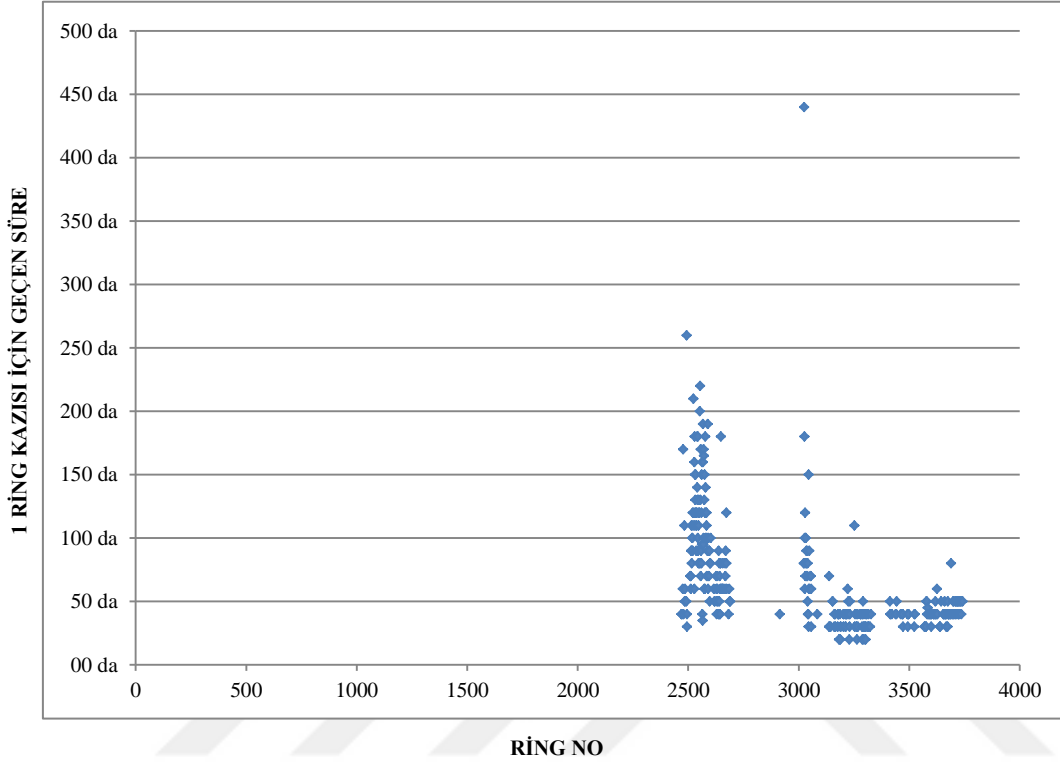
Formasyon	Kazı / İlerleme Süresi (da/ring) Ortalama +/- s.s
Peridotit Serpantinit Çok Çatlaklı - Su Var	66,82 +/- 45,62

Tünelde 1 ring kazısının peridotit serpantinit çok çatlaklı ve tünele su girişinin olduğu durumlarda genel olarak 30 da ile 120 da arasında değiştiği Şekil 5.4'de görülmektedir.

Yapılan süre tespitlerinden 1 ring kazısının en fazla sürdüğü formasyon peridotit, serpantinit ve suyun bir arada olduğu formasyondur. Bunun sebebi heterojen

formasyona sahip kazı aynasında kesici disklerin efektif olarak işlevini yerine getirememesidir. Su ile birlikte peridotit-serpantinit birimlerin çamur haline gelmesiyle disklerin kilitlendiği ve tek yönlü aşındığı tespit edilmiştir.

**PERİDOTİT - SERPANTİNİT ÇOK ÇATLAKLI / 6-210 lt/sn SU GELİRİ VAR**



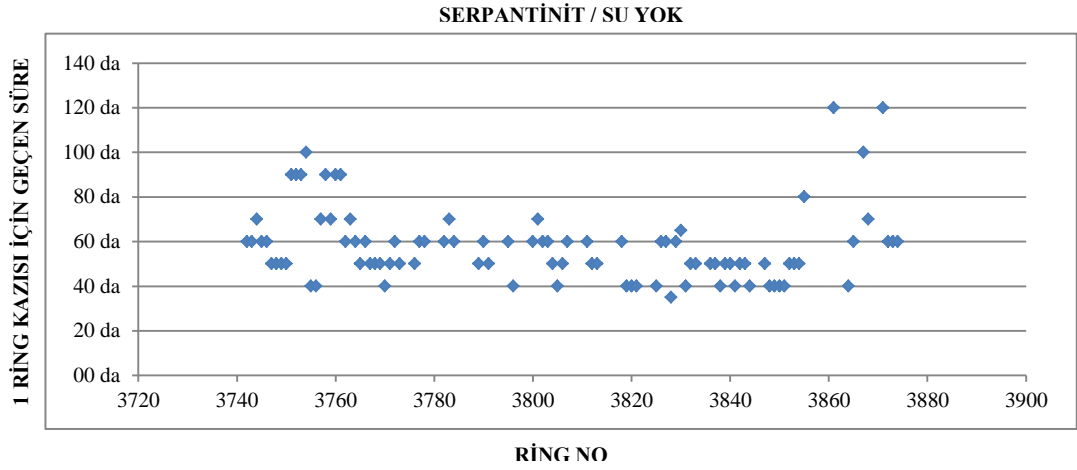
**Şekil 5.4:** Peridotit serpantinit çok çatlaklı ve tünele su girişinin olduğu durumda her ring için kazı hızı.

Tünelde 1 ring kazısının serpantinit ve tünele su girişinin olmadığı durumlarda ortalama 57,87 dakika sürdüğü Çizelge 5.10'dan görülmektedir.

**Çizelge 5.11:** Serpantinit ve tünele su girişinin olmadığı durumda ortalama kazı hızı.

Formasyon	Kazı / İlerleme Süresi (da/ring)
	Ortalama +/- s.s
Serpantinit Su Yok	57,87 +/- 17,82

Tünelde 1 ring kazısının serpantinit ve tünele su girişinin olmadığı durumlarda genel olarak 40 da ile 60 da arasında değiştiği Şekil 5.5'de görülmektedir.



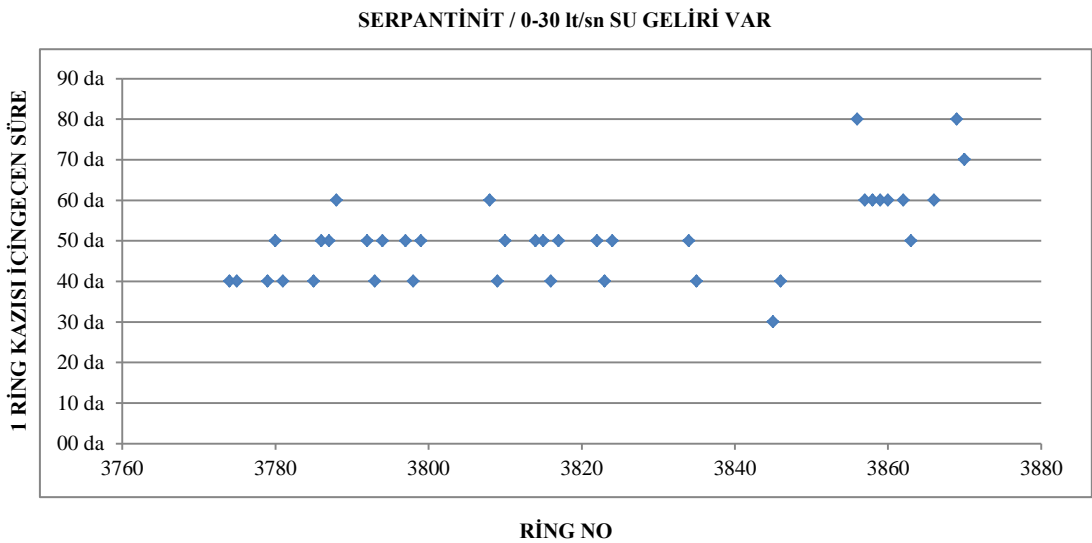
**Şekil 5.5:** Serpantinit ve tünele su girişinin olmadığı durumda her ring için kazı hızı.

Tünelde 1 ring kazısının serpantinit ve tünele su girişinin (0-30 lt/sn) olduğu durumlarda ortalama 50,51 dakika sürdüğü Çizelge 5.11'den görülmektedir.

**Çizelge 5.12:** Serpantinit ve tünele su girişinin olduğu durumda ortalama kazı hızı.

Formasyon	Kazı / İlerleme Süresi (da/ring) Ortalama +/- s.s
Serpantinit Su Var	50,51 +/- 10,85

Tünelde 1 ring kazısının serpantinit ve tünele su girişinin olduğu durumlarda genel olarak 40 da ile 60 da arasında değiştiği Şekil 5.6'da görülmektedir.



**Şekil 5.6:** Serpantinit ve tünele su girişinin olduğu durumda her ring için kazı hızı.

**Çizelge 5.13:** Zemin durumuna göre ortalama kazı hızları.

Formasyon	Kazı / İlerleme Süresi, ring/da Ortalama +/- s.s
Peridotit Su Yok	59,43 +/- 30,12
Peridotit Su Var <sup>1</sup>	56,00 +/- 4,90
Peridotit -Parçalı Çok Çatlaklı Su Var <sup>2</sup>	60,68 +/- 25,89
Peridotit- Serpantinit <sup>3</sup> Çok Çatlaklı <sup>4</sup> Su Yok	55,05 +/- 22,49
Peridotit Serpantinit Çok Çatlaklı Su Var <sup>5</sup>	66,82 +/- 45,62
Serpantinit Su Yok	57,87 +/- 17,02
Serpantinit Su Var <sup>6</sup>	50,51 +/- 10,85

<sup>1</sup> Tünel su girişinin 0-6 lt/sn olduğu tespit edilmiştir.

<sup>2</sup> Tünel su girişinin genel olarak 6-210 lt/sn lokal olarak 430 lt/sn olduğu tespit edilmiştir.

<sup>3</sup> Peridotitin yarı hidrotermal metamorfize olmuş halidir.

<sup>4</sup> RQD= 0-30

<sup>5</sup> Tünel su girişinin 6-210 lt/sn olduğu tespit edilmiştir.

<sup>6</sup> Tünel su girişinin 0-30 lt/sn olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 5.12'den görüleceği üzere birim zamanda kazı yapmak için en fazla harcanan zamanın peridotit serpantinit ve suyun birlikte olduğu zeminlerde olduğu görülmüştür.

Yine Çizelge 5.12'den çıkarılacak en önemli sonuç, suyun olmadığı bir ortamda magmatik bir kaya olan peridotitte kazı ilerleme hızı metamorfik bir kaya olan serpantinitteki kazı hızından %3 daha az olmuştur, suyun olduğu ortamda bu fark %11 e çıkmıştır. Yarı metamorfizmaya uğramış Peridotit serpantinitten oluşan kazı aynasında ise sulu ortam kazı hızını %21 azaltmıştır. Bunu yarı hidrotermal metamorfizmaya uğramış bir kayanın sudan fazla etkilenmesi ve bu kayanın suyun etkisiyle kısmen çamur haline gelip, disk kesicilerin arasına sıkışıp kazıyı zorlaştırması ile açıklayabiliriz.

### 5.3. Zemine Bağlı Diğer Zaman Kayıpları

Zemin cinsine bağlı olarak tespit edilen mekanik arıza, disk değişimi ve gerek su ile birlikte ince daneli zeminlerin gerekse de mekanik tasarımın bir sonucu olarak ring montajı alanında zemin birikmesi sebebi ile yapılan temizlik çalışmalarından kaynaklı süre kayıpları Çizelge 5.13 'de belirtilmiştir.

**Çizelge 5.14:** Zemine bağlı diğer zaman kayıpları.

Formasyon	Mekanik Arıza	Disk Değişim/Bakımı	Tünel Temizliği
	Zaman Kaybı	Zaman Kaybı	Zaman Kaybı
Peridotit Su Yok	26,67%	26,78%	24,08%
Peridotit Su Var	0,00%	0,00%	0,00%
Peridotit Parçalı Çatlaklı	26,32%	25,78%	25,07%
Peridotit Serpantinit Su Yok	6,32%	15,27%	1,34%
Peridotit Serpantinit Su Var	28,77%	21,52%	39,30%
Serpantinit Su Yok	11,93%	4,91%	10,21%
Serpantinit Su Var	0,00%	5,74%	0,00%
<b>TOPLAM</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>

Çizelge 5.13 yorumlandığında en fazla mekanik arızanın peridotit-serpantinit-su varlığında olduğu tespit edilmiştir. Buda bir önceki bölümde ki sulu ortamda peridotit serpantinitte kazı hızının neden düşük olduğunu açıkça göstermektedir. En fazla disk değişimi beklendiği üzere sertliği ve aşındırıcılığı fazla olan peridotit zeminlerde meydana gelmiştir. Su ile ince daneli zeminlerin en fazla tünele girişi yine peridotit serpantinit ve suyun varlığında gözlenmiştir.

#### **5.4. TBM Kazı Parametrelerinin Zemine Göre Değişimi**

Bir TBM in belirli bir jeolojik formasyonda efektif olarak yaptığı kazı, uyguladığı itme kuvveti (FT-trust force), tork (T) ve birim hacimdeki kayacı kesmek için gerekli spesifik enerjiye (SE) bağlıdır. Penetrasyon (mm/devir) arttıkça spesifik enerji azalır, bu nedenle spesifik enerjiyi minimum seviyede tutacak TBM parametreleri önemlidir. Penetrasyon arttıkça TBM in itme kuvveti ve torkuda artmaktadır. Bu nedenle değişik formasyonlarda “TBM in itme kuvveti ve torkunun nasıl değiştiğini anlamak için itme kuvveti ve tork değerleri penetrasyona bölünerek normalize edilirler, bunlara itme kuvveti indeksi ve tork indeksi denir” (Bilgin ve diğ, 2014). TBM seçimi ise yukarıdaki parametrelere bağlı olarak yapılmalıdır. Bu nedenle belirli bir jeolojik formasyonda TBM parametrelerinin zemin karakteristiklerine bağlı olarak tahmini TBM uygulamalarında önemli olmaktadır. Tez konusu olan tünelde başlangıçtan sona kadar her birim ilerleme (ring) için tüm TBM

parametreleri TBM in veri iletişim sistemi veya vardiya raporlarından elde edilerek analiz edilmiştir. Toplamda 3.893 adet ring olmak üzere her bir ring için bu parametrelerin değişik formasyonlarda da nasıl değiştikleri Ek-A ve Ek-B’de (Ek-B’de örnek olması amacıyla hesapların bir kısmı sunulmuştur.) verilmiştir. TBM Parametrelerinin (itme kuvveti indeksi, tork indeksi, penetrasyon ve spesifik enerji gibi) değişik formasyonlarda ortalama değerleri standart sapmaları ile birlikte Çizelge 5.14 de verilmiştir.

Çizelge 5.14’den çıkarılan en önemli sonuç, Tork/itme kuvveti oranının 1.5 ila 2.5 arasında değiştiğidir. Bunun ana nedeni tünelde kesilen peridotit ve serpantinit kayaçlarının basınç/çekme dayanımı oranlarının (3,80-4,10 Mpa arası) düşük olmasıdır. Bu oran kırılğan veya kolay kazılabilir kayaçlarda 11 in üzerinde, zor kazılan kayaç gruplarında ise daha düşük değerlerdedir (Bilgin ve diğ., 2016). Basınç/çekme dayanımının sonucu olarak spesifik enerji değeri 18 ile 23 kWh/m<sup>3</sup> arasında değişmiştir. Bu değer kırılğan olan kayaçların iki misli kadardır. Yine aynı çizelgeden görüldüğü gibi basınç dayanımı ortalama 77 MPa olan peridotitte itme kuvvet indeksi, basınç dayanımı değeri ortalama 39 MPa olan serpantinite göre %18 fazla olmuştur. Suyun oluşu peridotitte itme indeksini % 25 azaltmıştır. Su serpantinitte de itme indeksini % 10 oranında azaltmıştır.

Birim hacimdeki kayacı kesmek için gerekli olan spesifik enerji denklem 5.1’e göre hesap edilmiştir.

Çizelge 5.14’e göre en yüksek itme kuvveti endeksi 1.115 kN/(mm/dev) suyun, peridotit ve serpantinitin bir arada olduğu formasyonda elde edilmiş, bu noktada spesifik enerji de en yüksek değeri almış (23 kWh/m<sup>3</sup>) ayrıca standart sapma da en yüksek değeri almıştır. Yine itme kuvveti en büyük değerini bu formasyondan almıştır. Kuvvetlerin ani ve çabuk değiştiği yerlerde kesici kafada vibrasyonların arttığı ve buna bağlı olarak da mekanik arızaların arttığı gözlenmiştir.

Ülkemizde yapımı tamamlanan Marmaray Projesinde çalışmalarını tamamlayan TBM’lere ait kazı parametreleri Çizelge 5.16’da görülmektedir. Bu çizelgeye göre Belpınar Tüneli’ndeki kazı parametrelerinin, çamur basınçlı tünel açma makinaları ile paralellik gösterdiği, pasa basınç dengeli tünel açma makinalarından ise daha yüksek değerde olduğu görülmektedir.

**Çizelge 5.15:** TBM performans parametrelerinin geçilen formasyona göre değişimi.

Formasyon	İtme, FT kN, ortalama +/- s.s	Ort. İtme İndeksi kN/(mm/devir) +/-s.s	Tork, T kNm ortalama +/- s.s	Ort. Tork İndeksi kNm/(mm/devir) +/- s.s	FT/T 1/m ortalama +/- s.s	rpm ortalama +/- s.s	İlerleme hızı mm/dak ortalama +/- s.s	Ortalama Penetrasyon mm/dev	SE kWh/m <sup>3</sup> ortalama +/- s.s
Peridotit su yok	8751 +/- 1721	865 +/- 487	4022 +/- 1137	380 +/- 191	2,50	2,85	33,00	11,70	18,3 +/- 9,2
Peridotit su var	7650 +/- 735	649 +/- 184	4400 +/- 490	375 +/- 112	1,75	2,83	35,00	12,34	18 +/- 5,4
Peridotit parçalı – çok çatlaklı su var	9048 +/- 1456	884 +/- 638	4338 +/- 744	401 +/- 228	2,16	2,83	34,59	12,25	19,3 +/- 11
Peridotit-Serpantinit çok çatlaklı su yok	8053 +/- 1587	754 +/- 287	4444 +/- 720	402 +/- 97	1,86	3,00	34,58	11,56	19,3 +/- 4,7
Peridotit-serpantinit çok çatlaklı su var	8736 +/- 1823	1115 +/- 928	4196 +/- 777	478 +/- 262	2,17	2,95	30,15	10,30	23 +/- 12,6
Serpantinit su yok	7268 +/- 1170	707 +/- 170	4569 +/- 494	442 +/- 75	1,61	3,09	32,64	10,56	21,2 +/- 3,6
Serpantinit su var	6472 +/- 774	633 +/- 87	4326 +/- 618	424 +/- 73	1,53	3,01	30,92	10,28	20,4 +/- 3,5

$$\left[ SE = \frac{\text{Güç}}{\text{Birim Zamanda Kazılan Hacim}} = \frac{2\pi NT}{m^3/h} = \frac{kwh}{m^3} \right] \quad (5.1)$$

**Çizelge 5.16:** Marmaray projesinde yapımı tamamlanan bazı tüneller (Bilgin ve diğ., 2016).

Hat	TBM Tipi	İtme Kuvveti (kN)	Tork (kNm)	Kesme Gücü (kW)	Ortalama İlerleme (m/gün)
H-1	EPB CAT	6.250	2.045	2.100	-
H-2	EPB CAT	6.250	2.045	2.100	13,50
H-3	Çamur Basınçlı (Slurry) Hitachi-Zosen	7.500	4.767-10.582	2.000	5,10
H-4	Çamur Basınçlı (Slurry) Hitachi-Zosen	7.500	4.767-10.582	2.000	7,50
H-5	Çamur Basınçlı (Slurry) Hitachi-Zosen	7.500	4.767-10.582	2.000	4,60
H-6	Çamur Basınçlı (Slurry) Hitachi-Zosen	7.500	4.767-10.582	2.000	3,90



## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez Belpınar Tünelinde kullanılan 6.82 m kazı çapındaki EPB tipi bir TBM'in ofiyolit dizisindeki (peridotit ve serpantinit) kazı performansı ile ilgilidir. Proje güzergahı Sağlık Ovası ve Emen Ovası olmak üzere iki büyük ovoidan geçmektedir. Belpınar Tüneli Gaziantep İli Nurdağı İlçesi sınırları içindeki Emir Musa Dağı içinde açılmıştır. İki ova arasında bağlantı görevi gören tünel ile hem ana kanalın devamlılığı hem de memba tarafındaki aşırı yağışlar sonrası oluşan göl sularının drenajı sağlanmış olacaktır.

Tünel güzergahının tamamı ofiyolit dizisi içerisinde, ultrabazik karakterli kayalardan olan peridotit ve serpantinit birimlerden oluşmaktadır. Peridotit magmatik bir kayac, serpantinit ise peridotitin hidrotermal metamorfizmaya uğraması sonrası oluşan metamorfik bir kayac çeşididir. Peridotit Serpantinit ise peridotitin yarı hidrotermal metamorfize olmuş halidir. Peridotit ve serpantinitlerde basınç dayanımının çekme dayanımına oranı düşüktür bu da bu tür kayaları zor kazılabilir kayac sınıfına koymaktadır. Sondajlardan alınan numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneyi sonuçlarına göre güzergah üzerindeki kayaların birim hacim ağırlıklarının 2,50-2,78 kg/cm<sup>3</sup> arası, basınç dayanımlarının 39-77 MPa arası, çekme dayanımlarının 10,3-18,70 MPa arası ve elastisite modülünün 0,60-0,80 GPa arasında olduğu tespit edilmiştir. Güzergah üzerindeki kayaların statik elastisite modülünün 25.250 – 79.370 MPa arası, dinamik elastisite modülünün kuru halde 43.910 – 94.180 MPa arası ve doymun halde 55.930 – 97.710 MPa arası olduğu tespit edilmiştir. Yine kayaların RQD değerlerinin %0-%80 ve RMR değerlerin de 20-52 arası değiştiği yapılan çalışma ve hesaplamalardan elde edilmiştir. Tünel boyunca bir değerlendirme yapıldığında, güzergahın tamamı yeraltı suyu seviyesi altındadır ve tünel Terzaghi sınıflamasına göre III-V nolu kayac gruplarının içinde açılmıştır.

Sondaj kuyularında Lugeon testi yapılmış ve buna göre permeabilite değerleri 3,0E-5 m/sn ile 1,0E-7 m/sn arasında değişmektedir. İmalatlar sırasında su gelişi genellikle

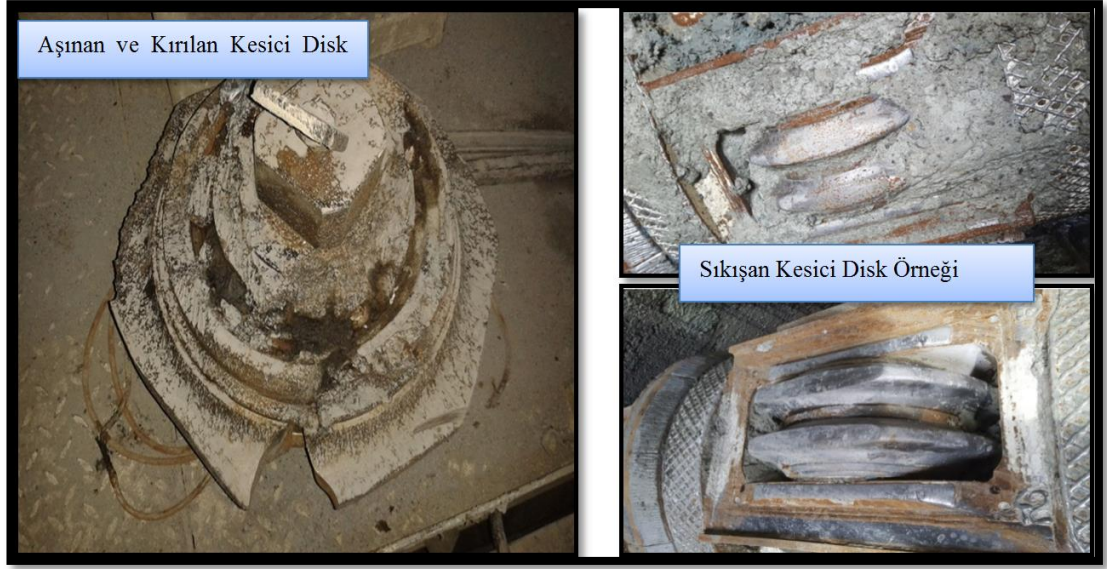
parçalı-çok çatlaklı peridotit ile peridotit-serpantinit (çok çatlaklı) zeminlerde olmuştur.

Belpınar 'da ofiyolitlerde açılan tünelde TBM performansının incelenmesinin literatüre bir katkı getireceği düşünülerek, tünelin başından sonuna kadar her birim ilerleme (ring) için (toplamda 3.893 adet ring olmak üzere) tüm TBM parametreleri (itme kuvveti indeksi, tork indeksi, kesici kafa dönüş hızı, penetrasyon ve spesifik enerji gibi ) analiz edilmiştir.

Hidrotermal metamorfizmaya uğrayan serpantinitlerin basınç dayanımları magmatik kökenli peridotitlerden daha düşük bulunmuştur. Belpınar tünelineki peridotitlerin ortalama basınç dayanımları 77 MPa iken serpantinitlerin basınç dayanımları 39 MPa dır. Kayaçlarda kazılabilirliği belirleyen en önemli faktörlerden biri kayacın basınç dayanımının çekme dayanımına oranıdır. Bu oran kayacın kırılabilirliği olarak da tarif edilir. Kırılabilir kayalarda basınç dayanımının çekme dayanımına oranı 11 den büyüktür. Bu değerin altındaki kayaçlar zor kazılabilir sınıfa girmektedir. Belpınar 'da ki tünelde kayaçların basınç dayanımlarının çekme dayanımına oranı 3.8 ile 4.1 arasındadır. Bu da bu tüneldeki kayaçların zor kazılacağı anlamına gelir. Bu sebeple kazı çalışmalarına başlamadan önce disk tasarımı bu kriterler göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Ayrıca yarı hidrotermal metamorfizmaya uğrayan kayacın sudan fazla etkilenecek kısmen çamur haline gelmesinin disklerin kilitlenmesine sebep olduğu tespit edilmiştir. Şekil 6.1'de henüz kesici kafaya montajı yapılmamış diskler ile Şekil 6.2'de kırılma ve sıkışma sonrası disklerin nasıl işlevini yitirdiğine ait örnek fotoğraflar verilmiştir.



**Şekil 6.1:** Kesici kafaya montajı yapılmayan diskler.



**Şekil 6.2:** Aşınan, kırılan ve sıkışan kesici disklere ait örnek.

Belpınar Tüneli kazı ve kaplama çalışmalarından hareketle yeraltı suyu seviyesi altında peridotit ve serpantinit yoğunluklu bir formasyonda (Terzaghi Sınıflamasına göre III-V nolu sınıf arası değişken), 6,82 m kazı çapına sahip pasa basınç dengeli tipi bir tünel delme makinası ve raylı vagonet sistemi ile iç ve dış nakliyelerin yapıldığı bir tünelde, büyük duraksamalar dahil günlük 8,04 m, büyük duraksamaların haricinde ise günlük 9,90 m kazı ve segment kaplama imalatı yapılabilmektedir. Kazı ve segment kaplama imatları çift vardiya çalışarak yapılmıştır. Karşılaşılan jeolojik ve hidrojeolojik koşullara göre tespit edilen en iyi ilerleme değerleri, tünel aynasında homojen şekilde bulunan peridotit kayaçların olduğu formasyonda, günlük 21 m, haftalık 106 m ve aylık 377 m olarak elde edilmiştir.

Diğer zaman kayıpları; peridotit, peridotit serpantinit ve serpantinit kayaçlarının olduğu formasyonlar tünele su girişinin olup olmamasına bağlı olarak, meydana gelen mekanik arızalar, disk değişimleri, tünele giren ince daneli zeminlerin bertaraf edilmesi ve resmi olarak çalışılmayan günlerden oluşmaktadır.

Ana kayaç çatlakları arasında bulunan ince daneli zeminlerin, yeraltı suyu ile tünele girmesinin imatları çok fazla etkilediği görülmüştür. Bu sebeple seçilen makina tipinin kapalı mod olmasının doğru bir tercih olduğu görülmüştür. Tünel içine basınçlı su ve ince daneli zemin girişi Şekil 6.3' de görülmektedir.



**Şekil 6.3:** Tünele basınçlı su ve ince daneli zemin girişi.

Tünel çalışmalarında kullanılan raylı lokomotif ve vagonlardan oluşan katar sisteminin, bu tünel için yapılmış doğru bir tercih olmadığı görülmüştür. Peridotit ve serpantinittin bir arada olduğu formasyonda su ile birlikte tünele aşırı miktarda ince daneli zemin girişi bu sistemin efektif olarak kullanılmasını olumsuz etkilemiştir. Dolayısıyla benzer özellikte yapılacak diğer tünel inşaatlarında pasana nakli için konveyör bant sisteminin kullanılması önerilmektedir.

Ofiyolit dizilerinin önemli bileşenlerinden biri diğer birimleri birey dayklar olarak kesen veya dayk kümeleri oluşturan diyabaz dayklardır (Coleman R.G., 1977). Bu sebeple de güzergah üzerinde diyabaz dayklarına rastlanma ihtimali kesici kafa kontrollerinin mümkün olduğu kadar sık bir şekilde yapılmasını gerektirmektedir. (Belpınar Tünelinde EPB basıncının kullanılmasını gerektiren bir durumla karşılaşmamıştır). Belpınar Tüneli kazılarında 1 veya 2 ringde bir kesici kafa kontrolleri yapılmıştır. Ancak, lokal olarak diyabaz dayklarının kesildiği bir formasyonda çevre kesici diskleri çok çabuk aşınmış ve tünel delme makinasının sıkışmasına sebep olmuştur. Şekil 6.4'den görüleceği üzere makina, kalkan çevresinde yapılan patlatmalar sonrasında kurtarılabilmştir.

Bu çalışmadan çıkarılacak en önemli sonuçlardan biri, suyun olmadığı bir ortamda magmatik bir kaya olan peridotitte kazı ilerleme hızı metamorfik bir kaya olan serpantinittteki kazı hızından %3 daha az olduğudur, suyun olduğu ortamda bu fark %11'e çıkmıştır. Yarı metamorfizmaya uğramış Peridotit serpantinitten oluşan kazı aynasında ise sulu ortam kazı hızını %21 azaltmıştır. Bunu yarı hidrotermal metamorfizmaya uğramış bir kayanın sudan fazla etkilenmesi ve bu kayanın suyun



etkisiyle kısmen çamur haline gelip, disk kesicilerin arasına sıkışıp kazıyı zorlaştırması ile açıklayabiliriz.



**Şekil 6.4:** TBM kalkanı etrafında yapılan patlatma çalışmaları.

Bir TBM in belirli bir jeolojik formasyonda efektif olarak yaptığı kazı, uyguladığı itme kuvveti (FT-trust force), tork (T) ve birim hacimdeki kayacı kesmek için gerekli spesifik enerjiye (SE) enerjiye bağlıdır. Penetrasyon (mm/devir) arttıkça spesifik enerji azalır, bu nedenle spesifik enerjiyi minimum seviyede tutacak TBM parametreleri önemlidir. Penetrasyon arttıkça TBM in itme kuvveti ve torku da artmaktadır. Belpınar Tüneli kazı çalışmalarında makina üzerindeki en yüksek tork indeksi ve itme kuvveti indeksi değerleri  $478\pm 262$  kNm/(mm/devir) ve  $1.115\pm 928$  kN/(mm/devir) olarak peridotit serpantin ve suyun bir arada olduğu formasyonda elde edilmiştir. Yine spesifik enerji de  $23\pm 12,6$  kWh/m<sup>3</sup> olarak bu formasyonda elde edilmiştir. Kuvvetlerin ani ve çabuk değiştiği yerlerde kesici kafada vibrasyonların arttığı ve buna bağlı olarak da mekanik arızaların arttığı gözlenmiştir.

Diğer önemli bir sonuç, tork/itme kuvveti oranının 1.5 ila 2.5 arasında değiştiğidir. Bunun ana nedeni tünelde kesilen peridotit ve serpantin kayaçlarının basınç/çekme dayanımı oranlarının düşük olmasıdır. Bu oran kırılabilir veya kolay kazılabilir kayaçlarda 11 in üzerinde, zor kazılan kayaç gruplarında ise daha düşük değerlerdedir, Basınç/çekme dayanımının sonucu olarak Spesifik enerji değeri 18 ile

23 kWh/m<sup>3</sup> arasında değişmiştir. Bu değer kırılğan olan kayaçların iki misli kadardır. Yine veri analizlerinden görüldüğü gibi basınç dayanımı ortalama 77 MPa olan peridotitte itme kuvvet indeksi, basınç dayanımı değeri ortalama 39 MPa olan serpantinite göre %18 fazla olmuştur. Suyun oluşu peridotitte itme indeksini % 25 azaltmıştır. Su, serpantinitte de itme indeksini % 10 oranında azaltmıştır.

Belpınar Tüneli imalatlarında kapalı mod bir makina olan Pasa Basınç Dengeli Tünel Açma Makinası'nın seçilmesi (EPB Tipi TBM) projenin aksamadan zamanında tamamlanmasında önemli rol oynamıştır.

Bu tez ile ortaya konulan sonuçların, ileriki zamanlarda yapılması planlanan benzer özellikteki projelerde TBM seçiminin, planlamasının ve risk analizlerinin daha iyi yapılmasına yardımcı olması amaçlanmıştır. Literatürde peridotit, peridotit serpantinit ve serpantinitten oluşan kaya ortamında, TBM ile tünel açılmasını konu alan sınırlı sayıda kaynak mevcuttur. Çalışmadan elde edilen sonuçlar bu açıdan önem kazanmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Anonim. (2006). *Ultramafik - Ultrabazik Kayalar*. Afyon: AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ , Jeoloji Mühendisliği (LİSANS).
- Arıoğlu, Ergin. (2009). *Tünel Dersi 7. Bölüm*. İstanbul: Yapı Merkezi AR&GE Bölümü.
- Arıoğlu, Ergin. (2011). *Tünel Dersi 1. Bölüm*. İstanbul: Yapı Merkezi AR&GE Bölümü.
- Ballantyne, Bernadette (2012, Nisan 29). *Tunnelling techniques*. <https://www.meed.com/tunnelling-techniques/3134511.article> adresinden alınmıştır
- Bilgin, N., Copur, H. & Balci, C. (2014). *Mechanical excavation in mining and civil industries*. London: CRC Press.
- Bilgin, N., Demircin, M. A., Copur, H., Balci, C., Tuncdemir, H. & Akcin, N. (2006). *Dominant rock properties affecting the performance of conical picks and the comparison of some experimental and theoretical results* (Cilt 43). International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences.
- Bilgin, N., Copur, H. & Balci, C. (2016). *TBM Excavation in Difficult Ground Conditions*. Germany: Ernst and Sohn.
- Bradford, F. Townsend, & Paul, E. Jenkins (2009, Haziran 13). TBM Selection and Specification.
- Brierley, G. (2014, Ağustos 25). *Tunneling: A Historical Perspective*. Retrieved from <http://tunnelingonline.com/tunneling-historical-perspective/>.
- Coleman, R.G. (1977) *Ophiolites*. Berlin: Springer-Verlag.
- Çınar, M. & Cenk, F. (tarih yok). *Tünel Açma Makineleri (TBM)*.
- Devlet Su İşleri XX. Bölge Müdürlüğü. (1999). *Orta Ceyhan Menzelet Projesi Kılavuzlu Barajı ve Sulama Kanalları Mühendislik Jeolojisi Revize Planlama Raporu*. Kahramanmaraş.
- Diamantis, K., Karamousalis, Th., Antoniou, Vas. & Migiros, G. (May 2007). *Compressive strength, dry unit, weight and fracture patterns of ultrabasic rocks in Othrys Mountain (Central Greece): correlations and evaluation* (Vol. XXXX). (Pro, Ed.) Athens, Greece: Bulletin of the Geological Society of Greece.
- Goodman, R.E., (1989). Introduction to Rock Mechanics. Second Edition. John Wiley&Sons. 562 pages.
- Külahlı, Ebru (tarih yok). *Ebru KÜLAHLI Gezilecek Yerler*. <http://ebrukulahli.weebly.com/gezilecek-yerleri.html>. adresinden alınmıştır.

Okyay, Volkan (Mayıs 2015). Yeni Avusturya Tünel Metodu (NATM). *Tünel Teknolojisi Dergisi*, 30-32.

Spencer, M., Stolfa, A., Bentz, E., Cross, S., Blueckert, C. & Forder, J. (2009). *Tunnel Boring Machines*. IMIA Conference Istanbul. Istanbul: IMIA Working Group Paper WGP 60.





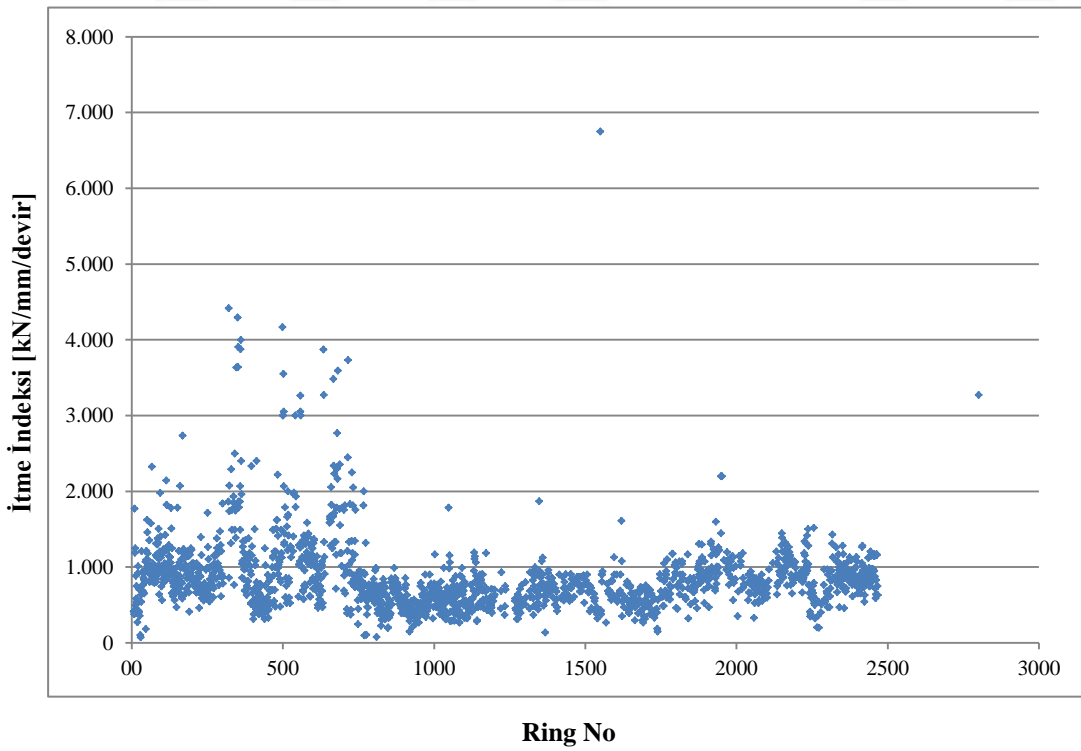
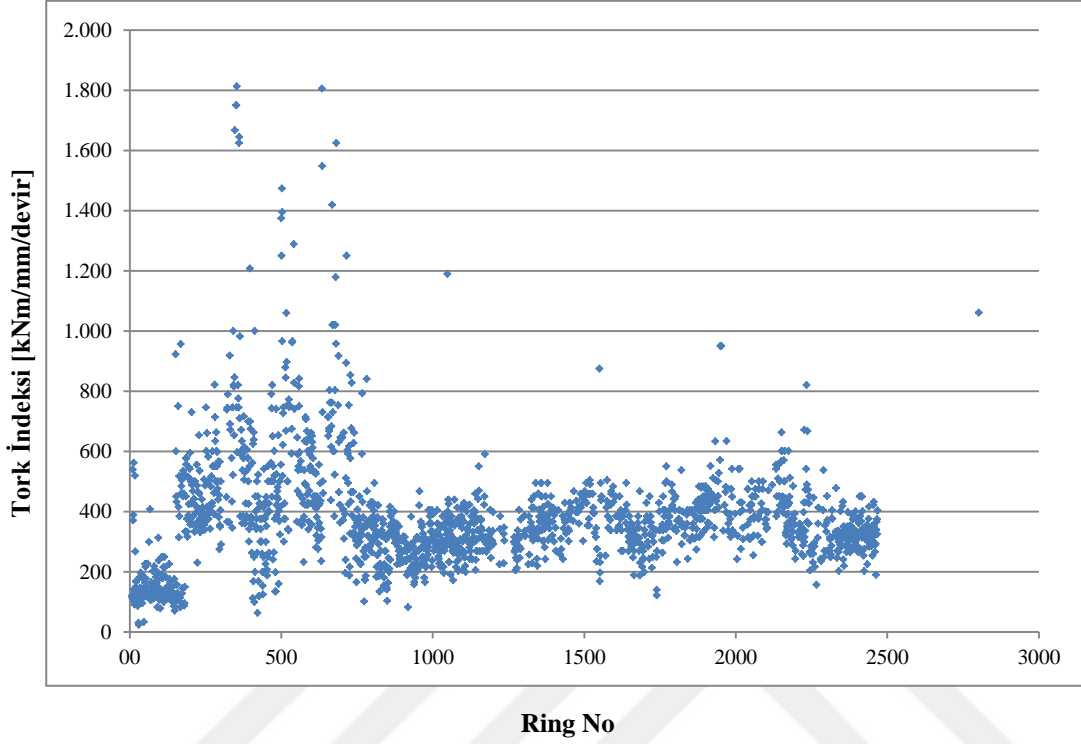
## **EKLER**

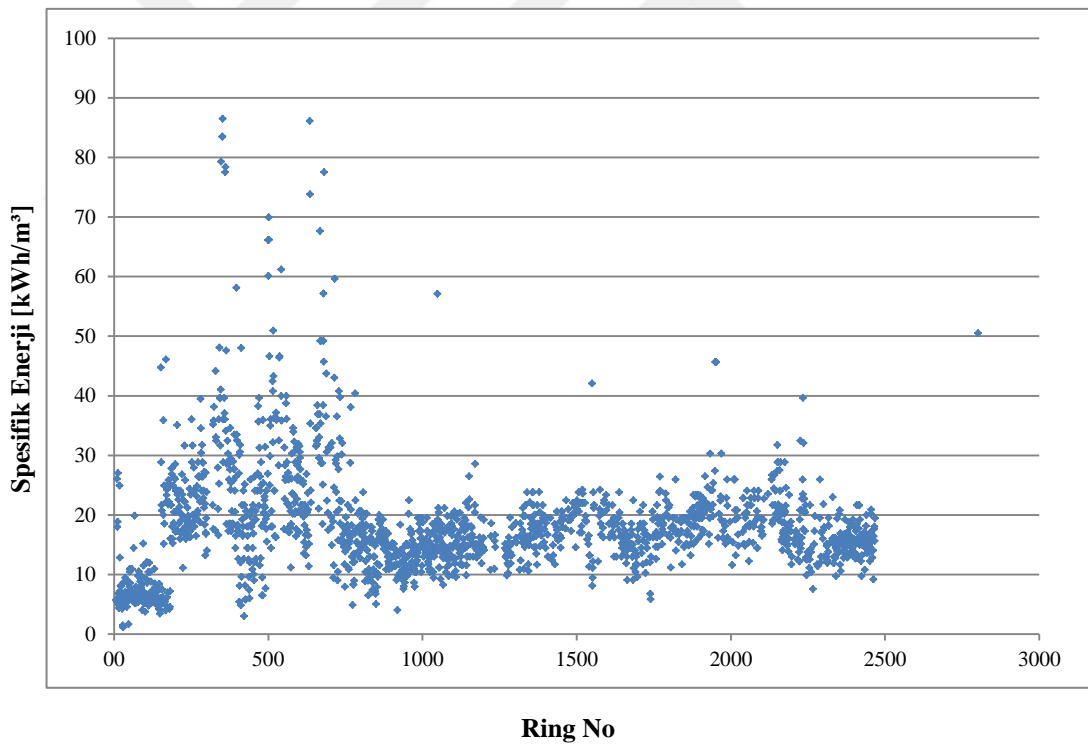
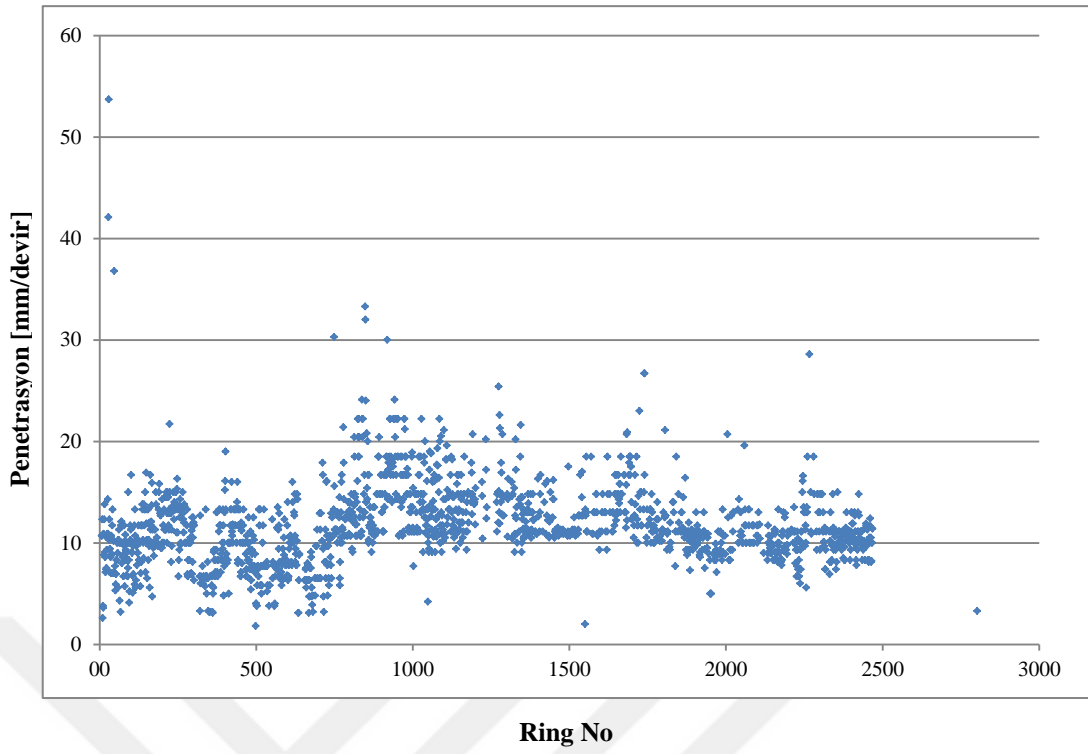
**EK A** : İtme İndeksi, Penetrasyon Değerleri Ve Spesifik Enerji Değerleri Őekilleri



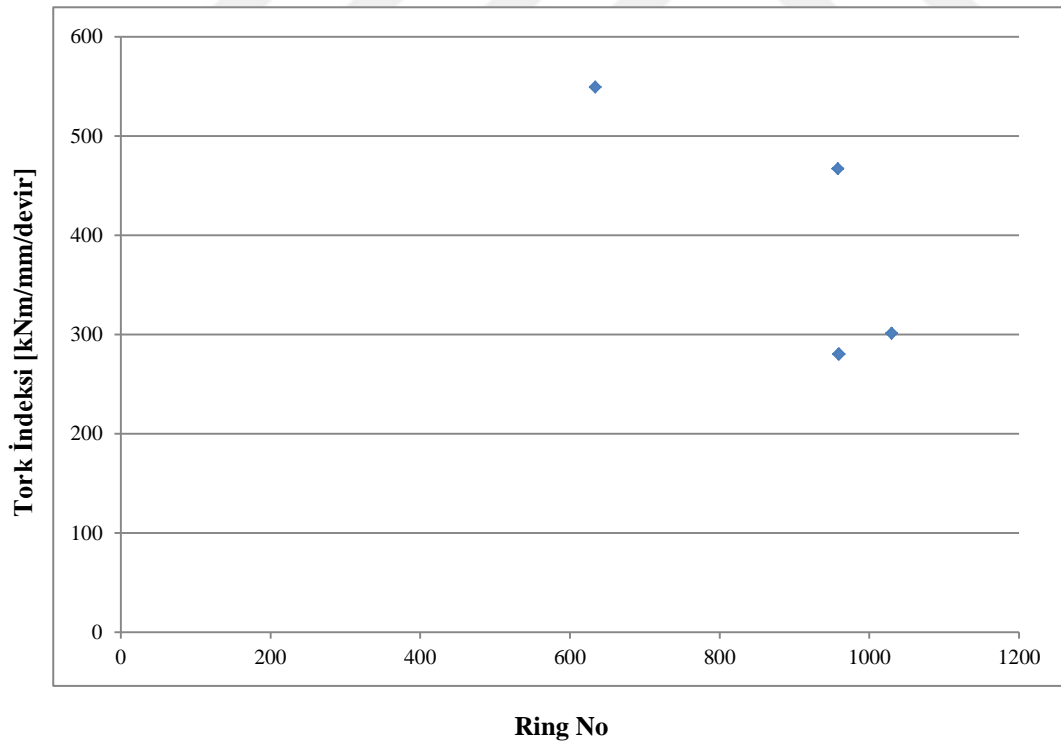
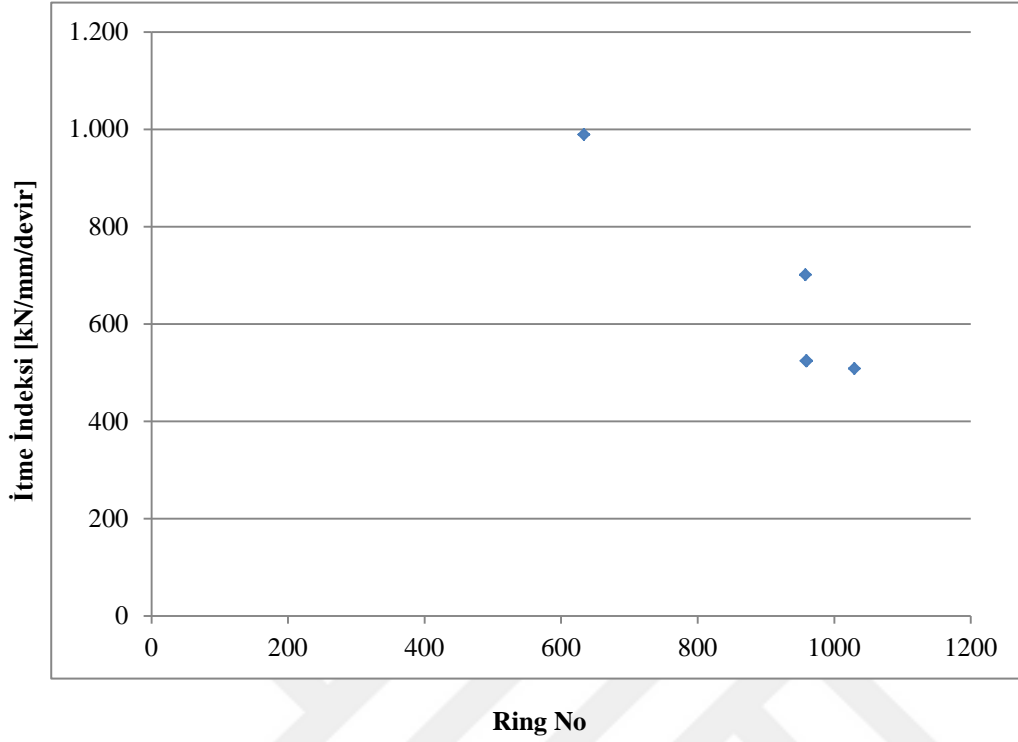
## EK A

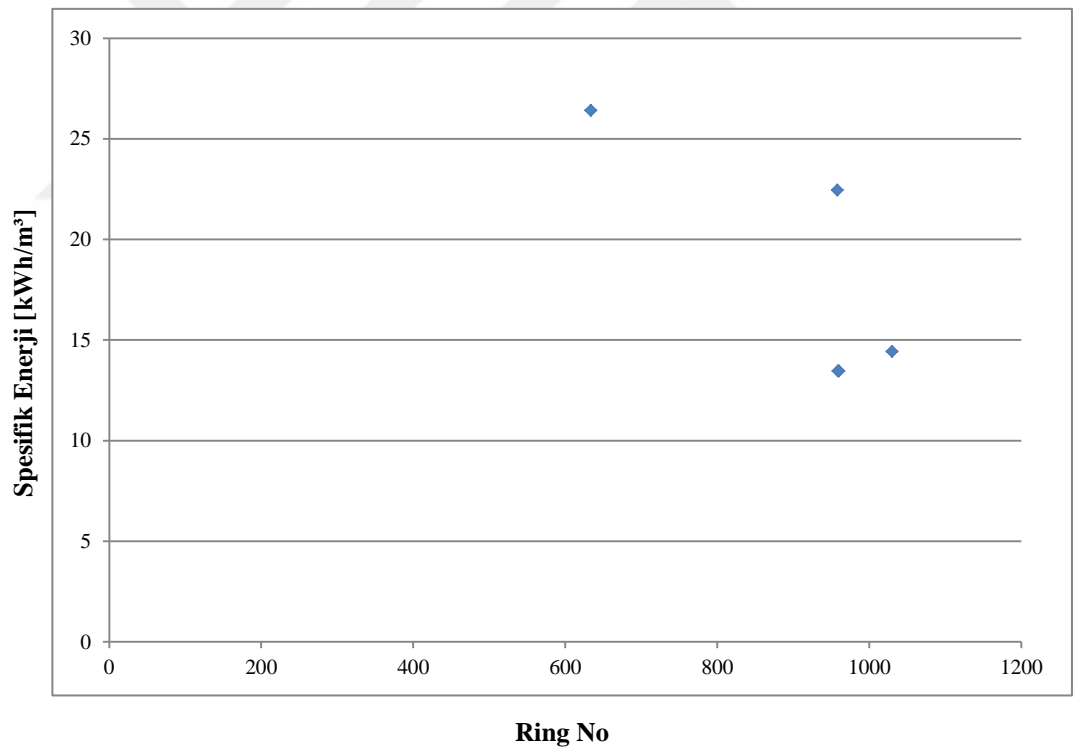
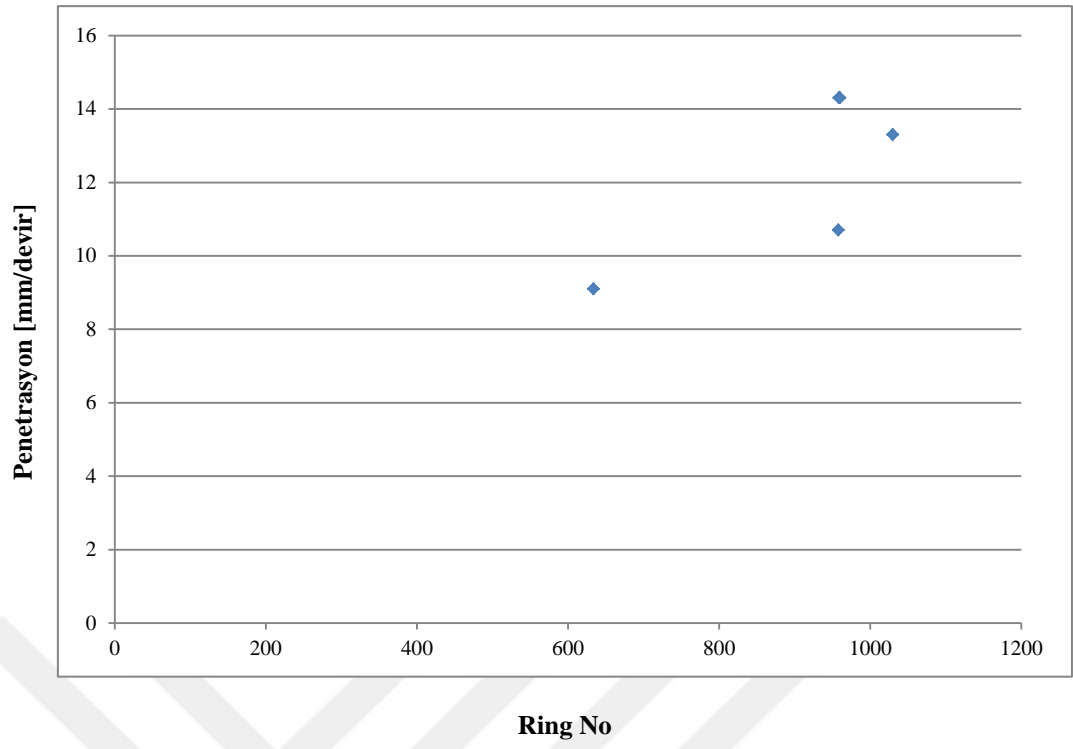
Peridotit ve tünele su girişinin olmadığı durumlar için itme indeksi, tork indeksi, penetrasyon değerleri ve spesifik enerji değerleri



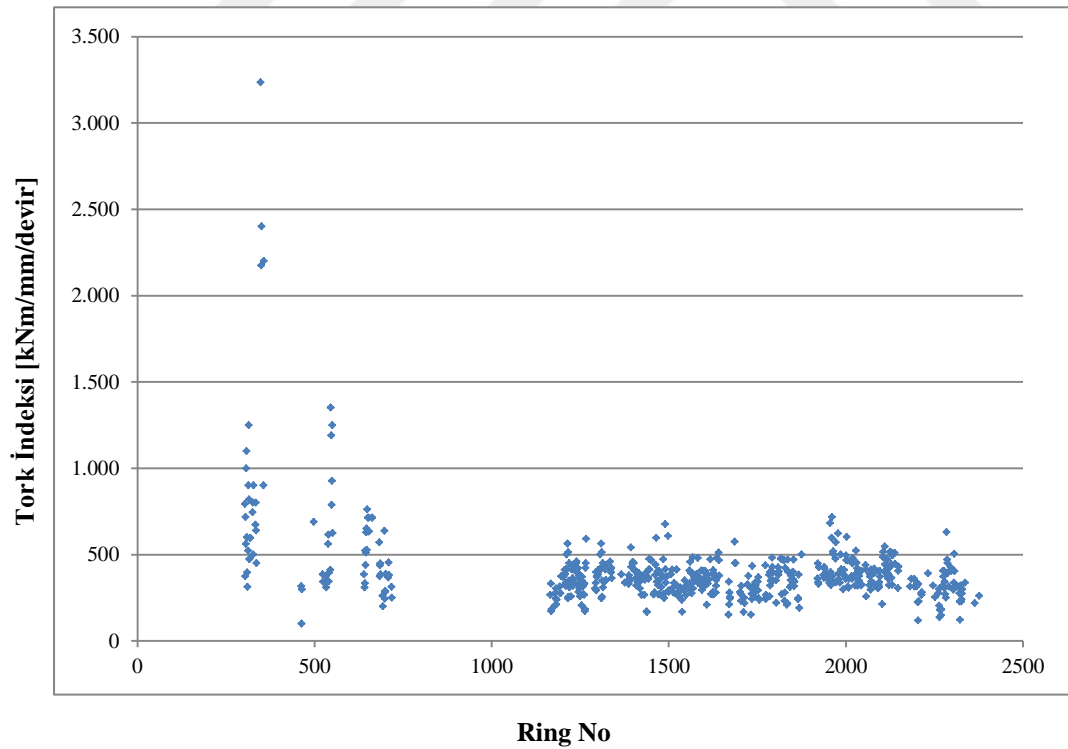
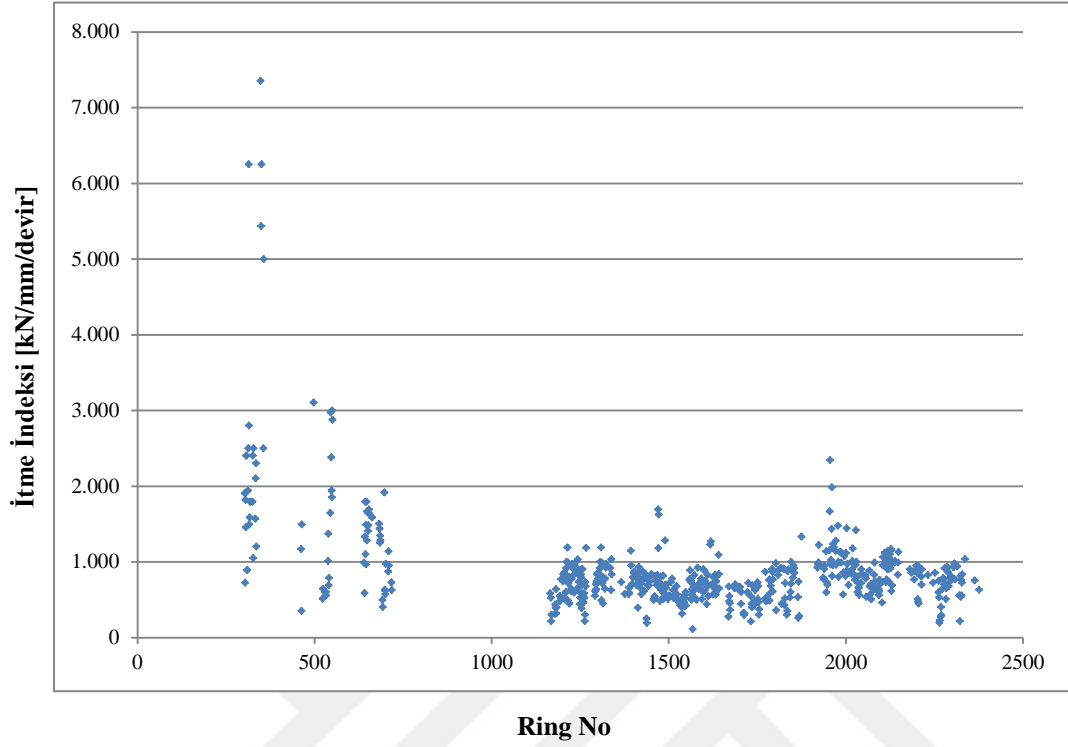


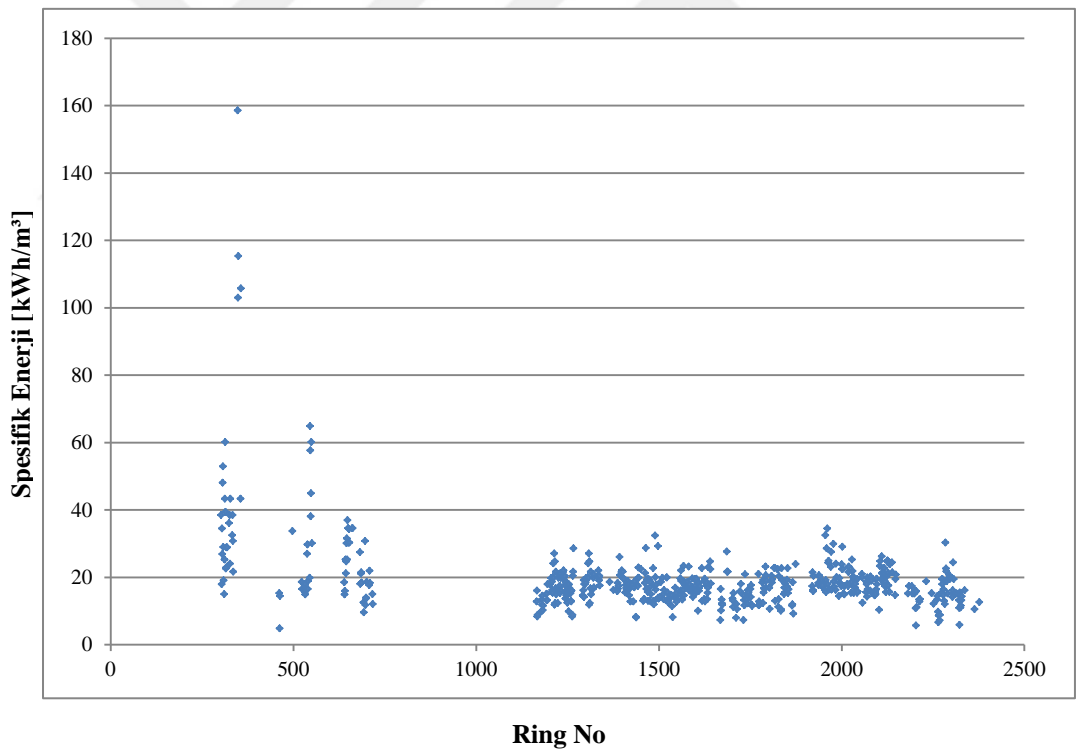
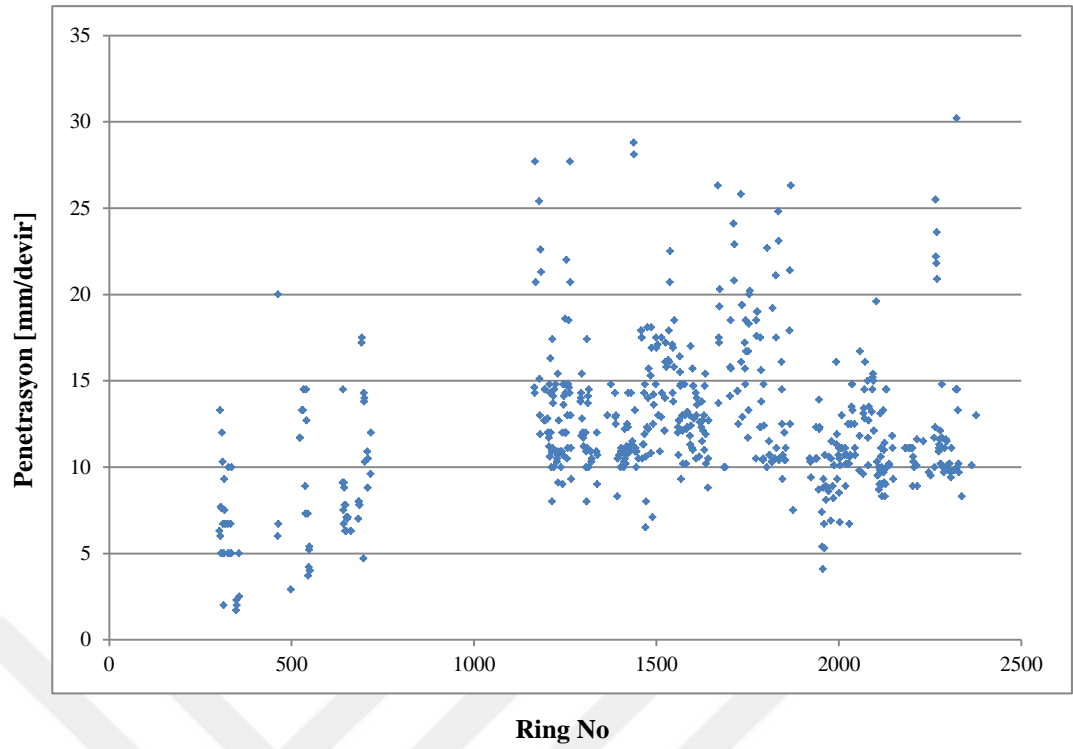
**Peridotit ve tünele su girişinin olduğu durumlar için itme indeksi, tork indeksi, penetrasyon değerleri ve spesifik enerji değerleri**



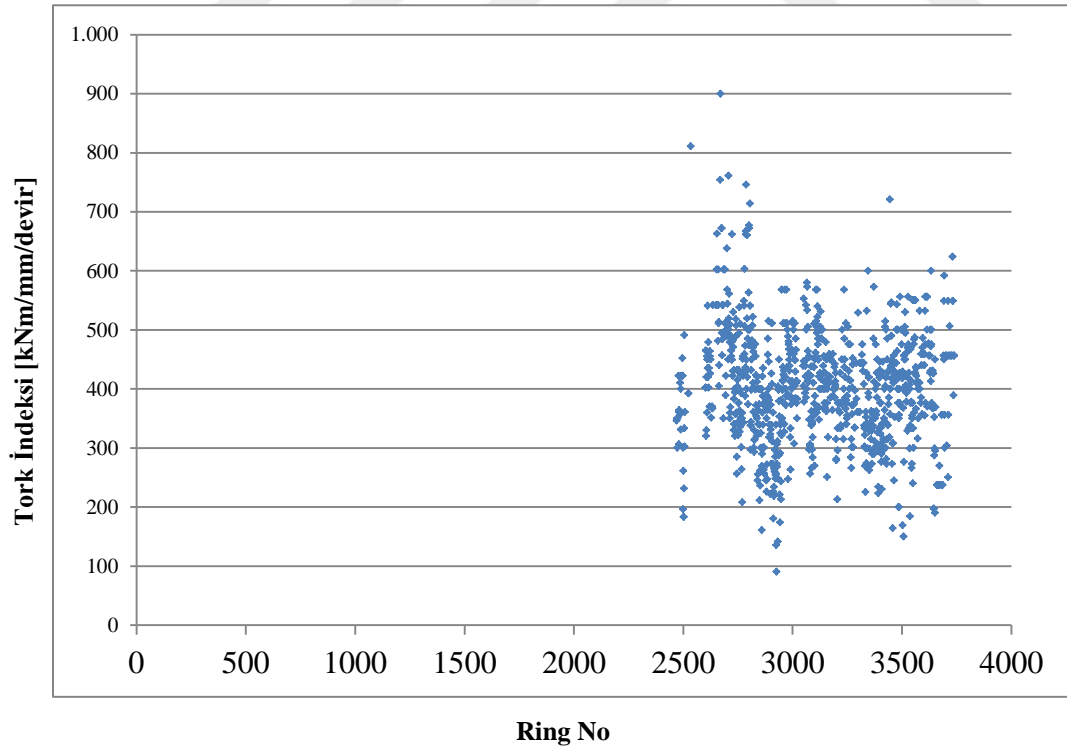
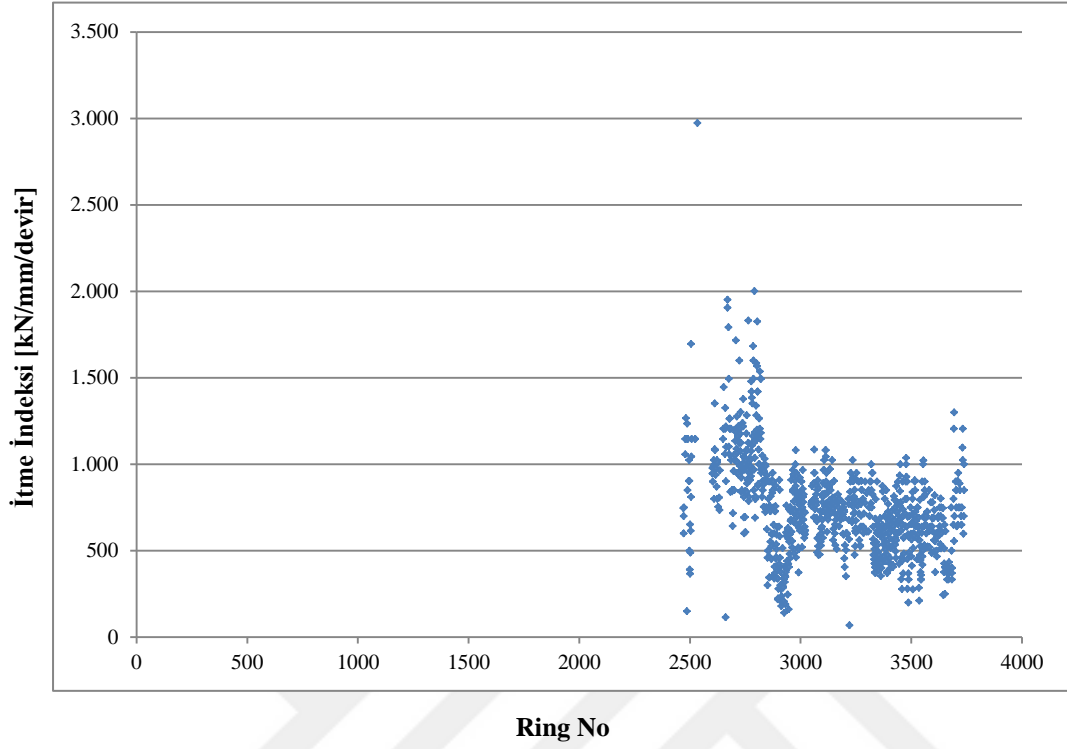


**Peridotit – parçalı çatlaklı ve tünele su girişinin olduğu durumlar için itme indeksi, tork indeksi, penetrasyon ve spesifik enerji değerleri**

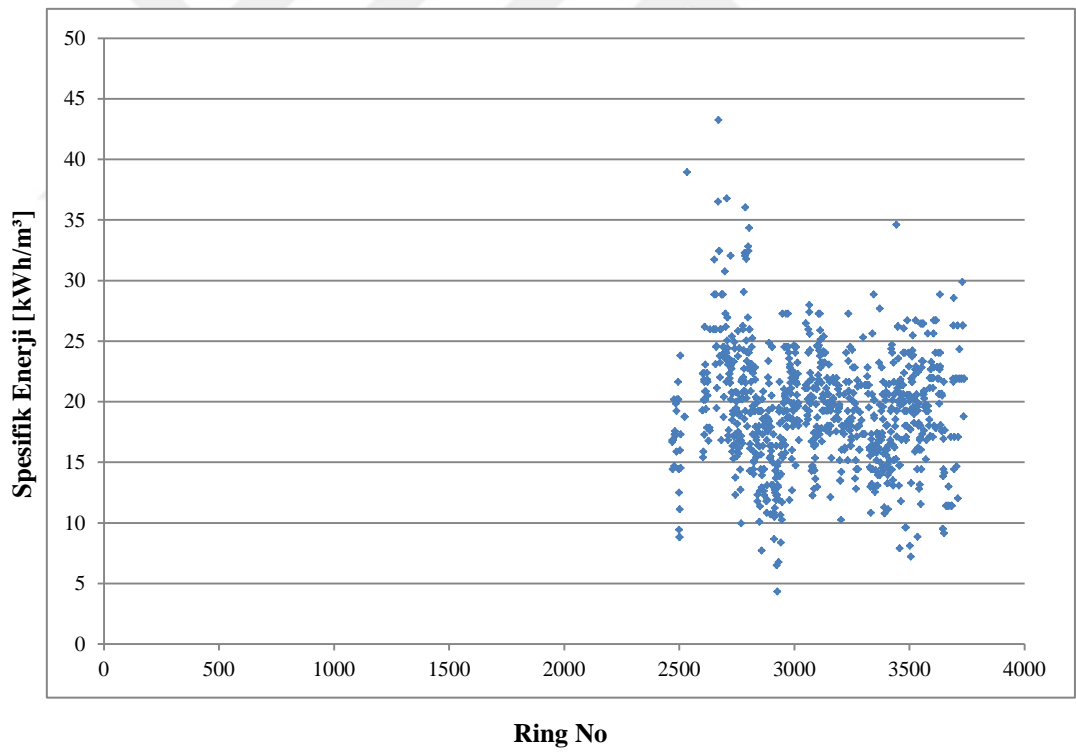
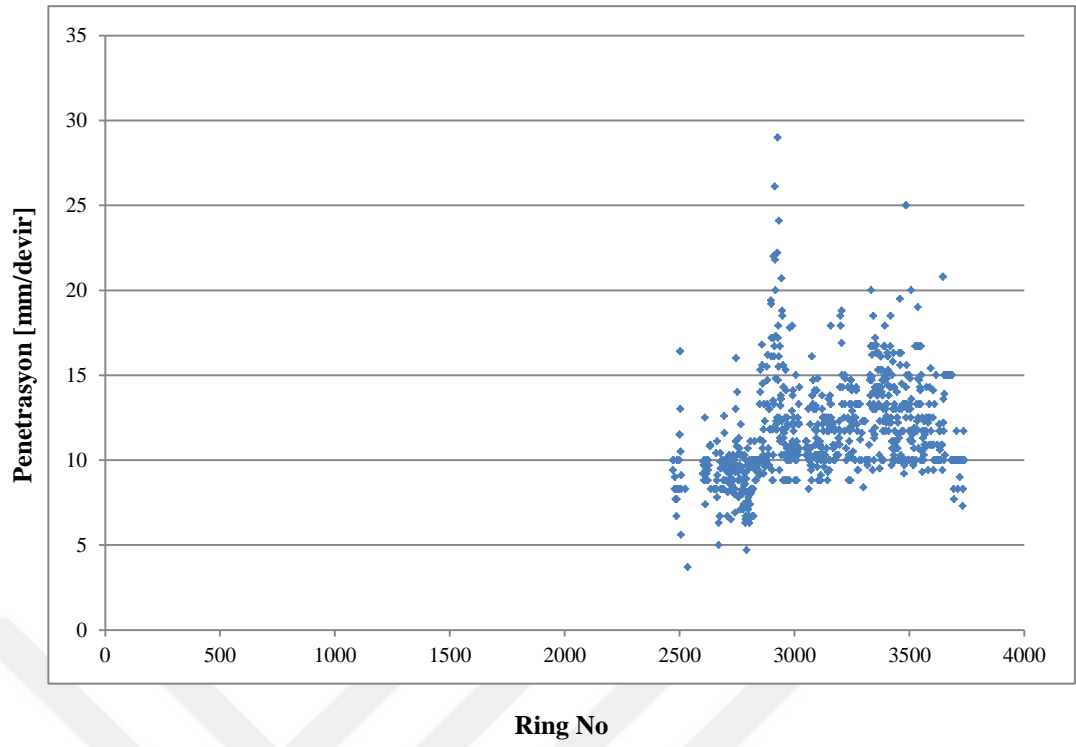




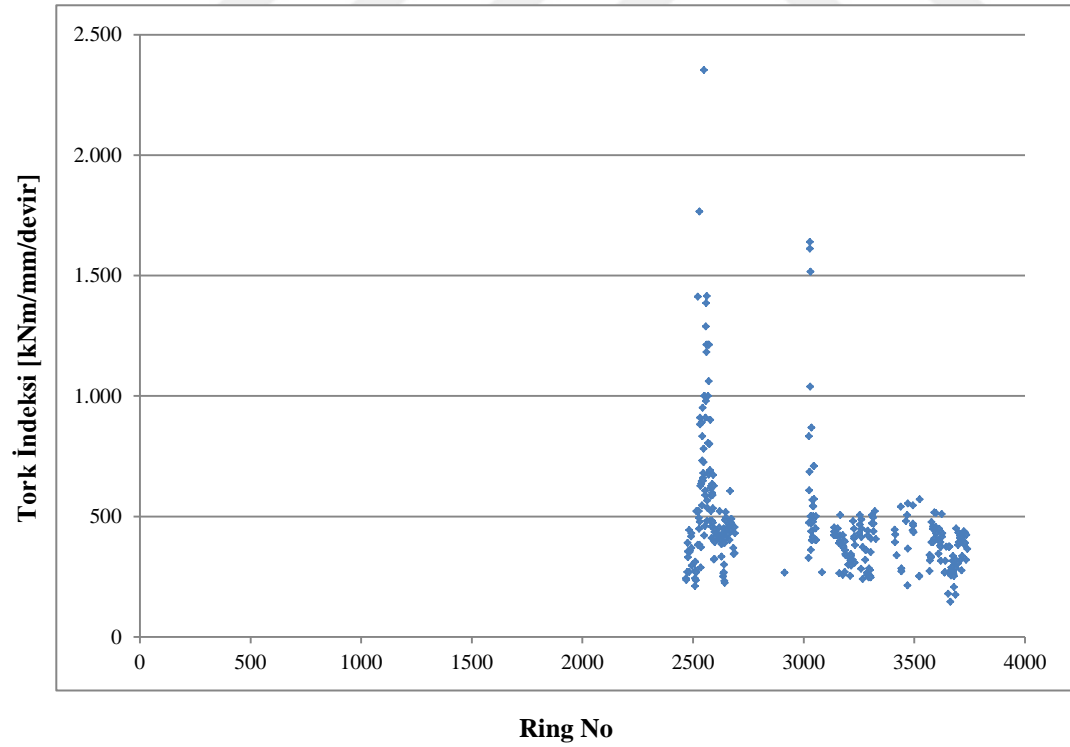
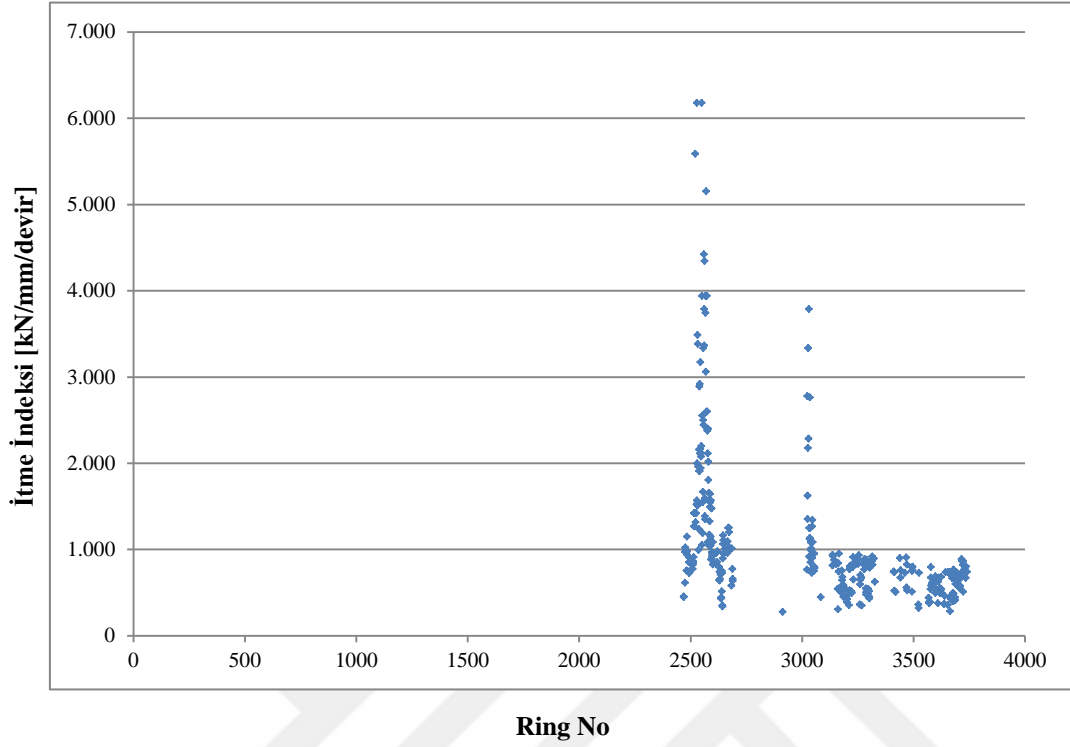
**Peridotit – serpantinit ve tünele su girişinin olmadığı durumlar için itme indeksi, tork indeksi, penetrasyon ve spesifik enerji değerleri**

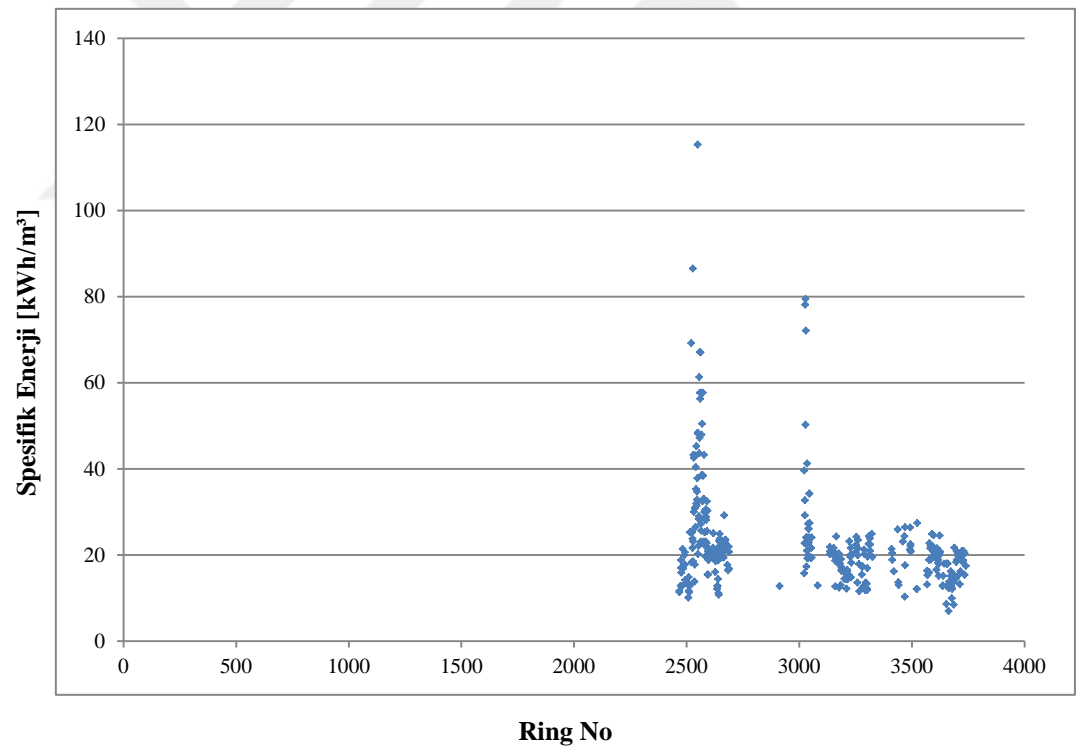
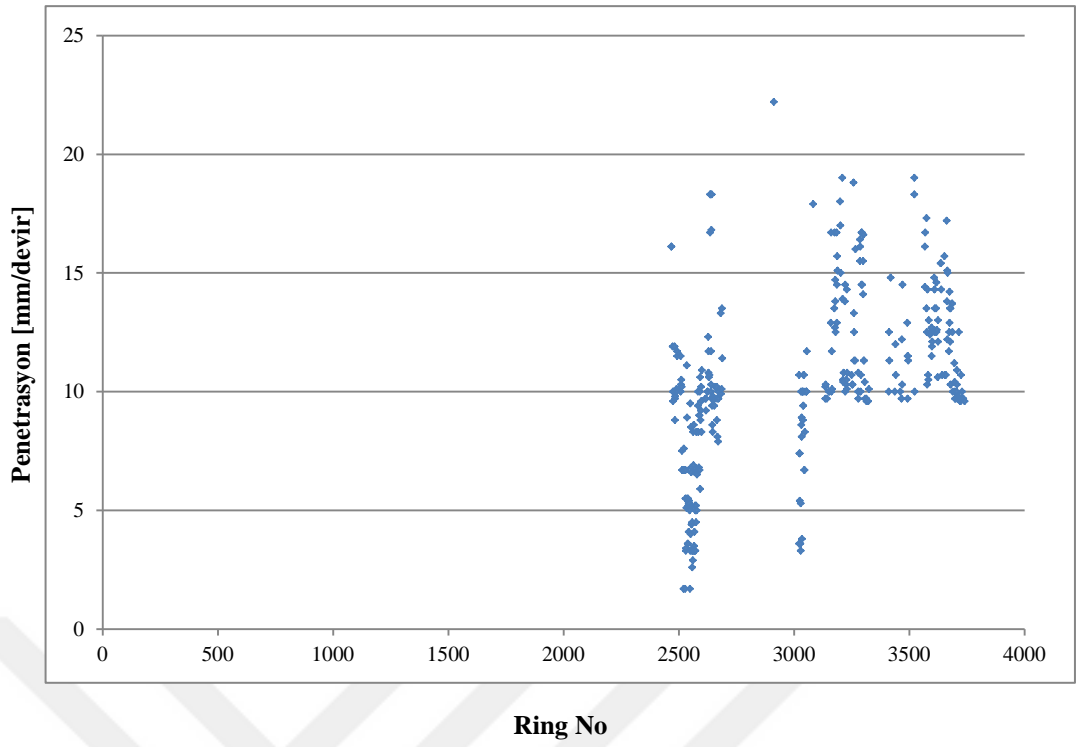




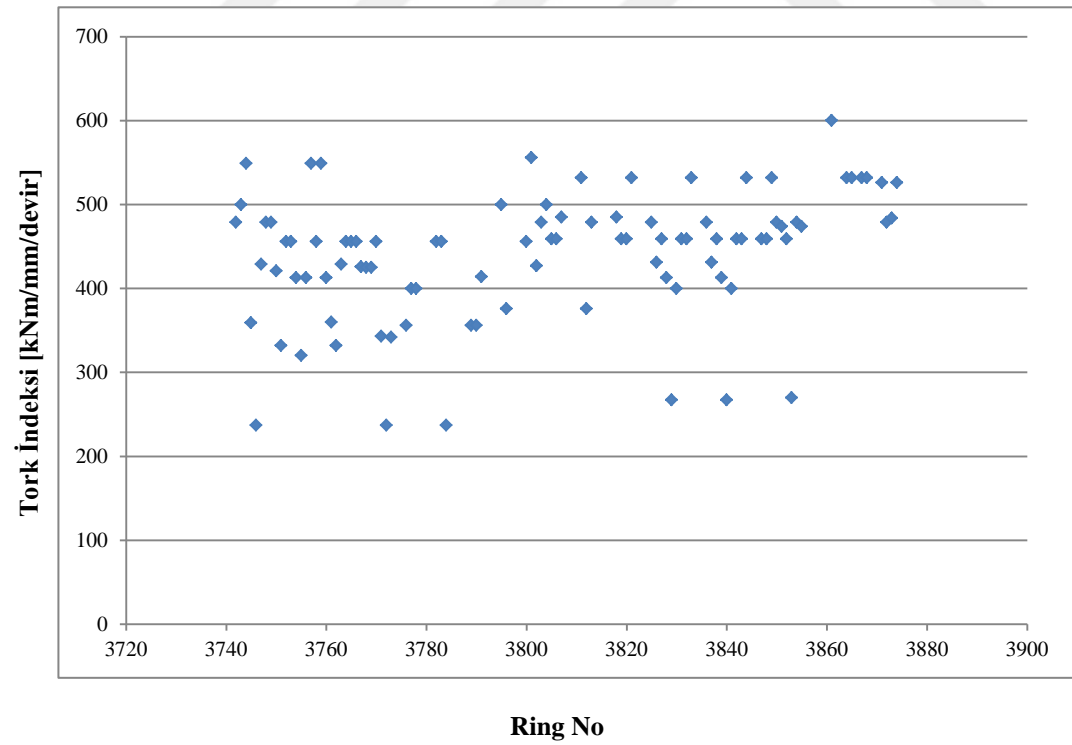
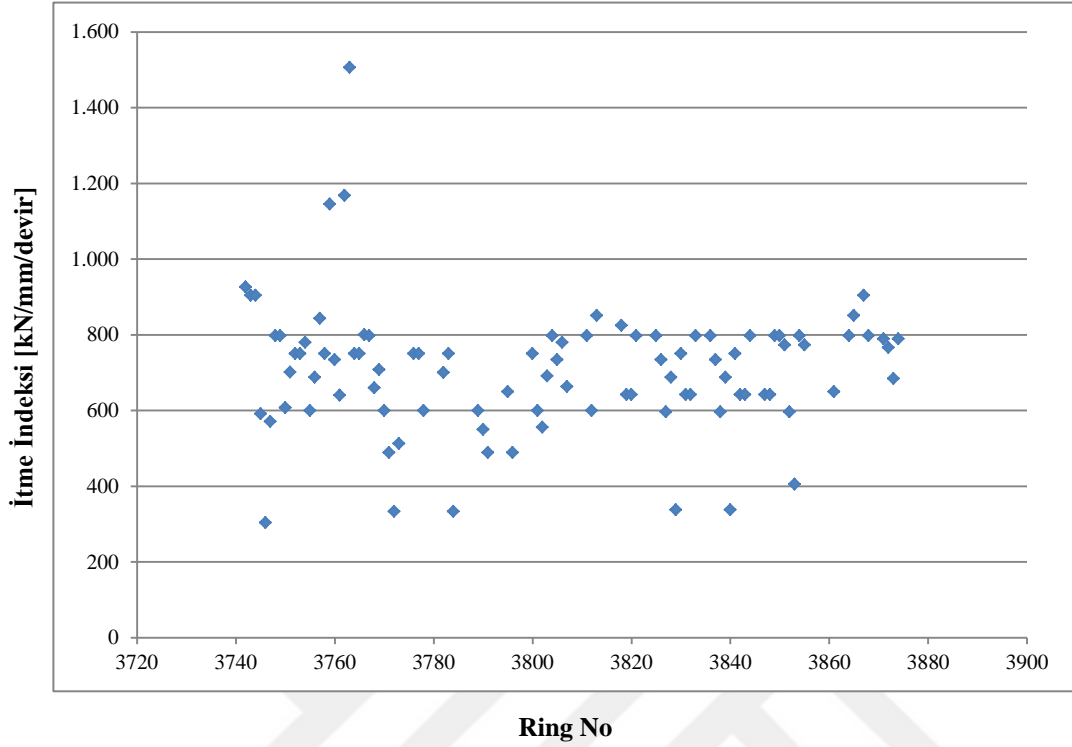


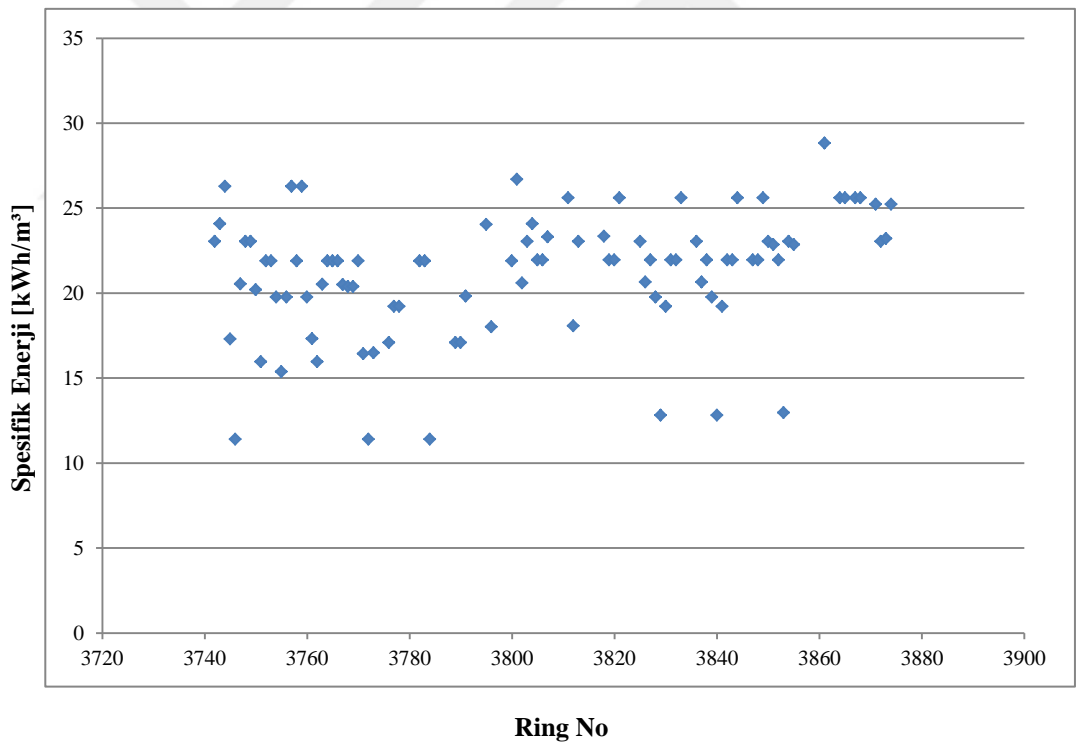
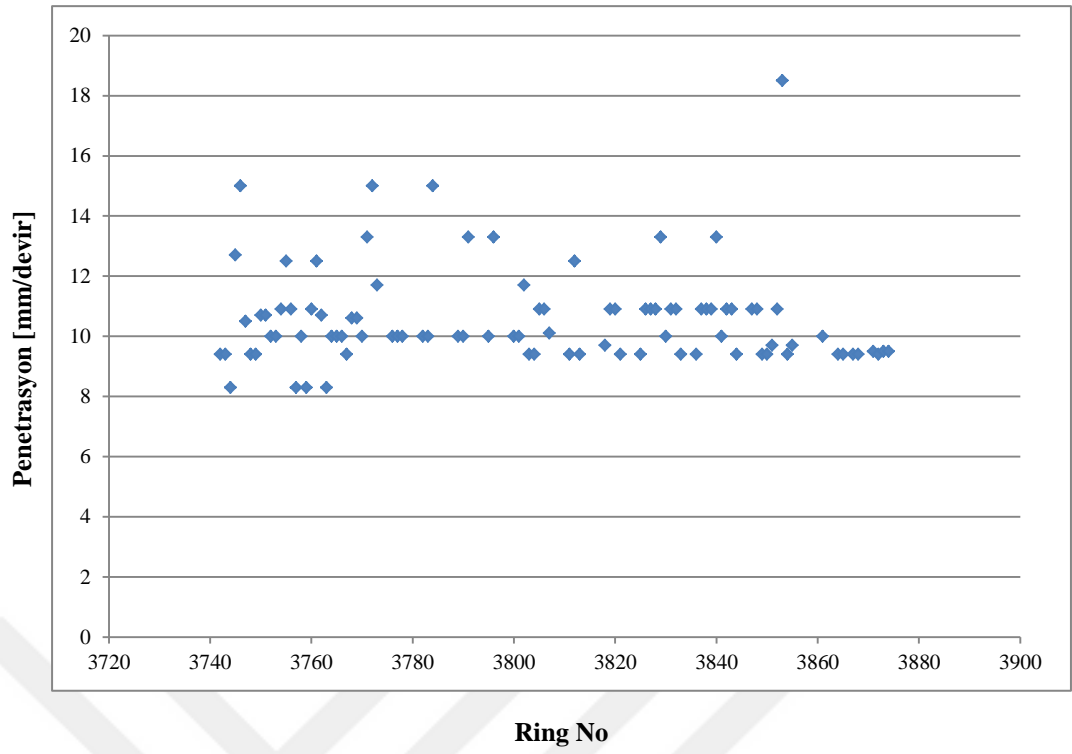
**Peridotit – serpantinit çok çatlaklı ve tünele su girişinin olduğu durumlar için itme indeksi, tork indeksi, penetrasyon ve spesifik enerji değerleri**



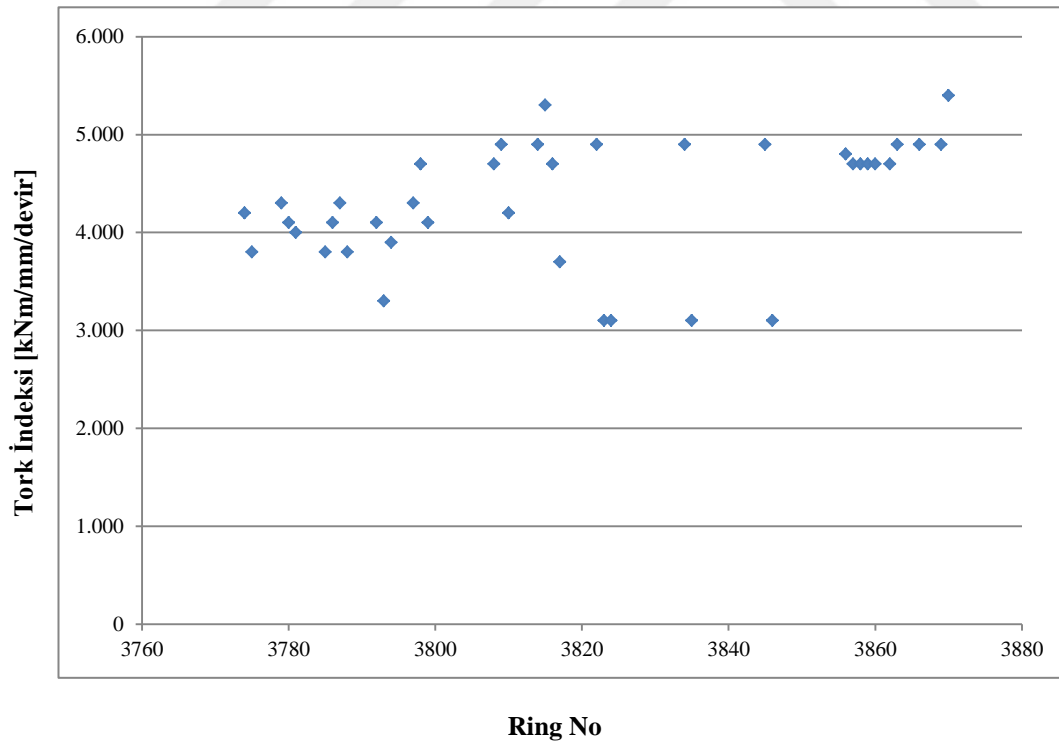
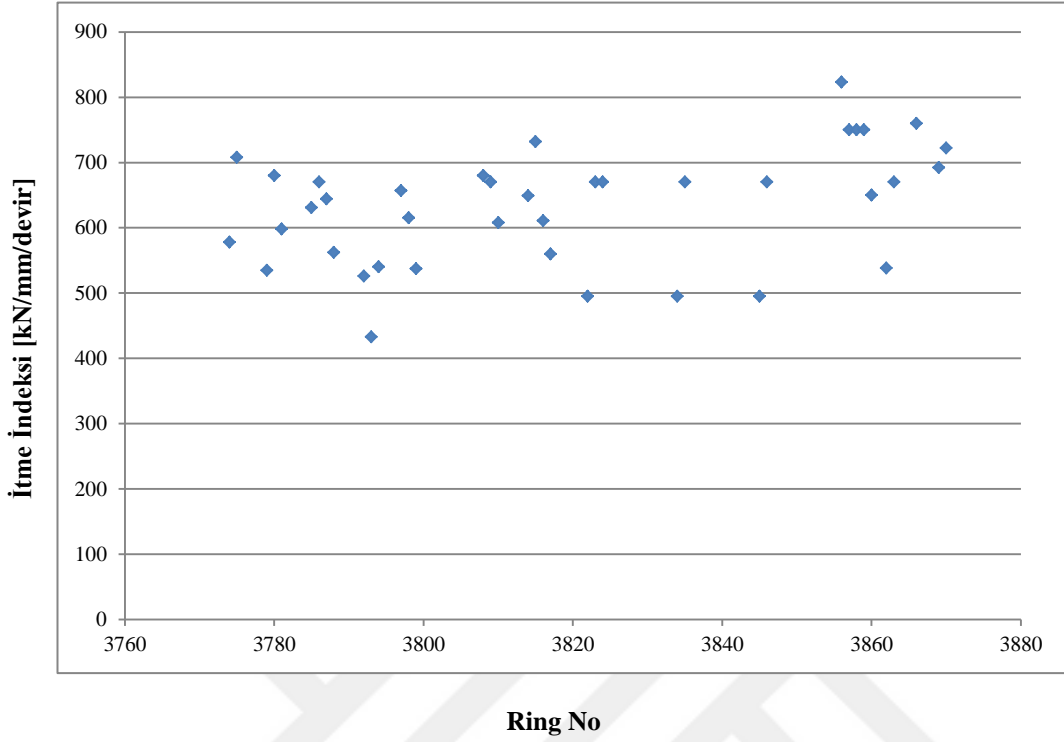


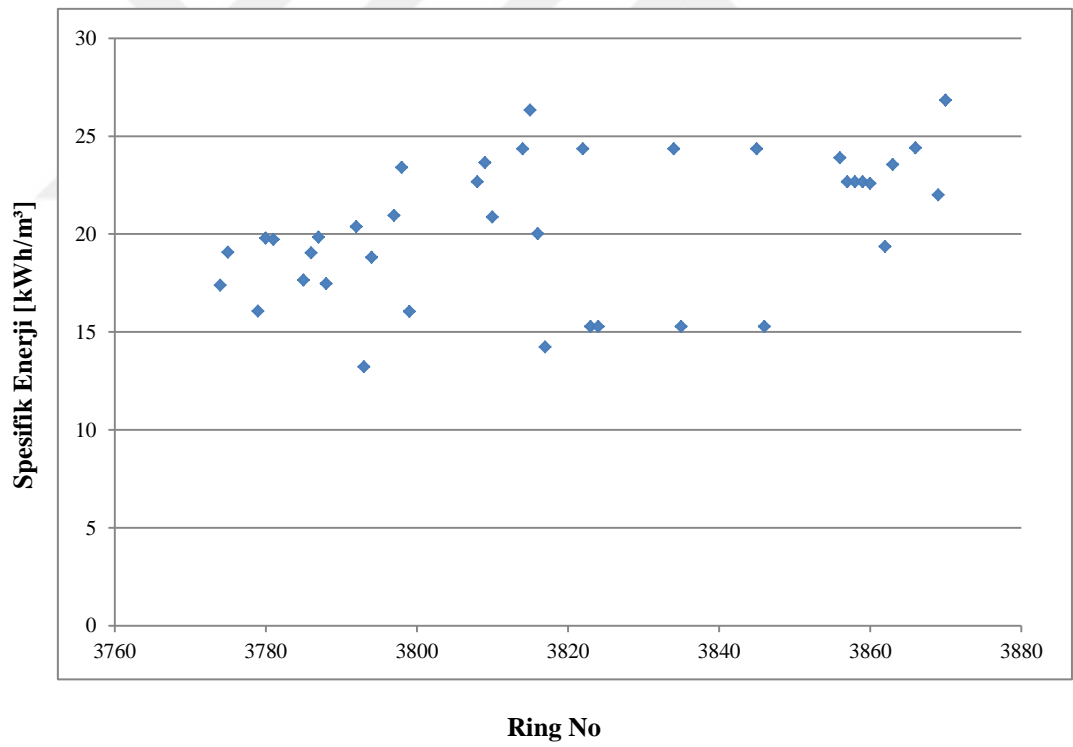
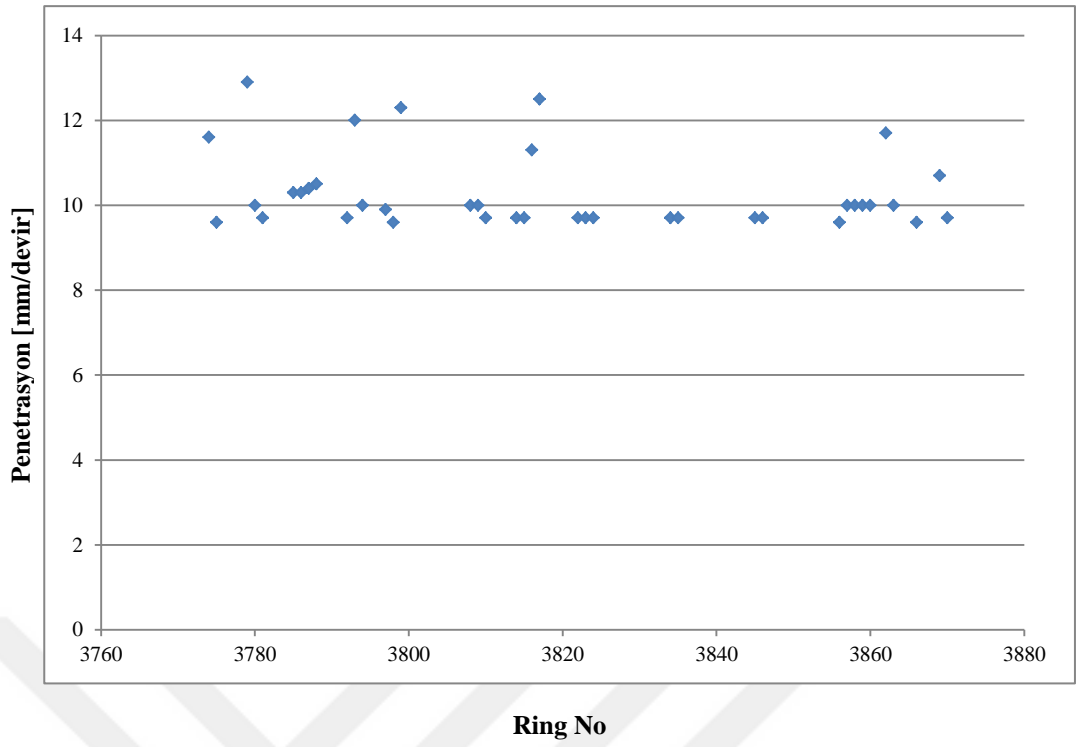
**Serpantinit ve tünele su girişinin olmadığı durumlar için itme indeksi, tork indeksi, penetrasyon ve spesifik enerji değerleri**





**Serpantinit ve tünele su girişinin olmadığı durumlar için itme indeksi, tork indeksi, penetrasyon ve spesifik enerji değerleri**





## EK B

Hesap yapılan ring sayısı fazla olduğu için burada hesapların nasıl yapıldığını göstermek amacıyla az sayıda ringe ait hesap detayları gösterilmiştir.

### Peridotit ve Tünele Su Gelirinin Olmadığı Duruma Ait Hesaplar

**Çizelge Ek.1:** Peridotit ve tünele su gelirinin olmadığı duruma ait hesaplar.

Kılavuzlu Sulaması Ana Kanalı 1. Kısım İnşaatı																	
Kazı Ve Ring Montajı Değerlendirme																	
Makinadan Okunan Değerler / Vardiya Raporları										Hesap			Terzaghi Sınıflama				
Ring No	Km	Thrust (kN)	Ortalama İtme İndeksi kN/(mm/devir)	Tork (kNm)	Ortalama Tork İndeksi kNm/(mm/devir)	FT/T 1/m	Dönme Hızı (RPM)	İlerleme Hızı mm/da	Ortalama Penetrasyon mm/dev	SE kWh/m <sup>3</sup>	N devir/sn	Güç 2[[I.N.T kW	A m <sup>2</sup>	Kazı Hacmi m <sup>3</sup> /h	Uygulama	Jeoloji	Tünele Aynadan Su Girişi
200	70+268,00	11.800	825	5.100	357	2,31	3,15	45	14,3	17,16	0,0525	1682,32	36,32	98,06	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok
201	70+266,60	10.500	1.050	5.000	500	2,1	3	30	10	24,03	0,05	1570,8	36,32	65,38	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok
202	70+265,20	10.000	1.000	5.000	500	2	3	30	10	24,03	0,05	1570,8	36,32	65,38	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok
203	70+263,80	10.000	855	5.000	427	2	3	35	11,7	20,6	0,05	1570,8	36,32	76,27	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok
204	70+262,40	10.000	855	5.000	427	2	3	35	11,7	20,6	0,05	1570,8	36,32	76,27	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok
205	70+261,00	10.500	1.050	7.300	730	1,44	3	30	10	35,08	0,05	2293,36	36,32	65,38	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok
206	70+259,60	10.000	752	6.500	489	1,54	3	40	13,3	23,43	0,05	2042,04	36,32	87,17	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok
207	70+258,20	11.300	1.000	5.650	500	2	3,1	35	11,3	24,06	0,0517	1835,35	36,32	76,27	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok
208	70+256,80	11.200	772	5.200	359	2,15	3,1	45	14,5	17,23	0,0517	1689,17	36,32	98,06	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok
209	70+255,40	11.650	1.031	5.300	469	2,2	3,1	35	11,3	22,57	0,0517	1721,66	36,32	76,27	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok



**Çizelge Ek.1 (devam):** Peridotit ve tünele su gelirinun olmadığı duruma ait hesaplar.

Kılavuzlu Sulaması Ana Kanalı 1. Kısım İnşaatı Kazı Ve Ring Montajı Değerlendirme																	
Makinadan Okunan Değerler / Vardiya Raporları										Hesap				Terzaghi Sınıflama		Tünele Aynadan Su Girişİ	
Ring No	Km	Thrust (kN)	Ortalama İtme İndeksi kN/(mm/devir)	Tork (kNm)	Ortalama Tork İndeksi kNm/(mm/devir)	FT/T 1/m	Dönme Hızı (RPM)	İlerleme Hızı mm/da	Ortalama Penetrasyon mm/dev	SE kWh/m <sup>3</sup>	N devir/sn	Güç 2π.N.T kW	A m <sup>2</sup>	Kazı Hacmi m <sup>3</sup> /h	Uygulama	Jeoloji	Tünele Aynadan Su Girişİ
210	70+254,00	11.750	1.040	5.650	500	2,08	3,1	35	11,3	24,06	0,0517	1835,35	36,32	76,27	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok
211	70+252,60	11.350	783	5.600	386	2,03	3,1	45	14,5	18,55	0,0517	1819,11	36,32	98,06	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok
212	70+251,20	11.500	1.018	5.000	442	2,3	3,1	35	11,3	21,3	0,0517	1624,2	36,32	76,27	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok
213	70+249,80	11.500	1.018	5.000	442	2,3	3,1	35	11,3	21,3	0,0517	1624,2	36,32	76,27	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok
214	70+248,40	10.000	667	5.000	333	2	3	45	15	16,02	0,05	1570,8	36,32	98,06	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok
215	70+247,00	10.000	667	5.000	333	2	3	45	15	16,02	0,05	1570,8	36,32	98,06	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok
216	70+245,60	10.500	1.050	5.000	500	2,1	3	30	10	24,03	0,05	1570,8	36,32	65,38	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok
217	70+244,20	11.200	868	5.100	395	2,2	3,1	40	12,9	19,01	0,0517	1656,69	36,32	87,17	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok
218	70+242,80	10.800	720	5.300	353	2,04	3	45	15	16,98	0,05	1665,04	36,32	98,06	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok
219	70+241,40	11.100	860	5.400	419	2,06	3,1	40	12,9	20,12	0,0517	1754,14	36,32	87,17	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok
220	70+240,00	11.250	776	5.150	355	2,18	3,1	45	14,5	17,06	0,0517	1672,93	36,32	98,06	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok
221	70+238,60	10.850	927	6.500	556	1,67	3	35	11,7	26,77	0,05	2042,04	36,32	76,27	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok
222	70+237,20	11.500	1.018	5.500	487	2,09	3,1	35	11,3	23,42	0,0517	1786,62	36,32	76,27	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok
223	70+235,80	10.500	789	5.500	414	1,91	3	40	13,3	19,82	0,05	1727,88	36,32	87,17	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok
224	70+234,40	10.000	461	5.000	230	2	3	65	21,7	11,09	0,05	1570,8	36,32	141,65	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok
225	70+233,00	10.000	667	5.500	367	1,82	3	45	15	17,62	0,05	1727,88	36,32	98,06	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok
226	70+231,60	11.500	891	6.000	465	1,92	3,1	40	12,9	22,36	0,0517	1949,04	36,32	87,17	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok

**Çizelge Ek.1 (devam): Peridotit ve tünele su gelirinin olmadığı duruma ait hesaplar.**

Kılavuzlu Sulaması Ana Kanalı 1. Kısım İnşaatı																		
Kazı Ve Ring Montajı Değerlendirme																		
Makinadan Okunan Değerler / Vardiya Raporları										Hesap			Terzaghi Sınıflama		Jeoloji			Tünele Aynadan Su Girişi
Ring No	Km	Thrust (kN)	Ortalama İtme İndeksi kN/(mm/devir)	Tork (kNm)	Ortalama Tork İndeksi kNm/(mm/devir)	FT/T 1/m	Dönme Hızı (RPM)	İlerleme Hızı mm/da	Ortalama Penetrasyon mm/dev	SE kWh/m <sup>3</sup>	N devir/sn	Güç 2[[.N.T kW	A m <sup>2</sup>	Kazı Hacmi m <sup>3</sup> /h	Uygulama	Jeoloji	Tünele Aynadan Su Girişi	
227	70+230,20	11.300	876	5.200	403	2,17	3,1	40	12,9	19,38	0,0517	1689,17	36,32	87,17	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok	
228	70+228,80	11.300	876	5.200	403	2,17	3,1	40	12,9	19,38	0,0517	1689,17	36,32	87,17	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok	
229	70+227,40	11.300	1.395	5.300	654	2,13	3,1	25	8,1	31,6	0,0517	1721,66	36,32	54,48	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok	
230	70+226,00	11.200	991	5.200	460	2,15	3,1	35	11,3	22,15	0,0517	1689,17	36,32	76,27	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok	
231	70+224,60	11.250	1.160	5.200	536	2,16	3,1	30	9,7	25,84	0,0517	1689,17	36,32	65,38	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok	
232	70+223,20	9.000	677	5.000	376	1,8	3	40	13,3	18,02	0,05	1570,8	36,32	87,17	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok	
233	70+221,80	8.000	588	4.500	331	1,78	2,95	40	13,6	15,96	0,0492	1391,1	36,32	87,17	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok	
234	70+220,40	10.000	752	4.500	338	2,22	3	40	13,3	16,22	0,05	1413,72	36,32	87,17	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok	
235	70+219,00	8.000	588	5.000	368	1,6	2,95	40	13,6	17,73	0,0492	1545,66	36,32	87,17	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok	
236	70+217,60	11.300	753	5.200	347	2,17	3	45	15	16,66	0,05	1633,63	36,32	98,06	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok	
237	70+216,20	11.200	747	5.100	340	2,2	3	45	15	16,34	0,05	1602,21	36,32	98,06	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok	
238	70+214,80	7.889	641	5.422	441	1,45	2,85	35	12,3	21,22	0,0475	1618,2	36,32	76,27	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok	
239	70+213,40	7.810	558	5.420	387	1,44	2,85	40	14	18,56	0,0475	1617,61	36,32	87,17	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok	
240	70+212,00	10.000	752	5.500	414	1,82	3	40	13,3	19,82	0,05	1727,88	36,32	87,17	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok	
241	70+210,60	10.500	789	5.500	414	1,91	3	40	13,3	19,82	0,05	1727,88	36,32	87,17	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok	
242	70+209,20	10.000	752	5.000	376	2	3	40	13,3	18,02	0,05	1570,8	36,32	87,17	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok	
243	70+207,80	10.000	752	5.000	376	2	3	40	13,3	18,02	0,05	1570,8	36,32	87,17	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok	
244	70+206,40	10.250	683	5.100	340	2,01	3	45	15	16,34	0,05	1602,21	36,32	98,06	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok	
245	70+205,00	8.110	588	5.430	393	1,49	2,9	40	13,8	18,9	0,0483	1647,88	36,32	87,17	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok	
246	70+203,60	10.614	965	5.577	507	1,9	3	33	11	24,36	0,05	1752,07	36,32	71,91	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok	
247	70+202,20	9.457	618	5.463	357	1,73	2,95	45	15,3	17,22	0,0492	1688,79	36,32	98,06	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok	
248	70+200,80	10.195	625	5.535	340	1,84	3	49	16,3	16,28	0,05	1738,87	36,32	106,78	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok	
249	70+199,40	10.886	990	5.355	487	2,03	3	33	11	23,39	0,05	1682,32	36,32	71,91	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok	
250	70+198,00	10.000	752	5.000	376	2	3	40	13,3	18,02	0,05	1570,8	36,32	87,17	3 No'lu Zemin	Peridotit	Yok	

## Peridotit ve Tünel Su Gelirinin Olmadığı Duruma Ait Hesaplar

**Çizelge Ek.2:** Peridotit ve tünel su gelirinin olduğu duruma ait hesaplar.

Kılavuzlu Sulaması Ana Kanalı 1. Kısım İnşaatı																		
Kazı Ve Ring Montajı Değerlendirme																		
Makinadan Okunan Değerler / Vardiya Raporları										Hesap				Terzaghi Sınıflama				
Ring No	Km	Thrust (kN)	Ortalama İtme İndeksi kN/(mm/devir)	Tork (kNm)	Ortalama Tork İndeksi kNm/(mm/devir)	FT/T 1/m	Dönme Hızı (RPM)	İlerleme Hızı mm/da	Ortalama Penetrasyon mm/dev	SE kWh/m <sup>3</sup>	N devir/sn	Güç 2 $\frac{1}{2}$ I.N.T kW	A m <sup>2</sup>	Kazı Hacmi m <sup>3</sup> /h	Uygulama	Jeoloji	Tünel Aynadan Su Girişi	
634	69+660,40	9.000	989	5.000	549	1,8	2,75	25	9,1	26,41	0,0458	1438,85	36,32	54,48	3 No'lu Zemin	Peridotit	Var	
958	69+206,80	7.500	701	5.000	467	1,5	2,8	30	10,7	22,44	0,0467	1467,12	36,32	65,38	3 No'lu Zemin	Peridotit	Var	
959	69+205,40	7.500	524	4.000	280	1,88	2,8	40	14,3	13,46	0,0467	1173,7	36,32	87,17	3 No'lu Zemin	Peridotit	Var	
960	69+204,00	7.500	524	4.000	280	1,88	2,8	40	14,3	13,46	0,0467	1173,7	36,32	87,17	3 No'lu Zemin	Peridotit	Var	
1030	69+106,00	6.750	508	4.000	301	1,69	3	40	13,3	14,42	0,05	1256,64	36,32	87,17	3 No'lu Zemin	Peridotit	Var	
	Standart Sapma	735	184	490	112					5,4	0,0015	127,26	0	13,78				
	Ortalama	7.650	649	4.400	375	1,7	2,83	35	12,3	18	0,0472	1302	36,32	76,27				

## Peridotit ve Tünele Su Gelirinin Olmadığı Duruma Ait Hesaplar

Çizelge Ek.3: Peridotit parçalı çok çatlaklı ve tünele su gelirinin oldu duruma ait hesaplar.

Kılavuzlu Sulaması Ana Kanalı 1. Kısım İnşaatı																	
Kazı Ve Ring Montajı Değerlendirme																	
Makinadan Okunan Değerler / Vardiya Raporları										Hesap				Terzaghi Sınıflama			
Ring No	Km	Thrust (kN)	Ortalama İtme İndeksi kN/(mm/devir)	Tork (kNm)	Ortalama Tork İndeksi kNm/(mm/devir)	FT/T 1/m	Dönme Hızı (RPM)	İlerleme Hızı mm/da	Ortalama Penetrasyon mm/dev	SE kWh/m <sup>3</sup>	N devir/sn	Güç 2[[.N.T kW	A m <sup>2</sup>	Kazı Hacmi m <sup>3</sup> /h	Uygulama	Jeoloji	Tünele Aynadan Su Girişi
303	70+123,80	12.000	1.905	5.000	794	2,4	3,2	20	6,3	38,42	0,0533	1674,47	36,32	43,58	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var
304	70+122,40	9.596	722	4.978	374	1,93	3	40	13,3	17,94	0,05	1563,88	36,32	87,17	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var
305	70+121,00	10.900	1.817	4.300	717	2,53	3	18	6	34,43	0,05	1350,88	36,32	39,23	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var
306	70+119,60	11.193	1.454	4.325	562	2,59	3,1	24	7,7	26,86	0,0517	1404,94	36,32	52,3	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var
307	70+118,20	12.000	2.400	5.000	1000	2,4	3	15	5	48,05	0,05	1570,8	36,32	32,69	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var
308	70+116,80	12.000	2.400	5.500	1100	2,18	3	15	5	52,86	0,05	1727,88	36,32	32,69	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var
309	70+115,40	14.631	1.925	4.570	601	3,2	2,9	22	7,6	28,93	0,0483	1386,89	36,32	47,94	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var
310	70+114,00	10.667	889	4.750	396	2,25	3	36	12	19,02	0,05	1492,26	36,32	78,45	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var
311	70+112,60	9.204	894	3.228	313	2,85	2,9	30	10,3	14,98	0,0483	979,63	36,32	65,38	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var
312	70+111,20	13.000	1.940	3.500	522	3,71	3	20	6,7	25,23	0,05	1099,56	36,32	43,58	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var
313	70+109,80	12.500	2.500	4.500	900	2,78	3	15	5	43,25	0,05	1413,72	36,32	32,69	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var
314	70+108,40	12.500	6.250	2.500	1250	5	2,5	5	2	60,09	0,0417	655,02	36,32	10,9	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var
315	70+107,00	14.000	2.800	4.100	820	3,41	3	15	5	39,4	0,05	1288,05	36,32	32,69	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var
316	70+105,60	13.870	1.491	4.386	472	3,16	3	28	9,3	22,58	0,05	1377,9	36,32	61,02	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var
317	70+104,20	11.886	1.585	3.579	477	3,32	2,65	20	7,5	22,81	0,0442	993,95	36,32	43,58	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var
318	70+102,80	12.000	1.791	4.000	597	3	3	20	6,7	28,84	0,05	1256,64	36,32	43,58	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var
319	70+101,40	12.000	1.791	4.000	597	3	3	20	6,7	28,84	0,05	1256,64	36,32	43,58	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var
325	70+093,00	12.000	1.791	5.000	746	2,4	3	20	6,7	36,04	0,05	1570,8	36,32	43,58	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var
326	70+091,60	12.000	2.400	4.000	800	3	3	15	5	38,44	0,05	1256,64	36,32	32,69	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var
327	70+090,20	10.500	1.050	5.000	500	2,1	3	30	10	24,03	0,05	1570,8	36,32	65,38	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var
328	70+088,80	12.500	2.500	4.500	900	2,78	3	15	5	43,25	0,05	1413,72	36,32	32,69	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var

**Çizelge Ek.3.(devam):** Peridotit parçalı çok çatlaklı ve tünele su gelirinin oldu duruma ait hesaplar.

Kılavuzlu Sulaması Ana Kanalı 1. Kısım İnşaatı																		
Kazı Ve Ring Montajı Değerlendirme																		
Makinadan Okunan Değerler / Vardiya Raporları										Hesap				Terzaghi Sınıflama		Jeoloji		Tünel Aynadan Su Girişi
Ring No	Km	Thrust (kN)	Ortalama İtme İndeksi kN/(mm/devir)	Tork (kNm)	Ortalama Tork İndeksi kNm/(mm/devir)	FT/T 1/m	Dönme Hızı (RPM)	İlerleme Hızı mm/da	Ortalama Penetrasyon mm/dev	SE kWh/m <sup>3</sup>	N devir/sn	Güç 2[.N.T kW	A m <sup>2</sup>	Kazı Hacmi m <sup>3</sup> /h	Uygulama	Jeoloji	Tünel Aynadan Su Girişi	
357	70+048,20	12.500	5.000	5.500	2200	2,27	3	7,5	2,5	105,75	0,05	1727,88	36,32	16,34	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var	
462	69+901,20	7.000	1.167	1.900	317	3,68	2,5	15	6	15,23	0,0417	497,82	36,32	32,69	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var	
463	69+899,80	7.000	350	2.000	100	3,5	1,5	30	20	4,81	0,025	314,16	36,32	65,38	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var	
464	69+898,40	10.000	1.493	2.000	299	5	3	20	6,7	14,42	0,05	628,32	36,32	43,58	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var	
498	69+850,80	9.000	3.103	2.000	690	4,5	2,8	8	2,9	33,67	0,0467	586,85	36,32	17,43	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var	
523	69+815,80	6.000	513	4.500	385	1,33	3	35	11,7	18,54	0,05	1413,72	36,32	76,27	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var	
524	69+814,40	7.500	641	4.000	342	1,88	3	35	11,7	16,48	0,05	1256,64	36,32	76,27	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var	
529	69+807,40	8.000	602	4.500	338	1,78	3	40	13,3	16,22	0,05	1413,72	36,32	87,17	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var	
530	69+806,00	8.000	602	4.500	338	1,78	3	40	13,3	16,22	0,05	1413,72	36,32	87,17	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var	
531	69+804,60	8.000	602	4.500	338	1,78	3	40	13,3	16,22	0,05	1413,72	36,32	87,17	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var	
532	69+803,20	8.000	602	5.000	376	1,6	3	40	13,3	18,02	0,05	1570,8	36,32	87,17	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var	
533	69+801,80	8.000	552	4.500	310	1,78	2,75	40	14,5	14,86	0,0458	1294,96	36,32	87,17	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var	
538	69+794,80	9.000	1.011	5.000	562	1,8	2,8	25	8,9	26,93	0,0467	1467,12	36,32	54,48	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var	
539	69+793,40	10.000	1.370	4.500	616	2,22	2,75	20	7,3	29,71	0,0458	1294,96	36,32	43,58	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var	
540	69+792,00	10.000	690	5.000	345	2	2,75	40	14,5	16,51	0,0458	1438,85	36,32	87,17	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var	
541	69+790,60	10.000	787	5.000	394	2	2,75	35	12,7	18,87	0,0458	1438,85	36,32	76,27	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var	
545	69+785,00	12.000	1.644	3.000	411	4	2,75	20	7,3	19,81	0,0458	863,31	36,32	43,58	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var	
546	69+783,60	11.000	2.973	5.000	1351	2,2	2,7	10	3,7	64,88	0,045	1413,72	36,32	21,79	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var	
547	69+782,20	10.000	2.381	5.000	1190	2	2,4	10	4,2	57,67	0,04	1256,64	36,32	21,79	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var	
548	69+780,80	10.100	1.942	4.100	788	2,46	2,9	15	5,2	38,06	0,0483	1244,26	36,32	32,69	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var	
549	69+779,40	10.000	1.852	5.000	926	2	2,8	15	5,4	44,88	0,0467	1467,12	36,32	32,69	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var	
550	69+778,00	12.000	3.000	5.000	1250	2,4	2,5	10	4	60,12	0,0417	1310,04	36,32	21,79	4 No'lu Zemin	Peridotit / Parçalı Çatlaklı	Var	

## Peridotit Serpantinit ve Tünel Su Gelirinin Olmadığı Duruma Ait Hesaplar

Çizelge Ek.4: Peridotit parçalı çok çatlaklı ve tünel su gelirinin oldu duruma ait hesaplar.

Kılavuzlu Sulaması Ana Kanalı 1. Kısım İnşaatı																		
Kazı Ve Ring Montajı Değerlendirme																		
Makinadan Okunan Değerler / Vardiya Raporları										Hesap				Terzagli Sınıflama		Jeoloji		Tünel Aynadan Su Girişi
Ring No	Km	Thrust (kN)	Ortalama İtme İndeksi kN/(mm/devir)	Tork (kNm)	Ortalama Tork İndeksi kNm/(mm/devir)	FT/T 1/m	Dönme Hızı (RPM)	İlerleme Hızı mm/da	Ortalama Penetrasyon mm/dev	SE kWh/m <sup>3</sup>	N devir/sn	Güç 2[[].N.T kW	A m <sup>2</sup>	Kazı Hacmi m <sup>3</sup> /h	Uygulama	Jeoloji	Tünel Aynadan Su Girişi	
2471	67+088,60	7000	745	3250	346	2,15	3,2	30	9,4	16,65	0,0533	1088,4	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Yok	
2472	67+087,20	6000	600	3500	350	1,71	3	30	10	16,82	0,05	1099,56	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok	
2473	67+085,80	7000	700	3000	300	2,33	3	30	10	14,42	0,05	942,48	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok	
2474	67+084,40	7500	750	3500	350	2,14	3	30	10	16,82	0,05	1099,56	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok	
2479	67+077,40	9500	1145	3500	422	2,71	3	25	8,3	20,18	0,05	1099,56	36,32	54,48	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok	
2480	67+076,00	9500	1056	2750	306	3,45	3	27	9	14,68	0,05	863,94	36,32	58,84	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok	
2481	67+074,60	9500	1145	3000	361	3,17	3	25	8,3	17,3	0,05	942,48	36,32	54,48	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok	
2482	67+073,20	9750	1266	2800	364	3,48	3	23	7,7	17,55	0,05	879,65	36,32	50,12	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok	
2487	67+066,20	1000	149	2750	410	0,36	3	20	6,7	19,82	0,05	863,94	36,32	43,58	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok	
2488	67+064,80	9500	1234	2750	357	3,45	3	23	7,7	17,24	0,05	863,94	36,32	50,12	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok	
2489	67+063,40	9500	1145	2750	331	3,45	3	25	8,3	15,86	0,05	863,94	36,32	54,48	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok	
2490	67+062,00	8500	850	4000	400	2,13	3	30	10	19,22	0,05	1256,64	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok	
2491	67+060,60	9500	1145	3500	422	2,71	3	25	8,3	20,18	0,05	1099,56	36,32	54,48	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok	
2496	67+053,60	7500	904	3750	452	2	3	25	8,3	21,62	0,05	1178,1	36,32	54,48	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok	
2497	67+052,20	8500	1024	3500	422	2,43	3	25	8,3	20,18	0,05	1099,56	36,32	54,48	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok	
2498	67+050,80	7500	904	3500	422	2,14	3	25	8,3	20,18	0,05	1099,56	36,32	54,48	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok	
2499	67+049,40	5000	500	3000	300	1,67	3	30	10	14,42	0,05	942,48	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok	
2500	67+048,00	4500	391	2250	196	2	3,05	35	11,5	9,42	0,0508	718,17	36,32	76,27	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok	
2501	67+046,60	7500	652	3000	261	2,5	2,6	30	11,5	12,48	0,0433	816,19	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok	
2502	67+045,20	6000	366	3000	183	2	2,75	45	16,4	8,8	0,0458	863,31	36,32	98,06	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok	
2503	67+043,80	8000	488	3000	183	2,67	2,75	45	16,4	8,8	0,0458	863,31	36,32	98,06	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok	
2504	67+042,40	8000	615	3000	231	2,67	2,7	35	13	11,12	0,045	848,23	36,32	76,27	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok	

**Çizelge Ek.4.(devam):** Peridotit parçalı çok çatlaklı ve tünele su gelirinin oldu duruma ait hesaplar.

Kılavuzlu Sulaması Ana Kanalı 1. Kısım İnşaatı																	
Kazı Ve Ring Montajı Değerlendirme																	
Makinadan Okunan Değerler / Vardiya Raporları												Hesap			Terzaghi Sınıflama		
Ring No	Km	Thrust (kN)	Ortalama İtme İndeksi kN/(mm/devir)	Tork (kNm)	Ortalama Tork İndeksi kNm/(mm/devir)	FT/T 1/m	Dönme Hızı (RPM)	İlerleme Hızı mm/da	Ortalama Penetrasyon mm/dev	SE kWh/m <sup>3</sup>	N devir/sn	Güç 2[[.N.T kW	A m <sup>2</sup>	Kazı Hacmi m <sup>3</sup> /h	Uygulama	Jeoloji	Tünel Aynadan Su Girişi
2505	67+041,00	8500	810	3500	333	2,43	2,85	30	10,5	15,98	0,0475	1044,58	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok
2506	67+039,60	9500	1696	2750	491	3,45	2,7	15	5,6	23,79	0,045	777,54	36,32	32,69	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok
2507	67+038,20	9500	1044	2750	302	3,45	2,75	25	9,1	14,53	0,0458	791,37	36,32	54,48	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok
2508	67+036,80	9500	1145	3000	361	3,17	3	25	8,3	17,3	0,05	942,48	36,32	54,48	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok
2524	67+014,40	9500	1145	3250	392	2,92	3	25	8,3	18,74	0,05	1021,02	36,32	54,48	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok
2525	67+013,00	9500	1145	3250	392	2,92	3	25	8,3	18,74	0,05	1021,02	36,32	54,48	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok
2535	66+999,00	11000	2973	3000	811	3,67	2,7	10	3,7	38,93	0,045	848,23	36,32	21,79	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok
2602	66+905,20	9000	978	3700	402	2,43	3,25	30	9,2	19,27	0,0542	1260,03	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok
2603	66+903,80	8700	946	3700	402	2,35	3,25	30	9,2	19,27	0,0542	1260,03	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok
2604	66+902,40	8900	899	4600	465	1,93	3,03	30	9,9	22,32	0,0505	1459,58	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok
2605	66+901,00	9200	948	3100	320	2,97	3,1	30	9,7	15,4	0,0517	1007,01	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok
2606	66+899,60	9800	980	3300	330	2,97	3	30	10	15,86	0,05	1036,73	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok
2607	66+898,20	8700	989	3700	420	2,35	3,4	30	8,8	20,16	0,0567	1318,15	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok
2608	66+896,80	9500	979	4500	464	2,11	3,1	30	9,7	22,36	0,0517	1461,78	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok
2609	66+895,40	9000	1023	4000	455	2,25	3,4	30	8,8	21,8	0,0567	1425,03	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok
2610	66+894,00	10000	800	4500	360	2,22	2	25	12,5	17,28	0,0333	941,54	36,32	54,48	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok
2611	66+892,60	10000	1000	4500	450	2,22	2,5	25	10	21,64	0,0417	1179,04	36,32	54,48	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok
2612	66+891,20	10000	1351	4000	541	2,5	3,4	25	7,4	26,16	0,0567	1425,03	36,32	54,48	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok
2613	66+889,80	10000	1087	4000	435	2,5	3,25	30	9,2	20,83	0,0542	1362,19	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok
2614	66+888,40	9500	1080	3700	420	2,57	3,4	30	8,8	20,16	0,0567	1318,15	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok
2615	66+887,00	9200	979	4500	479	2,04	3,2	30	9,4	23,05	0,0533	1507,02	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok
2617	66+884,20	9100	938	3900	402	2,33	3,1	30	9,7	19,38	0,0517	1266,88	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok
2618	66+882,80	9000	978	4000	435	2,25	3,25	30	9,2	20,83	0,0542	1362,19	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok
2621	66+878,60	8700	870	3700	370	2,35	3,01	30	10	17,85	0,0502	1167,04	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantin	Yok

## Peridotit Serpantinit ve Tünel Su Gelirinin Olduğu Duruma Ait Hesaplar

Çizelge Ek.5: Peridotit serpantinit ve tünel su gelirinin olduğu duruma ait hesaplar.

Kılavuzlu Sulaması Ana Kanalı 1. Kısım İnşaatı																	
Kazı Ve Ring Montajı Değerlendirme																	
Makinadan Okunan Değerler / Vardiya Raporları										Hesap					Terzaghi Sınıflama		Tünel Aynadan Su Girişi
Ring No	Km	Thrust (kN)	Ortalama İtme İndeksi kN/(mm/devir)	Tork (kNm)	Ortalama Tork İndeksi kNm/(mm/d evir)	FT/T 1/m	Dönme Hızı (RPM)	İlerleme Hızı mm/da	Ortalama Penetrasyon mm/dev	SE kWh/m <sup>3</sup>	N devir/sn	Güç 2[I].N.T kW	A m <sup>2</sup>	Kazı Hacmi m <sup>3</sup> /h	Uygulama	Jeoloji	Tünel Aynadan Su Girişi
2469	67+091,40	7200	447	3900	242	1,85	3,1	50	16,1	11,63	0,0517	1266,88	36,32	108,96	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2470	67+090,00	7300	453	3800	236	1,92	3,1	50	16,1	11,33	0,0517	1234,39	36,32	108,96	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2475	67+083,00	7300	613	3200	269	2,28	2,93	35	11,9	12,86	0,0488	981,18	36,32	76,27	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2476	67+081,60	9700	970	3900	390	2,49	3,01	30	10	18,81	0,0502	1230,12	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2477	67+080,20	9800	1021	3400	354	2,88	3,12	30	9,6	16,99	0,052	1110,87	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2478	67+078,80	9900	990	3300	330	3	3,01	30	10	15,92	0,0502	1040,87	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2483	67+071,80	9000	756	3200	269	2,81	2,93	35	11,9	12,86	0,0488	981,18	36,32	76,27	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2484	67+070,40	10100	1148	3900	443	2,59	2,85	25	8,8	21,36	0,0475	1163,96	36,32	54,48	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2485	67+069,00	9100	938	3400	351	2,68	3,08	30	9,7	16,76	0,0513	1095,91	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2486	67+067,60	9572	977	3500	357	2,73	3,05	30	9,8	17,09	0,0508	1117,15	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2492	67+059,20	9200	911	4200	416	2,19	2,97	30	10,1	19,98	0,0495	1306,27	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2493	67+057,80	8500	850	4300	430	1,98	3	30	10	20,66	0,05	1350,88	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2494	67+056,40	8500	726	4300	368	1,98	3	35	11,7	17,71	0,05	1350,88	36,32	76,27	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2495	67+055,00	8600	748	3400	296	2,53	2,6	30	11,5	14,15	0,0433	925,01	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2509	67+035,40	8200	820	2100	210	3,9	3	30	10	10,09	0,05	659,73	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2510	67+034,00	8900	774	2800	243	3,18	2,6	30	11,5	11,65	0,0433	761,77	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2511	67+032,60	8900	864	3200	311	2,78	2,9	30	10,3	14,85	0,0483	971,13	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2512	67+031,20	8400	824	2800	275	3	2,95	30	10,2	13,24	0,0492	865,57	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2513	67+029,80	8900	848	2800	267	3,18	2,85	30	10,5	12,78	0,0475	835,66	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2514	67+028,40	9300	912	2400	235	3,88	2,95	30	10,2	11,35	0,0492	741,92	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2515	67+027,00	9500	1267	2000	267	4,75	2,65	20	7,5	12,75	0,0442	555,43	36,32	43,58	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2516	67+025,60	9500	1418	3500	522	2,71	3	20	6,7	25,23	0,05	1099,56	36,32	43,58	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var



**Çizelge Ek.5 (devam) : Peridotit serpantinit ve tünele su gelirinin olduğu duruma ait hesaplar.**

Kılavuzlu Sulaması Ana Kanalı 1. Kısım İnşaatı																	
Kazı Ve Ring Montajı Değerlendirme																	
Makinadan Okunan Değerler / Vardiya Raporları										Hesap				Terzaghi Sınıflama			
Ring No	Km	Thrust (kN)	Ortalama İtme İndeksi kN/(mm/devir)	Tork (kNm)	Ortalama Tork İndeksi kNm/(mm/devir)	FT/T 1/m	Dönme Hızı (RPM)	İlerleme Hızı mm/da	Ortalama Penetrasyon mm/dev	SE kWh/m <sup>3</sup>	N devir/sn	Güç 2[[I.N.T kW	A m <sup>2</sup>	Kazı Hacmi m <sup>3</sup> /h	Uygulama	Jeoloji	Tünel Aynadan Su Girişi
2517	67+024,20	9500	1418	3500	522	2,71	3	20	6,7	25,23	0,05	1099,56	36,32	43,58	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2518	67+022,80	9500	1418	3500	522	2,71	3	20	6,7	25,23	0,05	1099,56	36,32	43,58	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2519	67+021,40	9500	1418	3500	522	2,71	3	20	6,7	25,23	0,05	1099,56	36,32	43,58	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2520	67+020,00	9500	1418	3500	522	2,71	3	20	6,7	25,23	0,05	1099,56	36,32	43,58	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2521	67+018,60	9500	1418	3500	522	2,71	3	20	6,7	25,23	0,05	1099,56	36,32	43,58	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2522	67+017,20	9500	5588	2400	1412	3,96	3	5	1,7	69,17	0,05	753,98	36,32	10,9	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2523	67+015,80	10000	1316	2900	382	3,45	3,01	23	7,6	18,25	0,0502	914,71	36,32	50,12	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2526	67+011,60	9500	1418	3500	522	2,71	3	20	6,7	25,23	0,05	1099,56	36,32	43,58	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2527	67+010,20	10200	1522	3300	493	3,09	3	20	6,7	23,79	0,05	1036,73	36,32	43,58	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2528	67+008,80	10500	1567	3000	448	3,5	3	20	6,7	21,63	0,05	942,48	36,32	43,58	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2529	67+007,40	10500	6176	3000	1765	3,5	3	5	1,7	86,47	0,05	942,48	36,32	10,9	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2530	67+006,00	11000	2000	2100	382	5,24	2,75	15	5,5	18,49	0,0458	604,32	36,32	32,69	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2531	67+004,60	10100	1507	3200	478	3,16	3	20	6,7	23,07	0,05	1005,31	36,32	43,58	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2532	67+003,20	11500	3485	3000	909	3,83	3	10	3,3	43,25	0,05	942,48	36,32	21,79	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2533	67+001,80	11500	3382	3000	882	3,83	2,95	10	3,4	42,56	0,0492	927,4	36,32	21,79	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2534	67+000,40	10000	1961	3200	627	3,13	2,93	15	5,1	30,01	0,0488	981,18	36,32	32,69	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2536	66+997,60	11000	991	3200	288	3,44	2,7	30	11,1	13,84	0,045	904,78	36,32	65,38	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2537	66+996,20	11000	1236	3300	371	3,33	2,8	25	8,9	17,77	0,0467	968,3	36,32	54,48	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2538	66+994,80	10500	1909	3500	636	3	2,75	15	5,5	30,81	0,0458	1007,19	36,32	32,69	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2539	66+993,40	11000	2157	3300	647	3,33	2,93	15	5,1	30,95	0,0488	1011,84	36,32	32,69	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2540	66+992,00	10400	2889	3200	889	3,25	2,8	10	3,6	43,09	0,0467	938,96	36,32	21,79	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2541	66+990,60	10500	1909	3000	545	3,5	2,75	15	5,5	26,41	0,0458	863,31	36,32	32,69	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2542	66+989,20	10500	2917	3000	833	3,5	2,8	10	3,6	40,4	0,0467	880,27	36,32	21,79	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var
2543	66+987,80	11000	2115	3800	731	2,89	2,9	15	5,2	35,28	0,0483	1153,22	36,32	32,69	4-5 No'lu Zemin	Peridotit - Serpantinit	Var

## Serpantin ve Tünel Su Gelirinin Olmadığı Duruma Ait Hesaplar

Çizelge Ek.6: Serpantin ve tünel su gelirinin olmadığı duruma ait hesaplar.

Kılavuzlu Sulaması Ana Kanalı 1. Kısım İnşaatı																	
Kazı Ve Ring Montajı Değerlendirme																	
Makinadan Okunan Değerler / Vardiya Raporları										Hesap				Terzaghi Sınıflama			
Ring No	Km	Thrust (kN)	Ortalama İtme İndeksi kN/(mm/devir)	Tork (kNm)	Ortalama Tork İndeksi kNm/(mm/devir)	FT/T 1/m	Dönme Hızı (RPM)	İlerleme Hızı mm/da	Ortalama Penetrasyon mm/dev	SE kWh/m <sup>3</sup>	N devir/sn	Güç 2][.N.T kW	A m <sup>2</sup>	Kazı Hacmi m <sup>3</sup> /h	Uygulama	Jeoloji	Tünel Aynadan Su Girişi
3742	65+309,20	8700	926	4500	479	1,93	3,2	30	9,4	23,05	0,0533	1507,02	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok
3743	65+307,80	8500	904	4700	500	1,81	3,2	30	9,4	24,07	0,0533	1574	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok
3744	65+306,40	7500	904	4557	549	1,65	3	25	8,3	26,28	0,05	1431,62	36,32	54,48	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok
3745	65+305,00	7500	591	4557	359	1,65	3	38	12,7	17,29	0,05	1431,62	36,32	82,81	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok
3746	65+303,60	4557	304	3557	237	1,28	3	45	15	11,4	0,05	1117,46	36,32	98,06	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok
3747	65+302,20	6000	571	4500	429	1,33	2,85	30	10,5	20,54	0,0475	1343,03	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok
3748	65+300,80	7500	798	4500	479	1,67	3,2	30	9,4	23,05	0,0533	1507,02	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok
3749	65+299,40	7500	798	4500	479	1,67	3,2	30	9,4	23,05	0,0533	1507,02	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok
3750	65+298,00	6500	607	4500	421	1,44	2,8	30	10,7	20,2	0,0467	1320,41	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok
3751	65+296,60	7500	701	3557	332	2,11	2,8	30	10,7	15,96	0,0467	1043,71	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok
3752	65+295,20	7500	750	4557	456	1,65	3	30	10	21,9	0,05	1431,62	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok
3753	65+293,80	7500	750	4557	456	1,65	3	30	10	21,9	0,05	1431,62	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok
3754	65+292,40	8500	780	4500	413	1,89	3,2	35	10,9	19,76	0,0533	1507,02	36,32	76,27	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok
3755	65+291,00	7500	600	4000	320	1,88	3,2	40	12,5	15,37	0,0533	1339,58	36,32	87,17	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok
3756	65+289,60	7500	688	4500	413	1,67	3,2	35	10,9	19,76	0,0533	1507,02	36,32	76,27	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok
3757	65+288,20	7000	843	4557	549	1,54	3	25	8,3	26,28	0,05	1431,62	36,32	54,48	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok
3758	65+286,80	7500	750	4557	456	1,65	3	30	10	21,9	0,05	1431,62	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok
3759	65+285,40	9500	1145	4557	549	2,08	3	25	8,3	26,28	0,05	1431,62	36,32	54,48	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok
3760	65+284,00	8000	734	4500	413	1,78	3,2	35	10,9	19,76	0,0533	1507,02	36,32	76,27	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok
3761	65+282,60	8000	640	4500	360	1,78	2,8	35	12,5	17,31	0,0467	1320,41	36,32	76,27	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok
3762	65+281,20	12500	1168	3557	332	3,51	2,8	30	10,7	15,96	0,0467	1043,71	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok
3763	65+279,80	12500	1506	3557	429	3,51	3	25	8,3	20,51	0,05	1117,46	36,32	54,48	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok

**Çizelge Ek.6 (devam) : Serpantinit ve tünele su gelirinin olmadığı duruma ait hesaplar.**

Kılavuzlu Sulaması Ana Kanalı 1. Kısım İnşaatı																		
Kazı Ve Ring Montajı Değerlendirme																		
Makinadan Okunan Değerler / Vardiya Raporları											Hesap			Terzaghi Sınıflama				
Ring No	Km	Thrust (kN)	Ortalama İtme İndeksi kN/(mm/devir)	Tork (kNm)	Ortalama Tork İndeksi kNm/(mm/devir)	FT/T 1/m	Dönme Hızı (RPM)	İlerleme Hızı mm/da	Ortalama Penetrasyon mm/dev	SE kWh/m <sup>3</sup>	N devir/sn	Güç 2[[.N.T kW	A m <sup>2</sup>	Kazı Hacmi m <sup>3</sup> /h	Uygulama	Jeoloji	Tünele Aynadan Su Girişi	
3764	65+278,40	7500	750	4557	456	1,65	3	30	10	21,9	0,05	1431,62	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok	
3765	65+277,00	7500	750	4557	456	1,65	3	30	10	21,9	0,05	1431,62	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok	
3766	65+275,60	8000	800	4557	456	1,76	3	30	10	21,9	0,05	1431,62	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok	
3767	65+274,20	7500	798	4000	426	1,88	3,2	30	9,4	20,49	0,0533	1339,58	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok	
3768	65+272,80	7000	660	4500	425	1,56	3,3	35	10,6	20,39	0,055	1555,09	36,32	76,27	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok	
3769	65+271,40	7500	708	4500	425	1,67	3,3	35	10,6	20,39	0,055	1555,09	36,32	76,27	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok	
3770	65+270,00	6000	600	4557	456	1,32	3	30	10	21,9	0,05	1431,62	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok	
3771	65+268,60	6500	489	4557	343	1,43	3	40	13,3	16,42	0,05	1431,62	36,32	87,17	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok	
3772	65+267,20	5000	333	3557	237	1,41	3	45	15	11,4	0,05	1117,46	36,32	98,06	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok	
3773	65+265,80	6000	513	4000	342	1,5	3	35	11,7	16,48	0,05	1256,64	36,32	76,27	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok	
3776	65+261,60	7500	750	3557	356	2,11	3	30	10	17,09	0,05	1117,46	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok	
3777	65+260,20	7500	750	4000	400	1,88	3	30	10	19,22	0,05	1256,64	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok	
3778	65+258,80	6000	600	4000	400	1,5	3	30	10	19,22	0,05	1256,64	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok	
3782	65+253,20	7000	700	4557	456	1,54	3	30	10	21,9	0,05	1431,62	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok	
3783	65+251,80	7500	750	4557	456	1,65	3	30	10	21,9	0,05	1431,62	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok	
3784	65+250,40	5000	333	3557	237	1,41	3	45	15	11,4	0,05	1117,46	36,32	98,06	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok	
3789	65+243,40	6000	600	3557	356	1,69	3	30	10	17,09	0,05	1117,46	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok	
3790	65+242,00	5500	550	3557	356	1,55	3	30	10	17,09	0,05	1117,46	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok	
3791	65+240,60	6500	489	5500	414	1,18	3	40	13,3	19,82	0,05	1727,88	36,32	87,17	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok	
3795	65+235,00	6500	650	5000	500	1,3	3	30	10	24,03	0,05	1570,8	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok	
3796	65+233,60	6500	489	5000	376	1,3	3	40	13,3	18,02	0,05	1570,8	36,32	87,17	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok	
3800	65+228,00	7500	750	4557	456	1,65	3	30	10	21,9	0,05	1431,62	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok	
3801	65+226,60	6000	600	5557	556	1,08	3	30	10	26,7	0,05	1745,78	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok	
3802	65+225,20	6500	556	5000	427	1,3	3	35	11,7	20,6	0,05	1570,8	36,32	76,27	5 No'lu Zemin	Serpantin	Yok	

## Serpantinit ve Tünel Su Gelirinin Olmadığı Duruma Ait Hesaplar

Çizelge Ek.7: Serpantinit ve tünel su gelirinin olmadığı duruma ait hesaplar.

Kılavuzlu Sulaması Ana Kanalı 1. Kısım İnşaatı																	
Kazı Ve Ring Montajı Değerlendirme																	
Makinadan Okunan Değerler / Vardiya Raporları										Hesap				Terzaghi Sınıflama		Tünel Aynadan Su Girişi	
Ring No	Km	Thrust (kN)	Ortalama İtme İndeksi kN/(mm/devir)	Tork (kNm)	Ortalama Tork İndeksi kNm/(mm/devir)	FT/T l/m	Dönme Hızı (RPM)	İlerleme Hızı mm/da	Ortalama Penetrasyon mm/dev	SE kWh/m <sup>3</sup>	N devir/sn	Güç 2[I].N.T kW	A m <sup>2</sup>	Kazı Hacmi m <sup>3</sup> /h	Uygulama	Jeoloji	Tünel Aynadan Su Girişi
3774	65+264,40	6700	578	4200	362	1,6	3,1	36	11,6	17,39	0,0517	1364,33	36,32	78,45	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3775	65+263,00	6800	708	3800	396	1,79	3,13	30	9,6	19,06	0,0522	1246,33	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3779	65+257,40	6900	535	4300	333	1,6	3,11	40	12,9	16,06	0,0518	1399,52	36,32	87,17	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3780	65+256,00	6800	680	4100	410	1,66	3,01	30	10	19,78	0,0502	1293,21	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3781	65+254,60	5800	598	4000	412	1,45	3,08	30	9,7	19,72	0,0513	1289,31	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3785	65+249,00	6500	631	3800	369	1,71	2,9	30	10,3	17,64	0,0483	1153,22	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3786	65+247,60	6900	670	4100	398	1,68	2,9	30	10,3	19,03	0,0483	1244,26	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3787	65+246,20	6700	644	4300	413	1,56	2,88	30	10,4	19,84	0,048	1296,85	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3788	65+244,80	5900	562	3800	362	1,55	2,87	30	10,5	17,46	0,0478	1141,28	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3792	65+239,20	5100	526	4100	423	1,24	3,1	30	9,7	20,37	0,0517	1331,85	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3793	65+237,80	5200	433	3300	275	1,58	2,5	30	12	13,22	0,0417	864,63	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3794	65+236,40	5400	540	3900	390	1,38	3,01	30	10	18,81	0,0502	1230,12	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3797	65+232,20	6500	657	4300	434	1,51	3,04	30	9,9	20,95	0,0507	1369,8	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3798	65+230,80	5900	615	4700	490	1,26	3,11	30	9,6	23,4	0,0518	1529,7	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3799	65+229,40	6600	537	4100	333	1,61	2,85	35	12,3	16,04	0,0475	1223,65	36,32	76,27	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3808	65+216,80	6800	680	4700	470	1,45	3,01	30	10	22,67	0,0502	1482,45	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3809	65+215,40	6700	670	4900	490	1,37	3,01	30	10	23,64	0,0502	1545,54	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3810	65+214,00	5900	608	4200	433	1,4	3,1	30	9,7	20,87	0,0517	1364,33	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3814	65+208,40	6300	649	4900	505	1,29	3,1	30	9,7	24,35	0,0517	1591,72	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3815	65+207,00	7100	732	5300	546	1,34	3,1	30	9,7	26,33	0,0517	1721,66	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3816	65+205,60	6900	611	4700	416	1,47	3,1	35	11,3	20,02	0,0517	1526,75	36,32	76,27	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3817	65+204,20	7000	560	3700	296	1,89	2,8	35	12,5	14,23	0,0467	1085,67	36,32	76,27	5 No'lu Zemin	Serpantin	var

**Çizelge Ek.7 (devam) : Serpantinit ve tünele su gelirinin olmadığı duruma ait hesaplar.**

Kılavuzlu Sulaması Ana Kanalı 1. Kısım İnşaatı																	
Kazı Ve Ring Montajı Değerlendirme																	
Makinadan Okunan Değerler / Vardiya Raporları										Hesap				Terzaghi Sınıflama			
Ring No	Km	Thrust (kN)	Ortalama İtme İndeksi kN/(mm/devir)	Tork (kNm)	Ortalama Tork İndeksi kNm/(mm/devir)	FT/T 1/m	Dönme Hızı (RPM)	İlerleme Hızı mm/da	Ortalama Penetrasyon mm/dev	SE kWh/m <sup>3</sup>	N devir/sn	Güç 2[[.N.T kW	A m <sup>2</sup>	Kazı Hacmi m <sup>3</sup> /h	Uygulama	Jeoloji	Tünele Aynadan Su Girişi
3822	65+197,20	4800	495	4900	505	0,98	3,1	30	9,7	24,35	0,0517	1591,72	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3823	65+195,80	6500	670	3100	320	2,1	3,08	30	9,7	15,28	0,0513	999,21	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3824	65+194,40	6500	670	3100	320	2,1	3,08	30	9,7	15,28	0,0513	999,21	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3834	65+180,40	4800	495	4900	505	0,98	3,1	30	9,7	24,35	0,0517	1591,72	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3835	65+179,00	6500	670	3100	320	2,1	3,08	30	9,7	15,28	0,0513	999,21	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3845	65+165,00	4800	495	4900	505	0,98	3,1	30	9,7	24,35	0,0517	1591,72	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3846	65+163,60	6500	670	3100	320	2,1	3,08	30	9,7	15,28	0,0513	999,21	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3856	65+149,60	7900	823	4800	500	1,65	3,11	30	9,6	23,89	0,0518	1562,25	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3857	65+148,20	7500	750	4700	470	1,6	3,01	30	10	22,67	0,0502	1482,45	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3858	65+146,80	7500	750	4700	470	1,6	3,01	30	10	22,67	0,0502	1482,45	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3859	65+145,40	7500	750	4700	470	1,6	3,01	30	10	22,67	0,0502	1482,45	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3860	65+144,00	6500	650	4700	470	1,38	3	30	10	22,58	0,05	1476,55	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3862	65+141,20	6300	538	4700	402	1,34	3	35	11,7	19,36	0,05	1476,55	36,32	76,27	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3863	65+139,80	6700	670	4900	490	1,37	3	30	10	23,55	0,05	1539,38	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3866	65+135,60	7300	760	4900	510	1,49	3,11	30	9,6	24,39	0,0518	1594,8	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3869	65+131,40	7400	692	4900	458	1,51	2,8	30	10,7	21,99	0,0467	1437,78	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
3870	65+130,00	7000	722	5400	557	1,3	3,1	30	9,7	26,83	0,0517	1754,14	36,32	65,38	5 No'lu Zemin	Serpantin	var
	Standart Sapma	774	87	618	73					3,5	0,0021	216,05	0	4,97			
	Ortalama	6472	633	4326	424	1,5	3,01	30,92	10,3	20,4	0,0503	1368,13	36,32	67,39			



## ÖZGEÇMİŞ



**Ad-Soyad** : Mustafa SAKALLI  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 1987 / Gürün  
**E-posta** : mustafasakalli@outlook.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2009, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği